

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



گروه مهندسی عمران

مطالعه‌ی تحلیلی اثر زلزله، روی خطوط لوله‌ی مدفون گاز عبوری از گسل

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر غلامرضا نوری

استاد مشاور:

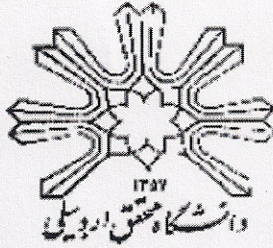
جناب آقای دکتر هوشیار ایمانی

توسط:

مهدی بالو

دانشگاه محقق اردبیلی

خرداد ۱۳۹۰



گروه مهندسی عمران

عنوان پایان نامه:

مطالعه‌ی تحلیلی اثر زلزله، روی خطوط لوله‌ی مدفون گاز عبوری از گسل

توسط:

مهدی بالو

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته عمران - سازه

از

دانشگاه محقق اردبیلی

اردبیل - ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر غلامرضا نوری (استاد راهنما و رئیس کمیته).....استادیار

دکتر کاظم شاکری (داور داخلی).....استادیار

دکتر احد اوریا (داور داخلی).....استادیار

دکتر هوشیار ایمانی (استاد مشاور).....استادیار

تیر - ۱۳۹۰

تقدیر و تشکر

در اینجا لازم می‌دارم که از اساتید محترم جناب آقایان دکتر نوری و دکتر ایمانی که در این تحقیق به طرق مختلف هدایتگر و یاری رسان اینجانب بوده‌اند نهایت سپاس و تشکر را اعلام دارم.

نام خانوادگی دانشجو : بالو	نام: مهدی
عنوان پایان نامه: مطالعه‌ی تحلیلی اثر زلزله، روی خطوط لوله‌ی مدفون گاز عبوری از گسل	
استاد (اساتید) راهنما: جناب آقای دکتر غلامرضا نوری	
استاد (اساتید) مشاور: جناب آقای دکتر هوشیار ایمانی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: عمران
گرایش: سازه	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: فنی مهندسی	تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۰/۴/۲۲
کلید واژه ها: لوله مدفون، گسل، خاک، آنالیز غیرخطی، جابه جایی گسل، زاویه‌ی عبوری	تعداد صفحه: ۱۰۷
<p>چکیده:</p> <p>هدف این مطالعه تاثیر جابه‌جایی های گسل در پاسخ‌های غیرخطی خطوط لوله ی مدفون می باشد. جهت تحلیل از نرم افزار المان محدود <b>Ansys 12</b> بهره گرفته شده است. لوله مدفون به چندین قسمت تقسیم شده است و هر قسمت بوسیله‌ی المان تیر مدل‌سازی شده است. المان تیر دارای شش درجه‌ی آزادی در هر گره می باشد. همچنین المان های تیر دارای قابلیت مدل‌سازی خواص غیرخطی هندسی و خاصیت غیر ارتجاعی مصالح لوله می باشند. خاک اطراف لوله بوسیله‌ی فنرهای غیرخطی در سه جهت محوری، جانبی و عمودی مدل شده است. و جابه جایی خاک به پایه ی فنرها اعمال شده است. نوع گسل مورد مطالعه گسل مورب و نرمال می باشد. سیستم آنالیز غیرخطی جهت سیستم لوله و گسل در نظر گرفته شده است. پارامترهای مورد مطالعه طول مهارشده لوله، عمق مدفون لوله، زاویه‌ی اصطحکاک داخلی خاک، خواص هندسی لوله، جابه جایی گسل، زاویه عبوری لوله از گسل و زاویه ی گسل می باشد. تاثیر این پارامترها در پاسخ خطوط لوله ی مدفون عبوری از گسل مورب مورد تحقیق واقع شده است. مطالعه‌ی حاضر نشان می دهد در صورتی که تاثیر پارامترهای ذکر شده در طراحی خطوط لوله در نظر گرفته شود، ظرفیت تحمل خطوط لوله فولادی مدفون که تحت جابه جایی های گسل مورب قرار گرفته، می تواند بهبود یابد. همچنین نشان داده شده با در نظر گرفتن ظرفیت پلاستیک لوله می توان به طراحی بهینه تری دست یافت.</p>	

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- فصل اول (مقدمه)
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- آزمایش های انجام شده بر روی سیستم خاک - لوله
۳	۳-۱- بارهای وارد بر لوله های مدفون
۶	۴-۱- پدیده های طبیعی موثر بر خطوط لوله مدفون
۶	۱-۴-۱- اثر روانگرایی خاک
۷	۲-۴-۱- اثر حرکات ناشی از گسل
۸	۱-۲-۴-۱- خرابی های لوله مدفون ناشی از گسل
۹	۵-۱- تحلیل کمی خرابی لوله ها
۱۰	۶-۱- انواع گسل
۱۲	۱-۶-۱- روابط تجربی
۱۵	۲- فصل دوم (روشها)
۱۶	۱-۲- روشهای تحلیل
۱۶	۱-۱-۲- روش نیومارک - هال (۱۹۷۵)
۱۹	۲-۱-۲- روش کندی و همکاران (۱۹۷۷)
۲۳	۳-۱-۲- روش وانگ - یاه (۱۹۸۵)
۲۶	۴-۱-۲- روش چپو و همکاران (۱۹۹۴)
۲۷	۵-۱-۲- روش تاکادا و همکاران (۲۰۰۱)
۲۸	۲-۲- روش گزارش
۲۹	۳-۲- ملاحظات آنالیز
۳۱	۴-۲- مدلسازی سیستم لوله - خاک
۳۳	۱-۴-۲- اندرکنش لوله و خاک
۴۲	۲-۴-۲- فرمولاسیون و روش تحلیل

