بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران- سازه

عنوان:

شبیه سازی رفتار لرزه ای خطوط لوله آبرسانی فولادی پیوسته مدفون تحت اثر امواج زلزله

استاد راهنما:

دکتر محمود اکبری

توسط:

حامد سلامی

مهر ماه ۱۳۹۳

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: حامد سلامی — شماره دانشجویی: ۹۱۱۳۶۳۰۲۰۱

رشته: عمران-سازه — دانشکده: مهندسی

عنوان پایان نامه: شبیه سازی رفتار لرزه‌ای خطوط لوله آبرسانی فولادی پیوسته مدفون تحت اثر امواج زلزله

تعداد واحد پایان نامه: ۶ — **تاریخ دفاع:** ۱۳۹۳/۷/۲۶

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارایه می‌گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ موردتأییدواز رزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره‌ی درجه به تصویب رسید.

اعضای هیئت داوران ۱۸/۵ و بسیار خوب

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	محمود اکبری	استادیار	
۲- استاد داور داخل دانشگاه	حسن استاد حسین	استادیار	
۳- استاد داور خارج/داخل دانشگاه	حسین تحقیقی	استادیار	
٤- نماینده تحصیلات تکمیلی	حسین تحقیقی	استادیار	

دکتر محمدرضا منصور نیا

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه کاشان

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی

آدرس: کاشان- بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن ۵۵۵۹۹۳۰-دورنگار ۵۵۵۹۹۳۰
http: www.kashanu.ac.ir

بسمه تعالی

تاریخ :
شماره :
پیوست :

دانشگاه کاشان

تعهدنامه

در این پایان نامه با عنوان:

۱- مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می باشد و در مواردی که از یافته‌های علمی و پژوهشی دیگر محققان تحت عنوان کتاب، پایان‌نامه، مقاله و غیره استفاده نموده‌ام؛ رعایت کامل امانتداری را در ذکر مشخصات و منابع و مآخذ استفاده شده نموده و آن را در فهرست مربوطه‌اش درج کرده‌ام.

۲- تمامی یا بخشی از پایان‌نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی یا امتیازی (هم سطح، پایین‌تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی توسط اینجانب و یا فرد دیگری ارائه نگردیده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

۳- مقالات مستخرج از این پایان‌نامه/ رساله کاملاً حاصل پژوهش اینجانب بوده و از هرگونه جعل در داده ها و یا تغییر پرهیز شده است.

۴- کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج، مطالعات، اختراعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه برای دانشگاه کاشان محفوظ است. نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

۵- درصورت اثبات تخلف در هر زمان مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه کاشان از درجه اعتبار ساقط و با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات مربوط رفتار خواهد شد.

نام و نام خانوادگی استاد راهنما:

امضاء

۹۳/۱۲/۴

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضاء

آدرس: کاشان- بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن ۵۹۱۲ - دوربگار ۵۵۱۱۱۲۱
www.kashanu.ac.ir

تقدیم به:

خانواده عزیزم، که مشوق و یاریگر من در طول مدت تحقیق بودند.

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا برخود لازم می دانم از تمامی اساتید بزرگوار بویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای **دکتر محمود اکبری** که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده‌اند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقای **دکتر حسن استادحسین** بعنوان استاد داور داخل دانشگاه و آقای **دکتر حسین تحقیقی** بعنوان استاد داور مدعو خارج از دانشگاه که این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند تشکر می‌نمایم.

در پایان از جناب آقای **دکتر حسین تحقیقی** که بعنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند سپاسگذاری می‌نمایم.

