

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقررات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب **بهنام عسکری لاسکی** دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی **عمران گرایش مکانیک خاک و پی** دانشکده‌ی **فنی و مهندسی** دانشگاه **محقق اردبیلی** به شماره‌ی دانشجویی **۹۱۴۴۴۷۳۱۰۶** که در تاریخ **۹۳/۶/۱۸** از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان **بررسی رفتار تنش-کرنش و گسیختگی- خاک های دست نخورده** دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

- (۱) این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
- (۲) مسئولیت صحت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
- (۳) این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
- (۴) در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقررات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مأخذ ذکر نموده‌ام.
- (۵) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هرگونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
- (۶) در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
- (۷) چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: **بهنام عسکری لاسکی**

امضا

تاریخ



دانشکده‌ی فنی مهندسی

گروه آموزشی عمران

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان:

بررسی رفتار تنش-گرنش و گسیختگی خاک‌های دست‌نخورده

استاد راهنما:

دکتر احد اوریا

استاد مشاور:

مهندس طاهر باهر طالاری

پژوهشگر:

بهنام عسکری لاسکی

تابستان ۱۳۹۳



دانشکده فنی مهندسی

گروه آموزشی عمران

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان:

بررسی رفتار تنش- کرنش و گسیختگی خاک‌های دست‌نخورده

پژوهشگر:

بهنام عسکری لاسکی

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی

نام و نام خانوادگی	مرتب‌ی علمی	سمت	امضاء
دکتر احد اوری	استادیار	استاد راهنما و رئیس کمیته‌ی داوران	
مهندس طاهر باهر طالاری	مریی	استاد مشاور	
دکتر علیرضا نگهدار	استادیار	داور	

شهریور - ۱۳۹۳

تقدیم بہ:

دنیا بی بی کران مہرورزی و عطفوت

”پدر و مادر عزیزم“

پاسکزاری:

شکریان نثار ایزدمنان که توفیق رارفتی را هم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم.
با استقامت از خداوند متعال، بر خود لازم می‌بینم از دلگرمی و تشویق اساتید خانواده و دوستانی که در نگارش این مجموعه مریاری نمودند قدر دانی نمایم.
با امتنان بیکران از راهنمایی‌های بی‌شائبه و بخردانه جناب آقای دکتر احد اوریا به عنوان استاد راهنما که، همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده‌اند

با تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرحه‌نوش جام تعلیم و تربیت
، فضیلت و انسانیت آنها بوده‌ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی‌ها و مشکلات بوده است.

با تشکر فراوان از جناب آقای مهندس طاهر باحاطالاری که با سه صدر مشاوره این تحقیق را پذیرفتند و در طول نگارش این مجموعه، همواره از نظرات
کارشناسان، بهره‌جتم.

با سپاس بی‌دریغ خدمت دوست گران‌بایه ام جناب آقای مهندس سید تقی بهبودی مصمم که مرا صمیمانه و مشتاقانه در انجام این پایان نامه یاری رسانده.

با سپاس فراوان از سرکار خانم مهندس نوح‌ساز یاسر، هم‌پایه و هم‌پیمانه در انجام این پایان نامه

با سپاس فراوان از استادان فرزانه و فرهیخته‌ای که در راه کسب علم و معرفت مراریاری نمودند

به آنان که در راه کسب دانش را به‌نجام بردند.

به آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه‌ی راهم بود.

