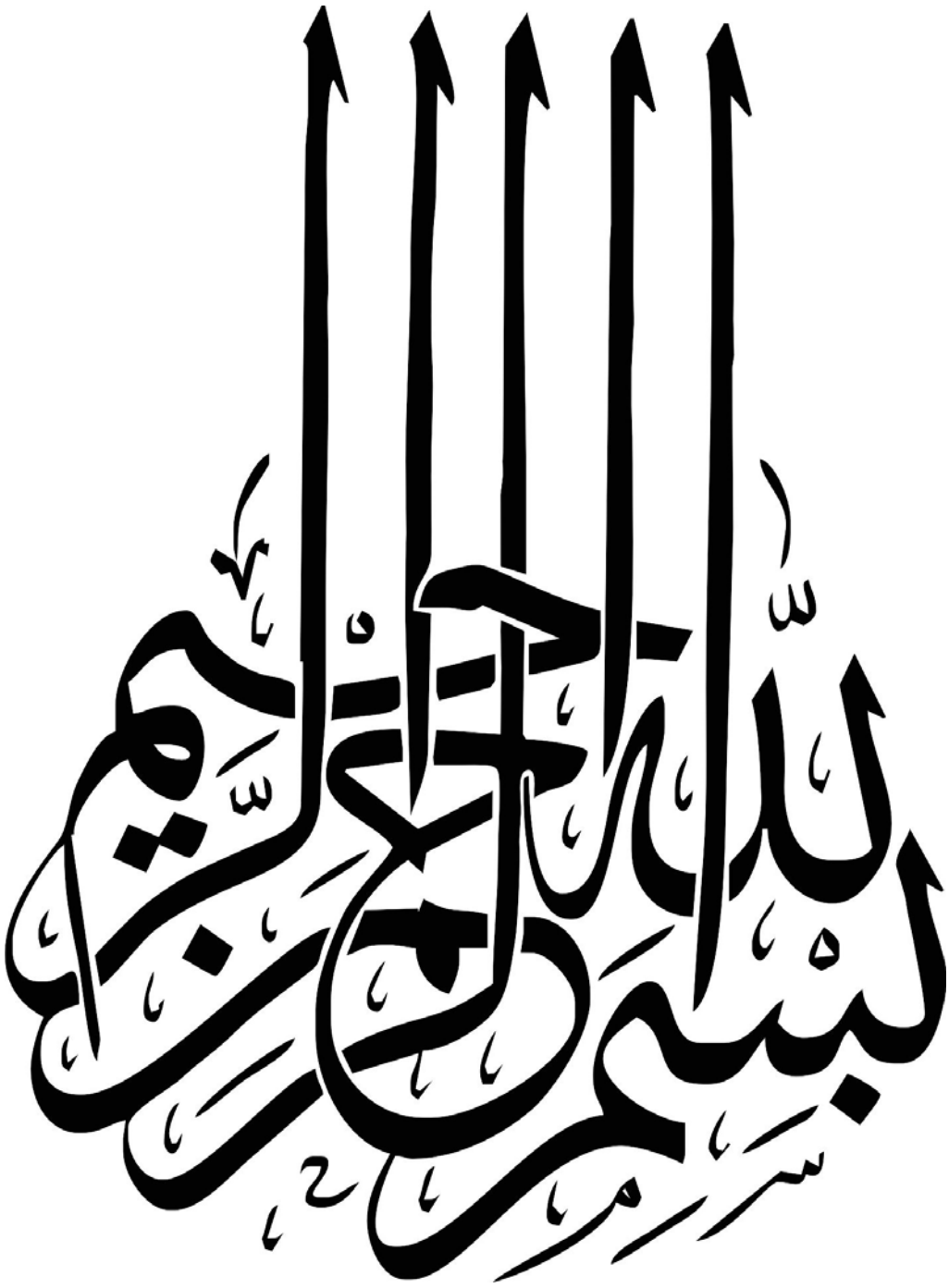
بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم تحقیقات و فن آوری
دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

بررسی پارامترهای موثر بر عملکرد خطوط لوله ی مدفون تحت اثر زلزله

استاد راهنما

دکتر سید ابوالحسن نائینی

نگارش

الهام محمودی

کد رساله: ۱۳/۴۲

دی ۱۳۹۰

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم؛

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، با صبوری سختی ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم.