۴۴	۲-۴-۱-محاسبات پلاستیک
۴۷	۲-۴-۲-فرمولاسیون عنصر PIPE
۵۰	۲-۵-تایید مدل مورد استفاده
۵۶	۲-۶-مطالعات عددی
۵۷	۳- فصل سوم(نتایج و بحث)
۵۸	۳-۱- نتایج تحقیقات اخیر
۵۸	۳-۱-۱- تاکادا و همکاران (مدل المان محدود)
۶۱	۳-۱-۲- آگاوا و همکاران(مدل المان محدود)
۶۳	۳-۱-۲-۱- نتایج آنالیز لوله های گاز تحت تغییر شکل های خمشی زلزله جی - جی
۶۶	۳-۱-۲-۲- جابه جایی گسل در حالت لنگر ماکزیمم
۶۷	۳-۱-۳- اورکه و همکاران(تحقیقات آزمایشگاهی)
۷۳	۳-۱-۳-۱- تاثیر قطر لوله
۷۶	۱-۱-۳-۲- نتایج آزمایشات
۷۸	۳-۱-۴- مختصری از نتایج مدل های المان محدود
۷۸	۳-۱-۴-۱- مدل آریمان و لی
۷۹	۳-۱-۴-۲- تحلیل لیو
۸۳	۳-۲- طول مهاری
۸۵	۳-۳- عمق دفن
۸۸	۳-۴- زاویه ی اصطکاک داخلی خاک
۸۹	۳-۵- مشخصات هندسی لوله
۹۳	۳-۶- جابجایی گسل
۹۵	۳-۷- زاویه تقاطع لوله با گسل
۹۸	۴- فصل چهارم(نتیجه گیری-پیشنهادات)
۹۹	۴-۱- نتیجه گیری

۱۰۱	۲-۴- پیشنهادات
۱۰۱	۴-۲-۱- توصیه اول : افزایش طول مهار نشده مؤثر خط لوله
۱۰۲	۴-۲-۲- توصیه دوم : تقلیل نیروهای اندرکنش لوله - خاک
۱۰۳	۴-۲-۳- توصیه سوم : افزایش ضخامت و تقویت جداره لوله
۱۰۴	۴-۲-۴- توصیه چهارم : تعیین موقعیت مناسب خط لوله نسبت به امتداد گسل
۱۰۴	۴-۲-۵- ملاحظات ویژه طراحی خطوط لوله مدفون در تقاطع با گسل

### فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۱	شکل (۱-۱) - انواع گسل بر اساس نوع حرکت و جهت لغزش
۱۳	شکل (۲-۱) - چگونگی فرضیات مدل لوله و گسل در آیین نامه هند
۱۷	شکل (۱-۲) - منحنی مشخصه مصالح لوله
۲۱	شکل (۲-۲) - جابجایی جانبی خط لوله مدفون با شعاع انحنای ثابت
۲۳	شکل (۳-۲) - محدوده ارضای شرایط دوگانه روش تحلیل کندی و همکارانش
۳۲	شکل (۴-۲) - مدل عناصر محدود سیستم لوله - خاک
۳۳	شکل (۵-۲) - منحنی مشخصه مصالح لوله
۳۸	شکل (۶-۲) - منحنی مشخصه فنرهای محوری
۳۹	شکل (۷-۲) - منحنی مشخصه فنرهای افقی
۳۹	شکل (۸-۲) - منحنی مشخصه فنرهای قائم
۴۰	شکل (۹-۲) - نمایه سه بعدی حرکات گسل مورب
۴۷	شکل (۱۰-۲) - المان تیر در مختصات محلی و مختصات کلی سیستم
۴۷	شکل (۱۱-۲) - توزیع نقاط انتگرال گیری مقطع المان <i>PIPE</i>
۵۱	شکل (۱۲-۲) - مقایسه گراف ماکزیمم کرنش محوری راهنما و مدل تحقیق
۵۲	شکل (۱۳-۲) - کرنش محوری کل موجود در لوله تحت جابه جایی گسل ۳۰ اینچ و زاویه عبوری ۹۰
۵۳	شکل (۱۴-۲) - کرنش محوری الاستیک موجود در لوله تحت جابه جایی ۳۰ گسل اینچ و زاویه عبوری ۹۰
۵۳	شکل (۱۵-۲) - کرنش محوری پلاستیک موجود در لوله تحت جابه جایی گسل ۳۰ اینچ و زاویه ۹۰ درجه



