



دانشگاه شهید بهشتی کرمان

کنفرانس ملی زلزله، سازه و روشهای محاسباتی

کرمان - ۲۷ و ۲۸ مهرماه ۱۳۹۰



شماره: ۱۳۰۰/۵۹/۹۰/ص

تاریخ: ۱۳۹۰/۰۷/۲۸

به نام خدا

کواهی ارائه مقاله در کنفرانس ملی زلزله، سازه و روشهای محاسباتی

بدینوسیله کواهی می شود جناب آقای:

محمد رضا قدیری

مقاله خود را تحت عنوان:

بررسی رفتار لوله های فلزی مدفون در برابر حرکات دو بعدی

کسل و مقاوم سازی آنها با FRP

در "کنفرانس ملی زلزله، سازه و روشهای محاسباتی" که در تاریخ ۲۷ و ۲۸ مهرماه ۱۳۹۰ در

جهاد دانشگاهی استان کرمان برگزار گردیده، ارائه نموده اند. توفیق روز افزون ایشان را در امر

پژوهش و تحقیق در جهت رشد و اعتلای علمی کشور عزیزمان از خداوند بزرگ خواهیم.



دبیر کنفرانس ملی زلزله، سازه و روشهای محاسباتی

محمد مصدق کرمانی

Conference
on
Earthquake,
Structure
&
Computational
Methods

18,19
October
2011
Kerman, Iran

جهاد دانشگاهی واحد استان کرمان

با همکاری

دانشگاه شهید بهشتی کرمان

مآبان:

استادفای کرمان
سازمان مدیریت بحران کشور
سازمان نظام مهندسی ساختمان
وزارت مسکن و شهرسازی
سازمان مهندسی اعلان سلسله ای
شهرداری کرمان
مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی
مستقله محلی

بررسی رفتار لوله های فلزی مدفون در برابر حرکات دوبعدی گسل و مقاوم سازی آنها با FRP

رضا ضیاء توحیدی^۱، منصور قلعه نوی^۲، محمد رضا قدیری^۳

۱- استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد

reza_zia_tohidi@yahoo.com

۲- استادیار، گروه عمران، دانشگاه فردوسی، مشهد

ghalehnovi@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان

Ghadiri.m.r@gmail.com

چکیده

حرکات گسل در هنگام وقوع زلزله خطرات زیادی را به سوی لوله های مدفون که یکی از شریان های حیاتی کشور به شمار می آید، متوجه می سازد. حجم این مخاطرات به گونه ای است که در اغلب موارد لوله های مدفون در معرض گسیختگی موضعی قرار گرفته و زیانهای اقتصادی و زیست محیطی فراوانی را تحمیل می نماید. یکی از تمهیدات ویژه به منظور کاهش آسیب پذیری لوله های مدفون در برابر حرکات گسل، تقویت جداره آن است. در این راستا استفاده از ورق های FRP روشی نو و ایده ای کاملاً جدید است. قابلیت های متنوع ورق های FRP این امکان را القا می کند که بتوان تنش های بوجود آمده در جداره لوله را به میزان قابل توجهی کاهش داد. به منظور بهره وری از این قابلیت ها تحقیق حاضر تدوین شده است. در این تحقیق لوله در تمامی طول گسل با المان پوسته مدل گردید و تحلیل غیر خطی با نرم افزار ANSYS صورت پذیرفته است. برآورد میزان تقلیل در پاسخ جداره لوله در حالت های مختلف با تغییر در پارامترهایی نظیر قطر لوله و عمق دفن مورد توجه قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: لوله مدفون، گسل، شریان حیاتی، ورق FRP، نرم افزار ANSYS.



بررسی رفتار لوله های فلزی مدفون در برابر حرکات دوبعدی گسل و مقاوم سازی آنها با FRP

رضا ضیاء توحیدی^۱، منصور قلعه نوی^۲، محمد رضا قدیری^۳

۱- استادیار، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد

reza_zia_tohidi@yahoo.com

۲- استادیار، گروه عمران، دانشگاه فردوسی، مشهد

ghalehnovi@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان

Ghadiri.m.r@gmail.com

چکیده

حرکات گسل در هنگام وقوع زلزله خطرات زیادی را به سوی لوله های مدفون که یکی از شریان های حیاتی کشور به شمار می آید، متوجه می سازد. حجم این مخاطرات به گونه ای است که در اغلب موارد لوله های مدفون در معرض گسیختگی موضعی قرار گرفته و زینهای اقتصادی و زیست محیطی فراوانی را تحمیل می نماید. یکی از تمهیدات ویژه به منظور کاهش آسیب پذیری لوله های مدفون در برابر حرکات گسل، تقویت جداره آن است. در این راستا استفاده از ورق های FRP روشی نو و ایده ای کاملاً جدید است. قابلیت های متنوع ورق های FRP این امکان را القا می کند که بتوان تنش های بوجود آمده در جداره لوله را به میزان قابل توجهی کاهش داد. به منظور بهره وری از این قابلیت ها تحقیق حاضر تدوین شده است. در این تحقیق لوله در تمامی طول گسل با المان پوسته مدل گردید و تحلیل غیر خطی با نرم افزار ANSYS صورت پذیرفته است. برآورد میزان تقلیل در پاسخ جداره لوله در حالت های مختلف با تغییر در پارامترهایی نظیر قطر لوله و عمق دفن مورد توجه قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: لوله مدفون، گسل، شریان حیاتی، ورق FRP، نرم افزار ANSYS.

