بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی و مهندسی ، گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت دریافت کارشناسی ارشد

گرایش خاک و پی

عنوان :

تحلیل لرزه ای تونل‌ها و تاثیر آن در طراحی پوشش

استاد راهنما : جناب آقای دکتر سعید قربان بیگی

استاد مشاور : جناب آقای دکتر سعید خرقانی

نگارش : علی رستمی فر

شماره دانشجویی :

۸۸۱۰۶۸۹۷۸۰۰

آذر ۹۲

تقدیم به:

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم،دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم،چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

را آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم،باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگیتان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

تشکر و قدردانی:

به رسم ادب و حق شناسی،صمیمانه از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر سعید قربان بیگی که هدایت اینجانب را در این پایان نامه تقبل فرمودند و همواره با راهنمایی ها و نقدهای سازنده،در به ثمر رسیدن این پروژه مرا یاری نمودند،قدردانی می کنم.

در پایان مراتب سپاس خود را از همه اساتیدی که در دوره کارشناسی ارشد از محضرشان استفاده نموده ام اعلام می دارم.

معاونت پژوهش و فناوری

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

با یاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، ما دانشجویان و اعضاء هیات علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

۱- اصل برائت: التزام به برائت جویی از هر گونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شائبه های غیر علمی می آلایند.

۲- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هر گونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.

۳- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.

۴- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هر گونه حرمت شکنی.

۵- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.

۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.

۷- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هر گونه پنهان سازی حقیقت.

۸- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.

۹- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.

چکیده :

امروزه با پیشرفت فن آوری، سهولت نسبی در حفاری و ساخت سازه های زیرزمینی، محدودیت-های فضاهای سطحی برای اجرای طرح‌های عمرانی و نیز به واسطه مسائل سیاسی و امنیتی، توجه بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به احداث سازه های زیر زمینی برای کاربری-های عمرانی، نظامی و معدنی معطوف شده است. راه‌هاو بزرگراه‌های زیرزمینی، انواع تونل‌ها، شبکه متروی شهری، نیروگاه‌ها و سایر مغارهای‌زیرزمینی برای دفن زباله‌های هسته‌ای و یا به عنوان مخازن نفت، معادن، پناهگاه‌ها وانبارها، تعدادی از ساز ه‌هایی هستند که در کشورهای مختلف به سرعت در حال ساخت و اجرا می باشند.

با توجه به توسعه روز افزون ساز ه‌های زیر زمینی و هزینه های فراوانی که برای ساخت هر یک از این سازه‌ها صرف می‌گردد و نیز اهمیت آنها در شبکه حمل و نقل بین شهری‌و 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.در فصل اول پس از نگرشی اجمالی به تاریخ صنعت سازه های زیر زمینی و آسیب‌های‌گذشته این سازه ها در زلزله، به بررسی تعاریف مربوط به تونل‌ها و نیز مشخصات کلی امواج زلزله و نحوه تاثیر آنها بر تونل‌ها می‌پردازیم و برآورد خطر پذیری این گونه سازه ها را بیان می نماییم. در فصل دوم به مروری بر تحقیقات انجام شده روی تحلیل دینامیکی تونل‌ها پرداخته خواهد شد. در فصل سوم به معرفی ایستگاه خیابان ۱۷ شهریور و در فصل چهارم به معرفی نرم افزار Plaxis-2D پرداخته می شود. در فصل پنجم مدلسازی‌و تحلیل دینامیکی ایستگاه انجام و نیروهای داخلی پوشش‌ها در شرایط مختلف برای طراحی بهینه تر با هم مقایسه خواهد شد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: بررسی آسیب پذیری سازه های زیر زمینی در برابر زلزله ۱
۱-۱- تاریخچه تونل سازی و سازه های زیر زمینی ۲
۱-۱-۲- ویژگی های فضاهای زیرزمینی و نمونه های بارز آنها ۳
۱-۱-۳- مطالعه خرابی‌های گذشته ۴
۱-۲- تعاریف مربوط به زلزله ۷
۱-۲-۱- امواج زلزله ۷
۱-۲-۲- بیشینه شتاب زمین (PGA) ۸
۱-۲-۳- فرکانس و طول موج زلزله ۹
۱-۲-۴- فاصله از مرکز زلزله ۹
۱-۲-۵- دوام نوسان‌ها ۹
۱-۲-۶- شدت و بزرگی زلزله ۱۰
۱-۲-۷- گسلش ۱۰
۱-۳- تعاریف مربوط به تونل‌ها و ساختگاه ۱۱
۱-۳-۱-عمق تونل ۱۱
۱-۳-۲- شکل و اندازه تونل ۱۲
۱-۳-۳- وضعیت لایه بندی و جنس زمین ۱۲
۱-۳-۴- نحوه ساخت تونل ۱۲
۱-۳-۵- پوشش داخلی تونل(lining) ۱۳
۱-۴- تاثیر گسلش بر تونل‌ها ۱۳
۱-۴-۱- اهمیت مطالعه گسلش در طراحی سازه های زیر زمینی ۱۳
۱-۴-۲- انواع جابجایی های گسلی ۱۴
۱-۴-۳- جابجائی گسل در چند رویداد مهم لرزه ای ۱۵
۱-۴-۴- جابجائی در سطح و جابجائی در عمق ۱۷
۱-۴-۵- روش‌های کاهش صدمات ناشی از گسلش روی تونل‌ها و سازه های زیر زمینی ۱۸
۱-۵- تاثیر ارتعاشات زلزله بر تونل‌ها ۲۰
۱-۵-۱- اهمیت مطالعه ارتعاشات زلزله ۲۰
۱-۵-۲- اثر امواج مختلف بر سازه زیر زمینی ۲۱
۱-۵-۳- بررسی تغییر شکل‌های ایجاد شده در تونل ۲۳
۱-۵-۴- بررسی رفتار لرزه ای سازه های مدفون در رسوبات منفصل ۲۶
۱-۵-۴-۱- انواع تغییر شکل‌های لرزه ای خاک ۲۷