نام خانوادگی دانشجو: عسکری لاسکی	نام: بهنام
عنوان پایان نامه: بررسی رفتار تنش- کرنش و گسیختگی خاک‌های دست نخورده	
استاد راهنما: دکتر احد اوریا	
استاد مشاور: مهندس طاهر باهرطالاری	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی عمران
گرایش: مکانیک خاک و پی	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: فنی مهندسی	تاریخ دفاع: ۹۳/۶/۱۸
	تعداد صفحات: ۱۸۶
<p>چکیده:</p> <p>بررسی بر روی پارامترهای مختلف خاک همواره به علت صعوبت تهیه نمونه دست نخورده با مشکلاتی چون عدم تعیین رفتار واقعی خاک همراه بوده، رایج‌ترین روش برای حل این مشکل با استفاده از انجام آزمایش بر روی خاک‌های دست‌خورده و سپس تقریب‌سازی نتایج با در نظر گرفتن ضرایبی خاص، برای خاک‌های دست‌خورده انجام می‌گیرد. طبیعتاً حل این مشکل بدین طریق، خطاهای زیادی را در بر می‌گیرد و در بعضی مواقع این خطاها غیرقابل چشم‌پوشی می‌باشد. روش نسبتاً جدیدتری نسبت به روش قبل نیز موجود می‌باشد که در این روش با مدل سازی خاک‌های دست‌خورده در آزمایشگاه بصورت مصنوعی، به بررسی رفتار خاک‌های دارای ساختار پرداخته می‌شود، که نسبت به روش قبل هم کارآمدتر و هم دقیق‌تر می‌باشد. در این تحقیق به بررسی رفتار تنش- کرنش و گسیختگی خاک‌های دست‌خورده پرداخته شده است. خاک‌های دست‌خورده یا دارای ساختار دارای دو پارامتر اصلی شامل تخلخل و رسوب شیمیایی بین ذرات که عامل ایجاد سمنتگی بین آنهاست، می‌باشند. همانطور که در بالا ذکر گردید بررسی بر روی اینگونه خاک‌ها به علت دشواری تهیه نمونه دست نخورده و یا دگرگونی رفتار آنها از حالت خاک به سنگ تحت شرایط محیطی نامناسب، عملاً غیرممکن می‌باشند، در این تحقیق با توجه به انجام آزمایش بر روی بیش از ۵۰ نمونه گرفته شده از خاک طبیعی در حالت کوچک مقیاس و عدم رسیدن به جواب صحیح، از آنها به علت دگرگونی رفتار آنها از حالت خاک به سنگ تحت شرایط نگهداری برای انجام آزمایش، سعی بر آن شد تا با مدل‌سازی دقیق ساختار اینگونه خاک‌ها بصورت مصنوعی (با استفاده از درصد سیمان پایین به عنوان عامل سیمانی‌شدن بین ذرات و فوم پلی‌استایرن جمع شونده برای ایجاد تخلخل مورد نیاز) تحت شرایط آزمایشگاهی، به بررسی رفتار تنش-کرنش و گسیختگی اینگونه خاک‌ها با انجام آزمایش‌های ادنومتر و برش مستقیم در فضاهای مختلف پرداخته شود. قابل ذکر است با توجه به پژوهش‌های انجام شده توسط محققین پیشین در زمینه خاک‌های سیمانی‌شده مصنوعی و نتایج بدست‌آمده از آنها که نشان می‌دهد، خاک‌های مدل شده با درصد سیمان پایین ساختار خاک را بهتر بوجود آورده و همچنین پوشش گسیختگی خاک‌های با درصد سیمان بالاتر موازی پوشش گسیختگی خاک‌های حاوی درصد سیمان پایین‌تر می‌باشد، در این پژوهش نیز با در نظر گرفتن این موضوع، ساختار خاک را با درصد سیمان پایین بوجود آورده و با انجام آزمایش‌های ذکر شده رفتار این نوع خاک را مورد ارزیابی قرار داده‌ایم.</p>	
کلید واژه‌ها: تنش-کرنش، گسیختگی، برش مستقیم، ادنومتر، سیمانی‌شده مصنوعی، دست‌خورده	

شماره و عنوان مطالب	صفحه
---------------------	------

فصل اول: کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- روش تحقیق	۳
۳-۱- اهداف	۴
۴-۱- ترتیب پایان نامه	۵

فصل دوم: پیشینه تحقیق

۱-۲- مقدمه	۷
۱-۱-۲- شکل گیری رسوبات با منشا آهکی	۹
۲-۱-۲- زیربنای رسوبات	۱۰
۳-۱-۲- سیمانی شدن طبیعی	۱۱
۲-۲- برخی پژوهش‌های انجام شده توسط محققین خارج از کشور	۱۳
۱-۲-۲- کونلون (۱۹۶۶)	۱۳
۲-۲-۲- ترزاقی و پک (۱۹۶۷)	۱۳
۳-۲-۲- سن گری (۱۹۷۲)	۱۴
۴-۲-۲- ساکسنا و لاستریکو (۱۹۷۸)	۱۵
۵-۲-۲- کلاف و همکاران (۱۹۸۰)	۱۶
۶-۲-۲- هولتز و کواک (۱۹۸۱)	۱۸
۷-۲-۲- آکار و التاهیر (۱۹۸۶)	۲۱
۸-۲-۲- رورک تی . دی . او (۱۹۸۸)	۲۲
۹-۲-۲- لد و همکاران (۱۹۸۹)	۲۳
۱۰-۲-۲- لروویل و واقان (۱۹۹۰)	۲۵
۱۱-۲-۲- کلوق و همکاران (۱۹۸۹-۹۱)	۲۵

- ۲۵..... ۱۲-۲-۲- ریکو و همکاران (۱۹۹۱)
- ۲۶..... ۱۳-۲-۲- میچل و نادى (۱۹۹۱)
- ۲۷..... ۱۴-۲-۲- دوبرير و دايك (۱۹۹۱)
- ۲۸..... ۱۵-۲-۲- ايرى (۱۹۹۳)
- ۲۹..... ۱۶-۲-۲- کوپ و اتکینسون (۱۹۹۳)
- ۲۹..... ۱۷-۲-۲- جنز و نوا (۱۹۹۳)
- ۲۹..... ۱۸-۲-۲- داس و همکاران (۱۹۹۵)
- ۲۹..... ۱۹-۲-۲- اداچى و اوکا (۱۹۹۵)
- ۳۰..... ۲۰-۲-۲- برگادو و همکاران (۱۹۹۶)
- ۳۰..... ۲۱-۲-۲- اسماعيل و ملا (۱۹۹۸)
- ۳۰..... ۲۲-۲-۲- کيوکوييلو و کوپ (۱۹۹۹)
- ۳۱..... ۲۳-۲-۲- ملاندراکى و تول (۱۹۹۶-۲۰۰۱)
- ۳۲..... ۲۴-۲-۲- واستالا و همکاران (۲۰۰۱)
- ۳۲..... ۳-۲- برخى مطالعات انجام شده توسط محققين داخل کشور.....
- ۳۲..... ۱-۳-۲- حائرى و همکاران ۱ (۲۰۰۲)
- ۳۲..... ۲-۳-۲- اسماعيلي و همکاران (۲۰۰۲)
- ۳۲..... ۳-۳-۲- حائرى و همکاران ۲ (۲۰۰۲)
- ۳۳..... ۴-۳-۲- اصغرى و همکاران (۲۰۰۳)
- ۳۳..... ۵-۳-۲- حائرى و حميدى (۲۰۰۹)
- ۳۳..... ۶-۳-۲- حائرى و راستگو (۱۳۸۷)
- ۳۴..... ۷-۳-۲- حميدى و حسن زاده (۱۳۸۹)
- ۳۴..... ۸-۳-۲- حميدى و روان بخش (۱۳۹۰)
- ۳۵..... ۹-۳-۲- لشكرى پور و همکاران (۱۳۹۲)

