

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران  
گرایش خاک و پی

---

تحلیل ظرفیت باربری پی‌های سطحی متداخل بر روی خاک ماسه‌ای  
مسلح با ژئوسینتتیک‌ها

---

استاد راهنما:

دکتر سید مرتضی مرندي

مؤلف:

حامد جاودانيان

شهریور ۱۳۸۹



این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

**گروه مهندسی عمران**

**دانشکده فنی و مهندسی**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : حامد جاودانیان

استاد راهنما: دکتر سید مرتضی مرندی

داور ۱: دکتر محمدحسین باقری پور

داور ۲: دکتر سعید شجاعی

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع: دکتر محمود سموات

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر غلامرضا پورابراهیم

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

تمام کسانی که به من کلامی آموختند

## تشکر و قدردانی

سپاس خداوندی که بر من منت نهاد و توانائی انجام این مهم را بر من ارزانی داشت چه اگر توفیق او یار نبود این حقیر را توانایی انجام این کار نبود.

برترین سپاس‌ها را تقدیم استاد ارجمندم جناب آقای دکتر سید مرتضی مرتضی مرنندی می‌نمایم که در تمام مراحل این تحقیق از راهنمایی‌های ارزشمندشان بهره برده‌ام.

از تمامی اساتید محترم گروه مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان که اینجانب افتخار شاگردیشان را داشته‌ام و خصوصاً از جناب آقای دکتر محمدحسین باقری‌پور و جناب آقای دکتر سعید شجاعی که زحمت داوری این پایان‌نامه را پذیرفتند کمال تشکر را دارم.

از خانواده عزیزم که در تمام مراحل زندگی مرا یاری نموده‌اند، تشکر ویژه‌ای می‌نمایم. بر خود لازم می‌دانم از جناب آقای نخعی دانشجوی دکترای خاک و پی که در انجام آزمایشات همواره مرا راهنمایی نموده‌اند و همچنین از سرکار خانم اسدیان مسئول آزمایشگاه مکانیک خاک به خاطر همکاری‌هایشان قدردانی نمایم.

در نهایت جا دارد که از کمک‌های بی‌دریغ دوستان ارجمندم، آقایان مهندس سبحان شفیعی، محمد نجف‌زاده، مصطفی زاهدجهرمی، مرتضی کارگر، هادی مین‌باشی، یحیی رحمانی، علیرضا حامدی، محمد شفاعتی، بهنام برادرانی، محمدرضا کمالی، جمال صفری که بدون همکاری آن‌ها انجام این تحقیق به خصوص انجام آزمایشات امکان‌پذیر نبود، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

حامد جاودانیان

شهریور ۸۹

## چکیده

ظرفیت باربری پی‌ها از جمله مباحثی است که پیوسته مورد توجه کارشناسان ژئوتکنیک بوده است. با اعمال نیروهای بزرگ بر پی‌های سطحی که به فاصله کم نسبت به هم بنا شده‌اند، پدیده تداخل در رفتار پی‌ها رخ داده و مهمترین تأثیر این پدیده تغییر در ظرفیت باربری پی می‌باشد. به منظور جلوگیری از گسیختگی خاک، بهسازی خاک‌ها یکی از روش‌های مناسب جهت تثبیت خاک می‌باشد. تسلیح خاک با مسلح کننده‌های پلیمری نظیر ژئوگرید و ژئوتکستایل از روش‌های نوینی است که در پروژه‌های مختلف به کار گرفته می‌شود.

در این پایان‌نامه ظرفیت باربری پی‌های سطحی نواری متداخل مستقر بر خاک‌های ماسه‌ای غیر مسلح و همچنین مسلح با ژئوگرید، هم به روش عددی اجزای محدود و هم به روش آزمایشگاهی بررسی گردید. رفتار پی‌ها در شرایط کرنش صفحه‌ای بررسی شده و رفتار خاک با معیار خرابی موهر-کولمب مدل شده است. در عملیات آزمایشگاهی ابعاد نمونه برابر  $0.9 \times 0.5 \times 0.5$  متر و عرض پی برابر  $5/8$  سانتی‌متر بوده است. بار توسط یک جک هیدرولیکی وارد و به وسیله یک حلقه بار اندازه‌گیری شده است.

