



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان

شبیه سازی دینامیکی رفتار تونل در محدوده نزدیک گسل

نگارش

رونا سعیدی

استاد راهنما

دکتر حسن قاسم زاده

زمستان ۹۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین
پشتیبان است،
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهِشان به شجاعت
می گراید
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند
این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاییدیه هیأت داوران

هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان :

شبیه سازی دینامیکی رفتار تونل در محدوده نزدیک گسل

توسط **رونا سعیدی** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی

ارشد رشته **مهندسی عمران - زلزله** در تاریخ **مورد تأیید قرار دادند.**



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اظهارنامه دانشجو

اینجانب روناسعیدی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش زلزله دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان:

شبیه‌سازی دینامیکی زفتار تونل در محدوده نزدیک گسل

با راهنمایی استاد/ ساتید محترم جناب آقای دکتر حسن قاسم زاده توسط شخص اینجانب انجام شده است. صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد. در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده و استاد/استادان راهنمای آن می باشد. هرگونه تصویربرداری از کل یا بخشی از پایان نامه تنها با موافقت نویسنده یا استاد/استادان راهنما یا کتابخانه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

۳- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش ایزد منان را که به من توانایی داد با استناعت از او بتوانم این پژوهش را انجام دهم.

بر خود لازم می بینم از دلگرمی و تشویق خانوادگی عزیزم صمیمانه قدردانی کنم.
از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر حسن قاسم زاده که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال سپاس را دارم.

چکیده

تاسیسات زیرزمینی ساخته شده در مناطق فعال لرزه‌ای باید در برابر هر دو بارگذاری استاتیکی و دینامیکی مقاومت کنند. ناپیوستگی‌ها از معمول‌ترین عوارض زمین‌شناختی در توده‌سنگ‌ها می‌باشند که نقش بسزایی در پایداری فضاها و زیرزمینی را دارا می‌باشند. مطالعات محققین نشان می‌دهد که بیشترین شدت تخریب فضاها و زیرزمینی در هنگام وقوع زلزله زمانی رخ می‌دهد که مقطع ناپیوستگی فضای زیرزمینی را قطع کرده باشد. در این شرایط در صورت بروز زلزله‌های نزدیک گسل اثرات تخریبی بیشتری در مقایسه با زلزله‌های دور از گسل شاهد خواهیم بود. در این پایان‌نامه به بررسی و تحلیل لرزه‌ای تونل با در نظر گرفتن زلزله‌های حوزه دور و نزدیک گسل استخراج شده از سایت پییر، پرداخته شد. برای این منظور از نرم‌افزار المان مجزا 3DEC استفاده گردید. مدلسازی به صورت سه بعدی در تقاطع با ناپیوستگی انجام شد. با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی در نرم افزار مشخص گردید که حداکثر جابجایی جداره تونل در راستای افقی و قائم و میزان تنش برشی وارد بر جداره در طول اعمال بار لرزه‌ای در حالت رکورد نزدیک به مراتب چشمگیر تر از رکورد حوزه دور است، همچنین جابجایی‌های در راستای جانبی (هم‌راستا با جهت اعمال رکورد) در تمامی حالات بیشتر از جابجایی‌ها در جهت قائم بدست آمدند. با استفاده از نتایج حاصل از تحقیق تاثیر لغزش ناپیوستگی در میزان جابجایی‌ها و تنش‌ها به وضوح مشاهده گردید. نتایج مطالعات پارامتریک نشان داد که افزایش زاویه شیب ناپیوستگی مستعد لغزش از ۴۵ تا ۶۰ درجه، بحرانی‌ترین حالت برای احداث تونل است و از زاویه ۶۰ درجه به بعد مقادیر مجدداً تقلیل می‌یابند. پارامتر چسبندگی ناپیوستگی نیز با نزدیک شدن چسبندگی به چسبندگی توده‌سنگ (در این مطالعه مقادیر بالای ۱۵۰ کیلوپاسکال)، منجر به تغییرات محسوسی در نتایج نمی‌شود.

