

مطالعه عددی رفتار لوله های مدفون در خاک در برابر گسل معکوس

امین منشی زاده نائین^{1*}، سید احسان سیدی حسینی نیا²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

2- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

amin.monshizadehnaeen@stu.um.ac.ir

چکیده

از جمله تهدیدهای بسیار جدی برای خطوط لوله مدفون تغییر شکل های بزرگ و ماندگار زمین و در رأس آن حرکات گسل است. خسارات سنگین ناشی از گسیختگی لوله های مدفون سبب شده است که در سال های اخیر این موضوع مورد تحلیل و بررسی بسیاری از محققان قرار بگیرد. در سال 2012 رفوئی و همکاران برای شناخت بهتر رفتار لوله های مدفون در برابر گسل معکوس، اقدام به مدل سازی بزرگ مقیاس گسل معکوس نمودند. در این مقاله این آزمایش به کمک نرم افزار المان محدود ABAQUS مدل سازی شده است. نتایج مدل سازی به روش اجزای محدود نشان داد که این روش با دقت خوبی می تواند شرایط مدل آزمایشگاهی را شبیه سازی کند. با انجام مطالعات پارامتری تأثیر عوامل مؤثر در رفتار لوله های مدفون نظیر نسبت قطر به ضخامت لوله، مشخصات سطح لوله و مشخصات مصالح خاک ریز مورد بررسی قرار گرفت. و نتایج نشان داد تغییر هر یک از این پارامترهای بر پاسخ لوله در برابر حرکات گسل تأثیر گذار است.

واژه های کلیدی: لوله مدفون، گسل معکوس، اندرکنش خاک و لوله، روش اجزای محدود، نرم افزار ABAQUS

1- مقدمه

خطوط لوله مدفون غالباً برای انتقال آب، فاضلاب، نفت، گاز و سایر مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد. خطوط لوله در هر کشوری جز شریان‌های حیاتی آن کشور به حساب می‌آید چراکه حامل موادی است که برای حفظ حیات بشر ضروری است. اگر تأسیساتی در یک زلزله صدمه ببیند، نه تنها بیم تلف شدن خدمات و محصولات می‌رود، بلکه احتمال اینکه چنین صدمه‌ای برای کارکنان آن تأسیسات، محیط زیست و عامه مردم مستقیماً خطر آفرین باشد، وجود دارد. از جمله تهدیدهای بسیار جدی برای خطوط لوله بلایای طبیعی و در رأس آن زلزله است. زلزله از طریق عواملی همچون تغییر شکل‌های ناشی از انتشار امواج زلزله و یا تغییر شکل‌های بزرگ ماندگار در سطح زمین (PGD)¹ خطوط لوله را تهدید می‌نماید. تغییر شکل‌های ماندگار زمین می‌تواند ناشی از پدیده‌هایی چون فعالیت گسل، زمین لغزش و روانگرایی خاک باشد. در این میان از فعالیت گسل می‌توان به عنوان مؤثرترین اصل در تعیین رفتار لوله‌های مدفون نام برد. اگرچه خطرات ناشی از PGD غالباً ناحیه‌ی محدودی از خطوط لوله را تحت تأثیر قرار می‌دهند اما پتانسیل خرابی آن‌ها بسیار بالا است چراکه تغییر شکل‌های بزرگی به خطوط لوله اعمال می‌شود. از طرف دیگر خطرات ناشی از انتشار امواج زلزله کل شبکه خطوط لوله را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما نرخ صدمات ناشی از آن پایین است [1]. بررسی‌های انجام شده بر روی خرابی لوله‌های مدفون در اثر وقوع زلزله، مؤید این موضوع است که برخلاف سازه‌های روزمینی، بارهای حاصل از ارتعاشات لرزه‌ای، علت اصلی انهدام لوله‌های مدفون نیست، بلکه حرکات بزرگ زمین عامل عمده خرابی لوله‌ها است. به عبارت دیگر خطوط لوله مدفون معمولاً توانایی تحمل امواج زلزله را دارا است، اما غالباً نمی‌تواند حرکات بزرگ زمین را تحمل نمایند.

