دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک–طراحی کاربردی

تحلیل رفتار لوله‌های مدفون انتقال گاز طبیعی تحت تاثیر بارگذاری لرزه‌ای

مهبد اعرابی

استادان راهنما:

دکتر سید حجت هاشمی

دکتر محمد مهدی خطیب

تابستان۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

پروردگارا

تو را سپاس می‌گویم که جهان را بر نظمی دقیق و زیبایی وصف ناپذیر استوار کردی و توانایی درک این نظم و بلندای این زیبایی را به انسان بخشیدی،

تورا سپاس می گویم که همواره این بنده حقیر را در پناه لطف و رحمتت قرار دادی و انسان‌های عالم و معتقد و خیرخواه را در مسیر حرکتم نهادی و مرا از لطف بی واسطه و با واسطه‌ات بهره مند ساختی.

و درود فراوان بر پیامبر خاتم و خاندان بزرگوارش که همه از پاکدلان و اسوه‌های انسانیت بوده و حجت‌های خداوند بر جهانیانند.

و درود بر انسان‌هایی که با نیات پاک و فهم درست، هستی خود را وقف اعتلای آدمی و معرفت وی نموده‌اند و بشر را در حرکت به سوی سعادت، همراه و راهنما بوده اند.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آن بزرگواران که به لطف خداوند همواره امن‌ترین و بهترین مسیر را برای قدم نهادن در راه کسب معرفت برایم فراهم نمودند و توجهات دائمی و بی دریغشان نیرو بخش هر قدمم در زندگی مادی و معنوی است.

تقدیم به همسرم

او که همیشه پایبند به عهد همگامی و هم‌دلی بوده و در فراز و نشیب‌های راه، فداکارانه و مشفقانه در کنار من است.

تقدیم به برادران بزرگترم

دکتر مهدی، دکتر محسن و دکتر محمود

آنان که صادقانه و بی منت در مراحل مختلف تحصیل و زندگی یاور و راهنمایم هستند.

و برادر کوچکم، مبین

او که محبت وصمیمیتش همواره عامل دلگرمی من در زندگی بوده است.

و

تقدیم به معلمین و اساتیدی که از ابتدای تحصیل تا کنون با چراغ دانش و اخلاق خویش، مرا به مقصد معرفت هدایت نموده اند وتقدیم به اساتید بزرگوارم **جناب آقای دکتر هاشمی و جناب آقای دکتر خطیب** که در این مرحله به لطف خداوند از هدایت و مشاوره بی دریغشان بهره مند شده‌ام.

و تقدیم به **آقای دکتر خامسان** و خانواده محترم ایشان که لطف و محبت سرشارشان چون درختی سایه‌افکن، فراهم کننده آسایشم در این مسیر بوده و حمایت‌هایشان مایه دلگرمی و امید است.

چکیده

با توجه به دوری منابع تولید گاز طبیعی از محل مصرف، عموما از خطوط فولادی پرفشار جهت انتقال گاز استفاده می شود. مسیر عبور این خطوط لوله با توجه به جغرافیای طبیعی هر منطقه متفاوت می باشد. با توجه به واقع شدن ایران در کمربند زلزله، عبور خطوط لوله از مناطق گسل‌خورده، مستعد جابجایی و رانش زمین اجتناب ناپذیر است. تغییر مکانهای دائم زمین (Permanent Ground Displacements, PGD)، باعث ایجاد کرنش های بزرگ محوری و مماسی (عرضی) در خط انتقال و در نتیجه نشت یا شکست آن می شود. بر این اساس بررسی مقاومت فولاد مورد استفاده در خط لوله در برابر نیروهای برشی اهمیت دارد. در پژوهش حاضر، ابتدا بررسی روش طراحی خطوط انتقال گاز در مسیر های مستعد زمین لرزه، خصوصا روش طراحی کرنش مبنا صورت می گیرد. پس از آن ساختار زمین‌شناسی منطقه بیرجند مورد بررسی قرار گرفته است. سپس رفتار مکانیکی بخشی از خط لوله انتقال گاز بیرجند به قطر ۲۰ و ضخامت ۰.۲۵ اینچ ساخته شده از فولاد API X42 (واقع در مسیر گسل شمالی بیرجند) تحت بار لرزه ای و تغییر مکان گسل بررسی شده و نتایج حاصل از تحلیل المان محدود شامل تنش و کرنش بحرانی لوله، میزان جابجایی لوله ارائه می‌شود. همچنین برای واقعی بودن رفتار مکانیکی در مدل‌سازی، آزمون کشش بر روی نمونه‌های فولادی خارج شده از لوله در جهات محوری، محیطی و بر روی خط جوش انجام گرفته و رفتار مواد در این آزمایش بررسی شده است. در پایان تاثیر پارامترهای مختلف از جمله قطر لوله و عمق دفن بر پاسخ لوله (تغییر مکان، تنش، کرنش) بررسی می‌شود.

