دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران – سازه

عنوان:

بررسی رفتار لرزه ای لوله های مدفون تحت حرکت گسل های سطحی

استاد راهنما:

دکتر حسین تحقیقی

توسط:

محسن داودی مقدم

مهر ماه ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران – سازه

عنوان:

بررسی رفتار لرزه ای لوله های مدفون تحت حرکت گسل های سطحی

استاد راهنما:

دکتر حسین تحقیقی

توسط:

محسن داودی مقدم

مهر ماه ۱۳۹۳

تقدیم به:

تمامی پویندگان طریق علم و معرفت

تشکر و قدردانی

حمد وسپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا بر خود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار بویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای **دکتر حسین تحقیقی** که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان‌نامه تقبل نموده‌اند، نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقایان **دکتر مهدی بنازاده** و **دکتر علی میرزایی** به عنوان استاتید داور که این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرارداده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند، تشکر می‌نمایم.

چکیده

شبکه خطوط لوله که از آن به‌عنوان شریان‌های حیاتی یاد می‌شود نقش مهمی در زندگی بشر ایفا می‌کند. بررسی عملکرد خطوط لوله طی زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد که تغییر شکلهای ماندگار زمین در مقایسه با ارتعاشات لرزه‌ای عامل عمده خرابی لوله‌ها می‌باشند. در این پایان نامه به بررسی رفتار خطوط لوله مدفون در محل عبور از گسل امتداد لغز با استفاده از دو روش اجزا محدود و یک روش تحلیلی می‌پردازیم. بدین منظور اندرکنش لوله - خاک در نظر گرفته‌شده و مصالح لوله، به‌صورت الاستو پلاستیک با المان لوله به‌صورت پوسته[1] و خاک اطراف آن با المان‌های پیوسته[2] در یک مدل و در مدل دیگر لوله به صورت المان تیر[3] و خاک اطراف لوله به وسیله فنرهای مجزا در سه جهت با در نظر گرفتن تئوری وینکلر مورد بررسی قرار می گیرد. تحلیل ها با استفاده از روش اجزا محدود و به وسیله نرم افزار ABAQUS 6.12 انجام میگیرد. درنهایت مطالعات پارامتری به‌منظور بررسی اثرات پارامترهایی چون عمق دفن لوله، تغییر زاویه جهت‌گیری لوله نسبت به گسل، قطر لوله، ضخامت لوله، جابه‌جایی گسل و نوع خاک انجام می‌پذیرد.