آسیب‌پذیری خطوط لوله در مقابل زلزله، در بسیاری از زلزله‌های گذشته مشاهده شده است و گزارش‌های جامعی در این باره وجود دارد. صدمات وارد شده به لوله‌های گذرنده از گسل‌های فعال در زلزله‌های ایران، ترکیه و تایوان از جمله تجاربی هستند که تأثیر وقوع گسل بر لوله‌ها را به وضوح نشان می‌دهند. از آن جمله می‌توان به کماتش خطوط لوله تأمین آب در زلزله 1990 منجیل ایران به دلیل رخداد گسلش معکوس، نشست آب از لوله فولادی با قطر 2/2 متری در زلزله 1999 کوچالی ترکیه به دلیل وقوع گسل امتداد لغز با سه متر جابه‌جایی و صدمات وارد شده به لوله‌های مدفون به دلیل وقوع گسلش نرمال طی زلزله 1999 چی‌چی تایوان اشاره کرد [2]، که در آن 48 درصد خرابی‌ها مربوط به انتشار امواج و 52 درصد خرابی‌ها مربوط به روانگرایی، فروریزی زمین، ایجاد ترک در زمین، جابه‌جایی افقی زمین و جابه‌جایی عمودی زمین بود و مشخص گردید که در صد بالایی از شکست‌ها مربوط به جابه‌جایی‌های ماندگار زمین بوده است [3].

اهمیت خطوط لوله به عنوان یکی از شریان‌های حیاتی زندگی بشر امروزی، محققان را به انجام مطالعات زیادی در زمینه رفتار لوله‌های گذرنده از گسل وادار نموده است. از اولین پیشگامانی که به پیش‌بینی رفتار مکانیکی خطوط لوله تحت جابه‌جایی گسل پرداخت می‌توان از نیومارک و هال² [4] نام برد که در سال 1975 لوله را به صورت کابل فرض کردند و فقط تغییر شکل محوری را در نظر گرفتند و از مقاومت جانبی خاک و سختی خمشی خط لوله صرف‌نظر کردند. کندی و همکاران³ [5] در سال 1977، کار نیومارک را ادامه دادند، با این فرضیات که مقاومت جانبی خاک را در نظر گرفتند. ولی همچنان از سختی خمشی لوله صرف‌نظر کردند. ووگیوکاس و همکاران⁴ [6] نیز با در نظر گرفتن هر دو حرکت عمودی و افقی گسل‌ها به انجام مطالعات عددی بر روی لوله‌های

¹ Permanent Ground Displacement

² Newmark and Hall

³ Kennedy et al.

⁴ Vougioukas et al.

مدفون پرداختند، مک کافری¹ [7] و دسموند² [8] نیز به مطالعه کرنش لوله‌ای گذرنده از روی گسل‌ها با توجه به اطلاعات موجود از عملکرد لوله‌های نفت و گاز در طی زلزله سن فرناندو پرداختند. مدل‌های تحلیلی با کار وانگ³ و همکاران⁴ و کارامیتروس و همکاران⁵ ادامه یافت، طرح اتخاذ شده توسط وانگ و یه⁶ [9] بر اساس تقسیم لوله به چهار قسمت بود، دو قسمت در ناحیه انحنای بالا در دو طرف خط گسل به عنوان قوس دایره‌ای و دو قسمت خارج از این منطقه به صورت تیر بر روی بستر الاستیک است. به‌طور خاص این مدل نمی‌تواند اثر نیروی محوری بر سختی خمشی را محاسبه کند. کار انجام گرفته توسط کارامیتروس [10] به معرفی تعدادی اصلاحات روش‌های ذکر شده بالا پرداخت. یک خط لوله به چهار قسمت تقسیم‌بندی شد که بر اساس نظریه تیر بر روی بستر الاستیک و نظریه الاستیک تیر تحلیل شده است. علاوه بر روش‌های تحلیلی، روش‌های عددی مدرن مبتنی بر اساس روش‌های المان محدود، اجازه انجام تحلیل‌های جزئی که شامل موارد ضروری و غیرخطی هندسی هست را به مهندسین می‌دهد. از جمله روش‌های عددی انجام گرفته با کمک نرم‌افزارهای مبتنی بر روش عددی المان محدود، می‌توان به کارهای اریمن و لی⁶ [11] در ارزیابی کرنش لوله با کمک مدل المان محدود، و میرسون⁷ [12] در مطالعه کرنش لوله با کمک نرم‌افزار المان محدود یونی پایپ⁸ و مطالعات تحلیلی و عددی انجام شده بر روی لوله‌های پیوسته توسط ارورک و لیو⁹ [1] اشاره نمود. تاکادا و همکاران [13] در سال 2001 به مطالعه رابطه بین بیشینه کرنش ایجاد شده در لوله و زاویه خمیدگی لوله با کمک روش المان محدود پرداختند. برای این منظور آن‌ها شرایط مختلفی از لوله و گسل را مورد مطالعه قرار دادند. در سال 2012 وازورس و همکاران [14] به مدل‌سازی لوله مدفون در خاک تحت حرکات گسل امتداد لغز و با کمک نرم‌افزار آباکوس پرداختند و اثر پارامترهایی چون جهت‌گیری لوله نسبت به گسل، نسبت عمق دفن به قطر لوله و تنش تسلیم خاک بر کرنش خمشی لوله را، مورد بررسی قرار دادند. رفوئی و همکاران [15] نیز در سال 2012 با کمک جعبه دویخشی¹⁰ شبیه‌ساز گسلش به مدل‌سازی بزرگ مقیاس گسل معکوس پرداختند و اثر پارامترهای مختلف بر رفتار لرزه‌ای لوله را مطالعه قرار دادند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اغلب مدل‌سازی‌های انجام شده در این سری تحقیقات به دلیل سهولت مدل‌سازی، متمرکز بر گسلش امتداد لغز بوده است و تنها تعداد کمی از مطالعات مربوط به گسل نرمال و معکوس بوده است.