بارالها؛

توفیقم ده که هر لحظه سپاس گزارشان باشم و ثانیه های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم.

چکیده

با توجه به گستردگی خطوط لوله مدفون و امکان تقاطع آنها با گسلهای فعال، در صورت وقوع زمین لرزه صدمات مالی و حتی جانی بسیاری در اثر تخریب خطوط لوله بوجود خواهد آمد. در این مطالعه به بررسی و تحلیل عددی پارامترهای موثر بر رفتار لوله های مدفون پلی اتیلنی با دانسیته بالا که در تقاطع با گسل های عمود لغز قرار دارند پرداخته شده است.

برای تحقق اهداف مطالعه یک مدل سه بعدی خاک-لوله با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس ساخته شده است که مدل رفتاری دراکر-پراگر برای خاک اطراف لوله و الاستیک خطی برای لوله پلی اتیلنی با دانسیته بالا در نظر گرفته شده است، سطح تماس بین خاک و لوله نیز در دو جهت عمودی و مماس بر سطح مدلسازی شده بطوریکه امکان لغزش و جداشدگی بین سطوح وجود داشته باشد. نتایج مدل عددی در ابتدا با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی صحت سنجی شده و با توجه به اینکه نتایج دو مدل تحلیلی و آزمایشگاهی تطابق مناسبی را نشان میدهند، در مرحله بعد به بررسی پارامترهایی همچون عمق دفن لوله، قطر داخلی لوله، ضخامت جداره آن، دانسیته مرطوب خاک اطراف لوله و زاویه اصطکاک داخلی خاکریز با استفاده از نرم افزار پرداخته شده است.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان میدهد که با افزایش عمق دفن لوله کرنش های خمشی در طول آن افزایش می یابند، همچنین با افزایش قطر لوله مدفون شاهد افزایش نیروهای بر هم کنش میان خاک و لوله خواهیم بود و محل رخداد کرنش خمشی نیز از محل گسل دورتر خواهد بود. در ضمن با زیاد شدن ضخامت جداره لوله مقدار نیروهای بر هم کنش میان خاک و لوله افزایش می یابد و تغییر دانسیته مصالح خاکریز اطراف لوله بر کرنش خمشی در طول لوله آن بی تاثیر است. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده ثابت شدکه با افزایش زاویه اصطکاک خاک کرنش خمشی کششی در آن کمتر می‌شود.

سپاس نامه

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته جناب آقای دکتر ابوالحسن نائینی که با راهنمایی‌های ارزشمند خود بنده را در به پایان رساندن این پایان نامه مساعدت فرمودند، تقدیر و تشکر نمایم.

حضور خود در دوره کارشناسی ارشد و تحصیل در این مقطع را مدیون مهربانی و همراهی دوستان عزیز خود سرکار خانم مهندس فرزانه آزادی و جناب آقای مهندس کاوه بری میدانم، فرصت مغتنمی است تا مراتب سپاس خود را نسبت به این دو مهربان اعلام دارم.

وظیفه خود میدانم تشکر ویژه ای از جناب آقای دکتر علی قنبری و جناب آقای دکتر رضا ضیایی مویدکه قبول زحمت کرده و در جلسه دفاعیه حضور پیدا کردند نیز داشته باشم.

فهرست مطالب

کلیات تحقیق ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله ۳

۱-۳- روش پژوهش ۴

۱-۴- اهداف تحقیق ۵

۱-۵- مرور کلی پژوهش ۵

تاریخچه تحقیق ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- خطوط لوله مدفون تحت بار استاتیکی ۸