فصل سوم: مروری بر ادبیات فنی

- ۳۷-۱-۳- مقدمه بخش اول..... ۳۷
- ۳۷-۲-۳- تغییرات حجم خاک..... ۳۷
- ۴۰-۳-۳- عوامل موثر در تغییر حجم خاک..... ۴۰
- ۴۰-۱-۳-۳- عکس‌العمل فیزیکی بین ذرات..... ۴۰
- ۴۰-۲-۳-۳- عکس‌العمل فیزیکی و شیمیایی بین ذرات..... ۴۰
- ۴۰-۳-۳-۳- محیط شیمیایی و دارای مواد آلی..... ۴۰
- ۴۱-۴-۳-۳- خواص معدنی..... ۴۱
- ۴۱-۵-۳-۳- بافت و ساختار..... ۴۱
- ۴۲-۶-۳-۳- تاریخچه تنش..... ۴۲
- ۴۵-۷-۳-۳- دما..... ۴۵
- ۴۵-۸-۳-۳- تغییرات شیمیایی آب‌حفره‌ای..... ۴۵
- ۴۶-۹-۳-۳- دست‌خوردگی..... ۴۶
- ۴۷-۱۰-۳-۳- تاثیر دوام بار..... ۴۷
- ۴۹-۱۱-۳-۳- نسبت افزایش بار..... ۴۹
- ۴۹-۴-۳-۳- بررسی روابط تنش - کرنش..... ۴۹
- ۵۰-۱-۴-۳- خط حالت بحرانی خاک (معادله ترزاقی)..... ۵۰
- ۵۲-۲-۴-۳- رابطه باترفیلد..... ۵۲
- ۵۵-۳-۴-۳- رابطه لی و کاتر..... ۵۵
- ۵۷-۴-۴-۳- روش تجربی برای تخمین رابطه تخلخل - فشار..... ۵۷
- ۵۹-۵-۳-۳- مقدمه بخش دوم..... ۵۹
- ۶۰-۱-۵-۳- چگونگی گسیختگی خاک..... ۶۰
- ۶۰-۲-۵-۳- عوامل اصلی موثر بر گسیختگی خاک‌ها..... ۶۰
- ۶۱-۳-۵-۳- گونه‌های گسیختگی و تراکم پذیری خاک..... ۶۱
- ۶۲-۴-۵-۳- گسیختگی عمومی..... ۶۲
- ۶۳-۵-۵-۳- گسیختگی برشی موضعی..... ۶۳

۶۳	..... گسیختگی برشی منگنه ای (سوراخ کننده) ۳-۵-۶
۶۴	..... انواع معیارهای گسیختگی ۳-۶-۶
۶۵	..... معیار شکست کولمب ۳-۶-۱
۶۵	..... معیار شکست موهر کولمب ۳-۶-۲
۶۹	..... معیار شکست جانستون ۳-۶-۳
۷۰	..... معیار شکست هوک و براون ۳-۶-۴
۷۳	..... معیار شکست بیناوسکی ۳-۶-۵
۷۶	..... مقایسه کارایی معیارها برای پیش بینی شکست خاک های سیمانی شده ۳-۶-۶

فصل چهارم: شرح آزمایشات انجام گرفته، تحلیل و بررسی داده‌ها

۷۸	..... مقدمه ۴-۱-۱
۷۹	..... آزمایش در محل ۴-۲-۱
۸۲	..... انجام آزمایش بر روی خاک بکر ۴-۳-۱
۸۲	..... روش انجام آزمایش ۴-۳-۱-۱
۸۲	..... نتایج و تصاویر مربوط به خاک بکر در آزمایشگاه ۴-۳-۲
۸۷	..... خاک مصنوعی مورد مطالعه (دلیل مورد استفاده و ترکیبات) ۴-۳-۳
۸۷	..... سیلت و رس ۴-۳-۳-۱
۸۸	..... ماسه بادی ۴-۳-۳-۲
۸۸	..... سیمان ۴-۳-۳-۳
۸۹	..... فوم پلی استایرن (یونولیت یا کائوچو) ۴-۳-۳-۴
۸۹	..... درصد رطوبت ۴-۳-۳-۵
۹۰	..... مراحل تهیه نمونه برای دو دستگاه برش مستقیم (با نمونه‌های مکعبی و استوانه ای شکل) ۴-۳-۳-۶
۹۱	..... منحنی دانه بندی خاک مورد مطالعه و مشخصات خاک مورد نظر ۴-۳-۳-۷
۹۳	..... انجام آزمایش ادنومتري در دستگاه تحکیم سه لوله ۴-۴-۱
۹۳	..... مقدمه ۴-۴-۱-۱
۹۴	..... نمودار نسبت تخلخل - فشار ۴-۴-۲
۹۶	..... نحوه انجام آزمایش ادنومتري ۴-۴-۳