کلمات کلیدی: روش اجزا محدود، گسل امتداد لغز، لوله مدفون، بازتاب غیر خطی

---

[1]-Shell
[2]-Solid
[3]-Beam

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول:..... ۱

کلیات تحقیق ۲

۱–۱– زمینه تحقیق..... ۳

۱–۲– سوالات تحقیق..... ۴

۱–۳– لزوم انجام تحقیق..... ۵

۱–۴– معرفی اجمالی روش تحقیق ۶

۱–۵– معرفی فصل های پایان نامه..... ۸

۱–۶– جمع بندی فصل اول..... ۹

فصل دوم: مبانی و مروری بر تاریخچه پژوهش..... ۱۰

۲–۱– مقدمه..... ۱۰

۲–۲– اثرات لرزه ای مؤثر بر لوله ها..... ۱۱

۲–۳– عوامل مؤثر بر رفتار خط لوله در تقاطع با گسل ۱۷

۲–۴– مروری بر آسیب خطوط لوله در زلزله های گذشته ۱۸

۲–۴–۱– زلزله سان فرناندو (San Fernando) ۱۹

۲–۴–۲– زلزله ویتیر نرو (Whittier Narrows) ۲۰

۲–۴–۳– زلزله نورث ریج (Northridge) ۲۱

۲–۴–۴– زلزله کوبه (Kobe) ۲۲

۲–۵– انواع روش‌های ارزیابی پاسخ خطوط لوله مدفون ۲۳
۲–۵–۱– روشهای تحلیلی ۲۳
۲–۵–۲– مدل های اجزاء محدود ۳۱
۲–۵–۳– مدل های آزمایشگاهی ۳۵
۲–۵–۳–۱– گسل امتداد لغز – تنش کششی اسمی ۳۵
۲–۵–۳–۲– گسل امتداد لغز – فشار اسمی ۳۷
۲–۶– مقایسه میان روش ها ۴۰
۲–۷– جمع بندی فصل دوم ۴۴
فصل سوم: روش تحقیق ۴۵
۳–۱– مقدمه ۴۶
۳–۲– رفتار خطوط لوله مدفون تحت اثر پدیده گسلش ۴۷
۳–۳– روش‌های مدل‌سازی در پژوهش حاضر ۴۹
۳–۳–۱– روش وینکلر ۵۲
۳–۳–۱–۱– مصالح لوله و خاک ۵۵
۳–۳–۲– مدل پیوسته ۵۷
۳–۳–۲–۱– مدل‌سازی سیستم خاک – خط لوله ۵۷
۳–۳–۲–۲– رفتار مصالح ۵۹
۳–۳–۲–۲–۱– رفتار فولاد ۵۹
۳–۳–۲–۲–۲–رفتار خاک ۵۹
۳–۳–۲–۳– اندرکنش سیستم خاک – خط لوله ۶۲
۳–۳–۲–۴– بارگذاری و شرایط مرزی ۶۵
۳–۳–۲–۵– مش بندی مدل ۶۶
۳–۳–۳– مدل تحلیلی ۶۸

۳-۳-۳-۱- روش حل مسئله ۷۰
۳-۴- جمع‌بندی فصل سوم..... ۷۷
فصل چهارم: تحلیل نتایج و بحث ۷۸
۴-۱- مقدمه ۷۹
۴-۲- تحلیل و بررسی نتایج مطالعات پارامتری لوله مدفون تحت اثر حرکت گسل امتداد لغز ۷۹
۴-۲-۱- بررسی عمق دفن لوله..... ۸۲
۴-۲-۲ بررسی تغییرات زاویه برخورد لوله با گسل ۸۴
۴-۲-۳- بررسی نوع خاک بر پاسخ لوله ۸۷
۴-۲-۴- بررسی اثر ضخامت لوله بر پاسخ لوله ۸۹
۴-۲-۵- بررسی اثر پارامتر قطر لوله بر پاسخ لوله ۹۱
۴-۲-۶- بررسی اثر پارامتر جابه جایی گسل بر پاسخ لوله ۹۳
۴-۳- بررسی صحت مدل انجام شده..... ۹۴
۴-۴- جمع بندی فصل چهارم ۹۷
فصل پنجم: نتیجه گیری و کاربرد ۹۸
۵-۱- مقدمه..... ۹۹
۵-۲- نتیجه گیری کلی ۹۹
۵-۵- پیشنهاد تحقیقات آتی ۱۰۲
مراجع..... ۱۰۳

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳–۱ پارامترهای رابطه رامبرگ اسگود برای لوله API5L-X65 .....۵۵

جدول ۳–۲ مشخصات لوله API5L-X65 مورداستفاده در مدل‌سازی ۵۶

جدول ۳–۳ مشخصات در نظر گرفته‌شده جهت فنرهای خاک.....۵۶

جدول ۳–۴ مشخصات خاک استفاده‌شده در مدل ۶۱

جدول ۳–۴ توصیف شرایط مرزی برای مدل اجزا محدود.....۶۶

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱–۱ نمایی از انواع گسل های سطحی (After O'Rourke, 2012) ۱۴

شکل ۲–۱ مدل نیومارک – هال برای گسل امتدادلغز (After Newmark and Hall, 1975) .. ۲۴

شکل۲–۲ مدل ارائه شده توسط کندی برای خط لوله مدفون در یک طرف گسل (After Kennedy et al., 1977) ۲۶

شکل ۲–۳ مدل پیشنهاد شده توسط وانگ و یه در سال ۱۹۸۵ (Karamitros et al., 2007) ... ۲۹