کلمات کلیدی: تحلیل کرنش - مبنا، خط لوله انتقال گاز، رفتار مکانیکی، زمین لرزه، گسل، API X42، آزمون کشش

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... و

فهرست جدول‌ها ..... ط

فهرست شکل‌ها ..... ک

فصل ۱- لوله‌های فولادی و نقش آن‌ها در فرآیند انتقال انرژی ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- فولاد ۱

۱-۲-۱- توسعه فولادهای با استحکام بالا در خطوط انتقال گاز ۱

۱-۳- روش‌های تولید لوله‌های فولادی ۳

۱-۳-۱- لوله‌های درز دار ۴

۱-۳-۲- لوله‌های بدون درز ۷

فصل ۲- مروری بر تحقیقات انجام شده و مبانی طراحی لوله‌های فولادی در شرایط گسل ۹

۲-۱- کلیات ۹

۲-۲- خطرات لرزه‌ای لوله‌های مدفون ۱۰

۲-۲-۱- گسلهای سطحی ۱۰

۲-۲-۲- روانگریی خاک ۱۲

۲-۲-۳- انتشار امواج زلزله ۱۳

۲-۳- مدلهای ارائه شده برای طراحی لرزه‌ای لوله‌های مدفون ۱۷

۲-۳-۱- مدلهای تحلیلی ۱۸

۲-۳-۲- مدلهای آزمایشگاهی ۲۰

۲-۴- اندر کنش بین لوله وخاک ۲۱

۲-۴-۱- قید محوری ۲۲

۲-۴-۲- قید جانبی افقی ۲۶

۲-۴-۳- قید جانبی قائم ۳۱

فصل ۳- زمین‌شناسی منطقه بیرجند ۳۶
۳-۱- موقعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه ۳۶
۳-۲- سنگ شناسی و چینه شناسی منطقه چهارگوش بیرجند ۳۷
۳-۲-۱- آمیزه افیولیتی (افیولیت ملانژها) ۳۷
۳-۲-۲- رسوبات نوع فلیش ۳۹
۳-۲-۳- سنگهای آذرآواری و رسوبات جوانتر ۳۹
۳-۲-۴- نهشته‌های کواترنر ۳۹
۳-۳- سنگ شناسی و چینه شناسی منطقه مورد مطالعه ۴۰
۳-۳-۱- واحدهای نئوژن ۴۱
۳-۳-۲- واحدهای کواترنری ۴۳
۳-۴- تکتونیک فعال درخاور ایران ۴۴
۳-۵- تکتونیک فعال در منطقه مورد مطالعه ۴۴
۳-۵-۱- چین خوردگی ۴۵
۳-۵-۲- گسلش ۴۸
۳-۶- گسلهای فعال منطقه ۴۸
۳-۶-۱- گسل نوزاد ۴۹
۳-۶-۲- گسلش در دامنه شمالی کوه باقران ۵۲
۳-۶-۳- چین خوردگی وگسلش در جنوب کوه باقران ۵۴
۳-۶-۴- گسلش در دامنه جنوبی کوه شکرآب ۵۵
۳-۶-۵- گسلش امتداد لغز شاه آباد ۵۶
۳-۶-۶- گسل شمال بیرجند ۵۸
۳-۶-۷- گسل فردوس ۵۸
۳-۶-۸- گسل آبیز ۵۹
۳-۶-۹- گسل درونه ۵۹
۳-۶-۱۰- گسل نهبندان ۶۰
فصل ۴- آزمایش کشش ۶۲
۴-۱- مقدمه ۶۲
۴-۲- خواص استحکامی ۶۲