۱. مقدمه

لرزه خیز بودن کشور عزیزمان ایران از یک سو و گسترش روز افزون خطوط انتقال نفت و گاز در سطح کشور از سوی دیگر، ضرورت تدوین و گردآوری پژوهش هایی جهت طراحی فنی و بررسی رفتار این سازه ها را دو چندان می سازد. معرفی سیستم های خطوط لوله نفت و گاز به عنوان شریان های حیاتی بیانگر اهمیت عملکرد آنها در حفظ ایمنی و سلامت عموم می باشد. اگر تاسیساتی در یک زلزله صدمه ببیند، نه تنها بیم تلف شدن خدمات و محصولات می رود، بلکه احتمال اینکه چنین صدمه ای برای کارکنان آن تاسیسات، محیط زیست و عامه مردم مستقیماً خطر آفرین باشد، وجود دارد. حجم این مخاطرات به گونه ای است که در اغلب موارد لوله مدفون در معرض گسیختگی موضعی قرار گرفته و زینهای اقتصادی و زیست محیطی فراوانی را تحمیل می نماید. از این رو بررسی عملکرد و انجام مطالعات در خصوص سامانه های خطوط لوله مدفون از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. بررسی های انجام شده بر روی خرابی لوله های مدفون در اثر وقوع زلزله، موید این موضوع است که بر خلاف سازه های روزمینی، بارهای حاصل از ارتعاشات لرزه ای، علت اصلی انهدام لوله های مدفون نمی باشد، بلکه حرکات بزرگ زمین عامل عمده خرابی لوله ها می باشد. به عبارت دیگر خطوط لوله مدفون معمولاً توانایی تحمل امواج زلزله را دارا می باشد، اما غالباً نمی تواند حرکات بزرگ زمین را تحمل نماید [۱].

برای ایمن ساختن لوله های نفت و گاز ابتدا باید بارهای وارد بر خطوط لوله و منشأ آسیب پذیری آنها مشخص گردد. سپس با استفاده از تجربه خرابی لوله و انجام مطالعات مربوطه، رفتار سازه ای آنها مورد شناسایی قرار گیرد. سپس با درک بهتری از رفتار خطوط لوله می توان پارامترهای موثر در مقاوم سازی لوله ها را در برابر خطرات محتمل بررسی کرده و در نهایت اقدام به معرفی روشهای مقاوم سازی نمود. یکی از تمهیدات ویژه به منظور کاهش آسیب پذیری لوله مدفون در برابر حرکات زمین تقویت جداره آن می باشد. در این راستا استفاده از ورق های CFRP روشی جدید و قابل رقابت در مقاوم سازی لوله های فلزی مدفون است. وزن کم و کاربرد آسان آن از مزیت های این نوع تقویت می باشد.

۲. بارهای وارد بر خطوط لوله

برای ایمن ساختن خطوط لوله مدفون، ابتدا باید بارهای وارد بر خطوط لوله و منشأ آسیب پذیری آنها مشخص گردد، سپس با استفاده از تجربه خرابی لوله و انجام مطالعات مربوطه، رفتار سازه ای آنها مورد مطالعه قرار گیرد. سپس با درک بهتری از رفتار خطوط لوله می توان پارامترهای موثر در مقاوم سازی لوله ها را در برابر خطرات محتمل بررسی کرده و در نهایت اقدام به معرفی روشهای مقاوم سازی نمود. برای نیل به این هدف لازم می آید بارهای وارد بر خطوط لوله مدفون و منشأ آسیب پذیری آنها شناسایی گردد [۲].

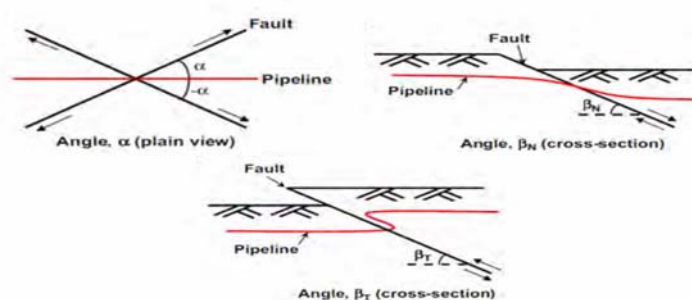
لوله های مدفون در مدت زمان سرویس دهی ممکن است بسته به نوع لوله گذاری و موقعیت جغرافیایی تحت اثر بارهای گوناگونی قرار گیرند. برخی از این بارها مانند بار خاکریز و یا بار زلزله بر تمامی خطوط لوله وارد می شود و برخی دیگر مانند بارهای نقطه ای و یا بار حاصل از گسلش یا زمین لغزش ممکن است موردی باشند. انواع بارهای احتمالی بر خط لوله های مدفون را می توان بصورت زیر خلاصه کرد [۵]:

بارخاک ریز، بار ناشی از ترافیک، سربار، فشار هیدرواستاتیک داخل لوله، بارهای نقطه ای، بار حاصل از وزن لوله و سیال داخل آن، بار ناشی از تغییرات دما، بار حاصل از تغییرات حجم خاک اطراف لوله در اثر تغییرات شرایط آب و هوایی، بار حاصل از ارتعاشات لرزه ای، بارهای حاصل از اثرات غیر مستقیم زلزله مانند روانگرایی، گسلش، زمین لغزه و

بررسی های انجام شده بر روی خرابی لوله های مدفون در اثر وقوع زلزله ثابت نموده است که بر خلاف سازه های روزمینی، نیروی اینرسی ناشی از امواج زلزله علت اصلی خرابی لوله های زیرزمینی نمی باشد. اگرچه بر طبق برخی مشاهدات میدانی، در صورتی که سرعت ارتعاش زمین زیاد باشد تکان زمین نیز می تواند از عوامل آسیب رسان به خطوط لوله تلقی گردد. لیکن می توان گفت که حرکات ماندگار سطح زمین علت اصلی خرابی لوله ها می باشد. حرکات بزرگ زمین می تواند ناشی از پدیده هایی چون فعالیت گسل، زمین لغزش و روانگرایی خاک باشد. در این میان از فعالیت گسل می توان به عنوان موثرترین اصل در تعیین رفتار لوله های مدفون نام برد [۷].