کلمات کلیدی: تونل-گسل- توده سنگ- زلزله- حوزه نزدیک- حوزه دور- روش المان مجزا

۱ فصل اول مقدمه.....	۱
۱.۱ طرح مسئله.....	۲
۲.۱ موضوع تحقیق.....	۳
۳.۱ اهمیت موضوع.....	۴
۴.۱ هدف تحقیق.....	۴
۵.۱ روش تحقیق.....	۵
۶.۱ ساختار پایان نامه.....	۵
۲ فصل دوم مبانی نظری و ادبیات موضوع.....	۷
۱.۲ نگرش مهندسی در تحلیل و طراحی لرزه ای سازه های زیرزمینی.....	۸
۲.۲ روشهای تحلیل لرزه ای سازه های زیرزمینی.....	۱۰
۱.۲.۲ روش های تجربی.....	۱۰
۱.۱.۲.۲ مطالعات دودینگ و رازن	۱۰
۲.۱.۲.۲ مطالعات اون و شول	۱۱
۳.۱.۲.۲ مطالعات شارما و جود	۱۲
۲.۲.۲ مرور تاریخی بر آسیب تونل ها در اثر زمین لرزه	۱۲
۱.۲.۲.۲ زلزله ون چوان (۲۰۰۸)	۱۲
۲.۲.۲.۲ آسیبهای وارد بر سازههای زیر زمینی در کوبه، ژاپن	۱۳
۳.۲.۲.۲ آسیب های وارد بر تونل بلو، ترکیه	۱۳
۴.۲.۲.۲ سیستم حمل و نقل سریع ، سانفرانسیسکو	۱۴
۵.۲.۲.۲ مترو لوس آنجلس، آمریکا	۱۵
۶.۲.۲.۲ آسیبهای وارد بر سازه های زیر زمینی در تایوان	۱۵
۳.۲.۲ مدل فیزیکی	۱۵
۴.۲.۲ روش های تحلیلی	۱۹
۱.۴.۲.۲ روش تحلیلی پنزین	۲۲
۵.۲.۲ روش های عددی	۲۳
۳.۲ ویژگی های زلزله های حوزه نزدیک.....	۲۸
۴.۲ جمع بندی.....	۲۹
۳ فصل سوم مشخصات مدل و روش حل عددی.....	۳۱
3.1 روش های عددی برای تحلیل های ژئومکانیکی.....	۳۲
۱.۱.۳ مقایسه روش های عددی در توانایی ها و قابلیت تحلیل	۳۳
۲.۳ روش عددی مورد استفاده در این پژوهش	۳۴
۱.۲.۳ روش المان مجزا	۳۵

۳۳	نرم افزار مورد استفاده در این پژوهش.....	۳۵
۴۳	شرح مدل سازی استاتیکی.....	۳۶
۱.۴.۳	ایجاد هندسه مدل.....	۳۷
۱.۱.۴.۳	بلوک اولیه.....	۳۷
۲.۱.۴.۳	هندسه ناپیوستگی ها.....	۳۸
۳.۱.۴.۳	المان بندی.....	۳۸
۲.۴.۳	مدل رفتاری و خواص مصالح.....	۳۹
۱.۲.۴.۳	مدل رفتاری و خواص بلوک ها.....	۳۹
۲.۲.۴.۳	خواص ناپیوستگی.....	۴۲
۳.۲.۴.۳	بررسی تاثیر سختی نرمال و برشی نسبت داده شده به ناپیوستگی.....	۴۲
۳.۴.۳	اعمال شرایط مرزی و تنش های اولیه.....	۴۵
۴.۴.۳	بررسی تعادل اولیه.....	۴۷
۵.۴.۳	اعمال عملیات اجرایی حفر و نگهداری.....	۴۸
۶.۴.۳	حل ثانویه مدل.....	۵۱
۵.۳	آنالیز دینامیکی رفتار تونل.....	۵۱
۱.۵.۳	صفر کردن سرعت ها و جابجایی ها.....	۵۱
۲.۵.۳	شرایط مرزی در تحلیلهای دینامیکی.....	۵۲
۳.۵.۳	میرایی.....	۵۴
۱.۳.۵.۳	محاسبه فرکانس طبیعی سیستم.....	۵۵
۴.۵.۳	نگاشت لرزه ای جهت تحلیل تاریخچه زمانی.....	۵۶
۱.۴.۵.۳	پردازش داده ها.....	۵۸
۶.۳	تفسیر دینامیکی.....	۵۹
۷.۳	اثرات یک ناپیوستگی صفحه ای را روی انتشار یک موج.....	۵۹
۱.۱.۷.۳	حل تحلیلی.....	۵۹
۲.۱.۷.۳	مدل عددی.....	۶۰
۳.۱.۷.۳	خواص جنس.....	۶۱
۴.۱.۷.۳	بارگذاری دینامیکی.....	۶۲
۵.۱.۷.۳	نتایج.....	۶۲
۸.۳	صحت سنجی مدل عددی.....	۶۵
۱.۸.۳	اعتبار سنجی توسط روش تحلیلی ونگ.....	۶۵
۹.۳	جمع بندی.....	۶۷
۶۹	فصل چهارم شرح و نتایج پژوهش.....	
۱.۴	اعمال رکورد زلزله روی گسل.....	۷۰
۲.۴	بررسی تاثیرات رکوردهای حوزه دور و نزدیک.....	۷۲
۱.۲.۴	تاثیر رکوردهای حوزه نزدیک.....	۷۴

