بررسی آسیب پذیری خطوط لوله مدفون و مودهای خرابی آنهادراثر زلزله

امین اله کرمی
کارشناش ارشد عمران زلزله ایران
Karami.amin25@gmail.com

مجتبی فتحی
عضو هیئت علمی دانشگاه ایران
fathim74@yahoo.com

اسلام خاضع اصل
کارشناس ارشد عمران زلزله ایران
islamkhazeasl@yahoo.com

کلید واژه‌ها: *خطوط لوله مدفون ، آسیب‌پذیری، شبکه آبرسانی ، مودهای خرابی لوله‌ها.*

چکیده

سامانه های خطوط لوله مدفون به عنوان یکی از شریانهای حیاتی، در کاهش و یا افزایش خسارات و آسیب پذیری ناشی از خطرات زمین‌لرزه نقش کلیدی دارند .به همین دلیل باید به لزوم بهره برداری از شبکه آبرسانی شهری پس از وقوع زلزله به منظور کاهش سایر خسارات، شروع زندگی و برگشت به حالت قبل از زلزله، توجه زیادی شود .در این مقاله، به بررسی بارهای وارد بر لوله های مدفون، عوامل تهدیدکننده ایمنی خطوط لوله مدفون، مودهای خرابی لوله ها در اثر زلزله و پارامترهای موثر بر رفتار لوله های مدفون پرداخته شود .در انتها راهکارهای مناسب جهت کاهش آسیب پذیری لوله در زلزله ارائه شده است.

مقدمه

سامانه های حیاتی از جمله تجهیزات اساسی، جهت سرویس دهی به جوامع می باشند که حفظ عملکرد آنها، به خصوص در زمان بروز بحران، ازعوامل اصلی رسیدن به یک جامعه پایدار و برگشت پذیر به شمار می رود .اختلال در سرویس دهی یک شبکه شریان حیاتی مانند لوله‌های مدفون، ممکن است باعث تشدید خسارتهای بعدی مثل آتش سوزیها، قطع ارتباطات و انفجارهای دیگر یا گسترش بیماریهای واگیردار شود .خطوط لوله انتقال سیال مانند گاز، آب و فاضلاب وغیره را بدلیل ایمنی، تامین حفاظت و ملاحظات اقتصادی، غالباً به صورت مدفون در خاک اجراء میکنند. از آنجائی که خطوط لوله مدفون نقش به سزایی در ارائه خدمات و چرخه اقتصادی کشور ایفا میکند بنابراین لازم است که خطوط لوله‌های مدفون به گونهای طراحی شوند که اولا خدمات و امداد رسانی بعد از زلزله دچار وقفه نشود، ثانیاً خسارتهای وارد به شبکه در حد قابل قبول باشد.

فراهم آوردن خدمات مداوم وایمن برای افراد جامعه، حفظ ایمنی محیط زیست و حفاظت از سرمایه گذاریهای کلان نیازمند طراحی شریان های حیاتی در برابر پدیده هایی چون ارتعاشات زمین لرزه و تغییرمکان دائمی زمین می باشد .برای نیل به این هدف لازم می آید بارهای وارد بر خطوط لوله مدفون و منشا آسیب پذیری آنها شناسایی گردد.

