

## بررسی تأثیر روانگرایی بر روی خطوط لوله مدفون در حین زلزله با مطالعه موردی زلزله ۲۰۱۳ شهر دشتی بوشهر

محسن حبیب‌الهی

دانشجوی دکتری مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران  
m\_habibalahi@yahoo.com

مر ترضی بسطامی

هیئت علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران  
m.bastami@iiees.ac.ir

کلید واژه‌ها: روانگرایی، خطوط لوله مدفون، شریان‌های حیاطی، زلزله، روش المان محدود

### چکیده

یکی از اصلی‌ترین آموزه‌های بدست آمده از زلزله‌های گذشته نیاز به برنامه‌ریزی لرزه‌ای برای شریان‌های حیاتی می‌باشد تا بتوان با لوازم و سیستم پشتیبانی مناسب نسبت به تعمیر و ترمیم سریع شریان‌های حیاتی اقدام نمود. در زلزله‌های گذشته به علت مشکلات زیادی که در خطوط انتقال آب و فاضلاب، برق و گاز به وجود آمد، شاهد بسیاری از مشکلات مانند قطعی آب و برق و یا انفجار بودیم. آسیب پذیری خطوط لوله مدفون تحت روانگرایی ناشی از زلزله در حین برخی از زلزله‌های گذشته مشاهده شده است و گزارش‌های جامعی از این رخداد وجود دارد. روانگرایی یکی از دلایل اصلی بروز اختلال در خطوط لوله مدفون در حین زلزله می‌باشد. شرایط لازم برای رخ دادن این پدیده خاک ماسه‌ای سست، لایه ماسه‌ای اشباع، و شدت زلزله می‌باشد. به دلیل این حقیقت که سازه خط لوله با سایر سازه‌ها بسیار متفاوت می‌باشد (طویل بودن و داشتن جرم کم) براساس نتایج زلزله‌های گذشته و مقایسه آن با سایر سازه‌ها مشاهده می‌شود که در صورتی که پارامترهای موثر در روانگرایی مانند شدت زلزله و لایه خاک نامتراکم و سایر عوامل مخرب مانند نشست خاک قابل توجه باشند، روانگرایی برای خطوط لوله مدفون خطرناک می‌باشد. هدف این تحقیق مطالعه عددی خطوط لوله مدفون تحت تأثیر روانگرایی با مطالعه موردی زلزله سال ۲۰۱۳ شهر دشتی استان بوشهر (ایران) با بزرگای ۶.۱ در مقیاس ریشتر می‌باشد. طی این زمین لرزه سیستم‌های توزیع آب و برق شهر قطع شدند و خطوط انتقال آب خسارت شدیدی را به علت روانگرایی متحمل شدند (محمد تاتار، گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی). در این تحقیق مقایسه‌ای بین تغییرمکان و کرنش خط لوله پلی اتیلن انتقال آب در منطقه‌ای که تحت تأثیر زلزله‌ای با مشخصات زلزله شهر دشتی قرار گرفته و مناطقی که خارج از محدوده زلزله می‌باشند صورت گرفت که نتایج بدست آمده از بحرانی شدن و حتی شکست خط لوله در بعضی نقاط در منطقه تحت زلزله حکایت می‌کند. همچنین در ادامه مقایسه‌ای بین شرایطی که وزن خاک روی لوله در نظر گرفته شود و یا از آن صرف نظر شود صورت گرفته است که نتایج نشان دهنده اثر مثبت وزن خاک روی لوله جهت کاهش تنش و تغییرمکان می‌باشند.

### مقدمه

کشور ما ایران به علت قرار گیری بر روی کمربند زلزله، در برابر زمین لرزه بسیار آسیب پذیر است. در زلزله‌های گذشته در اثر بروز مشکل در زیر ساخت‌های آب و فاضلاب شاهد مشکلات بسیار زیادی از جمله قطعی آب بوده‌ایم. تخریب تاسیسات فاضلاب در هنگام زلزله علاوه بر خسارات اقتصادی موجب بروز مخاطرات بهداشتی و اخلاقی در امداد و کمک رسانی می‌شود. از این رو به کارگیری ضوابط و استانداردهای ویژه در انتخاب، طراحی و اجرای بخش‌های مختلف تاسیسات فاضلاب از جمله شبکه جمع آوری، خطوط انتقال و تصفیه خانه به منظور ایمنی هرچه بیشتر در مقابل حوادث غیر مترقبه از جمله زلزله امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. آسیب پذیری خطوط لوله در مقابل زلزله و روانگرایی ناشی از آن در بسیاری از زلزله‌های گذشته مشاهده شده است و گزارش‌های جامعی در این خصوص وجود دارد. با توجه به آمار تخریب خطوط لوله در حین زلزله‌های شدید گذشته و با عنایت به تحقیقات اخیر در خصوص تأثیر روانگرایی بر خطوط لوله مدفون می‌توان دریافت که نرخ خرابی خطوط لوله (تعداد/کیلومتر) در زمین‌های روانگرا در مقایسه با زمین‌های بدون روانگرایی دارای مقادیر بسیار بزرگتری می‌باشد و خسارات وارده به خطوط



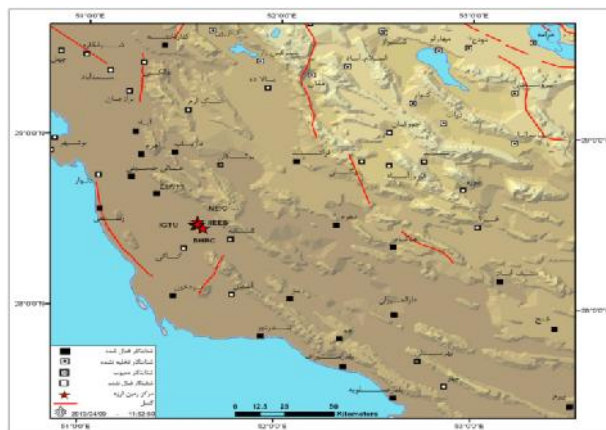
لوله منتهی به منهول‌ها و اتصالات قابل توجه بوده است. (Takada and Tanabe, (1984).