2- اندرکنش خاک و لوله

صدمات وارده بر لوله‌های مدفون در خاک در طی یک زلزله، ناشی از نیروها و تغییر شکل‌هایی است که از طریق سطح اندرکنش لوله و خاک به آن‌ها وارد می‌گردد. در واقع حرکت زمین سبب ایجاد تغییر شکل در لوله می‌شود. در بعضی از مطالعات گذشته لوله را به صورت دوبعدی به صورت تیر مدل کرده و در طرفین لوله یک انحنای ثابت در نظر می‌گرفتند، هیچ‌گونه نیروی اندرکنشی به مدل اعمال نمی‌کردند و فقط یک نیروی اصطکاکی بین لوله و فنر فرض می‌کردند در نتیجه به جواب‌های دست بالا و محافظه‌کارانه می‌رسیدند. در اکثر کارهای اخیر، لوله به صورت سه‌بعدی فرض شده و برای در نظر گرفتن اندرکنش بین لوله و خاک از فنرهای معادل خاک در سه جهت افقی، قائم محوری استفاده کردند. در این روش که یکی از رایج‌ترین مدل‌ها به شمار می‌آید از المان تیر

¹ MaCaffrey

² Desmond

³ Wang et al.

⁴ Karamitros et al.

⁵ Wang and Yeh

⁶ Ariman and Lee

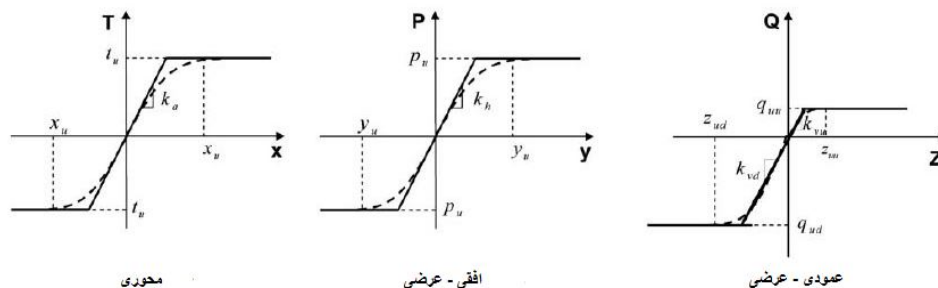
⁷ Meyersohn

⁸ Unipip finite element software

⁹ O'Rourke And Liu

¹⁰ split-box

برای لوله، و فنر معادل برای اندرکنش خاک و لوله استفاده شده است. آیین نامه *ASCE* [16] سختی فنرهای معادل خاک را به صورت دوخطی مطابق شکل (1) ارائه داده است.



شکل (۱) رابطه نیرو - جابه‌جایی در اندرکنش خاک و لوله [16]

