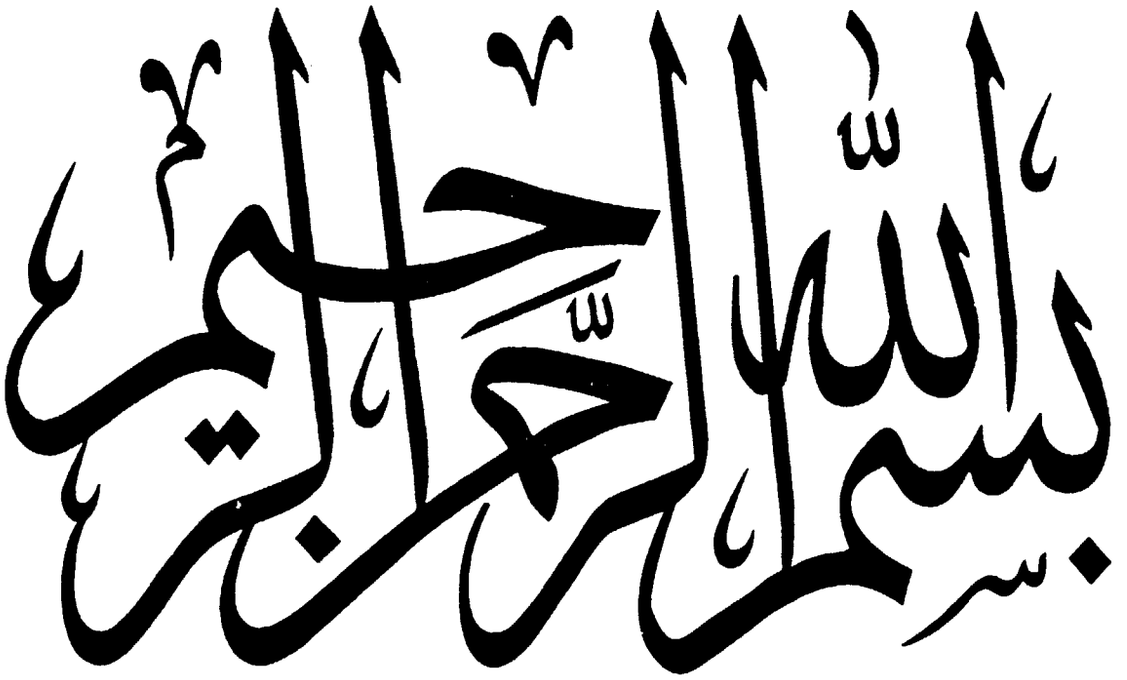
٥ ح سبز ١ ح اضاف
٣٦٥



٣٥٣٧

مرکز اسناد دانشگاه تربیت مدرس

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

۱۳۸۰ /۲/ ۳۰

012186

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک سنگ

بررسی تأثیر بارهای لـرزه ای بر روی پایداری تونل ها

مجید نیکخواه

استاد راهنما:

دکتر کامران گشتاسبی گوهرریزی

استاد مشاور:

دکتر پرویز معارف وند

۳۰۳۵۲

بهمن ۱۳۷۹

دانشگاه‌تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای مجید نیکخواه پایان‌نامه ۶واحدی خود را با عنوان **بررسی تأثیر بارهای لرزه‌ای بر روی پایداری تونل‌ها** در تاریخ **۷۹/۱۱/۱۵** ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته **مهندسی معدن** باگرایش **مکانیک سنگ** پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنمـــا :	**آقای دکتر گشتاسبی**	
۲ـ استاد مشـــاور :	**آقای دکتر معارف‌وند**	
۳ـ استادان ممتحن :	**آقای دکتر فخیمی**	
	آقای دکتر قارونی	
۴ـ مدیـــر گـــروه :	**آقای دکتر مرتضی احمدی**	
(یا نمایندهٔ گروه تخصصی)		

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان‌نامه/رساله مورد تأیید است.
امضای استاد راهنما

بسمه تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

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

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ مهندسی معدن است که در سال ۱۳۷۹ در دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر کامران گشتاسبی، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر پرویز معارف وند و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهداکند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب مجید نیکخواه دانشجوی رشته مکانیک سنگ مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: مجید نیکخواه

تاریخ و امضا: ۷۹/۱۱/۵

تقـــدیم به

پدرم که آسمان نیلی قلب پرمهرش بی‌افق

و مادرم که دریای عمیق محبت و ایثارش بی‌ساحل است،

و خواهرانم آن مهربانان همیشگی.