۲.۲.۴	رکورد زلزله طیس.....	۷۴
۱.۲.۲.۴	تغییر مکان قائم.....	۷۶
۲.۲.۲.۴	تغییر مکان افقی.....	۷۷
۳.۲.۲.۴	تنش برشی.....	۷۸
۴.۲.۲.۴	بررسی وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه نزدیک طیس.....	۷۹
۳.۲.۴	رکورد زلزله لندرز.....	۸۰
۱.۳.۲.۴	تغییر مکان قائم.....	۸۰
۲.۳.۲.۴	تغییر مکان افقی.....	۸۱
۳.۳.۲.۴	تنش برشی.....	۸۲
۴.۳.۲.۴	بررسی وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه نزدیک لندرز.....	۸۴
۴.۲.۴	رکورد زلزله لوماپریتا.....	۸۴
۱.۴.۲.۴	جابجایی عمودی.....	۸۵
۲.۴.۲.۴	جابجایی افقی.....	۸۶
۳.۴.۲.۴	تنش برشی.....	۸۷
۴.۴.۲.۴	بررسی وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه نزدیک لوماپریتا.....	۸۹
۳.۴	تاثیر رکوردهای حوزه دور.....	۸۹
۱.۳.۴	رکورد زلزله نورتریج.....	۹۰
۱.۱.۳.۴	تغییر مکان قائم.....	۹۱
۲.۱.۳.۴	تغییر مکان افقی.....	۹۲
۳.۱.۳.۴	تنش برشی.....	۹۳
۴.۱.۳.۴	بررسی وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه دور نورتریج.....	۹۴
۲.۳.۴	رکورد زلزله لندرز.....	۹۵
۱.۲.۳.۴	تغییر مکان قائم.....	۹۶
۲.۲.۳.۴	تغییر مکان افقی.....	۹۷
۳.۲.۳.۴	تنش برشی.....	۹۸
۴.۲.۳.۴	بررسی وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه دور لندرز.....	۹۹
۳.۳.۴	رکورد زلزله لوماپریتا.....	۱۰۰
۱.۳.۳.۴	تغییر مکان قائم.....	۱۰۱
۲.۳.۳.۴	تغییر مکان افقی.....	۱۰۲
۳.۳.۳.۴	تنش برشی.....	۱۰۳
۴.۳.۳.۴	بررسی وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه دور لوماپریتا.....	۱۰۴
۴.۴	کلیات تحلیل حساسیت.....	۱۰۷
۱.۴.۴	معرفی پارامترهای هدف و مقادیر معمول وبازه تغییرات آن ها.....	۱۰۸
۲.۴.۴	آنالیز حساسیت شیب ناپیوستگی.....	۱۰۸
۳.۴.۴	بررسی تاثیر چسبندگی سطح ناپیوستگی بر روی رفتار لرزه ای تونل.....	۱۱۰
۵.۴	جمع بندی.....	۱۱۱
۵	فصل پنجم نتیجه گیری وپیشنهادهای.....	۱۱۳

۱۱۴.....	نتیجه گیری..... ۱۵
۱۱۵.....	پیشنهادهای..... ۲۵
۱۱۷.....	منابع و مراجع.....

صفحه

فهرست اشکال

شکل ۱-۲- مدهای تغییرشکل ساده تونل به علت امواج لرزه ای	۹
شکل ۲-۲- نمونه آزمایشگاهی تست شده توسط کیانی و همکاران	۱۶
شکل ۳-۲- مدل آزمایشگاهی ساخته شده توسط محمد حسن بازیار و همکاران	۱۷
شکل ۴-۲- مدل شماتیک اجزا محدود و مدل آزمایشگاهی	۱۸
شکل ۵-۲- نیروها و لنگرهای وارده به مقطع دایروی ناشی از انتشار امواج زلزله	۱۹
شکل ۶-۲- تاثیر شتاب ماکزیمم بر روی گشتاور خمشی ماکزیمم و نیروی برشی ماکزیمم در شرایط بدون لغزش	۲۴
شکل ۷-۲- تاثیر شتاب ماکزیمم بر روی نیروی محوری ماکزیمم در شرایط بدون لغزش	۲۵
شکل ۸-۲- مدل عددی ساخته شده توسط وانگ و همکاران	۲۵
شکل ۹-۲- گشتاور خمشی ایجاد شده به وسیله بارگذاری استاتیکی و دینامیکی در محیط اطراف تونل	۲۶
شکل ۱۰-۲- تاثیر بخش پلاستیک بر گشتاور خمشی ایجاد شده در اثر بارگذاری دینامیکی	۲۷
شکل ۱۱-۲- مدل عددی لیو و همکاران	۲۷
شکل ۱-۳- روش های عددی متداول در طراحی های ژئومکانیکی و مهندسی سنگ	۳۲
شکل ۲-۳- هندسه بلوک اولیه	۳۷
شکل ۳-۳- الگوی نهایی مش بندی	۳۹
شکل ۴-۳- مدل آزمایش برش مستقیم و توصیف شماتیک پارامترهای مرتبط با خواص درزه	۴۴
شکل ۵-۳- نمودار تنش برشی- جابجایی برشی برای مدل مورد آزمایش برش مستقیم	۴۵
شکل ۶-۳- تنش های قائم اولیه	۴۶
شکل ۷-۳- تنش افقی اولیه در راستای XX	۴۷
شکل ۸-۳- تنش افقی اولیه در راستای YY	۴۷
شکل ۹-۳- نمودار نیروهای نامتعادل	۴۸
شکل ۱۰-۳- بلوک پس از حفر تونل	۴۹
شکل ۱۱-۳- کانتور تنش در راستای قائم پس از حفر تونل	۴۹
شکل ۱۲-۳- پلات نیروی نامتعادل کننده در مراحل مختلف حفاری	۵۰
شکل ۱۳-۳- پلات جابجایی در راستای قائم پس از حفر تونل	۵۰
شکل ۱۴-۳- شبکه ی میدان آزاد	۵۴
شکل ۱۵-۳- نحوه محاسبه فرکانس طبیعی سیستم	۵۵
شکل ۱۶-۳- انتقال و بازتاب موج همساز در یک ناپیوستگی	۵۹