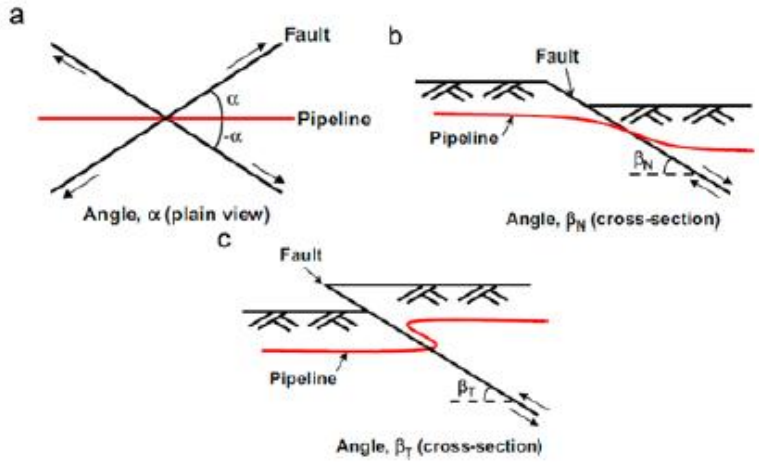
بارهای وارد بر لوله‌ها

لوله های مدفون بسته به خصوصیات خاک و موقعیت جغرافیایی منطقه تحت تاثیر بارهای گوناگونی قرار می گیرد .انواع بارهای احتمالی وارد بر لوله های مدفون را می توان بصورت زیر خلاصه کرد:

بار خاکریز، بارترافیک، سربار، فشارهیدرواستاتیک داخل لوله، بارهای نقطه‌ای، بارحاصل ازوزن لوله و سیال داخل آن، بار ناشی ازتغییرات دما، بار حاصل ازتغییرات حجم خاک اطراف لوله دراثر تغییرات شرایط آب و هوایی، بارحاصل از ارتعاشات لرزه ای، بار حاصل از اثرات غیرمستقیم زلزله مانند روانگرایی، سنگریزه، زمین لغزه و ... ازآنجائی که عمده مودهای خرابی در لوله های مدفون، ناشی از تغییرشکل های ماندگار زمین (PGD) است، در این بخش به شرح رفتار لوله های مدفون در برابر این تغییرشکل‌ها (لغزش، جابجایی‌های افقی و عمودی (گسل)، نشست ناشی از تحکیم خاک و روانگرایی) می‌پردازیم.

حرکت نسبی گسل

گسل فعال، ناپیوستگی بین دو قسمت از قشر زمین است که حرکتهای نسبی بین آنها اتفاق می افتد .انواع اصلی گسل شامل گسل برخوردی، گسل نرمال و گسل معکوس است. در شکل ۱ انواع گسل را مشاهده می کنید.



شکل ۱ :الف)گسل لغزشی -برخوردی(در صفحه افقی) ب) گسل نرمال ج)گسل معکوس

در اثر جابجایی خاک اطراف لوله به علت نیروهای ناشی از زلزله، تنش های کششی و فشاری به جدار لوله وارد می آید .در صورتی که لوله دارای مقاومت کافی باشد، قادر به تحمل این تنشها می باشد .همچنین در صورتی که لوله یا اتصالات آن شکل پذیر باشند، قادر به جابجایی به همراه خاک پیرامون خود بوده و بنابراین تنش های ایجاد شده در جدار لوله کاهش می یابد .اگر لوله واجد هیچ یک از دو ویژگی فوق)مقاومت یا شکل پذیری(نباشد، احتمال آسیب دیدگی آن به علت جابجایی خاک اطراف افزایش می یابد.

بطورکلی تا حدامکان می بایستی از عبور لوله از گسل جلوگیری نمود .عوامل موثر بر رفتار خط لوله در تقاطع با گسل شامل موارد زیر می باشد: نوع گسل :انواع گسل تنش های مختلفی در خطوط لوله ایجاد می کند .به عنوان مثال گسل نرمال تنش کششی در لوله ایجاد میکند درصورتی که گسل معکوس تنش فشاری ایجاد نموده و سبب کمانش لوله می گردد.

زاویه برخورد با گسل :این پارامتر در تعیین نوع تنش وارد بر لوله نقش مهمی دارد .تا حد امکان می بایستی زاویه برخورد به گونه‌ای انتخاب گردد تا در اثر گسلش تنش کششی در لوله ایجاد گردد.

طول مهار نشده موثر :با افزیش طول مهار نشده موثر در دو طرف گسل می توان از اثر گسل بروی لوله کاست.

