دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان: بررسی پارامترهای مؤثر بر رفتار خزشی ماسه تزریق‌شده با سیمان

نام نویسنده: سلمان بختیاری کشکجانی

نام استاد/اساتید راهنما: دکتر محمد ملکی

دانشکده : مهندسی	**گروه آموزشی: مهندسی عمران**	
رشته تحصیلی: مهندسی عمران-عمران	**گرایش تحصیلی: مکانیک خاک و پی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: ۱۳۸۷/۹/۴	**تاریخ دفاع: ۱۳۸۹/۷/۱۴**	**تعداد صفحات: ۱۳۰**

چکیده:

کمبود ساختگاه مناسب برای اجرای سدها و مشکلات موجود در اجرای تونلها در خاکهای دانه‌ای سبب گردیده که عملیات تزریق با هدف بهبود خواص خاک، مورد توجه مهندسین ژئوتکنیک قرار گیرد. یکی از مسائل مهم در رفتار محیطهای تزریق‌شده که در مطالعات آزمایشگاهی مشاهده شده، تأثیر تغییرشکلهای تابع زمان در رفتار ماسه‌های تزریق‌شده است. آزمایشهای انجام شده نشان می‌دهد که در اثر تغییرشکلهای تابع زمان نمونه‌های ماسه‌ای تزریق‌شده تحت تنش انحرافی کمتر نسبت به مقاومت نهایی با خرابی همراه‌اند. رفتار تابع زمان ماسه‌های تزریق‌شده با دوغابهای شیمیایی مورد توجه محققین بوده است، اما در مورد ماسه‌های تزریق‌شده با دوغابهای سیمانی و به خصوص دوغابهای بنتونیتی که در پروژه‌های عملی در کشور ما کاربرد بیشتری دارند و تأثیر پارامترهای مختلف بر آن، مطالعات زیادی صورت نگرفته است. همچنین در مطالعات انجام شده، مسیرهای مختلف بارگذاری که ممکن است در پروژه‌های عملی رخ دهد، مورد بررسی قرار نگرفته است. یکی از این مسیرهای مهم بارگذاری مسیر کاهش تنش جانبی بوده که در عملیات حفر تونل و گودبرداری اتفاق می‌افتد.

هدف از پایان‌نامه حاضر مطالعه رفتار تابع زمان ماسه تزریق‌شده با دوغابهای سیمانی با درصدهای مختلف بنتونیت (دوغابهای بنتونیتی) است. بدین منظور در این تحقیق از دستگاه سه‌محوری خزش ساخته شده در دانشگاه بوعلی سینا استفاده گردید. ماسه مورد استفاده برای نمونه‌سازی از بستر رودخانه شوشاب ملایر تهیه شد. دوغابهای سیمانی با نسبتهای مختلف آب به سیمان و درصدهای مختلف بنتونیت برای تزریق در نمونه‌ها استفاده شد. ابتدا یک سری آزمایش فشاری محدودنشده و محدودشده بر روی نمونه‌های ساخته شده صورت گرفت. آزمایشهای خزشی به دو صورت یک‌مرحله‌ای و بارگذاری افزایشی با هدف بررسی رفتار تابع زمان ماسه‌های تزریق‌شده با دوغابهای سیمانی انجام شد.

علاوه بر آن به منظور شبیه‌سازی مسیر تنش به وجود آمده در پروژه‌های تحت باربرداری، تأثیر کاهش تنش جانبی بر رفتار تابع زمان ماسه تزریق‌شده مورد مطالعه قرار گرفت. با هدف مطالعه تأثیر فواصل زمانی بارگذاری، آزمایشهایی با بازه‌های زمانی مختلف بارگذاری صورت گرفت.

نتایج نشان می‌دهد که تغییرشکلهای تابع زمان سبب خرابی ماسه‌های تزریق‌شده تحت تنش انحرافی کمتر نسبت به مقاومت فشاری نمونه، می‌شود. همچنین کاهش تنش جانبی باعث افزایش کرنش خزشی شده و ممکن است منجر به خرابی نمونه‌ها در یک سطح تنش انحرافی ثابت گردد. عواملی نظیر نسبت آب به سیمان، درصد بنتونیت، میزان تنش همه‌جانبه، مسیر تنش اعمال شده و فواصل زمانی بارگذاری بر روی رفتار وابسته به زمان ماسه‌های تزریق‌شده تأثیرگذار هستند.