۲.۱. حرکات نسبی گسل

از مهم ترین عوامل بارگذاری خطوط لوله مدفون، حرکات بزرگ گسل می باشد. گسل، تغییر شکل ناشی از تغییر مکان نسبی دو قطعه مجاور از پوسته زمین می باشد. این تغییر مکان می تواند به صورت ناگهانی در اثر وقوع زلزله و یا در اثر تجمع تدریجی تغییر شکل در یک مدت زمان طولانی رخ دهد. جایجایی ناگهانی گسل ها باعث ارتعاش زمین می گردد. مقدار جایجایی گسل به عوامل متعددی بستگی دارد که از جمله آن می توان به نوع گسل، اندازه زلزله، عمق کانونی و زمین شناسی منطقه اشاره نمود [۶۵]. رده بندی گسلها بر اساس جهت حرکت، زاویه شیب آنها نسبت به سطح زمین و یا چگونگی حرکت آنها نسبت به بستر مجاور صورت می گیرد. غالباً گسلها براساس مؤلفه حرکت به انواع امتدادلغز، عادی، معکوس و مورب تقسیم می شوند [۱].



شکل (۱): انواع حرکات گسل در محل تلاقی با خط لوله [۱]

با توجه به اهمیت خطوط لوله مدفون و تأثیر بسزایی که حرکات گسل بر لوله های مدفون می تواند داشته باشد طراحی لوله های مدفون در برابر حرکات گسل غیر قابل اجتناب است. البته واضح است که اگرچه طراحی مقاوم این سازه ها در برابر حرکات بسیار بزرگ گسل امکان پذیر نیست، لیکن با رعایت ملاحظات اقتصادی می توان لوله های مدفون را در برابر حرکات گسل تا حدودی مقاوم سازی نمود و از شدت خسارات احتمالی کاست. اگرچه تاکنون تحقیقات سودمندی پیرامون موضوع مورد بحث صورت گرفته است، اما به نظر می رسد با اعمال بعضی اصلاحات، رفتار خطوط لوله مدفون در برابر حرکات گسل با دقت مناسب تری برآورد گردد [۲].

۳. مصالح کامپوزیتی

مواد مرکب موادی هستند که از چندین ماده در کنار یکدیگر تشکیل می شوند و هر کدام از آنها وظیفه جداگانه ای را ایفا می کنند. در مواد کامپوزیتی عموماً سه ناحیه متمایز، شامل فاز پیوسته (ماتریس)، فاز ناپیوسته (تقویت کننده ها) و لایه مرزی بین این دو فاز وجود دارد، که تعیین کننده خواص و مشخصه های مواد مرکب می باشد. الیاف، نقش اصلی را در مقاومت و مشخصات مکانیکی ماده مرکب دارند و ماتریس نقش توزیع بار بین الیاف و محافظت آن در برابر عوامل محیطی را ایفا می کند [۶].

مهمترین الیاف مورد استفاده در این صنعت عبارتند از:

۱- الیاف شیشه

۲- الیاف کربن

۳- الیاف آرامید

مراحل نصب FRP بصورت زیر می باشد:

۱- کشیدن پرایمر یا لایه اولیه

۲- پرکردن خلل و فرج

۳- مالیدن رزین یا چسب

۴- قرار دادن ورقه های FRP

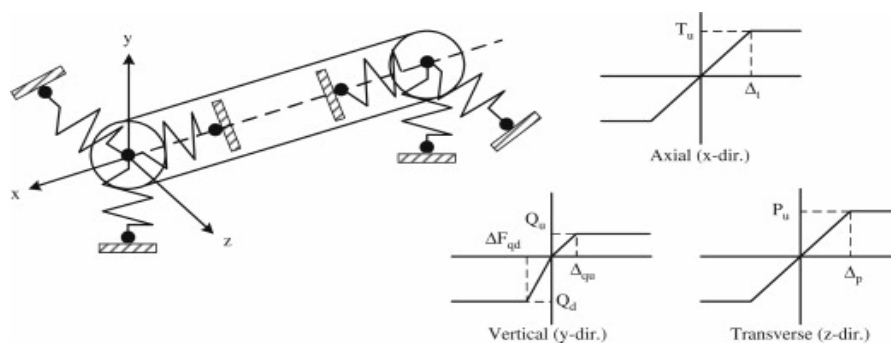
۵- مالیدن لایه دوم و فوقانی چسب یا رزین

۶- بکاربردن پوشش محافظ

در دهه های گذشته، کامپوزیت های FRP به طرز گسترده ای برای مقاوم سازی سازه های بتنی استفاده می شدند. اما جدیداً استفاده از FRP برای مقاوم سازی سازه های فولادی نیز مورد توجه محققان قرار گرفته است. نسبت سختی به وزن و همچنین نسبت مقاومت به وزن بالای مواد FRP، به علاوه ماندگاری بالای این مواد در شرایط محیطی باعث شده است تا مواد FRP جایگزین مناسبی برای سیستم های مقاوم سازی موجود باشند.