مشخصات خطوط لوله :پارامترهایی همچون قطر ، ضخامت لوله و جنس لوله در میزان آسیب پذیری لوله در اثر گسلش تاثیر دارد.

روانگرایی

روانگرایی به عنوان یکی از مهمترین دلایل خرابی لوله های مدفون پدیده ای است که در اثر تکان ها و ارتعاش های شدید و در یک مدت طولانی در خاک های دانه ای اشباع و سست و فاقد چسبندگی رخ می دهدکه باعث فرونشست خاک های سیلتی و شنی می شود .خاکهای مستعد روانگرایی معمولا نزدیک به سفره های آب زیرزمینی و در مناطقی که سطح آب بالا و نزدیک سطح زمین است یافت می شود .مناطقی که با مصالح غیر مهندسی پر شده باشند نیز مستعد روانگرایی هستند .گسیختگی های ناشی از تغییر مکان های ناشی از روانگرایی عبارتند از:

۱-گسترش جانبی

۲-گسیختگی سیلابی

۳-کاهش ظرفیت باربری خاک ها

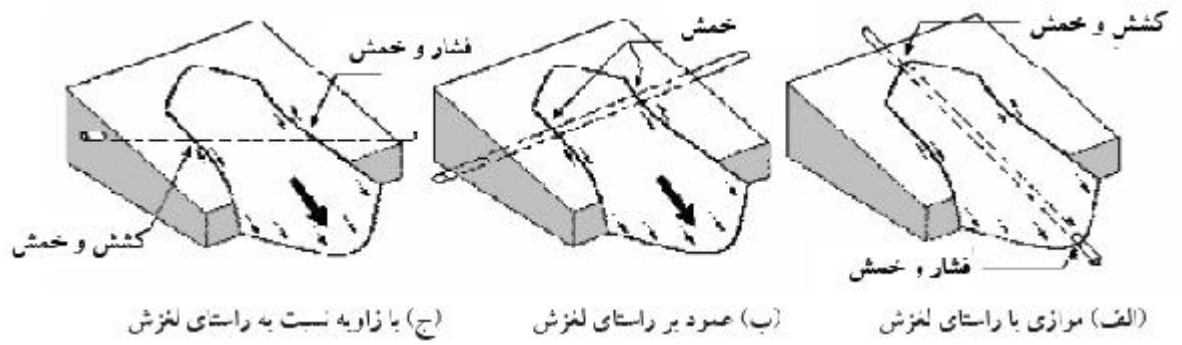
عوامل مؤثر بر روانگرایی به سه دسته عوامل مربوط به خاک، زلزله و محیطی تقسیم می شود که در ذیل عنوان می شوند.

- عوامل مربوط به خاک عبارتند از : تنش های برشی سیکلی – ویژگی های میرایی -ویژگی دانه بندی و دانه ها - دانسیته نسبی اولیه -بافت خاک؛
- عوامل محیطی عبارتند از : تاریخچه زلزله خیزی منطقه -تاریخچه زمین شناسی -ضریب فشار جانبی خاک -سربار مؤثر اولیه؛
- عوامل مربوط به زلزله نیز عبارتند از : بزرگی زلزله -مدت دوام زلزله.

زمین لغزش

زمین لغزش ها باعث تغییر شکل دائمی توده خاک شده که به صورت موضعی و محلی به وجود می آیند و باعث وارد آمدن خسارت های زیادی به شبکه ها، لوله ها و تاسیسات مدفون می شوند .بیشتر زمین لغزش ها در زلزله ها در فصل زمستان رخ می دهند .در هنگام زمین لغزش با یک جابه جایی چندین سانتی متر خاک، صدها هزار متر مکعب خاک در طول چند متر جابه جا شده و باعث وارد آمدن خسارت در سرتاسر خطوط و شبکه لوله‌ها می‌شوند.

