

پاسخ لوله‌های فلزی مدفون در برابر حرکات سه بعدی گسل

حمزه شکیب

دانشیار

بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

رضا ضیا توحیدی

دانشجوی دکترا

چکیده

حرکات گسل در هنگام وقوع زلزله می‌تواند خطرات بسیاری را متوجه لوله‌های مدفون که یکی از عناصر شریانهای حیاتی به شمار می‌آیند بنماید. تاکنون مطالعات اندکی پیرامون رفتار لوله‌های مدفون در برابر این نوع از خطرات صورت گرفته است. در اغلب این مطالعات حرکات گسل بصورت دو بعدی فرض شده است، در صورتیکه حرکات گسل در طبیعت معمولاً از نوع سه بعدی می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل تیر و فنرهای غیر خطی، تاثیر حرکات سه بعدی گسل بر لوله‌های مدفون مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات پارامتری به منظور بررسی اثرات جابجایی گسل، عمق دفن، مشخصات هندسی لوله، زاویه اصطکاک خاک - لوله، زاویه تقاطع با گسل و زاویه شیب گسل بر پاسخ لوله به حرکات گسل انجام پذیرفته است.

کلمات کلیدی

لوله‌های مدفون، حرکات سه بعدی گسل، شریانهای حیاتی.

Response of Steel Buried Pipeline to the Three Dimensional Fault Movement

R. Zia Tohidi
Ph. D. Student

H. Shakib
Associate Professor

Department of Civil Engineering,
School of Engineering Tarbiat Modarres University

Abstract

Fault movement during an earthquake may have severe effect on buried pipelines as a lifeline element. A few studies are carried out on the behaviour of buried pipelines to this kind of damage and disruption. In most of these studies, the fault movements are modeled as two- dimensional. In this study, by modeling the pipe as a beam and the surrounding soil as nonlinear springs, the effect of three dimensional movement of fault on buried pipelines is investigated. Some important parameters such as; fault movement, depth of buried, geometrical characteristics of the pipe, angle of pipe- soil friction, angle of pipe- fault crossing, and the fault slip are considered in this study.

Key word

buried pipelienes, three dimensional fault, lifelines

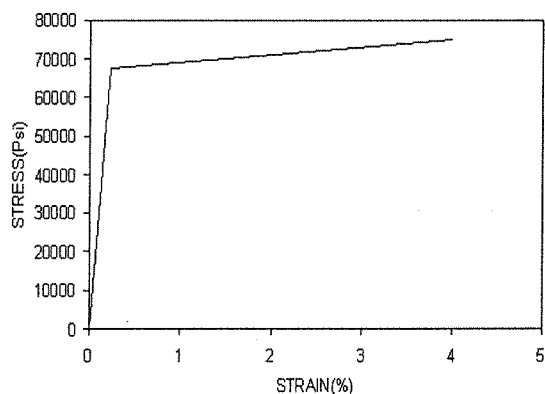
لوله‌های مدفون به دلیل گستردگی آن در منطقه وسیعی از سطح زمین در معرض خطرات گوناگونی است که شاید بتوان مهمترین این خطرات را حرکات بزرگ زمین از قبیل حرکت گسل و روانگرایی خاک دانست. بر حسب نوع حرکات گسل، گسلها را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود: گسل عادی، گسل معکوس، گسل امتداد لغز و گسل مورب. گسل مورب ترکیبی از گسل امتداد لغز با گسل عادی یا معکوس می‌باشد.