- شکل (۲-۱۶) - کرنش شعاعی کل موجود در لوله تحت جابه جایی گسل ۳۰ اینچ و زاویه ۹۰ درجه ۵۴
- شکل (۲-۱۷) - نمودار لنگر در طول لوله در زاویه عبوری قائم با جابه جایی های متفاوت گسل ۵۵
- شکل (۲-۱۸) - نمودار نیروی محوری در طول لوله در زاویه عبوری قائم با جابه جایی های متفاوت گسل ۵۵
- شکل (۳-۱) - فرضیات مدل سازی نیروی اصطحکاک خاک ۵۸
- شکل (۳-۲) - مدل سازی عددی خط لوله تیمز ۶۰
- شکل (۳-۳) - مدل سازی عددی خط لوله شیگانگ ۶۱
- شکل (۳-۴) - تغییر شکل ۷ شکل لوله گاز 100A ۶۲
- شکل (۳-۵) - تغییر شکل Z شکل لوله گاز 200A ۶۲
- شکل (۳-۶) - زاویه خمش در لحظه ی ایجاد لنگر خمشی ماکزیمم در مقابل نسبت قطر به ضخامت لوله ۶۳
- شکل (۳-۷) - تغییر شکل لوله 100A (تصویر قائم در صفحه افق) ۶۴
- شکل (۳-۸) - تغییر شکل لوله 100A (تصویر قائم در صفحه قائم) ۶۴
- شکل (۳-۹) - تغییر شکل لوله 200A (تصویر قائم در صفحه افق) ۶۴
- شکل (۳-۱۰) - تغییر شکل لوله 200A (تصویر قائم در صفحه قائم) ۶۵
- شکل (۳-۱۱) - تصویر تغییر شکل نهایی (جابه جایی محوری ۳۰۰ سانتی متر، جابه جایی افقی ۲۰۰ سانتی متر، جابه جایی عمودی ۸۰ سانتی متر) ۶۵
- شکل (۳-۱۲) - ارتباط بین طول خم تا خم و نسبت قطر به ضخامت لوله ۶۶
- شکل (۳-۱۳) - ارتباط بین جابه جایی گسل و نسبت قطر به ضخامت لوله در لحظه لنگر خمشی ماکزیمم ۶۶
- شکل (۳-۱۴) - ارتباط بین جابه جایی گسل و نسبت قطر به ضخامت در لحظه ی رسیدن به زاویه بحرانی خمش ۶۷
- شکل (۳-۱۵) - کرنش های خمشی و محوری با دو نرخ جابه جایی متفاوت به عنوان تابعی از فاصله از محل اثر گسل ۶۹
- شکل (۳-۱۶) - کرنش های ماکزیمم خمشی و محوری با دو نرخ جابه جایی متفاوت به عنوان تابعی از جابه جایی عرضی و طولی ۷۰
- شکل (۳-۱۷) - توزیع نیروی جانبی در طول لوله با دو نرخ جابه جایی متفاوت ۷۰
- شکل (۳-۱۸) - کرنش های خمشی و محوری برای آزمایش های ماسه مرطوب و خشک به عنوان تابعی از فاصله از اثر گسل ۷۱
- شکل (۳-۱۹) - کرنش های خمشی و محوری برای آزمایش های ماسه مرطوب و خشک به عنوان تابعی از جابه جایی عرضی و طولی ۷۲
- شکل (۳-۲۰) - توزیع نیروی جانبی در طول لوله برای آزمایشات ماسه خشک و مرطوب ۷۲