باید تا حد امکان از احداث خطوط لوله در مناطقی که احتمال جابجایی خاک در اثر زلزله یا دیگر عوامل محیطی وجود دارد، اجتناب شود. درصورت اجبار به احداث خط لوله در این نواحی، با تمهیدات مناسب (تثبیت خاک، مسلح نمودن خاک و ...)جلوی خرابی لوله ناشی از لغزش خاک گرفته شود.در شکل ۲ رفتار لوله با موقعیت های مختلف نسبت به لغزش زمین نشان داده شده است.



شکل ۲- رفتار لوله در اثر نشست ناشی از لغزش شیب در شرایط مختلف

نشست

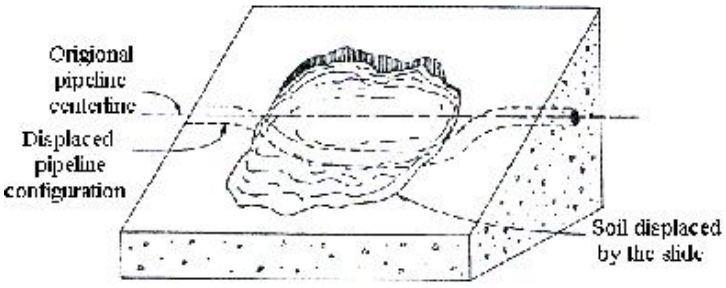
لرزش زمین می تواند خاک را متراکم تر کرده و موجب نشست شود .البته میزان تغییرمکان ماندگار در اثر نشست کمتر از تغییرمکان در اثر روانگرایی می باشد اما آنچه نشست را مهم می سازد، ایجاد تغییر مکان های غیر یکنواخت در خاک می باشد .نشست های عمودی نسبی زمین و کاهش حجم توده خاک یکی از دیگر عوامل شکست شبکه ها و خطوط لوله می باشد .به طوری که گفته شد روانگرایی موضعی اغلب منجر به وجود آوردن جوشش ماسه و شکافتگی‌هایی می گردد که ازآنها آب و رسوبات با فشار زیاد بیرون می زند .این بیرون زدگی باعث کاهش حجم توده خاک می گردد و در نتیجه احتمال آنکه حتی بدون گسترش جانبی قابل توجه، نواحی با نشست ناهمگون و شدید مشاهده شده وجود دارد.

مود خرابی لوله‌های پیوسته

مودهای گسیختگی اصلی لوله پیوسته بدون خوردگی با عمق دفن تقریبا ۳ فوت یا بیشتر گسیختگی کششی و کمانش موضعی است. لوله‌های مدفون با عمق های دفن کمتر از ۳ فوت ممکن است رفتار کمانشی تیر را تجربه کنند .کمانش تیر، برای کم کردن کرنش فشاری لوله اتفاق می‌افتد.

گسیختگی کششی

کرنش کششی در لوله ها به خاطرگسلش، زمین لغزه، روانگرائی و حرکت نسبی زمین می تواند به وجود آید .در شکل اثر زمین لغزه در لوله با کرنش مقاوم کششی زیاد را مشاهده می کنید. شکل ۳ زیر کرنش کششی لوله را در زمین لغزه نشان می دهد.



شکل۳ : اثر زمین لغزه در لوله با کرنش مقاوم کششی

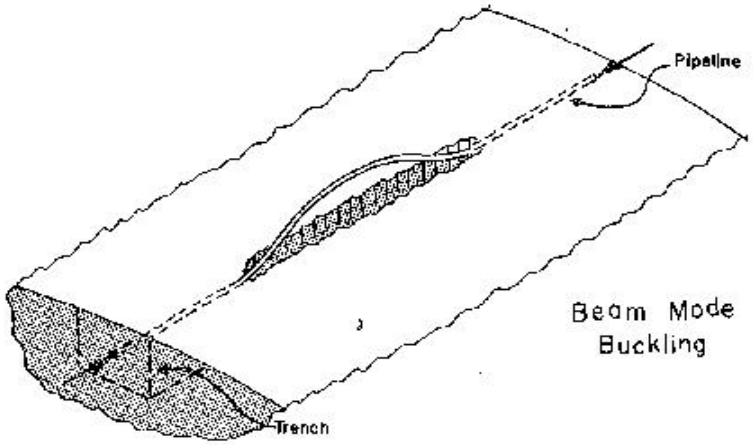
کمانش موضعی

لوله ها در راستای محوری سخت و در جهت عرضی انعطاف پذیر هستند .از این رو تنشها نسبتا بزرگ محوری بوسیله مولفه محوری اندازه متوسط حرکات زمین به وجود می آید.