چکیده

امروزه خطوط لوله آبرسانی مدفون در روند زندگی جوامع بشری نقشی اساسی دارند. این لوله ها در معرض تغییر شکل ها و خرابی های ناشی از زلزله آسیب پذیر می باشند. لذا ارزیابی عملکرد لرزه ای به منظور ایمنی هر چه بیشتر در مقابل حوادث ناشی از زلزله امری ضروری و اجتناب ناپذیر است به خصوص اینکه کشور ما ایران بر روی کمربند زلزله نیز قرار دارد. در حالت کلی اثر زلزله بر روی خطوط لوله مدفون به دو دسته مستقیم که ناشی از انتشار امواج زلزله و غیر مستقیم که شامل اثرات ثانویه ناشی از حرکات زمین لرزه تحت اثر گسلش، روانگرایی و زمین لغزش می باشد تقسیم بندی می شود. در این تحقیق بررسی رفتار لوله های مدفون تحت اثر مستقیم زلزله یعنی اثر انتشار امواج، مورد بررسی قرار گرفته است. برای مدل سازی و بررسی خطوط لوله پیوسته تحت اثر انتشار امواج زلزله، از نرم افزار آباکوس استفاده شده است. در مدلسازی از المان پوسته برای لوله، استفاده شده است. برای مدل سازی اندرکنش لوله و خاک در لغزش و جابجایی نسبی، خاک اطراف لوله به صورت یک توده یکپارچه با المان پیوسته مدل سازی شده است. برای تحلیل لرزه ای لوله از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی استفاده شده است. در انتها تأثیر پارامترهایی مثل قطر لوله، عمق دفن لوله و مشخصات مکانیکی خاک روی حداکثر کرنش ها و تغییر مکان های لوله بررسی شده است.

کلمات کلیدی: خطوط لوله مدفون، رفتار لرزه ای، امواج زلزله، روش اجزاء محدود

فهرست مطالب

فهرست مطالب..... أ

فهرست شکل ها..... ه

فهرست جدول ها..... ط

علائم و حروف اختصاری..... ی

فصل اول: ۱

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ خطوط لوله مدفون..... ۴

۱-۲-۱ صلبیت لوله های مدفون..... ۵

۱-۲-۲ خطوط لوله پیوسته و گسسته..... ۶

۱-۲-۳ خط لوله مدفون تأمین کننده آب..... ۶

۱-۲-۴ رفتار خط لوله مدفون به هنگام زلزله..... ۷

۱-۲-۴-۱ اثر مستقیم..... ۹

۱-۲-۴-۲ اثر غیر مستقیم..... ۱۰

۱-۲-۵ مخاطرات لرزه ای تهدید کننده خطوط لوله مدفون..... ۱۲

۱-۲-۵-۱ موارد عمده آسیب ها در خطوط لوله شبکه ها..... ۱۲

۱-۲-۵-۲ عوامل آسیب در لوله های مدفون..... ۱۳

۱-۲-۵-۲-۱ خصوصیات ارتعاشی و تغییر شکل های ماندگار زمین..... ۱۳

۱-۲-۵-۲-۲ خصوصیات بستر لوله..... ۱۳

۱-۲-۵-۲-۳ خصوصیات سازه ای و مصالح لوله..... ۱۳

۱-۲-۵-۳ نوع آسیب در لوله های مدفون..... ۱۴

۱-۲-۵-۳-۱ خرابی بدنه (نشتی و شکستگی)..... ۱۴
۱-۲-۵-۳-۲ خرابی در اتصالات..... ۱۵
۱-۳ شرایط بستر خط لوله مدفون ۱۶
۱-۳-۱ دسته بندی خاک ها..... ۱۶
۱-۳-۲ رفتار مکانیکی خاک ها ۱۷
۱-۳-۳ اثر آب در خاک..... ۱۷
۱-۳-۴ حرکت و جابه جایی زمین ۱۸
۱-۴ لزوم انجام تحقیق..... ۲۰
۱-۵ سوالات کلیدی تحقیق..... ۲۱
۱-۶ معرفی اجمالی روش تحقیق ۲۲
۱-۷ معرفی فصل های پایان نامه ۲۵
فصل دوم: ۲۶
۲-۱ مقدمه..... ۲۷
۲-۲ رویکردهای متداول در تحقیقات گذشته ۲۸
۲-۲-۱ رویکرد نیومارک..... ۲۸
۲-۲-۲ رویکرد ساکورای و تاکاهاشی ۳۰
۲-۲-۳ رویکرد نوواک و هیندی ۳۲
۲-۲-۴ رویکرد شینوزوکا و کویکه ۳۲
۲-۲-۵ رویکرد ال هامادی و اوروركه ۳۴
۲-۲-۶ رویکرد داتا ۳۷
۲-۳ جمع بندی تحقیقات گذشته..... ۳۸
فصل سوم: ۴۰
۳-۱ مقدمه..... ۴۱