- ۹۸.....۴-۴-۴ نتایج آزمایشات ادنومتري برای خاک مصنوعی.....
- ۹۹.....۵-۴-۴ آزمایشات تکراری ادنومتري.....
- ۱۰۰.....۵-۴-۴ آزمایشات شاخص.....
- ۱۰۰.....۴-۵-۱-۱ آزمایش دانه بندی.....
- ۱۰۱.....۴-۵-۲-۲ آزمایش چگالی نسبی دانه ها.....
- ۱۰۲.....۴-۵-۳-۳ آزمایش هیدرومتری.....
- ۱۰۳.....۴-۵-۴-۴ آزمایش حد خمیری.....
- ۱۰۳.....۴-۵-۵-۵-۴ آزمایش حد روانی.....
- ۱۰۴.....۴-۶-۶-۶-۴ مجموعه آزمایشات برش مستقیم.....
- ۱۰۴.....۴-۶-۱-۱-۶-۴ مقدمه.....
- ۱۰۴.....۴-۶-۲-۲-۶-۴ آزمایش برش مستقیم.....
- ۱۰۷.....۴-۶-۳-۳-۶-۴ عوامل موثر بر مقاومت برشی خاکها.....
- ۱۰۸.....۴-۶-۴-۴-۶-۴ دستگاههای مورد استفاده در این پژوهش.....
- ۱۰۹.....۴-۶-۵-۵-۶-۴ نحوه انجام آزمایش برش مستقیم.....
- ۱۱۱.....۴-۶-۶-۶-۶-۴ نتایج و دادههای بدست آمده از آزمایش برش مستقیم در هر فضا.....
- ۱۱۲.....۴-۶-۶-۱-۶-۶-۴ محدوده مورد بررسی: در برگرنده ی تمام زون ها.....
- ۱۲۱.....۴-۶-۶-۲-۶-۶-۴ محدوده مورد بررسی: در برگرنده ی زون های ۱ و ۲.....
- ۱۲۹.....۴-۶-۶-۳-۶-۶-۴ محدوده مورد بررسی: در برگرنده ی زون های ۱ و ۲ و ۳ و ۴.....
- ۱۳۸.....۴-۶-۷-۷-۶-۴ تفسیر داده های بدست آمده از آزمایش برش مستقیم در هر فضا.....
- ۱۳۸.....۴-۶-۷-۱-۷-۶-۴ تفسیر دادههای مربوط به فضای $e-\ln p$
- ۱۳۹.....۴-۶-۷-۲-۷-۶-۴ تفسیر دادههای مربوط به فضای $\tau-\Delta x$
- ۱۴۰.....۴-۶-۷-۳-۷-۶-۴ تفسیر دادههای مربوط به فضای $\tau-\sigma$
- ۱۴۲.....۴-۶-۷-۴-۷-۶-۴ تفسیر دادههای مربوط به فضای $\varphi-p$
- ۱۴۴.....۴-۶-۷-۱-۴-۷-۶-۴ پژوهشهای محققین مرتبط با تاثیر دانسیته نسبی و تخلخل بر زاویه اصطکاک.....
- ۱۴۴.....۴-۶-۷-۱-۱-۴-۷-۶-۴ تاثیر دانسیته (تراکم) نسبی.....
- ۱۵۱.....۴-۶-۷-۲-۴-۷-۶-۴ مدل ارائه شده برای تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاکهای دست نخورده.....
- ۱۵۱.....۴-۶-۷-۳-۴-۷-۶-۴ رابطه ۱.....

۱۵۲.....	۴-۴-۷-۴- رابطه ۲
۱۵۲.....	۴-۷-۵- تفسیر داده های مربوط به فضای C-p
۱۵۳.....	۴-۷-۵-۱- مدل ارائه شده برای تغییرات چسبندگی خاک های دست نخورده
۱۵۴.....	۴-۷-۵-۲- رابطه ۱
۱۵۴.....	۴-۷-۵-۳- رابطه ۲
۱۵۵.....	۴-۸-۸- انجام آزمایشات تکراری
۱۵۵.....	۴-۸-۱- بازه ی مورد بررسی در برگیرنده ی زون های ۱ و ۲
۱۶۱.....	۴-۸-۲- بازه ی مورد بررسی در برگیرنده ی زون های ۳ و ۴ و ۵
۱۶۵.....	۴-۸-۳- بازه ی مورد بررسی در برگیرنده ی تمام زون ها

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۶۸.....	۵-۱- مقدمه
۱۶۸.....	۵-۲- نتایج فضای e-lnp
۱۶۹.....	۵-۳- نتایج آزمایشات برش مستقیم در فضای $\tau-\Delta x$
۱۷۰.....	۵-۴- نتایج $\tau-p$ با اعمال تنش های قائم کوچک و بزرگ
۱۷۱.....	۵-۵- نتایج مربوط به فضاها ی C-p و $\phi-p$
۱۷۴.....	۵-۶- نتایج کلی
۱۷۵.....	۵-۷- پیشنهادات
۱۷۶.....	فهرست منابع و مأخذ