شکل ۲–۴ مدل آریمان و لی (After Ariman and Lee, 1991) ۳۲

شکل ۲–۵ کرنش لوله بر حسب جا به جایی گسل (After O'Rourke, 2012) ۳۳

شکل ۲–۶ کرنش های محوری و خمشی بدست آمده از لوله HDPE تحت کشش اسمی گسل امتداد لغز (After Abdoun et al., 2008) ۳۶

شکل ۲–۷ آزمایش جعبه سانتریفیوژ (After Ha et al., 2008) ۳۶

شکل ۲–۸ کرنش های محوری و خمشی بدست آمده از لوله HDPE تحت فشار و کشش اسمی گسل امتداد لغز (After Ha et al., 2010) ۳۸

شکل ۲–۹ دو کمانش در لوله HDPE تحت فشار اسمی گسل امتداد لغز (After O'Rourke, 2012) ۳۹

شکل ۲–۱۰ مقایسه نتایج چهار روش (After O'Rourke, 2012) ۴۰

شکل ۲–۱۱ مقایسه حداکثر کرنش برای جا به جایی های کوچک (After O'Rourke, 2012). ۴۲

شکل ۳–۱ تغییر شکل لوله در اثر حرکت گسل (Joshi et al., 2011) ۴۸

شکل ۳–۲ مدل تحلیلی وینکلر برای اندرکنش خاک و لوله (ALA،2001) ۵۰

شکل ۳–۳ رفتار فنرهای غیرخطی خاک در فشار و کششی (Joshi et al., 2011) ۵۳

شکل ۳–۴ مدل‌سازی لوله و خاک اطراف آن توسط المان تیر و فنر در نرم‌افزار ABAQUS. ۵۳

شکل ۳–۵ مؤلفه‌های جابه‌جایی گسل (Karamitros et al., 2007) ۵۴
شکل ۳–۶ رفتار دوخطی تنش کرنش در نظر گرفته‌شده برای لوله..... ۵۶
شکل ۳–۷ مدل‌سازی لوله به‌صورت پوسته ۵۸
شکل ۳–۸ قسمت متحرک المان خاک (المان سمت راست) ۵۸
شکل ۳– ۹ قسمت ثابت المان خاک (المان سمت چپ) ۵۹
شکل۳–۱۰ معیار گسیختگی موهر–کولمب ۶۱
شکل ۳–۱۱ نام‌گذاری شرایط مرزی مدل (Nadukuru et al., 2013)..... ۶۶
شکل ۳–۱۲ مش بندی المان لوله ۶۷
شکل ۳–۱۳ مش بندی المان خاک..... ۶۷
شکل ۳–۱۴ تقسیم‌بندی خط لوله به چهار قسمت مجزا (Karamitros et al., 2007) ۶۹
شکل ۳–۱۵ تحلیل قسمت ´AA به روش تیر روی بستر الاستیک (Karamitros et al., 2007) ۷۰
شکل ۳–۱۶ تحلیل قسمت AB لوله با استفاده از تئوری تیر الاستیک (Karamitros et al. 2007) ۷۲
شکل ۳–۱۷ توزیع غیرخطی تنش و کرنش در سطح مقطع لوله (Karamitros et al., 2007)....۷۶
شکل ۴–۱ شمای توزیع کرنش محوری در لوله تغییر شکل یافته (مدل پیوسته) ۸۱
شکل ۴–۲ شمای توزیع کرنش محوری در لوله تغییر شکل یافته (مدل وینکلر) ۸۱
شکل ۴–۳ تاثیر عمق دفن لوله بر حداکثر میزان کرنش محوری لوله در مدل پیوسته ۸۲
شکل ۴–۴ بررسی عمق دفن لوله بر حداکثر میزان کرنش محوری لوله در مدل تحلیلی و گسسته (وینکلر) ۸۴
شکل ۴–۵ تاثیر زاویه برخورد لوله با گسل بر حداکثر کرنش محوری لوله در مدل پیوسته برای ماسه شل ۸۵
شکل۴–۶ اثر تغییرات زاویه برخورد لوله با گسل بر حداکثر کرنش محوری لوله در مدل تحلیلی و گسسته (وینکلر) برای ماسه شل..... ۸۶
شکل ۴–۷ تأثیر نوع خاک بر حداکثر کرنش محوری لوله در مدل پیوسته ۸۷