تقدیر و تشکر

سپاس خداوندی را سزاست که سایه لطف و کرمش ، از ابتدا تا امروز همـــراه مـن بـوده و توفیـق انجام این مجموعه را عطا فرمود و سپاس از تمام عزیزانی که مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند .

از استاد راهنمای گرامی جناب آقای دکتر کامران گشتاسبی که در مراحل مختلف این تحقیق بـا راهنمائیهای بی دریغ خود مرا یاری نمودند صمیمانه قدردانی می گردد .

از استاد فرزانه جناب آقای دکتر پرویز معارف وند که از نقطه نظرات ارزنده خـود مـرا بـهره منـد ساختند و با در اختیار گذاشتن نرم افزار UDEC نقـش بسـزایی را در اجـرای ایـن تحقیـق ایفـا نمودند، نهایت تشکر را دارم.

از جناب آقای مهندس سعید دهقان، جناب آقای مهندس جواد مرادلو دانشجوی مقطع دکـترای مهندسی عمران دانشگاه تربیت مدرس ،جناب آقای مهندس فریدون ذبیحی ، جناب آقای مـــهندس علی موسوی دانشجوی مقطع دکترای شـیمی دانشـگاه تربیـت مـدرس و از جنـاب آقـای مـهندس شیخانی ، مسئول محترم آزمایشگاههای بخش معدن که زمینه ساز انجام هر چه بـهتر ایـن تحقیـق بوده اند، سپاسگزاری می گردد.

از خداوند متعال توفیقات روز افزون این یاران را مسئلت دارم.

چکیده

بطور کلی طراحی دینامیکی سازه های زیرزمینی از پیچیدگی و دشواری خاصی برخـودار اسـت و علی رغم اینکه سازه های زیرزمینی از نظر بارگذاری دینامیکی، آسیب پذیری کمتری نسبت به سازه های سطحی دارند، علیهذا ضرورت تحلیل دینامیکی ایـن سـازه هـا در طـول کاربریشـان احسـاس میگردد.

هدف از انجام این تحقیق، شناخت و بررسـی عوامـل مـهم در تـأثیر بارهـای لـرزه ای بـر روی پایداری تونلهای بدون نگهداری است ودر راستای نیل به هدف مذکور تأثیر سه پارامتر عمـق، نـوع محیط وسنگ در برگیرنده تونل مورد بررسی واقع شده است.

در تحقیق حاضر از نرم افزار عددی دوبعدی UDEC که مبتنی برروش اجزاء مجزا است،جهت مدلسازی و تحلیلها استفاده شده است و سپس تاریخچه زمانی مؤلفه افقی زلزله ناغان بصورت یـک موج برشی که بسمت سطح زمین انتشار می یابد،بـا ملحـوظ نمـودن عمـق،نـوع محیـط وسـنگ در برگیرنده برمدلهای مربوطه اعمال گردیده است.

نتایج حاصل از تحلیلهای انجام شده نشان میدهد که اثر زلزله بر روی تونلها قابل بررسی بوده و با افزایش عمق بطور محسوسی از این تأثیرگذاری کاسته میشود،همچنین تنشهای لرزه ای ناشـی از زلزله میتواند باعث ایجاد بازشدگی موضعی وجابجـائی در امتـداد درزه هـا وگسـلها گردد،از طـرف دیگر مقادیر این تنشهای القاءشده دینامیکی، بستگی به خواص مکانیک سنگی محیط دارد.