بنابراین فقط اثرات مولفه های افقی حرکات زمین درکمانش لوله در نظرگرفته می شود کمانش حالتی از ناپایداری سازه ای است که یک المان بارگذاری شده در تحمل فشار یک تغییر ناگهانی ازحالت پایداری به شرایط ناپایداری دارد. کمانش موضعی(چین خوردگی) شامل ناپایداری دیواره لوله است .بعد از شروع چین‌خوردگی موضعی پوسته، اعوجاج هندسی بیشتر به وسیله تغییر شکل زمین یا انتشار موج که تمایل به چین خوردگی دارد به وجود می آید .انحنای بیشتر ناشی شده در دیواره لوله اغلب منجر به ترک خوردگی محیطی دیواره لوله و نشت می شود .این معمول ترین مد گسیختگی برای لوله فولادی است.

کمانش تیر

کمانش تیر لوله، مشابه به کمانش اولر ستون لاغر است که لوله جابه جایی عرضی(رو به بالا) را تحمل می کند .حرکت نسبی در فاصله زیادی، توزیع و از این رو کرنش‌های فشاری لوله بزرگ نیستند و پتانسیل برای پارگی جدار لوله کمتر است. شکل ۴ طرح کمانش مود تیری لوله را نشان می‌دهد.



شکل ۴: طرح کمانش مود تیری لوله مدفون

احتمال وقوع کمانش تیر در لوله‌های مدفون در ترانشه‌های سطحی و با عمق‌های دفن کمتر از ۳ فوت بیشتر است زیرا که بار کمانشی تیر تابع صعودی از عمق پوشش است. از این رو اگر لوله‌ای در عمقی مناسب دفن شود، کمانش موضعی قبل از کمانش تیر اتفاق می‌افتد.

مود خرابی لوله‌های منقطع

برای لوله های منقطع به ویژه آنهایی که قطر های زیاد و جدار نسبتا نازک دارند گسیختگی اغلب ناشی از تنش در اتصالات لوله مشاهده می‌شود. کشش محوری به سمت بیرون گاهی اوقات در ترکیب با چرخش نسبی زاویهای در اتصالات، مکانیزم گسیختگی معمول در نواحی کرنش کششی زمین است در نواحی کرنش فشاری زمین، خرد شدن اتصالات گلویی مکانیزم شکست معمول است.

بیرون‌کشیدگی کششی محوری

در نواحی کرنش کششی زمین مکانیزم گسیختگی معمول بیرون کشیدگی محوری در اتصالات است، زمانی که مقاومت برشی مصالح درزبندی اتصال خیلی کمتر از لوله باشد .شکل ۵ لوله چدنی با قطر ۳۰ سانتی متر و با ۲۰ سانتی متر بیرون کشیدگی را در زلزله نشان می دهد.

شکل ۵: بیرون کشیدگی محوری اتصال لوله

خرد شدگی اتصالات گلویی

در نواحی کرنش فشاری، خردشدگی اتصالات گلویی مکانیزم گسیختگی معمول است O'Rourk Ayala (۱۹۸۹) نشان دادند بیشتر و گسیختگی‌های لوله‌های استوان‌های بتنی در مکزیکوسیتی مربوط به زلزله میشیگان ۱۹۸۵، ناشی از خرد شدگی اتصال بوده است. و Krathy Salvadori (۱۹۸۷) نشان دادند، معیار گسیختگی خردشدگی برای لوله بتنی میتواند به عنوان نیروی نهایی فشاری هسته بتنی اتصالات در نظر گرفته شود.