واژه‌های کلیدی: ماسه تزریق‌شده، رفتار تابع زمان، خزش، دوغاب سیمان-بنتونیت، مسیر تنش.

دانشکده مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران
گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان:
بررسی عوامل مؤثر بر رفتار خزشی ماسه تزریق‌شده با سیمان

استاد راهنما:
دکتر محمد ملکی

پژوهشگر:
سلمان بختیاری کشکجانی

تابستان ۱۳۸۹

کد رهگیری:۲۰۲۹۳۶۰

فرم مشخصات پایان‌نامه

عنوان: بررسی عوامل مؤثر بر رفتار تابع زمان ماسه‌های تزریق‌شده با سیمان

نام نویسنده: سلمان بختیاری کشکجانی

نام استاد/اساتید راهنما: دکتر محمد ملکی

نام استاد/اساتید مشاور:-

دانشکده: مهندسی

گروه آموزشی: مهندسی عمران - عمران

رشته تحصیلی: مکانیک خاک و پی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ تصویب: ۱۳۸۷/۹/٤

تاریخ دفاع: ۱۳۸۹/۷/۱٤

تعداد صفحات: ۱۳۰

واژه‌های کلیدی: ماسه تزریق‌شده، رفتار تابع زمان، خزش، دوغاب سیمان-بنتونیت، مسیر تنش.

Thesis Information

Title: Factors Affecting the Creep Behavior of Grouted Sand
Author: Salman Bakhtiary Koshkojany
Supervisor(s): Dr. M. Maleki
Advisor(s):-
Faculty: Engineering
Department: Civil Engineering
Subject: Civil
Field: Soil Mechanics
Degree: Master of Science
Approval Date: Nov 25, 2008
Defense Date: Oct 6, 2010
Number of Pages: 130
Key Words: Grouted sand, Time dependent behavior, Creep, Cement-Bentonite grouts, Stress path.

دانشکده مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران
گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان:
بررسی عوامل مؤثر بر رفتار خزشی ماسه تزریق‌شده با سیمان

استاد راهنما:
دکتر محمد ملکی

پژوهشگر:
سلمان بختیاری کشکجانی

تابستان ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به

پدر و مادر

عزیز و مهربانم

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از زحمات و راهنمایی‌های استاد گرانمایه جناب آقای **دکتر محمد ملکی** که در نقش استاد راهنما همواره مرا از حمایتهای علمی و غیر علمی خویش بهره‌مند نمودند کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

از اساتید محترم جناب آقای **دکتر وحیدرضا اوحدی** و جناب آقای **دکتر مهدی اثنی‌عشری** که قضاوت این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند سپاسگزارم.

از اساتید محترم و بزرگواری که در طول دوران تحصیل افتخار شاگردی در محضرشان را داشته‌ام تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از تمامی دوستانی که به عناوین مختلف مرا در تکمیل این پایان‌نامه یاری نمودند، به ویژه دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک خاک و پی سال ۱۳۸۶ صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد.

در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانس ها و یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه بوعلی (یا استاد راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود.

در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

دانشگاه بوعلی سینا
مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان: بررسی پارامترهای مؤثر بر رفتار خزشی ماسه تزریق‌شده با سیمان

نام نویسنده: سلمان بختیاری کشکجانی

نام استاد/اساتید راهنما: دکتر محمد ملکی

دانشکده : مهندسی	**گروه آموزشی: مهندسی عمران**	
رشته تحصیلی: مهندسی عمران-عمران	**گرایش تحصیلی: مکانیک خاک و پی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: ۱۳۸۷/۹/۴	**تاریخ دفاع: ۱۳۸۹/۷/۱۴**	**تعداد صفحات: ۱۳۰**

چکیده:

کمبود ساختگاه مناسب برای اجرای سدها و مشکلات موجود در اجرای تونلها در خاکهای دانه‌ای سبب گردیده که عملیات تزریق با هدف بهبود خواص خاک، مورد توجه مهندسین ژئوتکنیک قرار گیرد. یکی از مسائل مهم در رفتار محیطهای تزریق‌شده که در مطالعات آزمایشگاهی مشاهده شده، تأثیر تغییرشکلهای تابع زمان در رفتار ماسه‌های تزریق‌شده است. آزمایشهای انجام شده نشان می‌دهد که در اثر تغییرشکلهای تابع زمان نمونه‌های ماسه‌ای تزریق‌شده تحت تنش انحرافی کمتر نسبت به مقاومت نهایی با خرابی همراه‌اند. رفتار تابع زمان ماسه‌های تزریق‌شده با دوغابهای شیمیایی مورد توجه محققین بوده است، اما در مورد ماسه‌های تزریق‌شده با دوغابهای سیمانی و به خصوص دوغابهای بنتونیتی که در پروژه‌های عملی در کشور ما کاربرد بیشتری دارند و تأثیر پارامترهای مختلف بر آن، مطالعات زیادی صورت نگرفته است. همچنین در مطالعات انجام شده، مسیرهای مختلف بارگذاری که ممکن است در پروژه‌های عملی رخ دهد، مورد بررسی قرار نگرفته است. یکی از این مسیرهای مهم بارگذاری مسیر کاهش تنش جانبی بوده که در عملیات حفر تونل و گودبرداری اتفاق می‌افتد.

هدف از پایان‌نامه حاضر مطالعه رفتار تابع زمان ماسه تزریق‌شده با دوغابهای سیمانی با درصدهای مختلف بنتونیت (دوغابهای بنتونیتی) است. بدین منظور در این تحقیق از دستگاه سه‌محوری خزش ساخته شده در دانشگاه بوعلی سینا استفاده گردید. ماسه مورد استفاده برای نمونه‌سازی از بستر رودخانه شوشاب ملایر تهیه شد. دوغابهای سیمانی با نسبتهای مختلف آب به سیمان و درصدهای مختلف بنتونیت برای تزریق در نمونه‌ها استفاده شد. ابتدا یک سری آزمایش فشاری محدودنشده و محدودشده بر روی نمونه‌های ساخته شده صورت گرفت. آزمایشهای خزشی به دو صورت

یک‌مرحله‌ای و بارگذاری افزایشی با هدف بررسی رفتار تابع زمان ماسه‌های تزریق‌شده با دوغابهای سیمانی انجام شد. علاوه بر آن به منظور شبیه‌سازی مسیر تنش به وجود آمده در پروژه‌های تحت باربرداری، تأثیر کاهش تنش جانبی بر رفتار تابع زمان ماسه تزریق‌شده مورد مطالعه قرار گرفت. با هدف مطالعه تأثیر فواصل زمانی بارگذاری، آزمایشهایی با بازه‌های زمانی مختلف بارگذاری صورت گرفت.

نتایج نشان می‌دهد که تغییرشکلهای تابع زمان سبب خرابی ماسه‌های تزریق‌شده تحت تنش انحرافی کمتر نسبت به مقاومت فشاری نمونه، می‌شود. همچنین کاهش تنش جانبی باعث افزایش کرنش خزشی شده و ممکن است منجر به خرابی نمونه‌ها در یک سطح تنش انحرافی ثابت گردد. عواملی نظیر نسبت آب به سیمان، درصد بنتونیت، میزان تنش همه‌جانبه، مسیر تنش اعمال شده و فواصل زمانی بارگذاری بر روی رفتار وابسته به زمان ماسه‌های تزریق‌شده تأثیرگذار هستند.

واژه‌های کلیدی: ماسه تزریق‌شده، رفتار تابع زمان، خزش، دوغاب سیمان-بنتونیت، مسیر تنش.

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه..... ۲
۱-۲- تعریف مسأله و بیان نکات اصلی تحقیق..... ۵
۱-۳- سابقه و ضرورت انجام تحقیق..... ۶
۱-۴- اهداف تحقیق حاضر..... ۷
۱-۵- محدودیتها..... ۷