۴-۳- منحنی تنش-کرنش مهندسی ۶۲
۴-۴- منحنی تنش-کرنش حقیقی ۶۴
۴-۵- سخت شدن کرنشی و نمای سخت شدن کرنشی ۶۷
۴-۶- رفتار مواد در برابر کشش ۶۸
۴-۷- مشخصاتی که از آزمایش کشش به دست می آیند ۶۹
۴-۷-۱- تنش تسلیم ۶۹
۴-۷-۲- حد تناسبی ۶۹
۴-۷-۳- حد الاستیکی ۷۰
۴-۷-۴- تنش پروف یا افست ۷۰
۴-۷-۵- استحکام کششی یا نهائی ۷۰
۴-۷-۶- داکتیلیتی یا میزان قابلیت تغییر فرم پلاستیک ۷۰
۴-۷-۷- مدول الاستیسیته یا مدول یانگ ۷۱
۴-۷-۸- قابلیت ارتجاعی ۷۱
۴-۷-۹- چقرمگی ۷۱
۴-۸- روش تولید نمونه های مورد نیاز برای انجام تست کشش ۷۲
۴-۹- ابعاد و نقشه نمونه های آماده برای ساخت ۷۴
۴-۱۰- نحوه انجام آزمایش تست کشش تک محوری ۷۵
۴-۱۰-۱- مشخصات ماشین تست کشش ۷۵
۴-۱۰-۲- نحوه انجام آزمایش تست کشش تک محوری نمونه های تخت ۷۵
۴-۱۱- نحوه بررسی داده های دستگاه ۷۹
۴-۱۱-۱- رسم منحنی تنش-کرنش مهندسی ۷۹
۴-۱۱-۲- رسم منحنی تنش-کرنش حقیقی ۷۹
۴-۱۲- نمودارهای حاصل از تست کشش برای نمونه ۸۱
۴-۱۲-۱- نتایج تست برای نمونه در جهت طولی ۸۱
۴-۱۲-۲- نتایج تست برای نمونه در جهت محیطی ۸۲
۴-۱۲-۳- نتایج تست برای نمونه بر روی خط جوش ۸۴
۴-۱۲-۴- مقایسه نتایج در جهات مختلف ۸۵

فصل ۵- معرفی لوله و نحوه مدل‌سازی آن در نرم‌افزار ANSYS ۸۶

۵-۱- مشخصات لوله و خواص فولاد مورد استفاده ۸۶
۵-۱-۱- مشخصات لوله ۸۶
۵-۱-۲- تحلیل مکانیکی خط لوله ۸۹
۵-۲- مقدمه‌ای بر مدل‌سازی ۹۰
۵-۳- معرفی نرم‌افزار ANSYS ۹۱
۵-۴- معرفی المان‌های استفاده شده در مدل ۹۱
۵-۴-۱- قطعات لوله ۹۲
۵-۴-۲- فنر و میراگر محوری اتصال خاک به لوله ۹۲
۵-۴-۳- فنر و میراگر جانبی افقی اتصال خاک به لوله ۹۴
۵-۴-۴- فنر و میراگر جانبی قائم اتصال خاک به لوله ۹۴
۵-۴-۵- فنر جانبی قائم ۹۴
۵-۴-۶- فنر و میراگر محوری اتصال خاک به لوله ۹۵
۵-۴-۷- نحوه اتصال المان‌ها ۹۶
۵-۵- تعیین اطلاعات ورودی به نرم‌افزار ۹۷
۵-۵-۱- قطعات لوله ۹۷
۵-۵-۲- فنر محوری ۹۷
۵-۵-۳- فنر جانبی افقی ۹۸
۵-۵-۴- فنر جانبی قائم ۹۹
۵-۵-۵- میراگرهای اتصال خاک به لوله ۱۰۱
۵-۶- شتابنگاشت زلزلهٔ اعمالی به خط لوله ۱۰۲
۵-۷- نحوه اعمال جابجایی گسل به لوله ۱۰۶

فصل ۶- ارائه نتایج ۱۰۹

۶-۱- مقایسه نتایج ۱۰۹
۶-۲- پاسخ خط لوله به بارگذاری لرزه‌ای ۱۱۱
۶-۲-۱- تغییرات کرنش و تنش در طول زمان ۱۱۱
۶-۲-۲- بررسی میزان شتاب وجابجایی المان وسط لوله در زمان بیشینه جابجایی زلزله ۱۱۵
۶-۲-۳- تاثیر تغییر عمق دفن لوله و قطر لوله بر پاسخ لوله ۱۱۷
۶-۲-۴- بررسی رفتار محوری (طولی) لوله ۱۲۲
۶-۲-۴-۱- قطر لوله ۱۲۲

۶-۲-۴-۲- عمق دفن لوله ۱۲۲
۶-۲-۵- بررسی رفتار جانبی (افقی) لوله ۱۲۳
۶-۲-۵-۱- قطر لوله ۱۲۳
۶-۲-۵-۲- عمق دفن لوله ۱۲۴
۶-۲-۶- بررسی رفتار جانبی (قائم) لوله ۱۲۵
۶-۲-۶-۱- قطر لوله ۱۲۵
۶-۲-۶-۲- عمق دفن لوله ۱۲۵
۶-۲-۷- تغییرات اندازه بردار جابجایی المان وسط لوله ۱۲۶
۶-۲-۸- ضخامت لوله ۱۲۷
۶-۳- بررسی پاسخ لوله در مقابل حرکت گسل ۱۲۸
۶-۳-۱- تغییرات تنش و کرنش بوجود آمده در اثر تغییرمیزان جابجایی گسل ۱۲۸
۶-۳-۲- تغییرات تنش و کرنش بوجود آمده در اثر تغییر نوع خاک اطراف لوله ۱۳۲
۶-۳-۳- تغییرات تنش و کرنش بوجود آمده در اثر تغییر قطر لوله ۱۳۳
۶-۳-۴- تغییرات تنش بوجود آمده در اثر تغییر ضخامت لوله ۱۳۴
۶-۳-۵- تغییرات تنش بوجود آمده در اثر تغییر عمق دفن لوله ۱۳۵
۶-۳-۶- بررسی رفتار لوله در اثر حرکت گسل با توجه به کرنش مجاز ۱۳۶