## مشخصات تحقیق

### منطقه مورد بررسی

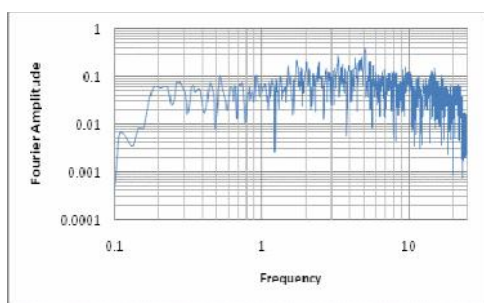
در ساعت ۱۶:۲۲:۵۰ روز بیستم فروردین ماه ۱۳۹۲ (2013/04/09) زمین لرزه‌ای با بزرگای ۶.۱ ریشتر (گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله) بخش‌هایی از استان‌های بوشهر و فارس را به لرزه در آورد (محمد تاتار، گزارش پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی). این زمین لرزه توسط ۲۰ ایستگاه شتابنگاری به ثبت رسید (شکل ۱). حداکثر شتاب ثبت شده از این رویداد در ایستگاه ریز بوده که شتابی برابر با ۷۴ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه را ثبت کرده است. سطح تخریب این زمین‌لرزه در بخش شنبه و طسوج از توابع شهرستان دشتی در استان بوشهر بوده و بیشترین تخریب در شهر کوچک سه هزار نفری شنبه با ۹۰ درصد گزارش شده است. در این زلزله حدود ۳۱۰۰ واحد مسکونی تخریب گردید. این زمین‌لرزه ۳۷ نفر کشته و حدود ۸۵۰ مجروح به جای گذاشت. خسارات مالی زلزله ۲۲۰ میلیارد تومان برآورد شده که ۱۲۴ میلیارد تومان آن منازل مسکونی و مابقی زیرساخت‌های عمرانی و اماکن عمومی و دولتی بوده است.

در این پژوهش از رکورد ثبت شده زلزله در سایت مرکز تحقیقات وزارت مسکن و راه‌سازی برای زمین لرزه شهرستان دشتی در استان بوشهر استفاده شده است (Shonbeh Station, Record No:5801/44, Origin Time:2013/04/09, 16:32:32) که نمودارهای شتاب و همچنین طیف فوریه در ایستگاه خورموج برای سه مؤلفه  $L$  و  $V$  و  $T$  به صورت جداگانه و به تفکیک توسط برنامه Seismo Signal رسم شده است که در شکل‌های ۲ الی ۷ ارائه گردیده است. در ضمن گام زمانی ۰.۰۰۵ در نظر گرفته شده است.

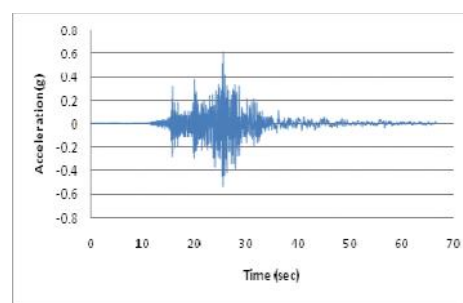


نقشه محدوده ایستگاه‌های شنبه، مکنی و آندان به دلیل قبی زمین لرزه اصلی را ثبت نموده اند

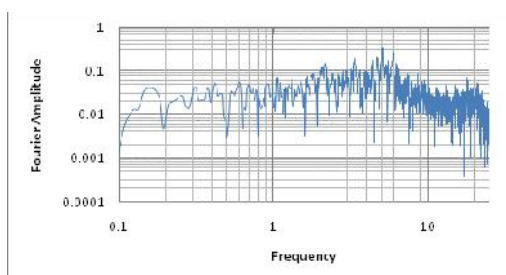
شکل ۱: موقعیت شتابنگارهای فعال شده در منطقه



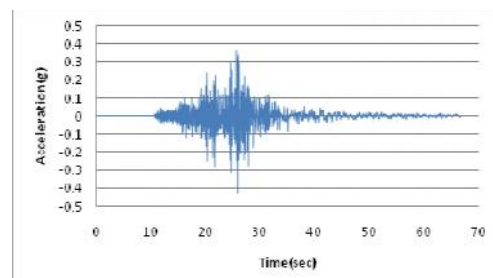
شکل ۳: طیف فوریه در راستای  $L$



شکل ۲: نگاشت مؤلفه افقی در راستای  $L$

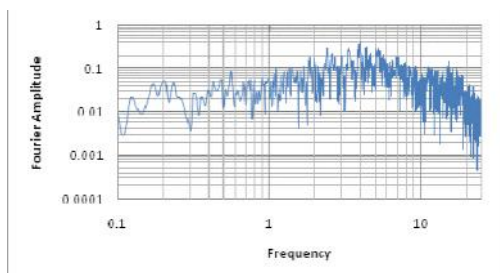
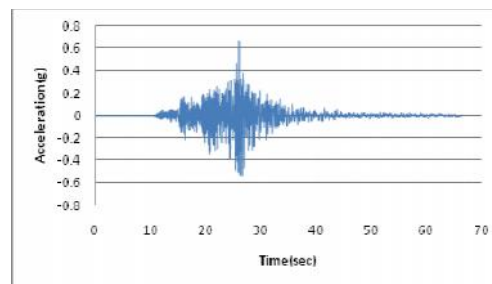


