

مدلسازی فیزیکی اثرات گسلش معکوس بر شریان‌های حیاتی

سلمان نوری کجوریان

کارشناس ارشد عمران- ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات همدان، همدان، ایران
E.a_noori@yahoo.com

سید مجتبی موسوی قادیلایی

استادیار مهندسی عمران- ژئوتکنیک، پژوهشگاه بین‌المللی مهندسی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
Smojtabamosavi@yahoo.com

اردشیر نوری کجوریان

کارشناس ارشد عمران- ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات همدان، همدان، ایران
E.ardeshir.noori@gmail.com

کلید واژه‌ها: گسلش معکوس قائم، شریان‌های حیاتی، مدلسازی فیزیکی

چکیده

تأسیسات زیرزمینی یا به بیان دیگر شریان‌های حیاتی مانند خطوط لوله آب، گاز، نفت و ... از جمله مواردی هستند که موجودیت، آبادانی و عملکرد صحیح شهرها وابستگی مستقیمی به آن‌ها دارد. آسیب‌پذیری آن‌ها توسط جابجایی‌های ماندگار زمین ناشی از زلزله بواسطه حمل مواد اشتعال‌پذیر و سمی موجب صدمات جانی و خسارت‌های مالی و زیان‌های زیست محیطی زیادی را به وجود می‌آورد. مشاهداتی که از زلزله‌های گذشته ۱۹۹۳ لانگ بیچ آمریکا، ۱۹۹۹ ترکیه و تایوان و ۲۰۰۸ چین و ... صورت گرفته نشان دهنده اهمیت این موضوع است. از این رو مقاوم‌سازی این خطوط در برابر تغییر مکان‌های ماندگار زمین (گسلش سطحی) در مناطق لرزه‌خیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این مقاله با ساخت دستگاه شبیه‌ساز گسلش معکوس قائم در مقیاسی کوچک سعی شده است به بررسی عوامل تأثیرگذار بر رفتار لوله‌های مدفون در اثر گسلش و همچنین ارائه راهکارهایی جهت مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای آن پرداخته شده است.

مقدمه

از آنجا که خطوط لوله به منظور انتقال منابع مهم انرژی مانند آب، گاز، نفت و ... در سطح وسیعی گسترده بوده و الزاماً در برخی از مناطق از نواحی دارای گسل عبور می‌کنند ممکن است خطرات لرزه‌ای بسیار و شرایط متفاوتی از خاک را تجربه نماید. زمین‌لرزش و تغییرات ماندگار زمین (PGD) از جمله خطرات لرزه‌ای عمده‌ای می‌باشند که بر سیستم خطوط لوله اثر گذارند. لرزش زمین که به علت انتشار امواج در زمین می‌باشد تغییر مکان گذرایی را بر سیستم خطوط لوله اعمال می‌کنند از سویی دیگر تغییر مکان‌های ماندگار زمین شامل گسلش، زمین‌لغزش، روانگرایی، نشست و برکنش باعث خسارات عمده‌ای را بر خطوط لوله سبب شده است.

مشاهداتی که از زلزله‌های گذشته از جمله ۱۹۶۴ آلاسکا با بیش از ۲۰۰ شکست در خط لوله گاز و ۱۰۰ شکست در خطوط توزیع آب، زلزله ۱۹۷۹ سان‌فرناندو با بیش از ۱۴۰۰ شکست در سیستم خطوط لوله، ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی با بی‌آبی بیش از ۵ میلیون نفر مردم، ۱۹۹۹ چی‌چی تایوان با آسیب‌دیدگی بیشیک چهارم شبکه انتقال آب و سایر زلزله‌ها مانند ۱۹۹۹ از میت ترکیه، ۲۰۰۲ آلاسکا و ۲۰۰۸ چین و غیره ... نشان داد که شکستگی خطوط لوله آب و گاز و همچنین لوله‌ها و شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب تا چه اندازه‌ای بر سلامتی عموم می‌تواند