گسیختگی خمشی محیطی و دوران اتصال

هنگامی که خط لوله قطعه ای در معرض خمش منتج از حرکت دائمی زمین یا لرزش زلزله قرار می گیرد، انحنای زمین با ترکیب دوران اتصالات و خمش در لوله های منقطع سازگاری پیدا می کند .سهم نسبی این دو مکانیزم بسته به دوران اتصال و سختی خمشی لوله دارد از طرف دیگر برای سیستم لوله منقطع سخت و صلب مانند لوله چدنی با اتصالات سرب، انحنای زمین از ابتدا با ترکیب دوران اتصال و خمش قطعه‌ها همسازی می‌کند.

پارامترهای موثر بر رفتار لوله های مدفون

مهمترین پارامترهایی که در واقع فصل مشترک انواع آنالیزها تشکیل می دهند عبارتنداز :قطر، ضخامت، مدول یانگ، طول و عمق پوشش لوله، مدول برشی، پریود طبیعی، سرعت انتشار امواج، نسبت پواسون خاک بستر، زاویهٔ برخورد زلزله نسبت به محور لوله، سرعت، شتاب، طول زمان و فرکانس زلزله طرح در اینجا به طور خلاصه تاثیر برخی از این پارامترها بر رفتار لوله های مدفون ارائه می شود:

۱- با اعمال زلزله در هرجهت دلخواه نسبت به محور لوله، حداکثر پاسخ در وسط لوله بوجود می آید .یکی از مهمترین پارامترهایی که بر پاسخ لوله اثر دارد، زاویهٔ برخورد زلزله نسبت به محور لوله می باشد .با اعمال زلزله در جهت محور لوله، تنش های محوری حاکم بوده و با افزایش این زاویه از مقدار تنش های محوری کاسته شده و به تنشهای خمشی اضافه می شود، به طوریکه در زاویهٔ ۹۰ درجه مقدار تنش محوری صفر و مقدار تنش خمشی حداکثر می شود .همچنین جمع تنش های سهم محوری و خمشی در زاویهٔ بالای ۶۰ درجه نسبت به محور لوله رخ می دهد.

۲- با افزایش قطر لوله پاسخ لوله کاهش می یابد .دلیل این امرا می توان افزایش ممان اینرسی لوله و نیز افزایش سختی بین خاک و لوله دانست. فاکتور مهمی برای اثر متقابل خاک و لوله است (D/t) ۱۶ بنابراین نسبت قطر لوله به ضخامت

۳- افزایش عمق دفن لوله در خاکهای دانه ای باعث کاهش پاسخ لوله می شود و در خاک چسبنده تقریبا بی تاثیر است .به این معنی که هر چه هم بر بزرگی هم محل کرنش های ماکزیمم لوله تاثیر دارد (H/D) .عمق دفن کاهش یابد تغییرمکان وسط لوله بیشتر خواهد شد .عمق نسبی دفن همچنین افزایش عمق پوشش برای لوله های انعطاف پذیر به منظور حفاظت بیشتر لوله ها توصیه می شود.

۴- با افزایش سختی پاسخ لوله به میزان قابل توجهی کاهش می یابد و بررسی ها در جهات دیگر نیز نتیجهٔ مشابه فوق را نشان می دهد.

۵- با افزایش مدول الاستیسیته لوله پاسخ لوله کمی کاهش می یابد و چندان از حساسیت برخوردار نیست ولی با کاهش سختی خاک، پاسخ لوله شدیداً افزایش می یابد.

۶- نوع خاک در پاسخ لوله اهمیت دارد .لوله های مدفون در خاک رس نرم در مقابل زلزله آسیب پذیرتر هستند.افزایش میرایی خاک باعث کاهش پاسخ لوله می گردد و نرخ تغییرات درماسه شل نسبت به ماسه نرم بیشتر است.