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

۲-۱- مقدمه..... ۱۰
۲-۲- پدیده خزش..... ۱۲
۲-۲-۱- آزمایش خزش در خاک..... ۱۳
۲-۳- خزش سه‌محوری ماسه..... ۱۵
۲-۴- اهمیت بررسی رفتار خزشی در ماسه‌های تزریق‌شده..... ۱۶
۲-۵- کاربردهای تزریق..... ۱۸
۲-۶- طبقه‌بندی تزریق..... ۱۸
۲-۶-۱- تزریق نفوذی (Penetration Grouting)..... ۱۹
۲-۶-۲- تزریق جابجایی (Displacement Grouting)..... ۱۹
۲-۶-۳- تزریق تحکیمی (Consolidation Grouting)..... ۲۰
۲-۶-۴- تزریق اختلاط..... ۲۰
۲-۶-۵- تزریق اتصالی (Connection Grouting) و تزریق تماسی (Contact Grouting)..... ۲۱
۲-۷- دستگاهها و تجهیزات تزریق..... ۲۱
۲-۷-۱- همزن (Mixer)..... ۲۲
۲-۷-۲-پمپهای تزریق..... ۲۳
۲-۷-۳- دستگاههای حفر چال و گمانه جهت انجام عملیات تزریق..... ۲۳
۲-۷-۴- خطوط تزریق و متعلقات آن..... ۲۴
۲-۷-۴-۱- نازلهای تزریق (Packers)..... ۲۴
۲-۷-۴-۲- ابزارسنجش و فشارسنجها..... ۲۵
۲-۸- روند نفوذ دوغاب در شکافها و حفره‌ها..... ۲۵
۲-۹- روند نفوذ دوغاب در خاکهای دانه‌ای..... ۲۷
۲-۱۰- مواد مورد استفاده در تزریق در مقیاس عملی..... ۲۸

۲-۱۰-۱- دوغابهای سیمانی..... ۲۹
۲-۱۰-۱-۱- دوغابهای بنتونیتی..... ۳۰
۲-۱۰-۱-۲- مزایای دوغابهای بنتونیتی..... ۳۱
۲-۱۰-۲- دوغابهای شیمیایی..... ۳۳
۲-۱۱- مواد دوغابهای سیمانی..... ۳۴
۲-۱۱-۱- سیمان ۳۴
۲-۱۱-۲- مصالح دانه‌ای..... ۳۵
۲-۱۱-۳- افزودنیها..... ۳۵
۲-۱۱-۳-۱- افزودنیهای معدنی ۳۶
۲-۱۱-۳-۲- افزودنیهای شیمیایی..... ۳۷
۲-۱۲- مواد دوغابهای شیمیایی..... ۳۸
۲-۱۲-۱- سیلیکات سدیم (Sodium Silicate) ۳۸
۲-۱۲-۲- واکنش‌دهنده‌ها ۳۹
۲-۱۲-۲-۱- انواع فرایندهای تزریق سیلیکات‌سدیم ۳۹
۲-۱۲-۳- اکریل‌آمید..... ۴۰
۲-۱۲-۴- لیگنوسولفوناتها..... ۴۰
۲-۱۳- فشار تزریق..... ۴۱
۲-۱۴- مطالعه موردی چند پروژه تزریق در مقیاس عملی..... ۴۱
۲-۱۵- تزریق در ماسه در مقیاس آزمایشگاهی..... ۴۶
۲-۱۵-۱- روشهای مختلف تهیه نمونه ماسه‌ای..... ۴۶
۲-۱۵-۱-۱- تراکم دستی (Manual Compaction)..... ۴۷
۲-۱۵-۱-۲- ریزش (Pluviation) ۴۸
۲-۱۵-۲- مواد مورد استفاده در تزریق در مقیاس آزمایشگاهی..... ۴۸
۲-۱۵-۲-۱- سیلیکات سدیم (Sodium Silicate Grout)..... ۴۸
۲-۱۵-۲-۲- دوغاب سیمان ریزدانه (Microfine Cement Grout)..... ۴۹
۲-۱۵-۲-۳- دوغاب معدنی (Mineral Cement Grout) ۴۹
۲-۱۵-۳- روشهای کنترل موفقیت تزریق..... ۴۹
۲-۱۵-۳-۱- نسبت حجمی..... ۵۰
۲-۱۵-۳-۲- حجم دوغاب خروجی ۵۰
۲-۱۵-۳-۳- اندازه‌گیری فشار تزریق..... ۵۰
۲-۱۵-۴- روشهای عمل‌آوری نمونه‌ها..... ۵۲
۲-۱۵-۴-۱- عمل‌آوری مرطوب..... ۵۲
۲-۱۵-۴-۲- حفظ رطوبت اولیه ۵۲