شکل ۴–۸ تاثیر نوع خاک بر حداکثر کرنش محوری لوله در مدل تحلیلی و گسسته (وینکلر) .۸۸

شکل۴–۹ بررسی اثرضخامت‌های مختلف لوله بر حداکثر کرنش محوری لوله در مدل پیوسته ۸۹

شکل ۴–۱۰ بررسی اثر ضخامت¬های مختلف لوله بر حداکثر کرنش محوری لوله در مدل تحلیلی و گسسته (وینکلر) ۹۰

شکل ۴–۱۱ تاثیر پارامتر قطر لوله بر حداکثر کرنش محوری در خط لوله واقع در ماسه شل ...۹۱

شکل ۴–۱۲ تاثیر پارامتر قطر لوله بر حداکثر کرنش محوری در خط لوله ۹۲

شکل ۴–۱۳ بررسی اثر جابه‌جایی گسل بر حداکثر کرنش محوری ایجاد شده در لوله تحت اثر حرکت گسل امتداد لغز در مدل پیوسته در خاک ماسه ای شل..... ۹۳

شکل ۴–۱۴ بررسی اثر جابه‌جایی گسل بر حداکثر کرنش محوری ایجاد شده در لوله تحت اثر حرکت گسل امتداد لغز در مدل تحلیلی و گسسته در خاک ماسه ای متراکم ۹۴

شکل ۴–۱۵ بررسی اثر جابه‌جایی گسل بر حداکثر کرنش محوری ایجاد شده در لوله تحت اثر حرکت گسل امتداد لغز در مدل پیوسته و مرجع (وازوراس، ۲۰۱۰) در خاک ماسه ای شل ۹۵

شکل ۴–۱۶ بررسی اثر جابه‌جایی گسل بر حداکثر کرنش محوری ایجاد شده در لوله تحت اثر حرکت گسل امتداد لغز در مدل پیوسته و مرجع (وازوراس، ۲۰۱۰) در خاک ماسه ای متراکم . ۹۶

فصل اول:

کلیات تحقیق

۱–۱– زمینه تحقیق

انتقال فرآورده های نفتی، گاز، آب، برق و ... توسط خطوط لوله که یکی از روش های مناسب، ارزان قیمت، سریع و مطمئن است انجام می‌گیرد. این خطوط اکثراً به لحاظ ایمنی و ملاحظات اجتماعی و شهری به صورت مدفون و گاهی به صورت روزمینی اجرا می شوند. در مجموعه مهندسی، چنین سازه هایی به عنوان شریان های حیاتی محسوب می شوند. با توجه به منابع عظیم انرژی‌های زیر زمینی و لزوم انتقال فرآورده ها به دیگر نقاط، توسعه شبکه ها و خطوط انتقال با سرعت زیاد در حال اجرا بوده و از جهتی این سیستم از سطح جغرافیایی وسیعی عبور می کند و لذا با خطرات مختلف ناشی از عوامل محیطی و تحت الارضی و لرزه ای و غیره مواجه خواهد شد. از این رو پژوهشگران مشغول مطالعه و شناخت عوامل و پارامترهای حاکم و تعیین کننده بر شریان های حیاتی و شناخت رفتاری این نوع از شریان ها در برابر عوامل خارجی و محیطی هر منطقه می باشند.