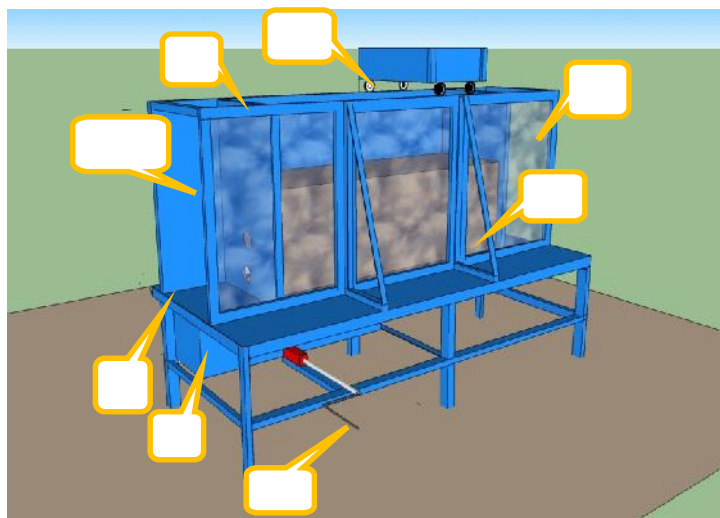
خطر آفرین باشد (American Lifeline Alliance, 2001)، (American Society of Civil Engineers, 1984) و (برهمن و همکاران، ۱۳۸۳). لذا اهمیت مقاوم سازی و تقویت شریان های حیاتی در مقابل خطرات ناشی از زلزله بیش از پیش آشکار می گردد. از اینرو طیف وسیعی از مطالعات عددی و آزمایشگاهی در سالیان اخیر به منظور کاهش آسیب پذیری و پیش بینی رفتار دقیق خطوط لوله ها در برابر مخاطرات ناشی از تغییر مکان های ماندگار زمین صورت گرفته است که از جمله می توان به مطالعات انجام شده توسط (Hsu, 1998)، (El Hmadi and O'Rourke, 1998)، (Yasuda et al., 2004)، (O'Rourke et al, 2005)، (Lee, 2005)، (Ha et al., 2008)، (Rojhani et al., 2012) و (Vazouras et al., 2012) اشاره کرد. با توجه به اینکه سرزمین ایران در ناحیه فشاری صفحات تکتونیکی عربستان و اوراسیا واقع است بررسی مخاطرات گسلش های معکوس در کشور ما حائز اهمیت می باشد. در تحقیق حاضر با طراحی و ساخت دستگاه مدلسازی فیزیکی که قابلیت انتشار گسلش معکوس قائم را دارد آزمون هایی جهت بررسی اثرات عمق دفن، طول مقید و سختی لوله ها بر پاسخ لوله مدفون به گسلش معکوس در دستور کار قرار گرفت که در ادامه بدان پرداخته می شود.

دستگاه شبیه ساز گسلش معکوس

شروع فعالیت های طراحی و ساخت دستگاه مدلسازی فیزیکی گسلش معکوس در پاییز ۱۳۹۲ آغاز گشت. به منظور ساخت دستگاه طرح اولیه ای (مدل ماکت) صورت گرفت که با استفاده از آن مشکلات پیش روی مدل واقعی مشاهده و برطرف گشته است. در زیر تصاویری از دستگاه به همراه جزئیات آن آورده شده است.



شکل ۱: تصاویری از مراحل اولیه ساخت دستگاه شبیه ساز گسلش معکوس



شکل ۲: نمای سه بعدی شماتیک از دستگاه شبیه ساز گسلش معکوس

- ۱- جک جهت جابجایی قسمت متحرک دستگاه
- ۲- مخزن به ارتفاع تقریبی ۸۰ سانتی متر
- ۳- پایه ای به ارتفاع تقریبی ۱۰۰ سانتی متر
- ۴- قسمت متحرک (Hanging Wall)
- ۵- صفحاتی به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی متری به همراه سوراخ هایی جهت گیرداری لوله ها و قابلیت تغییر ابعاد صفحات متحرک و ثابت
- ۶- تقویت کننده طولی
- ۷- جعبه متحرک به منظور ریزش خاک درون مخزن
- ۸- شیشه سکوریت به ضخامت ۶ میلی متر به منظور امکان رؤیت نحوه انتشار گسلش



شکل ۳: نمای واقعی از دستگاه شبیه‌ساز گسلش معکوس

خاک و لوله‌های انتخاب شده برای مدلسازی فیزیکی

خاک مورد استفاده به منظور مدفون کردن لوله‌ها در مدلسازی فیزیکی از کنار سواحل بابلسر انتخاب شده است. با انجام آزمایش دانه‌بندی این خاک به لحاظ طبقه‌بندی از نوع ماسه بد دانه‌بندی (SP) بوده است. سایر مشخصات خاک مطابق جدول ۱ می‌باشد. برای انتخاب لوله‌ها در مدل فیزیکی و تعمیم آن به واقعیت، از روابط شبیه‌سازی (Iai, 1989) استفاده شده است. با در نظر گرفتن اینکه اکثر لوله‌های فولادی مورد استفاده در بازار به قطرهای ۴، ۶ و ۸ اینچ می‌باشند نسبت به تهیه آنها در بازار اقدام شده است. در جدول ۲ مشخصات لوله‌های انتخاب شده در مدل فیزیکی نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش

