



١٥٧٥٨



# بررسی رفتار و عملکرد خطوط لوله مدفون روی گسل

میر مهدی حسینی

اساتید راهنما:

دکتر کاظم بدو

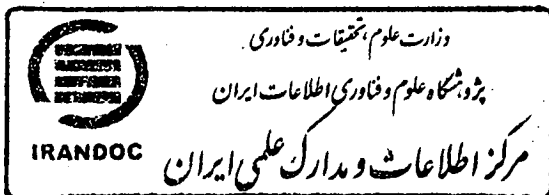
دکتر هادی بهادری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

دانشکده فنی

گروه عمران

تابستان ۱۳۸۹



مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

۱۵۷۵۴۸

پایان نامه خاتم / آقای میرمحمدی حسین.. به تاریخ ۳۰/۴/۸۹  
شماره..... مورد پذیرش هیات محترم داوران بارتبه. بسیار خوب  
و نمره ۱۷/۷۵ اقرار گرفت.

هنده رفقا در بیع همدم

- ۱ - استاد راهنما و رئیس هیئت داوران : دکتر ماسم لادو
- ۲ - داور خارجی : دکتر سعید یاروسریلو
- ۳ - داور داخلی : دکتر سعید مامل سنخ
- ۴ - نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر جواد نوری نیا
- دکتر هادی لاری
- نور

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

## چکیده:

خطرات لرزه ای تهدید کننده لوله های مدفون به طور کلی در دو گروه الف) جابجایی های ماندگار زمین شامل: گسلش، زمین لغزه، روانگرایی و ترک خوردگی زمین، ب) حرکات لرزشی زمین دسته بندی می شود. در کشور ما به لحاظ لرزه خیز بودن آن و نو بودن موضوع، این بحث حائز اهمیت بوده و نیازمند تحقیقات وسیعتری می باشد. هدف تحقیق، بررسی رفتار و عملکرد لوله های مدفون در برابر گسلش می باشد. این پدیده باعث وارد شدن خسارات شدید به خطوط لوله شده و سلامت و ایمنی مردم را به خطر می اندازد. به همین منظور، مدل عددی دو بعدی سیستم مرکب خاک- لوله توسط نرم افزار تفاضل محدود (FLAC (2D تهیه شده است و تأثیر پارامترهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. تحلیل ها نشان می دهند برای دو نوع گسل نرمال و معکوس، افزایش زاویه گسل با امتداد خط لوله، کاهش ضخامت جدار لوله و افزایش عمق دفن لوله موجب افزایش لنگر خمشی حداکثر وارد شده به لوله می شود.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

I.....	فهرست مطالب.....
V.....	فهرست اشکال.....
X.....	فهرست جداول.....

### فصل اول: کلیات

۱.....	۱-۱- مقدمه.....
۲.....	۲-۱- هدف تحقیق.....
۲.....	۳-۱- فرضیات تحقیق.....
۳.....	۴-۱- روش تحقیق.....
۳.....	۵-۱- فصل بندی پایان نامه.....

### فصل دوم: ادبیات فنی و پیشینه موضوع

۵.....	۱-۲- مقدمه.....
۶.....	۲-۲- دسته بندی خطوط لوله.....
۶.....	۱-۲-۲- خطوط لوله مدفون و روزمینی.....
۶.....	۲-۲-۲- خطوط لوله با اتصالات صلب و انعطاف پذیر.....
۷.....	۳-۲-۲- لوله های با مقطع صلب و انعطاف پذیر.....
۷.....	۴-۲-۲- خطوط لوله تحت فشار و تحت جریان ثقلی.....
۸.....	۵-۲-۲- رده بندی عملکرد لرزه ای لوله ها.....
۹.....	۳-۲- بارهای وارد بر لوله های مدفون.....
۹.....	۴-۲- تاریخچه ای از آمار خرابی لوله های مدفون در زلزله های گذشته.....
۱۰.....	۱-۴-۲- زلزله ۱۹۲۳ کانتو ژاپن.....
۱۱.....	۲-۴-۲- زلزله ۱۹۶۴ نیگاتا ژاپن.....
۱۱.....	۳-۴-۲- زلزله ۱۹۷۱ سان فرناندو ایالات متحده.....
۱۲.....	۴-۴-۲- زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی.....

۱۲	۲-۴-۵- زلزله ۱۹۹۰ منجیل ایران.....
۱۲	۲-۴-۶- زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج ایالات متحده.....
۱۳	۲-۴-۷- زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن.....
۱۳	۲-۴-۸- زلزله ۱۹۹۹ ازبیت ترکیه.....
۱۴	۲-۵-۰- انواع خطرات لرزه‌ای تهدید کننده لوله‌های مدفون.....
۱۵	۲-۵-۱- جابجایی موقت زمین.....
۱۶	۲-۵-۲- حرکت دائمی زمین.....
۱۷	۲-۶- رفتار لوله‌های مدفون در برابر انتشار امواج لرزه‌ای.....
۱۹	۲-۷- گسیختگی سطحی (گسلش).....
۲۱	۲-۷-۱- تحلیل خطر برای جابجایی زمین در گسل.....
۲۴	۲-۸- روانگرایی.....
۲۷	۲-۸-۱- تحلیل خطر برای جابجایی زمین در روانگرایی.....
۳۰	۲-۹- زمین لغزه.....
۳۳	۲-۱۰- نشست زمین.....
۳۳	۲-۱۱- انواع مدل‌های تحلیلی لوله‌های مدفون.....
۳۴	۲-۱۱-۱- روش گراف.....
۳۴	۲-۱۱-۲- روش استاتیکی معادل.....
۳۵	۲-۱۱-۳- روش المان محدود.....
۳۶	۲-۱۲- مطالعات آزمایشگاهی.....
۴۱	۲-۱۲-۱- نحوه عملکرد دستگاه سانتریفوژ.....
۴۲	۲-۱۳- مطالعات عددی.....