کلید واژه: تحلیل دینامیکی- بارهای لرزه ای – روش عددی اجزاء مجزا- UDEC - تونل

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

مقدمه ۱

فصل اول - مبانی زمین لرزه و زلزله‌شناسی

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- منشأ و علل زمین لرزه ۲

۱-۳- امواج زلزله ۴

۱-۴- مفاهیم اولیه در زلزله‌شناسی ۸

۱-۵- مشخصات زلزله و حرکت زمین ۹

۱-۵-۱- بزرگی زلزله ۱۰

۱-۵-۲- شدت زلزله ۱۵

۱-۵-۳- محتوای فرکانس حرکت زمین ۱۷

۱-۵-۴- مدت حرکت قوی ۱۸

۱-۵-۵- شتاب و شتاب سنجی ۱۹

فصل دوم - خسارتهای ناشی از زلزله در تونلها

۲-۱- مقدمه ۲۴

۲-۲- عوامل ایجاد خسارت ۲۴

۲-۳- انواع خسارتهای وارده بر تونلها تحت اثر زلزله ۲۶

۲-۴- مطالعات موردی ۳۲

۲-۴-۱- تحقیقات داودینگ و روزن ۳۲

۲-۴-۱-۱- تونلهای سنگی ۳۳

۲-۴-۱-۲- انتخاب اندازه لرزش ۳۴

عنوان | صفحه

۲-۴-۱-۳- حالتهای خسارات مشاهده شده در تونل ۴۰
۲-۴-۲- مطالعات اون و شول ۴۵
۲-۴-۳- بررسیها و مطالعات شارما و جود ۴۶
۲-۴-۳-۱- انواع خسارات گزارش شده ۴۷
۲-۴-۳-۲- ضخامت روباره ۴۷
۲-۴-۳-۳- نوع سنگ ۴۹
۲-۴-۳-۴- نوع نگهدارنده ۵۰
۲-۴-۳-۵- پارامترهای زلزله ۵۲

فصل سوم - رفتار دینامیکی سنگها

۳-۱- مقدمه ۵۸
۳-۲- موج طولی در یک میله ۵۹
۳-۳- امواج مستوی در یک جسم سه بعدی ۶۲
۳-۴- فرمول‌بندی کلی معادلات حرکت ۶۶
۳-۵- خواص دینامیکی الاستیک سنگ ۶۶

فصل چهارم ـ طراحی تونلهادر بـرابـر زلزله

۴-۱- مقدمه ۶۹
۴-۲- نحوه مطالعه دینامیکی تونلها ۷۰
۴-۳- بررسیهای مقدماتی طراحی در برابر زلزله ۷۰
۴-۴- تغییر پارامترهای زلزله نسبت به عمق ۷۲
۴-۵- طراحی لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی ۷۴
۴-۵-۱- طراحی سازه‌های زیرزمینی در خاک و سنگ ۷۵

عنوان | صفحه

۴-۶- تحلیل پاسخ لرزه‌ای سازه زیرزمینی بدون اندرکنش زمین و سازه ۷۹
۴-۶-۱- کرنشهای لرزه‌ای ۷۹
۴-۶-۲- تنشهای لرزه‌ای ۸۲
۴-۷- تحلیل پاسخ لرزه‌ای سازه زیرزمینی با اندرکنش زمین و سازه ۸۴
۴-۷-۱- نیروهای ناشی از امواج برشی افقی عرضی ۸۴
۴-۷-۲- نیروهای طراحی ناشی از امواج برشی افقی - عرضی ۸۹
۴-۷-۳- نیروهای طراحی ناشی از امواج برشی عمودی ۹۰
۴-۷-۴- نیروهای ناشی از امواج فشاری ۹۰