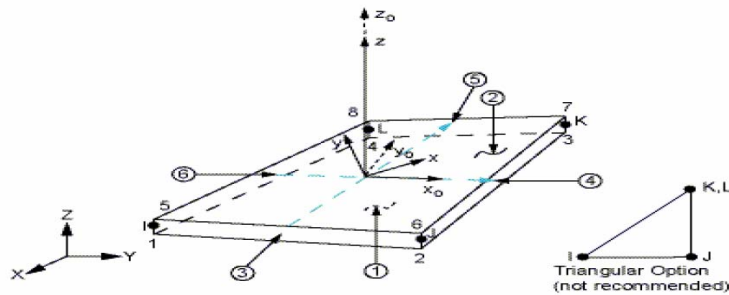
۴. مبانی مدل تحلیلی لوله مدفون در تالابی با گسل

در غالب مطالعاتی که تا کنون در این زمینه انجام شده است، خط لوله به صورت تیر مدلسازی گردیده، در حالی که مطالعه رفتار لوله ها (خصوصاً لوله های قطور) نشان می دهد که رفتار لوله ها به رفتار پوسته ای شباهت بیشتری دارد و استفاده از مدل تیر مستلزم صرف نظر نمودن از بعضی دقایق است. لذا در این تحقیق با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ANSYS و با استفاده از المان SHELL181، مدل پوسته ای سیستم خطوط لوله مدفون مدلسازی و مورد بررسی قرار گرفته است. اندرکنش خاک و خط لوله که اثرات حرکات نسبی بین خاک و خط لوله می باشد، به همراه مولفه های محوری، افقی جانبی و قائم جانبی فنر های غیر خطی توسط COMBIN 39 مدل سازی شده که یک فنر غیر خطی بوده و قابلیت رفتار متفاوت نیرو - تغییر شکل در کشش و فشار را نیز دارد تعریف می شود. با این فرض که خاک اطراف لوله کاملاً ایزوتروپ می باشد، نیروی عکس العمل خاک در برابر حرکت محوری و جانبی مستقل از جهت حرکت می باشد، به عبارت دیگر فنر های محوری و جانبی در کشش و فشار به صورت یکسان عمل می نماید، اما در راستای قائم وضعیت به گونه دیگری است. بر اساس مطالعات انجام شده، عکس العمل خاک اطراف لوله نسبت به حرکت بالا رونده لوله کمتر از عکس العمل آن نسبت به حرکت پائین رونده لوله است، به عبارت دیگر فنر های قائم در کشش و فشار به صورت متفاوت با یکدیگر عمل می نمایند [۷].



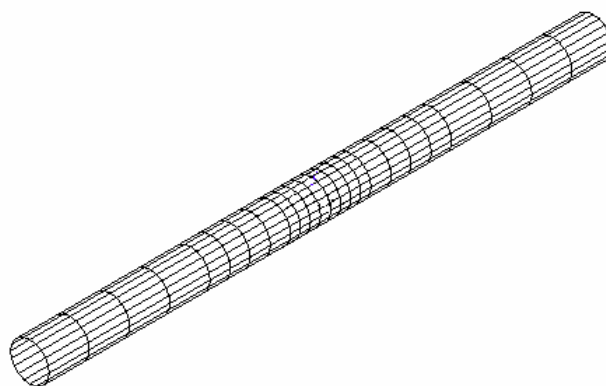
شکل (۲): مدل سازی رفتار بین خاک و خط لوله [۳]

برای مدل سازی پوسته های FRP، نیز از المان غیر خطی ساده ای - لایه ای SHELL181 (پوسته با کرنش محدود) ، که المان پوسته ای سه بعدی و چهار گره ای است و دارای ۶ درجه آزادی در هر گره می باشد ، استفاده شده است . این المان قابلیت اعمال تمامی خواص غیر خطی به علاوه کرنش های کراندار را دارا می باشد . مدل سازی تا ۲۵۵ لایه در این المان مجاز می باشد (شکل ۳) . اطلاعات مربوط به لایه ها توسط سطح مقطع پوسته ای به جای مقادیر ثابت وارد می شود . بنابراین از بین المانهای موجود برای مدل سازی کامپوزیتها ، تنها المان SHELL181 که دارای ۴ گره در صفحه بوده و توانایی تبادل صحیح نیرو بین لوله و FRP را دارد ، استفاده شده است . با توجه به این که نیروی لازم برای جدا شدگی بین لوله و FRP مقدار بزرگی می باشد ، چسبندگی بین لوله و FRP را به صورت ایده آل و چسبندگی کامل فرض می شود .



شکل (۳): المان SHELL181 [۵]

یکی از پارامترهای اساسی در روش اجزاء محدود ، مش بندی مناسب مدل می باشد . با توجه به اینکه در مدل مورد استفاده ، تمرکز تنش در نواحی نزدیک گسل به مراتب بیش از نواحی دور از آن می باشد ، در آن قسمت از مش بندی های ریزتری استفاده شده است (شکل ۴) . محیط لوله به ۱۶ قسمت تقسیم و طول آن نیز به دو ناحیه نزدیک گسل و دور از آن تقسیم شده است . طول کل مدل ۱۰۰۰ متر انتخاب شده که محدوده نزدیک گسل با ۵۰ متر در دو طرف نشان گسل با ۲۰۰ قسمت مش بندی ریز و در ۴۵۰ متر نواحی دورتر با ۴۵۰ قسمت ، مش بندی درشت گردیده است . نکته قابل دقت این است که نسبت طول به عرض المانهای پوسته می بایست از ۲۰ کمتر باشد . در حالت کلی تعداد مجموع المانها ۲۰۸۰۰ المان و تعداد گره ها در مجموع ۸۳۳۲۸ گره می باشد .