- ۷۳ شکل (۳-۲۱) - شرایط سطح خاک بعد از جابه جایی برای لوله های با قطر کوچک و بزرگ
- شکل (۳-۲۲) - کرنش های خمشی و محوری لوله در عمق زیاد و در دو قطر متفاوت لوله به عنوان تابعی از فاصله از خط اثر گسل
- ۷۴ شکل (۳-۲۳) - کرنش های خمشی و محوری ماکزیمم در عمق زیاد با دو قطر متفاوت لوله به عنوان تابعی از جابه جایی عرضی و طولی
- ۷۵ شکل (۳-۲۴) - توزع نیروی جانبی در طول لوله برای عمق زیاد و دو قطر متفاوت لوله
- ۷۶ شکل (۳-۲۵) - کرنش های خمشی و محوری ماکزیمم در مقابل جابه جایی برای همه آزمایشات
- ۷۷ شکل (۳-۲۶) - نیروهای جانبی ماکزیمم لوله در مقابل جابه جایی های گسل در آزمایش هایی با  $\frac{H}{D} = 2.8$
- ۷۷ شکل (۳-۲۷) - کرنش های محوری اندازه گیری شده به عنوان تابعی از فاصله از خط اثر گسل
- ۷۸ شکل (۳-۲۸) - مدل المان محدود جهت خط لوله عبوری از گسل راستا لغز
- ۷۹ شکل (۳-۲۹) - توزیع کرنش در لوله برای زاویه عبوری ۹۰ درجه
- ۸۰ شکل (۳-۳۰) - کرنش لوله در مقابل جابه جایی گسل برای زاویه عبوری ۹۰ درجه
- ۸۱ شکل (۳-۳۱) - سه خط لوله گاز متقاطع با گسل
- ۸۲ شکل (۳-۳۲) - خصوصیات لوله و گسل و آنالیز کرنش
- ۸۳ شکل (۳-۳۳) - تغییرات کرنش ماکزیمم لوله بر حسب طول مهارنشده لوله در گسل
- ۸۴ شکل (۳-۳۴) - تغییرات کرنش ماکزیمم لوله بر حسب طول مهارنشده لوله در گسل
- ۸۵ شکل (۳-۳۵) - تغییرات کرنش ماکزیمم لوله بر حسب طول مهارنشده لوله در گسل
- ۸۵ شکل (۳-۳۶) - تغییرات کرنش ماکزیمم لوله به حرکات گسل بر حسب عمق دفن شدگی لوله
- ۸۶ شکل (۳-۳۷) - تغییرات نیروی محوری لوله به حرکات گسل بر حسب عمق دفن شدگی لوله
- ۸۷ شکل (۳-۳۸) - تغییرات لنگر خمشی لوله به حرکات گسل بر حسب عمق دفن شدگی لوله
- ۸۸ شکل (۳-۳۹) - تغییرات کرنش ماکزیمم لوله به حرکات گسل بر حسب زاویه اصطکاک داخلی خاک
- ۸۹ شکل (۳-۴۰) - تغییرات نیروی محوری لوله به حرکات گسل بر حسب زاویه اصطکاک داخلی خاک
- ۸۹ شکل (۳-۴۱) - تغییرات لنگر خمشی لوله به حرکات گسل بر حسب زاویه اصطکاک داخلی خاک
- ۹۰ شکل (۳-۴۲) - تغییرات کرنش ماکزیمم لوله به حرکات گسل بر حسب قطر خارجی لوله
- ۹۱ شکل (۳-۴۳) - تغییرات نیروی محوری لوله به حرکات گسل بر حسب قطر خارجی لوله
- ۹۱ شکل (۳-۴۴) - تغییرات لنگر خمشی لوله به حرکات گسل بر حسب قطر خارجی لوله
- ۹۱ شکل (۳-۴۵) - تغییرات نیروی محوری لوله به حرکات گسل بر حسب قطر خارجی لوله
- ۹۲ شکل (۳-۴۶) - تغییرات لنگر خمشی لوله به حرکات گسل بر حسب قطر خارجی لوله

- شکل (۳-۴۷) - تغییرات کرنش ماکزیمم لوله به حرکات گسل بر حسب ضخامت لوله ۹۲
- شکل (۳-۴۸) - تغییرات نیروی محور لوله به حرکات گسل بر حسب ضخامت لوله ۹۳
- شکل (۳-۴۹) - تغییرات لنگر خمشی لوله به حرکات گسل بر حسب ضخامت جداره لوله ۹۳
- شکل (۳-۵۰) - تغییرات کرنش ماکزیمم لوله به حرکات گسل به ازای جابجایی‌های مختلف گسل ۹۴
- شکل (۳-۵۱) - تغییرات نیروی محوری لوله به حرکات گسل به ازای جابجایی‌های مختلف گسل ۹۵
- شکل (۳-۵۲) - تغییرات لنگر خمشی لوله به حرکات گسل به ازای جابجایی‌های مختلف گسل ۹۵
- شکل (۳-۵۳) - تغییرات کرنش ماکزیمم به حرکات گسل بر حسب مؤلفه افقی زاویه تقاطع لوله با گسل ۹۶
- شکل (۳-۵۴) - تغییرات کرنش ماکزیمم به حرکات گسل بر حسب مؤلفه قائم زاویه تقاطع لوله با گسل ۹۷

### فهرست جداول

صفحه	عنوان
۳۴	جدول (۲-۱) - مقدار ضریب $f$ با توجه به جنس لوله
۳۵	جدول (۲-۲) - جابجایی نسبی مورد نیاز برای نیل به بار اندرکنش نهایی محوری
۳۶	جدول (۲-۳) - مقادیر ثابت‌های مورد نیاز برای محاسبه نیروهای اندرکنش لوله - خاک
۵۰	جدول (۲-۴): مقادیر مشخصه فنرهای محوری و قائم و جانبی

## فصل اول: مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

لوله‌های مدفون در جوامع مدرن از شریانهای حیاتی به شمار می‌آید که نقشی حیاتی و اساسی را در چرخه زندگی بشری ایفا می‌نماید. خدمات شهری، کشاورزی، صنعتی و مخابراتی به این نوع از سازه‌ها وابسته است. توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورهای توسعه یافته مرهون بعضی پارامترهای اساسی توسعه، نظیر شریانهای حیاتی می‌باشد.