C_u	C_u	$D_{50}(mm)$	$\gamma_{dmin} (\frac{gf}{cm^3})$	$\gamma_{dmax} (\frac{gf}{cm^3})$	$\gamma_d (\frac{gf}{cm^3})$	G_s	نوع خاک
۱/۱	۱/۶	۰/۴	۱/۴۷	۱/۷۲	۱/۶۵	۲/۶۵	ماسه بادی

جدول ۲: لوله‌های انتخاب شده برای مدل فیزیکی

جنس لوله	قطر خارجی (mm)	قطر داخلی (mm)	ضخامت (mm)
آلومینیوم	۱۹	۱۷	۱
آلومینیوم	۲۵	۲۰	۲/۵
مس	۱۲/۶۸	۱۱/۶۸	۰/۵

برنامه آزمایش‌ها

در این قسمت برنامه انجام سه آزمایش صورت گرفته با دستگاه شبیه‌ساز گسلش تشریح می‌گردد. آنچنانکه پیش از این شرح داده شد دستگاه ساخته شده در تحقیق حاضر امکان تغییر ابعاد صفحات متحرک و ثابت را دارا می‌باشد و از همین رو تلاش شده است برنامه انجام آزمایش‌ها به گونه‌ای طرح گردد که امکان ارزیابی پارامترهای نظیر طول مقید لوله، ضخامت سرپار خاک، اثر مدول الاستیسیته و نسبت قطر به ضخامت لوله در اندرکنش گسلش و لوله فراهم گردد. آن چنان که در جدول ۳ آمده است آزمایش‌های انجام شده در دو دسته کلی با ضخامت خاک برابر ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر قابل دسته‌بندی است که در آن‌ها با قرارگیری لوله آلومینیومی و مسی شبیه‌سازی شده با لوله فولادی در اعماق مختلف خاک و طول‌های مقید متفاوت اقدام به ارزیابی اندرکنش گسلش و لوله شده است. در ادامه نتایج انجام آزمایش‌ها به تفکیک ارائه گردیده و در نهایت به بحث و بررسی نتایج پرداخته شده است. منظور از طول مقید، هرگونه زانو، خمیدگی تیز، سه راهی‌ها یا نقاط مهاری دیگر در طرفین گسل، می‌باشد.



جدول ۳: آزمایشات برنامه ریزی شده جهت بررسی رفتار لوله‌های فولادی مدفون تحت اثر گسلش معکوس قائم

شماره آزمایش	ضخامت لایه خاک	طول مقید (cm)		عمق قرار گیری (cm)		
		صفحه متحرک	صفحه ثابت	لوله آلومینیومی به قطر ۱۹ میلی‌متر	لوله مسی به قطر ۱۲/۶۸ میلی‌متر	لوله آلومینیومی به قطر ۲۵ میلی‌متر
۱	۳۰	۹۰	۹۰	۲۰	۱۰	—
۲	۵۰	۹۰	۹۰	۴۰	۳۰	—
۳	۳۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰	—	۲۰

نحوه انجام آزمایش

مراحل آماده سازی مدل و روش انجام آزمایش به قرار زیر بوده است :

- الف) ریزش ماسه درون مدل در لایه‌هایی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متری با استفاده از دستگاه ریزش ماسه با دانسیته نسبی ۵۵ درصد
- ب) ریختن لایه رنگی نشانگر در میان لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری (شکل ۵)
- پ) قرارگیری لوله‌های مدرج شده به ترتیب در اعماق مورد نظر از سطح خاک دو سر لوله‌ها در صفحات عرضی بوسیله‌ی پیچ‌های مخصوص که گیرداری را تأمین می‌کند استقرار می‌یابند (شکل ۴)
- ت) قراردادی سیستم پایش (دوربین نقشه برداری در برابر دستگاه) و قرائت نقاط مدرج شده لوله پیش از اعمال گسلش
- ث) ادامه ریزش ماسه تا رسیدن ضخامت مورد نظر
- ج) اعمال جابجایی در قسمت متحرک مدل با استفاده از جک دستی
- چ) برداشت تصاویر از نحوه انتشار گسلش در مدل
- ح) تخلیه ماسه از مخزن بواسطه دریچه تعبیه شده زیر آن (شکل ۶)
- خ) قرائت نقاط مدرج شده لوله پس از اعمال گسلش.