شکل ۵: طیف فوریه در راستای  $V$



شکل ۴: نگاشت مؤلفه قائم  $V$



شکل ۷: طیف فوریه در راستای  $T$ شکل ۸: نداشت مؤلفه افقی در راستای  $T$ 

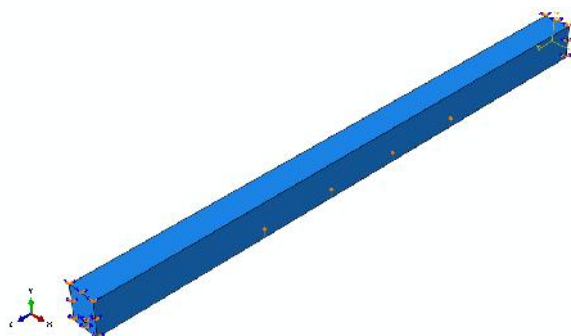
### مشخصات نمونه مورد بررسی

مدل خط لوله انتقال آبی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، شامل یک خط لوله پلی اتیلن (High-density polyethylene) با طول ۱۰۰ متر، قطر ۸۰ سانتیمتر و ضخامت ۱/۵ سانتیمتر می‌باشد که به صورت المان سه بعدی در نرم افزار المان محدود ABAQUS مدل شده است. لوله پلی اتیلن دارای رفتاری ویسکو الاستیک می‌باشد که مشخصات مربوط به لوله مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱: مشخصات لوله پلی اتیلن مورد بررسی

951 (kg/cm <sup>3</sup> )	دانسیته
1.115*10 <sup>9</sup> (Pa)	مدول الاستیسیته
0.45	ضریب پواسون
160 (MPa)	تنش تسلیم

لوله مربوطه درون پوششی از خاک ماسه‌ای سست با عمق ۸ متر دفن شده و عمق دفن ۲/۵ متر از سطح زمین در نظر گرفته شده است. خاک بر اساس مدل Mohr-Coulomb با خاک نوع ۳ آیین نامه ۲۸۰۰ به صورت یک المان سه بعدی مدل سازی شده است. شایان ذکر است در این تحقیق خاک از نوع دانه‌ای ( $C=0$ ) در نظر گرفته شده و امکان اثر چسبندگی و اصطکاک داخلی خاک (friction and adhesion) وجود دارد و همچنین اثر لغزش محدود (finite sliding) نیز در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است از نیروی ناشی از حرکت سیال درون لوله صرف نظر شده است.



شکل ۹: مدل خاک و خط لوله

از آنجایی که برای حل مسائل ژئوتکنیکی روش المان محدود نسبتاً موفق عمل کرده است، ما نیز برای تحلیل‌های عددی از نرم افزار المان محدود ABAQUS استفاده کردیم. به منظور تحلیل این موضوع اطلاعاتی مانند مشخصات ژئوتکنیکی خاک، تعیین سطوح زلزله، تعیین پارامترهای موثر در احتمال روانگرایی، مدل سازی المان محدودی سه بعدی اندرکنش بین خاک و خط لوله لازم می‌باشد. جهت حل معادلات حاکم بر حرکت، با در نظر گرفتن تغییر شکل‌های بزرگ در لوله و خاک، آنالیز دینامیکی به روش صریح (Explicit) مورد استفاده قرار گرفته است. روش آنالیز دینامیکی صریح بر اساس در نظر گرفتن تعداد زیادی نمو زمانی کوچک به صورتی است که با بازدهی بالا همراه باشد. در این روش جرم المان‌ها به صورت متمرکز در نظر گرفته می‌شود، پس ماتریس جرم ماتریسی قطری خواهد بود. در این روش برای تحلیل از معادلات ۱ و ۲ استفاده می‌شود (حلبیان، صیادپور سی سخت (۱۳۸۸):



$$\dot{u}_{(i+\frac{\Delta t}{2})}^N = \dot{u}_{(i-\frac{\Delta t}{2})}^N + \frac{\Delta t_{(i+1)} + \Delta t_{(i)}}{2} \ddot{u}_{(i)}^N \quad (1)$$

$$u_{(i+1)}^N = u_{(i)}^N + \Delta t_{(i+1)} \dot{u}_{(i+\frac{\Delta t}{2})}^N \quad (2)$$

در معادلات فوق  $u^N$  درجه آزادی  $N$  ام است (که می‌تواند از نوع انتقالی یا دورانی باشد) و اندیس  $i$  مشخص کننده شماره نمو در حین آنالیز دینامیکی است. در واقع در این روش مقادیر مجهول در هر مرحله با استفاده از مقادیر معلوم  $\dot{u}_{(i-\frac{\Delta t}{2})}^N$  و  $\dot{u}_{(i)}^N$  که از هر مرحله قبل بدست آمده‌اند تعیین می‌شوند. شتاب در ابتدای هر نمو با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\ddot{u}_{(i)}^N = (M^{NJ})^{-1}(P_{(i)}^J - I_{(i)}^J) \quad (3)$$

که  $M^{NJ}$  ماتریس جرم،  $P_{(i)}^J$  بردار بارگذاری اعمال شده و  $I_{(i)}^J$  بردار نیروی داخلی می‌باشد. از آنجا که ماتریس جرم قطری است، بدست آوردن معکوس آن و در نهایت انجام محاسبات فوق بسیار ساده و سریع صورت می‌پذیرد. (Hibbit, Karlsoon & Sorenson Inc) یکی از مهمترین مسائلی که در ارتباط با استفاده از روش‌های تحلیل دینامیکی صریح برای حل مسائل دینامیکی وجود دارد پایداری و همگرایی حل است. از آنجا که در روش صریح هیچ‌گونه تکراری صورت نمی‌پذیرد، میزان دقت و پایداری حل به مقدار انتخاب شده برای نمو زمان ( $t$ ) وابسته است. که در این تحقیق گام زمانی ۰.۰۰۵ ثانیه در نظر گرفته شده است.