فراهم آوری خدمات مداوم و ایمن برای افراد جامعه، حفظ ایمنی محیط زیست و حفاظت از سرمایه‌گذاری‌های کلان نیازمند طراحی شریانهای حیاتی در برابر پدیده‌هایی چون ارتعاشات زمین لرزه و حرکات بزرگ زمین می‌باشد. برای نیل به این هدف لازم می‌آید بارهای وارد بر خطوط لوله مدفون و منشأ آسیب پذیری آنها شناسایی گردد، آنگاه با استفاده از روش‌های تحلیلی یا عددی رفتار خطوط لوله مدفون در برابر بارهای وارده مورد مطالعه قرار گیرد. در این فصل در ابتدا به انواع بارگذاری خطوط لوله مدفون اشاره شده سپس روشهای تحلیلی موجود مطرح می‌گردد.

## ۱-۲- آزمایش‌های انجام شده بر روی سیستم خاک-لوله

برای بدست آوردن درک و بینش بهتری از اندرکنش خاک و لوله، پژوهشگران دست به آزمایش‌های گوناگونی زده اند. در این باره داتا و شان با مجموعه ای از آزمایش‌های استاتیکی و دینامیکی، فرمول‌هایی را برای محاسبه تغییر مکان نسبی بین خاک و لوله ارائه کردند [۱].

گوتو و تاکادا با انجام دادن آزمایش‌هایی بر روی لوله‌هایی با قطر کوچک، تاریخچه زمانی رفتار خاک-لوله را برای لوله‌های فولادی جوش شده و لوله‌های چدنی با اتصالات مکانیکی به دست آورده اند [۲]. نازو، کازاما، ماریوکا در سال ۱۹۹۰ با انجام دادن آزمایش‌هایی بر روی لوله‌هایی با قطر بزرگ و عمق مدفون کم، تغییرات کرنش محوری را بر حسب زمان برآورد و مورد ارزیابی قرار دادند. در سال ۱۹۸۹،

سینگهال با انجام دادن آزمایش های متعدد بر روی لوله های چدنی دارای اتصالات مکانیکی آب بندی شده با لاستیک، اقدام به محاسبه سختیهای محوری، پیچشی و خمشی نمود. او همچنین بیشینه ظرفیت باربری اتصالات تحت بارهای سیکلی و اثر عمق لوله گذاری را مورد آزمایش قرار داد [۳].

هاوارد با انجام آزمایش‌هایی، اطلاعاتی در مورد تغییر شکل لوله‌های مدفون به دست آورد. او لوله‌هایی با قطر مختلف و مصالح مختلف را در اعماق و خاک‌های گوناگون و با درصد های متراکم متغیر قرار داد [۴]. شایان ذکر است که آزمایش‌های انجام شده برای سیستم خاک - لوله به دو صورت میسر است. در حالت اول، آزمایش‌های مربوط به سیستم با اندازه واقعی انجام می‌شود. در این حالت بر روی لوله کرنش سنج نصب شده و با ایجاد زلزله از طریق سقوط وزنه، انفجار، شمع کوبی یا اعمال ارتعاش از طریق یک مرتعش کننده، عملکرد خاک - لوله بررسی می‌شود. در حالت دوم، آزمایش بر روی مدلی از لوله که با مصالح ارتجاعی احاطه شده است انجام می‌شود. با قراردادن سیستم مدل شده در میز لرزان و اعمال زلزله مورد نظر، رفتار سیستم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که اغلب از مقیاس ۱:۱۰۰ استفاده می‌شود. با این مدل تاثیر تغییر خصوصیات خاک نیز قابل بررسی است. با به کارگیری کرنش سنج و شتابنگارهای نصب شده می‌توان کرنش و شتاب ایجاد شده در لوله را اندازه گرفت. پژوهشگرانی چون نازو، ماریوکاو تامارا از اندازه های حقیقی برای آزمایش استفاده کرده اند.

### ۱-۳- بارهای وارد بر لوله های مدفون [۵]

لوله های مدفون در مدت زمان سرویس دهی ممکن است بسته به نوع لوله‌گذاری و موقعیت جغرافیایی، تحت اثر بارهای گوناگونی قرار گیرند. بعضی از این بارها، مثل بار خاکریز و یا بار زلزله عموماً بر تمامی خطوط لوله وارد می‌شود و برخی دیگر مثل بارهای نقطه‌ای و یا بار حاصل از گسلش یا زمین لغزش ممکن است موردی باشد. انواع بارهای احتمالی وارد بر لوله های مدفون را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- بار خاکریز

- ۲- بار ترافیک
- ۳- سربار
- ۴- فشار هیدرواستاتیک داخل لوله
- ۵- بارهای نقطه ای
- ۶- بار حاصل از وزن لوله و سیال داخل آن
- ۷- بار ناشی از تغییرات دما
- ۸- بار حاصل از تغییرات حجم خاک اطراف لوله بر اثر تغییرات شرایط آب و هوایی
- ۹- بار حاصل از ارتعاشات لرزه‌ای
- ۱۰- بار حاصل از اثرهای غیر مستقیم زلزله، مثل روانگرایی، سنگریزش، زمین لغزه، فرونشست یا بالازدگی و گسل