شکل ۵: ریختن لایه رنگی نشانگر در میان لایه‌ها



شکل ۴: مدرج کردن لوله‌ها



شکل ۶: تخلیه ماسه از مخزن



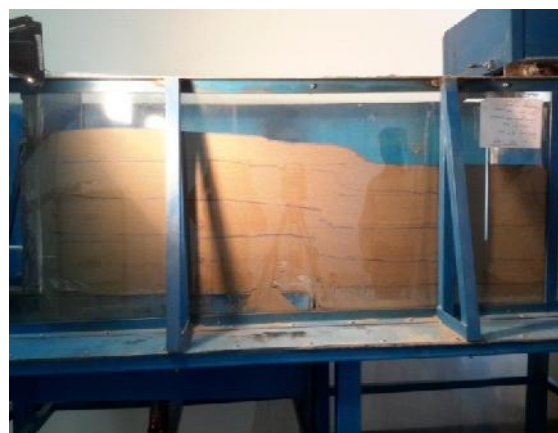
شکل ۸: تصویر تغییر شکل لوله‌ها پس از اعمال گسلش در آزمایش اول



شکل ۷: اعمال جابجایی در قسمت متحرک مدل در آزمایش اول



شکل ۱۰: تصویر تغییر شکل لوله‌ها پس از اعمال گسلش در آزمایش دوم



شکل ۹: اعمال جابجایی در قسمت متحرک مدل در آزمایش دوم



شکل ۱۲: تصویر تغییر شکل لوله‌ها پس از اعمال گسلش در آزمایش سوم



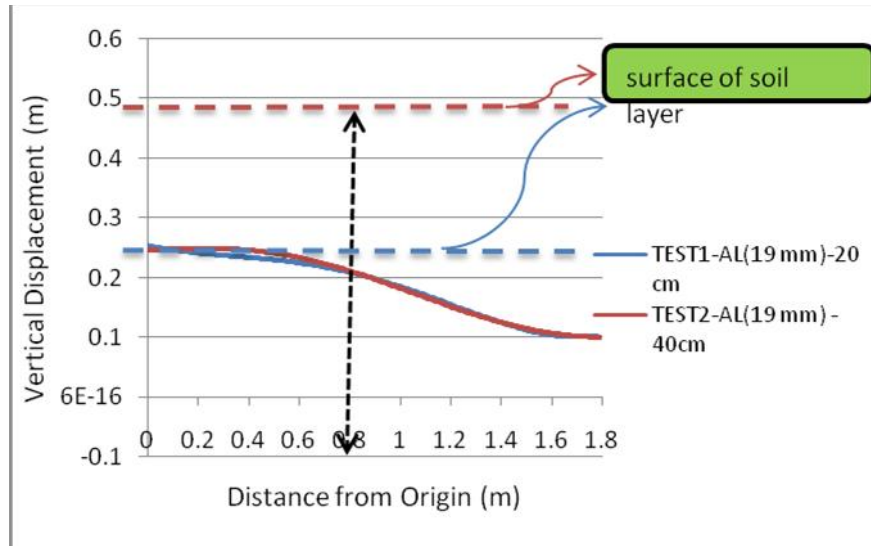
شکل ۱۱: اعمال جابجایی در قسمت متحرک مدل در آزمایش سوم