۳-۲ روش های تحلیل ۴۲
۳-۲-۱ تحلیل های استاتیکی ۴۳
۳-۲-۱-۱ تحلیل استاتیکی خطی ۴۴
۳-۲-۱-۲ تحلیل استاتیکی غیرخطی ۴۵
۳-۲-۱-۲-۱ رفتار المان های سازه ۴۶
۳-۲-۲ تحلیل های دینامیکی ۴۹
۳-۲-۲-۱ تحلیل دینامیکی خطی ۴۹
۳-۲-۲-۱-۱ تحلیل طیفی ۵۰
۳-۲-۲-۱-۲ تحلیل تاریخچه زمانی ۵۱
۳-۲-۲-۲ تحلیل دینامیکی غیرخطی ۵۲
۳-۲-۲-۲-۱ تئوری تحلیل دینامیکی غیرخطی ۵۳
۳-۲-۲-۲-۲ معادله حرکت سیستم های دینامیکی غیرخطی ۵۴
۳-۳ انواع روش های مدل سازی خطوط لوله مدفون و بستر آن ۵۷
۳-۳-۱ مدل تیر روی بستر غیرخطی وینکلر ۵۸
۳-۳-۲ مدل محیط پیوسته ۵۸
۳-۴ مدل سازی ۶۰
۳-۴-۱ مرحله ترسیم المان ها ۶۰
۳-۴-۲ مرحله تعیین مصالح و تخصیص مصالح به المان ها ۶۰
۳-۴-۳ مرحله مونتاژ کردن لوله بر خاک ۶۴
۳-۴-۴ مرحله تعریف روش تحلیل ۶۵
۳-۴-۵ مرحله تعریف اندرکنش لوله با خاک ۶۵
۳-۴-۶ مرحله اعمال بار گذاری و تعریف شرایط مرزی ۶۶
۳-۴-۷ مرحله مش بندی ۷۰