طراحی خطوط لوله معمولاً بر اساس بارهای انتقال یافته از سطح زمین از قبیل بار ترافیک، بار خاکریز و سربار صورت می‌گیرد. عموماً در این زمینه افزایش عمق دفن موجبات کاهش اثرات ناشی از این گونه بارها را فراهم می‌آورد. از سوی دیگر تغییرات آب و هوایی، انبساط و یخ زدگی خاک اطراف لوله می‌تواند بروز کرنش‌هایی را در خط لوله بدنبال داشته باشد. برای مقابله با این عوامل می‌توان با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی محل و عمق یخ زدگی، طرح مناسبی را ارائه نمود.

علاوه بر عوامل فوق ممکن است به سبب ویژگی‌های خاک و یا محتویات لوله، جداره لوله در معرض تخریبهای شیمیایی قرار گیرد. در این موارد استفاده از تکنیک حفاظت کاتدی و یا استفاده از پوشش مناسبی برای جداره لوله سودمند خواهد بود.

یکی از بارهای اساسی وارد بر لوله‌های مدفون، ارتعاشات لرزه‌ای می‌باشد. امواج زلزله موجب بروز تغییر شکل در خاک اطراف لوله می‌گردد. مقاومت لوله در برابر این تغییر شکلها باعث تحمیل نیروهایی به خط لوله می‌گردد. عمده تنش‌های پدید آمده در خط لوله از نوع محوری است ولی در محل خم‌ها

تنش خمشی نیز قابل توجه است. برای پیشگیری از آسیب خطوط لوله در برابر این عامل لازم است که خط لوله به روش مناسبی طرح گردد.

در این زمینه توجه به نکات زیر که حاصل تجربیات آزمایشگاهی و مطالعات پارامتریک مختلف می‌باشد می‌تواند تفسیر مناسبی از رفتار خطوط لوله مدفون در برابر امواج ارتعاشی زلزله را بدست دهد.

۱- تغییر شکل لوله در غالب موارد از حرکت خاک اطراف لوله تبعیت می‌کند. در این حالت کرنش محوری لوله‌های مدفون به مراتب بیش از کرنش خمشی آن است.

۲- بیشینه کرنش و شتاب زمین هم زمان رخ نمی‌دهد و با یکدیگر اختلاف فاز دارند.

۳- خصوصیات دینامیکی، نیروی عکس العمل، ضریب اصطکاک و تغییرمکان نسبی خاک و لوله در زمان لغزش برای تغییرمکان‌های کوچک به مقدار فرکانس اعمالی بستگی دارد. نیروی مؤثر محوری بین خاک و لوله پس از وقوع لغزش به فشار قائم بستگی نداشته اما به درصد تراکم خاک، چگالی نسبی خاک و زبری سطح جداره لوله بستگی دارد.

۴- خاک‌های دانه‌ای در اثر وقوع زلزله کاهش حجم داده و باعث نشست ناهمگون بستر لوله می‌شوند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که اغلب خاک‌های ماسه‌ای با تراکم نسبی کمتر از ۶۰٪ با این خطر مواجه هستند.

۵- به دلیل جرم واحد طول ناچیز لوله اثر نیروی اینرسی بر رفتار لوله‌ها ناچیز است. سختی و میرایی قابل توجه خاک در رفتار خط لوله تاثیر نسبتاً قابل توجهی دارد.

۶- با کاهش فرکانس زلزله، میرایی لایه‌های سطحی و همچنین سیستم خاک - لوله افزایش می‌یابد.

۷- با سخت شدن خاک اطراف لوله سرعت انتشار امواج افزایش می‌یابد که در نتیجه آن کرنش‌های پدید آمده کاهش می‌یابد.

۸ - تغییر خصوصیات خاک در طول مسیر خط لوله موجب افزایش تنش می‌شود که در نتیجه احتمال گسیختگی لوله در این موقعیت‌ها نیز افزایش می‌یابد. این امر ناشی از تغییرات ناگهانی سرعت موج و تفرق امواج زلزله در این محل است.



۹- یکی دیگر از منابع مهم اعمال بار بر خطوط لوله مدفون تغییر شکل‌های ماندگار زمین می‌باشد که می‌تواند به شکل‌های مختلف معرفی گردد، که از جمله می‌توان به پدیده‌های زمین لغزش، روانگرایی و فعالیت گسل‌ها اشاره نمود.