## فصل سوم: مدلسازی عددی با استفاده از نرم‌افزار $FLAC^{2D}$

۴۸	۳-۱- مقدمه.....
۴۸	۳-۲- آشنایی با نرم‌افزار $FLAC$ .....
۴۹	۳-۳- مدلسازی با روشهای عددی.....
۵۰	۳-۳-۱- روش تفاضل محدود.....
۵۱	۳-۳-۴- روش تفاضل محدود در نرم‌افزار $FLAC$ .....

۵۳	.....تحلیل لاگرانژی	۳-۴-۱
۵۳	.....تحلیل خمیری	۳-۴-۲
۵۳	.....روابط آنالیز عددی در نرم افزار FLAC	۳-۵-۵
۵۳	.....المان بندی	۳-۵-۱
۵۴	.....معادلات تفاضل محدود	۳-۵-۲
۵۵	.....محاسبه نرخ کرنش	۳-۵-۳
۵۵	.....محاسبه تنش ها	۳-۵-۴
۵۵	.....محاسبه نیرو، سرعت و جابجایی گرهی	۳-۵-۵
۵۶	.....محاسبه نیروی نامتعادل گرهی	۳-۵-۶
۵۶	.....محاسبه هندسه اصلاح شده	۳-۵-۷
۵۷	.....تبادل عددی	۳-۵-۸
۵۸	.....اثر متقابل آب و فاز جامد (آنالیز تراوش) در نرم افزار FLAC	۳-۶-۷
۵۹	.....المانهای سازه ای در نرم افزار FLAC	۳-۷-۷
۶۱	.....المانهای تیر	۳-۷-۱
۶۳	.....سطوح مشترک در نرم افزار FLAC	۳-۸-۸
۶۶	.....مراحل کلی مدلسازی در برنامه نرم افزار $FLAC^{2D}$	۳-۹-۹
۶۶	.....انتخاب محدوده مناسبی از توده سنگ یا خاک	۳-۹-۱
۶۶	.....انتخاب مدل رفتار مناسب و تعیین پارامترها	۳-۹-۲
۶۷	.....اعمال شرایط مرزی و تنش های اولیه	۳-۹-۳
۶۸	.....حل مدل تا رسیدن به تعادل	۳-۹-۴
۶۸	.....ایجاد تغییر در مدل	۳-۹-۵
۶۸	.....حل مجدد مدل	۳-۹-۶
۶۸	.....تعیین تعداد درجات آزادی مدل	۳-۹-۷
۶۹	.....الگوریتم حل مدل در نرم افزار FLAC	۳-۱۰-۱
۷۰	.....مدلهای رفتاری مصالح در نرم افزار FLAC	۳-۱۱-۱۱
۷۲	.....مدل موهر-کولمب	۳-۱۱-۱
۷۳	.....مدل نرم شوندهگی / سخت شوندهگی کرنشی	۳-۱۱-۲

## فصل چهارم: مطالعات عددی و آنالیز پارامتریک لوله های مدفون

۷۴	۱-۴- مقدمه
۷۴	۲-۴- مدل سازی مساله لوله مدفون:
۷۶	۳-۴- بررسی صحت مدل سازی عددی
۷۹	۴-۴- مدل لوله مدفون در تقاطع با گسل
۷۹	۱-۴-۴- گسل نرمال
۹۰	۲-۴-۴- گسل معکوس
۹۸	۵-۴- مطالعه پارامتریک عملکرد لوله مدفون روی گسل بررسی تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد لوله مدفون
۹۸	۱-۵-۴- ضخامت جداره لوله
۱۰۳	۲-۵-۴- قطر لوله
۱۰۷	۳-۵-۴- عمق دفن لوله
۱۱۱	۶-۴- بررسی تاثیر پارامترهای مقاومتی خاک بر عملکرد لوله مدفون
۱۱۵	۷-۴- بررسی تاثیر خاک لایه ای بر عملکرد لوله مدفون

## فصل پنجم: نتایج آنالیز پارامتریک عملکرد لوله مدفون روی گسل

۱۱۸	۱-۵- تاثیر نوع و زاویه گسل
۱۱۸	۱-۱-۵- گسل نرمال
۱۱۹	۲-۱-۵- گسل معکوس
۱۲۰	۲-۵- تاثیر ضخامت جداره
۱۲۱	۳-۵- تاثیر قطر لوله
۱۲۳	۴-۵- تاثیر عمق دفن لوله
۱۲۵	۵-۵- تاثیر نوع خاک

## فصل ششم: خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۲۷	۱-۶- خلاصه
۱۲۵	۲-۶- نتیجه گیری
۱۲۹	۳-۶- پیشنهادات برای طرحهای آتی
۱۳۰	مراجع