در طبیعت، گسل‌ها معمولاً از نوع مورب می‌باشند. پاسخ لوله‌های مدفون عبوری از خط گسل به نوع گسل نیز وابسته است. مطالعاتی که تاکنون در زمینه بررسی رفتار لوله‌های مدفون در عبور از گسل بعمل آمده است، غالباً حرکات دوبعدی گسل را مد نظر قرار داده است، نیومارک و هال [1] با ارائه مدل بسیار ساده‌ای، تاثیر حرکات گسل بر لوله‌های مدفون را توسط تغییر شکل محوری بین نقاط مهاری موثر در نظر گرفته‌اند. در این روش از نیروهای جانبی خاک صرف‌نظر شده است و در ضمن نیمرخ جابجایی بین نقاط مهاری در نظر گرفته نشده است. روش ایشان برآورد پایینی از کرنش در خط لوله را بدست می‌دهد. در این مطالعه خط لوله به صورت یک خط مستقیم بین دو نقطه مهاری تغییر شکل داده است. کندی و همکارانش [2] روش نیومارک و هال را بهبود بخشیدند. ایشان با فرض مدل کابل انعطاف‌پذیر برای خط لوله از سختی خمشی لوله صرف‌نظر نموده‌اند. تغییر شکل‌های خمشی در نزدیکی گسل با شعاع انحنای ثابت فرض شده است. روش ایشان برآورد محافظه کارانه‌ای از کرنش را بدست می‌دهد، زیرا در آن از سختی خمشی لوله صرف‌نظر شده است. وانگ و یاه [3] با ارائه مدل تیر خمشی، نیروهای اعمالی از جانب خاک به حرکت لوله را برابر فشار پاسیو خاک و نیروی اصطکاکی نظیر آن در نظر گرفته‌اند که حرکت گسل به صورت دو بعدی در نظر گرفته شده است. در این مدل تاثیرات اندرکنش نیروی محوری و ممان خمشی و نیز رفتار غیر خطی هندسی و غیر خطی مصالح مد نظر قرار گرفته است. این مطالعه صرفاً روی حرکت افقی گسل متمرکز شده است که بر اساس آن، با افزایش طول لغزش گسل، تنش منته‌جه محوری و خمشی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر افزایش زاویه تقاطع لوله با گسل منجر به کاهش تنش محوری و افزایش تنس خمشی می‌گردد. با افزایش زاویه اصطکاک جداره لوله با خاک اطراف، تنش محوری به شدت افزایش می‌یابد. افزایش عمق دفن لوله موجب افزایش نیروی محوری در لوله می‌گردد. اگرچه این مدل نسبت به مدل‌های نیومارک و کندی از دقت بالاتری برخوردار است. لیکن به دلیل ثابت انگاشتن انحنای لوله تغییر شکل یافته در نزدیکی گسل، با خطا همراه می‌باشد. چایو و همکارانش [4] با تصحیح مدل وانگ و یاه، مدل دیگری را ارائه نمودند. ایشان با استفاده از مدل تیر و با فرض متغیر بودن انحنای لوله تغییر شکل یافته در نزدیکی گسل، تاثیر حرکت دو بعدی گسل را بر لوله‌های مدفون مورد بررسی قرار دادند نتایج این مطالعه در مقایسه با مطالعه وانگ چنین نشان می‌دهد که تغییرات نیروی محوری مشابه و روند ممان خمشی دارای تغییرات متفاوتی می‌باشد. از طرف دیگر، در مدل چایو، افزایش در میزان لغزش گسل باعث کاهش لنگر خمشی می‌گردد. در حالی که در مدل وانگ، این مقدار به صورت یکنواخت تا مقدار حداکثر افزایش و سپس کاهش می‌یابد. بر اساس تحقیق چایو و همکارانش، افزایش در جابجایی گسل موجب تضعیف مقاومت خمشی لوله می‌گردد. به گونه‌ای که برای مقادیر بزرگ حرکات گسل، استفاده از مدل کابل انعطاف‌پذیر قابل توجیه می‌نماید.

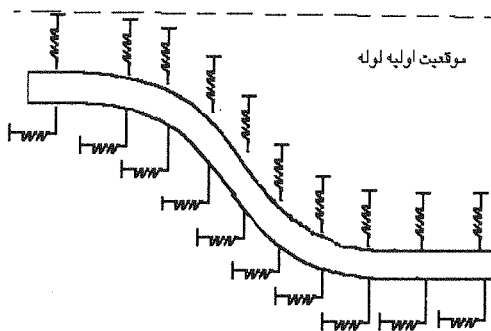
تا کادا و همکارانش [5] با اذعان به اینکه رفتار لوله‌های مدفون در برابر حرکات گسل با مدل پوسته رفتار واقعی تری نسبت به مدل تیر ارائه می‌دهد، خط لوله را با المان ۴ گرهی پوسته و خاک اطراف آن را با فنرهای غیر خطی مدلسازی نمودند. در مطالعه ایشان تاثیر حرکات دو بعدی گسل بر لوله‌های مدفون مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس مطالعه ایشان، سختی خاک تاثیر بسیار مهمی بر پاسخ لوله دارد به گونه‌ای که افزایش در سختی موجب تضعیف جدی ظرفیت تحمل لوله در برابر حرکات گسل می‌گردد. زاویه برخورد لوله با خط گسل یکی از پارامترهای مهم معرفی گردیده است. اگرچه این مطالعات نسبت به تحقیقات قبلی دقیق‌تر می‌باشد، لیکن به دلیل عدم در نظر گرفتن تاثیر طول مهاری و نیز عدم ملحوظ ساختن تفاوت مقاومت خاک نسبت به جهت حرکت قائم لوله، نیازمند اصلاح می‌باشد. با توجه به اینکه حرکات گسل در طبیعت به صورت سه بعدی می‌باشد و در مطالعات انجام شده در این زمینه [1, 2, 3, 4, 5] از این حالت صرف‌نظر شده، در مطالعه حاضر سعی می‌شود تاثیر حرکات سه بعدی گسل در پاسخ لوله‌های مدفون مورد توجه قرار گیرد.

۱- مدل

در این مطالعه خط لوله با استفاده از المان تیر تقسیم‌بندی شده است. این المان در لیست المانهای موجود نرم‌افزار Ansys تحت نام PIPE20 مشخص می‌باشد که یک المان یک محوری با قابلیت‌های کشش، فشار، خمش و پیچش می‌باشد در هر گره دارای شش درجه آزادی است. این المان قابلیت در نظر گرفتن رفتار غیر خطی هندسی و غیر خطی مصالح را داراست. دو انتهای خط لوله توسط تکیه‌گاههای گیردار به صورت کامل مهار شده است (شکل ۱). رابطه تنش - کرنش مصالح لوله در شکل ۲ آمده است.