#### ۱-۴-۱- پدیده‌های طبیعی موثر بر خطوط لوله مدفون [۵]

از پدیده‌هایی همچون واژگونی، ریزش، لغزش، سیلان و گسترش جانبی توده‌های خاک تحت عنوان زمین لغزش یاد می‌شود. زمین لغزشها اثرات قابل توجهی را بر خطوط لوله مدفون می‌نهد. از رایج‌ترین اشکال زمین لغزش، ریزش توده‌های سنگ می‌باشد که عموماً در شیب‌های بسیار تند رخ می‌دهد. از آنجا که موقعیت مناطق مستعد زمین لغزش قابل شناسایی می‌باشد، انتخاب مناسب محل نصب لوله‌ها می‌تواند از مناسب‌ترین راهکارهای مقابله با این پدیده باشد. وقوع زلزله رودبار در سال ۱۳۶۹ موجب جابجایی حدود ۲۰ میلیون متر مکعب خاک و سنگ گردید. این لغزش در محدوده وسیعی از سطح زمین (حدود ۸۰ هکتار) ویرانی زمین‌های کشاورزی بسیاری را فراهم آورد.

#### ۱-۴-۱-۱- اثر روانگرایی خاک [۵]

یکی دیگر از پدیده‌هایی که باعث بروز جابجایی‌های ماندگار سطح زمین می‌گردد روانگرایی می‌باشد. تغییر حالت خاک غیر چسبنده اشباع در اثر افزایش فشار آب حفره‌ای و کاهش مقاومت برشی خاک باعث بروز این پدیده می‌گردد. حرکت خاکهای سطحی مستعد در اثر روانگرایی توده‌های زیرین باعث بروز پدیده گسترش جانبی می‌گردد. این گونه حرکات معمولاً در شیب‌های کمتر از ۱ درجه رخ می‌دهد. گسترش جانبی می‌تواند خسارات قابل توجهی را به لوله‌های مدفون وارد نماید. اگر چه شناسایی مناطق مستعد این پدیده ممکن می‌باشد و لیکن به دلیل محدودیت‌های مکانی، احتراز از آن عملی نمی‌باشد. خطوط لوله مدفون می‌تواند در اثر روانگرایی خاک صدمه جدی ببیند. این پدیده پس از وقوع زمین لرزه رخ می‌دهد. انتشار امواج زلزله در مناطق مستعد روانگرایی باعث کاهش جدی مقاومت برشی ماسه و

لای گردیده و در نتیجه روانگرایی را حادث می‌گردد. تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه روانگرایی صورت گرفته است.

سید و ادریس با استفاده از مشاهدات میدانی، تأثیر خواص خاک را بر پدیده روانگرایی مورد دقت و کاوش قرار دادند. در تحقیقات ایشان مقاومت روانگرایی بر حسب تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد ارزیابی گردیده است. داگلاس و همکاران، وید و همکاران و دوبری با انجام آزمایشات محلی روشهایی را به منظور بر آورد مقاومت روانگرایی خاک طرح نمودند.

در راستای برآورد پتانسیل روانگرایی خاک، برخی محققین به منظور تعیین ارتباط بین پتانسیل روانگرایی و سرعت موج برشی مطالعاتی را انجام داده اند. توکیماتسو و همکارانش روشی را که مبتنی بر اندازه گیری سرعت موج برشی به صورت درجا است ارائه نمودند. اساس این روش بر این فرض استوار است که خاک‌های با سرعت موج برشی یکسان و در وضعیت تنش مشابه دارای مقاومت روانگرایی برابر می‌باشند. در مطالعات ایشان این نکته مد نظر بوده است که فشار حفره‌ای متناسب با روانگرایی، با مشخصه‌های تغییر حجم خاک در کرنش‌های برشی کوچک سیکلی تعیین می‌شود. محققین مذکور مطالعات آزمایشگاهی خود را بر روی ماسه نیگاتا به انجام رسانیده‌اند.

بالسون در سال ۱۹۸۵ در مورد پدیده روانگرایی خاک و شرایط پدید آمدن روانگرایی مطالعاتی را انجام داد. بر اساس تحقیق وی هرچه دانه بندی ماسه یکنواخت تر و دانه‌ها گردگوشه تر باشد احتمال روانگرایی بیشتر است، همچنین هر چه درصد هوای بین دانه‌ها بیشتر باشد در میزان روانگرایی کاهش چشمگیری ملاحظه می‌شود.

الگوی تغییر شکل گسترش‌های جانبی با بسیاری از الگوهای تغییر شکل مربوط به گسل‌ها قابل تطبیق است. حداکثر تغییر شکل‌های بوجود آمده در گسترش‌های جانبی در طول حاشیه‌های لغزش رخ می‌دهد که می‌تواند مشابه با حرکات ناشی از گسل‌های امتداد لغز و عادی در نظر گرفته شود. روانگرایی همچنین می‌تواند شناور شدگی خطوط لوله مدفون را باعث گردد. تأثیرات شناوری در برخی نواحی مانند دشت‌های سیل گیر بیشتر مورد توجه است. راه حل قابل طرح برای کمینه سازی شناوری، دفن خط لوله

در عمق کم، لفاف بندی لوله توسط بتن جهت کاهش نیروهای شناوری و تعبیه مهارهای متعدد جهت جلوگیری از بالاآمدگی لوله است.