۳-۴-۸ مرحله پردازش ۷۱

فصل چهارم: ۷۲

۴-۱ مقدمه ۷۳

۴-۲ اثر قطر لوله مدفون و جنس خاک پیرامونی آن بر پاسخ لوله مدفون ۷۹

۴-۳ اثر عمق لوله مدفون بر پاسخ لوله مدفون ۸۶

۴-۴ اثر وجود آب در لوله مدفون بر پاسخ لوله مدفون ۹۵

۴-۵ جمع بندی فصل چهارم ۹۸

فصل پنجم: ۱۰۱

۵-۱ مقدمه ۱۰۲

۵-۲ نتیجه گیری در مورد سوالات تحقیق ۱۰۲

۵-۳ نتیجه گیری کلی در رابطه با موضوع اصلی تحقیق ۱۰۴

۵-۴ کاربردهای نظری، علمی و تحقیقاتی ۱۰۵

۵-۵ پیشنهاد تحقیقات آتی ۱۰۶

منابع و مأخذ: ۱۰۷

پیوست ۱۱۳

مرحله رسم المان ها (Module: Part) ۱۱۴

مرحله تعیین مصالح و تخصیص مصالح به المان ها (Module: Property) ۱۲۱

مرحله مونتاژ کردن لوله بر خاک (Module: Assembly) ۱۲۵

مرحله تعریف روش حل (Module: Step) ۱۲۷

مرحله تعریف اندرکنش لوله با خاک (Module: Interaction) ۱۳۰

مرحله اعمال بار گذاری و تعریف شرایط مرزی (Module: Load) ۱۳۲

مرحله مش بندی (Module: Mesh) ۱۳۶

مرحله تعریف اجرای تجزیه و تحلیل (Module: Job) ۱۳۹

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ حرکت ذرات امواج لرزهای مختلف با جهت انتشار از چپ به راست (اوروركه و لیو، ۲۰۱۲) .. ۱۹
شکل ۲-۱ نمای جانبی خط لوله و راستای موج انتشار S در صفحه قائم (اوروركه و لیو، ۲۰۱۲)..... ۲۹
شکل ۲-۲ نمای جانبی مدل خط لوله پیوسته (اوروركه و لیو، ۲۰۱۲)..... ۳۵
شکل ۲-۳ مدل کرنش اصطکاکی برای اثر انتشار موج سینوسی در خطوط لوله مدفون (اوروركه و لیو، ۲۰۱۲) ۳۶
شکل ۳-۱ منحنی رفتار عضو شکل پذیر..... ۴۷
شکل ۳-۲ منحنی رفتار عضو نیمه شکل پذیر..... ۴۸
شکل ۳-۳ منحنی رفتار عضو شکننده..... ۴۸
شکل ۳-۴ مدل تحلیلی تیر روی بستر غیرخطی وینکلر برای اندرکنش خاک و لوله (ALA، ۲۰۰۵) ... ۵۹
شکل ۳-۵ محیط مدل رفتاری اندرکنش سه بعدی پیوسته خاک و لوله (ALA، ۲۰۰۵)..... ۵۹
شکل ۳-۶ رفتار دو خطی تنش کرنش در نظر گرفته شده برای لوله (API، ۲۰۰۷)..... ۶۱
شکل۳-۷ معیار گسیختگی موهر-کولمب..... ۶۳
شکل ۳-۸ مؤلفه افقی شتاب نگاشت زلزله کوبه در راستای محوری لوله..... ۶۸
شکل ۳-۹ مؤلفه افقی شتاب نگاشت زلزله کوبه در راستای جانبی لوله..... ۶۹
شکل ۳-۱۰ الف) نمای افقی شرایط مرزی لوله و خاک ب) نمای قائم شرایط مرزی لوله و خاک..... ۷۰
شکل ۴-۱ حداکثر تغییرمکان المان میانی مدل لوله در دو حالت شرایط انتهایی آزاد و بسته بر حسب طول لوله ۷۶
شکل ۴-۲ حداکثر کرنش اصلی لوله در دو حالت شرایط انتهایی آزاد و بسته بر حسب طول لوله..... ۷۷
شکل ۴-۳ ابعاد خط لوله مدفون ۷۸
شکل ۴-۴ ابعاد خاک احاطه کننده خط لوله مدفون ۷۸
شکل ۴-۵ کرنش اصلی حداکثر المان میانی لوله مدفون در خاک های رسی تحت اثر تغیرات قطر..... ۷۹

شکل ۴-۶ کرنش اصلی حداکثر المان میانی لوله مدفون در خاک های ماسه ای تحت اثر تغیرات قطر .. ۸۰
شکل ۴-۷ کرنش اصلی حداکثر لوله مدفون در عمق ۱متری در خاک های رسی تحت اثر تغیرات قطر. ۸۱
شکل ۴-۸ کرنش اصلی حداکثر لوله مدفون در عمق ۱ متری در خاک های ماسه ای تحت اثر تغیرات قطر ۸۲
شکل ۴-۹ تنش اصلی حداکثر در لوله مدفون در عمق ۱ متری در خاک های رسی تحت اثر تغیرات قطر.. ..... ۸۳
شکل ۴-۱۰ تنش اصلی حداکثر لوله مدفون در عمق ۱متری در خاک های ماسه‌ای تحت اثر تغیرات قطر. ۸۳
شکل ۴-۱۱ حداکثر تغییرمکان لوله مدفون در عمق ۱ متری در خاک های رسی تحت اثر تغیرات قطر ۸۵
شکل ۴-۱۲ حداکثر تغییرمکان لوله مدفون در عمق ۱ متری در خاک های ماسه‌ای تحت اثر تغیرات قطر. ۸۵
شکل ۴-۱۳ کرنش اصلی حداکثر المان میانی لوله به قطر ۴۰ سانتی متر در خاک های رسی تحت اثر تغیرات عمق دفن..... ۸۷
شکل ۴-۱۴ کرنش اصلی حداکثر المان میانی لوله به قطر ۶۰ سانتی متر در خاک های رسی تحت اثر تغیرات عمق دفن..... ۸۷
شکل ۴-۱۵ حداکثر کرنش اصلی المان میانی لوله به قطر ۴۰ سانتی متر در خاک های ماسه‌ای تحت اثر تغیرات عمق دفن..... ۸۸
شکل ۴-۱۶ حداکثر کرنش اصلی المان میانی لوله به قطر ۶۰ سانتی متر در خاک های ماسه‌ای تحت اثر تغیرات عمق دفن..... ۸۸
شکل ۴-۱۷ کرنش اصلی حداکثر لوله با قطر ۴۰ سانتی متر در خاک های رسی تحت اثر تغیرات عمق دفن ۹۰
شکل ۴-۱۸ کرنش اصلی حداکثر لوله با قطر ۶۰ سانتی متر در خاک های رسی تحت اثر تغیرات عمق دفن ۹۰
شکل ۴-۱۹ کرنش اصلی حداکثر لوله با قطر ۴۰ سانتی متر در خاک های ماسه ای تحت اثر تغیرات عمق دفن ۹۱