بررسی رفتار لوله های مدفون در مناطق با لرزه خیزی بالا از اهمیت فوق العاده ای برخوردار می باشد. آسیب های وارده برخطوط لوله مدفون در اثر وقوع زلزله علاوه بر بروز خسارات جانی و مالی می تواند جامعه را دچار فاجعه ای فراگیر نماید. آتش سوزی های ناشی از تخریب خطوط لوله نفت و گاز می تواند باعث افزایش خسارات مالی و جانی در منطقه شود. گسیختگی

خطوط لوله انتقال و توزیع آب، عوارضی چون قطع و یا کمبود آب آشامیدنی، افت شدید فشار آب و عدم استفاده از آن برای اطفای حریق و نیز شیوع بیماری های عفونی را به دنبال دارد. تقویت بخش های مختلف شهر های صنعتی و ارائه خدمات مداوم و ایمن شهری نیازمند توجه ویژه به عملکرد لوله های مدفون می باشد به گونه ای که میتوان گفت نقش لوله های مدفون همزمان با رشد و توسعه صنعت در جوامع بشری حیاتی تر می گردد. در اغلب موارد خطوط لوله به دلیل رعایت مسائل ایمنی و عبور از مناطق پر جمعیت شهری، به صورت مدفون در خاک اجرا می شوند. دفن لوله علاوه بر حفظ آن در برابر خطرات محیطی، تأثیر پذیری خطوط لوله را از تغییرات آب و هوایی منطقه به حداقل می رساند. از این رو بررسی عملکرد و انجام مطالعات در خصوص سامانه‌های خطوط لوله مدفون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می باشد.

در طی وقوع زلزله پدیده هایی چون انتشار امواج زلزله و حرکات بزرگ زمین ناشی از زمین لرزه باعث آسیب به خطوط لوله مدفون می شود. توجه اساسی به توسعه معیارهای طراحی لرزه ای و بهسازی سامانه های خطوط لوله پس از وارد آمدن خسارات عمده به تأسیسات نفتی لانگ بیچ در کالیفرنیای آمریکا در سال ۱۹۳۳ صورت گرفت. مشاهدات میدانی حاکی از آن است که زلزله های سان فرناندو ۱۹۷۱، نورث ریج ۱۹۹۴، کوبه ۱۹۹۵ و تایوان مرکزی ۱۹۹۹، خسارات بسیاری را بر شبکه های خطوط لوله مدفون وارد ساختند (لانزانو و همکاران، ۲۰۱۳).

۱–۲– سوالات تحقیق

با توجه به موضوع تحقیق سؤالاتی مطرح می شود که در خلال پایان‌نامه به آن ها پاسخ داده خواهد شد. تعدادی از سؤالات اساسی در مورد این پژوهش به صورت زیر می باشد:

۱. دلایل تفاوت رفتاری لوله ها با سایر سازه‌های ساخته شده در سطح زمین چیست؟

۲. انواع روش‌های مدل سازی و تحلیل خطوط لوله مدفون به چه صورت می باشد؟

۳. در قسمت شبیه سازی نگرش رفتاری خاک و لوله و نوع المان‌های انتخابی آنها به چه گونه است؟

۴. اندرکنش لوله و خاک به چه گونه تعریف شده و در شبیه سازی اعمال می شوند؟

۵. سطح گسلش به چه صورت در نظر گرفته شده است؟

۶. نحوه جابه‌جایی گسل چه گونه باعث ایجاد نیروها در لوله شده و چه گونه در شبیه سازی مدل می‌شود؟

۷. شرایط مرزی در شبیه سازی به چه گونه است؟

۸. اینکه مطالعه حاضر بر روی خطوط لوله مدفون پیوسته صورت گرفته فرض پیوستگی این خطوط را چگونه می توان بیان نمود؟

۹. مبانی روش تحلیلی صورت گرفته بر چه اساسی می باشد؟

۱۰. انواع پارامترهای مؤثر بر خطوط لوله چه می باشند و تأثیر هر کدام بر پاسخ لوله های مدفون چگونه است؟