۱-۶- برآورد خطر پذیری تونل‌ها ۲۸
۱-۶-۱- برآورد خطر بر اساس HAZUS ۲۸
۱-۶-۱-۱- تونل در سیستم بزرگراهی ۲۹
۱ -۶-۱-۲- تونل در سیستم راه آهن ۳۴
فصل دوم : مروری بر تحقیقات انجام شده ۳۸
۲-۱- رامیرز و بابت ۲۰۰۶ ۳۹
۲-۱-۱- بررسی تعامل ساختارخاک – سازه درایستگاه مترو در طول زلزله کوبه ۳۹
۲-۲- هشش ۲۰۰۱ ۴۶
۲-۲-۱- بارگذاری زلزله به روش Hashash ۴۶
۲-۳- میابایاشی و توساکا ۲۰۰۸ ۵۳
۲-۳-۱- مطالعه موردی آسیب های زلزله به تونل‌های کم عمق ۵۴
۲-۴- محمد عبدل موتال ۵۷
۲-۴-۱- ایمنی مهندسی تونل هنگام وقوع زمین لرزه ۵۷
۲-۴-۲- وضعیت فعلی تجزیه و تحلیل لرزه ای تونل‌ها ۵۷
۲-۵- ونگ ۶۵
۲-۵-۱- طراحی پوشش در مناطق زلزله زده ۶۵
فصل سوم : معرفی ایستگاه متروی انتهای خیابان ۱۷ شهریور ۷۱
۳-۱- مقدمه ۷۲
۳-۲- معرفی ایستگاه متروی خیابان ۱۷ شهریور تهران ۷۳
۳-۳- روش اجرای ایستگاهها به روش غیرتونلی ۷۵
۳-۳-۱- مزایا و معایب روش‌های اجرای ایستگاه‌های کم‌عمق ۷۷
۳-۳-۲- روش اجرای ایستگاه‌ها به روش تونلی ۷۸
۳-۳-۲-۱- اجرای ایستگاه به روش طاق بتنی ۷۹
۳-۳-۲-۲- اجرای ایستگاه به روش شاخ بزی ۸۰
۳-۳-۳- انتخاب روش اجرای ایستگاه C6 ۸۰
۳-۴- روش ساخت ایستگاه به روش اتریشی جدید ۸۱
۳-۵- بررسی هندسه ایستگاه خیابان ۱۷ شهریور ۸۶
۳-۶- تعیین موقعیت ژئوتکنیکی مسیر ایستگاه خیابان ۱۷ شهریور ۸۷
۳-۶-۱- ملاحظات مربوط به نفوذ آب ۸۸
۳-۶-۲- خواص فیزیکی خاک ۸۹
۳-۷- سیستم سازه ای ۸۹
۳-۸- مصالح مصرفی ۹۰