شکل ۳-۱۷- هندسه مسئله لغزش بر اثر برش همساز	۶۱
شکل ۳-۱۸- هندسه ساخته شده مسئله لغزش بر اثر برش همساز	۶۱
شکل ۳-۱۹- تنش برشی در برابر زمان در نقاط A, B برای یک ناپیوستگی الاستیک (چسبندگی معادل ۲/۵ مگاپاسکال)	۶۳
شکل ۳-۲۰- تنش برشی در برابر زمان در نقاط A, B برای یک ناپیوستگی الاستیک (چسبندگی معادل ۰/۵ مگاپاسکال)	۶۳
شکل ۳-۲۱- تنش برشی در برابر زمان در نقاط A, B برای یک ناپیوستگی الاستیک (چسبندگی معادل ۰/۱ مگاپاسکال)	۶۳
شکل ۳-۲۲- تنش برشی در برابر زمان در نقاط A, B برای یک ناپیوستگی الاستیک (چسبندگی معادل ۰/۰۲ مگاپاسکال)	۶۴
شکل ۳-۲۳- مقایسه ضرایب انتقال، بازتاب و جذب	۶۴
شکل ۳-۲۴- بارگذاری لرزه‌ای و بار استاتیکی معادل	۶۶
شکل ۴-۱- کانتور تغییر مکان در راستای قائم در مقطع بحرانی	۷۱
شکل ۴-۲- خردشدگی شدید و شکست در ناحیه گسله (اعمال بار روی گسل)	۷۱
شکل ۴-۳- پروفیل طولی تشکیل زون پلاستیک و شکست در ناحیه گسله (اعمال بار روی گسل)	۷۲
شکل ۴-۴- محل مقاطع انتخابی در طول تونل	۷۳
شکل ۴-۵- نمونه ای از منحنی رکورد سرعت - زمان حوزه نزدیک زلزله طیس ($PGV=0.9m/s$)	۷۵
شکل ۴-۶- منحنی تاریخچه جابجایی های قائم تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک طیس (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۷۶
شکل ۴-۷- منحنی تاریخچه جابجایی های قائم کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک طیس (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۷۶
شکل ۴-۸- منحنی تاریخچه جابجایی های افقی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک طیس (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۷۷
شکل ۴-۹- منحنی تاریخچه جابجایی های افقی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک طیس (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۷۷
شکل ۴-۱۰- منحنی تاریخچه تنشهای برشی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک طیس (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۷۸
شکل ۴-۱۱- منحنی تاریخچه تنشهای برشی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک طیس (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۷۸
شکل ۴-۱۲- وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه نزدیک طیس	۷۸
شکل ۴-۱۳- نمونه ای از منحنی از رکورد سرعت- زمان حوزه نزدیک زلزله لندرز ($PGV=0.7 m/s$)	۸۰
شکل ۴-۱۴- منحنی تاریخچه جابجایی های قائم تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۷۹