مقادیری بهینه برای مکان هندسی مسلح کننده‌ها جهت حصول ظرفیت باربری ماکزیمم با توجه به فاصله بین پی‌ها به دست آمده و اثر خصوصیات مقاومتی ژئوگرید و خاک ماسه‌ای، و همچنین عرض و عمق مدفون پی بر ظرفیت باربری پی‌های نواری متداخل بررسی و نتایج به شکل مقادیر بدون بعد به صورت نسبت ظرفیت باربری نهایی ارائه شده است. چارت‌های طراحی به منظور طراحی اقتصادی اینگونه پی‌ها ارائه و همچنین جهت انعکاس اثر تداخل در رابطه عمومی ظرفیت باربری، مدلی ارائه گردیده است. صحت عملکرد این مدل در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و نیز روابط تئوریک اثبات شده که نشان از دقت قابل قبول آن دارد. بر اساس مدل‌سازی المان محدود گوه‌های گسیختگی و مکانیسم خرابی پی‌های سطحی نواری متداخل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که تسلیح خاک موجب افزایش ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی متداخل خواهد شد.

**کلمات کلیدی:** ظرفیت باربری، پی‌های سطحی متداخل، ماسه، ژئوگرید، خاک مسلح، تحلیل المان محدود، مکانیسم گسیختگی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	<b>فصل اول: مقدمه</b> .....
۲	۱-۱- مقدمه و کلیات .....
۳	۲-۱- اهداف تحقیق .....
۳	۳-۱- وسایل و لوازم تحقیق .....
۴	۴-۱- ساختار پایان نامه .....
۵	<b>فصل دوم: مروری بر تاریخچه خاک مسلح</b> .....
۶	۱-۲- تاریخچه .....
۸	۲-۲- انواع مسلح کننده ها .....
۸	۱-۲-۲- تسلیح خاک به وسیله نوارهای فلزی .....
۹	۲-۲-۲- تسلیح خاک به وسیله ژئوسینتتیک ها .....
۱۰	۱-۲-۲-۲- ژئوتکستایل .....
۱۱	۲-۲-۲-۲- ژئوگرید .....
۱۴	۳-۲-۲-۲- ژئونت .....
۱۵	۴-۲-۲-۲- ژئوممبرین .....
۱۵	۳-۲- دوام مسلح کننده ها .....
۱۶	۱-۳-۲- دوام مسلح کننده های فلزی .....
۱۷	۲-۳-۲- دوام ژئوسینتتیک ها .....
۲۱	<b>فصل سوم: مکانیسم های تسلیح خاک با ژئوسینتتیک ها</b> .....
۲۱	۱-۳- مقدمه .....
۲۱	۲-۳- تئوری ظرفیت باربری .....
۲۴	۳-۳- انواع گسیختگی برشی پی های سطحی .....
۲۴	۱-۳-۳- گسیختگی برشی کلی .....

۲۴	..... گسیختگی برشی موضعی ..... ۲-۳-۳
۲۴	..... گسیختگی برشی سوراخ کننده ..... ۳-۳-۳
۲۵	..... مکانیسم‌های تسلیح خاک با ژئوتکستایل ..... ۴-۳
۲۶	..... مکانیسم های غشایی ..... ۱-۴-۳
۲۶	..... مکانیسم برشی ..... ۲-۴-۳
۲۸	..... مکانیسم مهارشدگی ..... ۳-۴-۳
۲۹	..... مکانیسم تسلیح خاک با ژئوگرید ..... ۵-۳
۳۰	..... مقاومت کششی عرضی ..... ۱-۵-۳
۳۰	..... مقاومت برشی ..... ۲-۵-۳
۳۲	..... مقاومت مهارشدگی ..... ۳-۵-۳
۳۶	..... مکانیسم‌های گسیختگی پی‌های سطحی واقع بر خاک مسلح ..... ۶-۳
۳۶	..... گسیختگی ظرفیت باربری خاک بالای اولین لایه مسلح کننده ..... ۱-۶-۳
۳۶	..... گسیختگی ناشی از بیرون کشیدگی مسلح کننده‌ها ..... ۲-۶-۳
۳۶	..... گسیختگی کششی مسلح کننده‌ها ..... ۳-۶-۳
۳۷	..... گسیختگی ناشی از تغییر شکل بیش از حد بلند مدت (خزش) ..... ۴-۶-۳
۳۸	..... ظرفیت باربری پی‌های سطحی واقع بر خاک مسلح به روش مرز بالا ..... ۷-۳
۴۰	..... جمع‌بندی و تعریف تحقیق ..... ۸-۳
۴۲	<b>فصل چهارم: تحقیقات قبلی در مورد ظرفیت باربری پی</b> .....
۴۳	..... مقدمه ..... ۱-۴
۴۴	..... پی منفرد ..... ۲-۴
۴۴	..... مطالعات بینکویت و لی ..... ۱-۲-۴
۴۶	..... مطالعات فراگاسزی و لاتون ..... ۲-۲-۴
۴۷	..... مطالعات سینگ ..... ۳-۲-۴
۴۸	..... مطالعات گیدو و همکاران ..... ۴-۲-۴
۴۹	..... مطالعات داس و عمر ..... ۵-۲-۴