مدل الاستیک-پلاستیک پیشنهاد شده توسط این آیین‌نامه با دو گروه پارامتر اصلی تعریف می‌شود، دسته اول پارامترهای مقاومتی t_u ، p_u و q_u که به ترتیب بیشینه مقاومت در جهات افقی-محوری، افقی-عرضی و عمودی-عرضی را به نیرو در واحد طول نشان می‌دهند و دسته دوم پارامترهای x_u ، y_u و z_u هستند که بیشینه تغییر شکل‌های الاستیک را در واحد طول نشان می‌دهند. ضرایب فنرهای الاستیک معادل خاک که دارای واحد نیرو بر سطح هستند به راحتی از نسبت تقسیم بیشینه مقاومت بر نصف بیشینه تغییر شکل الاستیک حاصل می‌شود ولی همچنان در این روش نیز احتمال بروز خطا وجود داشت. در این مقاله با توجه به در نظر گرفتن خاک به صورت پیوسته سه بعدی، نیازی به در نظر گرفتن فنرهای معادل خاک نیست و برای در نظر گرفتن اندرکنش بین سطوحی که باهم سطح مشترک دارند از ویژگی‌هایی که در نرم افزار آباکوس است، استفاده شده است. این نرم افزار از دو ایده استفاده می‌کند. حالت اول به عنوان مثال در مسئله لوله و خاک المان‌های لوله و خاک مستقیماً به هم متصل شده و دارای گره مشترک می‌باشند. این روش دارای مزیت و معایبی است که از مزیت آن سرعت بالای حل مسئله در آنالیز اجزای محدود است. در حالت دوم المان‌های لوله و خاک دارای گره‌های جداگانه بوده و به وسیله مدل سازی تماس که در آباکوس قابل تعریف است، باهم اندرکنش دارند. این روش دارای عیب هزینه بسیار بالای محاسبات است ولی به جهت اعمال کردن دقت بالا در مسئله و تطابق بهتر مدل سازی با واقعیت از این روش در این مقاله استفاده شده و جهت جبران زمان حل مسئله از تحلیل صریح استفاده شده است. اندرکنش سطوح برخورد از دو جزء تشکیل شده است. یک مؤلفه عمود بر سطح و یک مؤلفه مماسی، که مؤلفه مماسی متشکل از حرکت نسبی (لغزش) سطوح و تنش‌های برشی ایجاد شده بر اثر اصطکاک است.

3- مدل سازی المان محدود

در این مقاله آزمایش رفوئی و همکاران [15] با کمک نرم افزار آباکوس به صورت سه بعدی مدل سازی گردید. برای این منظور ابتدا شرایط هندسی مسئله مطابق جدول (1) مدل سازی گردید.

جدول (1) مشخصات هندسی آزمایش

ابعاد مدل (m)	میزان جابه جایی گسل (mm)	زاویه شیب گسل (درجه)	نسبت عمق دفن به قطر	عمق دفن (m)	نسبت قطر به ضخامت	ضخامت (mm)	قطر (m)
2×1/7×8	600	61	8/8	1	26	4/4	114/3

از المان *solid* نوع *C3D8R* برای مدل سازی خاک و از المان *Shell* نوع *S4R*، برای مدل سازی لوله استفاده شد ماهیت این المان ها به گونه ای است که می توانند رفتارهای پیچیده غیر خطی، مانند چین خوردگی ایجاد شده در لوله را مدل سازی کنند. مدل رفتاری اختصاص یافته به لوله پلی اتیلن با چگالی بالا بر اساس رابطه رمبرگ-اسگود است که رابطه تنش کرنش آن به صورت زیر است:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_i} \left[1 + \frac{n}{(r+1)} \left(\frac{\sigma}{\sigma_o} \right)^r \right] \quad (1)$$

که در این رابطه $\square$ کرنش و $\square$ تنش و E_i مدول کشسانی اولیه بر حسب مگا پاسکال است. بقیه پارامترها در جدول شماره (2) آورده شده است.

جدول (2) پارامترهای رابطه رمبرگ-اسگود

$E_i (MPa)$	$\sigma_o (MPa)$	n	r
210000	320	17/896	9/3

مدل رفتاری خاک نیز مدل مور-کولمب در نظر گرفته شد تا بتواند رفتار کشسان-خمیری خاک را به خوبی شبیه سازی کند. ویژگی های خاک ریز ماسه ای استفاده شده در آزمایش مطابق جدول (3) است.