شکل ۴-۱۵- منحنی تاریخچه جابجایی های قائم کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۱
شکل ۴-۱۶- منحنی تاریخچه جابجایی های افقی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۱
شکل ۴-۱۷- منحنی تاریخچه جابجاییهای افقی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۲
شکل ۴-۱۸- منحنی تاریخچه تنشهای برشی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۲
شکل ۴-۱۹- منحنی تاریخچه تنشهای برشی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۳
شکل ۴-۲۰- وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه نزدیک لندرز	۸۳
شکل ۴-۲۱- منحنی از رکورد سرعت- زمان حوزه نزدیک زلزله لوماپریتا ($PGV=0.5\text{ m/s}$)	۸۴
شکل ۴-۲۲- منحنی تاریخچه جابجایی های قائم تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۵
شکل ۴-۲۳- منحنی تاریخچه جابجایی های قائم کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۶
شکل ۴-۲۴- منحنی تاریخچه جابجایی های افقی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۶
شکل ۴-۲۵- منحنی تاریخچه جابجایی های افقی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۷
شکل ۴-۲۶- منحنی تاریخچه تنش های برشی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۷
شکل ۴-۲۷- منحنی تاریخچه تنش های برشی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۸۸
شکل ۴-۲۸- وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه نزدیک لوماپریتا	۸۸
شکل ۴-۲۹- منحنی از رکورد سرعت- زمان حوزه دور زلزله نورتریج	۹۰
شکل ۴-۳۰- منحنی تاریخچه جابجایی های قائم تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دور نورتریج (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۹۱
شکل ۴-۳۱- منحنی تاریخچه جابجایی های قائم کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دور نورتریج (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۹۱
شکل ۴-۳۲- منحنی تاریخچه جابجایی های افقی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دور نورتریج (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$)	۹۲

- شکل ۴-۳۳- منحنی تاریخچه جابجایی های افقی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دور نورتریج (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۹۲
- شکل ۴-۳۴- نمونه ای از منحنی تاریخچه تنش های برشی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دور نورتریج (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۹۳
- شکل ۴-۳۵- منحنی تاریخچه تنش های برشی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دور نورتریج (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۹۳
- شکل ۴-۳۶- وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه دور نورتریج..... ۹۴
- شکل ۴-۳۷- منحنی از رکورد سرعت- زمان حوزه دور زلزله لندرز ۹۵
- شکل ۴-۳۸- نمونه ای از منحنی تاریخچه جابجایی های قائم تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۹۶
- شکل ۴-۳۹- نمونه ای از منحنی تاریخچه جابجایی های قائم کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۹۶
- شکل ۴-۴۰- نمونه ای از منحنی تاریخچه جابجایی های افقی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۹۷
- شکل ۴-۴۱- نمونه ای از منحنی تاریخچه جابجایی های افقی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلندرز (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۹۷
- شکل ۴-۴۲- منحنی تاریخچه تنش های برشی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دور نورتریج (شیب گسل=۶۰ و $c=100kPa$) ۹۸
- شکل ۴-۴۳- منحنی تاریخچه تنش های برشی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دور نورتریج (شیب گسل=۶۰ و $c=100kPa$) ۹۸
- شکل ۴-۴۴- وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه دور لندرز..... ۹۸
- شکل ۴-۴۵- منحنی از رکورد سرعت- زمان حوزه دور زلزله لوماپریتا ۱۰۰
- شکل ۴-۴۶- نمونه ای از منحنی تاریخچه جابجایی قائم تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۱۰۱
- شکل ۴-۴۷- نمونه ای از منحنی تاریخچه جابجایی قائم کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۱۰۱
- شکل ۴-۴۸- نمونه ای از منحنی تاریخچه جابجایی افقی تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۱۰۲
- شکل ۴-۴۹- نمونه ای از منحنی تاریخچه جابجایی افقی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۱۰۲
- شکل ۴-۵۰- نمونه ای از منحنی تاریخچه تنش های قائم تاج تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۱۰۳

- شکل ۴-۵۱- نمونه ای از منحنی تاریخچه تنشهای برشی کف تونل در مقاطع ۱، ۲ و ۳ در زلزله حوزه دورلوماپریتا (شیب گسل=۶۰ درجه و $c=100kPa$) ۱۰۳
- شکل ۴-۵۲- وضعیت پلاستیک شدگی تحت رکورد حوزه دور لوماپریتا ۱۰۳
- شکل ۴-۵۳- نقش میزان بیشینه سرعت رکورد زلزله بر روی ماکزیمم میزان جابه جایی جانبی توده سنگ جداره تونل تحت زلزله (رکوردهای حوزه نزدیک با بیشینه سرعتهای ۵/۰ و ۷/۰ و ۹/۰ متر برثانیه) ۱۰۶
- شکل ۴-۵۴- نقش میزان بیشینه سرعت رکورد زلزله بر روی ماکزیمم میزان جابه جایی قائم توده سنگ جداره تونل تحت زلزله (رکوردهای حوزه نزدیک با بیشینه سرعتهای ۵/۰ و ۷/۰ و ۹/۰ متر برثانیه) ۱۰۷
- شکل ۴-۵۵- نقش میزان بیشینه سرعت رکورد زلزله بر روی ماکزیمم میزان تنشبرشی توده سنگ جداره تونل تحت زلزله (رکوردهای حوزه نزدیک با بیشینه سرعتهای ۵/۰ و ۷/۰ و ۹/۰) ۱۰۷
- شکل ۴-۵۶- نقش زاویه شیب گسل بر روی ماکزیمم میزان جابه جایی جانبی توده سنگ جداره تونل تحت زلزله (رکورد حوزه نزدیک طبس، عمق تونل ۲۵ متر و چسبندگی گسل ۱۰۰ کیلو پاسکال) ۱۰۹
- شکل ۴-۵۷- نقش زاویه شیب گسل بر روی ماکزیمم میزان جابه جایی قائم توده سنگ جداره تونل تحت زلزله (رکورد حوزه نزدیک طبس، عمق تونل ۲۵ متر و چسبندگی گسل ۱۰۰ کیلو پاسکال) ۱۱۰
- شکل ۴-۵۸- نقش چسبندگی سطح گسل بر روی ماکزیمم میزان جابه جایی قائم توده سنگ جداره تونل تحت زلزله (رکورد حوزه نزدیک طبس، عمق تونل ۲۵ متر و زاویه شیب گسل ۶۰ درجه) ۱۱۱
- شکل ۴-۵۹- نقش چسبندگی سطح گسل بر روی ماکزیمم میزان جابه جایی جانبی توده سنگ جداره تونل تحت زلزله (رکورد حوزه نزدیک طبس، عمق تونل ۲۵ متر و زاویه شیب گسل ۶۰ درجه) ۱۱۱