## فهرست اشکال

صفحه

شماره

- شکل ۱-۲: نمونه‌ای از اتصال صلب (جوش) لوله‌های فلزی..... ۶
- شکل ۲-۲: نمونه‌ای از اتصال انعطاف‌پذیر لوله‌های فلزی..... ۷
- شکل ۳-۲: رابطه بین قطر لوله‌های آسیب دیده و تعداد خرابی‌ها، زلزله کانتو، ژاپن، ۱۹۲۳..... ۱۰
- شکل ۴-۲: گسیختگی خط لوله فولادی انتقال آب شرب، زلزله مکزیکوسیتی، ۱۹۸۵..... ۱۲
- شکل ۵-۲: درصد خرابی در لوله‌های با اقطار مختلف در شبکه توزیع آب، زلزله کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵..... ۱۳
- شکل ۶-۲: تعریف زاویه برخورد موج لرزه‌ای نسبت به محور خط لوله برای روابط ارائه شده در جدول (۲-۴)..... ۱۸
- شکل ۷-۲: حالت سطحی انواع مختلف گسلش..... ۲۰
- شکل ۸-۲: تغییرات تراز روی جاده در مقطعی عمود بر پارگی سطح گسل در اثر زلزله Idaho، ۱۹۸۳..... ۲۰
- شکل ۹-۲: آسیب‌های وارده به لوله‌های مدفون در اثر گسلش..... ۲۱
- شکل ۱۰-۲: نمای پلان از معادله [۲-۵] خط لوله..... ۲۲
- شکل ۱۱-۲: نیروی شناوری وارد بر لوله‌های مدفون در اثر روانگرایی..... ۲۴
- شکل ۱۲-۲: پدیده روانگرایی در امتداد خط لوله آلاسکا..... ۲۶
- شکل ۱۳-۲: نقشه قابلیت روانگرایی منطقه ای-منطقه هایوارد..... ۲۷
- شکل ۱۴-۲: عکس العمل لوله مقابل PGD عرضی..... ۲۸
- شکل ۱۵-۲: انواع جابجایی‌های زمین لغزش..... ۳۰
- شکل ۱۶-۲: یک نمونه مکانیزم گسیختگی زمین در زمین لرزه..... ۳۱
- شکل ۱۷-۲: شکل شماتیک تغییر مکان خط لوله در معرض گسیختگی شیروانی..... ۳۱
- شکل ۱۸-۲: اثرات اصلی زمین لغزش‌ها روی خطوط لوله مطابق با جهت‌گیری‌شان..... ۳۲
- شکل ۱۹-۲: پاسخ خط لوله به تغییر مکان جانبی خاک (Transverse PGD)..... ۳۴
- شکل ۲۰-۲: مدل اندرکنش خاک-لوله و پاسخ بار-تغییر مکان خاک..... ۳۶
- شکل ۲۱-۲: شمای کلی آزمایش و نمایی از سطح خاک..... ۳۶
- شکل ۲۲-۲: کرنش اندازه‌گیری شده در لوله..... ۳۷
- شکل ۲۳-۲: نحوه نصب سنسورهای اندازه‌گیری کرنش و نیرو..... ۳۷
- شکل ۲۴-۲: دیگرام شماتیک آزمایش اندرکنش خاک لوله (الف) حرکت جانبی (ب) حرکت قائم رو به بالا..... ۳۸

- شکل ۲-۲۵: نتایج مدل فیزیکی در مقایسه با راه حل های تحلیلی برای حرکت جانبی لوله. (الف) ماسه نیمه متراکم. (ب) ماسه متراکم. ۳۸.....
- شکل ۲-۲۶: نتایج مدل فیزیکی در مقایسه با راه حل های تحلیلی برای حرکت قائم لوله. (الف) ماسه نیمه متراکم. (ب) ماسه متراکم. ۳۹.....
- شکل ۲-۲۷: شمای کلی آزمایش. (الف) مقطع لوله و کرنش سنج. (ب) نمای جانبی. (ج) نمای پلان. ۳۹.....
- شکل ۲-۲۸: شمای کلی گسیختگی خاک در اثر گسل..... ۴۰.....
- شکل ۲-۲۹: نحوه حرکت ذرات خاک در اثر گسل..... ۴۰.....
- شکل ۲-۳۰: نحوه توزیع کرنش خمشی در امتداد لوله..... ۴۱.....
- شکل ۲-۳۱: (الف) مقطع عرضی لوله در بستر دریا (ب) نحوه مدلسازی لوله..... ۴۳.....
- شکل ۲-۳۲: (الف) توزیع لنگر خمشی. (ب) جابجایی قائم لوله..... ۴۳.....
- شکل ۲-۳۳: (الف) رابطه بین کرنش و جابجایی. (ب) رابطه بین حداکثر لنگر خمشی و جابجایی..... ۴۴.....
- شکل ۲-۳۴: (الف) جابجایی لوله. (ب) توزیع لنگر خمشی در لوله..... ۴۴.....
- شکل ۲-۳۵: اثر گسلش بر المان خاک در سه زاویه..... ۴۵.....
- شکل ۲-۳۶: نمونه ای از مش بندی المان محدود (الف) حرکت جانبی (ب) حرکت روبه بالا،  $H/D=8.5$ ، (34)..... ۴۵.....
- شکل ۲-۳۷: روابط نیرو-تغییر مکان برای حرکت جانبی لوله در ماسه نیمه متراکم در اعماق مختلف..... ۴۶.....
- شکل ۲-۳۸: نیروی بدون برای  $H/D$  های مختلف در حالت حرکت جانبی و حرکت قائم رو به بالا..... ۴۷.....
- شکل ۲-۳۹: نیروی بدون برای  $H/D$  های مختلف در حالت حرکت قائم رو به بالا..... ۴۷.....
- شکل ۳-۱: ترتیب محاسبات در FLAC..... ۵۱.....
- شکل ۳-۲: (الف) بردار نیروهای گرهی، (ب) المان نمونه مثلثی همراه با بردارهای سرعت، (ج) المانهای چهار گوش..... ۵۳.....
- شکل ۳-۳: مدل شماتیک شمع تحت بار جانبی..... ۶۰.....
- شکل ۳-۴: نمایی از مدل FLAC (استفاده از المانهای Beam و Interface برای اندکشی جانبی خاک/شمع)..... ۶۰.....
- شکل ۳-۵: مشخصه های المان تیر در FLAC..... ۶۱.....
- شکل ۳-۶: مقطع عرضی تیر مستطیلی با ممان اینرسی I و سطح مقطع A در FLAC..... ۶۱.....
- شکل ۳-۷: جهت کسینوس ها برای یک المان تیر در FLAC..... ۶۲.....
- شکل ۳-۸: سطح مشترک بین صفحات a و b، اتصال با فنرهای نرمال ( $k_{nn}$ ) و برشی ( $k_s$ ) در FLAC..... ۶۴.....
- شکل ۳-۹: بعد ناحیه مورد استفاده برای محاسبه سختی در FLAC..... ۶۵.....