۲-۳- خطوط لوله مدفون تحت بار دینامیکی ۱۹

۲-۴- نمونه های تخریب شاهرگهای حیاتی بواسطه زمین لرزه ها ۲۳

۲-۵- تاریخچه مطالعات بر روی خطوط لوله مدفون در تقاطع با گسل ها ۲۸

شرح آزمایش ۳۶

۳-۱- مقدمه ۳۷

۳-۲- شرح ابزار آزمایش ۳۷

۳-۳- بررسی مشاهدات پس از اعمال جابجایی گسل ۴۴

۳-۴- نتایج آزمایشات ۴۷

مدلسازی عددی..... ۵۰

۴-۱- مقدمه ۵۱

۴-۲- روش اجزاء محدود..... ۵۱

۴-۳- معرفی نرم افزار آباکوس ۵۵

۴-۴- مدل های رفتاری مصالح ۵۷

۴-۴-۱- مدل موهر-کلمب ۶۰

۴-۴-۲- مدل دراکر -پراگر..... ۶۲

۴-۵- انواع المان..... ۶۵

۴-۶- روش حل ۶۹

۴-۷- هندسه مدل..... ۷۰

۴-۸- مش بندی مدل..... ۷۲

۴-۹- تعریف المان های تماسی ۷۵

۴-۱۰- اعمال شرایط مرزی..... ۷۷

۴-۱۱- ارزیابی صحت مدل ۷۹

بررسی پارامترهای موثر بررفتارخاک- لوله ۹۳
۵-۱- مقدمه ۹۴
۵-۲- بررسی تاثیر عمق دفن ۹۴
۵-۳- بررسی تاثیر قطر لوله ۱۰۲
۵-۴- بررسی تاثیر ضخامت لوله HDPE ۱۰۸
۵-۵- بررسی تاثیر دانسیته خاک ۱۱۳
۵-۶- بررسی تاثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک ۱۱۸
نتایج و پیشنهادات ۱۲۵
۶-۱- مقدمه ۱۲۶
۶-۲- نتایج ۱۲۶
۶-۳- پیشنهادات ۱۲۸
منابع و مراجع ۱۲۹
پیوست یک ۱۳۷

فهرست جداول

جدول ۳-۱ : مشخصات محفظه دو بخشی[۵۲].....۳۸

جدول ۳-۲:خلاصه ای از آزمایشات انجام شده[۵۲] ۳۹

جدول ۳-۳: مشخصات مصالح خاکریز[۵۲].....۴۳

جدول ۴-۱: مشخصات فیزیکی توده خاک مدل عددی..... ۸۰

جدول پ ۱-۱:کرنش خمشی لوله در اعماق مختلف ۱۳۸

جدول پ ۱-۲: کرنش خمشی لوله با قطر های مختلف.....۱۴۱

جدول پ ۱-۳: کرنش خمشی لوله با ضخامت جداره های مختلف.....۱۴۴

جدول پ ۱-۴: کرنش خمشی لوله در خاک با دانسیته های مختلف.....۱۴۶

جدول پ ۱-۵: کرنش خمشی لوله در خاکهای با زوایای اصطکاک داخلی مختلف ۱۴۹

فهرست تصاویر

شکل ۲-۱ : شمای کلی از مدل اولیه مارستون(مارستون ۱۹۱۳) ۹

شکل ۲-۲: نمونه ترانشه حفر شده برای کارگذاری لوله ۹

شکل ۲-۳: عرض موثر در ترانشه هایی با دیواره غیر موازی(شلیک ۱۹۳۲) ۱۱

شکل ۲-۴: نمودار ضریب C_d برای محاسبه بار حداکثر قائم(کلارک ۱۹۶۸) ۱۲

شکل ۲-۵: تغییرات فشار عمدی بر تاج لوله ، خاکریز ماسه ای ۳۰= φ (لارسن ۱۹۷۷).. ۱۳

شکل ۲-۶: مدل گسیختگی مایر هوف- آدامز (۱۹۶۸) ۱۴

شکل ۲-۷:مدل گسیختگی ماتیاس و دیویس(۱۹۸۳) ۱۵

شکل ۲-۸:مسیر انتقال بار استاتیکی در لوله های جدار نازک و جدارضخیم ۱۶

شکل ۲-۹: مدل گسیختگی چن(۲۰۰۰)..... ۱۷

شکل ۲-۱۰: تاثیر چسبندگی بر ضریب بار عمودی(چن ۲۰۰۰)..... ۱۸

شکل ۲-۱۱: شبیه ساز انفجار در دانشگاه ایلینویز(هانلی ۱۹۶۴)..... ۲۰

شکل ۲-۱۲: مود های گسیختگی لوله فولادی مدفون در ماسه تحت اثر بار دینامیکی؛ a) عمق پوشش۷/۶ سانتیمتر، فشار کمتر؛ b) عمق پوشش۷/۶ سانتیمتر، فشار بیشتر؛ c) عمق پوشش۱۵/۲سانتیمتر، فشار بیشتر (بولسون ۱۹۶۵)..... ۲۱