شکل (۴): نحوه مش بندی مدل عناصر محدود خط لوله مدفون [۷]

از آنجایی که پاسخ دینامیکی خط لوله در مقایسه با تغییر شکل ناشی از گسل کوچک و قابل صرف نظر کردن می باشد ، در این پژوهش از تحلیل استاتیکی به منظور بررسی رفتار لوله های مدفون در برابر حرکات گسل بهره جسته شده است .

۴.۱. مشخصات عددی مدل پیشنهاد شده

لوله مدفون از جنس فولاد و از نوع API5L-X65 و با مشخصات زیر می باشد:

قطر خارجی: ۰/۶ و ۰/۷ و ۰/۸ و ۰/۹ و ۱ متر
طول مهارتی لوله: ۲۰۰ و ۴۰۰ و ۶۰۰ و ۸۰۰ و ۱۰۰۰ متر
مدول الاستیسیته لوله: ۲۱۰ MPa
تنش تسلیم: ۴۹۰ MPa
کرنش تسلیم: ۴٪

ضخامت: ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ میلیمتر
زاویه تقاطع لوله با گسل: ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ و ۹۰ درجه
مدول پلاستیسیته لوله: ۱/۰۸۸ MPa
تنش گسیختگی: ۵۳۱ MPa
کرنش گسیختگی: ۰/۲۳۳٪

۴.۲. مشخصات مصالح کامپوزیتی

خصوصیات مصالح کامپوزیتی CFRP بکار رفته در مدل سازی لوله تقویت شده با FRP مورد مطالعه در این بررسی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات مکانیکی پوسته های CFRP [۵]

نوع مصالح	E_x (GPa)	E_y (GPa)	ν_{xy}	ν_{yz}	G_{xy} (GPa)	ضخامت (mm)
CFRP	۳۷۳	۲/۳۵	۰/۲۵	۰/۳۵	۱/۵۶	۱۴

۴.۳. مشخصات فنرهای خاکی

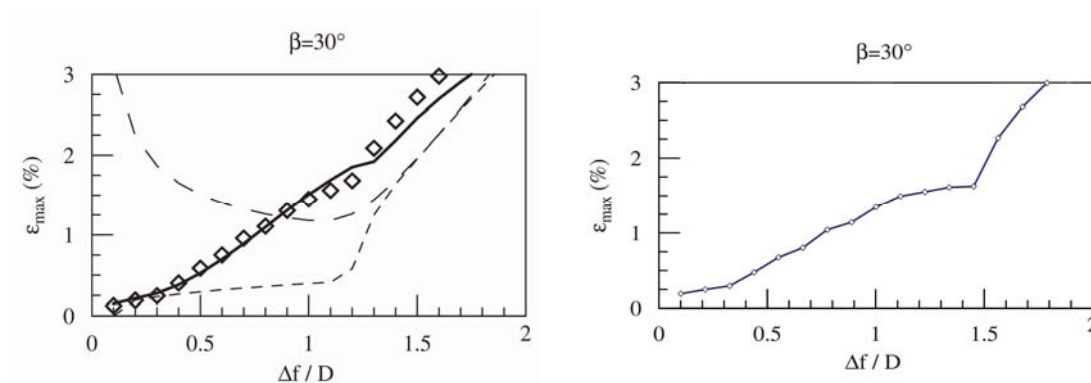
همچنین مشخصات فنرهای خاکی برای مدل سازی سیستم اندرکنش بین خاک و خط لوله نیز در (جدول ۲) درج گشته است.

جدول (۲): مشخصات عددی فنرهای خاکی

نوع فنر	فنرهای محوری	فنرهای افقی جانبی	فنرهای قائم بالا	فنرهای قائم پائین
نیرو (KN/m)	۴۰/۵	۳۱۸/۶	۵۲	۱۳۶۰
جابجایی (mm)	۳	۱۱/۴	۲/۲	۱۰۰

۵. مقایسه نتایج تحلیل و تایید مدل

شکل (۵)، ماکزیمم کرنش های محوری بوجود آمده در خط لوله را با دو مدل با مشخصات یکسان در طول خط لوله تحت تاثیر گسل امتداد لغز نشان می دهند. نتایج ارائه شده از سوی مرجع [۲] نیز در سمت چپ شکل مشهود می باشد. مقایسه این دو نمودار تفاوتی اندک و برازش خوبی را نشان می دهد.



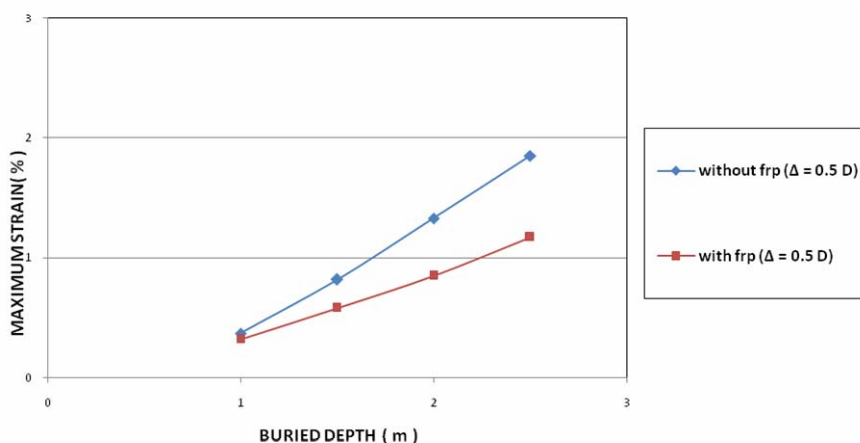
شکل (۵): برازش پاسخ های لوله مدفون به حرکات گسل در مدل تحلیلی نسبت به مدل مرجع [۲]