صفحه

فهرست جداول

جدول ۱-۲- جزئیات تست های سانتریفوژ.....	۱۸
جدول ۲-۲- خلاصه ای از نتایج گیانکو و همکاران.....	۲۴
جدول ۱-۳- مقایسه روش ها در توانایی و قابلیت های تحلیل.....	۳۴
جدول ۲-۳- مدل های ساختاری بلوکی در 3DEC.....	۴۰
جدول ۴-۳- رده بندی زمین بر اساس استاندارد ۲۸۰۰.....	۴۱
جدول ۵-۳- خواص مربوط به بلوک توده سنگ.....	۴۱
جدول ۶-۳- مدل های ساختاری درزه در 3DEC.....	۴۲
جدول ۷-۳- خواص انتخابی ناپیوستگی ها.....	۴۲
جدول ۸-۳- خواص مربوط به بلوک مورد آزمایش.....	۴۳
جدول ۹-۳- خواص مربوط به ناپیوستگی.....	۴۳
جدول ۱۰-۳- خواص بتن (لاینینگ بتنی).....	۵۱
جدول ۱۱-۳- خواص سطح مشترک بین لاینینگ و تونل.....	۵۱
جدول ۱۲-۳- مشخصات رکوردهای حوزه نزدیک مورد استفاده در مدل ها.....	۵۷
جدول ۱۳-۳- مشخصات رکوردهای حوزه دورمورد استفاده در مدل ها.....	۵۷
جدول ۱۴-۳- خواص محیط.....	۶۲
جدول ۱۵-۳- خواص ناپیوستگی.....	۶۲
جدول ۱-۴- ماکزیمم جابجایی های جانبی و قائم و تنش برشی جداره تونل از نمودارهای تاریخچه زمانی تحت رکوردحوزه نزدیک طیس.....	۷۹
جدول ۲-۴- ماکزیمم جابجایی های جانبی و قائم و تنش برشی جداره تونل از نمودارهای تاریخچه زمانی تحت رکوردهای حوزه نزدیک لندرز.....	۸۳
جدول ۳-۴- ماکزیمم جابجایی های جانبی و قائم و تنش برشی جداره تونل از نمودارهای تاریخچه زمانی تحت رکورد حوزه نزدیک لوماپریتا.....	۸۸
جدول ۴-۴- ماکزیمم جابجایی های جانبی و قائم و تنش برشی جداره تونل از نمودارهای تاریخچه زمانی تحت رکورد حوزه دورنورتريچ.....	۹۴
جدول ۵-۴- ماکزیمم جابجایی های جانبی و قائم و تنش برشی جداره تونل از نمودارهای تاریخچه زمانی تحت رکورد حوزه دور.....	۹۹

جدول ۴-۶- ماکزیمم جابجاییهای جانبی و قائم و تنش برشی جداره تونل از نمودارهای تاریخچه زمانی تحت رکوردهای حوزه دور
(رکورد لوماپریتا) ۱۰۴

جدول ۴-۷- پارامترهای انتخابی به منظور حساسیت سنجی ۱۰۸

فهرست علائم

C	ضریب فشرده‌سازی
F	ضریب انعطاف پذیری
E_m	مدول یانگ محیط اطراف تونل
K_1	ضریب پاسخ تونل
T	نیروی محوری ماکزیمم
M	لنگر خمشی ماکزیمم
K_2	ضریب پاسخ پوشش در حالت عدم وجود لغزش
E_m	مدول الاستیسیتة خاک
E_L	مدول الاستیسیتة پوشش
v_M	ضریب پوآسون خاک
v_L	ضریب پوآسون پوشش
r	شعاع پوشش
t	ضخامت پوشش
I	ممان اینرسی در واحد عرض پوشش تونل
γ_{max}	بیشترین کرنش برشی محور تونل
G_m	مدول برشی خاک
V_s	سرعت موج برشی
E_g	مدول یانگ توده سنگ
ρ	چگالی
T	مقاومت کششی توده سنگ
K_n	سختی نرمال
K_s	سختی برشی
Z_{dil}	زاویه اتساع درزه