فهرست جداول

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول ۳-۱: مقدار K برای انواع سنگ‌ها در معیار جانستون.....	۶۹
جدول ۳-۲: مقدار K برای انواع سنگ‌ها در معیار بیناوسکی.....	۷۴
جدول ۴-۱: خلاصه اطلاعات و نتایج غیر صحیح بدست آمده از آزمایش ادئومتری برای خاک طبیعی.....	۸۳
جدول ۴-۲: خلاصه اطلاعات و نتایج صحیح بدست آمده از آزمایش ادئومتری برای خاک طبیعی.....	۸۴
جدول ۴-۳: مشخصات خاک.....	۹۲
جدول ۴-۴: داده های مربوط به شکل ۴-۲۷.....	۹۸
جدول ۴-۵: نتایج آزمایش دانه بندی.....	۱۰۰
جدول ۴-۶: نتایج آزمایشات چگالی نسبی دانه‌ها برای خاک مصنوعی مورد مطالعه.....	۱۰۱
جدول ۴-۷: نتایج آزمایشات هیدرومتری برای ذرات عبوری از الک ۲۰۰.....	۱۰۲
جدول ۴-۸: نتایج آزمایشات حد خمیری.....	۱۰۳
جدول ۴-۹: نتایج آزمایشات حد روانی.....	۱۰۳
جدول ۴-۱۰: داده های مربوط به شکل ۴-۳۹.....	۱۱۲
جدول ۴-۱۱: اطلاعات نمودارهای تنش افقی بر حسب جابجایی افقی.....	۱۱۳
جدول ۴-۱۲: داده‌های مربوط به شکل ۴-۵۰.....	۱۲۱
جدول ۴-۱۳: اطلاعات نمودارهای تنش افقی بر حسب جابجایی افقی.....	۱۲۱
جدول ۴-۱۴: داده‌های مربوط به شکل ۴-۶۱.....	۱۲۹
جدول ۴-۱۵: اطلاعات نمودارهای تنش افقی بر حسب جابجایی افقی.....	۱۳۰

فهرست اشکال

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل ۲-۱: عوامل اصلی ایجاد پیوند بین دانه‌های خاک درشت‌دانه در مرحله شنگ زائی (بارتون، ۱۹۹۳).....	۷
شکل ۲-۲: انواع مختلف بافت درخاک‌های درشت‌دانه (سیتار و همکاران، ۱۹۸۳).....	۹
شکل ۲-۳: پراکندگی خاک‌های سیمانی شده در روی زمین (اصلاح شده توسط پروترو و شواب، ۱۹۹۶).....	۱۰
شکل ۲-۴: منحنی تحکیم برای خاک بکر و دست‌نخورده (ترزاقی و پک، ۱۹۶۷).....	۱۴
شکل ۲-۵: نتایج آزمایشات ۳ محوری زهکشی شده برای ماسه.....	۱۹
شکل ۲-۶: نتایج آزمایشات ۳ محوری زهکشی شده برای ماسه متراکم.....	۲۰
شکل ۲-۷: نسبت تخلخل بحرانی بر اساس شرایط فشار همه جانبه از آزمایشات ۳ محوری زهکشی شده روی ماسه.....	۲۱
شکل ۲-۸: تغییرات مقاومت کششی با دانسیته خشک برای نمونه‌های سیمانی شده مصنوعی و طبیعی.....	۲۸
شکل ۲-۹-۱: تغییرات G در فشار همه‌جانبه زیاد.....	۳۱
شکل ۲-۹-۲: تغییرات G در فشار همه‌جانبه کم.....	۳۱
شکل ۳-۱: منحنی تراکم برای چندین خاک (لامبه و ویتمن، ۱۹۶۹).....	۳۸
شکل ۳-۲: رابطه ایده آل نسبت تخلخل - تنش موثر برای یک خاک تراکم پذیر.....	۳۹
شکل ۳-۳: منحنی های تراکم مربوط به زمان‌های متفاوت بعد از اتمام تحکیم اولیه.....	۳۹
شکل ۳-۴: اثر بافت و غلظت الکتروولیت بر تورم رس متراکم (سیید و همکاران).....	۴۱
شکل ۳-۵: مقایسه پارامترهای تراکم‌پذیری و تورمی خاک عادی تحکیم‌یافته و پیش تحکیم‌یافته.....	۴۲
شکل ۳-۶: نسبت تخلخل در مقابل فشار.....	۴۳
شکل ۳-۷: تاثیر بارگذاری و باربرداری مجدد در نمودار تخلخل در مقابل لگاریتم فشار.....	۴۴
شکل ۳-۸: روش ترسیمی برای تعیین فشار پیش تحکیمی.....	۴۵
شکل ۳-۹: خصوصیات رس عادی تحکیم‌یافته با حساسیت کم تا متوسط.....	۴۶
شکل ۳-۱۰: خصوصیات تحکیم رس پیش تحکیم یافته با حساسیت کم تا متوسط.....	۴۷
شکل ۳-۱۱: تاثیر دوام بار در روی نمودار نسبت تخلخل - فشار.....	۴۸
شکل ۳-۱۲: تاثیر نسبت افزایش بار بر روی نمودار نسبت تخلخل - فشار.....	۴۹
شکل ۳-۱۳: تاثیر نسبت افزایش بار بر روی نمودار نسبت تخلخل - فشار.....	۵۰