فصل ۷- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات ۱۳۹

۷-۱- نتیجه‌گیری ۱۳۹
۷-۱-۱- نتایج بدست آمده از اعمال بار لرزه‌ای ۱۳۹
۷-۱-۲- نتایج بدست آمده از اعمال تغییر مکان گسل ۱۴۰
۷-۲- ارائه پیشنهادات ۱۴۰

فهرست مراجع ۱۴۲

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
بردار تغییر مکان ذرات خاک	ρ
مختصات جهت انتشار موج	x
سرعت ظاهری انتشار موج	c
زمان	t
کرنش حداکثر زمین	ε_g
انحنای زمین	k_g
حداکثر نیروی محوری خاک در واحد طول لوله	T_u
قطر خارجی لوله	D
مقاومت برشی خاک زهکشی نشده	C
عمق خط مرکزی لوله	H
وزن مخصوص مؤثر خاک	$\overline{\gamma}$
ضریب فشار خاک در حالت سکون	k_0
ضریب چسبندگی خاک	α
زاویه اصطکاک داخلی بین خاک و لوله	δ
زاویه اصطکاک داخلی خاک	ϕ
ضریب اصطکاک بین خاک و سطح خارجی لوله	f
تغییر مکان در T_u	Δt
حداکثر نیروی افقی خاک	P_u
ضریب ظرفیت باربری افقی برای رس	N_{ch}
ضریب ظرفیت باربری افقی برای ماسه	N_{qh}
تغییر مکان در P_u	Δp
حداکثر نیروی عمودی خاک به سمت پائین	Q_d
ضرایب ظرفیت باربری برای پی نواری	N_c, N_q, N_γ
تغییر مکان در Q_d	Δq_d

حداکثر نیروی عمودی خاک به سمت پائین	Q_u
ضریب ظرفیت باربری عمودی برای رس	N_{cv}
ضریب ظرفیت باربری عمودی برای ماسه	N_{qv}
تغییر مکان درQ_u	Δq_u
تنش مهندسی	σ
کرنش مهندسی	ε
استحکام تسلیم	σ_y
استحکام کششی	σ_{UTS}
تنش شکست	σ_f
کرنش شکست	ε_f
مدول یانگ	E
ضریب پواسون	υ
سطح مقطع اولیه	A_0
سطح مقطع نهایی	A
طول اولیه	l_0
طول نهایی	l
طول اولیه مقطع شکست	a_0
عرض اولیه مقطع شکست	b_0
طول مقطع شکست در هر لحظه	a_i
عرض مقطع شکست در هر لحظه	b_i
کرنش در جهت بارگذاری	ε_i
کرنش در جهت طولی مقطع شکست	ε_a
کرنش در جهت عرضی مقطع شکست	ε_b
ضریب استحکام	K
توان سخت‌شدگی کرنشی	n
میرایی بحرانی خاک	C_{cr}
ثابت فنر خاکی	k

ضریب میرایی	ζ
تغییر مکان گسل در راستای محوری	D_{ax}
تغییر مکان گسل در راستای جانبی افقی	D_{tr}
تغییر مکان گسل در راستای جانبی قائم	D_{vt}
زاویه تقاطع خط لوله با گسل	β
زاویه بین سطح شکست گسل نرمال و سطح افقی	ψ