شکل ۴-۲۰ کرنش اصلی حداکثر لوله با قطر ۶۰ سانتی متر در خاک های ماسه ای تحت اثر تغیرات عمق دفن ۹۱
شکل ۴-۲۱ تغییرمکان حداکثر لوله با قطر ۴۰ سانتی متر در خاک های رسی تحت اثر تغیرات عمق دفن. ۹۳
شکل ۴-۲۲ تغییرمکان حداکثر لوله با قطر ۶۰ سانتی متر در خاک های رسی تحت اثر تغیرات عمق دفن. ۹۳
شکل ۴-۲۳ تغییرمکان حداکثر لوله با قطر ۴۰ سانتی متر در خاک های ماسه ای تحت اثر تغیرات عمق دفن ۹۴
شکل ۴-۲۴ تغییرمکان حداکثر لوله با قطر ۶۰ سانتی متر در خاک های ماسه ای تحت اثر تغیرات عمق دفن ۹۴
شکل ۴-۲۵ حداکثر کرنش اصلی المان میانی لوله تحت اثر وجود و عدم وجود آب به صورت ساکن..... ۹۶
شکل ۴-۲۶ حداکثر کرنش اصلی لوله تحت اثر وجود و عدم وجود آب به صورت ساکن..... ۹۷
شکل ۴-۲۷ حداکثر تغییرمکان لوله تحت اثر وجود و عدم وجود آب به صورت ساکن..... ۹۷
شکل ۴-۲۸ شکل تغییرشکل یافته لوله به قطر ۸۰ سانتی متر مدفون در خاک رس نرم..... ۱۰۰
شکل ۱ پنجره رسم مقطع لوله..... ۱۱۵
شکل ۲ صفحه رسم مقطع لوله..... ۱۱۵
شکل ۳ پنجره مربوط به طول لوله..... ۱۱۶
شکل ۴ شکل سه بعدی لوله ۱۱۶
شکل ۵ شکل سه بعدی برش خورده لوله..... ۱۱۷
شکل ۶ صفحه رسم نمای جانبی خاک..... ۱۱۸
شکل ۷ شکل سه بعدی برش خورده خاک..... ۱۱۹
شکل ۸ سطح مربوط به ایجاد مقطع لوله درخاک ۱۲۰
شکل ۹ صفحه مربوط به ایجاد سطح مقطع لوله در خاک ۱۲۰
شکل ۱۰ شکل سه بعدی مربوط به حفره سطح مقطع لوله در خاک..... ۱۲۰

شکل ۱۱ پنجره Edit Section ۱۲۲
شکل ۱۲ شکل مدل لوله بعد از اختصاص مصالح فولادی به آن ۱۲۳
شکل ۱۳ شکل مدل خاک بعد از اختصاص مصالح خاک به آن ۱۲۵
شکل ۱۴ مجموعه مدل لوله و خاک قبل از مونتاژ شدن بر هم ۱۲۶
شکل ۱۵ مجموعه مدل لوله و خاک بعد از دوران لوله و قبل از مونتاژ شدن بر هم ۱۲۷
شکل ۱۶ سربرگ Basic در پنجره Edit Step ۱۲۸
شکل ۱۷ سربرگ Incrementation در پنجره Edit Step ۱۲۹
شکل ۱۸ پنجره Edit Interaction ۱۳۲
شکل ۱۹ لوله مش بندی شده با المان های S4R ۱۳۸
شکل ۲۰ خاک مش بندی شده با لمان های C3D8R ۱۳۸