شکل ۲-۱۳: انواع حرکات گسل (میرسن، ۱۹۹۱)..... ۲۳

شکل ۲-۱۴: موقعیت تقاطع خط لوله و گسل بعد از زلزله ازمیت [۳۳]..... ۲۷

شکل ۲-۱۵: فنر های مدل کننده خاک اطراف لوله در آئین نامه ASCE(۱۹۸۴) ۳۰

شکل ۲-۱۶: مدل سه بعدی پوسته و فنر ۳۴

شکل ۳-۱ : نمای شماتیک محفظه دو بخشی سانتریفیوژ الف: قبل از انجام آزمایش ب: پس از انجام آزمایش[۵۲]..... ۳۸

شکل ۳-۲: شمای کلی از تجهیزات ابزار دقیق کار گذاشته شده روی لوله مدفون ؛الف: کرنش سنجها ب- فشار سنج پیچیده شده دور لوله[۵۲]..... ۴۱

شکل ۳-۳: فشار سنج دور لوله[۵۲] ۴۱

شکل ۳-۴: منحنی توزیع اندازه دانه های ماسه مورد آزمایش[۵۲] ۴۲

شکل ۳-۵: تغییرات سطح خاک پس از انجام آزمایش ۴۵

شکل ۳-۶: تغییر شکل لوله پس از اعمال جابجایی گسل[۵۲]..... ۴۶

شکل ۳-۷: نمودار تغییرات کرنش خمشی نسبت به فاصله از گسل[۵۲] ۴۷

شکل ۳-۸: تغییرات حداکثر کرنش خمشی نسبت به تغییر مکان گسل..... ۴۸

شکل ۳-۹: تغییرات نیروی برهم کنش عمودی خاک-لوله ۴۹

شکل ۴-۱:سطح تسلیم سه بعدی موهر-کلمب [۷۲]..... ۶۱

شکل ۴-۲:سطح تسلیم سه بعدی دراکر-پراگر[۷۲]..... ۶۳

شکل ۴-۳:مقایسه دو بعدی سطوح تسلیم موهر-کلمب و دراکر-پراگر[۷۴]..... ۶۴

شکل ۴-۴:مقایسه سه بعدی سطوح تسلیم دراکر-پراگر و موهر-کلمب [۷۵]..... ۶۴

شکل ۴-۵: انواع خانواده المان ها(آباکوس۲۰۰۸)..... ۶۶

شکل ۴-۶: انواع المان C3D(آباکوس ۲۰۰۸) ۶۷

شکل ۴-۷: نحوه تعیین integration point در المانهای خطی و مرتبه دوم(fully integration) (آباکوس ۲۰۰۸)..... ۶۸

شکل ۴-۸: نحوه قرار گیری integration point در المان خطی و مرتبه دوم(reduced integration)(آباکوس ۲۰۰۸)..... ۶۸