۵۱	..... ۴-۲-۶- مطالعات عمر و همکاران
۵۱	..... ۴-۲-۶-۱- عمر و همکاران (۱۹۹۳)
۵۱	..... ۴-۲-۶-۲- عمر و همکاران (۱۹۹۴)
۵۳	..... ۴-۲-۷- مطالعات آدامز و کولین
۵۴	..... ۴-۲-۸- مطالعات بوشهریان و هاتف
۵۵	..... ۴-۲-۹- مطالعات مرنندی و همکاران
۵۷	..... ۴-۲-۱۰- مطالعات لاتا و ساموانشی
۵۸	..... ۴-۳-۳- پی‌های متداخل غیر مسلح
۵۸	..... ۴-۳-۱- مطالعات استوارت
۵۸	..... ۴-۳-۲- مطالعات داس لاریچریف
۶۰	..... ۴-۳-۳- مطالعات کومار و قاش
۶۱	..... ۴-۳-۴- مطالعات کومار و باهی
۶۲	..... ۴-۳-۵- مطالعات لی و اون
۶۳	..... ۴-۴-۴- پی‌های متداخل مسلح
۶۳	..... ۴-۴-۱- مطالعات کومار و ساران
۶۳	..... ۴-۴-۲- مطالعات قضاوی و علیمردانی
۶۳	..... ۴-۵- جمع‌بندی
۶۵	..... <b>فصل پنجم: عملیات آزمایشگاهی</b>
۶۶	..... ۵-۱- مقدمه
۶۶	..... ۵-۲- مشخصات مصالح
۶۶	..... ۵-۲-۱- مشخصات خاک
۶۷	..... ۵-۲-۲- نوع مسلح کننده
۶۸	..... ۵-۳- جزئیات دستگاه آزمایشگاه
۷۱	..... ۵-۴- نحوه پر کردن مخزن
۷۲	..... ۵-۵- بارگذاری

۷۴	..... فصل ششم: نتایج آزمایشگاهی
۷۵	..... ۱-۶- مقدمه
۷۵	..... ۲-۶- روش به دست آوردن ظرفیت باربری نهایی
۷۶	..... ۳-۶- برنامه آزمایش ها
۷۷	..... ۴-۶- نتایج آزمایشات
۷۷	..... ۱-۴-۶- ظرفیت باربری
۸۱	..... ۲-۴-۶- اثر تداخل بر ظرفیت باربری
۸۳	..... ۳-۴-۶- ضریب تداخل
۸۴	..... فصل هفتم: روش مدل سازی عددی و هندسه مسئله
۸۵	..... ۱-۷- مقدمه
۸۶	..... ۲-۷- روشهای موجود در تعیین ظرفیت باربری
۸۶	..... ۱-۲-۷- روش جمع آثار قوا در تعیین ظرفیت باربری
۸۶	..... ۲-۲-۷- روش های تحلیلی
۸۷	..... ۳-۲-۷- روش های آزمایشگاهی
۸۷	..... ۴-۲-۷- روش های عددی
۹۱	..... ۳-۷- معرفی نرم افزار
۹۱	..... ۱-۳-۷- زیر برنامه ورودی
۹۱	..... ۱-۱-۳-۷- انتخاب نوع مدل
۹۲	..... ۲-۱-۳-۷- انتخاب نوع المان
۹۳	..... ۳-۱-۳-۷- ساخت شکل هندسی مدل
۹۴	..... ۴-۱-۳-۷- اعمال شرایط مرزی
۹۵	..... ۵-۱-۳-۷- بارگذاری مدل
۹۵	..... ۶-۱-۳-۷- تعیین خواص مصالح
۹۶	..... ۷-۱-۳-۷- مش بندی مدل
۹۶	..... ۸-۱-۳-۷- اعمال شرایط اولیه