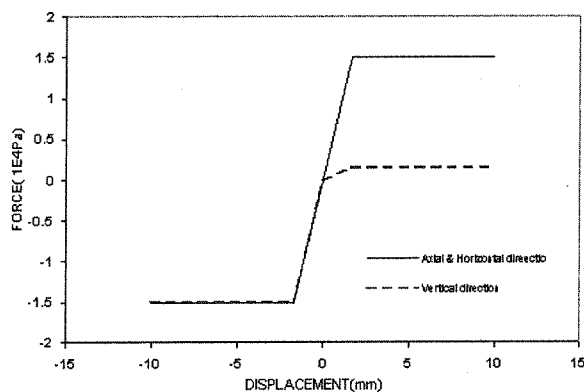


شکل (۲) منحنی مشخصه مصالح لوله.



شکل (۱) مدل سیستم لوله - خاک.

مدول الاستیسیته مصالح لوله $Pa \times 10^6 \times 2/1$ و تنش تسلیم آن $Pa \times 10^6 \times 3/66$ می‌باشد. در این مطالعه تنش سخت شوندگی فولاد برابر $Pa \times 10^6 \times 5/5$ فرض گردیده است که به ازای کرنش ۵٪ قابل دستیابی است. شکل ۳ خاک اطراف لوله توسط فنرهای غیر خطی در سه راستای محوری افقی و قائم مدلسازی گردیده است. منحنی‌های مشخصه این فنرها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل (۳) منحنی مشخصه فنرهای خاکی در راستاهای محوری، افقی و قائم.

در اینجا فرض گردیده است که مقاومت نهایی خاک در برابر حرکات بالا رونده لوله یک دهم آن در برابر حرکت پایین رونده لوله است. ضریب الاستیک خاک برابر $Pa \times 10^6 \times 9$ فرض گردیده است. در مدلسازی خاک اطراف لوله، از لغزش بین لوله و خاک صرف‌نظر شده است. لازم به ذکر است که در حالت کلی مشخصات فنرهای خاکی به قطر لوله، عمق دفن، وزن حجمی و تراکم خاک اطراف لوله و ... مرتبط است. در این مطالعه با بررسی اثرات ضریب الاستیک خاک بر پاسخ خط لوله مدفون تغییرات منحنی مشخصه فنرها به صورت ضمنی لحاظ گردیده است.

حرکات گسل به صورت سه بعدی در نظر گرفته شده است. فعالیت گسل باعث جابجایی زمین در جهات x و y به مقدار Δx ، Δy و Δz می‌شود، که محور x در راستای محور طولی لوله، محور y در جهت افق و محور z در راستای قائم در نظر گرفته شده است. زاویه تقاطع لوله با خط گسل (β) و زاویه شیب گسل (θ) مطابق زیر تعریف گردیده است:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x} \right)$$

بسته به مقادیر مختلف زاویه تقاطع و زاویه شیب، انواع گسل به شرح زیر قابل ارائه است:

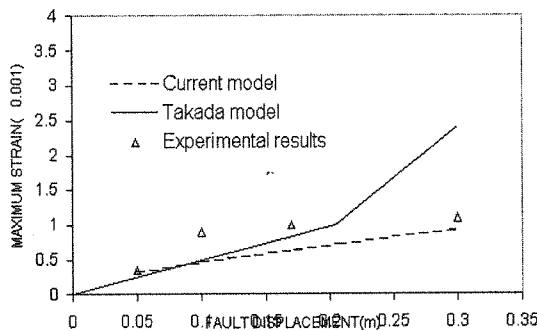
الف - گسل قائم $\beta \neq 0, \theta = 0$

ب - گسل امتداد لغز $\beta = 0, \theta \neq 0$

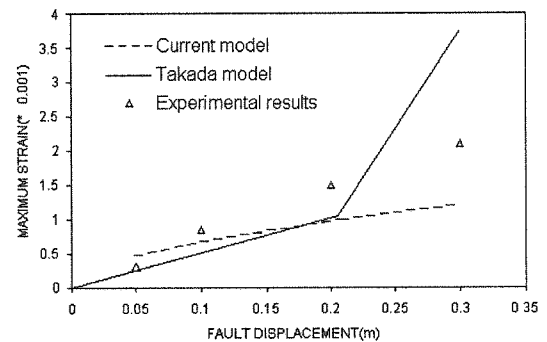
ج - گسل مورب $\beta \neq 0, \theta \neq 0$

۲- مقایسه نتایج با نتایج تحقیق کانادا

شکل ۴ و ۵ نتایج مطالعه حاضر را به ازای دو قطر مختلف لوله (به ترتیب $d=60$ و $d=30$ سانتیمتر) با نتایج حاصل از مدل تاکادا و نتایج آزمایشگاهی مندرج در مرجع [5] مقایسه نموده است. d قطر داخلی لوله است. در این شکلها مشاهده می شود که تا قبل از جابجایی 0.12 متر نظیر حرکت گسل، نتایج مطالعه حاضر با نتایج مذکور نسبتاً هماهنگ می باشد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر عمدتاً مقدار کرنش حداکثر را دست پایین برآورد می نماید که شاید بتوان علت آن را به نحوه مدلسازی تیر (مدل تیر) مرتبط دانست.