- شکل ۳-۱۰: الگوریتم حل مدل در FLAC..... ۷۰
- شکل ۴-۱: (الف) نحوه بارگذاری و شرایط مرزی و مدل لوله. (ب) نحوه گسیختگی المان خاک..... ۷۴
- شکل ۴-۲: تعداد المانها در مدل..... ۷۵
- شکل ۴-۳: مقدار نیروی نامتعادل گرهی در هر گام محاسباتی در آنالیز ژئواستاتیکی مدل..... ۷۵
- شکل ۴-۴: نمای شماتیک جابجایی گسل و لوله مدفون..... ۷۷
- شکل ۴-۵: منحنی لنگر خمشی بدست آمده از ALA..... ۷۷
- شکل ۴-۶: منحنی لنگر خمشی بدست آمده از  $FLAC^{2D}$  (نیوتن-متر)..... ۷۸
- شکل ۴-۷: منحنی لنگر خمشی بدست آمده از  $FLAC^{2D}$  (کیلوپوند-اینچ)..... ۷۸
- شکل ۴-۸: تطابق منحنی لنگر خمشی بدست آمده از  $FLAC^{2D}$  و ALA..... ۷۸
- شکل ۴-۹: نمای شماتیک نحوه تغییر شکل لوله در اثر گسل نرمال..... ۷۹
- شکل ۴-۱۰: بردارهای جابجایی المان های خاک برای  $\beta=90^\circ$ ..... ۸۰
- شکل ۴-۱۱: بردارهای جابجایی المان های خاک برای  $\beta=90^\circ$  (نمای نزدیک)..... ۸۰
- شکل ۴-۱۲: بردارهای جابجایی المان های خاک برای  $\beta=60^\circ$ ..... ۸۱
- شکل ۴-۱۳: بردارهای جابجایی المان های خاک برای  $\beta=45^\circ$ ..... ۸۱
- شکل ۴-۱۴: نمودار تغییر شکل لوله در جهت قائم..... ۸۲
- شکل ۴-۱۵: نمودار کرنش برشی خاک برای  $\beta=90^\circ$ ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۶: نمودار کرنش برشی خاک برای  $\beta=60^\circ$ ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۷: نمودار کرنش برشی خاک برای  $\beta=45^\circ$ ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۸: نمودار تغییر مکان قائم خاک برای  $\beta=90^\circ$ ..... ۸۴
- شکل ۴-۱۹: نمودار تغییر مکان قائم خاک برای  $\beta=60^\circ$ ..... ۸۴
- شکل ۴-۲۰: نمودار تغییر مکان قائم خاک برای  $\beta=45^\circ$ ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۱: تغییرات تنش قائم در خاک برای  $\beta=90^\circ$ ..... ۸۵
- شکل ۴-۲۲: تغییرات تنش قائم در خاک برای  $\beta=60^\circ$ ..... ۸۶
- شکل ۴-۲۳: تغییرات تنش قائم در خاک برای  $\beta=45^\circ$ ..... ۸۶
- شکل ۴-۲۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\beta=90^\circ$ ..... ۸۷
- شکل ۴-۲۵: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\beta=60^\circ$ ..... ۸۷
- شکل ۴-۲۶: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\beta=45^\circ$ ..... ۸۸
- شکل ۴-۲۷: منحنی نیروی محوری لوله برای  $\beta=90^\circ$ ..... ۸۸
- شکل ۴-۲۸: منحنی نیروی محوری لوله برای  $\beta=60^\circ$ ..... ۸۹
- شکل ۴-۲۹: منحنی نیروی محوری لوله برای  $\beta=45^\circ$ ..... ۸۹
- شکل ۴-۳۰: نمای شماتیک نحوه تغییر شکل لوله در اثر گسل معکوس..... ۹۰
- شکل ۴-۳۱: نمودار کرنش برشی خاک برای  $\beta=60^\circ$ ..... ۹۰

- شکل ۳۲-۴: نمودار کرنش برشی خاک برای  $\beta=45^\circ$  ..... ۹۱.....
- شکل ۳۳-۴: نمودار کرنش برشی خاک برای  $\beta=30^\circ$  ..... ۹۱.....
- شکل ۳۴-۴: نمودار تغییر مکان قائم خاک برای  $\beta=90^\circ$  ..... ۹۲.....
- شکل ۳۵-۴: نمودار تغییر مکان قائم خاک برای  $\beta=60^\circ$  ..... ۹۲.....
- شکل ۳۶-۴: نمودار تغییر مکان قائم خاک برای  $\beta=45^\circ$  ..... ۹۳.....
- شکل ۳۷-۴: نمودار تغییر مکان قائم خاک برای  $\beta=30^\circ$  ..... ۹۳.....
- شکل ۳۸-۴: بردارهای جابجایی المان های خاک برای  $\beta=60^\circ$  ..... ۹۴.....
- شکل ۳۹-۴: بردارهای جابجایی المان های خاک برای  $\beta=45^\circ$  ..... ۹۴.....
- شکل ۴۰-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $\beta=60^\circ$  ..... ۹۵.....
- شکل ۴۱-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $\beta=45^\circ$  ..... ۹۵.....
- شکل ۴۲-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $\beta=30^\circ$  ..... ۹۶.....
- شکل ۴۳-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\beta=90^\circ$  ..... ۹۶.....
- شکل ۴۴-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\beta=60^\circ$  ..... ۹۷.....
- شکل ۴۵-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\beta=45^\circ$  ..... ۹۷.....
- شکل ۴۶-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\beta=30^\circ$  ..... ۹۸.....
- شکل ۴۷-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $T=2\text{cm}$  ..... ۸۹.....
- شکل ۴۸-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $T=1.6\text{cm}$  ..... ۹۹.....
- شکل ۴۹-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $T=1.2\text{cm}$  ..... ۹۹.....
- شکل ۵۰-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $T=0.8\text{cm}$  ..... ۱۰۰.....
- شکل ۵۱-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $T=2\text{cm}$  ..... ۱۰۱.....
- شکل ۵۲-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $T=1.6\text{cm}$  ..... ۱۰۱.....
- شکل ۵۳-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $T=1.2\text{cm}$  ..... ۱۰۲.....
- شکل ۵۴-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $T=0.8\text{cm}$  ..... ۱۰۲.....
- شکل ۵۵-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $D=200\text{cm}$  ..... ۱۰۳.....
- شکل ۵۶-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $D=120\text{cm}$  ..... ۱۰۴.....
- شکل ۵۷-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $D=80\text{cm}$  ..... ۱۰۴.....
- شکل ۵۸-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $D=200\text{cm}$  ..... ۱۰۵.....
- شکل ۵۹-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $D=160\text{cm}$  ..... ۱۰۵.....
- شکل ۶۰-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $D=120\text{cm}$  ..... ۱۰۶.....
- شکل ۶۱-۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $D=80\text{cm}$  ..... ۱۰۶.....
- شکل ۶۲-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $H=2\text{m}$  ..... ۱۰۷.....
- شکل ۶۳-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $H=3\text{m}$  ..... ۱۰۸.....
- شکل ۶۴-۴: منحنی نیروی محوری لوله برای  $H=4\text{m}$  ..... ۱۰۸.....