### روابط طراحی خط لوله مدفون تحت اثر روانگرایی

فرمول‌های ارائه شده مبتنی بر نتایج آزمایشگاهی و تحلیل‌های عددی برای طراحی خطوط لوله مدفون تحت اثر روانگرایی در دو حالت می‌باشد.

حالت (۱) خط لوله مستقیم بدون اتصالات

حالت (۲) خط لوله مدفون با اتصالات

که در هر دو حالت فوق تصور می‌شود خط لوله تحت اثر روانگرایی قرار گرفته است و برای اجتناب از پیچیده شدن فرمول‌ها، از شرایط انتها گیردار استفاده شده است. کرنش‌های طولی و دورانی و همچنین تغییر مکان از روابط زیر بدست می‌آید (Takada and Yamajyo, (1987))

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{2D\beta^2(f_p/k_1)[(1-\lambda^2)\cos\beta L \cdot \sinh\beta L + \{(1+\lambda^2)\cosh\beta L + 2\lambda \sinh\beta L\} \sin\beta L]}{(1+\lambda^2)\{(1+\lambda^2)\sinh 2\beta L + 2\lambda \cosh 2\beta L\} + (1-\lambda^2)\{(1-\lambda^2)\sin 2\beta L - 2\lambda \cos 2\beta L\}} \quad (4)$$

$$\varepsilon_L = \frac{D\beta^2(f_p/k_1)\{(1-\lambda^2)\sinh 2\beta L + (1+\lambda^2)\sin 2\beta L\}}{(1+\lambda^2)\{(1+\lambda^2)\sinh 2\beta L + 2\lambda \cosh 2\beta L\} + (1-\lambda^2)\{(1-\lambda^2)\sin 2\beta L - 2\lambda \cos 2\beta L\}} \quad (5)$$

$$\delta = \frac{f_p}{k_1} \left[ 1 + \frac{2\lambda^2[(1-\lambda^2)\sin\beta L \cdot \cosh\beta L - \{(1+\lambda^2)\sinh\beta L + 2\lambda \cosh\beta L\} \cos\beta L]}{(1+\lambda^2)\{(1+\lambda^2)\sinh 2\beta L + 2\lambda \cosh 2\beta L\} + (1-\lambda^2)\{(1-\lambda^2)\sin 2\beta L - 2\lambda \cos 2\beta L\}} \right] \quad (6)$$

که  $L$  طول لوله،  $D$  قطر لوله،  $f_p$  رانش خط لوله در واحد طول و  $k_1$  فاصله روانگرایی می‌باشد.

### بیان مسئله

سامانه‌های خطوط لوله به علت گستردگی و عبور از نواحی مختلف در معرض خطرات گوناگون قرار می‌گیرند و همچنین پر مولفه بودن و پیچیدگی آن‌ها سبب می‌گردد که در برابر خطرات زمین لرزه از آسیب پذیری بالایی برخوردار باشند. همچنین سامانه‌های خطوط لوله به عنوان یکی از شریان‌های حیاتی در کاهش و یا افزایش خسارات و آسیب پذیری ناشی از خطرات زمین لرزه نقشی کلیدی دارند از این‌رو بررسی عملکرد و انجام مطالعات بهسازی لرزه‌ای و طراحی لرزه‌ای سامانه‌های خطوط لوله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. توجه اساسی به توسعه معیارهای طراحی لرزه‌ای و بهسازی سامانه‌های خطوط لوله پس از وارد آمدن خسارات عمده به تاسیسات نفتی لانگ بیچ در کالیفرنیا آمریکا در سال 1933 صورت گرفت (Takada and Yamajyo, (1987)) و پژوهشگران با توجه به خسارات ناشی از زلزله بروی سامانه‌های خطوط لوله اقدام به توسعه روش‌های بررسی رفتار لرزه‌ای خطوط لوله نمودند.

یک لایه ماسه شل و اشباع هنگامی که تحت اثر ارتعاش قرار می‌گیرد تمایل به تراکم و کاهش حجم دارد. اگر زهکشی انجام نشود فشار آب منفذی زیاد می‌گردد. با تداوم ارتعاش، فشار آب منفذی در ماسه افزوده می‌شود. زمانی خواهد رسید که فشار کل، معادل فشار آب منفذی