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: ضرایب کرنش و انحناء زمین[۲۰] ۱۷
جدول ۲-۲: ضریب اصطکاک f برای چند نوع پوشش خارجی لوله[۳۶] ۲۴
جدول ۲-۳: پارامترهای موجود در روابط ضریب ظرفیت باربری افقی خاک[۳۶] ۲۷
جدول ۴-۱: مقایسه مقادیر تنش تسلیم و کرنش شکست و مقادیر K وn ۸۵
جدول ۵-۱: مشخصات خط لوله انتقال گاز بیرجند ۸۸
جدول ۵-۲: خواص مکانیکی فولاد API X42 مطابق داده های استاندارد[۸۲] ۸۸
جدول ۵-۳: خواص شیمیایی فولاد مورد تحقیق در فلز پایه و فلز جوش (اندازه‌گیری شده به روش کوانتومتری) ۸۹
جدول ۵-۴: محاسبه سختی فنرهای خاکی محوری برای چهار نوع خاک[۵] ۹۸
جدول ۵-۵: محاسبه سختی فنرهای خاکی جانبی افقی برای چهار نوع خاک[۵] ۹۹
جدول ۵-۶: محاسبه سختی فنرهای جانبی قائم (به سمت پائین) برای چهار نوع خاک[۵] ۱۰۰
جدول ۵-۷: محاسبه سختی فنرهای خاکی جانبی قائم (به سمت بالا) برای چهار نوع خاک[۵] ۱۰۱
جدول ۵-۸: مقادیر میرایی بحرانی برای چهار نوع خاک در سه حالت محوری، جانبی افقی و قائم[۵] ۱۰۲
جدول ۵-۹: مقادیر شتاب و جابجایی حداکثرزلزله به عنوان ورودی نرم‌افزار ۱۰۶
جدول ۶-۱: مقایسه مقادیر جابجایی و شتاب المان وسط لوله در جابجایی حداکثر زلزله ۱۱۷
جدول ۶-۲: تاثیر تغییر عمق دفن لوله بر ثابت فنر محوری ۱۱۸
جدول ۶-۳: تاثیر تغییر عمق دفن لوله بر ثابت فنر جانبی افقی ۱۱۸
جدول ۶-۴: تاثیر تغییر عمق دفن لوله بر ثابت فنر جانبی قائم(به سمت پائین) ۱۱۹
جدول ۶-۵: تاثیر تغییر عمق دفن لوله بر ثابت فنر جانبی قائم(به سمت بالا) ۱۱۹
جدول ۶-۶: تاثیر تغییر قطر لوله بر ثابت فنر محوری ۱۲۰
جدول ۶-۷: تاثیر تغییر قطر لوله بر ثابت فنر جانبی افقی ۱۲۰
جدول ۶-۸: تاثیر تغییر قطر لوله بر ثابت فنر جانبی قائم (به سمت پائین) ۱۲۱
جدول ۶-۹: تاثیر تغییر قطر لوله بر ثابت فنر جانبی قائم (به سمت بالا) ۱۲۱
جدول ۶-۱۰: تغییرات تنش و کرنش میزز در المان وسط لوله به ازای جابجایی‌های مختلف گسل ۱۳۲

جدول ۶-۱۱: تغییرات تنش و کرنش میزز در المان وسط لوله در خاک‌های مختلف به ازای جابجایی گسل به اندازه ۱ متر ۱۳۳
جدول ۶-۱۲: تغییرات تنش و کرنش میزز در المان وسط لوله با قطر مختلف به ازای جابجایی گسل به اندازه ۱ متر ۱۳۴
جدول ۶-۱۳: تغییرات تنش و کرنش میزز در المان وسط لوله با عمق دفن مختلف به ازای جابجایی گسل به اندازه ۱ متر ۱۳۶
جدول ۶-۱۴: کرنش مجاز برای خطوط لوله مدفون[۸۶] ۱۳۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: شماتیک توسعه فولادهای با استحکام بالا[۱] ۲
شکل ۱-۲: مکانیزم‌های مختلف جهت افزایش استحکام فولادهای با گرید بالاتر از X60[۱] ۳
شکل ۱-۳: مراحل ساخت لوله با روش جوشکاری لب به لب[۲] ۴
شکل۱-۴: مراحل ساخت لوله به روش جوشکاری مقاومتی الکتریکی[۲] ۴
شکل۱-۵: گیره مخصوص شکل‌دهی[۳] ۵
شکل ۱-۶: شکل‌دهی در دستگاه پرس U شکل[۳] ۵
شکل ۱-۷: شکل‌دهی نهائی در دستگاه پرس O شکل[۳] ۵
شکل ۱-۸: رابطه میان قطر لوله(D)،پهنای ورق(B) و زاویه شکل‌دهی[۳] ۶
شکل ۱-۹: مراحل ساخت لوله‌های با جوش مارپیچ[۲] ۷
شکل ۱-۱۰: تولید لوله بدون درز با روش منسمن[۲] ۷
شکل ۱-۱۱: تولید لوله بدون درز با روش اکستروژن[۲] ۸
شکل ۲-۱: خط لوله در معرض گسل[۶] ۱۱
شکل ۲-۲: روانگرایی خاک[۱۲] ۱۲
شکل ۲-۳: نحوه انتشار امواج درونی و سطحی [۱۹] ۱۴
شکل ۲-۴: اثر موج برشی بر لوله مدفون[۲۰] ۱۵
شکل ۲-۵: اثر موج انبساطی بر لوله مدفون[۲۰] ۱۶
شکل ۲-۶: شرایط واقعی اطراف لوله[۲۰] ۲۱
شکل ۲-۷: مدل سازی ایده آل خاک[۲۰] ۲۲
شکل ۲-۸: فنرهای دو خطی استفاده شده جهت نمایش اثر نیروی خاک روی لوله[۲۰] ۲۲
شکل ۲-۹: ضرایب چسبندگی رسم شده به صورت تابعی از مقاومت برشی زهکشی نشده[۳۶] ۲۳
شکل۲-۱۰: مقادیر ضریب چسبندگی α[۲۰] ۲۶
شکل۲-۱۱: ضرایب ظرفیت باربری افقی خاک برای لوله‌های مدفون[۲۰] ۲۸
شکل۲-۱۲: ضریب ظرفیت باربری افقی برای ماسه[۲۰] ۲۹
شکل۲-۱۳: ضرایب ظرفیت باربری خاک[۲۰] ۳۲