بحث و بررسی نتایج

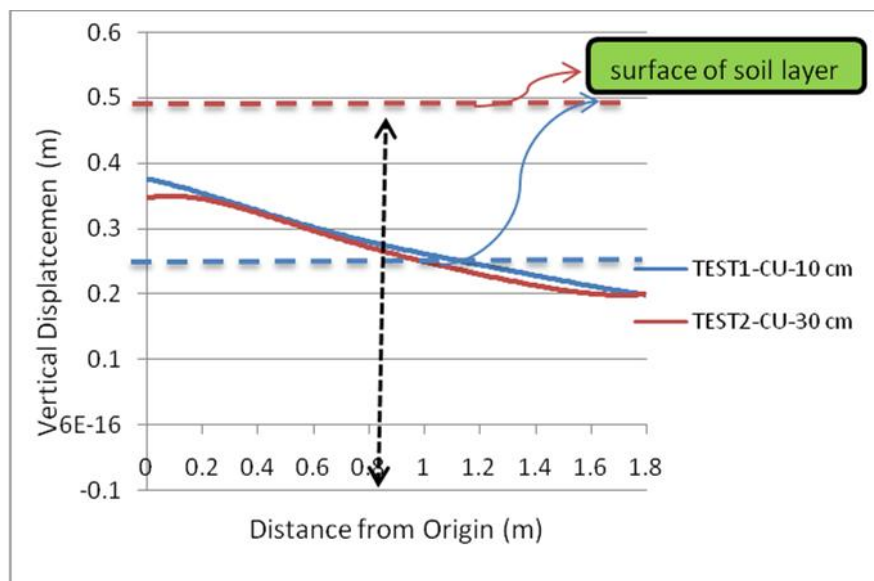
در این قسمت نتایج حاصله از سه آزمایش انجام شده، ارائه شده است. با استفاده از برداشت‌های انجام شده توسط سیستم پایش (دوربین نقشه برداری)، پارامترهایی از جمله تأثیرات سربار خاک روی لوله‌ها، ضخامت جداره لوله به قطر آن و اثر مدول الاستیسیته لوله می‌باشند که در زیر مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.

الف. اثر سربار خاک روی لوله‌ها

در آزمایش اول و دوم طول صفحه متحرک و ثابت برابر بوده ولی آزمایش دوم دارای سربار بیشتری می‌باشد. با توجه به شکلی‌توان خاطرنشان ساخت که در طول مقید محدود در فرو دیواره (قسمت ثابت) وضعیت تمرکز کرنش تا حدودی مشابه بوده و اثر سربار به نظر می‌رسد چندان حائز اهمیت نمی‌باشد.



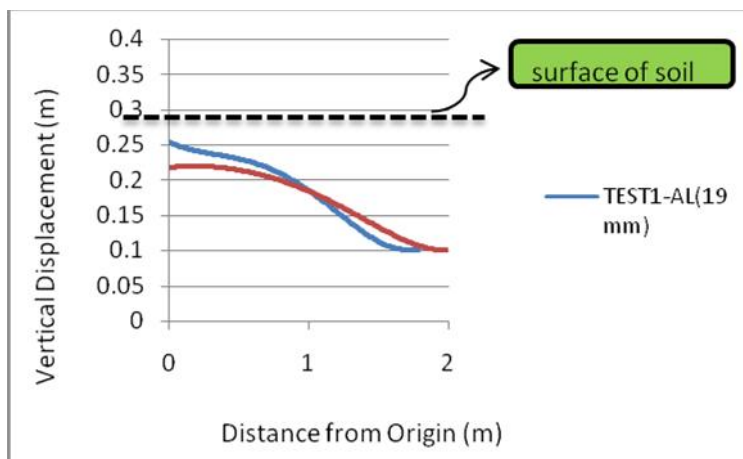
شکل ۱۳: تغییر شکل لوله آلومینیوم به قطر ۱۹ میلی‌متر در آزمایش اول و دوم



شکل ۱۴: تغییر شکل لوله مسی در آزمایش اول و دوم

ب. اثر ضخامت جداره لوله به قطر آن

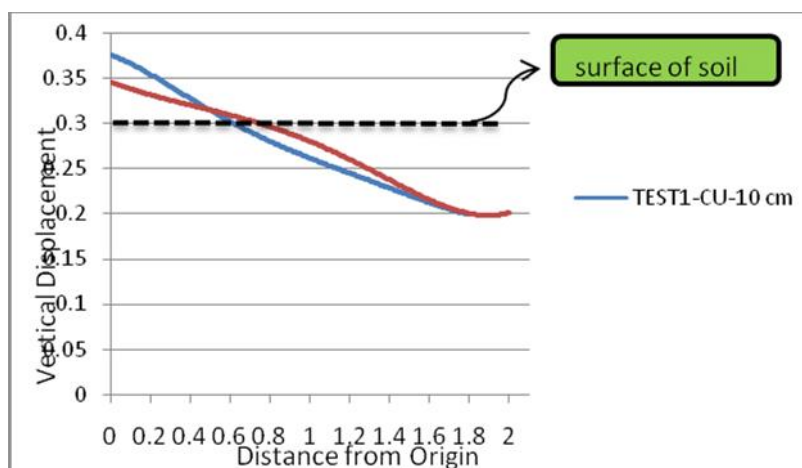
از پارامترهای مهم دیگر، اثر ضخامت به قطر لوله می‌باشد که در آزمایش اول و سوم به آن توجه شده است که نتایج آن به صورت زیر می‌باشد. در آزمایش اول و سوم ضخامت لایه و عمق قرار گیری لوله‌ها یکسان بوده ولی قطر لوله در آزمایش اول ۱۹ میلی‌متر که نسبت ضخامت به قطر آن برابر ۰/۰۵ و در آزمایش سوم قطر لوله برابر ۲۵ میلی‌متر که نسبت قطر به ضخامت آن برابر ۱/۰ می‌باشد. با توجه به شکل ۱۵ مشاهده می‌شود که در نسبت قطر به ضخامت کم، تمرکز تغییر شکل بیشتر و خرابی لوله‌ها نیز در این حالت بیشتر می‌باشد.