۳-۹- طبقه بندی نوع زمین از دیدگاه لرزه ای ۹۳
فصل چهارم : تحلیل عددی در طراحی تونل ۹۴
۴-۱- مقدمه ۹۵
۴-۲- روشهای مدل کردن حفاری تونل ۹۵
۴-۲-۱- روش فضای خالی ۹۵
۴-۲-۲- روش نرم شوندگی تدریجی ۹۶
۴-۲-۳- روش کنترل افت حجم ۹۶
۴-۲-۴- روشهای عددی تحلیل ۹۷
۴-۲-۴-۱- روش المان محدود ۹۸
۴-۲-۴-۱-۱- معرفی نرم افزار Plaxis -2D ۹۹
۴-۲-۴-۱- ۲- دلیل انتخاب نرم‌افزار Plaxis -2D ۱۰۰
۴-۲-۴-۱-۳- نحوهٔ کارکرد و ورودی و خروجی نرم‌افزار Plaxis -2D ۱۰۱
۴-۲-۴-۱-۴- اجزاء خاک در Plaxis -2D ۱۰۳
۴-۲-۴-۱-۵- الگوسازی رفتار خاک ۱۰۴
فصل پنجم : تحلیل دینامیکی ایستگاه انتهای خیابان ۱۷ شهریور ۱۰۸
۵-۱- ساخت هندسهٔ مدل ۱۰۹
۵-۱-۱- شرایط مرزی ۱۱۰
۵-۱-۲- بارگذاری ترافیکی ۱۱۰
۵-۱-۳- تعیین خواص فیزیکی خاک ۱۱۰
۵-۱-۴- تعیین مشخصات المان‌های پوشش ۱۱۱
۵-۱-۵- مش بندی مدل ۱۱۴
۵-۱-۶- اعمال شرایط اولیه ۱۱۵
۵-۲- اجرا محاسبات ۱۱۵
۵-۳- تغییر مکانهای عمودی (نشست) در ایستگاه در حالت استاتیکی ۱۱۷
۵-۴- تحلیل دینامیکی ایستگاه ۱۱۸
۵-۴-۱- اهمیت طراحی لرزه ای ۱۱۹
۵-۴-۲- تاثیر زلزله بر تونل ۱۲۰
۵-۴-۳- اثر امواج بر روی تونل ها ۱۲۰
۵-۴-۴- عوامل آسیب پذیری سازه های زیرزمینی ۱۲۱
۵-۴-۵- مقایسهٔ سازه های سطحی با سازه های زیرزمینی در برابر زلزله ۱۲۱
۵-۴-۶- معیارهای طراحی لرزه ای برای سازه های تونل ۱۲۲
۵-۴-۷- روش‌های تحلیل دینامیکی سازه های زیرزمینی ۱۲۲

۵-۴- ۸- تحلیل دینامیکی ایستگاه با استفاده از روش عددی ۱۲۴
۵-۴-۸-۱- تنظیمات کلی ۱۲۵
۵-۴-۸-۲- ایجاد مرزهای جاذب ۱۲۵
۵-۴-۸-۳- پارامترهای مدل ۱۲۶
۵-۴-۸-۴- محاسبات ۱۲۷
۵-۴-۹-محاسبهٔ کرنش برشی میدان آزاد ۱۳۲
۵-۴-۱۰ پیش بینی نشست‌ها با استفاده از روش تحلیلی ۱۳۴
۵-۴-۱۰-۱- ارزیابی پارامترهای مورد نیاز جهت تحلیل نشست های ناشی از تونل‌سازی ۱۳۴
۵-۴-۱۰-۲- پارامتر gap (درز) ۱۳۴
۵-۴-۱۰-۳- تعیین نقطه عطف گودی نشست (i) ۱۳۷
۵-۴-۱۱- بررسی وضعیت پوشش ایستگاه ۱۴۰
نتایج ۱۵۸
پیشنهادات ۱۶۰
منابع ۱۶۲

فهرست شکل ها

شکل۱-۱ دیاگرام شماتیک از انواع مختلف امواج ایجاد شده در یک زلزله ۸
شکل۱-۲ ارتباط شدت و بزرگی و شتاب بیشینه زلزله با فاصله از گسل ۱۱
شکل۱-۳ قسمت‌های مختلف یک گسل و انواع جابجائی آن ۱۵
شکل۱-۴ طراحی تونل متروی لوس آنجلس در محل برخورد با گسل هالیوود ۱۹
شکل۱-۵ اثر امواج مختلف و انواع تغییر شکل‌های ناشی از ارتعاش زمین در هنگام زلزله ۲۳
شکل۱-۶ رابطه بین فاکتور تمرکز تش دینامیکی k1 برای موج p و نسبت پواسون ۲۵
شکل۱-۷ رابطه بین فاکتور تمرکز تش دینامیکیk2 برای موج S و نسبت پواسون ۲۵
شکل۱-۸ اثر زاویه برخورد موج با یک سازه خطی نظیر تونل و پارامتر های مرتبط با آن ۲۷
شکل۱-۹ تغییر شکل‌های حاصل از امواج برشی لرزه ای در خاک ۲۸
شکل۱-۱۰ منحنی های بازسازی برای تونل‌های بزرگراهی ۳۲
شکل۱-۱۱ منحنی خرابی در سطوح مختلف برای تونل‌های حفاری شده بر اساس حداکثر شتاب زمین ۳۳
شکل۱-۱۲ منحنی خرابی در سطوح مختلف برای تونل‌های خاکبرداری شده بر اساس حداکثر شتاب ۳۳
شکل۱-۱۳ منحنی خرابی در سطوح مختلف برای همه انواع تونل‌ها بر اساس جابجائی ماندگار زمین ۳۴
شکل۱-۱۴ منحنی های بازسازی برای تونل‌های راه آهن ۳۷
شکل۲-۱ آسیب ستون‌های مرکزی ایستگاه داکایی ۴۰
شکل۲-۲ پلان ایستگاه داکایی ۴۱
شکل۲-۳ مش بندی ایستگاه کوبه ۴۲