شکل (۵) مقایسه نتایج حاصل از مدل تحلیلی حاضر، مدل تاکادا و نتایج آزمایشگاهی به ازاء $D=600$ cm.



شکل (۴) مقایسه نتایج حاصل از مدل تحلیلی حاضر، مدل تاکادا و نتایج آزمایشگاهی به ازاء $D=30$ cm.

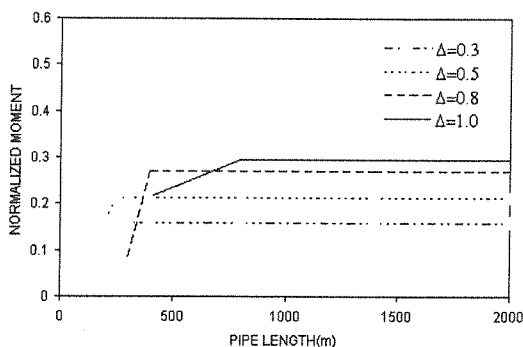
۳- مطالعات عددی

مکانیزم شکست لوله های مدفون در اثر حرکات گسل در حالت استاتیکی رخ می دهد [3]. سیستم خط لوله- فنر مورد استفاده در این تحقیق توسط نرم افزار ANSYS تحلیل غیرخطی گردیده است. در این مطالعه، تاثیر عواملی چون: نوع و جابجایی گسل، طول مهاری موثر، عمق دفن، زاویه اصطکاک خاک- لوله و مشخصات هندسی لوله بر پاسخ لوله در برابر حرکات گسل مورد بررسی قرار گرفته است. مقادیر نیروی محوری و ممان خمشی ایجاد شده در مقطع در اثر حرکات گسل توسط نیرو و ممان پلاستیک مقطع نرمال شده است.

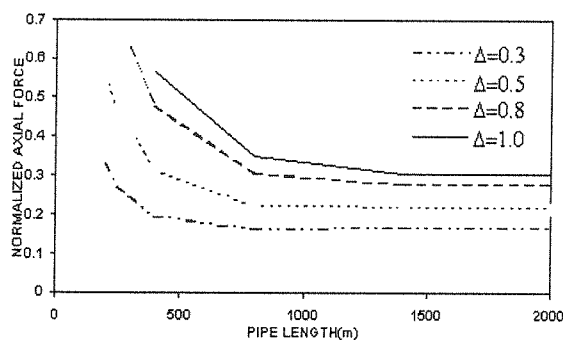
۳-۱- طول مهاری موثر

یکی از عوامل موثر بر پاسخ لوله به حرکات گسل، طول مهاری آن در طرفین گسل می باشد. در عمل، این طول می تواند توسط موقعیت خم های خط لوله، سه راهی ها و پی هایی که به طور صلب متصل شده است، تحت تاثیر قرار گیرد. طول مهاری در مدل های کندی، وانگ و چایو به میزان کافی بزرگ فرض شده است. تاکادا نتایج تحقیق خود را به ازای طول کوتاهی از مدل ارائه نموده است و لذا، تاثیر طول مهاری بر پاسخ لوله که گاه بسیار چشمگیر می باشد در مطالعه ایشان منظور نشده است. شکل های ۶، ۷ و ۸ به ترتیب تغییرات نیروی محوری، ممان خمشی و کرنش حداکثر را در اثر تحریک گسل بر حسب طول

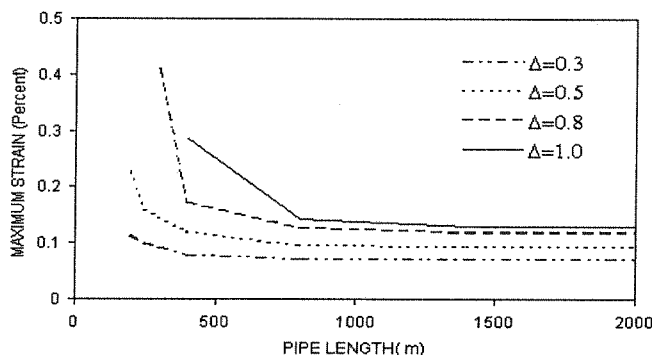
مهاری نشان می‌دهد. دیده می‌شود که افزایش طول مهاری سبب کاهش نیروی محوری و کرنش و همچنین سبب افزایش ممان خمشی می‌شود تا به مقدار ثابتی بجانب گردد. طول مهاری نظیر این مقدار ثابت که از آن به طول مهاری موثر یاد می‌شود به میزان جابجایی گسل وابسته است. به عبارت دیگر هر چه حرکات گسل بزرگتر باشد طول بیشتری از خط لوله تحت تاثیر قرار می‌گیرد. افزایش طول مهاری تا این مقدار می‌تواند تاثیر فزاینده‌ای بر ظرفیت تحمل لوله ایفا نماید اما بیش از این مقدار، تاثیر چندانی بر ظرفیت تحمل لوله نخواهد داشت.