شکل ۱۵: تغییر شکل لوله مسی و آلومینیوم قطر ۱۹ میلی‌متر در آزمایش اول و سوم

ج. اثر مدول الاستیسیته لوله

شکل ۱۶ تغییر شکل لوله مسی و آلومینیوم قطر ۱۹ میلی‌متر در آزمایش اول و سوم را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶: تغییر شکل لوله مسی و آلومینیوم قطر ۱۹ میلی‌متر در آزمایش اول و سوم

از آنجایی که لوله مسی دارای مدول الاستیسیته بیشتری نسبت به لوله آلومینیومی دارد پس از اعمال گسلش مشاهده می‌شود که لوله دارای مدول الاستیسیته بیشتر مقاومت بهتری را در مقابل گسلش از خود نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

- ۱- در طول مقید محدود در فرو دیواره (قسمت ثابت) وضعیت تمرکز کرنش تا حدودی مشابه بوده و اثر سربار به نظر می‌رسد چندان حائز اهمیت نمی‌باشد.
- ۲- در نسبت ضخامت به قطر کم، تمرکز تغییر شکل در لوله‌ها بیشتر می‌باشد.
- ۳- برای خطوط لوله با عمق یکسان، لوله با مدول الاستیسیته بیشتر، مقاومت بیشتری را در مقابل گسلش از خود نشان می‌دهد.

مراجع

برهمن ف، منشوری م ر، نیک‌نهاد د (۱۳۸۳) گزارش خسارت لوله‌ها در زلزله‌های گذشته و بررسی مودهای خرابی لوله‌ها، وزارت نفت، گزارش ۸۳۰۰۵



- American Lifeline Alliance (2001) Seismic Fragility Formulations for Water Systems
- American Society of Civil Engineers (1984) Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems, Reston
- El Hmadi K and O'Rourke MJ (1988) Soil Springs for Buried Pipeline Axial Motion, *Journal of Geotechnical Engineering*, 114(11): 1335-1339
- Ha D, Abdoun TH, O'Rourke MJ, Symans MD, O'Rourke TD, Palmer MC and Stewart HE (2008) Buried high-density polyethylene pipelines subjected to normal and strike-slip faulting-a centrifuge investigation, *Canadian Geotechnical Journal*, 45(12): 1733-1742
- Hsu TW (1996) Soil restraint against oblique motion of pipelines in sand, *Canadian Geotechnical Journal*, 33(1): 180-188
- Iai S (1989) Similitude for shaking table test on soil – structure – fluid model in 1g gravitational field, *Soils and foundation*, 29(1): 105-118
- Lee JW (2005) Study on Earthquake Fault Rupture Propagation through Sandy Soil Deposit, PhD dissertation, Waseda University
- O'Rourke MJ, Gadicherla V and Abdoun T (2005) Centrifuge modeling of PGD response of buried pipe, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 4(1): 69-73
- Rojhani M, Moradi M, Ghalandarzadeh A and Takada S (2011) Centrifuge Modeling of Buried Pipelines Response Due to Reverse Faulting, in *5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Santiago, p. CMBRO
- Vazouras P, Spyros AK and Panos D (2010) Finite element analysis of buried steel pipelines under strike-slip fault displacements, *Soil Dynamics Earthquake Engineering*, 30(11): 1361-1376
- Yasuda S, Hiroya K, Koji Y, Nobuhisa S and Ryoji I (2004) Countermeasures of buried steel pipes against surface fault rupture, In *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, BC, Canada