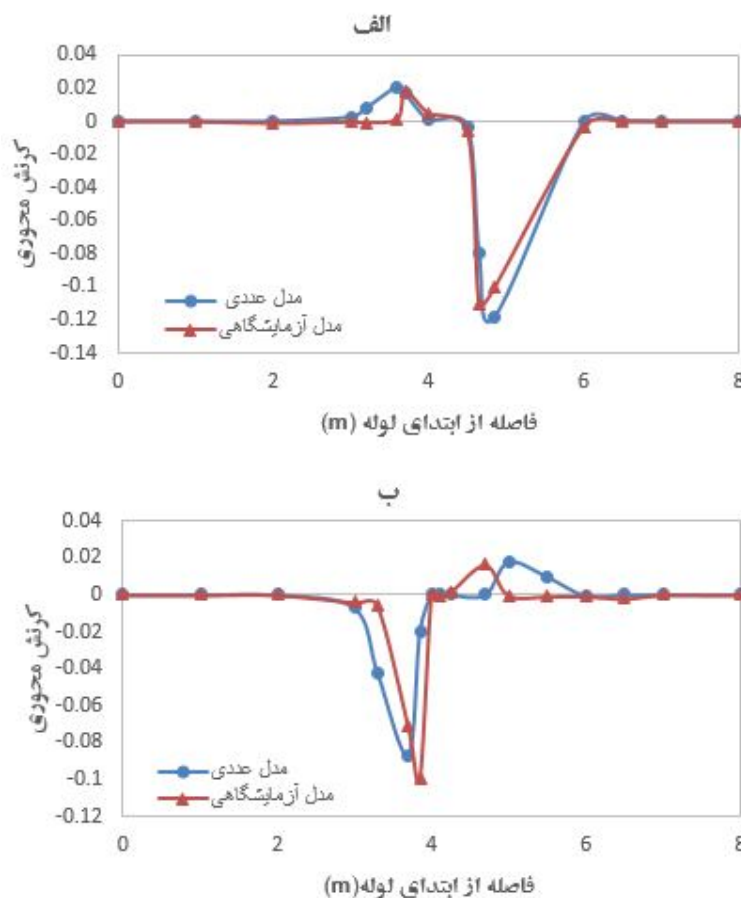
جدول (3) مشخصات خاک ریز ماسه ای

ضریب انحناء، C_c	ضریب یکنواختی، C_u	اندازه متوسط دانه ها، D_{50} (mm)	زاویه اصطکاک (درجه)	چگالی دانه های جامد G_s	وزن مخصوص خشک خاک، $\gamma_d \left(\frac{KN}{m^3} \right)$
1/01	6/69	1/1	33/5	2/56	17/9

با توجه به تغییر شکل های بزرگ ایجاد شده در مدل و طول زیاد سطح اندرکنش خاک و لوله و ماهیت شبه الاستاتیکی جابه جایی در گسل، از آنالیز *Dynamic Explicit* استفاده شد. خاک توسط دو بلوک متشابه مدل شد که اعمال بارگذاری به صورت جابه جایی نسبی بین دو بلوک است. قبل از اعمال حرکات گسل معکوس، ابتدا نیروی گرانش به کل مدل اعمال گردید تا شرایط تنش برجا در مدل سازی حاکم شود و سپس در گام بعدی جابه جایی گسل به صورت *Smooth Step* اعمال شد. برای این منظور دیواره ها و کف فرودپواره در تمام جهات مقید و جابه جایی به میزان 600 میلی متر در امتداد شیب گسل به کف و دیواره های فرادپواره اعمال شد. برای در نظر گرفتن اندرکنش لوله و خاک از المان تماسی *Surface to Surface* استفاده شده است.

4- صحت سنجی

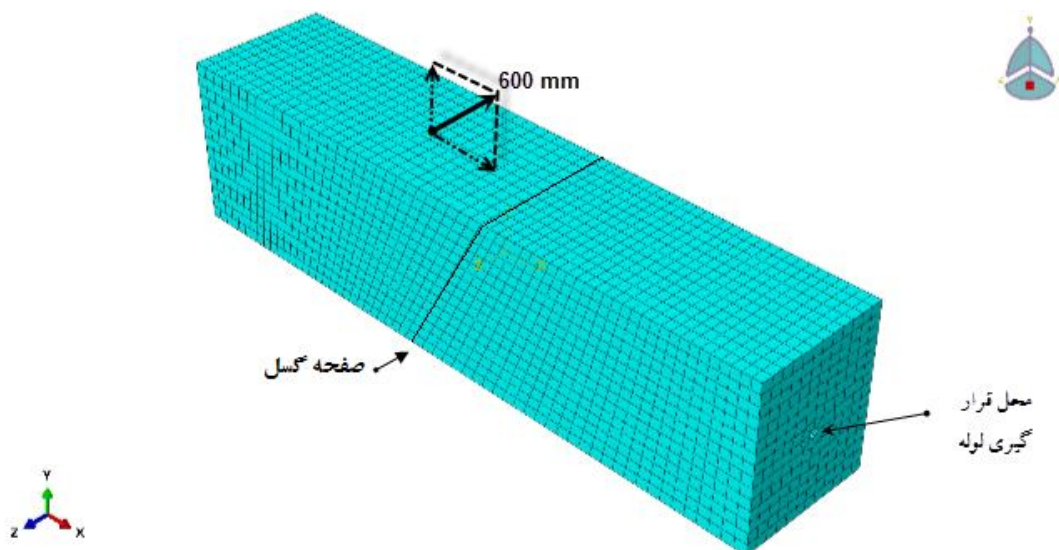
جهت صحت سنجی مدل سازی انجام شده با نرم افزار آباکوس، نتایج آن با مدل آزمایشگاهی رفوئی و همکاران [15] مقایسه گردید. برای این منظور مدلی مطابق با مشخصات و پارامترهای درج شده در جداول (1)، (2) و (3) و مطابق با توضیحات بخش قبل ساخته شد. شکل (2) نتایج این مقایسه را نشان می دهد. همان طور که در شکل نیز مشاهده می گردد تطابق خوبی بین نتایج نرم افزار و مدل آزمایشگاهی وجود دارد.