$$S' = S - u \quad (7)$$

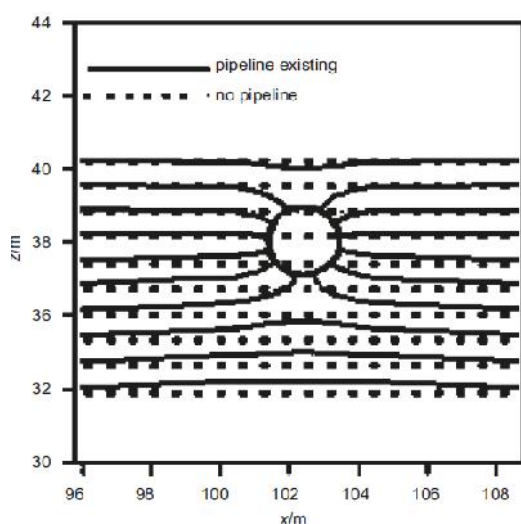
که  $S'$  تنش مؤثر،  $S$  تنش کل و  $u$  فشار آب منفذی است. اگر  $S$  مساوی  $u$  شود  $S'$  مساوی صفر خواهد شد. در این حالت، ماسه هیچگونه مقاومت برشی نداشته و شبیه گل مایع ناگهان به شکل یک سیال در می‌آید، این پدیده روانگرایی نامیده می‌شود. در مفهومی گسترده‌تر، پدیده‌ای که در اثر آن مصالح دانه‌ای به علت ارتعاش به حالت مایع در آمده، خواه توده خاک به وسیله آب اشباع شده باشد یا خیر، در بیان عمومی روانگرایی (Liquefaction) اطلاق می‌شود.

پتانسیل روانگرایی خاک‌های ریزدانه خمیری با استفاده از معیار چینی ابداعی توسط Wang (1979) تعیین می‌گردد. نکات مهم این معیار عبارتند از: درصد مواد ریزتر از  $0.075$  میلیمتر کمتر از  $20\%$  باشد، حد روانی (LL) کمتر از  $35\%$  باشد، مقدار رطوبت طبیعی بیشتر از  $0.9LL$  باشد و شاخص روانی بیشتر از  $0.75$  باشد. خاک‌هایی که دارای هر چهار شرط مزبور باشند مستعد روانگرایی با افت قابل توجه مقاومت هستند. (بیات و شکیب، ۱۳۸۸)

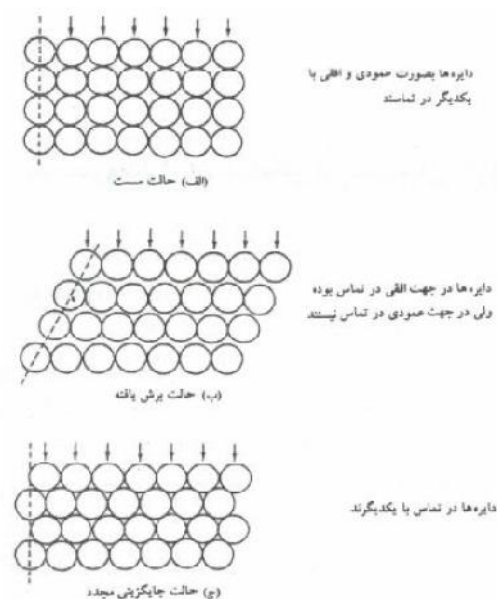
### مکانیزم روانگرایی

در خاکهای ماسه‌ای قبل از اینکه زلزله و نیروهای ناشی از آن از طریق تماس ذرات بتوانند منتقل شوند، ذرات خاک داری تماس‌های پایداری بین یکدیگر هستند. این امر موجب می‌شود که مقاومت برشی خاک پایداری سازه‌هایی که بر سطح زمین قرار دارند را تأمین نماید. این حالت در شکل (۹-الف) به صورت شماتیک نشان داده شده است. هنگامی که این خاک در اثر تنش‌های برشی ناشی از ارتعاشات زلزله تغییر شکل می‌دهد، همچنان که در شکل (۹-ب) مشاهده می‌شود، تماس میان ذرات از بین می‌رود. در نتیجه، نیروهایی که اصولاً به وسیله تماس‌های ذرات در امتداد قائم تحمل می‌شدند به آب منفذی منتقل می‌گردند که این همان بروز شرایط روانگرایی خواهد بود. در این حالت تماس میان ذرات از بین رفته و مقاومت برشی خاک صفر می‌شود و خاک ماسه‌ای رفتاری شبیه رفتار یک مایع که وزن مخصوص آن برابر خاک اشباع است از خود نشان خواهد داد. بعد از روانگرایی همزمان با خروج آب تماس بین ذرات خاک مجدداً برقرار شده و حالتی مانند آنچه که در شکل (۹-ج) نشان داده شده به وجود می‌آید که همان گیرش مجدد توده خاک است، لیکن پس از وقوع مقدار زیادی نشست رخ خواهد داد. کاهش حجم در خاک نشست کرده، برابر حجم آب حفره‌ای است که از خاک خارج شده است. خاک‌های واقعی بسیار پیچیده‌تر هستند زیرا از روی هم قرار گرفتن ذرات با اندازه‌های مختلف تشکیل می‌شوند.

شکل ۱۰ دیاگرام شماتیک توزیع فشار آب منفذی را در مجاورت خط لوله نشان می‌دهد. خط‌های یکنواخت نشان دهنده حضور خط لوله می‌باشند و خط چین‌ها نشان دهنده بستر آزاد می‌باشند. همانطور که در شکل ۴ مشخص است، حضور خط لوله دارای تأثیر قابل توجهی بر روی فشار آب منفذی لرزه‌ای در اطراف خط لوله دارد. هرچقدر از خط لوله فاصله بگیریم، تأثیرات ناشی از آن کمتر می‌شود. (Luan Maotioin et al., (2009))



شکل ۱۰: دیاگرام شماتیک توزیع فشار آب منفذی در اطراف لوله در حضور و عدم حضور خط لوله