شکل (۷) تغییرات ممان خمشی ماکزیمم بر حسب طول مهاری موثر به ازاء جابجایی‌های مختلف گسل عادی.



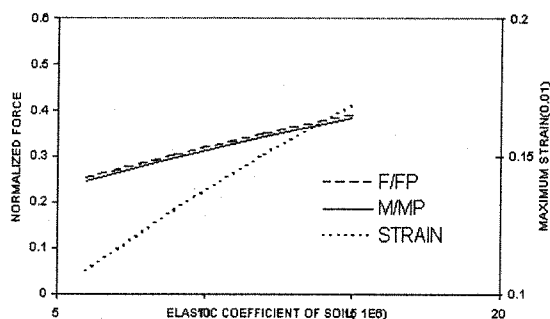
شکل (۶) تغییرات نیروی بیشینه لوله بر حسب طول مهاری موثر به ازاء جابجایی‌های مختلف گسل عادی.



شکل (۸) تغییرات کرنش ماکزیمم بر حسب طول مهاری به ازاء جابجایی‌های مختلف گسل عادی.

۳-۲- عمق دفن

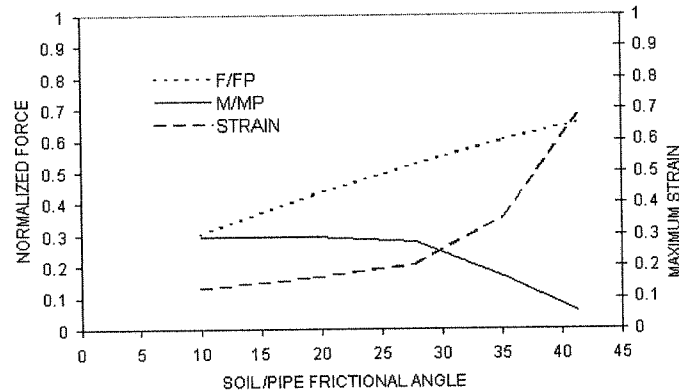
یکی از عوامل موثر بر پاسخ لوله به حرکات گسل، عمق دفن لوله می‌باشد. افزایش عمق دفن سبب افزایش مقاومت نهایی خاک و در نتیجه موجب افزایش ضریب الاستیک خاک می‌گردد. شکل ۹ تغییرات پاسخ لوله مدفون را نسبت به ضریب الاستیک خاک نشان می‌دهد. بر اساس نمودار فوق، افزایش ضریب الاستیک خاک موجب افزایش کرنش ایجاد شده در لوله می‌گردد. بر این اساس و به منظور افزایش ظرفیت تحمل خط لوله در برابر حرکات گسل لازم می‌آید عمق دفن لوله به حداقل ممکن محدود گردد.



شکل (۹) تغییرات پاسخ لوله مدفون در برابر حرکات گسل بر حسب ضریب الاستیک خاک.

۳-۳- زاویه اصطکاک جداره لوله - خاک (δ)

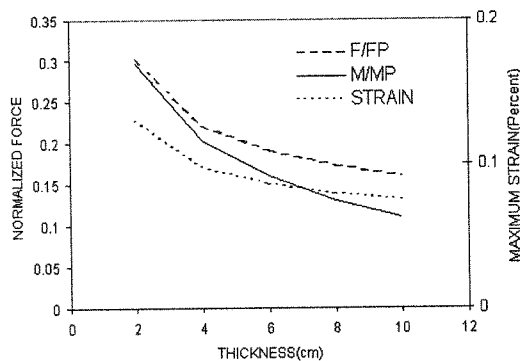
یکی دیگر از عوامل موثر بر پاسخ لوله به فعالیت گسل، زاویه اصطکاک جداره لوله با خاک اطراف آن می‌باشد. مقدار δ بستگی به مشخصات فصل مشترک مصالح سازه‌ای و خاک دارد. زاویه اصطکاک بین ماسه و فولاد صیقلی بین 0.5ϕ تا 0.7ϕ تغییر می‌کند در حالی که این مقدار برای فولاد زیر در محدوده 0.7ϕ تا 1ϕ می‌باشد. ϕ زاویه اصطکاک داخلی می‌باشد. شکل ۱۰ تغییرات پاسخ لوله را نسبت به زاویه اصطکاک خاک لوله نشان می‌دهد. دیده می‌شود که افزایش زاویه اصطکاک سبب افزایش نیروی محوری و کرنش و نیز موجب کاهش ممان خمشی در مقطع می‌گردد.



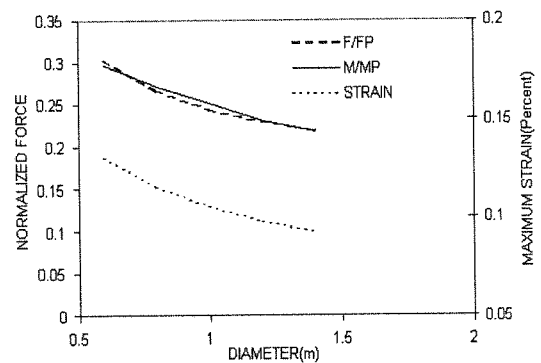
شکل (۱۰) تغییرات پاسخ لوله بر حسب زاویه اصطکاک جداره لوله - خاک.