فصل پنجم - تحلیل دینامیکی تحت اثر بارهای لرزه‌ای

۵-۱- مقدمه ۹۴
۵-۲- تحلیل با روش عددی اجزاء مجزا ۹۵
۵-۳- معرفی نرم‌افزار UDEC ۹۷
۵-۴- نحوه مدلسازی ۹۸
۵-۴-۱- مدلسازی استاتیکی با استفاده از UDEC ۹۹
۵-۴-۱-۱- ایجاد هندسه کلی مدلها ۹۹
۵-۴-۱-۲- تعریف خواص و مدل مشخصه رفتاری بلوکها ۱۰۰
۵-۴-۱-۳- شرایط مرزی و ذاتی ۱۰۲
۵-۴-۱-۴- حفاری مقطع تونل ۱۰۲
۵-۴-۲- ملاحظاتی در خصوص تحلیل دینامیکی ۱۰۴
۵-۴-۲-۱- میرایی ۱۰۴
۵-۴-۲-۲- شرایط مرزی برای تحلیل دینامیکی ۱۰۶
۵-۴-۲-۳- انتقال موج ۱۰۹

عنوان | صفحه

۵-۴-۳- مدلسازی دینامیکی با استفاده از UDEC ۱۱۰
۵-۴-۳-۱- شرایط مرزی دینامیکی ۱۱۰
۵-۴-۳-۲- بارگذاری دینامیکی ۱۱۰
۵-۵- نتایج حاصل از تحلیل‌های استاتیکی ۱۱۲
۵-۵-۱- محیط توده‌ای ۱۱۴
۵-۵-۲- محیط گسل خورده ۱۲۰
۵-۵-۳- محیط درزه‌دار ۱۲۵
۵-۶- نتایج حاصل از تحلیلهای دینامیکی ۱۲۹

فصل ششم - نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ مقدمه ۱۵۱
۶-۲ نتیجه‌گیری ۱۵۲
۶-۳ پیشنهادات ۱۵۳
منابع و مآخذ ۱۵۴
واژگان فارسی -انگلیسی ۱۵۷
واژگان انگلیسی - فارسی ۱۶۲

ضمائم ۱۶۷
ضمیمه - الف ۱۶۸
ضمیمه - ب ۱۷۱
ضمیمه - ج ۱۷۹

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

شکل ۱-۱- صفحات زمین ساخت[۱]..... ۴

شکل ۱-۲- امواج لرزه‌ای[۸]..... ۷

شکل ۱-۳- رابطه بین نسبت پواسون و سرعتهای انتشار امواج فشاری (P)، برشی (S) و رایلی (R) در یک محیط نمیه نامتناهی الاستیک [۸] ۸

شکل ۱-۴- علائم توصیف موقعیت زلزله [۱]..... ۹

شکل ۱-۵- شتابنگاشت ثبت شده از زلزله ناغان..... ۱۰

شکل ۱-۶- مقادیر عددی [۸]..... ۱۲

شکل ۱-۷- مقایسه ارتباطهای بین طول گسیختگی گسل و بزرگی زلزله [۸] ۱۲

شکل ۱-۸- تصحیح فاصله برای تعیین بزرگی در مقیاس ریشتر [۲] ۱۴

شکل ۱-۹- حداکثر پاسخ یک نوسانگر میرا شده ساده در اثر حرکت دینامیکی [۸]..... ۱۷

شکل ۱-۱۰- طیف دامنه فوریه زلزله طبس [۲]..... ۱۸

شکل ۱-۱۱- مقایسه روابط بین شتاب حداکثر افقی، بزرگی و فاصله [۸] ۲۲

شکل ۲-۱- اشکال مختلف خسارت وارده بر تونلها [۲۰]..... ۲۶

شکل ۲-۲- تغییر شکلهای محوری، خمشی و حلقوی [۸] ۲۸

شکل ۲-۳- اجرای تونلهای سنگی [۱۹]..... ۳۳

شکل ۲-۴- مفهوم ارتباط و مراحل محاسبه شتاب و حداکثر ذرات [۱۹]..... ۳۵

شکل ۲-۵- حداکثر شتاب محاسبه شده و مشاهدات خسارت مربوطه برای زلزله‌ها [۱۹]..... ۳۶

شکل ۲-۶- حداکثر سرعت ذره محاسبه شده و مشاهدات خسارت مربوطه برای زلزله‌ها [۱۹].. ۳۷