K	مدول حجمی
G	مدول برشی
σ_v	تنش قائم
σ_h	تنش افقی
k	نسبت تنش افقی متوسط به تنش قائم متوسط
α	ثابت میراشوندگی متناسب با جرم
β	ثابت میراشوندگی متناسب با سختی
M	ماتریس جرم
K	ماتریس سختی
ξ	نسبت میرایی
f	فرکانس طبیعی سیستم
σ_n	تنش فشاری
σ_s	تنش برشی

۱

فصل اول

مقدمه

مقدمه

سازه های زیرزمینی بخش جدایی ناپذیر زیر ساخت های جامعه مدرن هستند و برای دامنه وسیعی از فعالیت ها و برنامه های کاربردی شامل مترو، راه آهن، ذخیره سازی مواد، فاضلاب و انتقال آب مورد استفاده قرار می گیرند. با توجه به توسعه روز افزون سازه های زیر زمینی و هزینه های فراوانی که برای ساخت هر یک از این سازه ها صرف می گردد و نیز اهمیت آنها در شبکه حمل و نقل بین شهری و داخل شهری و خطری که در صورت آسیب دیدگی آنها متوجه جان مردم میشود، لازم است که پایداری آنها در برابر خطرات ناشی از زلزله مورد مطالعه قرار گیرد [۱]. وجود تونل های متعدد آب، راه و راه آهن در کشورمان که از محل گسل عبور کرده و دارای صفحات ضعیف می باشد لزوم بررسی تاثیر حضور ناپیوستگی بر پایداری تونل ها را در شرایط استاتیکی و دینامیکی در حین طراحی و در زمان بهره برداری ایجاب می نماید. از آن جایی که یکی از مشکلات آیین نامه ها و رهنمودهایی برای طراحی سازه های زیر زمینی برای پاسخ تونل ها به خصوص در شرایطی که تونل ها در تقاطع با گسل فعال در طول زمین لرزه می باشد، لذا این امر نیازمند یک بررسی دقیق از عملکرد سازه های زیر زمینی در تقاطع با گسل فعال می باشد. همچنین ویژگی های زلزله های میدان نزدیک به طور قابل ملاحظه ای متفاوت از حرکات دور از منبع می باشند. مشخصه حرکت نزدیک گسل فعال پالس های قوی می باشد. بدین منظور این مطالعه به هدف بررسی تاثیرات احداث تونل در تقاطع با ناپیوستگی مستعد لغزش، و همچنین بررسی تاثیرات رکورد در دو حوزه دور و نزدیک صورت گرفته است. در این فصل مقدمه ای بر تحقیق پیش رو آورده شده است. در این پژوهش به طرح استاتیکی تونل ها و سازه های زیرزمینی نمی پردازیم، اما معمولاً تونل های طراحی شده در مقابل بارهای استاتیکی قابلیت تحمل لرزش های محدود و اندک زلزله را دارند. در این پژوهش به طور مشخص تاثیر زمین لرزه در دو حوزه دور و نزدیک بر تونل مورد بررسی قرار گرفته شده است.

۱.۱ طرح مسئله

بررسی حرکات نیرومند زمین تا زمانی که ارتعاشات ناشی از آن به سازه برسد در دو شاخه مهندسی ژئوتکنیک (دیدگاه تحلیل ساختگاه) و مهندسی زلزله (دیدگاه تحلیل رفتار زمین)، دارای اهمیت فراوان است. شایان توجه است که برای حداقل کردن خسارت حاصل از زلزله های بزرگ، نیازمندی به تدوین، تعمیم و گسترش دیدگاه های تحلیلی نسبت به ارتعاشات نیرومند زمین، بیش از پیش آشکار گردیده است.

نگاشت‌های ثبت شده در یک منطقه بسته به شرایط مختلفی از قبیل بزرگای زلزله، نوع گسلش، جهت انتشار گسیختگی، موقعیت قرارگیری نسبت به گسل و چشمه مولد زلزله، تفاوت‌های زیادی در ویژگی‌هایی مانند شدت، مدت دوام و محتوای فرکانسی دارند. این تفاوت‌ها باعث طبقه‌بندی زلزله‌های مختلف در دو گروه زلزله‌های حوزه دور و حوزه نزدیک یا زلزله‌های نزدیک گسل و دورازگسل می‌گردد. از طرفی در آیین‌نامه‌ها تنها با اعمال ضریبی که بیانگر نسبت شتاب قائم به افقی است این مسئله لحاظ می‌شود. زلزله‌های اخیر مانند زلزله کوبه ژاپن، زلزله چی‌چی تایوان و زلزله کوجایی ترکیه باعث بوجود آمدن شکست‌های گسترده در تونل‌ها شده‌اند. همچنین آسیب در سازه‌های زیرزمینی در زلزله‌های مختلف مانند زلزله ۱۹۷۶ تانگشان در چین و زلزله لوماپریتا در آمریکا مشاهده شده است. همانطور که مشهود است ایمنی تونل‌ها در مناطق فعال لرزه‌ای هنوز یکی از موضوعات مهم برای مهندسين تونل است.