۳-۴- مشخصات هندسی لوله

شکل‌های ۱۱ و ۱۲ تغییرات پاسخ لوله در برابر حرکات گسل را به ترتیب نسبت به قطر لوله و ضخامت دیواره آن نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای فوق دیده می‌شود که افزایش این دو عامل باعث کاهش پاسخ لوله می‌گردد. بر این اساس افزایش ضخامت و نیز افزایش قطر لوله سبب افزایش ظرفیت تحمل خط لوله در برابر حرکات گسل می‌گردد، البته توجه به نسبت قطر و ضخامت به منظور کنترل ناپایداری موضعی جداره لوله امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.



شکل (۱۲) تغییرات پاسخ لوله مدفون بر حسب ضخامت جداره لوله.

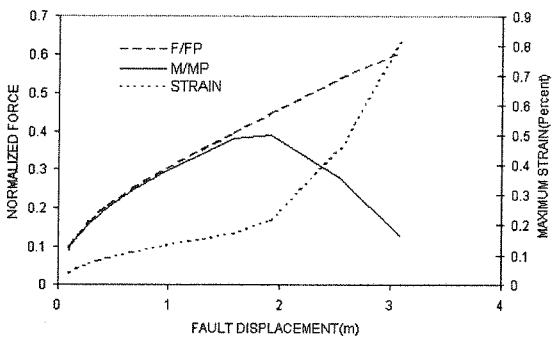


شکل (۱۱) تغییرات پاسخ لوله بر حسب قطر لوله.

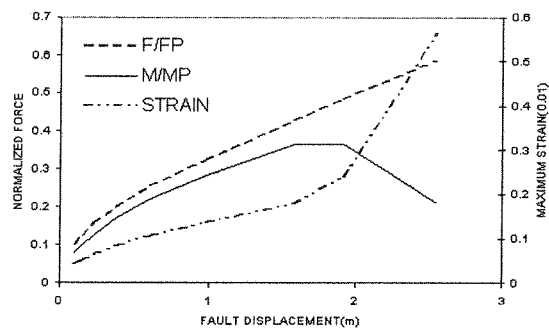
۳-۵- جابجایی گسل (Δ)

یکی از مهمترین عوامل موثر بر پاسخ لوله به حرکات گسل، میزان جابجایی آن می‌باشد. شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ تغییرات پاسخ لوله را نسبت به جابجایی گسل مورب به ازای $\beta = 45^\circ$ و مقادیر مختلف زاویه شیب گسل نشان می‌دهد، مشاهده می‌گردد که با افزایش جابجایی گسل به مقادیر نیروی محوری و کرنش ماکزیمم افزوده می‌شود. لیکن مقدار ممان خمشی مقطع ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. مقدار حداکثر ممان به ازای جابجایی نظیر کرنش تسلیم فولاد رخ می‌دهد. سیر نزولی ممان مقطع پس از این نقطه می‌تواند به دلیل کاهش سختی خمشی لوله پس از رسیدن به مرحله پلاستیک باشد. با توجه به نمودارهای فوق می‌توان نتیجه گرفت که به ازای مقادیر بزرگ جابجایی گسل، می‌توان از تاثیر ممان خمشی بوجود آمده در

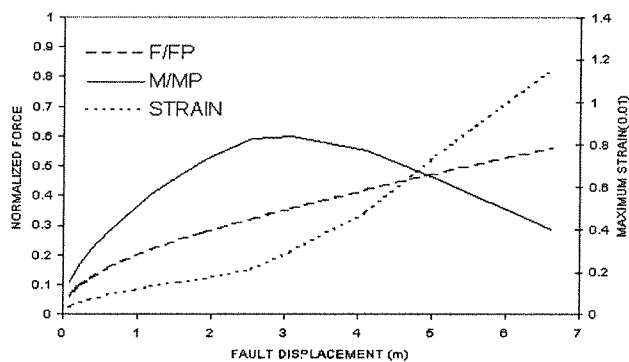
مقطع صرفنظر نموده و در نتیجه گسیختگی لوله را فقط ناشی از اثر نیروی محوری دانست. طبق مطلب فوق به نظر می‌رسد که استفاده از مدل کندی برای جابجایی‌های بزرگ قابل توجیه باشد.



شکل (۱۴) تغییرات پاسخ لوله مدفون به حرکات گسل مورب (۴۵=θ و ۴۵=β) بر حسب جابجایی گسل.



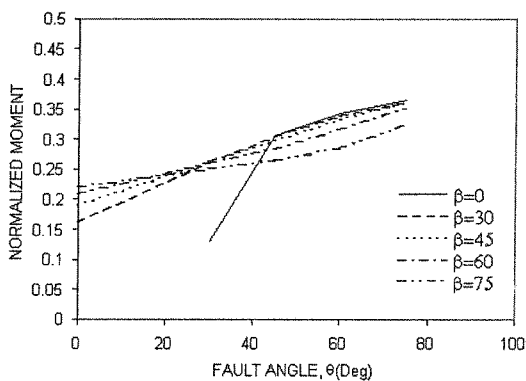
شکل (۱۳) تغییرات پاسخ لوله مدفون به حرکات گسل مورب (۳۰=θ و ۴۵=β) بر حسب جابجایی گسل.