#### ۱-۴-۲- اثر حرکات ناشی از گسل [۵]

از دیگر عوامل بارگذاری خطوط لوله مدفون حرکات بزرگ گسل می‌باشد. بررسی‌های انجام شده بر روی خرابی لوله‌های مدفون در اثر وقوع زلزله ثابت نموده است که بر خلاف سازه‌های روزمینی، نیروی اینرسی ناشی از امواج زلزله علت اصلی خرابی لوله‌های زیرزمینی نمی‌باشد. اگرچه بر طبق برخی مشاهدات میدانی، در صورتی که سرعت ارتعاش زمین زیاد باشد تکان زمین نیز می‌تواند از عوامل آسیب‌رسان به خطوط لوله تلقی گردد، ولیکن می‌توان گفت که حرکات ماندگار سطح زمین مانند حرکات گسل علت اصلی خرابی لوله‌هاست.

گسل، تغییر شکل ناشی از تغییر مکان نسبی دو قطعه مجاور از پوسته زمین می‌باشد. این تغییر مکان می‌تواند به صورت ناگهانی در اثر وقوع زلزله و یا در اثر تجمع تدریجی تغییر شکل در یک مدت زمان طولانی رخ دهد. جابجایی ناگهانی گسل‌ها باعث ارتعاش زمین می‌گردد. به طور کل پوسته روی زمین از تعدادی صفحات که در کنار هم قرار گرفته تشکیل می‌شود.

این صفحات در اثر عواملی نظیر حرارت درون زمین در حرکت می‌باشد. چنانچه این حرکات در طول یک گسل اصلی در مرز بین صفحات پوسته‌ای انجام گیرد انرژی آزاد شده بزرگ خواهد بود. در حالت فوق کانون زلزله عمیق می‌باشد اما زلزله‌هایی که به علت جابجایی در گسل‌های فرعی رخ می‌دهد عموماً دارای کانون‌های کم عمق است. بر این اساس هر چه قابلیت صفحات پوسته‌ای برای ذخیره انرژی تغییر شکل بیشتر باشد میزان لغزش احتمالی گسل نیز بزرگتر خواهد بود.

گسیختگی‌های زمین می‌تواند در طول یک گسل رخ دهد. طول و میزان گسیختگی عمدتاً به بزرگی زلزله و عمق کانونی آن مربوط می‌شود. در بعضی موارد تعداد زیادی گسل‌های منفرد در کنار هم به طور تقریباً موازی واقع شده‌اند که می‌توانند به عنوان یک پهنه گسل محسوب گردند.

حرکات زمین در پهنه گسل می‌تواند در هر تعداد از گسل‌های منفرد اتفاق افتد و علاوه بر حرکات تک‌تک گسل‌ها حرکت کلی پهنه گسل نیز بایستی در نظر گرفته شود. یکی دیگر از راه‌های شناخت رفتار لوله‌های مدفون بررسی خرابی لوله‌های آسیب دیده از لوله‌های پیشین بوده است. پژوهشگران با برداشت‌های میدانی و ارزیابی علت خرابی، در جستجوی عوامل خرابی برآمدند و بر این اساس سعی کردند ضعف و نواقص مدل‌ها یا روش‌ها و تئوری‌های ارائه شده برای طرح لرزه ای لوله‌های مدفون را برطرف سازند. ذیلاً به چند مورد از آنها اشاره می‌شود.

#### ۱-۴-۲-۱- خرابی‌های لوله مدفون ناشی از گسل

در زلزله ۱۹۷۱ سان فرناندو، مشاهده شد، لوله‌های با اتصالات صلب بیشتر از لوله‌هایی با اتصال شکل پذیر دچار آسیب شده است. اغلب آسیب‌ها به سبب ارتعاش بوده و شکست‌ها از نوع لهیدگی و خمشی در لوله و دررفتگی و برشی در محل اتصال بوده است. در محل گسل‌ها شکست ناشی از کمانش به وقوع پیوسته است.

در زلزله ۱۹۶۴ آلاسکا، حرکت گسل‌ها و نشست‌های ناهمگون از عمده‌ترین دلایل شکست بوده است. از بررسی چندین زلزله بالای ۷ ریشتر، در سال ۱۹۲۰ در ژاپن، معلوم شد که عمده‌ی شکست لوله‌ها به علت ضعف طراحی آنها در برابر زلزله بوده است.

به جز زلزله‌ی نی‌گاتا که در آن روان‌شدگی عامل اصلی تخریب بوده، بقیه مشابه زلزله‌های سان فرناندو و آلاسکا بوده است [۵]. در زلزله ۱۳۶۹ گیلان زنگان، عمده آسیب‌های وارد بر لوله‌ها به دلیل عمق پوشش کم و شکننده و ترد بودن لوله‌ها و قطع گسل‌های سطحی از طرف خط لوله تشخیص داده شده است [۶]. در جریان زلزله سانفرانسیسکو مشاهده گردید که شدت خرابی لوله‌ها در اثر حرکات گسل به مراتب بیشتر از خرابی ناشی از ارتعاشات زمین بوده است.