اکثر مدل‌سازی‌های عددی صورت گرفته در زمینه طراحی تونل‌ها در مقابل بارهای لرزه‌ای به صورت شبه استاتیکی و یا تحت نوسانات دینامیکی در محیط پیوسته صورت گرفته است.

در این تحقیق، به تحلیل، تفسیر و مقایسه نتایج پاسخ‌های لرزه‌ای تونل دایره‌ای تک که در مجاورت ناپیوستگی مستعد لغزش احداث گردیده است، تحت زلزله‌های حوزه دور و نزدیک پرداخته شده است. همچنین مطالعات پارامتری بر روی برخی عوامل اصلی تاثیرگذار بر رفتار تونل در شرایط لرزه‌ای صورت گرفته است.

۲.۱ موضوع تحقیق

در تحقیق پیش‌رو موضوع اصلی بررسی، تاثیر تقاطع ناپیوستگی با تونل تحت تاثیر بار لرزه‌ای و همچنین تاثیر بار ورودی در حوزه دور و حوزه نزدیک بر روی پایداری تونل است. بار ورودی حوزه نزدیک ناشی از جابجایی گسلی در فاصله‌ای نزدیک به تونل می‌باشد و به همین صورت بار ورودی حوزه دور ناشی از جابجایی گسلی در فاصله دورتری نسبت به رکورد حوزه نزدیک می‌باشد. تحت تحریک رکوردهای اعمالی به مدل ناپیوستگی گذرنده از مدل نیز لغزیده و باعث ایجاد جابجایی و تنش‌های قابل توجهی در محدوده ناپیوستگی گشته است.

۳.۱ اهمیت موضوع

معمولاً خسارت وابسته به زمین لرزه در سازه های زیر زمینی، به طور عمده در زون هایی با یک بی ثباتی شدید در خصوصیات مکانیکی و هندسی در زمین و سازه متمرکز خواهد شد. بیشترین خسارت وارده به سازه های زیر زمینی زمانی ایجاد می گردد که این سازه ها در نزدیکی گسل فعال احداث گشته باشند. بررسی مطالعات پیشین نشان می دهد که دستورالعمل یا کد خاصی برای طراحی سازه های زیر زمینی، تحت تاثیر حرکت گسل وجود ندارد. در نتیجه، برخی از محققین در تلاش بوده اند که این مسئله را با استفاده از روش های عددی و تجربی مورد مطالعه قرار دهند.

در مطالعات پیشین صورت گرفته کمتر به مسئله آنالیز دینامیکی تونل ها در محیط ناپیوسته پرداخته شده است. به این منظور به جهت بررسی تاثیرات حضور ناپیوستگی بر پایداری تونل و محیط اطراف در شرایط استاتیکی و دینامیکی در این پژوهش روش المان مجزا انتخاب گردیده است.

۴.۱ هدف تحقیق

هدف از این تحقیق، تاثیرات بار دینامیکی زلزله بر تونل در دو حوزه دور و نزدیک می باشد. همچنین تاثیرات حرکت گسل بر روی پایداری تونل در شرایط استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی واقع گردیده است. لازم به ذکر است تحریک لرزه ای اعمالی به مدل در اثر حرکت ناپیوستگی متقاطع با تونل نبوده است بلکه در هر حالت رکوردها به کف مدل اعمال گردیده و در اثر رکورد اعمالی شاهد لغزش در ناپیوستگی متقاطع با تونل می باشیم. اهداف این تحقیق عبارتند از:

- ۱- مقایسه عددی رفتار دینامیکی تونل ها در طی زلزله های نزدیک به گسل و دور از گسل
 - ۲- بررسی عددی تأثیر زلزله های نزدیک به گسل بر روی رفتار دینامیکی تونل های واقع در محیط سنگی
 - ۳- بررسی عددی تأثیر حضور ناپیوستگی مستعد لغزش طی اعمال بار لرزه ای
- فرضیات این تحقیق عبارتند از:

۱. با افزایش عمق، میزان تاثیرات زلزله بر روی تونل کاهش پیدا می کند. بطور طبیعی این امر را می توان برای بهبود خواص مصالح با افزایش عمق و توانایی مستهلک کردن انرژی موج برشمرد.