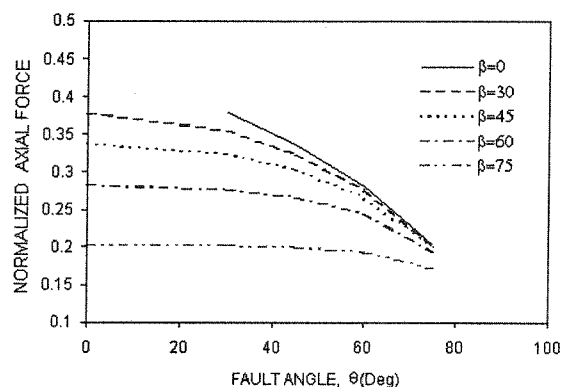
شکل (۱۵) تغییرات پاسخ لوله مدفون به حرکات گسل مورب (۷۵=θ و ۴۵=β) بر حسب جابجایی گسل.

۳-۶- زاویه شیب گسل (θ)

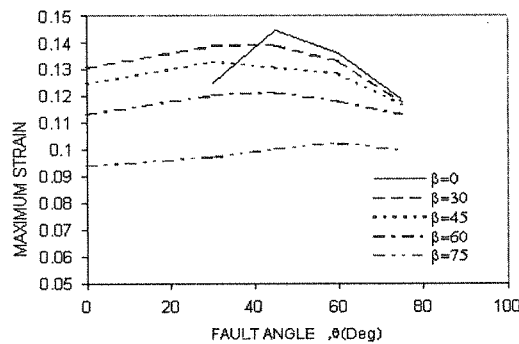
اشکال ۱۶، ۱۷ و ۱۸ تغییرات پاسخ لوله در برابر حرکات گسل را نسبت به زاویه شیب گسل به ازای مقادیر مختلف زاویه تقاطع β نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که افزایش زاویه شیب θ سبب کاهش نیروی محوری و افزایش ممان خمشی می‌شود. مقدار کرنش بوجود آمده در خط لوله برای مقادیر کوچک β، با افزایش زاویه شیب، افزایش و سپس کاهش می‌یابد. در حالی که مقدار کرنش برای زوایای تقاطع بزرگ (β > 75) تقریباً مستقل از θ به نظر می‌رسد. از سوی دیگر دیده می‌شود که به ازای (θ > 45) کرنش نظیر β=0 بیشترین مقدار را نسبت به دیگر مقادیر β حائز است.



شکل (۱۷) تغییرات ممان خمشی ماکزیمم بر حسب زاویه شیب گسل عادی.



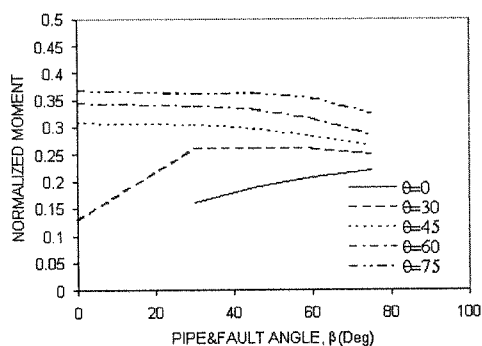
شکل (۱۶) تغییرات نیروی محوری بیشینه بر حسب زاویه شیب گسل عادی.



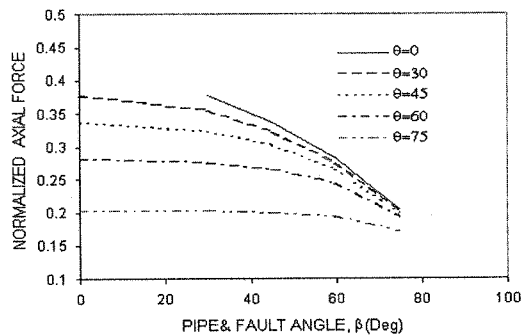
شکل (۱۸) تغییرات کرنش محوری ماکزیمم بر حسب زاویه شیب گسل عادی.

۳-۷- زاویه تقاطع لوله با خط گسل (β)

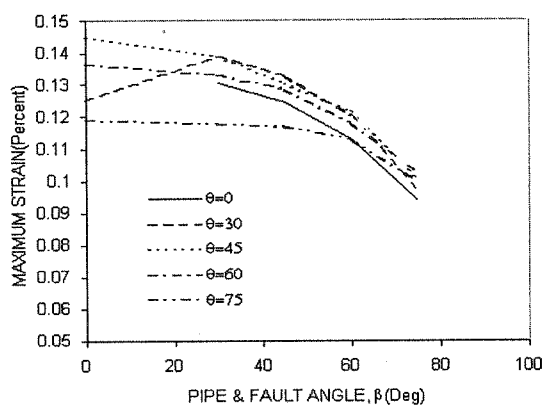
شکل ۱۹ تغییرات نیروی محوری ایجاد شده در لوله بر اثر حرکت گسل مورب بر حسب مقادیر مختلف θ را نسبت به زاویه تقاطع لوله با گسل (β) نشان می‌دهد. دیده می‌شود که مقادیر θ و روند تغییرات تقریباً مطابق با آن در شکل ۱۳ می‌باشد. شکل ۲۰ تغییرات ممان خمشی مقطع را نسبت به عامل فوق نشان می‌دهد. دیده می‌شود که به ازای مقادیر کوچک، افزایش زاویه β سبب افزایش ممان خمشی می‌گردد. لیکن برای مقادیر بزرگتر θ ، ممان خمشی مقطع مستقل از β به نظر می‌رسد. شکل ۲۱ تغییرات کرنش ماکزیمم را نسبت به زاویه تقاطع β نشان می‌دهد. بر این اساس افزایش زاویه تقاطع لوله با خط گسل موجب افزایش ظرفیت تحمل لوله در برابر حرکات گسل می‌گردد.