- شکل ۴-۶۵: منحنی نیروی محوری لوله برای  $H=5m$  ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۶۶: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $H=2m$  ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۶۷: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $H=3m$  ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۶۸: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $H=4m$  ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۶۹: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $H=5m$  ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۷۰: منحنی نیروی محوری لوله برای  $\Phi=35^\circ$  ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۷۱: منحنی نیروی محوری لوله برای  $\Phi=40^\circ$  ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۷۲: منحنی نیروی محوری لوله برای  $\Phi=45^\circ$  ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۷۳: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\Phi=35^\circ$  ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۷۴: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\Phi=40^\circ$  ..... ۱۱۴
- شکل ۴-۷۵: منحنی لنگر خمشی لوله برای  $\Phi=45^\circ$  ..... ۱۱۴
- شکل ۴-۷۶: منحنی لنگر خمشی لوله برای خاک یک لایه ..... ۱۱۵
- شکل ۴-۷۷: منحنی لنگر خمشی لوله برای خاک دو لایه ..... ۱۱۶
- شکل ۴-۷۸: منحنی نیروی محوری لوله برای خاک یک لایه ..... ۱۱۶
- شکل ۴-۷۹: منحنی نیروی محوری لوله برای خاک دو لایه ..... ۱۱۷
- 
- شکل ۵-۱: تغییرات نیروی محوری در طول لوله در اثر گسل نرمال با زاویه های متفاوت ..... ۱۱۸
- شکل ۵-۲: تغییرات لنگر خمشی در طول لوله در اثر گسل نرمال با زاویه های متفاوت ..... ۱۱۹
- شکل ۵-۳: تغییرات نیروی محوری در طول لوله در اثر گسل معکوس با زاویه های متفاوت ..... ۱۱۹
- شکل ۵-۴: تغییرات لنگر خمشی در طول لوله در اثر گسل معکوس با زاویه های متفاوت ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۵: تغییرات لنگر خمشی در طول لوله لوله با ضخامت های متفاوت ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۶: تغییرات نیروی محوری در طول لوله با ضخامت های متفاوت ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۷: تغییرات کرنش محوری در طول لوله با ضخامت های متفاوت ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۸: تغییرات لنگر خمشی در طول لوله با قطرهای متفاوت ..... ۱۲۲
- شکل ۵-۹: تغییرات نیروی محوری در طول لوله با قطرهای متفاوت ..... ۱۲۲
- شکل ۵-۱۰: تغییرات کرنش محوری در طول لوله با قطرهای متفاوت ..... ۱۲۳
- شکل ۵-۱۱: تغییرات لنگر خمشی در طول لوله با عمق دفن متفاوت ..... ۱۲۳
- شکل ۵-۱۲: تغییرات نیروی محوری در طول لوله با عمق دفن متفاوت ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۱۳: تغییرات کرنش محوری در طول لوله با عمق دفن متفاوت ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۱۴: تغییرات لنگر خمشی در طول لوله برای خاک با مقاومت متفاوت ..... ۱۲۵
- شکل ۵-۱۵: تغییرات نیروی محوری در طول لوله برای خاک با مقاومت متفاوت ..... ۱۲۵
- شکل ۵-۱۶: تغییرات لنگر خمشی در طول لوله برای خاک یک و دو لایه ..... ۱۲۶
- شکل ۵-۱۷: تغییرات نیروی محوری در طول لوله برای خاک یک و دو لایه ..... ۱۲۶

## فهرست جداول

صفحه

شماره

---

جدول ۱-۲: طبقه بندی انواع لوله بر اساس عملکرد لرزه‌های	۸
جدول ۲-۲: خسارت وارده به شبکه آب و فاضلاب، زلزله سانفرناندو، ۱۹۷۱	۱۱
جدول ۳-۲: خطرات زلزله و پارامترهای لازم در طراحی خط لوله	۱۵
جدول ۴-۲: کرنشهای حاصله در زمین در اثر انتشار امواج لرزه‌ای در طول یک خط لوله	۱۸
جدول ۵-۲: مشخصات کلی آزمایشهای انجام گرفته	۳۹
جدول ۶-۲: مشخصات مکانیکی لوله ها	۴۰
جدول ۷-۲: مشخصات مکانیکی لوله	۴۳
جدول ۱-۳: طبقه بندی کلی روشهای عددی	۵۰
جدول ۲-۳: مقایسه روشهای حل صریح و غیر صریح	۵۲
جدول ۳-۳: مدل‌های رفتاری مختلف بکاررفته در FLAC	۶۷
جدول ۱-۴: مقادیر $\alpha$ با توجه به پوشش سطح لوله	۷۶
جدول ۲-۴: مشخصات مصالح بکار رفته در مدل	۷۹
جدول ۳-۴: مشخصات ماسه مورد استفاده در مدل	۱۱۱
جدول ۴-۴: مشخصات ماسه مورد استفاده در مدل خاک دو لایه	۱۱۵