شکل۲-۱۴: ضریب بالا آمدگی قائم برای ماسه $\boldsymbol{Nqv}$ [۲۰] ۳۴
شکل۲-۱۵: ضریب بالا آمدگی قائم برای رس$\boldsymbol{Ncv}$ [۲۰] ۳۵
شکل۳-۱: ساختارهای توپوگرافی، منطقه بیرجند را نشان می‌دهد[۶۰] ۳۶
شکل۳-۲: مقطع عرضی از تپه‌ها در دره مابین کوه باقران و کوه شکرآب [۶۰] ۳۷
شکل۳-۳: ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه[۶۰] ۴۰
شکل۳-۴: واحد شیلی که در دامنه جنوبی چین دیده می‌شود [۶۰] ۴۱
شکل۳-۵: تفکیک واحدهای نئوژن در منطقه مورد مطالعه [۶۰] ۴۲
شکل۳-۶: رخنمون کنگلومرای نئوژن در دامنه جنوبی تاقدیس شمال بیرجند[۶۰] ۴۲
شکل۳-۷: واحد سنگی Qt2 [۶۰] ۴۳
شکل۳-۸: رخنمون واحد سنگی Qal در دامنه شرقی تاقدیس بیرجند[۶۰] ۴۴
شکل۳-۹: کج شدگی لایه های نئوژن با شیب به سمت جنوب در بریدگی مسیر خیابان صیاد شیرازی[۶۵] ۴۵
شکل۳-۱۰: کج شدگی لایه‌های کواترنر به سمت جنوب در بریدگی مسیر خیابان صیاد شیرازی[۶۵].. ۴۵
شکل۳-۱۱: کج شدگی لایه‌های نئوژن به سمت جنوب در بریدگی مسیر جاده زاهدان- مشهد[۶۵] ۴۶
شکل۳-۱۲: کج شدگی لایه‌های نئوژن به سمت جنوب در بریدگی مسیرجاده زاهدان- مشهد[۶۵] ۴۶
شکل۳-۱۳: کج شدگی لایه‌های نئوژن به سمت شمال در پشت قبرستان[۶۵] ۴۶
شکل۳-۱۴: حفاری قائم ایجاد شده توسط رود شور بیرجند بر اثر برخاستگی در منتهاالیه باختری تاقدیس بیرجند [۶۵] ۴۷
شکل۳-۱۵: حفاری قائم ایجاد شده توسط رود شور بیرجند بر اثر برخاستگی در منتهاالیه باختری تاقدیس [۶۵] ۴۸
شکل ۳-۱۶: نقشه گسل‌های فعال ایران که گسلهای فعال و چهار گوش بیرجند بر روی آن معین شده است [۶۹] ۴۹
شکل ۳-۱۷:تصویر SRTM چهار گوش بیرجند که گسلهای منطقه در آن معین شده است [۶۹] ۴۹
شکل ۳-۱۸: الف) تصویر ماهواره ASTER از گسل نوزاد ب) گسل نوزاد در صحرا. ج) پهنه گسلی خورد شده که در سطح زمین رخنمون پیدا کرده. چ) برش گسلی با سیمان کربناتی[۶۹] ۵۰
شکل ۳-۱۹: تصویر ماهواره ای همپوشانی شده با شکلSRTM برای کوه باقران که روستاها وگسلهای اصلی بر روی آن نشان داده شده است [۶۹] ۵۱