شکل (۲۰) تغییرات ممان خمشی ماکزیمم بر حسب زاویه تقاطع لوله با گسل عادی.



شکل (۱۹) تغییرات نیروی محوری بیشینه بر حسب زاویه تقاطع لوله با گسل.



شکل (۲۱) تغییرات کرنش محوری ماکزیمم بر حسب زاویه تقاطع لوله با گسل عادی.

۴- نتایج

در مطالعه حاضر که لوله مدفون به صورت تیر و خاک اطراف به صورت فنرهای غیر خطی مدل گردیده است با انجام مطالعات پارامتری جامعی که دربر گیرنده حالات مختلف حرکات سه بعدی گسل می‌باشد مورد ارزیابی قرار گرفته است. اهم

نتایج حاصل به شرح زیر می‌باشد:

- افزایش طول مهارای لوله در طرفین گسل تا مقدار موثر آن، موجب بالا بردن ظرفیت تحمل لوله در برابر تحریکات گسل می‌گردد. لذا تا جایی که ممکن است خطوط لوله بایستی در محدوده خط گسل، بدون خم‌های محلی، زانوها و زوائدی که باعث مهار خط لوله می‌گردد ساخته شود.

- عمق دفن از عوامل موثر بر پاسخ لوله به حرکات گسل می‌باشد. پیشنهاد می‌شود که برای افزایش ظرفیت تحمل لوله، عمق دفن تا حد ممکن کمینه گردد.

- افزایش ضخامت جداره لوله و افزایش قطر لوله سبب افزایش ظرفیت تحمل لوله در برابر حرکات گسل می‌گردد.

- کاهش زاویه اصطکاک جداره لوله و خاک اطراف آن نیز ظرفیت تحمل لوله را بالا می‌برد. بدین منظور می‌توان با استفاده از پوشش‌های مناسب برای لوله، زاویه فوق را کاهش داد.

- در اثر حرکات سه بعدی گسل (گسل مورب)، مقدار کرنش حداکثر برای زوایایی تقاطع بزرگ ($\beta > 75$) تقریباً مستقل از زاویه شیب گسل (θ) می‌باشد. لذا می‌توان با فرض $\theta = 0$ (معادل دو بعدی آن)، لوله را بر اساس تحریکات دوبعدی گسل تحلیل و طراحی نمود.

- در اثر حرکات سه بعدی گسل (گسل مورب)، مقدار کرنش نظیر $\beta = 0$ به ازاء $\theta > 45$ بیشترین مقدار را نسبت به مقادیر β دارد. لذا، می‌توان در این حالت با فرض $\beta = 0$ (معادل دو بعدی آن)، لوله را بر اساس حالت دو بعدی مدلسازی و تحلیل نمود.

تقدیر و تشکر

در تحقیق حاضر پاره‌ای از نتایج حاصل از پروژه تحقیقاتی "پاسخ لوله‌های مدفون در برابر حرکات گسل و ارائه تمهیدات ویژه اجرایی" که در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و با حمایت کمیته تخصصی زلزله و لغزش لایه‌های زمین کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی صورت گرفته، ارائه گردیده است. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند بدینوسیله مراتب سپاس و تشکر خود را از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و کمیته تخصصی زلزله و لغزش لایه‌های زمین کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی اعلام دارند.

مراجع

- [1] Newmark, N.M., and Hall, W.J., "Pipeline design to resist large fault displacement", Proceeding of the U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Oakland, pp: 416- 425, 197
- [2] Kennedy, R.P., Chow, A.W., and Williamson, R.A., "Fault movement effects on buried oil pipeline", Journal of Transport Engineering, ASCE, Vol: 105, pp: 119- 134, 1979.
- [3] Wang, L.R.L., and Yeh, Y.H., "A refined seismic analysis and design of buried pipeline for fault movement", Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol: 13, pp: 75- 96, 1985
- [4] Chiou, Y.J., Chi, S.Y., and Chang, H.Y., "A study on buried pipeline response to fault movement" Journal of Pressure Vessel Technology, ASCE, Vol: 116, 1994.
- [5] Takada, S., Liang, J.W., Li, T., "Shell- mode response of buried pipeline to large fault movement", Journal of Structural Engineering, Vol: 44A, pp: 1637- 16458, 1998.