شکل (2) تغییرات کرنش محوری برای الف) سطح پایین لوله و ب) سطح بالای لوله

5- مطالعه عددی

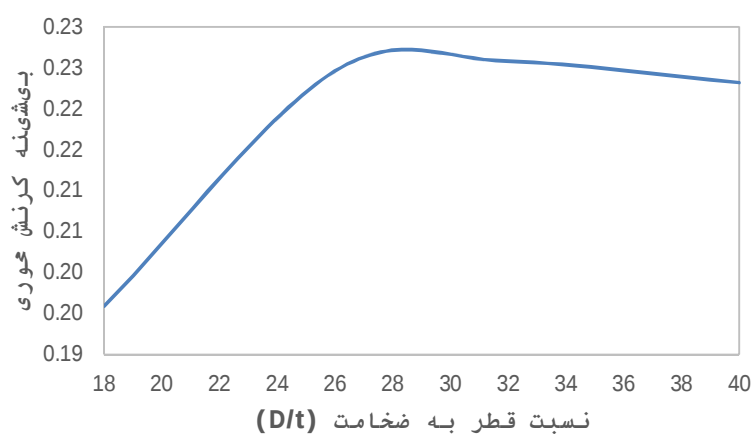
در این بخش به مطالعه اثر پارامترهای مختلف نظیر نسبت عمق دفن، اثرات آلوده سطحی لوله و نوع خاک ریز بر پاسخ لوله های مدفون در خاک در برابر حرکات گسل پرداخته شده است. برای این منظور چندین مدل با نسبت های مختلف قطر به ضخامت، مشخصات سطح لوله و مصالح خاک ریز مختلف ساخته و تحلیل گردید. شکل (3) مدل سازی انجام شده با نرم افزار آباکوس را نشان می دهد.



شکل (3) مدل سازی انجام شده با نرم افزار

1-5 بررسی اثر ضخامت جدار لوله

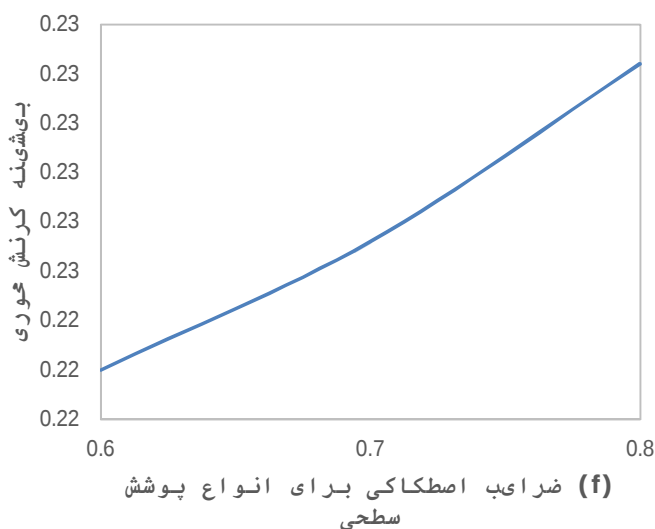
برای این منظور تغییرات بیشینه کرنش محوری برای نسبت های قطر به ضخامت (D/t) 18، 26، 32 و 40 مورد مطالعه قرار گرفت. شکل (4) نتایج این مطالعه را نشان می دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود اگرچه برای نسبت های قطر به ضخامت بزرگ تر از 32 مقادیر بیشینه کرنش محوری اندکی کاهش می یابد اما این مقادیر در مقایسه با نسبت های قطر به ضخامت کوچک تر مقادیر بسیار بزرگ تری دارند و لذا در مجموع به لوله های با نسبت قطر به ضخامت کوچک تر کرنش های کمتری اعمال می شود.