شکل۲-۴ رانش بخش‌های ۱و۲ ۴۲
شکل۲-۵ مقطع ۱ ۴۳
شکل۲-۶ مقطع ۲ ۴۳
شکل۲-۷ نیروی محوری ستون مرکزی ۴۴
شکل۲-۸ جزئیات آرماتور ستون ۴۵
شکل۲-۹ تغییر مکان میدان آزاد ۵۰
شکل۲-۱۰ شرایط مرزی مدل‌سازی ۵۱
شکل۲-۱۱ مدل خاک بکر ۵۲
شکل۲-۱۲ مدل خاک و سازه ۵۲
شکل۲-۱۳ تغییر شکل ایستگاه در برابر بار متمرکز(a) و گسترده مثلثی(b) ۵۳
شکل۲-۱۴ آسیب‌های تونل ناشی از زلزله ۵۵
شکل۲-۱۵ آسیب‌های تونل ایماهاما ۵۶
شکل۲-۱۶ آسیب‌های تونل هیگاشیما ۵۶
شکل۲-۱۷ مکانیسم آسیب‌های تونل ۵۷
شکل۲-۱۸ امواج زلزله ۵۹
شکل۲-۱۹ هندسه تونل ۶۱
شکل۲-۲۰ شتاب حداکثر ۶۲
شکل۲-۲۱ مش بندی تونل ۶۳
شکل۲-۲۲ نمودارهای ممان خمشی و نیروی محوری و نیروی برشی ۶۴
شکل۲-۲۳ مدل تونل در plaxis ۶۸
شکل۲-۲۴ نیروهای لاینینگ تونل بدون بارگذاری زلزله ۶۹
شکل۲-۲۵ نیروهای لاینینگ تونل با شبه استاتیکی زلزله ۶۹
شکل۳-۱ شبکهٔ متروی تهران ۷۴
شکل۳-۲ قسمتی از خط ۶ متروی تهران ۷۵
شکل۳-۳ روش اجرای ایستگاه‌ها به روش غیرتونلی ۷۶
شکل۳-۴(Cover and Cut (Enclosed Excavation ۷۷
شکل۳-۵ پلان و مقاطع اجرای قوس‌های بتنی ۷۹
شکل۳-۶ سازه نگهبان متشکل از قسمت ترانشه‌باز (شمع و استرات) و زیرزمینی (شمع و ریب) ۸۰
شکل۳-۷ قسمت رمپ و شفت تونل ۸۱
شکل۳-۸ مراحل ساخت ایستگاه مترو به روش اتریشی جدید ۸۲
شکل۳-۹ هندسهٔ ایستگاه متروی خیابان ۱۷ شهریور ۸۶
شکل۳-۱۰ پروفیل خاک ایستگاه ۸۷

شکل۳-۱۱ دانه بندی خاک ایستگاه ۸۸
شکل۳-۱۲ مقادیر سرعت برشی بر حسب عمق ۹۳
شکل۴-۱ پنجره اصلی برنامه ورودی در نرم‌افزار Plaxis- 2D ۱۰۲
شکل۴-۲ موقعیت گره‌ها و نقاط تنش در اجزاء خاک ۱۰۴
شکل۴-۳ تعریف E_o و E_{50} بر اساس نتایج آزمایش سه محوری زهکشی شده ۱۰۵
شکل۴-۴ دوایر تنش تسلیم کولمب ۱۰۶
شکل۵-۱ المان بندی تیر ۱۱۲
شکل۵-۲ المان‌های نگهداری اولیه ۱۱۴
شکل۵-۳ مش بندی مدل ۱۱۵
شکل۵-۴ مش تغییر شکل یافتهٔ مقطع عرضی ایستگاه ۱۱۷
شکل۵-۵ مرزهای جاذب و جابجایی استاندارد ۱۲۶
شکل۵-۶ شتاب نگاشت زمین لرزهٔ منجیل ۱۲۸
شکل۵-۷ شتاب نگاشت زمین لرزهٔ طبس ۱۲۹
شکل۵-۸ شتاب نگاشت زمین لرزهٔ ناغان ۱۲۹
شکل۵-۹ بار دینامیکی اعمال شده به کف مدل ۱۳۰
شکل۵-۱۰ مفهوم کرنش برشی میدان آزاد ۱۳۴
شکل۵-۱۱- پارامترهای نشست و نمادگذاری ۱۳۸
شکل۵-۱۲ تغییر شکل کلی ایستگاه در شرایط مختلف ۱۴۱
شکل۵-۱۳ تغییر شکل و نیروهای محوری ایجاد شده در پوشش ایستگاه ۱۴۲
شکل۵-۱۴نیروی برشی و لنگر خمشی ایجاد شده در پوشش ایستگاه ۱۴۳
شکل۵-۱۵ بازتاب و شکست موج طولی پس از رسیدن به سطح زمین ۱۵۶