فهرست جدول ها

جدول ۳-۱ مشخصات فیزیکی لوله های فولادی API5L-X65 ..... ۶۲
جدول ۳-۲ مشخصات مصالح خاک ها ۶۴
جدول ۳-۳ مشخصات فیزیکی زمین لرزه و ایستگاه لرزه نگاری ثبت کننده ۶۷
جدول ۳-۴ نیروهای استاتیکی و دینامیکی موجود ۶۹
جدول ۴-۱ مقادیر کرنش های اصلی در لوله به قطر ۴۰ سانتی متر مدفون در خاک رس ۷۵
جدول ۴-۲ نسبت قطر به ضخامت در لوله ها ۷۹

علائم و حروف اختصاری

امواج برشی	S-Waves
امواج حجمی	Body Waves
امواج رایلی	R-Waves
امواج سطحی	Surface Waves
امواج فشاری	P-Waves
امواج لاو	L-Waves
تغییرشکل ماندگار زمین	PGD (Permanent Ground Deformation)
تغییرمکان زمین در جهت طولی	u_g
تغییرمکان محوری لوله	u_p
تنش قائم	σ
چسبندگی خاک	C
چگالی لوله	ρ
حداکثر سرعت زمین	V_{max}
حداکثر سرعت زمین	PGV (Peak Ground Velocity)
حداکثر شتاب زمین	PGA (Peak Ground Acceleration)
حداکثر نیروی طولی در واحد طول سطح تماس خاک و لوله	t_u
زاویه اتساع پذیری خاک	ψ
زاویه اصطکاک داخلی خاک	φ

سطح مقطع لوله	A
سختی خطی خاک در واحد طول	K_g
سرعت انتشار موج برشی	V_S
شدت شتاب در راستای X	$A_{m\,X}$
شدت شتاب در راستای Z	$A_{m\,Z}$
ضخامت جداره لوله	t
ضریب پواسون مصالح لوله	υ
ضریب کمیت میزان لغزش	q
طول لوله	L
طول موج	λ
قطر لوله	D
کرنش برشی	γ
کرنش برشی در سطح مشترک لوله و خاک	γ_o
کرنش زمین	ε_g
مدول الاستیسیته لوله	E
مدول برشی خاک	G
مقاومت برشی خاک	τ
نیروی برشی تماسی	τ_S

فصل اول:

کلیات تحقیق

۱–۱ مقدمه

اینکه سازه های زیرزمینی آسیب کمتری بر اثر زلزله نسبت به سازه های روزمینی می بینند یک مسأله غیرقابل انکار است. در زلزله های اخیر، بسیاری از سازه های تأسیساتی دچار این صدمات و آسیب ها شده اند (بولسون[1]، ۱۹۸۵). خطوط لوله نفت، گاز و آب مدفون نیز از این امر مستثنی نمی باشند. علاوه بر صدمات و خسارات مستقیم ناشی از آسیب دیدگی خود لوله ها، صدمات و خسارات غیر مستقیم، ثانویه و نامحسوس ناشی از وقوع زلزله می تواند بسیار چشم گیر باشد. آسیب و یا اختلال در خطوط لوله مدفون تحت اثر زلزله ممکن است سازه های تأسیساتی و عمرانی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد که ممکن است باعث آتش سوزی، از کار انداختن شبکه های تأسیساتی و زیان های اقتصادی فراوانی شود. برای مثال برای لوله های نفتی، جدا از آسیب های ناشی از هزینه های اقتصادی، آلایندگی و نشت گاز ممکن است باعث ایجاد آتش سوزی بر اثر یک جرقه الکتریکی شود. زلزله های ۱۹۹۴ نورثریج[2] و ۱۹۹۵ کوبه[3] از مثال های بارز این آسیب ها و تخریبات می باشند (اینگ لی[4] و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین، ارزیابی عملکرد لرزه ای شبکه های

1- Bulson

2- Northridge

3- Kobe

4- Ingli