# فصل اول

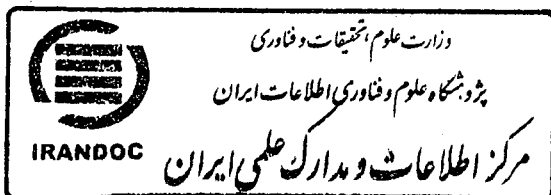
## کلیات

### ۱-۱- مقدمه

طراحی امکانات رفاهی عمومی وتاسیسات شهری جهت مقابله با تاثیرات زمین لرزه، توجه روزافزون برنامه ریزان شهری و جوامع مهندسی را به خود جلب کرده است. گذشت بیش از نیم قرن از عمر تاسیسات شهری در مناطق زلزله خیز و بررسی رفتار آنها در برابر زلزله تحولات جدیدی در مهندسی زلزله به ویژه در رابطه با شریانهای حیاتی بوجود آورده است. هنگام وقوع زلزله لایه هایی که بر روی سنگ کف قرار گرفته اند، به صورت رفت و برگشت و یا ماندگار جابجا می شوند. تغییر شکل زمین چه بصورت متناوب و چه بصورت ماندگار می تواند باعث وارد شدن خسارت بر سازه های روزمینی و زیرزمینی شود، لذا آسیب پذیری شریانهای حیاتی در برابر صدمات زلزله به اثبات رسیده است. معرفی خطوط توزیع و انتقال نفت و گاز، آب و فاضلاب بعنوان شریانهای حیاتی بیانگر اهمیت عملکرد آنها در حفظ ایمنی و سلامت عموم می باشد. بیمارستانها، مراکز امدادی، امکانات رفاهی، همه مثالهایی از تاسیساتی هستند که وابسته به این خطوط لوله می باشند. نیاز به حفظ چنین خدماتی برای فراهم آوردن عملیات نجات و امداد پس از یک زلزله بزرگ نشان می دهد که اغتشاشات اجتماعی- اقتصادی پس از زلزله در اثر قطع برق، آب و یا آتش سوزی ناشی از صدمه به خطوط لوله بطور قابل ملاحظه ای تشدید می یابد.

### ۱-۲- هدف تحقیق

گرچه دانش فنی در زمینه مهندسی زلزله شریانهای حیاتی در برخی کشورها پیشرفت قابل توجهی داشته است، با اینحال این بحث در کشور ما بلحاظ لرزه خیز بودن آن و نو بودن موضوع حائز اهمیت بوده و نیازمند تحقیقات وسیعتری می باشد. یک سیستم خط لوله به لحاظ گستردگی و گذر از یک ناحیه جغرافیایی وسیع، ممکن است مواجه با خطرات لرزه‌های بسیار و شرایط گوناگون خاک باشد. خطرات لرزه ای تهدید کننده لوله های مدفون به طور کلی در دو گروه الف) جابجایی های ماندگار زمین، شامل گسلش، زمین لغزه، روانگرایی ؛ ب) حرکات لرزشی زمین؛ دسته بندی می شود.



هدف از تحقیق حاضر بررسی رفتار و عملکرد لوله های مدفون در برابر حرکات گسل می باشد. تغییر مکانهای ناهمگون و ماندگار زمین که اصطلاحاً PGD نامیده می شود، باعث آسیب دیدگی خطوط لوله مدفون می شود. تخمین مقدار واقعی PGD موضوع تحقیق بسیاری از دانشمندان بوده و روابط متعددی برای محاسبه مقدار آن ارائه شده است. هدف از این تحقیق شناخت و برآورد مقدار بارهای وارده بر لوله ناشی از جابجایی توده خاک، بصورت جزئی تر می باشد. بدین منظور مدل عددی سیستم مرکب خاک و لوله تهیه شده است.