فهرست جدول ها

جدول۱-۱ صدمات وارده به تونل‌های حمل و نقل و انتقال آب بر اثر وقوع زلزله از سال۱۹۲۳ تا سال ۱۹۹۳ در کشور ژاپن ۶
جدول۱-۲ پارامترهای توابع خرابی تونلHAZUSZ99 ۱۳
جدول۱-۳ برخی از زلزله های مهم ایران در سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۸۰ که همراه با گسلش قابل توجه بوده اند. ۱۶
جدول۱-۴ توابع بازسازی پیوسته برای اجزای بزرگراهی ۳۰
جدول۱-۵ توابع بازسازی منقطع برای اجزای بزرگراهی ۳۱
جدول۱-۶ الگوریتم های خرابی برای تونل‌ها ۳۲
جدول۱-۷ توابع بازسازی پیوسته برای اجزای راه آهن ۳۶
جدول۱-۸ توابع بازسازی منقطع برای اجزای سیستم حمل نقل ریلی ۳۶

جدول۲-۱ نسبت شتاب در عمق به نسبت شتاب در سطح ۴۸
جدول۲-۲ نسبت بیشینه سرعت زمین به بیشینه شتاب گرانش، در سطح زمین ۴۹
جدول۲-۳ پارامترهای استاتیکی و دینامیکی خاک ۶۲
جدول۲-۴ پارامترهای خاک ۶۶
جدول۳-۱ مزایا و معایب روش‌های اجرای ایستگاه‌های کم‌عمق ۷۸
جدول۳-۲ مشخصات فیزیکی خاک ۸۹
جدول۳-۳ مشخصات مصالح مصرفی ایستگاه ۹۱
جدول۵-۱ سیستم آحاد Plaxis- 2D ۱۰۹
جدول۵-۲ اندازه محیط مدل و المان بندی ۱۱۰
جدول۵-۳ خواص فیزیکی خاک ۱۱۱
جدول۵-۴ مشخصات المان‌های نگهداری اولیه ۱۱۴
جدول۵-۵ سرعت امواج متناظر V_p و V_s ۱۲۶
جدول۵-۶ نسبت شتاب در عمق به نسبت شتاب در سطح (Power و همکارانش ، ۱۹۹۶) ۱۳۲
جدول۵-۷ نسبت بیشینه سرعت زمین به بیشینه شتاب گرانش، در سطح زمین ۱۳۳
جدول ۵-۸-خصوصیت مکانیکی خاک رس ۱۳۹
جدول۵-۹ نیروهای وارده بر نقاط مختلف پوشش ایستگاه در شرایط استاتیکی ۱۴۴
جدول۵-۱۰ نیروهای وارده بر نقاط مختلف پوشش ایستگاه تحت اثر زلزله طبس ۱۴۴
جدول۵-۱۱ نیروهای وارده بر نقاط مختلف پوشش گیردار ایستگاه تحت اثر زلزله طبس ۱۴۵

فهرست نمودارها

نمودار۵-۱ تغییرمکان‌های عمودی (نشست) در ایستگاه در حالت استاتیکی ۱۱۸
نمودار۵-۲ نشست عمودی ایجاد شده در محور مرکزی ایستگاه با اعمال زلزله با رکوردهای شتاب مختلف ۱۳۱
نمودار۵-۳ تغییر مکان افقی ایجاد شده در محور مرکزی ایستگاه با اعمال زلزله با رکوردهای شتاب مختلف ۱۳۱
نمودار۵-۴ نیروی محوری کف شمع سمت چپ ۱۴۵
نمودار۵-۵ نیروی برشی کف شمع سمت چپ ۱۴۶
نمودار۵-۶ نیروی خمشی کف شمع سمت چپ ۱۴۶
نمودار۵-۷ نیروی محوری کف شمع سمت راست ۱۴۷
نمودار۵-۸ نیروی برشی کف شمع سمت راست ۱۴۷
نمودار۵-۹ نیروی خمشی کف شمع سمت راست ۱۴۸
نمودار۵-۱۰ نیروی محوری شمع سمت چپ ۱۴۸
نمودار۵-۱۱ نیروی برشی شمع سمت چپ ۱۴۹
نمودار۵-۱۲ نیروی خمشی شمع سمت چپ ۱۴۹