۲-۱۶- انواع آزمایشهای خزشی ۵۲
۲-۱۶-۱- آزمایشهای خزشی محدوده‌نشده..... ۵۲
۲-۱۶-۱-۱- آزمایشهای خزشی محدودنشده بلندمدت (یک مرحله‌ای)..... ۵۳
۲-۱۶-۱-۲- آزمایشهای خزشی محدودنشده کوتاه‌مدت افزایشی..... ۵۳
۲-۱۶-۲- آزمایشهای خزشی محدودشده..... ۵۴
۲-۱۷- عوامل مؤثر بر رفتار ماسه تزریق‌شده..... ۵۵
۲-۱۷-۱- تأثیر نوع و دانه‌بندی ماسه ۵۵
۲-۱۷-۲- تأثیر دانسیته نسبی نمونه‌ها ۵۷
۲-۱۷-۳- تأثیر تنش همه‌جانبه (σ_3) بر مقاومت فشاری ماسه تزریق‌شده..... ۵۸
۲-۱۷-۴- تأثیر تنش همه‌جانبه (σ_3) بر رفتار تابع زمان ماسه تزریق‌شده..... ۶۰
۲-۱۷-۵- تأثیر نوع آزمایش خزشی بر رفتار تابع زمان ماسه تزریق‌شده..... ۶۲
۲-۱۷-۶- تأثیر زمان عمل‌آوری نمونه‌ها بر رفتار ماسه تزریق‌شده..... ۶۳
۲-۱۷-۷- تأثیر نوع ماده تزریق بر رفتار تابع زمان ماسه تزریق‌شده..... ۶۴
۲-۱۸- نتیجه‌گیری..... ۶۴

فصل سوم: مصالح و روشهای آزمایش

۳-۱- مقدمه..... ۶۷
۳-۲- شرح دستگاه سه‌محوری خزش..... ۶۸
۳-۲-۱- وسایل ایجادکننده تنش همه‌جانبه (σ_3) ۶۸
۳-۲-۲- وسایل ایجادکننده تنش انحرافی (نیروی محوری)..... ۶۸
۳-۲-۳- وسایل اندازه‌گیری تغییرمکان قائم ۶۹
۳-۳- روش کار با دستگاه سه‌محوری خزش..... ۶۹
۳-۴- مصالح و روشهای آزمایش..... ۷۳
۳-۴-۱- مصالح به کار برده شده در تحقیق..... ۷۳
۳-۴-۲- آزمایش دانه‌بندی..... ۷۴
۳-۴-۳- آزمایش تعیین وزن مخصوص ویژه (G_s)..... ۷۴
۳-۴-۴- آزمایش تعیین ضریب نفوذپذیری با بار ثابت..... ۷۶
۳-۴-۵- آزمایش تعیین وزن مخصوص حداقل و حداکثر ماسه ۷۶
۳-۴-۶- انواع دوغابهای مورد استفاده در نمونه‌سازی ۷۷
۳-۴-۶-۱- سیمان ۷۸
۳-۴-۶-۲- بنتونیت..... ۷۸
۳-۵- روش ساخت نمونه‌ها..... ۸۰

۳-۶- برنامه آزمایشهای انجام شده ۸۸

فصل چهارم: انجام آزمایشها و تحلیل نتایج

۴-۱- مقدمه..... ۹۰
۴-۲- آزمایشهای فشاری محدودنشده..... ۹۱
۴-۳- تأثیر افزایش تنش همه‌جانبه بر روی مقاومت فشاری محدودشده ماسه تزریق‌شده..... ۹۴
۴-۴- بررسی رفتار خزشی ماسه تزریق‌شده تحت مسیر سه‌محوری کلاسیک..... ۹۸
۴-۵- آزمایشهای خزش تحت مسیر سه‌محوری با بارگذاری مرحله‌ای..... ۱۰۵
۴-۶- رفتار خزشی ماسه تزریق‌شده تحت مسیر سه‌محوری با کاهش تنش جانبی..... ۱۱۰
۴-۷- مقایسه مسیرهای تنش بارگذاری مرحله‌ای و کاهش تنش جانبی..... ۱۱۴
۴-۸- بررسی تأثیر میزان تنش همه‌جانبه بر روی خزش محوری در ماسه تزریق‌شده..... ۱۱۴
۴-۹- بررسی تأثیر فواصل زمانی بارگذاری بر رفتارخزشی ماسه تزریق‌شده تحت مسیر سه‌محوری..... ۱۱۶