- شکل ۳-۱۴: تراکم پذیری رس مکزیکوسیتی (گیرالت، ۱۹۶۰)..... ۵۲
- شکل ۳-۱۵: تراکم پذیری رس لندن (هنکل، ۱۹۵۶)..... ۵۳
- شکل ۳-۱۶: تراکم پذیری خاک‌های متفاوت (تیلور، ۱۹۴۸)..... ۵۴
- شکل ۳-۱۷: نمودار مقایسه رفتار تراکم پذیری خاک دارای ساختار و بدون ساختار..... ۵۵
- شکل ۳-۱۸: تاثیر نسبت افزایش بار بر روی نمودار نسبت تخلخل - فشار..... ۵۸
- شکل ۳-۱۹: نحوه گسیختگی خاک زیر پی به صورت گسیختگی عمومی..... ۶۲
- شکل ۳-۲۰: نحوه گسیختگی خاک زیر پی بصورت گسیختگی برش موضعی..... ۶۳
- شکل ۳-۲۱: نحوه گسیختگی خاک زیر پی به صورت گسیختگی برش سوراخ کننده..... ۶۴
- شکل ۳-۲۲: نحوه گسیختگی برشی شالوده های متکی بر ماسه (وسیک، ۱۹۷۳)..... ۶۴
- شکل ۳-۲۳: معیار شکست کولمب..... ۶۵
- شکل ۳-۲۴: نمودار معیار موهر کولمب..... ۶۷
- شکل ۳-۲۵: الگوی شکست خاک بر اساس معیار موهر کولمب..... ۶۸
- شکل ۳-۲۶: معیار شکست جانستون..... ۶۹
- شکل ۳-۲۷: منحنی شکست معیار هوک و براون..... ۷۰
- شکل ۳-۲۸: رابطه ی بین تنش‌های اصلی حداکثر و حداقل هوک - براون و معادل سازی با معیار موهر-کولمب..... ۷۲
- شکل ۳-۲۹: نمودار شکست بیناوسکی..... ۷۳
- شکل ۳-۳۰: مقایسه معیار شکست بیناوسکی در خاک‌های مختلف..... ۷۵
- شکل ۳-۳۱: مقایسه معیارهای شکست موهر-کولمب و هوک و براون تحت تنش‌های متفاوت..... ۷۶
- شکل ۴-۱: نمونه‌گیری در محل مرحله ۱..... ۸۰
- شکل ۴-۲: نمونه‌گیری در محل مرحله ۱ از نمایی دیگر..... ۸۰
- شکل ۴-۳: نمونه‌گیری در محل مرحله ۲..... ۸۱
- شکل ۴-۴: نمونه‌گیری در محل مرحله ۳..... ۸۱
- شکل ۴-۵: بسته بندی نمونه‌های دست‌نخورده..... ۸۱
- شکل ۴-۶: حمل نمونه‌ها به آزمایشگاه..... ۸۱
- شکل ۴-۷: خارج شدن نمونه‌ها از حالت طبیعی تحت شرایط آزمایشگاهی..... ۸۲
- شکل ۴-۸: نمودار غیر صحیح تنش قائم- تخلخل برای خاک بکر اخذ شده..... ۸۳
- شکل ۴-۹: نمودار صحیح تنش قائم- تخلخل برای خاک بکر اخذ شده..... ۸۴

- شکل ۴-۱۰: نمودار تنش برشی - جابجایی افقی برای خاک بکر اخذ شده..... ۸۵
- شکل ۴-۱۱: نمودار پوش گسیختگی برای خاک بکر اخذ شده..... ۸۵
- شکل ۴-۱۲: نمودار زاویه اصطکاک - تنش قائم برای خاک بکر اخذ شده..... ۸۶
- شکل ۴-۱۳: نمودار چسبندگی - تنش قائم برای خاک بکر اخذ شده..... ۸۶
- شکل ۴-۱۴: سیلت و رس مورد استفاده برای ساخت نمونه‌های مصنوعی..... ۸۷
- شکل ۴-۱۵: ماسه بادی مورد استفاده برای ساخت نمونه‌های مصنوعی..... ۸۸
- شکل ۴-۱۶: فوم پلی استایرن مورد استفاده برای ساخت نمونه‌های مصنوعی..... ۸۹
- شکل ۴-۱۷: ترکیب نمونه‌ها با یکدیگر برای ساخت نمونه‌ها..... ۹۰
- شکل ۴-۱۸: مخلوط و همگن سازی نمونه‌ها با یکدیگر با استفاده از درصد رطوبت..... ۹۰
- شکل ۴-۱۹: نمونه‌های مورد استفاده برای آزمایش در دستگاه برش مستقیم با نمونه مکعبی شکل..... ۹۱
- شکل ۴-۲۰: نمونه‌های مورد استفاده برای آزمایش در دستگاه برش مستقیم با نمونه استوانه ای شکل..... ۹۱
- شکل ۴-۲۱: منحنی دانه‌بندی خاک مصنوعی مورد مطالعه..... ۹۲
- شکل ۴-۲۲: دستگاه تحکیم یک بعدی (ادئومتر)..... ۹۳
- شکل ۴-۲۳: نمودار تغییر شکل - زمان در حین تحکیم برای یک بار معلوم..... ۹۴
- شکل ۴-۲۴: تغییرات ارتفاع نمونه در آزمایش تحکیم یک بعدی..... ۹۵
- شکل ۴-۲۵: منحنی تیپ برای نسبت تخلخل e در مقابل فشار تجمعی p ۹۶
- شکل ۴-۲۶: دستگاه تحکیم سه لوله مورد استفاده در این پژوهش..... ۹۷
- شکل ۴-۲۷: نمودار تنش قائم - تخلخل برای خاک مصنوعی مدل شده..... ۹۹
- شکل ۴-۲۸: نمودار تنش قائم - تخلخل برای ۱۱ آزمایش تکراری ادئومتری بر روی خاک مصنوعی..... ۹۹
- شکل ۴-۲۹: منحنی دانه‌بندی سه نمونه خاک محوطه دانشگاه محقق اردبیلی..... ۱۰۱
- شکل ۴-۳۰: منحنی هیدرومتری قسمت رد شده از الک نمره ۲۰۰ سه نمونه خاک..... ۱۰۲
- شکل ۴-۳۱: منحنی حد روانی خاک مصنوعی..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳۲: نمایی شماتیک از دستگاه برش مستقیم..... ۱۰۵
- شکل ۴-۳۳: آزمایش برش مستقیم روی ماسه متراکم، نیمه متراکم و خشک..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۴: دستگاه برش مستقیم مورد استفاده در تحقیق با نمونه‌های استوانه ای شکل..... ۱۰۸
- شکل ۴-۳۵: دستگاه برش مستقیم مورد استفاده در تحقیق با نمونه‌های مکعبی شکل..... ۱۰۹
- شکل ۴-۳۶: نمونه آماده برای انجام آزمایش در داخل جعبه برش..... ۱۱۰