۶. مطالعات پارامتریک

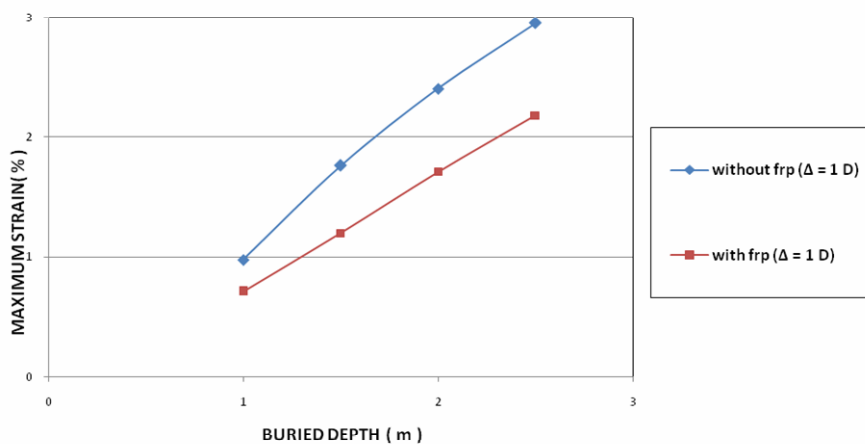
عواملی که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است و به طور قابل ملاحظه ای بر عملکرد خط لوله در برابر حرکات گسل موثر می باشد عبارتند از: مقدار تغییر مکان نسبی گسل، زاویه تقاطع لوله با گسل، عمق دفن و خصوصیات هندسی لوله. پاسخ دینامیکی خط لوله در مقایسه با تغییر شکل ناشی از گسل کوچک بوده و می توان از آن صرف نظر نمود، به گونه ای که تحلیل استاتیکی توانایی ارائه نتایج مناسب و رضایت بخش را داشته باشد.

۱. ۶. عمق دفن لوله

یکی از عوامل موثر بر رفتار لوله در برابر حرکات گسل؛ عمق دفن لوله می باشد. هرچه لوله در عمق بیشتری تعبیه شده باشد به علت افزایش سختی و مقاومت خاک تنش و کرنش ایجاد شده در خط لوله در اثر حرکات بزرگ زمین بیشتر خواهد بود. شکل (۶) تغییرات پاسخ لوله را بر حسب عمق دفن به ازای دو مقدار متفاوت جابجایی گسل نشان می دهد. چنانچه مشهود است استفاده از تقویت های کامپوزیتی موجب کاهش پاسخ در لوله می گردد. نکته ی جالب توجه این است که تقویت لوله توسط ورق های FRP در عمق های بیشتر موثرتر به نظر می رسد. در این نمودار دیده می شود که بهره گیری از ورق تقویت توانسته است کاهش ۲۰ درصدی را در کرنش ماکزیمم موجب گردد.



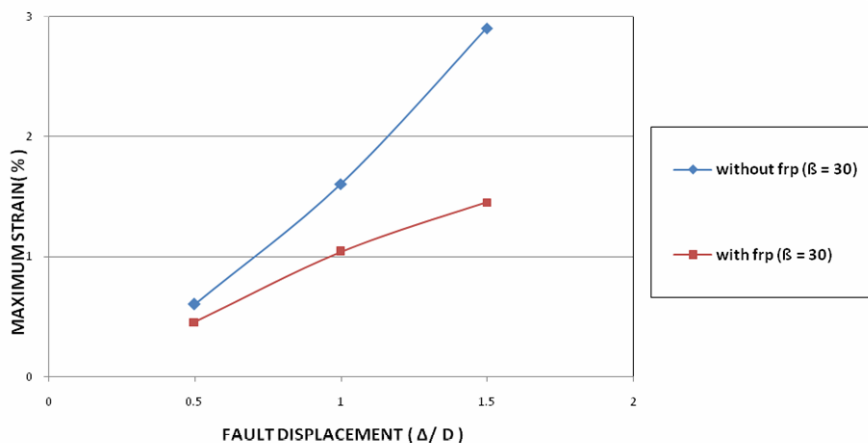
شکل (۶) الف: مقایسه ی نحوه ی تغییرات کرنش ماکزیمم در جداره لوله بر حسب عمق دفن لوله برای دو حالت تقویت شده و بدون تقویت به ازای جابجایی گسل $\Delta = 0.5 D$



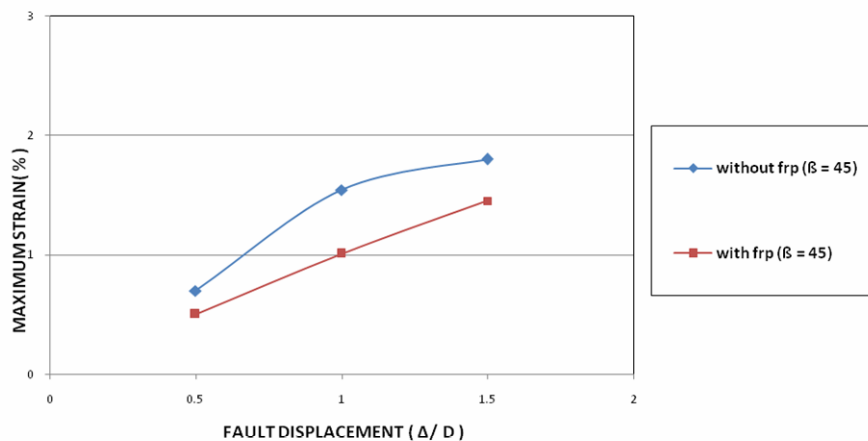
شکل (۶) ب: مقایسه ی نحوه ی تغییرات کرنش ماکزیمم در جداره لوله بر حسب عمق دفن لوله برای دو حالت تقویت شده و بدون تقویت به ازای جابجایی گسل $\Delta = 1 D$