شکل (4) تغییرات بیشینه کرنش محوری با تغییرات نسبت قطر به ضخامت لوله

2-5 بررسی اثر ویژگی های سطح لوله

ویژگی های سطح لوله و نوع اندود سطحی لوله بر زاویه اصطکاک داخلی بین لوله و خاک تأثیرگذار است [17]. در این مطالعه با فرض سه نوع پوشش سطحی اپوکسی، صاف، سخت ضرایب اصطکاک f 0/6، 7/0 و 0/8 اختیار گردید تا تأثیر ویژگی های سطح لوله بر پاسخ لوله مورد مطالعه قرار گیرد. شکل (5) نتایج این مطالعه را نشان می دهد. همان طور که در این شکل ملاحظه می گردد با افزایش ضریب اصطکاک f ، مقادیر بیشینه کرنش محوری افزایش می یابد.

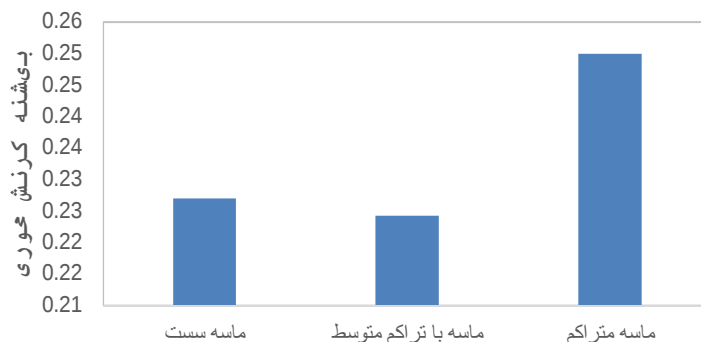


شکل (5) تغییرات بیشینه کرنش محوری با تغییر ضریب اصطکاک سطح لوله

3-5 بررسی اثر نوع خاک ریز

در این بخش با در نظر گرفتن سه نوع خاک ریز برای محیط اطراف لوله به مطالعه اثر نوع خاک ریز بر رفتار لوله پرداخته شد. برای این منظور از سه نوع خاک ریز با مصالح ماسه سست (زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) 35 درجه و مدول الاستیسیته (E) 25 مگا پاسکال)، ماسه با تراکم متوسط (زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) 40 درجه و مدول الاستیسیته (E) 40 مگا پاسکال) و ماسه متراکم (زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) 45 درجه و مدول الاستیسیته (E) 65 مگا پاسکال) برای مدل سازی استفاده شد. شکل (6) نتایج این مطالعه را نشان می دهد. همان طور که در این کل مشاهده می شود استفاده از مصالح ماسه ای متراکم سبب افزایش کرنش های محوری ایجاد شده در مقطع لوله می شود.

نوع خاکریز



شکل (6) تغییرات بیشینه کرنش محوری بر اساس نوع خاکریز

6- نتیجه گیری

هدف از این مقاله مطالعه عددی و بررسی رفتار لوله در برابر حرکات گسل معکوس است. جهت مدل سازی از نرم افزار آباکوس استفاده گردید و برای خاک از المان سه بعدی توپر و برای لوله از المان پوسته استفاده شده است. با مقایسه ای که با آزمایش رفوئی و همکاران [15] انجام شد، معلوم شد که می توان پاسخ لوله را با دقت خوبی برآورد نمود. سپس اثر پارامترهای مختلف بر پاسخ لوله مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده گردید که به طور کلی با افزایش نسبت قطر به ضخامت لوله و افزایش ضریب اصطکاک سطح لوله مقادیر بیشینه کرنش محوری افزایش می یابد. همچنین استفاده از مصالح ماسه ای متراکم منجر به افزایش بیشینه کرنش های محوری ایجاد شده در لوله می شود و لذا استفاده از این مصالح در خاکریز توصیه نمی شود.