شکل ۴-۹: نحوه سنجش ارتفاع موثر در محاسبات نسبت عمق دفن ۷۱

شکل ۴-۱۰: هندسه مدل عددی ۷۱

شکل ۴-۱۱: المان C3D8R..... ۷۲

شکل ۴-۱۲: المان S4R..... ۷۲

شکل ۴-۱۳: انتخاب شکل المان سه بعدی در آباکوس(آباکوس ۲۰۰۸) ۷۳

شکل ۴-۱۴: انتخاب شکل المان دو بعدی در آباکوس(آباکوس ۲۰۰۸)..... ۷۴

شکل ۴-۱۵: مش بندی مدل خاک – لوله..... ۷۴

شکل ۴-۱۶ : سطح تماس بین خاک و لوله بر روی توده خاک..... ۷۵

شکل ۴-۱۷: سطح تماس خاک –لوله بر روی لوله..... ۷۶

شکل ۴-۱۸: نمایش مدل Hard Contact در رفتار عمودی سطوح تماس (آباکوس۲۰۰۸) ۷۷

شکل ۴-۱۹: شرایط مرزی مدل خاک-لوله ۷۸

شکل ۴-۲۰: توده خاک پس از اعمال جابجایی..... ۷۹

شکل ۴-۲۱: مسیر های قرائت کرنش بر روی لوله HDPE ۸۱

شکل ۴-۲۲: کانتور تنش عمودی ناشی از وزن مدل ۸۲

شکل ۴-۲۳: تغییر مکا ن خاک تحت بار وزن..... ۸۳

شکل ۴-۲۴: تغییر شکل مدل پس ازحرکت گسل ۸۴

شکل ۴-۲۵: تغییر شکل FootWall و لولهHDPE در نزدیکی گسل ۸۴

شکل ۴-۲۶: تغییر شکل Hanging Wall و لولهHDPE در نزدیکی گسل..... ۸۵

شکل ۴-۲۷: تغییر شکل لوله HDPE ۸۶

شکل ۴-۲۸: کرنش خمشی نمونه عددی در طول لوله در جابجایی های مختلف ۸۶

شکل ۴-۲۹:مقایسه کرنش خمشی آزمایشگاهی و عددی در جابجایی های ۰/۰۳ متر .. ۸۷

شکل ۴-۳۰:مقایسه کرنش خمشی آزمایشگاهی و عددی در جابجایی های ۰/۱۲ متر .. ۸۸

شکل ۴-۳۱:مقایسه کرنش خمشی آزمایشگاهی و عددی در جابجایی های ۰/۲۴ متر .. ۸۸

شکل ۴-۳۲:مقایسه کرنش خمشی آزمایشگاهی و عددی در جابجایی های ۰/۴۸ متر .. ۸۹

شکل ۴-۳۳: مقادیر نیروی بر هم کنش عمودی در تحلیل عددی ۹۱

شکل ۴-۳۴: مقایسه مقادیرنیروی بر هم کنش عمودی در روش عددی و آزمایشگاهی ۹۲

شکل ۵-۱: کرنش خمشی لوله H=0.9m در جابجایی های مختلف..... ۹۵

شکل ۵-۲: کرنش خمشی لوله H=1.0m در جابجایی های مختلف..... ۹۵

شکل ۵-۳: کرنش خمشی لوله H=1.1m در جابجایی های مختلف..... ۹۶

شکل ۵-۴: کرنش خمشی لوله H=1.2m در جابجایی های مختلف..... ۹۶

شکل ۵-۵: کرنش خمشی لوله H=1.3m در جابجایی های مختلف..... ۹۷

شکل ۵-۶: کرنش خمشی لوله H=1.4m در جابجایی های مختلف..... ۹۷

شکل ۵-۷: کرنش خمشی لوله H=1.5m در جابجایی های مختلف..... ۹۸

شکل ۵-۸: کرنش خمشی لوله H=1.6m در جابجایی های مختلف..... ۹۸

شکل ۵-۹: کرنش خمشی لوله H=1.8m در جابجایی های مختلف..... ۹۹

شکل ۵-۱۰: کرنش خمشی لوله در اعماق دفن متفاوت در جابجایی ۰/۴۸ متری..... ۱۰۰

شکل ۵-۱۱: تغییرات کرنش خمشی حداکثر نسبت به عمق دفن..... ۱۰۰

شکل ۵-۱۲:تغییرات نیروی بر هم کنش عمودی خاک –لوله نسبت به عمق دفن
درجابجایی ۰/۴۸ متری..... ۱۰۱