### ۳-۱- فرضیات تحقیق

همانطور که گفته شد، هدف از این تحقیق، مطالعه تاثیر حرکات گسل بر رفتار لوله های مدفون می باشد. بمنظور مطالعه جزئی تر نخست انواع خطوط لوله مدفون مورد بررسی قرار گرفته است. بطور کلی خطوط لوله مدفون با توجه به اهمیت عملکرد آنها در برابر زلزله به چهار دسته، اهمیت کم، معمولی، زیاد و خیلی زیاد و از نظر نوع اتصالات به دو دسته اصلی خطوط لوله ممتد و خطوط لوله منقطع تقسیم بندی می شود. در خطوط لوله ممتد، قطعات لوله و اتصالات نظری اتصال نوع جوشی، بهم پیوسته بوده و تغییر شکلهای قطعات از همدیگر پیروی می کند در حالیکه در خطوط لوله منقطع اتصالات انعطاف پذیر بوده و تغییر شکل یک قطعه لوله نسبت به قطعه مجاور در اثر بارهای وارده متفاوت می باشد. در مطالعه رفتار خطوط لوله منقطع، بیشتر به نیروهای محوری حاصله در اثر کشش یا فشار حاصل از حرکت نسبی خاک و لوله در محل اتصالات پرداخته می شود و اغلب نتایج مطالعات به تقویت و بهبود اتصالات در اثر تغییر شکلهای وارده محدود می شود. برای تحقیق حاضر از روشهای عددی استفاده شده است، مدل مربوطه در نرم افزار  $FLAC^{2D}$  شبیه سازی شده است. این نرم افزار یکی از قویترین نرم افزارهای مهندسی ژئوتکنیک بوده و قابلیت های مناسبی برای مدلسازی اندرکنش خاک-سازه را داراست و با استفاده از روش تفاضل محدود اقدام به حل مسائل می کند. در نرم افزار  $FLAC^{2D}$  مدل مورد نظر بصورت دو بعدی و کرنش مسطح می باشد. همچنین در این تحقیق مطالعه اندرکنش طولی به شرایط ماسه خشک محدود شده است. جنس مصالح لوله از نوع لوله فولادی با ضخامت ثابت فرض شده است. در بحث لوله های فولادی، بتنی و چدنی بجز لوله های پلی اتیلنی معمولاً از انحناء و لهیدگی مقطع لوله بدلیل ناچیز بودن آن صرف نظر می شود. بنابراین در مدل مورد نظر مقطع لوله صلب فرض شده. نوع سیال و فشار داخل آن در لوله های صلب تاثیر چندانی بر اندرکنش خاک لوله ندارد، با اینحال وزن لوله در نظر گرفته شده است. همچنین مطالعه آمار خرابی خطوط لوله مدفون در زلزله های گذشته نشان می دهد که عمده عامل خرابی در اثر جابجایی های ناشی از



گسیختگی زمین می باشد و جابجایی های حاصل از انتشار امواج در مقایسه با جابجایی های حاصل از PGD بقدری کوچک و گذرا بوده که تاثیر چندانی بر لوله های مدفون ندارد.

#### ۱-۴- روش تحقیق

بطور کلی اولین گام برای تحقیق و پژوهش، جمع آوری اطلاعات علمی موضوع مورد نظر می باشد. بازمینی و مطالعه مطالب علمی و نتایج محققان، ما را در انجام بهتر و دقیق تر موضوع در جهت تکمیل دانش موجود و نیل به یافته های جدید یاری می رساند. در تحقیق حاضر نخست سعی شده است اطلاعات کاملی در ارتباط با انواع لوله های مدفون، انواع مخاطرات لرزه ای تهدید کننده لوله های مدفون، علل آسیب پذیری لوله های مدفون طی زمین لرزه های قبلی و مطالعات انجام گرفته بر روی لوله های مدفون گردآوری و بررسی گردد. سپس با توجه به هدف تحقیق، مدل عددی سیستم مرکب خاک و لوله با استفاده از نرم افزار  $FLAC^{2D}$  تهیه شده است. انتخاب این نرم افزار بعنوان ابزار مناسب تحقیق، براساس مطالعه قابلیت های نرم افزار در مدلسازی مسائل ژئوتکنیکی و سازه ها، خروجی ها و نتایج قابل ارائه و مدلسازی رفتار مصالح انجام شده است. توضیحات مربوط به معرفی نرم افزار بصورت خلاصه در متن تحقیق حاضر آمده است. این نرم افزار از روش تفاضل محدود صریح برای حل مسائل استفاده می کند.

به منظور مطالعه پارامتریک، برخی از ویژگی های خاک و لوله بعنوان موثرترین پارامترها مدنظر واقع شده است. در این تحقیق تاثیر شش عامل (۱) نوع گسل، (۲) زاویه گسلش، (۳) ضخامت لوله، (۴) قطر لوله، (۵) عمق دفن لوله، (۶) نوع خاک اطراف لوله بررسی شده است..

#### ۱-۵- فصل بندی پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر شش فصل است. در فصل اول به کلیات پایان نامه شامل معرفی موضوع تحقیق و اهمیت آن، هدف از تحقیق و روش انجام آن پرداخته شد. در ادامه و در فصل دوم، نخست کلیاتی در زمینه معرفی لوله های مدفون و انواع آنها ارائه شده است. سپس انواع مخاطرات لرزه ای لوله های مدفون توصیف و به بررسی عملکرد آنها طی زلزله های مهم گذشته پرداخته شده است. پس از شناخت کلی انواع آسیبهای محتمل، روشها و مدل های تحلیلی موجود، مطالعات و یافته های محققان و دانشمندان قبلی مورد بازمینی قرار گرفته است. بطور کلی در فصل دوم سعی شده یک جمع بندی در ارتباط با موضوع تحقیق و شناختی که تاکنون در ارتباط با رفتار لرزه ای لوله های مدفون حاصل شده، ارائه گردد.

در فصل سوم نرم افزار  $FLAC^{2D}$  معرفی قابلیت‌های آن در مدلسازی تحقیق حاضر بیان شده است. نحوه آنالیز، تشکیل معادلات تفاضل محدود و روش حل مسئله در این نرم افزار بطور خلاصه آمده است. سپس روش مدلسازی، شرایط اولیه و مرزی، المانهای سازه ای و اندرکنش سازه با خاک در برنامه  $FLAC^{2D}$  بیان شده است. بطور کلی براساس توضیحات ارائه شده می توان نتیجه گرفت که این نرم افزار ابزار مناسبی برای تحقیق حاضر می باشد.

در فصل چهارم مطالعات عددی و آنالیز پارامتریک لوله های مدفون در ماسه انجام شده است. خروجی های نرم افزار شامل نتایج مربوط به لوله و اطراف آن بطور خلاصه در این فصل آورده شده است. نتایج عددی آنالیز پارامتریک در فصل پنجم ارائه شده است. در فصل ششم نیز نتیجه گیری کلی تحقیق و پیشنهاداتی برای طرح های مطالعاتی آتی ارائه شده است.