شکل ۹: دیاگرام شماتیک از آرایش ذرات خاک‌های ماسه‌ای اشباع





## رفتار لوله‌های مدفون در زمین لرزه

سامانه‌های خطوط لوله با توجه به گستردگی و فرارگیری در ناحیه وسیع، بیشتر از سایر سازه‌ها در برابر خطرات زمین لرزه قرار می‌گیرند. بسیاری از مواقع خطوط لوله مجبور به عبور از گسل‌های فعال و مناطق با خطر روانگرایی هستند. از این‌رو بررسی رفتار آن‌ها در زمین لرزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. اثر زلزله بروی خطوط لوله مدفون بطور کلی به دو دسته زیر تقسیم می‌گردد:

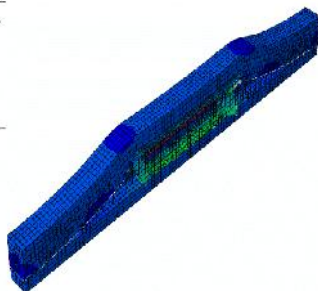
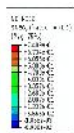
- اثر مستقیم: که شامل اثر انتشار امواج زلزله و تغییر شکل‌های زمین بر روی خطوط لوله مدفون می‌باشد.
- اثر غیر مستقیم: که شامل اثرات ثانویه ناشی از حرکات زمین لرزه می‌باشد که این موارد شامل گسلش، روانگرایی و زمین لغزش می‌باشند.

مطابق با مدل ارزیابی خسارت ارائه شده در HAZUS-SR خسارات وارد بر خطوط لوله مدفون شامل دو قسمت می‌باشد: (HAZUS-SR)

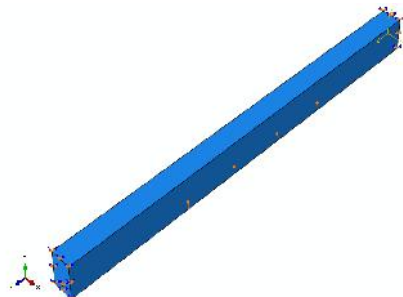
- نشت از لوله که بیشتر در اثر حرکات زمین ناشی از زلزله اتفاق می‌افتد و 80% تابعی از بیشینه سرعت زمین (PGV) و تابعی از تغییر شکل دائمی زمین (PGD) می‌باشد.
- شکست لوله که در اثر تغییر شکل‌های بزرگ زمین رخ می‌دهد و 80% تابعی از PGD می‌باشد و 20% تابعی از PGV می‌باشد. هنگامی که در اثر زلزله شرایط روانگرایی پیش می‌آید دانه‌های لایه ماسه‌ای غیر متراکم در اثر ارتعاش ناشی از زلزله، نشست کرده و بطور نسبی متراکم می‌شوند و به دنبال آن فشار آب منفذی موجود در لایه مورد نظر افزایش می‌یابد و در نتیجه مهم‌ترین پارامتر مقاومتی خاک یعنی تنش موثر آن برای نگهداری سازه (لوله مدفون) مستقر بر آن کاهش می‌یابد که این امر به مستحدمات از جمله خطوط لوله مدفون آسیب‌هایی وارد می‌کند که این آسیب‌ها شامل شناوری خطوط لوله و فرونشست آن در اثر کاهش مقاومت باربری خاک و گسیختگی لوله می‌باشد.

## مدل‌سازی و استخراج نتایج

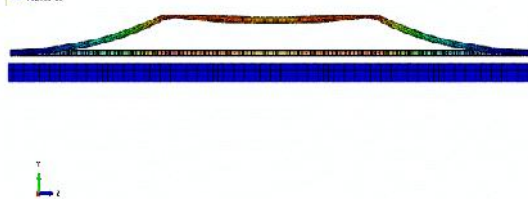
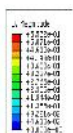
به منظور در نظر گرفتن اثر روانگرایی ناشی از زلزله بر روی خط لوله مورد نظر، 40 ثانیه اول شتابنگاشت زلزله شهر دشتی استان بوشهر را به صورت یک مولفه قائم رو به بالا به قسمت یک سوم میانی خاک مورد بررسی اعمال نمودیم که نحوه بارگذاری در شکل 11 نشان داده شده است. علت اعمال بار به یک سوم میانی خط لوله این است که بتوانیم مقایسه‌ای در خصوص تغییر مکان و تغییر شکل در قسمتهایی از لوله که دچار روانگرایی شده و قسمتی که دچار پدیده روانگرایی نشده است داشته باشیم. همچنین اثر وزن خاک روی لوله نیز به صورت یک بار گسترده بر روی لوله اعمال گردیده است. تحت اثر این بارگذاری مجموعه خاک و خط لوله در جهت مثبت محور Y (قائم) دچار تغییر مکان شد که تغییر مکان مجموعه خاک و لوله و تغییر مکان خط لوله به تنهایی به ترتیب در شکل‌های 12 و 13 ارائه شده است. همچنین تصویر شماتیک تغییر شکل خط لوله تحت بارگذاری اعمال شده نیز در شکل 14 به نمایش درآمده است، در این شکل می‌توان محل تشکیل نقاط پلاستیک را نیز مشاهده نمود.