شکل ۳-۲۰: مراحل تکامل گسل نوزاد[۶۹] ۵۲
شکل ۳-۲۱: تصویر ماهوارهای ASTER از بیرجند و دره رود شور [۶۹] ۵۲
شکل ۳-۲۲: الف) تصویر ماهوارهای کوه باقران ب) طرحی از کوه باقران نشانگر بریدگی مخروط افکنه توسط آبراهه ج) و چ) برخاستگی در نهشته های کواترنر[۶۹] ۵۳
شکل۳-۲۳: الف) تصویر ماهواره ASTER از چین خوردگی وگسلش در جنوب کوه باقران. ب) طرحی از توزیع رسوبات رخنمون یافته درون ناحیه چین خورده در جنوب کوه باقران[۶۹] ۵۵
شکل۳-۲۴: الف) تصویر ماهواره ای از کوه شکرآب در شمال بیرجند. ب) دامنه جنوبی کوه شکرآب، نگاه به سمت خاور. ج) تراسهای آبرفتی. چ) گراولهای رخنمون یافته در بریدگی رودخانه با شیب ۸ درجه به سمت جنوب [۶۹] ۵۶
شکل ۳-۲۵: الف) تصویر ماهواره ای از روستای شاه آباد. ب) تصویر ماهواره ای از پرتگاه گسل شاه آباد. ج)گراولهای چین خورده در خاور گسل شاه آباد چ) پرتگاه گسلی در نزدیک روستای شاه آباد د) بریدگی پرتگاه گسلی توسط رودخانه ذ) بخش برخاسته گسل شاه آباد(خاوری) و چین ایجاد شده در گراولها [۶۹] ۵۷
شکل ۳-۲۶: تاقدیس شمال بیرجند [۶۵] ۵۸
شکل ۳-۲۷: روند کلی سیستم گسل نهبندان با طرح هلال دوگانه [۶۵] ۶۱
شکل۴-۱: شماتیک منحنی تنش-کرنش مهندسی مواد نرم [۸۰] ۶۳
شکل۴-۲: منحنی تنش-کرنش حقیقی در مقایسه با منحنی تنش-کرنش مهندسی [۸۰] ۶۵
شکل۴-۳: رفتار یک ماده نرم در برابر بار برداری و بارگذاری [۸۱] ۶۷
شکل۴-۴: تاثیر ضریب سخت شدگی کرنشی بر رفتار مکانیکی مواد تحت بار [۸۱] ۶۸
شکل۴-۵: منحنی تنش-کرنش ماده ترد در مقایسه با ماده نرم [۸۰] ۶۹
شکل۴-۶: نمونه‌های استخراج شده ازلوله در جهات محیطی، محوری و روی خط جوش ۷۲
شکل۴-۷: نحوه قرار گرفتن اکستنسومتر ها بر روی دستگاه تست کشش ۷۳
شکل۴-۸: نحوه قرار گرفتن نمونه تخت بین دو فک ۷۳
شکل۴-۹: ابعاد نمونه مورد آزمایش ۷۴
شکل۴-۱۰: نمونه‌های آماده شده برای انجام تست ۷۴
شکل۴-۱۱: تصویر ماشین تست کشش و کامپیوتر متصل به آن ۷۵
شکل۴-۱۲: فک‌های گیرنده نمونه ۷۶

شکل۴-۱۳: : نحوه فیکس شدن نمونه بر روی دستگاه و قرار گرفتن اکستنسومترها روی آن ۷۷
شکل۴-۱۴: وارد شدن نمونه به ناحیه گلویی و جدا شدن اکتنسومترها ۷۸
شکل۴-۱۵: نمونه شکسته شده در آزمون کشش ۷۸
شکل۴-۱۶: نمودار تنش-کرنش مهندسی نمونه در جهت طولی ۸۱
شکل۴-۱۷: نمودار تنش-کرنش حقیقی نمونه در جهت طولی ۸۲
شکل۴-۱۸: نمودار تنش-کرنش مهندسی نمونه در جهت محیطی ۸۳
شکل۴-۱۹: نمودار تنش-کرنش حقیقی نمونه در جهت محیطی ۸۳
شکل۴-۲۰: نمودار تنش-کرنش مهندسی نمونه بر روی خط جوش ۸۴
شکل۴-۲۱: نمودار تنش-کرنش حقیقی نمونه در روی خط جوش ۸۴
شکل۵-۱: نمونه لوله فولادی با گرید API X42 استفاده شده در پروژه انتقال گاز بلوارصیاد شیرازی (بیرجند) ۸۷
شکل۵-۲: المان لولهٔ مستقیم PIPE16[۸۳] ۹۲
شکل۵-۳: المان ترکیبی COMBIN40[۸۳] ۹۳
شکل۵-۴: رفتارالمان COMBIN40 وقتی که $\boldsymbol{C = K2 = 0}$[۸۳] ۹۳
شکل۵-۵: المان فنر غیر خطی COMBIN39[۸۳] ۹۵
شکل۵-۶: المان فنر-میراگر COMIBIN14[۸۳] ۹۵
شکل ۵-۷: نحوه اتصال المان‌ها به هم در مدل‌سازی ۹۶
شکل۵-۸: شتابنگاشت زلزلهٔ طبس(راستای محوری)[۸۵] ۱۰۳
شکل۵-۹: شتابنگاشت زلزلهٔ طبس(راستای جانبی افقی)[۸۵] ۱۰۳
شکل۵-۱۰: شتابنگاشت زلزلهٔ طبس(راستای جانبی قائم)[۸۵] ۱۰۴
شکل۵-۱۱: تغییر مکان زلزله طبس(راستای محوری)[۸۵] ۱۰۴
شکل۵-۱۲: تغییر مکان زلزله طبس(راستای جانبی افقی)[۸۵] ۱۰۵
شکل۵-۱۳: تغییر مکان زلزله طبس(راستای جانبی قائم)[۸۵] ۱۰۵
شکل ۵-۱۴: نحوه برخورد گسل و لوله و جهت جابجایی گسل [۸۶] ۱۰۷
شکل۶-۱: لوله استفاده شده در آزمایشگاه[۳۱] ۱۱۰
شکل۶-۲: مقایسه نتایج حاصله از نرم‌افزار در بارگذاری کششی با نتایج آزمایشگاهی مرجع[۳۱] ۱۱۱
شکل۶-۳: تغییرات کرنش محوری در طول لوله در کل بازه زمانی حل ۱۱۱