شکل ۲-۷- ارتباط شدت اصلاح شده مرکالی در سطح زمین با خسارت مشاهده شده [۲۰] ۳۸

شکل ۲-۸- ارتباط بین قوانین میرایی سطحی و تحت‌الارضی کانایی [۱۹]..... ۳۹

شکل ۲-۹- اثر عمق روباره بر خسارت [۱۳]..... ۴۸

شکل ۲-۱۰- اثر نوع سنگ در برگیرنده بر خسارت [۱۳]..... ۵۰

شکل ۲-۱۱- اثر نوع نگهدارنده داخلی بر خسارت [۱۳]..... ۵۱
شکل ۲-۱۲- اثر بزرگی زلزله بر خسارت [۱۳]..... ۵۳
شکل ۲-۱۳- تأثیر فاصله مرکزی بر خسارت..... ۵۴
شکل ۲-۱۴- تأثیر شتاب حداکثر سطحی زمین (PGA) بر خسارت [۱۳]..... ۵۵
شکل ۲-۱۵- ارتباط بین شتاب حداکثر سطحی زمین با عمق روباره و نوع خسارت [۱۳] ۵۶
شکل ۳-۱- تعریف مسئله برای تحلیل انتشار موج در میله استوانه‌ای [۹] ۵۹
شکل ۳-۲- انتقال و انعکاس موج طولی در یک میله دو جزئی [۹] ۶۱
شکل ۳-۳- مشخصه جابجائیهای گذرا برای امواج مستوی منتشره در جهت مختصات X [۹] .. ۶۳
شکل ۳-۴- مؤلفه‌های نیرو و تنش اعمال شده بر یک جسم آزاد در معرض یک حرکت گذرا در جهت مختصات X [۹]..... ۶۴
شکل ۴-۱- موقعیت شتاب سنجها و لرزه‌سنجهای جابجائی در نیروگاه کیناگاوا [۳۰] ۷۲
شکل ۴-۲- رکوردهای شتاب و جابجائی زلزله در نیروگاه کیناگاوا [۳۰]..... ۷۳
شکل ۴-۳- رکوردهای سطحی و زیرزمینی بدست آمده در اویاسو [۳۰]..... ۷۴
شکل ۴-۴- ارتباط بین ضریب تمرکز تنش دینامیکی و نسبت پواسون برای موج P [۱۴]..... ۷۷
شکل ۴-۵- ارتباط بین ضریب تمرکز تنش دینامیکی و نسبت پواسون برای موج S [۱۴]..... ۷۷
شکل ۴-۶- ارتباط بین ضریب تمرکز تنش دینامیکی و پارامتر ضخامت [۱۴] ۷۸
شکل ۴-۷- ارتباط بین kl و پارامتر ضخامت [۱۴]..... ۷۹
شکل ۴-۸..... ۸۵
شکل ۵-۱- هندسه مدل محیط توده‌ای..... ۹۹
شکل ۵-۲- هندسه مدل محیط گس خورده ۱۰۰
شکل ۵-۳- هندسه مدل محیط درزه‌ای ۱۰۰
شکل ۵-۴- تعادل مدل براساس تاریخچه زمانی نیروهای نامتوازن ۱۰۳
شکل ۵-۵- تغییرات $\frac{xi}{xmin}$..... ۱۰۵
شکل ۵-۶- مدل تحلیل لرزه‌ای سازه سطح [۱۶] ۱۰۸
شکل ۵-۷- شرایط مرزی مدلها برای بارگذاری دینامیکی ۱۱۰