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۱۲۲
۵-۲- پیشنهادها جهت تحقیقات بعدی..... ۱۲۴

فهرست مراجع..... ۱۲۵

فصل اول:

شکل ۱-۱- پمپ تزریق ضربه‌ای.....۴

فصل دوم:

شکل۲-۱- منحنی رفتاری نمونه خاک در آزمایش خزش.....۱۳
شکل ۲-۲- نمودار کرنش در مقابل زمان برای ماسه تزریق شده با سیلیکات.....۱۷
شکل۲-۳- انواع پکرهای مورد استفاده در تزریق.....۲۵
شکل ۲-۴- نشست‌کردن ذرات معلق در دوغاب در خاکهای دانه‌ای در اثر کاهش سرعت جریان.....۲۷
شکل ۲-۵- فیلتر شدن آب از ذرات ته‌نشین شده در اثر افزایش گرادیان فشار.....۲۸
شکل۲-۶-رسوبگذاری دوغابهای سیمان با چگالیهای مختلف و بنتونیت اضافه شده.....۳۲
شکل ۲-۷- اجرای ستونهای افقی تزریق‌شده برای ایجاد پوشش محافظ چتری شکل.....۴۲
شکل ۲-۸- شکل شماتیک مقطع تونل و ستونهای افقی اجرا شده.....۴۲
شکل ۲-۹- تصویر سه‌بعدی شماتیک از پوشش محافظ.....۴۳
شکل ۲-۱۰- تصویر شماتیک تزریق در نمونه‌های ماسه‌ای.....۴۷
شکل۲-۱۱- تهیه نمونه به روش Manual Copmpaction ۴۷
شکل۲-۱۲- تهیه نمونه به روش Pluviation ۴۸
شکل۲-۱۳- شکل شماتیک دستگاه مورد استفاده جهت اشباع‌سازی و تزریق ستونهای ماسه.....۵۱
شکل۲-۱۴- مقادیر مختلف فشار و حجم آب حین اشباع شدن نمونه‌ها.....۵۱
شکل۲-۱۵- شکل شماتیک بارگذاری نمونه‌ها در آزمایشهای خزشی.....۵۳
شکل۲-۱۶- الگوی بارگذاری در آزمایشهای خزشی بلندمدت.....۵۳
شکل۲-۱۷- الگوی بارگذاری در آزمایشهای کوتاه‌مدت افزایشی محدودنشده.....۵۴

شکل۲-۱۸- الگوی بارگذاری در آزمایشهای کوتاه‌مدت افزایشی محدودشده.....۵۵

شکل۲-۱۹- نمودار دانه‌بندی ماسه‌های مختلف مورد استفاده.....۵۶

شکل۲-۲۰- نمودار مقاومت فشاری محدودنشده برای انواع ماسه تزریق‌شده با سیلیکات‌سدیم.....۵۶

شکل۲-۲۱- نمودار مقاومت فشاری در مقابل دانسیته نسبی برای نمونه‌های تزریق‌شده با نسبتهای مختلف آب به سیمان.....۵۷

شکل۲-۲۲- تأثیر تنش همه‌جانبه بر روی رابطه تنش-کرنش ماسه تزریق‌شده Ottawa ۵۸

شکل۲-۲۳- مقادیر مختلف مقاومت برشی نرمال شده برای ماسه Ottawa در تنشهای همه‌جانبه متفاوت ۵۹

شکل۲-۲۴- تأثیر افزایش تنش همه‌جانبه بر کرنش در مقاومت فشاری حداکثر.....۶۰

شکل۲-۲۵- تأثیر افزایش تنش همه‌جانبه بر مدول ارتجاعی ماسه تزریق‌شده.....۶۰

شکل۲-۲۶- آزمایش خزشی محدودنشده بلندمدت بر روی ماسه تزریق‌شده Fontainebleau در نسبت تنشهای مختلف.....۶۱

شکل۲-۲۷- آزمایش خزشی محدودشده برای ماسه تزریق‌شده Fontainebleau در نسبت تنش ۰/۵ و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال.....۶۱