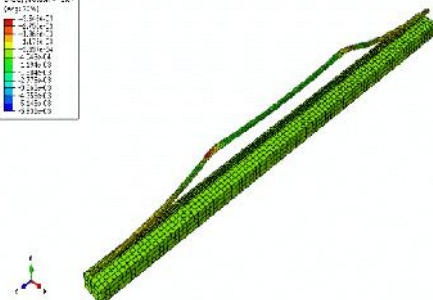
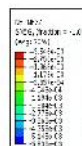
شکل 12: تغییر مکان مجموعه خاک و لوله تحت بارگذاری اعمال شده



شکل 11: بارگذاری ناشی از زلزله بر روی خط لوله

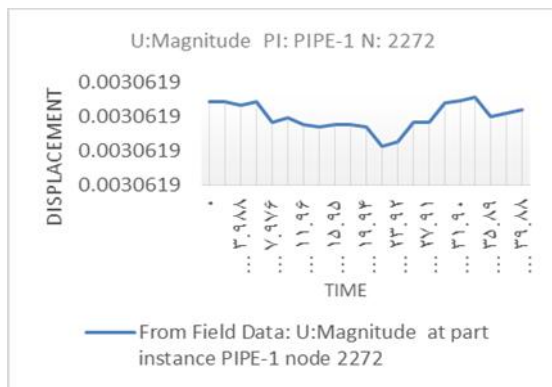


شکل 14: تغییر شکل خط لوله تحت بارگذاری اعمال شده

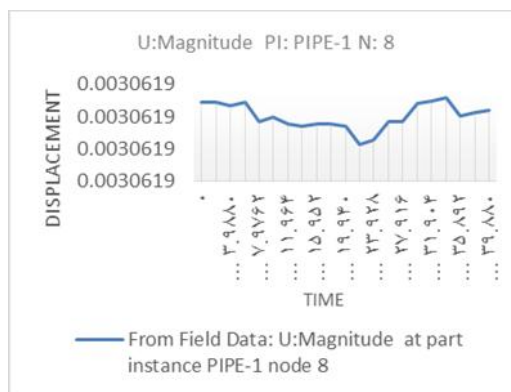


شکل 13: تغییر مکان خط لوله تحت بارگذاری اعمال شده

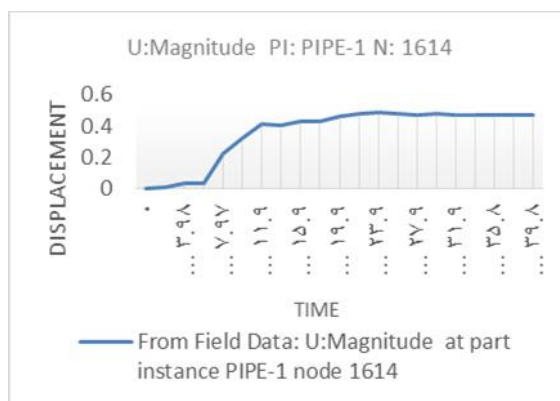
نمودار تغییرمکان در سه نقطه ابتدا، انتها و وسط خط لوله در نمودارهای ۱ الی ۳ نشان داده شده است:



نمودار ۳: تغییرمکان عمودی انتها

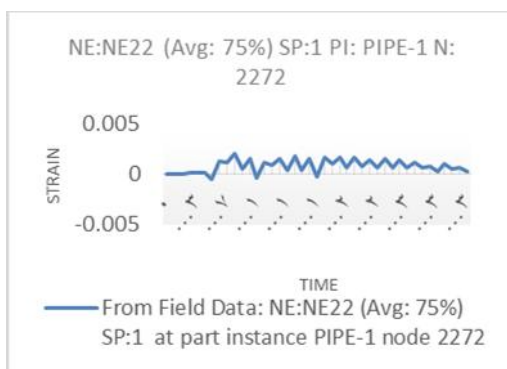


نمودار ۱: تغییرمکان عمودی ابتدا

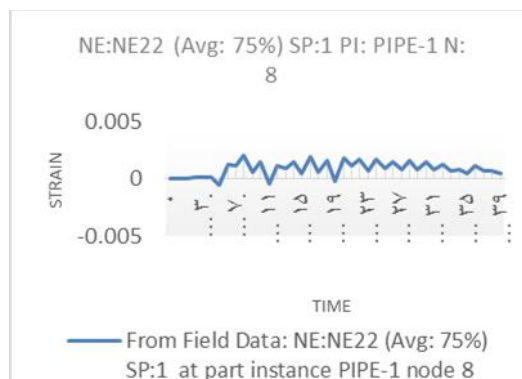


نمودار ۳: تغییرمکان عمودی قسمت میانی

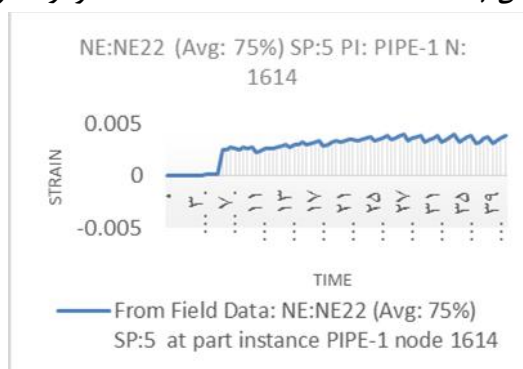
نمودارهای ۴ الی ۶ گراف کرنش‌های طولی و عرضی خط لوله را در سه نقطه ابتدا، انتها و وسط خط لوله نشان می‌دهند:



نمودار ۵: کرنش عمودی انتها



نمودار ۴: کرنش عمودی ابتدا



نمودار ۶: کرنش عمودی قسمت میانی



در نمودارهای فوق E22 کرنش در جهت عمود (y) و E33 کرنش در جهت طولی لوله (z) می‌باشد،  $u_2$  تغییرمکان در جهت عمودی (y) و  $u_3$  تغییرمکان در جهت طولی لوله (z) می‌باشد. N نیز شماره نقطه‌ای می‌باشد که تغییرمکان آن را بدست آوردیم. همانطور که از اشکال و نمودارهای کرنش مشخص است، میزان تغییرمکان و تغییرشکل در قسمت میانی خط لوله که روانگرایی رخ داده است بسیار بیشتر از دو قسمت ابتدایی و انتهایی می‌باشد.