۹۷	..... زیر برنامه محاسبات ۷-۳-۲
۹۷	..... زیر برنامه خروجی ۷-۳-۳
۹۷	..... زیر برنامه منحنی ۷-۳-۴
۹۷	..... هندسه مدل و مشخصات مصالح به کار برده شده در محاسبات ۷-۴
۹۹	..... جمع بندی ۷-۵
۱۰۰	<b>فصل هشتم: تحلیل رفتار پی های متداخل</b>
۱۰۱	..... ۱-۸-۱ مقدمه
۱۰۱	..... ۸-۲-۱ اثر خصوصیات هندسی و مقاومتی مسلح کننده
۱۰۲	..... ۸-۲-۱-۱ اثر عمق اولین لایه مسلح کننده (u)
۱۰۳	..... ۸-۲-۲-۱ اثر عرض لایه های مسلح کننده (b)
۱۰۴	..... ۸-۲-۳-۱ اثر فاصله قائم بین لایه های مسلح کننده (z)
۱۰۴	..... ۸-۲-۴-۱ اثر تعداد لایه های مسلح کننده (N)
۱۰۶	..... ۸-۲-۵-۱ اثر عمق مسلح شده (d)
۱۰۷	..... ۸-۲-۶-۱ اثر مقاومت کششی مسلح کننده (EA)
۱۰۸	..... ۸-۳-۱ اثر خصوصیات خاکریز مسلح شده
۱۰۸	..... ۸-۳-۱-۱ اثر زاویه اصطکاک داخلی ماسه مسلح شده ( $\phi$ )
۱۱۰	..... ۸-۳-۲-۱ اثر مدول الاستیسیته خاکریز ماسه ای (E)
۱۱۱	..... ۸-۴-۱ اثر ابعاد و عمق مدفون پی
۱۱۱	..... ۸-۴-۱-۱ اثر عرض پی (B)
۱۱۱	..... ۸-۴-۲-۱ اثر عمق مدفون پی ( $D_f$ )
۱۱۳	..... ۸-۵-۱ گراف های طراحی پی های سطحی متداخل مستقر بر خاک مسلح
۱۱۶	..... ۸-۶-۱ رابطه ای برای ضریب تداخل
۱۱۸	..... ۸-۷-۱ ارزیابی صحت عملکرد رابطه ضریب تداخل
۱۲۱	..... ۸-۸ بررسی مکانیسم گسیختگی
۱۲۵	<b>فصل نهم: نتیجه گیری و پیشنهادات</b>

۱۲۶	..... ۱-۹- نتیجه گیری
۱۲۸	..... ۲-۹- پیشنهادات
۱۳۰	..... فصل دهم: منابع و مراجع

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۵	..... فصل دوم-مروری بر تاریخچه خاک مسلح
۱۱	..... شکل (۱-۲) ژئوتکستایل های بافته شده و بافته نشده
۱۳	..... شکل (۲-۲) روش تولید ژئوگریدهای تک محوره و دو محوره
۱۳	..... شکل (۳-۲) پلان و مقطع ژئوگریدهای تک محوره و دو محوره
۲۰	..... فصل سوم-مکانیسم های تسلیح خاک با ژئوسینتتیک ها
۲۱	..... شکل (۱-۳) سطح گسیختگی زیر پی نواری
۲۵	..... شکل (۲-۳) انواع حالات گسیختگی
۲۵	..... شکل (۳-۳) نمودار فشار-نشست در انواع گسیختگی
	..... شکل (۴-۳) نمودارهای شماتیک دستگاه های آزمایش برای ارزیابی مقاومت برشی
۲۸	..... و بیرون کشیدگی ژئوتکستایل در خاک
۳۳	..... شکل (۵-۳) مکانیسم های مورد بحث در مقاومت مهارشدگی ژئوگرید
۳۵	..... شکل (۶-۳) مکانیسم های گسیختگی باربری یک مسلح کننده شبکه ای
	..... شکل (۷-۳) حالات گسیختگی احتمالی پی های سطحی واقع بر خاک مسلح شده
۳۷	..... با ژئوسینتتیک
۳۹	..... شکل (۸-۳) مکانیزم گسیختگی ارائه شده در روش مرز بالا
۴۰	..... شکل (۹-۳) رابطه بین فشار اعمالی $q$ و زاویه $\alpha$
۴۲	..... فصل چهارم-تحقیقات قبلی در مورد ظرفیت باربری پی
	..... شکل (۱-۴) نسبت ظرفیت باربری نهایی بر حسب تعداد لایه های مسلح کننده در
۴۵	..... مطالعات بینکویت و همکارانش
	..... شکل (۲-۴) نسبت ظرفیت باربری نهایی بر حسب عمق اولین لایه مسلح کننده در
۴۶	..... مطالعات بینکویت و همکارانش
۴۹	..... شکل (۳-۴) تغییرات BCR در برابر تعداد لایه ها در مطالعات گیدو و همکاران
۴۹	..... شکل (۴-۴) تغییرات BCR در برابر عرض مسلح کننده ( $N=2$ ، $u/B=0.5$ )