۲.۶. زاویه تقاطع لوله با گسل

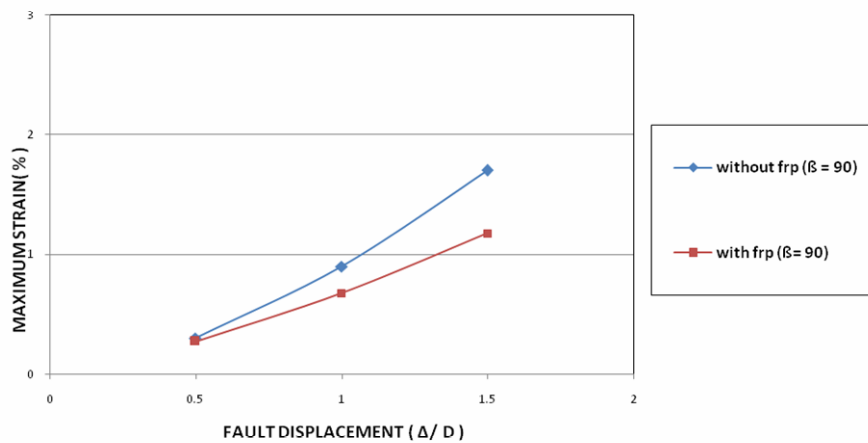
شکل (۷) تغییرات کرنش بیشینه در جداره ی لوله مدفون را در برابر حرکات بزرگ زمین بر حسب جابجایی گسل بازای مقادیر مختلف زاویه تقاطع لوله با گسل نشان می دهد. دیده می شود که افزایش بزرگی حرکت گسل موجب افزایش پاسخ لوله است. این نتیجه، طبیعی و مورد انتظار می باشد. نکته ی مورد توجه که از مقایسه ی نمودارهای زیر عاید می گردد نسبت معکوس حاکم میان پاسخ لوله و زاویه ی تقاطع لوله با گسل می باشد. هرچه این زاویه بزرگتر باشد کرنش کوچکتری در لوله به وجود می آید. علت این امر می تواند سهم عمده ی کرنش محوری در لوله در اثر فعالیت گسل باشد. هرچه زاویه ی مفروض به قائمه نزدیکتر باشد کرنش های محوری به وجود آمده در لوله کوچکتر خواهد بود. در این مورد نیز مشهود است که استفاده از ورق تقویت FRP کرنش را تا حدود ۵۰ درصد تقلیل داده است. دیده می شود که هرچه زاویه کوچکتر باشد میزان اثر گذاری ورق تقویت نیز افزون تر است.



شکل (۷) الف: مقایسه ی نحوه ی تغییرات کرنش ماکزیمم در جداره لوله بر حسب جابجایی گسل برای دو حالت تقویت شده و بدون تقویت به ازای زاویه تقاطع ۳۰ درجه لوله با گسل



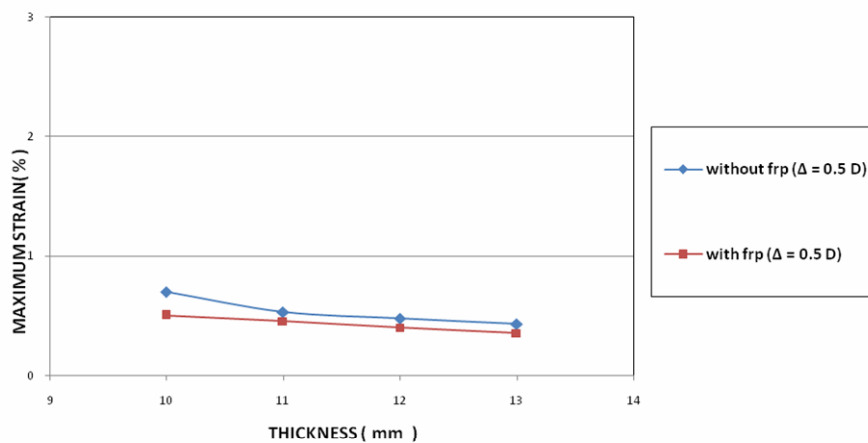
شکل (۷) ب: مقایسه ی نحوه ی تغییرات کرنش ماکزیمم در جداره لوله بر حسب جابجایی گسل برای دو حالت تقویت شده و بدون تقویت به ازای زاویه تقاطع ۴۵ درجه لوله با گسل



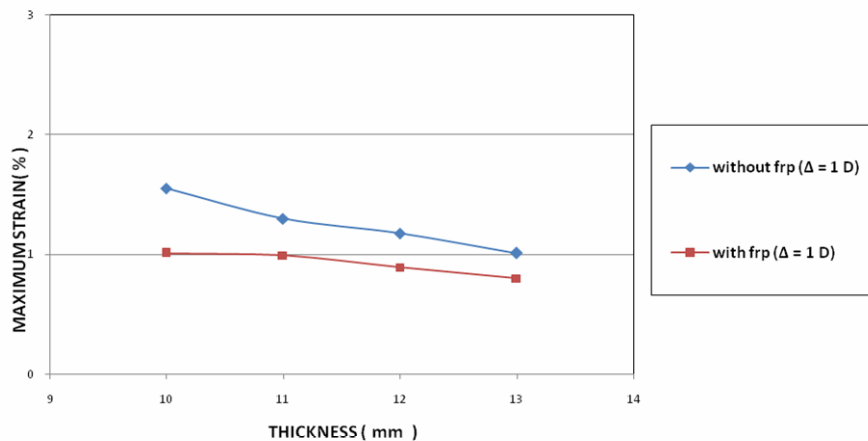
شکل (۷): ج: مقایسه ی نحوه ی تغییرات کرنش ماکزیمم در جداره لوله بر حسب جابجایی گسل برای دو حالت تقویت شده و بدون تقویت به ازای زاویه تقاطع ۹۰ درجه لوله با گسل