نمودار۵-۱۳ نیروی محوری شمع سمت راست ۱۵۰
نمودار۵-۱۴ نیروی برشی شمع سمت راست ۱۵۰
نمودار۵-۱۵ نیروی خمشی شمع سمت راست ۱۵۱
نمودار۵-۱۶ نیروی محوری صلب سمت چپ ۱۵۱
نمودار۵-۱۷ نیروی برشی صلب سمت چپ ۱۵۲
نمودار۵-۱۸ نیروی خمشی صلب سمت چپ ۱۵۲
نمودار۵-۱۹ نیروی محوری صلب سمت راست ۱۵۳
نمودار۵-۲۰ نیروی برشی صلب سمت راست ۱۵۳
نمودار۵-۲۱ نیروی خمشی صلب سمت راست ۱۵۴
نمودار۵-۲۲ نیروی محوری ریب ۱۵۴
نمودار۵-۲۳ نیروی برشی ریب ۱۵۵
نمودار۵-۲۴ نیروی خمشی ریب ۱۵۵

فصل اول :

بررسی آسیب پذیری سازه های زیر زمینی در برابر زلزله

۱-۱- تاریخچه تونل سازی و سازه های زیر زمینی

احتمالاً اولین تونل ها در عصر حجر برای توسعه خانه ها با انجام حفریات توسط ساکنان شروع شد. این امرنشانگر این است که آنها در تلاشهایشان جهت ایجاد حفریات به دنبال راهی برای بهبود شرایط زندگی خود بوده‌اند. پیش ازتمدن روم باستان،در مصر، یونان ، هند و خاور دور و ایتالیای شمالی،تماماً تکنیک‌های تونل‌سازی دستی مورد استفاده قرار می گرفت که در اغلب آنها نیز از فرایندهای مرتبط با آتش برای حفر تونل های نظامی، انتقال آب و مقبره ها کمک گرفته شده است. در ایران نیز از چند هزار سال پیش، به منظور استفاده از آبهای زیر زمینی تونل هایی موسوم به قنات حفر شده است که طول بعضی از آنها به ۷۰ کیلومتر و یا بیشتر نیز می رسد. تعداد قنات های ایران بالغ بر ۵۰۰۰۰رشته برآورده شده است .جالب توجه است که این قنات های متعدد، طویل و عمیق با وسایل بسیار ابتدایی حفر شده اند.

رومی ها نیز در ساخت قنات ها و همچنین در حفاری تونل‌های راه پرکار بودند. آنها در ضمن اولین دوربین‌های مهندسی اولیه را در جهت کنترل تراز وحفاری تونل ها به کار بردند.

اهمیت احداث تونل ها دردوران های قدیم،تا بدین جاست که کارشناسان کارهای احداث تونل درآن تمدن ها را نشانگر رشد فرهنگ و به ویژه رشد تکنیکی و توان اقتصادی آن جامعه دانسته اند. تمدن-های اولیه به سرعت، به اهمیت تونل‌ها ، به عنوان راه های دسترسی به کانی‌ها و مواد طبیعی نظیر سنگ چخماق به واسطه اهمیتش برای زندگی، پی بردند. همچنین کاربرد آنها دامنه گسترده ای از طاق زدن بر روی قبرها تا انتقال آب و یا گذرگاه‌هایی جهت رفت و آمد را شامل می شد.کاربردهای نظامی تونل ها، به ویژه از جهت بالابردن توان گریز یا راههایی جهت یورش به قرارگاه‌ها و قلعه های دشمن، ازدیگر جنبه های مهم کاربرد تونل‌ها در تمدن های اولیه بود.

تونل سازی همزمان با انقلاب صنعتی، به ویژه به منظور حمل و نقل ، تحرک قابل ملاحظه ای یافت . تونل‌سازی به گسترش و پیشرفت کانال سازی کمک کرد و این امر در توسعه صنعت به ویژه در قرون ۱۸و ۱۹ میلادی در انگلستان سهم بسزایی داشت. کانال ها یکی از پایه های انقلاب صنعتی بودند و