7- مراجع

- [1] M. J. O'Rourke and X. Liu, *Response of buried pipelines subject to earthquake effects: Monograph Series*, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER) 1999
- [2] M. Moradi, M. Rojhani, A. Galandazadeh, and S. Takada, "Centrifuge modeling of buried continuous pipelines subjected to normal faulting," *Earthquake*
- [3] B. Shih, W. W. Chen, P.H. Wang, Y. Chen, and S. Liu, "Water System and Natural Gas Pipeline Damages in the Ji-Ji Earthquake—Calculating Repair Rates," in *Proceedings of the Taiwan-Japan Workshop on Lifeline Performance and Disaster Mitigation During Recent Big Earthquakes in Taiwan and Japan, June, 2000*, pp. 29-30.
- [4] N. M. Newmark and W. J. Hall, "Pipeline Design to Resist Large Fault Displacement," in *Proceedings of U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, 1975.
- [5] R. Kennedy, A. Chow, and R. Williamson, "Fault Movement Effects on Buried Oil Pipeline, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol. 103, NO," *TE5*, pgs-617-633, 1977.
- [6] E. Vougioukas, C. Theodossis, and P. Carydis, "Seismic analysis of buried pipelines subjected to vertical fault movement," in *Lifeline Earthquake Engineering (1991)*, 1979, pp. 432-441.

- [7] M. McCaffrey and T. O'Rourke, "Buried pipeline response to reverse faulting during the 1971 San Fernando Earthquake," *ASME Pressure Vessels Piping*, vol. 77, pp. 151-159, 1983.
- [8] T. Desmond, M. Power, C. Taylor, and R. Lau, "Behavior of large-diameter pipelines at fault crossings," in *Lifeline Earthquake Engineering (1995)*, 1995, pp. 296-303.
- [9] L. R. L. Wang and Y. H. Yeh, "A refined seismic analysis and design of buried pipeline for fault movement," *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 13, pp. 75-96, 1985.
- [10] D. K. Karamitros, G. D. Bouckovalas, and G. P. Kouretzis, "Stress analysis of buried steel pipelines at strike-slip fault crossings," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 27, pp. 200-211, 2007.
- [11] T. Ariman and B. Lee, "On beam mode of buckling of buried pipelines," in *Proceedings of the 2nd US-Japan Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifelines*, Buffalo, NY, 1989, pp. 26-29.
- [12] W. D. Meyersohn, "Analytical and design considerations for the seismic response of buried pipelines," Thesis, Cornell University, 1991.
- [13] S. Takada, N. Hassani, and K. Fukuda, "A new proposal for simplified design of buried steel pipes crossing active faults," *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 30, pp. 1243-1257, 2001.
- [14] P. Vazouras, S. A. Karamanos, and P. Dakoulas, "Mechanical behavior of buried steel pipes crossing active strike-slip faults," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 41, pp. 164-180, 2012.
- [15] F. R. Rofooei, H. H. Jalali, N. K. Attari, and M. Alavi, "Full-Scale Laboratory Testing of Buried Pipelines Subjected to Permanent Ground Displacement Caused by Reverse Faulting," presented at the 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012.
- [16] "ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering. Differential ground movement effects on buried pipelines. Guidelines for the seismic design of oil and gas pipeline systems, 1984.
- [17] A. L. Alliance and A. S. o. C. Engineers, *Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe*: ASCE, 2001

دومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران

گردگان، ۲۶ آذرماه ۱۳۹۴

بسم الله الرحمن الرحيم

شماره: ۱۰۵/۳۲۸۶

تاریخ: ۱۳۹۴/۰۹/۲۶

گواهینامه

پژوهشگران ارجمند؛

جناب آقای/سرکار خانم امین منشی زاده نائین، سید احسان سیدی حسینی نیا

بدینوسیله گواهی و تأیید می گردد، مقاله جنابعالی تحت عنوان

مطالعه عددی رفتار لوله های مدفون در خاک در برابر گسل معکوس

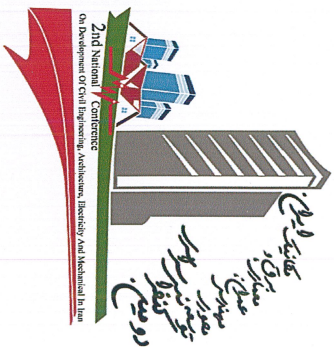
توسط داوران منتخب کمیته علمی دومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران مورد پذیرش قرار گرفته و به صورت شفاهی ارائه گردیده است.

امید است همواره با خلق خدمات و ارائه پژوهش های ارزشمند خود در مسیر اعتلای ایران عزیز موفق و مؤید باشید.

www.CAEM.ir

دبیر علمی
مریم علی نژاد

دبیر اجرایی
سینا اتحادی



National Conference On Development Of Civil Engineering, Architecture, Electricity And Mechanical In Iran

2nd



IRAN.Gorgan

Thursday, 17 Dec, 2015