۳.۶. ضخامت جداره لوله

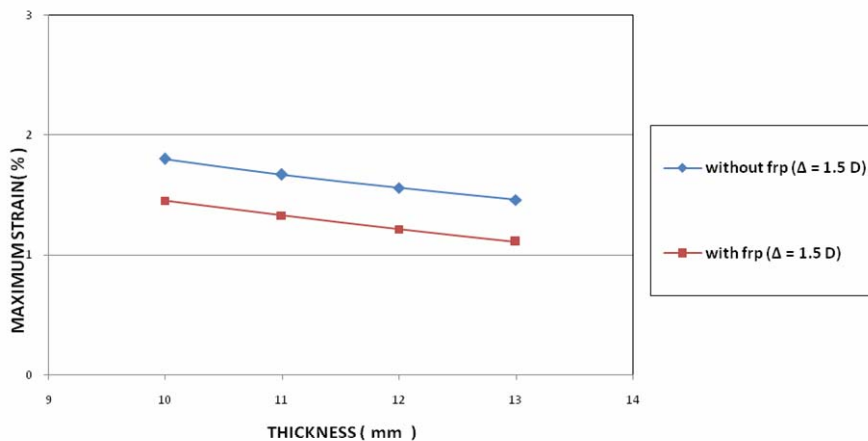
از عوامل اثرگذار بر پاسخ لوله ضخامت جداره ی آن می باشد. شکل (۸) تغییرات پاسخ لوله را بر حسب ضخامت جداره به ازای جابجایی های مختلف گسل را به نمایش گذارده است. این نمودارها نشان می دهد که هرچه ضخامت جداره بیشتر باشد کرنش کوچکتری در لوله به وجود می آید. از سوی دیگر تاثیر ورق های FRP در جابجایی های کوچک بسیار کمتر از آن در جابجایی های بزرگ می باشد. شکل (۸) می تواند این ایده را القا کند که میزان افزایش مقاومت جداره ی لوله توسط ورق های کامپوزیتی در مواقعی که لوله تحت تاثیر حرکات بزرگ گسل قرار می گیرد تقریباً مستقل از ضخامت جداره می باشد؛ همچنین دیده می شود که به ازای جابجایی های کوچک گسل تقویت لوله با ورق های FRP نمی تواند اثر قابل توجهی را به دنبال داشته باشد.



شکل (۸): الف: مقایسه ی نحوه ی تغییرات کرنش ماکزیمم در جداره لوله بر حسب ضخامت جداره لوله برای دو حالت تقویت شده و بدون تقویت به ازای جابجایی گسل Δ=0.5 D



شکل (۸) : ب: مقایسه ی نحوه ی تغییرات کرنش ماکزیمم در جداره لوله بر حسب ضخامت جداره لوله برای دو حالت تقویت شده و بدون تقویت به ازای جابجایی گسل $\Delta=1 D$



شکل (۸) : ج: مقایسه ی نحوه ی تغییرات کرنش ماکزیمم در جداره لوله بر حسب ضخامت جداره لوله برای دو حالت تقویت شده و بدون تقویت به ازای جابجایی گسل $\Delta=1.5 D$

۷. خلاصه و نتیجه گیری

تحقیق حاضر بر آن شده است که ایده ی تقویت لوله های مدفون در برابر حرکات گسل توسط FRP را مورد بررسی قرار دهد. بدین منظور مدل لوله در دو حالت با و بدون تقویت تحلیل شده نتایج زیر بدست آمده است:

- ۱- افزایش ضخامت جداره و افزایش زاویه تقاطع لوله با گسل و کاهش عمق دفن سبب تقلیل پاسخ لوله می گردد.
- ۲- تقویت جداره لوله با ورق های FRP در حالت کلی موثر است.
- ۳- در صورتی که گسل باعث تولید نیروی محوری بزرگتر گردد، استفاده از ورق تقویت موثرتر خواهد بود و می تواند تا حدود ۵۰٪ کرنش را تقلیل دهد.



۸. مراجع

- [1] Vazouras P, and Karamanson S. Finite element analysis of buried steel pipelines under strike-slip fault displacement , Journal of Soil Dynmics and Earthquake Engineering , 2010.
 - [2] Karamitros D, Bouckovalas G. Stress analysis of buried steel pipelines at strike-slip fault crossings , Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering , 2007.
 - [3] American lifelines alliance-ASCE. Guidelines for the design of buried steel pipe, with addenda through February, 2005 .
 - [4] Shakib H, Zia – Tohidi R. Response of Steel buried pipelines to three – dimensional fault movements by considering material and geometrical non – linearities, Conference on Earthquake Engineering , 2004.
 - [5] Madenci E, Guven I. The finite element method and aplications in engineering Using ANSYS , The University of Arizona , 200۲.
 - [6] Jones R, Mechanics of composite materials, Taylor francis, Virginia, usa, 1999.
- [۷] شکیب ، حمزه . ضیاء توحیدی ، رضا . بررسی رفتار لرزه ای لوله های فلزی مدفون در برابر حرکات سه بعدی گسل ؛ رساله دکتری مهندسی عمران گرایش سازه ، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس ، ۱۳۸۳ .