۱۱. چه تمهیداتی جهت کاهش آسیب به سیستم خطوط لوله مدفون باید در نظر گرفته شود؟

۱–۳– لزوم انجام تحقیق

با توجه به پهنه بندی وسیع لوله‌های مدفون به عنوان شریان‌های حیاتی و نیز توسعه روز افزون با توجه به نیاز های بشری به این شریان های مهم و حیاتی، ارائه روش‌های تحلیلی مناسب و طراحی دقیقتر می تواند تا حد زیادی از اثر خطرات لرزه ای بر این سازه ها بکاهد. موضوعی که در این پژوهش مورد بحث واقع خواهد شد بررسی اثر حرکات گسل امتداد لغز بر پاسخ لوله های مدفون می باشد. همانطور که بیان شد با توجه به توسعه این سازه ها، امکان عبور لوله مدفون از گسل وجود دارد. علاوه بر این رفتار لرزه ای لوله های مدفون به طور کلی از جهات گوناگون تفاوت عمده ای با دیگر سازه های ساخته شده در سطح زمین دارد. دلایل این تفاوت عمده می تواند عوامل گوناگونی از جمله موارد زیر باشد:

- نیروهای اینرسی در جهت افقی که عامل اصلی موثر بر طراحی سازه‌های سطحی زمین می باشند تا حد زیادی توسط خاک اطراف مقاوم شده‌اند.
- در سازه‌های سطحی زمین معمولا پی به عنوان مبدا حرکات زمین در نظر گرفته میشوند بنابراین جابه‌جایی‌ها نسبت به پی سنجیده میشود در صورتی که در سیستم طویل لوله این گونه نیست و با توجه به ماهیت امواج لرزه‌ای که در نقاط مختلف لوله دارای مقادیر متفاوت از لحاظ شدت می باشد، متفاوت می باشد.
- حرکات زمین برای اکثر سازه‌های سطحی به صورت یکپارچه در نظر گرفته می شود در حالی که برای سیستم لوله‌های مدفون به دلیل اختلاف فاز بین ایستگاه‌های مختلف و نیز تاثیر ویژگی‌های متفاوت خاک بر تغییر شکل در امتداد لوله ها این حرکات نمی تواند یکپارچه درنظر گرفته شود.
- آسیب در یک سازه روزمینی به طور کلی فقط محدود به سازه میشود در صورتی که آسیب در یک محل خاص از شبکه لوله بر قسمت های دیگر این سیستم نیز اثرگذار است.

بنابراین بدلیل این تفاوت رفتار، تحلیل مناسب لوله های مدفون نیازمند بررسی بیشتر و دقیق تری نسبت به سایر سازه ها می باشد.

در تحقیق حاضر با مرور کارهای انجام شده به ویژه مطالعات سال‌های اخیر، یک مدل تحلیلی و عددی مناسب را مد نظر قرار داده و نتایج بدست آمده از آن ها مورد ارزیابی قرار می گیرد. این امر کمک مهمی در شناخت این سازه ها بوده و بررسی آنها را برای مطالعات آتی دقیق‌تر می‌کند.

۱-۴- معرفی اجمالی روش تحقیق

با توجه به تحقیقات صورت گرفته در خصوص تحلیل لوله های مدفون، روش های اجزاء محدود، روشی نسبتا دقیق برای ارزیابی این گونه سازه ها به شمار می روند که با انواع نرم افزارها از جمله آباکوس[۴]، پلکسیس[۵]، انسیس[۶] و نسترن[۷] قابل بررسی می باشند. در این تحقیق برای بررسی اثر حرکت گسل بر روی رفتار لوله از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس نسخه ۶.۱۲ و از روش تحلیل استاتیکی غیر خطی استفاده می‌شود. به دلیل در نظر گرفتن اثرات کمانشی لوله هنگام مواجهه با گسل این سازه با المان پوسته[۸] مدل گردیده است. خاک اطراف لوله با المان پیوسته[۹] مدل شده است. با اعمال شرایط مرزی مناسب به خاک میتوان جابجایی گسل را شبیه سازی نمود و میزان کرنش و تنش لوله را در محل تقاطع با گسل محاسبه نمود. اثر

۴ - ABAQUS
۵ - PLAXIS
۶ - ANSYS
۷ - NASTRAN
۸ -Shell
9 -Solid