توانستند در مقیاس بسیار بزرگ هزینه های حمل و نقل را کاهش دهند. تونل مال پاس با طول ۱۵۷ متر برروی کانال دومیدی در جنوب فرانسه اولین تونلی بود که در دوره های مدرن در سال ۱۶۸۱ ساخته شد. همچنین اولین تونل ساخته شده با کاربرد حفاری و انفجار باروت بود. در انگلستان، قرن ۱۸ نیز جیمز بریندلی از خانواده ای مزرعه دار با نظارت بر طراحی و ساخت بیش از ۵۸۰ کیلومتر کانال و تعدادی تونل به عنوان پدر کانال و تونل های کانالی ملقب شد. وی در سال ۱۷۵۹ با ساخت یک کانال به طول ۱۶ کیلومتر مجموعه معدن زغال دوک بریدجواتر را به شهر منچستر متصل نمود. اثر اقتصادی تکمیل این کانال نصف شدن قیمت زغال در شهر و ایجاد یک انحصار واقعی برای معدن مذکور بود. در اوایل قرن نوزدهم به منظور عبور از قسمت‌های پایین دست رودخانه تایمز هیچ سازه ای موجود نبود و ۳۷۰۰ عابر مجبور بودند با طی یک راه انحرافی ۳ کیلو متری با قایق مسیر روترهایت به ویپنیگ را طی کنند. اقدام به ساخت یک تونل نیز به دلیل ریزشی بودن ومناسب نبودن رسوبات کف رودخانه متوقف شد. تا اینکه در حدود سال ۱۸۲۰ فردی بنام مارک ایرامبارد برونل از فرانسه ایده استفاده از سپر را مطرح نمود و در سال ۱۸۲۵ کار احداث تونل بین روترهایت و ویپنیگ را آغاز و علی رغم جاری شدن چند نوبت سیل در سال ۱۸۴۳ آن را باز گشایی نمود. این تونل تامس نام گرفته واولین تونل زیر آبی بود که بدون هر گونه رودخانه انحرافی حفر شد. در دیگر موارد تونل-های زهکشی بزرگ ، نظیر تونلی با طول ۷ کیلو متر در هیل کارن انگلستان، اهمیت زیادی در توسعه صنعت معدن‌کاری داشته‌اند. البته بررسی تاریخچه پیشرفت در روش ها و تکنیک ها و به عبارتی در هنر تونل سازی نشانگر این مطلب است که مانند بسیاری دیگر از علوم و فنون بیشتر رشد این هنردر قرن گذشته صورت گرفته و تا حال نیز ادامه دارد.

۱-۱-۲- ویژگی های فضاهای زیرزمینی و نمونه های بارز آنها:

هم اکنون در زمینه های مختلف کاربرد تونل‌ها ، مزایای متفاوت و گوناگونی را بر می شمرند. از آن جمله ویلت، استفاده فزاینده فعلی از فضاهای زیر زمینی را به دلایل زیر، رو به افزایش دانسته است.

۱- برتری محیط ساختاری به معنای وجود یک حصار وساختار طبیعی فراگیر.

۲- عایق سازی با سنگ‌های فراگیر که دارای ویژگی‌های عالی عایق ها می باشند.

۳- محدودیت کمتر دراحداث سازه های بزرگ به دلیل نیاز کمتر به استفاده از وسایل نگهداری عمده در مقایسه با احداث همان سازه بر روی سطح زمین.

۴- کمتر بودن تأثیرات منفی زیست محیطی.

از دیگر مزایای تونل ها در راه‌های ارتباطی می توان به:

۱- کوتاهتر شدن مسیرها و افزایش راندمان ترافیکی

۲- بهبود مشخصات هندسی مسیر

۳- جلوگیری از خطرات ریزش کوه و بهمن

۴- ایمنی بیشتر در برابر زلزله

اشاره کرد.

مثال های متعددی می توان از نقش وتأثیر عمده تونل‌سازی و پروژه های بزرگ این صنعت از گذشته تا حال ذکر کرد.تونل مشهور مونت بلان دو کشور فرانسه و ایتالیا را به هم متصل می سازد. عملیات ساختمانی آن در سال ۱۹۵۹ آغاز گردید و حفر این تونل فاصله بین میلان و پاریس را به طول ۳۰۴ کیلو متر کوتاهتر نموده است .از دیگر نمونه ها، کشور فنلاند است که سازه های زیر زمینی را به صورت غارهای عظیم بدون پوشش بتنی ، به منظور انبار مواد نفتی مورد استفاده قرار داده و در حال حاضر بیش از ۷۵ انبار نفتی در سراسر کشور فنلاند با گنجایشی بیش از ۱۰ میلیون متر مکعب ساخته شده است.

۱-۱-۳- مطالعه خرابیهای گذشته

بر اساس یک پندار کهن، سازه های زیر زمینی ایمن ترین سازه ها در برابر زلزله می باشند. در تمام نقاط جهان خطوط متروی زیر زمینی به عنوان پناهگاه برای نجات و اسکان در زمان وقوع زلزله مورد

استفاده قرار گرفته اند.برای اثبات صحت و سقم این پندار، لازم است عملکرد تونل‌ها و سازه های زیر زمینی در برخی از کشورهای پیشرفته در طول قرن گذشته مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرد.

در کشور ژاپن تونل‌های بسیاری احداث شده است، از این رو از دیدگاه تونل‌سازی در زمره پیشرفته ترین کشورها قرار دارد. با توجه به شدت زلزله خیز بودن ژاپن و اهمیتی که پدیده زلزله در آن کشور دارد، گزارش‌های متعددی در زمینه صدمات وارده بر تونل‌ها در اثر زلزله در این کشور منتشر نموده اند.اولین زلزله ای که صدمات زیادی را به تونل‌ها وارد نمود زلزله کانتو (Kanto) در سال ۱۹۲۳ بود. در این زلزله به بیش از ۱۰۰ تونل آسیب وارد آمد. پس از آن مجدداً بر اثر زلزله های ۱۹۳۰ کیتا-ایزو (Kita-Izu) ۱۹۶۴ نیگاتا (Nigata) و ۱۹۷۸ ایزو-اوشیما-کینکایی صدمات شدیدی در بسیاری از تونل‌های موجود در ناحیه های زلزله زده گزارش گردید. جدول (۱-۱) صدمات مربوط به تونل‌ها را در زلزله های مختلف کشور ژاپن از سال ۱۹۲۳ تا سال ۱۹۹۳ را نشان می دهد.