همانطور که از نتایج تغییرمکان مشاهده می‌شود، تغییرمکان ابتدا و انتهای خط لوله به ترتیب برابر  $0.0036$  (متر) و  $0.0036$  (متر) و تغییرمکان قسمت میانی خط لوله که تحت بارگذاری تغییرمکان ناشی از زلزله قرار گرفته برابر  $0.48177$  (متر) می‌باشد. همچنین حداکثر نتایج کرنش‌های عمودی در ابتدا و انتهای خط لوله به ترتیب برابر  $0.002069$  و  $0.002011$  می‌باشد. در حالیکه کرنش حداکثر بدست آمده در وسط خط لوله برابر  $0.004005$  می‌باشد.

نتایج بدست آمده حاکی از این نکته می‌باشد که در مرز جداکننده دو قسمت ابتدایی و انتهایی از قسمت میانی خط لوله، میزان تنش و تغییرمکان به حداکثر مقدار خود رسیده است و در این نقاط پتانسیل تخریب لوله بیشتر می‌باشد. در حالیکه قسمت یک سوم میانی که تحت بارگذاری ناشی از زلزله قرار گرفته است خاک روانگرا به علت مشخصات فیزیکی خاصی که دارد، موجب بحرانی شدن شرایط خط لوله به عنوان یک شریان حیاتی تحت اثر پدیده روانگرایی ناشی از بارگذاری زلزله می‌شود.

لازم به ذکر است آنالیز فوق با در نظر گرفتن وزن خاک روی لوله انجام شده است. در صورت نظر از وزن خاک روی لوله تغییرمکان قسمت میانی لوله به مقدار  $0.93$  (متر) افزایش می‌یابد که نشان دهنده افزایش  $1.93$  برابری (تقریباً دو برابر) میزان تغییر مکان می‌باشد. لذا بارگذاری خاک روی لوله می‌تواند موجب کاهش شدید میزان تغییرمکان خط لوله گردد.

## نتیجه گیری

آسیب پذیری خطوط لوله مدفون در مناطق لرزه خیز ممکن است بسیار جدی باشد و انجام اقدامات پیشگیرانه برای رفع آسیب پذیری یا دست کم به حداقل رساندن آن ضروری به نظر می‌رسد. این امر بویژه در کشور ما که بیش از  $60\%$  مناطق آن با خطر نسبی زیاد روبروست آسیبی جدی تلقی می‌شود.

از آنجا که نقاط معیوب یک خط لوله در زلزله عملکرد ضعیفی داشته و به نوعی بحرانی ترین منطقه یک خط لوله می‌باشند، شناخت آن‌ها و عوامل تولیدکننده آن‌ها از مهم ترین امور در ارزیابی لرزه ای خطوله لوله انتقال می‌باشند. در این تحقیق تأثیر عامل روانگرایی ناشی از زلزله مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصله نشان می‌دهند میزان تغییرمکان خط لوله انتقال آب در شرایط خاک روانگرا در حالی که بارگذاری ناشی از زلزله (همانطور که توضیح داده شد) اعمال گردد به میزان  $133.82$  برابر حالت بارگذاری نشده می‌باشد. همچنین میزان کرنش نیز  $1.99$  برابر افزایش می‌یابد. همچنین در صورتی که تأثیر بار قائم ناشی از وزن خاک روی لوله در نظر گرفته نشود تغییرمکان و کرنش‌ها به مراتب افزایش می‌یابند لذا این موضوع نشان می‌دهد در شرایطی که به ناچار مجبور به عبور خط لوله از داخل خاک روانگرا باشیم، با افزایش عمق دفن می‌توان از اثر مثبت بازدارنده ناشی از وزن خاک روی لوله استفاده کرده و تنش‌های ناشی از زلزله را کاهش داد.

## مراجع

- بیات ح و شکیب ح (۱۳۸۳) “تحلیل و طرح لرزه ای لوله های مدفون”، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، گزارش تحقیقاتی، گ-۳۷۱
- حلبیان، صیادپور سی سخت (۱۳۸۸) ارزیابی شبکه لوله‌های فولادی مدفون شهری اصفهان تحت اثر روانگرایی، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- محمد تاتار، گزارش پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله از زمین لرزه ۹۲/۰۱/۲۰ شهر بوشهر.

ABAQUS, *Finite Element Program Theory Manual*, Hibbit, Karlsoon & Sorenson Inc

HAZUS-SR, “*Earthquake Loss Estimation Methodology*”, FEMA, 200

Luan Maotioin, Zhang Xiaoling and Yang Qing (2009). *Numerical analysis of liquefaction of porous seabed around pipeline fixed in space under seismic loading*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 29 (2009) 8, 55–864

Takada S and Tanabe K (1984) *Damages of Buried Lifelines during the 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake*. Report of The Construction Engineering Research Institute Foundation, No.26, pp.93-112

Takada S and Yamajyo K (1987) *Liquefaction Analysis for Buried Pipelines*. Development of Geometrical Engineering, Volume 45, 1987, Pages 319–333

[http://www.iiees.ac.ir/images/stories/PDF/EQ/Bushehr\\_Earthquake.pdf](http://www.iiees.ac.ir/images/stories/PDF/EQ/Bushehr_Earthquake.pdf)