.....	در مطالعات گیدو و همکاران ( $z/B=0.25$ )	۵۰
.....	شکل (۵-۴) تغییرات BCR در برابر عرض پی در مطالعات داس و عمر	۵۰
.....	شکل (۶-۴) تغییرات BCR در مقابل نسبت عمق مسلح شده ( $d/B$ ) در حالت	۵۲
.....	در مطالعات عمر و همکاران ( $b/B=1.0$ )	۵۲
.....	شکل (۷-۴) تغییرات BCR در مقابل نسبت عرض لایه‌های مسلح کننده ( $b/B$ )،	۵۲
.....	$N=6$ در مطالعات عمر و همکاران	۵۲
.....	شکل (۸-۴) تغییرات BCR در برابر تعداد لایه‌های مسلح کننده برای (a) پی دایره‌ای	۵۵
.....	و (b) پی حلقوی در مطالعات بوشهریان و هاتف	۵۵
.....	شکل (۹-۴) تغییرات نسب ظرفیت باربری در برابر عرض لایه مسلح کننده ( $N=1$ )	۵۶
.....	در مطالعات مرنندی و همکاران	۵۶
.....	شکل (۱۰-۴) تغییرات ظرفیت باربری در برابر تعداد مسلح کننده در حالت $b/B=6$	۵۷
.....	در مطالعات مرنندی و همکاران	۵۷
.....	شکل (۱۱-۴) تغییرات $I_f$ در برابر نسبت فاصله بین پی‌ها در مطالعات استوارت	۵۹
.....	شکل (۱۲-۴) تغییرات $I_f$ در برابر نسبت فاصله بین پی‌ها در مطالعات داس و	۵۹
.....	لاریچریف	۵۹
.....	شکل (۱۳-۴) تغییرات $I_f$ در برابر فاصله بین پی‌ها در مطالعات کومار و قاش	۶۰
.....	شکل (۱۴-۴) تغییرات ضریب تداخل در برابر نسبت فاصله بین پی‌ها در مطالعات	۶۱
.....	کومار و باهی	۶۱
.....	شکل (۱۵-۴) تغییرات ضریب تداخل در برابر نسبت فاصله بین پی‌های نواری	۶۲
.....	ومربعی در مطالعات لی و اون	۶۲
.....	<b>فصل پنجم - عملیات آزمایشگاهی</b>	۶۵
.....	شکل (۱-۵) منحنی دانه‌بندی خاک ماسه‌ای در عملیات آزمایشگاهی	۶۷
.....	شکل (۲-۵) مسلح کننده مورد استفاده در عملیات آزمایشگاهی	۶۷
.....	شکل (۳-۵) شماتیک دستگاه آزمایش ظرفیت باربری	۶۹
.....	شکل (۴-۵) جعبه آزمایش به همراه قاب تکیه گاهی و جک هیدرولیکی	۷۰
.....	شکل (۵-۵) تراکم نمونه، نحوه قرارگیری لایه‌های ژئوگرید بر روی ماسه	۷۲