- شکل ۴-۳۷: نمونه گسیخته شده پس از انجام آزمایش برش مستقیم..... ۱۱۰
- شکل ۴-۳۸: نمونه گسیخته شده پس از انجام آزمایش برش مستقیم از نمایی دیگر..... ۱۱۱
- شکل ۴-۳۹: نمودار تنش قائم - تخلخل (محدوده مورد بررسی: تمام زون ها)..... ۱۱۷
- شکل ۴-۴۰: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۱۰ کیلو پاسکال..... ۱۱۸
- شکل ۴-۴۱: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۳۰ کیلو پاسکال..... ۱۱۸
- شکل ۴-۴۲: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۵۰ کیلو پاسکال..... ۱۱۸
- شکل ۴-۴۳: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۱۰۰ کیلو پاسکال..... ۱۱۸
- شکل ۴-۴۴: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۲۰۰ کیلو پاسکال..... ۱۱۹
- شکل ۴-۴۵: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۴۰۰ کیلو پاسکال..... ۱۱۹
- شکل ۴-۴۶: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۵۰۰ کیلو پاسکال..... ۱۱۹
- شکل ۴-۴۷: نمودار پوش گسیختگی (محدوده مورد بررسی: تمام زون ها)..... ۱۲۰
- شکل ۴-۴۸: نمودار زاویه اصطکاک - تنش قائم (محدوده مورد بررسی: تمام زون ها)..... ۱۲۰
- شکل ۴-۴۹: نمودار چسبندگی - تنش قائم (محدوده مورد بررسی: تمام زون ها)..... ۱۲۰
- شکل ۴-۵۰: نمودار تنش قائم - تخلخل (محدوده مورد بررسی: زون های ۱ و ۲)..... ۱۲۵
- شکل ۴-۵۱: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۵ کیلو پاسکال..... ۱۲۵
- شکل ۴-۵۲: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۱۵ کیلو پاسکال..... ۱۲۵
- شکل ۴-۵۳: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۲۵ کیلو پاسکال..... ۱۲۶
- شکل ۴-۵۴: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۳۵ کیلو پاسکال..... ۱۲۶
- شکل ۴-۵۵: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۵۵ کیلو پاسکال..... ۱۲۶
- شکل ۴-۵۶: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۷۵ کیلو پاسکال..... ۱۲۷
- شکل ۴-۵۷: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۵۹ کیلو پاسکال..... ۱۲۷
- شکل ۴-۵۸: نمودار پوش گسیختگی (محدوده مورد بررسی: زون های ۱ و ۲)..... ۱۲۷
- شکل ۴-۵۹: نمودار زاویه اصطکاک - تنش قائم (محدوده مورد بررسی: زون های ۱ و ۲)..... ۱۲۸
- شکل ۴-۶۰: نمودار چسبندگی - تنش قائم (محدوده مورد بررسی: زون های ۱ و ۲)..... ۱۲۸
- شکل ۴-۶۱: نمودار تنش قائم - تخلخل (محدوده مورد بررسی: زون های ۳ و ۴ و ۵)..... ۱۳۴
- شکل ۴-۶۲: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۱۰ کیلو پاسکال..... ۱۳۴
- شکل ۴-۶۳: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۲۰ کیلو پاسکال..... ۱۳۴