شکل۲-۲۸- آزمایشهای خزشی محدودنشده یک‌مرحله‌ای و چندمرحله‌ای بر روی ماسه تزریق‌شده ۶۲

شکل۲-۲۹-آزمایش خزشی محدودشده بلندمدت افزایشی بر روی ماسه تزریق‌شده Fontainebleau ۶۳

شکل۲-۳۰- آزمایش خزشی محدودشده برای ماسه تزریق‌شده Fontainebleau در نسبت تنش ۰/۲و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال.....۶۴

فصل سوم:

شکل ۳-۱- تصویر دستگاه سه‌محوری خزش در حال انجام آزمایش.....۶۹

شکل ۳-۲- تصویر سیستم اعمال بارانحرافی در دستگاه خزش.....۷۰

شکل ۳-۳- منحنی کالیبراسیون اهرم بارگذاری به وسیله رینگ نیرو..... ۷۱

شکل ۳-۴- تصویر ترانس دیوسر تغییرمکان محوری و نمایشگر..... ۷۱

شکل ۳-۵- منحنی کالیبراسیون LVDT..... ۷۲

شکل ۳-۶- تصویر نمونه قرار داده شده در دستگاه خزش..... ۷۳

شکل ۳-۷- نمودار دانه‌بندی ماسه مورد استفاده..... ۷۵

شکل ۳-۸- تصویرقالب نمونه‌سازی و قطعات پلی‌اتیلن..... ۸۲

شکل ۳-۹- شکل شماتیک روش ساخت نمونه ماسه‌ای..... ۸۲

شکل ۳-۱۰- تصویر مخزن تزریق..... ۸۴

شکل ۳-۱۱- تصویر مخزن تزریق و قالب نمونه‌سازی ۸۴

شکل ۳-۱۲- شکل شماتیک نمونه آماده برای تزریق..... ۸۵

شکل ۳-۱۳- تصویر قالب نمونه‌سازی آماده برای تزریق..... ۸۶

شکل ۳-۱۴- تصویر خارج کردن نمونه از قالب..... ۸۶

شکل ۳-۱۵- تصویر سطح نمونه قبل از کلاهک‌گذاری..... ۸۷

شکل ۳-۱۶- تصویر سطح نمونه بعد از کلاهک‌گذاری..... ۸۷

فصل چهارم:

شکل۴-۱- نمودار تنش-کرنش در آزمایش فشاری محدودنشده برای نمونه‌های تزریق‌شده با دوغابهای ۲۰-۲، ۲۰-۳و۲۰-۴ ..... ۹۲

شکل۴-۲- نمودار تنش-کرنش در آزمایش فشاری محدودنشده برای نمونه‌های تزریق‌شده با دوغابهای ۱۰-۳، ۲۰-۳ و ۳۰-۳ ..... ۹۲

شکل۴-۳- نمودار تنش-کرنش در آزمایش سه‌محوری کلاسیک (تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال) ۹۵

شکل۴-۴- نمودار تنش-کرنش در آزمایش سه‌محوری کلاسیک (تنش همه‌جانبه ۲۰۰ کیلوپاسکال)..... ۹۵

شکل۴-۵- نمودار تنش-کرنش در آزمایش سه‌محوری کلاسیک (تنش همه‌جانبه ۳۰۰ کیلوپاسکال).....۹۶

شکل ۴-۶- نمودار تغییرات مقاومت فشاری در تنشهای همه‌جانبه مختلف برای نمونه تزریق‌شده با دوغاب ۳-۲۰.....۹۷

شکل۴-۷- نمودار کرنش محوری در برابر زمان در نسبت تنش ۰/۶و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های تزریق‌شده با درصد بنتونیت متفاوت.....۱۰۰

شکل۴-۸- نمودار کرنش محوری در برابر زمان در نسبت تنش ۰/۶و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های تزریق‌شده با نسبتهای مختلف آب به سیمان.....۱۰۱

شکل۴-۹- نمودار کرنش محوری در برابر زمان در نسبت تنش ۰/۸۵و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های تزریق‌شده با درصد بنتونیت متفاوت.....۱۰۱

شکل۴-۱۰- نمودار کرنش محوری در برابر زمان در نسبت تنش ۰/۸۵و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های تزریق‌شده با نسبتهای مختلف آب به سیمان.....۱۰۲