## فصل دوم

### ادبیات فنی و پیشینه موضوع

۲-۱- مقدمه

خطوط انتقال سیالات بعنوان مهم‌ترین تأسیسات زیربنایی هر شهر محسوب میشود و جهت ایمن سازی هر شهر یا کشور در مقابل زلزله بیش از هر چیز باید از استحکام و مقاومت در برابر زلزله اطمینان حاصل گردد. خطوط توزیع و انتقال، بواسطه گستردگی وسیع و قرارگیری در شرایط مختلف زمین در زلزله آسیب قابل توجهی می‌بینند که نه تنها به انهدام آنها منجر می‌شود بلکه خسارات ثانویه نظیر آتش سوزی و گسترش آن بعلت قطع آب و مشکلات بهداشتی و زندگی برای مردم حتی تا روزها و ماهها بعد از زلزله ایجاد می‌کند.

تعداد خرابی قابل توجه در شبکه توزیع آب در زلزله‌های اخیر نظیر زلزله ۱۹۹۴ نورت ریج<sup>۱</sup> آمریکا و زلزله ۱۹۹۵ کوبه<sup>۲</sup> ژاپن سبب گردید تا شاخه جدیدی در مهندسی زلزله بنام مهندسی زلزله در شریانهای حیاتی مانند شبکه توزیع آب، گاز، فاضلاب، مخابرات و برق مطرح گردد. در زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن بیش از ۱۰۰۰ نقطه از شبکه توزیع آب آسیب دید بطوریکه قریب یک میلیون نفر تا ۶۰ روز با مشکل کمبود آب مواجه شدند. در سال ۱۹۹۷ راهنمای طراحی و ساخت تأسیسات آبرسانی توسط سازمان آب ژاپن (JWWA) منتشر و در سال ۱۹۹۸ براساس تجربیات زلزله کوبه تجدیدنظر گردید و نیز در سال ۱۹۹۹ دستورالعمل و راهنمای طراحی و مقاوم سازی تأسیسات آبرسانی توسط FEMA آمریکا تدوین گردیده و آخرین اصلاحات و تجدیدنظر آن در سال ۲۰۰۵ چاپ شده است.

در هر شبکه، لوله‌های مدفون بدلیل کاربردهای گوناگونی چون تامین آب آشامیدنی، دفع فاضلاب، انتقال مواد سوختی مثل نفت و گاز، عبور دادن خطوط انتقال برق و تلفن و استفاده در زمینه حمل و نقل مثل مترو و تونل، باعث شده که آنها بخش مهمی از سازه‌های شبکه‌ای را تشکیل دهند.

در این فصل، کلیاتی در رابطه با دسته‌بندی لوله‌های مدفون، انواع بارهای وارده بر آنها، عملکرد لوله‌های مدفون در زلزله‌های گذشته، رفتار لوله‌های مدفون در برابر زلزله و مطالعات انجام گرفته در رابطه با آنالیز و طراحی لرزه‌ای لوله‌ها بیان می‌گردد.

<sup>۱</sup>Northridge

<sup>۲</sup> Kobe

## ۲-۲- دستهبندی خطوط لوله

بسته به نوع هدف، ملاکهای متفاوتی برای دسته خطوط لوله وجود دارد که ذیلاً به عمده این موارد اشاره می‌شود.

### ۲-۲-۱- خطوط لوله مدفون و روزمینی

خطوط لوله عموماً بخاطر مسائل ایمنی و زیبایی دفن می‌گردند. دفن لوله در زمین علاوه بر آنکه از نظر زیبایی سیمای ناحیه را مختل نمی‌کند و محدودیت رفت و آمد بوجود نمی‌آورد، از سوی دیگر باعث حفظ خطوط لوله در برابر خطرهای محیطی مثل برخورد اجسام صلب و سنگین شده و کمترین اثر تغییرات شرایط جوی منطقه را دارد. اگر چه خطوط لوله عموماً زیرزمین قرار داده می‌شوند، ولی شرایط خاک در بعضی مواقع ایجاب می‌کند که بر روی سطح طبیعی زمین قرار گیرد و برای مهار آن از سیستم‌های تکیه گاهی روی زمینی استفاده شود. در بعضی حالات ممکن است روی لوله با خاکریزی پوشانده شود. بهر حال چنانچه نوع مهارها با حجم خاکریزی روی لوله تا حدی نباشد که بهنگام جابجایی زمین، خط لوله از تغییر شکل زمین پیروی کند به آن خط لوله روی زمین گفته می‌شود. تفاوتی که بین روشهای تحلیلی خطوط لوله روزمینی و زیرزمینی (مدفون) در نظر گرفته می‌شود، از طرف پژوهشگران متعددی چون Powell، Werner و Mondkar ارائه شده است [۲۰۱].

### ۲-۲-۲- خطوط لوله با اتصالات صلب و انعطاف‌پذیر

روشن است که یک لوله دارای طول درازی است که برای ساخت آن، قطعات لوله به وسیله اتصالات سرهم شده‌اند. بسته به نوع اتصال بکار رفته قطعات ممکن است با هم یکپارچه و یا جداگانه عمل کنند. چنانچه اتصال قطعات بگونه‌ای باشد که اجازه جابجایی و چرخش نسبی قطعات مجاور نسبت بهم وجود نداشته باشد، به اتصال مزبور اتصال صلب گفته می‌شود. نمونه‌ای از این اتصالات، اتصالات جوشی لوله‌های فولادی و رزوه شده لوله‌های فلزی یا اتصالات پر شده با ملات سیمان در مورد لوله‌های بتنی است. (شکل ۱-۲)



شکل ۱-۲: نمونه‌ای از اتصال صلب (جوش) لوله‌های فلزی

چنانچه اتصالات قطعات بگونه‌ای باشد که قطعات مجاور اجازه جابجایی و یا دوران نسبی نسبت به هم داشته باشند، به چنین اتصالاتی انعطاف‌پذیر گفته می‌شود و نمونه‌ای از آن در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.