۷۴	..... فصل ششم- نتایج آزمایشگاهی
۷۵	..... شکل (۱-۶) نحوه به دست آوردن ظرفیت باربری نهایی از روی نمودار P-S
۷۷	..... شکل (۲-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-0-0
۷۷	..... شکل (۳-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-0-1
۷۸	..... شکل (۴-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-0-2
۷۸	..... شکل (۵-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-0-3
۷۸	..... شکل (۶-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-0-4
۷۸	..... شکل (۷-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-0-5
۷۸	..... شکل (۸-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-1-1
۷۸	..... شکل (۹-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-1-2
۷۹	..... شکل (۱۰-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-1-3
۷۹	..... شکل (۱۱-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-1-4
۷۹	..... شکل (۱۲-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-1-5
۷۹	..... شکل (۱۳-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-2-1
۷۹	..... شکل (۱۴-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-2-2
۷۹	..... شکل (۱۵-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-2-3
۸۰	..... شکل (۱۶-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-2-4
۸۰	..... شکل (۱۷-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-2-5
۸۰	..... شکل (۱۸-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-3-1
۸۰	..... شکل (۱۹-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-3-2
۸۰	..... شکل (۲۰-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-3-3
۸۰	..... شکل (۲۱-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-3-4
۸۱	..... شکل (۲۲-۶) نمودار تنش- نشست در آزمایش A-3-5
۸۱	..... شکل (۲۳-۶) اثر تداخل بر ظرفیت باربری پی‌های نواری متداخل غیر مسلح
۸۲	..... شکل (۲۴-۶) اثر تداخل بر ظرفیت باربری پی‌های نواری متداخل مسلح با یک لایه

	ژئوگرید .....
	شکل (۶-۲۵) اثر تداخل بر ظرفیت باربری پی‌های نواری متداخل مسلح با دو لایه
۸۲	ژئوگرید .....
	شکل (۶-۲۶) اثر تداخل بر ظرفیت باربری پی‌های نواری متداخل مسلح با سه لایه
۸۲	ژئوگرید .....
	شکل (۶-۲۷) تغییرات ضریب تداخل در مقابل نسبت بدون بعد فاصله بین پی‌های
۸۳	مجاور هم .....
۸۴	<b>فصل هفتم-روش مدل‌سازی عددی و هندسه مسئله</b> .....
۸۹	شکل (۷-۱) مشخصات المان‌های به کار رفته در مقاله جرون و دوبورست .....
۹۲	شکل (۷-۲) مثال‌هایی از کرنش صفحه‌ای و تقارن محوری .....
۹۳	شکل (۷-۳) چگونگی گره‌ها و نقاط تنش در المان‌های خاک .....
۹۳	شکل (۷-۴) گره‌ها و نقاط تنش در المان‌های ژئوگرید ۵ گرهی و ۳ گرهی .....
	شکل (۷-۵) نحوه تشکیل المان‌های سطح مشترک در مجاورت المان‌های ۶ گرهی
۹۴	و ۱۵ گرهی .....
۹۵	شکل (۷-۶) نحوه اعمال شرایط مرزی در مدل ظرفیت باربری .....
۹۸	شکل (۷-۷) پی‌های نواری مجاور هم بر روی ماسه مسلح با ژئوگرید .....
۱۰۰	<b>فصل هشتم-تحلیل رفتار پی‌های متداخل</b> .....
	شکل (۸-۱) تغییرات ضریب تداخل در برابر نسبت بدون بعد فاصله بین پی‌ها به ازای
۱۰۲	تغییر در عمق اولین لایه .....
	شکل (۸-۲) تغییرات ضریب تداخل در برابر نسبت بدون بعد فاصله بین پی‌ها به ازای
۱۰۳	تغییر در عمق اولین لایه .....
	شکل (۸-۳) تغییرات ضریب تداخل در مقابل نسبت بدون بعد فاصله بین پی‌ها به
۱۰۴	ازای تغییر در عرض لایه‌ها .....
	شکل (۸-۴) تغییرات ضریب تداخل در برابر نسبت بدون بعد فاصله بین پی‌ها به ازای
۱۰۵	تغییر در فاصله بین لایه‌ها .....
۱۰۶	شکل (۸-۵) تغییرات ضریب تداخل در مقابل نسبت بدون بعد فاصله بین پی‌ها به