نتیجه‌گیری

نکاتی که در طرح ایمن و اجرای مناسب خطوط لوله به منظورکاهش آسیب پذیری خطوط لوله در برابر نیروهای ناشی از زلزله قابل اشاره می‌باشند عبارتند از:

۱- استفاده از یکسری لوله موازی با قطر کوچک بجای یک لوله با قطر بزرگ در هنگام عبور خطوط لوله از گسل؛

۲- استفاده از لوله های ضخیم تر؛

۳- استفاده از لوله های کوتاه در سیستم خطوط لوله؛

۴- جایگزینی خطوط لوله و اتصالات ترد با سیستم خطوط لوله انعطاف پذیر؛

۵- استفاده از اتصالات و زانوئی های با امکان تغییر زاویه برخورد؛

۶- پایین آوردن تراز آبهای سطحی به منظور کاهش احتمال روانگرایی در خاک؛

۷- انتخاب مناسب محل اجرای لوله از نظر شرایط ساختگاهی، وجود گسل، پتانسیل روانگرایی، زمین لغزش،رانش و نشست خاک؛

۸- توجه به تکیه گاه لوله ها از لحاظ ایجاد پایداری مناسب و کافی برای لوله؛

۹- آماده سازی گروه تعمیرات مجرب و تهیه نمودن تجهیزات و اطلاعات مورد نیاز در مکانهای امن؛

۱۰- استفاده از شبکه حلقوی بجای سامانه های شاخه ای مسدود .

مراجع

بررسی آسیب پذیری و شناسایی مودهای خرابی لوله ها در زلزله، مرجع مهندسی عمرانی سیویلیکا

بیات حسین(۱۳۷۶) طرح لرزهای لوله های مدفون، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس

خباز تمیمی محمدرضا (۱۳۸۴) بررسی آسیب پذیری سامانه های خطوط لوله مدفون، اولین همایش بین المللی زلزله وسبک سازی ساختمان،دانشگاه فنی و مهندسی قم

راستی رضا، وزین رام فرشاد (۱۳۸۷) آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی شریان‌های حیاتی در زلزله، اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه‌ای، تبریز

رجائی حسین، ارزیابی رفتار خطوط لوله در برابر حرکت گسل، اولین همایش بین المللی مقاومسازی لرزه ای .

هوشمندزاده محمد(۱۳۸۴) کلیاتی درباره طراحی لرزهای خطوط لوله نفت وگاز، همایش زلزله دانشگاه آزاد دورود

Abdoun T and O'Rourke MJ (2009) Factors influencing the behavior of buried pipelines subjected to earthquake faulting, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering 29 ,415– 427*

Dash S and Jain S, Seismic Design of Buried Piplines in Indian Context

Hyung Lee D and Hwa Kim B (2009) Seismic behavior of a buried gas pipeline under earthquake excitations, *Engineering Structures* 31 ,1011_1023

Lee LNH and Ariman T(1984) Elastic-plastic buckling of buried pipelines by seismic excitation, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* , Vol. 3,No. 4

Mishra BK and Upadhyay PC (1986) On the Dynamic Response of Fluid-Filled Buried Pipelines , Journal of *Sound and Vibration* (1987) 117(l), 59-67

O'Rourke MJ (2003) Earthquake Engineering Handbook *chapter 23:*Buried piplines

Ranjan Dash S and K Jain S (2002) An overview of seismic considerations of buried pipelines, Journal of Structural Engineering,Vol 34,No.5,2007,pp. 349-359

Wook Choo Y, Abdoun T and O'Rourke M (2007) Remediation for buried pipeline systems under permanent ground deformation, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27 (2007) 1043–1055*

Yun H and Kyriakides S (1985) MODEL FOR BEAM-MODE BUCKLING OF BURIED PIPELINES", *jaournal of Engineering Mechanics, Vol.111,No.2*