- شکل ۴-۶۴: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۴۰ کیلو پاسکال.....۱۳۵
- شکل ۴-۶۵: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۸۰ کیلو پاسکال.....۱۳۵
- شکل ۴-۶۶: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۱۳۰ کیلو پاسکال.....۱۳۵
- شکل ۴-۶۷: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۲۳۰ کیلو پاسکال.....۱۳۶
- شکل ۴-۶۸: نمودار تنش افقی بر حسب جابجایی افقی با تنش قائم ۳۳۰ کیلو پاسکال.....۱۳۶
- شکل ۴-۶۹: نمودار پوش گسیختگی (محدوده مورد بررسی زون های ۳ و ۴ و ۵).....۱۳۶
- شکل ۴-۷۰: نمودار زاویه اصطکاک- تنش قائم (محدوده مورد بررسی زون های ۳ و ۴ و ۵).....۱۳۷
- شکل ۴-۷۱: نمودار چسبندگی - تنش قائم (محدوده مورد بررسی زون های ۳ و ۴ و ۵).....۱۳۷
- شکل ۴-۷۲: دانسیته نسبی بر حسب قطر متوسط.....۱۴۵
- شکل ۴-۷۳: زاویه اصطکاک داخلی سه خاک مختلف به عنوان تابعی از دانسیته نسبی.....۱۴۶
- شکل ۴-۷۴: زاویه اصطکاک داخلی بر حسب دانسیته نسبی.....۱۴۶
- شکل ۴-۷۵: رابطه‌ی میان زاویه اصطکاک داخلی و تخلخل.....۱۴۷
- شکل ۴-۷۶: زاویه اصطکاک داخلی متأثر از شکل ذرات بر حسب نسبت تخلخل.....۱۴۸
- شکل ۴-۷۷: اثر شکل ذرات و تخلخل نسبی بر زاویه اصطکاک.....۱۴۹
- شکل ۴-۷۸: اثر تخلخل و اندازه متوسط دانه‌ها بر زاویه اصطکاک داخلی.....۱۴۹
- شکل ۴-۷۹: اثر اندازه ذرات بر زاویه اصطکاک داخلی.....۱۵۰
- شکل ۴-۸۰: نمودار تنش - تخلخل (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۱ و ۲).....۱۵۵
- شکل ۴-۸۱: نمودار تنش برشی-جابجایی افقی ۷ نمونه (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۱ و ۲).....۱۵۵
- شکل ۴-۸۲: پوش گسیختگی (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۱ و ۲).....۱۵۶
- شکل ۴-۸۳: نمودار زاویه اصطکاک- تنش قائم (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۱ و ۲).....۱۵۶
- شکل ۴-۸۴: نمودار چسبندگی - تنش قائم (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۱ و ۲).....۱۵۶
- شکل ۴-۸۵: نمودار تنش - تخلخل (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲).....۱۵۷
- شکل ۴-۸۶: نمودار تنش برشی-جابجایی افقی ۷ نمونه (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲).....۱۵۷
- شکل ۴-۸۷: پوش گسیختگی (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲).....۱۵۸
- شکل ۴-۸۸: نمودار زاویه اصطکاک- تنش قائم (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲).....۱۵۸
- شکل ۴-۸۹: نمودار چسبندگی - تنش قائم (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲).....۱۵۸
- شکل ۴-۹۰: نمودار تنش - تخلخل (آزمایش تکراری ۳- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲).....۱۵۹

- شکل ۴-۹۱: نمودار تنش برشی - جابجایی افقی ۷ نمونه (آزمایش تکراری ۳- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲)..... ۱۵۹
- شکل ۴-۹۲: پوش گسیختگی (آزمایش تکراری ۳- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲)..... ۱۶۰
- شکل ۴-۹۳: نمودار زاویه اصطکاک- تنش قائم (آزمایش تکراری ۳- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲)..... ۱۶۰
- شکل ۴-۹۴: نمودار چسبندگی - تنش قائم (آزمایش تکراری ۳- محدوده مورد بررسی زون های ۱ و ۲)..... ۱۶۰
- شکل ۴-۹۵: نمودار تنش - تخلخل (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۳ و ۴ و ۵)..... ۱۶۱
- شکل ۴-۹۶: نمودار تنش برشی - جابجایی افقی ۷ نمونه (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۳ و ۴ و ۵) .. ۱۶۱
- شکل ۴-۹۷: پوش گسیختگی (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۳ و ۴ و ۵)..... ۱۶۲
- شکل ۴-۹۸: نمودار زاویه اصطکاک- تنش قائم (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۳ و ۴ و ۵)..... ۱۶۲
- شکل ۴-۹۹: نمودار چسبندگی - تنش قائم (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: زون های ۳ و ۴ و ۵)..... ۱۶۲
- شکل ۴-۱۰۰: نمودار تنش - تخلخل (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۳ و ۴ و ۵)..... ۱۶۳
- شکل ۴-۱۰۱: نمودار تنش برشی - جابجایی افقی ۷ نمونه (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۳ و ۴ و ۵) .. ۱۶۳
- شکل ۴-۱۰۲: پوش گسیختگی (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۳ و ۴ و ۵)..... ۱۶۴
- شکل ۴-۱۰۳: نمودار زاویه اصطکاک- تنش قائم (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۳ و ۴ و ۵)..... ۱۶۴
- شکل ۴-۱۰۴: نمودار چسبندگی - تنش قائم (آزمایش تکراری ۲- محدوده مورد بررسی زون های ۳ و ۴ و ۵)..... ۱۶۴
- شکل ۴-۱۰۵: نمودار تنش - تخلخل (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: تمام زون ها)..... ۱۶۵
- شکل ۴-۱۰۶: نمودار تنش برشی - جابجایی افقی ۷ نمونه (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: تمام زون ها)..... ۱۶۵
- شکل ۴-۱۰۷: پوش گسیختگی (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: تمام زون ها)..... ۱۶۶
- شکل ۴-۱۰۸: نمودار زاویه اصطکاک- تنش قائم (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: تمام زون ها)..... ۱۶۶
- شکل ۴-۱۰۹: نمودار چسبندگی - تنش قائم (آزمایش تکراری ۱- محدوده مورد بررسی: تمام زون ها)..... ۱۶۶