- ازای تغییر در تعداد لایه‌ها ..... ۱۰۶
- شکل (۶-۸) منحنی‌های بار-نشست پی‌های مسلح و غیر مسلح ..... ۱۰۶
- شکل (۷-۸) تغییرات ضریب تداخل در مقابل نسبت فاصله بین پی‌ها به ازای تغییر در عمق مسلح شده ..... ۱۰۷
- شکل (۸-۸) تغییرات ضریب تداخل با افزایش مقاومت کششی مسلح کننده ..... ۱۰۸
- شکل (۹-۸) تغییرات ضریب تداخل در مقابل نسبت فاصله پی‌های به ازای تغییر در زاویه اصطکاک خاک ماسه‌ای ..... ۱۰۹
- شکل (۱۰-۸) تغییرات ضریب تداخل در برابر مدول الاستیسیته خاک ماسه‌ای ..... ۱۱۰
- شکل (۱۱-۸) تغییرات نیروی کششی مسلح کننده در مقابل مدول الاستیسیته خاک ماسه‌ای ..... ۱۱۱
- شکل (۱۲-۸) تغییرات ضریب تداخل در برابر عرض پی ..... ۱۱۲
- شکل (۱۳-۸) تغییرات نیروی کششی مسلح کننده در مقابل عرض پی ..... ۱۱۲
- شکل (۱۴-۸) تغییرات ضریب تداخل در برابر نسبت عمق مدفون پی ..... ۱۱۳
- شکل (۱۵-۸) نمودار طراحی پی متداخل مسلح برای عمق اولین مسلح کننده ..... ۱۱۴
- شکل (۱۶-۸) نمودار طراحی پی متداخل مسلح برای عمق اولین مسلح کننده ..... ۱۱۴
- شکل (۱۷-۸) نمودار طراحی پی متداخل مسلح برای عرض مسلح کننده‌ها ..... ۱۱۵
- شکل (۱۸-۸) نمودار طراحی پی متداخل مسلح برای فاصله بین مسلح کننده‌ها ..... ۱۱۵
- شکل (۱۹-۸) نمودار طراحی پی متداخل مسلح برای تعداد مسلح کننده‌ها ..... ۱۱۶
- شکل (۲۰-۸) نمودار طراحی پی متداخل مسلح برای عمق مسلح شده ..... ۱۱۶
- شکل (۲۱-۸) ارزیابی عملکرد ضریب تداخل برای حالت غیرمسلح در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ..... ۱۱۸
- شکل (۲۲-۸) ارزیابی عملکرد ضریب تداخل در مقایسه با تحلیل‌های تئوریک ..... ۱۱۹
- شکل (۲۳-۸) ارزیابی عملکرد ضریب تداخل در حالت مسلح با یک، دو و سه لایه ژئوگرید ..... ۱۱۹
- شکل (۲۴-۸) مکانیسم گسیختگی پی تکی ..... ۱۲۱

- شکل (۸-۲۵) مکانیسم گسیختگی پی متداخل در حالت  $s/B=2$  ..... ۱۲۲
- شکل (۸-۲۶) مکانیسم گسیختگی پی متداخل در حالت  $s/B=3$  ..... ۱۲۲
- شکل (۸-۲۷) مکانیسم گسیختگی پی متداخل در حالت  $s/B=4$  ..... ۱۲۲
- شکل (۸-۲۸) مکانیسم گسیختگی پی متداخل در حالت  $s/B=5$  ..... ۱۲۳
- شکل (۸-۲۹) شکل گیری گوه‌های گسیختگی پی‌های متداخل ..... ۱۲۴

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۰	<b>فصل سوم- مکانیسم‌های تسلیح خاک با ژئوسینتتیک‌ها</b> ..... جدول (۱-۳) زاویه اصطکاک خاک با ژئوتکستایل و بازدهی مربوطه خاک‌های غیر چسبنده.....
۲۸	.....
۳۱	جدول (۲-۳) مقاومت کششی نهایی ژئوگریدها.....
۳۲	جدول (۳-۳) نتایج آزمایشهای برش مستقیم با استفاده از ژئوگریدهای مختلف.....
۷۴	<b>فصل ششم- نتایج آزمایشگاهی</b> .....
۷۶	جدول (۱-۶) جزئیات آزمون‌های آزمایشگاهی جهت تعیین ظرفیت باربری.....
۸۴	<b>فصل هفتم- روش مدل‌سازی عددی و هندسه مسئله</b> .....
۹۹	جدول (۱-۷) مشخصات مصالح به کار برده شده در تحلیل عددی.....
۱۰۰	<b>فصل هشتم- تحلیل رفتار پی‌های متداخل</b> .....
۱۱۷	جدول (۱-۸) ضرایب ثابت در معادله (۳-۸).....
۱۲۰	جدول (۲-۸) مقادیر RMSE برای حالت مسلح و غیرمسلح.....
۱۲۰	جدول (۳-۸) مقادیر ظرفیت باربری برای مثال.....

## فصل اول:

مقدمه