شکل۶-۴: تغییرات کرنش جانبی افقی در طول لوله در کل بازه زمانی حل ۱۱۲
شکل۶-۵: تغییرات کرنش جانبی قائم در طول لوله در کل بازه زمانی حل ۱۱۲
شکل۶-۶: تغییرات کرنش محوری در مرکز لوله بر حسب زمان ۱۱۳
شکل۶-۷: تغییرات کرنش جانبی افقی در مرکز لوله بر حسب زمان ۱۱۳
شکل۶-۸: تغییرات کرنش جانبی قائم در مرکز لوله بر حسب زمان ۱۱۴
شکل۶-۹: تغییرات تنش وان‌میزز در مرکزلوله در طول زمان ۱۱۴
شکل۶-۱۰: تغییرات اندازه بردار جابجایی زمین‌لرزه بر حسب زمان به عنوان ورودی برنامه ۱۱۵
شکل۶-۱۱: تغییرات اندازه بردار شتاب زمین‌لرزه بر حسب زمان به عنوان ورودی برنامه ۱۱۶
شکل۶-۱۲: تغییرات اندازه بردار جابجایی المان وسط لوله بر حسب زمان ۱۱۶
شکل۶-۱۳: تاثیر قطر لوله برجابجایی محوری المان وسط لوله(D=20in) ۱۲۲
شکل۶-۱۴: تاثیر عمق دفن لوله برجابجایی محوری المان وسط لوله(H=1.6m) ۱۲۳
شکل۶-۱۵: تاثیر قطر لوله برجابجایی جانبی افقی المان وسط لوله(D=20in) ۱۲۴
شکل۶-۱۶: تاثیر عمق دفن لوله برجابجایی جانبی افقی المان وسط لوله(H=1.6m) ۱۲۴
شکل۶-۱۷: تاثیر قطر لوله برجابجایی جانبی قائم المان وسط لوله(D=20in) ۱۲۵
شکل۶-۱۸: تاثیر عمق دفن لوله برجابجایی قائم المان وسط لوله(H=1.6m) ۱۲۶
شکل۶-۱۹: تاثیر تغییر قطر لوله بر بردار جابجایی(D=20in) ۱۲۶
شکل۶-۲۰: تاثیر تغییر عمق دفن لوله بر بردار جابجایی(H=1.6m) ۱۲۷
شکل۶-۲۱: تاثیر تغییر ضخامت لوله بر بردار جابجایی(t=0.0625m) ۱۲۸
شکل ۶-۲۲: کانتور تنش میزز در وسط لوله در زمان جابجایی گسل به اندازه۰/۵ متر ۱۲۹
شکل ۶-۲۳: تغییرات تنش میزز حداکثر در المان وسط لوله در مقایسه با جابجایی گسل ۱۳۰
شکل ۶-۲۴: کانتور تنش میزز در وسط لوله در زمان جابجایی گسل به اندازه۱/۲۵ متر ۱۳۰
شکل ۶-۲۵: کانتور تنش میزز در وسط لوله در زمان جابجایی گسل به اندازه۱/۵ متر ۱۳۱
شکل ۶-۲۶: تغییرات تنش میزز حداکثر در المان وسط لوله در خاک‌های مختلف به ازای جابجایی گسل به اندازه ۱ متر ۱۳۲
شکل ۶-۲۷: تغییرات تنش میزز حداکثر در المان وسط لوله با قطر مختلف به ازای جابجایی گسل به اندازه ۱ متر(D=20in) ۱۳۴