یکی از جدیدترین رویدادهای لرزه ای در ژاپن که منجر به صدمات شدیدی به تونل‌های زیر زمینی در منطقه زلزله زده گردید، زلزله ۱۹۹۵ کوبه یا هیوگوکن-نانبو بوده است. عمده ترین صدمات به تاسیسات زیر زمینی در این زلزله مربوط به سه ایستگاه راه آهن زیرزمینی در شهر کوبه بود. در محل ایستگاه دایکایی ستونهای مرکزی بر اثر تغییر شکل حاصل از زلزله دچار شکستگی برشی گردیده و قابلیت باربری خود را از دست دادند و در نتیجه سقف بر اثر وزن خود ریزش نمود.از آنجایی که برای طراحی این ایستگاه بر اساس استاندارد طراحی موجود تنها بارهای استاتیکی در نظرگرفته شده بود، لذا دیوارهای کناری و ستونهای مرکزی فاقد مهارهای برشی بودند. همچنین بر اثر وقوع این زلزله بیش از ۳۰ تونل از مجموع ۱۰۰ تونل موجود در منطقه دچار صدمات نسبتاً شدیدی شدند. عمده ترین نوع این صدمات ایجاد ترک‌های برشی روی تاج و سقوط گوه‌های سنگی از آن، شکستگی همراه با سقوط سنگ از سقف و دیواره ها و سقوط سنگ از محل اتصال قطعات بتنی به یکدیگر بوده است. در این زلزله خسارت‌های ایجاد شده به حدود ۱۱۰ تونل در این منطقه بالغ بر نیم بیلیون دلار ارزیابی شد.

سال و نام زمین لرزه	بزرگا	وضعیت صدمات بر تونل
۱۹۲۳ کانتو	۷/۹	آسیب بسیار زیاد به بیش از ۱۰۰ تونل در منطقه کانتوی جنوبی
۱۹۲۷ کیتا – تانگو	۷/۳	آسیب مختصر به دو تونل راه آهن در رومرکز
۱۹۳۰ کیتا-ایزو	۷/۳	آسیب بسیار زیاد به یک تونل را ه آهن در محل تقاطع با گسل زمین لرزه
۱۹۴۸ فوکویی	۷/۱	آسیب شدید به دو تونل را ه آهن در فاصله حدود ۸ کیلومتری از گسل زمین لرزه
۱۹۵۲ توکای-اکی	۸/۲	آسیب مختصر به ۱۰ تونل راه آهن در هوکایدو
۱۹۶۱ کیتا-می نو	۷	صدمات ناشی از ترک خوردگی به دو تونل انتقال آب
۱۹۶۴ نیگاتا	۷/۵	آسیب بسیار زیاد به حدود ۲۰ تونل راه آهن و یک تونل جاده
۱۹۶۸ توکاچی-اوکی	۷/۹	آسیب مختصر به ۲۳ تونل راه آهن در هوکایدو
۱۹۷۸ ایزو-اوشیما-کینکایی	۷	آسیب بسیار زیاد به ۹ تونل راه آهن و ۴ تونل جاده در یک منطقه محدود
۱۹۷۸ میاگی کن-اکی	۷/۴	آسیب مختصر به ۶ تونل راه آهن که در ناحیه میاگی شدت صدمات بیشتر بوده است.
۱۹۸۲ اوراکاوا-اوکی	۷/۱	آسیب جزئی به ۶ تونل راه آهن نزدیک اوراکاوا
۱۹۸۳ رنیهونکای-چوبو	۷/۷	آسیب جزئی به ۸ تونل راه آهن در آکیتا و...
۱۹۸۴ ناگانوکن-سی بو	۶/۸	صدمات وارده بر اثر ترک خوردگی به یک تونل
۱۹۸۷ چیتاکن-توهو-اکی	۶/۷	خسارت به دیواره یک تول راه آهن در مرز کینا گاوا – یاماناشی
۱۹۹۳ نوتوهانتو-اکی	۶/۶	آسیب بسیار زیاد به یک تونل جاده
۱۹۹۳ هوکایدو-نانسی-اکی	۷/۸	آسیب بسیار زیاد به یک تونل جاده تحت تاثیر سقوطسنگ

جدول ۱-۱- صدمات وارده به تونل‌های حمل و نقل و انتقال آب بر اثر وقوع زلزله از سال ۱۹۲۳ تا سال ۱۹۹۳ در کشور ژاپن