شکل ۵-۱۳کرنش خمشی لوله با قطرD=0.2m در جابجایی های مختلف..... ۱۰۳

شکل ۵-۱۴: کرنش خمشی لوله با قطرD= 0.25m در جابجایی های مختلف..... ۱۰۳

شکل ۵-۱۵: کرنش خمشی لوله با قطرD= 0.3m در جابجایی های مختلف..... ۱۰۴

شکل ۵-۱۶: کرنش خمشی لوله با قطرD= 0.35m در جابجایی های مختلف..... ۱۰۴

شکل ۵-۱۷: کرنش خمشی لوله با قطر D= 0.45m در جابجایی های مختلف.....۱۰۵

شکل ۵-۱۸: کرنش خمشی لوله با قطر D= 0.50m در جابجایی های مختلف.....۱۰۵

شکل ۵-۱۹: کرنش خمشی لوله با قطر D= 0.60m در جابجایی های مختلف.....۱۰۶

شکل ۵-۲۰:تغییرات کرنش خمشی نسبت به قطر لوله در جابجایی ۰/۴۸ متری ۱۰۷

شکل ۵-۲۱: تغییرات کرنش خمشی حداکثر با قطر لوله HDPE.....۱۰۷

شکل ۵-۲۲: تغییرات نیروی برهم کنش عمودی خاک-لوله نسبت به قطرلوله در جابجایی۰/۴۸متری.....۱۰۸

شکل ۵-۲۳: کرنش خمشی لوله با ضخامت t=0.01m در جابجایی های مختلف ۱۰۹

شکل ۵-۲۴: کرنش خمشی لوله با ضخامت t=0.03m در جابجایی های مختلف ۱۰۹

۵-۲۵: کرنش خمشی لوله با ضخامت t=0.04m در جابجایی های مختلف ۱۱۰

شکل ۵-۲۶: کرنش خمشی لوله با ضخامت t=0.05m در جابجایی های مختلف ۱۱۰

شکل ۵-۲۷: تغییرات کرنش خمشی نسبت به ضخامت جداره لوله در جابجایی ۰/۴۸ متری.....۱۱۱

شکل ۵-۲۸: تغییرات کرنش خمشی حداکثر با ضخامت جداره لوله.....۱۱۲

شکل ۵-۲۹: تغییرات نیروی بر هم کنش عمودی خاک –لوله نسبت به ضخامت جداره لوله در جابجایی ۰/۴۸ متری.....۱۱۲

شکل ۵-۳۰: کرنش خمشی لوله در خاک با دانسیته $\gamma=14.7kN/m^3$ در جابجایی های مختلف ۱۱۴

شکل ۵-۳۱: کرنش خمشی لوله در خاک با دانسیته $\gamma=16kN/m^3$ در جابجایی های مختلف ۱۱۴

شکل ۵-۳۲: کرنش خمشی لوله در خاک با دانسیته $\gamma=16.5kN/m^3$ در جابجایی های مختلف ۱۱۵

شکل ۵-۳۳: کرنش خمشی لوله در خاک با دانسیته $\gamma=17kN/m^3$ در جابجایی های مختلف ۱۱۵

شکل ۵-۳۴: کرنش خمشی لوله در خاک با دانسیته $\gamma=18kN/m^3$ در جابجایی های مختلف ۱۱۶

شکل ۵-۳۵: کرنش خمشی لوله در خاک با دانسیته $\gamma=18.5kN/m^3$ در جابجایی های مختلف ۱۱۶

شکل ۵-۳۶: کرنش خمشی لوله در خاک با دانسیته $\gamma=19kN/m^3$ در جابجایی های مختلف ۱۱۷

شکل ۵-۳۷: تغییرات کرنش خمشی نسبت به دانسیته خاک در جابجایی ۰/۴۸ متری. ۱۱۷

شکل ۵-۳۸: تغییرات کرنش خمشی حداکثر با دانسیته خاک اطراف در جابجایی ۰/۴۸ متری..... ۱۱۸

شکل ۵-۳۹: کرنش خمشی لوله در خاک با $\varphi=30°$ در جابجایی های مختلف ۱۱۹

شکل ۵-۴۰: کرنش خمشی لوله در خاک با $\varphi=32°$ در جابجایی های مختلف ۱۲۰

شکل ۵-۴۱: کرنش خمشی لوله در خاک با $\varphi=35°$ در جابجایی های مختلف ۱۲۰

شکل ۵-۴۲: کرنش خمشی لوله در خاک با $\varphi=38°$ در جابجایی های مختلف ۱۲۱

شکل ۵-۴۳: کرنش خمشی لوله در خاک با $\varphi=42°$ در جابجایی های مختلف ۱۲۱

شکل ۵-۴۴: کرنش خمشی لوله در خاک با $\varphi=45°$ در جابجایی های مختلف ۱۲۲

شکل ۵-۴۵: تغییرات کرنش خمشی نسبت به ضریب اصطکاک داخلی خاک در جابجایی ۰/۴۸ متری..... ۱۲۳