شکل۴-۱۱- نمودار کرنش محوری در برابر لگاریتم زمان در نسبت تنش ۰/۶و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های تزریق‌شده با درصد بنتونیت متفاوت.....۱۰۳

شکل۴-۱۲- نمودار کرنش محوری در برابر لگاریتم زمان در نسبت تنش ۰/۶و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های تزریق‌شده با نسبتهای مختلف آب به سیمان.....۱۰۳

شکل۴-۱۳- نمودار کرنش محوری در برابر لگاریتم زمان در نسبت تنش ۰/۸۵و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های تزریق‌شده با درصد بنتونیت متفاوت.....۱۰۴

شکل۴-۱۴- نمودار کرنش محوری در برابر لگاریتم زمان در نسبت تنش ۰/۸۵و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال برای نمونه‌های تزریق‌شده با نسبتهای مختلف آب به سیمان.....۱۰۴

شکل۴-۱۵- نمودار کرنش محوری در مقابل زمان در آزمایش خزش با بارگذاری مرحله‌ای تحت تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال (دوغاب:۲۰- ۲).....۱۰۶

شکل۴-۱۶- نمودار کرنش محوری در مقابل زمان در آزمایش خزش با بارگذاری مرحله‌ای تحت تنش

همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال (دوغاب: ۱۰- ۳).....۱۰۷

شکل۴-۱۷- نمودار کرنش محوری در مقابل زمان در آزمایش خزش با بارگذاری مرحله‌ای تحت تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال (دوغاب: ۲۰- ۳).....۱۰۷

شکل۴-۱۸- نمودار کرنش محوری در مقابل زمان در آزمایش خزش با بارگذاری مرحله‌ای تحت تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال (دوغاب: ۳۰- ۳).....۱۰۸

شکل۴-۱۹- نمودار کرنش محوری در مقابل زمان در آزمایش خزش با بارگذاری مرحله‌ای تحت تنش همه‌جانبه ۱۰۰ کیلوپاسکال (دوغاب: ۲۰- ۴).....۱۰۸

شکل۴-۲۰- الگوی کاهش تنش جانبی در تنش انحرافی ثابت ۶۰۰ کیلوپاسکال.....۱۱۱

شکل۴-۲۱- منحنی کرنش محوری در برابر زمان در تنش انحرافی ۶۰۰ و همه‌جانبه ۳۰۰ کیلوپاسکال در اثر کاهش تنش جانبی (دوغاب: ۲۰-۲).....۱۱۲

شکل۴-۲۲- منحنی کرنش محوری در برابر زمان در تنش انحرافی ۶۰۰ و همه‌جانبه ۳۰۰ کیلوپاسکال در اثر کاهش تنش جانبی (دوغاب: ۲۰-۳).....۱۱۲

شکل۴-۲۳- منحنی کرنش محوری در برابر زمان در تنش انحرافی ۶۰۰ و همه‌جانبه ۳۰۰ کیلوپاسکال در اثر کاهش تنش جانبی (دوغاب: ۲۰-۴).....۱۱۳

شکل۴-۲۴- منحنی کرنش محوری در برابر زمان در تنش انحرافی ۶۰۰ و همه‌جانبه ۳۰۰ کیلوپاسکال در اثر کاهش تنش جانبی (دوغاب: ۲۰-۵).....۱۱۳

شکل۴-۲۵- نمودار کرنش محوری در مقابل زمان برای نمونه‌های تزریق‌شده با دوغاب ۲۰-۳ در تنش انحرافی ۶۰۰ و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال.....۱۱۵

شکل۴-۲۶- نمودار کرنش محوری در مقابل زمان برای نمونه‌های تزریق‌شده با دوغاب ۲۰-۴ در تنش انحرافی ۶۰۰ و تنش همه‌جانبه ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال.....۱۱۶

شکل۴-۲۷- آزمایش خزشی محدودشده با بارگذاری پله‌ای در بازه زمانی ۱ دقیقه (دوغاب: ۲۰- ۳).....۱۱۷

شکل۴-۲۸- آزمایش خزشی محدودشده با بارگذاری پله‌ای در بازه زمانی ۳۰ دقیقه (دوغاب: ۲۰- ۳).....۱۱۷