شکل ۵-۸- تاریخچه زمانی سرعت اعمال شده در محیط درزه‌دار با خواص سنگی نوع B برای اعماق مختلف ۱۱۲
شکل ۵-۹- توزیع بردارهای تنش هایی اصلی جابجائی در مدل توده‌ای با خواص سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۱۴
شکل ۵-۱۰- وضعیت جابجائی‌های قائم در مدل توده‌ای با خواص سنگی و نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۱۴
شکل ۵-۱۱- وضعیت‌های افقی در مدل توده ای با خواص سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۱۵
شکل ۵-۱۲- وضعیت تنشهای قائم در مدل توده‌ای با سنگ در برگیرنده نوع A در عمق ۲۰ متری ۱۱۶
شکل ۵-۱۳- وضعیت تنشهای افقی در مدل توده‌ای با سنگ در برگیرنده نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۱۶
شکل ۵-۱۴- وضعیت تنشهای برشی در مدل توده‌ای با سنگ در برگیرنده نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۱۷
شکل ۵-۱۵- مناطق محدوده الاستیک، پلاستیک و شکستگی کششی برای مدل توده‌ای واقع در سنگ نوع B در عمق ۲۰۰ متری ۱۱۹
شکل ۵-۱۶- توزیع بردارهای تنشهای اصلی و جابجائی در مدل گسل خورده با خواص سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۲۰
شکل ۵-۱۷- وضعیت جابجائی‌های قائم در مدل گسل خورده با خواص سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۲۰
شکل ۵-۱۸- وضعیت جابجائی افقی در مدل گسل خورده با خواص سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۲۱
شکل ۵-۱۹- وضعیت تنشهای قائم در مدل گسل خورده با سنگ در برگیرنده نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۲۲
شکل ۵-۲۰- وضعیت تنشهای افقی در مدل گسل خورده با سنگ در برگیرنده نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۲۲

شکل ۵-۲۱- وضعیت تنشهای در مدل گسل خورده با سنگ در برگیرنده نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۲۳
شکل ۵-۲۲- توزیع بردارهای تنشهای اصلی و جابجائی در مدل درزه‌دار با خواص سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۲۴
شکل ۵-۲۳- وضعیت جابجائی‌های قائم در مدل درزه‌دار با خواص سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر..... ۱۲۵
شکل ۵-۲۴- وضعیت جابجائی‌های افقی در مدل درزه‌دار با خواص سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر..... ۱۲۵
شکل ۵-۲۵- وضعیت تنشهای قائم در مدل درزه‌دار با سنگ در برگیرنده نوع A در عمق ۲۰ متر ۱۲۶
شکل ۵-۲۶- وضعیت تنشهای افقی در مدل درزه‌دار با سنگ در برگیرنده نوع A در عمق ۲۰ متر..... ۱۲۷
شکل ۵-۲۷- وضعیت تنش‌های برشی در مدل درزه‌دار با سنگ در برگیرنده نوع A در عمق ۲۰ متر..... ۱۲۷
شکل ۵-۲۹- توزیع بردارهای تنشهای اصلی و جابجائی در مدل توده‌ای واقع در سنگ A در عمق ۲۰ متر..... ۱۳۰
شکل ۵-۳۰- توزیع بردارهای تنشهای اصلی و جابجائی درمدل گسل خورده واقع در سنگ A در عمق ۲۰ متر..... ۱۳۱
شکل ۵-۳۱- مناطق محدوده الاستیک، پلاستیک و شکستگی کششی برای مدل توده‌ای واقع . ۱۳۱
در سنگ نوع A در عمق ۲۰ متری..... ۱۳۱
شکل ۵-۳۲- وضعیت تنشهای قائم مدل توده‌ای با مصالح سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر..... ۱۳۲
شکل ۵-۳۳- وضعیت تنشهای افقی مدل توده‌ای با مصالح سنگی نوع A در عمق ۲۰ متر.... ۱۳۳
شکل ۵-۳۴- وضعیت تنشهای برشی مدل توده‌ای با مصالح سنگی نوع A در عمق ۲۰ متری.. ۱۳۴
شکل ۵-۳۵- جابجائی قائم در مدل دینامیکی درزه‌دار با مصالح سنگی نوع A در عمق ۲۰ متری..... ۱۳۴
شکل ۵-۳۶- جابجائی افقی در مدل دینامیکی درزه‌دار با مصالح سنگی نوع B در عمق ۲۰ متری..... ۱۳۵