شکل ۵-۴۶: تغییرات کرنش خمشی حداکثر با زاویه اصطکاک داخلی خاک..... ۱۲۴

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

بشر امروزه برای تامین خدمات و منابع مورد نیاز خود و به منظور کاهش هزینه های حمل و نقل، رو به ساخت و توسعه خطوطی دائمی برای انتقال بسیاری از این منابع و خدمات آورده است که بسیاری از آنها نیز بنا به دلایلی همانند شرایط جوی، فنی و یا از لحاظ حفظ امنیت منابع در زیر زمین مدفون هستند.

با توجه به هزینه های بالای ساخت و همچنین اهمّیت رو به افزایش این خطوط در دنیای مدرن امروزی، بایستی شرایط مختلف ساخت این خطوط در نظر گرفته شده و برای هر یک از این شرایط دستور العمل های طراحی ساخت ارائه شود. یکی از این شرایط ویژه زمانی روی میدهد که خط لوله با گسلی سطحی تقاطع دارد، به دلیل تغییر شکل های ماندگاری که این گسل ها در صورت فعالیت ایجاد میکنند امکان نقص در عملکرد و یا حتی شکست لوله بسیار زیاد است. لذا بررسی این حالت خاص ژئو تکنیکی در برهم کنش خاک- لوله مدتی است که مورد توجه محققین این علم قرار گرفته است. در سالهای اخیر به مدد پیشرفت وسایل و تکنیک های آزمایشگاهی همچون سانتریفیوژ ها در مدلسازی شرایط گسلها، امکان کالیبراسیون مدل های عددی بوجود آمده است. در این پژوهش برآنیم که میزان دقت نرم افزار قوی و کار آمد المان محدود ABAQUSرا در شبیه سازی شرایط تقاطع لوله با گسل سطحی تعیین نموده و همچنین به بررسی پارامتریک عوامل تاثیر گذار بر پاسخ خط لوله به حرکت گسل بپردازیم.

۱-۲- بیان مسئله

نام شاهرگ های حیاتی[1] به شش دسته از سازه ها و زیر ساختهایی اطلاق می شود که در جهت انتقال منابع و خدمات در زندگی امروزی در تمام نقاط کره زمین اعم از شهری و روستایی، دریاها، مراتع و جنگلها گسترده شده اند.

این خطوط عبارتند از :

خطوط توزیع و انتقال آب
خطوط جمع آوری و انتقال فاضلاب
خطوط توزیع و انتقال نفت و گاز و فرآورده های پتروشیمی
خطوط مخابراتی
خطوط انتقال نیروی برق
خطوط حمل و نقل ریلی، جاده ای و هوایی

با رشد جوامع و افزایش نیاز بشر به دریافت خدمات و منابع بهتر و در زمان کمتر، لزوم توسعه و ساخت سریع و ایمن و یا بهسازی این شاهرگ های حیاتی بیش از پیش احساس میشود و این امر مستلزم انجام تحقیقات و بررسی های علمی و عملی در این زمینه است.

به جز خطوط حمل و نقل سایر خطوط ممکن است بدلایل جغرافیایی، فنی، ژئوپلتیکی و یا حتی امنیتی به صورت مدفون و ازمیان لوله هایی که به این منظور در نظر گرفته شده اند عبور داده شوند، ذکر این نکته میتواند به خوبی نمایانگر اهمیت فوق العاده خطوط لوله مدفون باشد. قطع دائم و یا حتی موقت هر یک از منابع و یا خدماتی که توسط شاهرگ های حیاتی انتقال می یابند می‌تواند در کوتاه مدت و یا دراز مدت موجب خسارات مالی گسترده

[1] lifelines