

## تحلیل دینامیکی خطوط انتقال سیال، مدفون شده در خاک ماسه ای

مهدی آوردی<sup>۱\*</sup>، یحیی رحیمی<sup>۲</sup>، هادی دشتی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، mehdiavardi@yahoo.com

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، rahimi.yahya@gmail.com

۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، hdasht1356@yahoo.com

### چکیده

گسترش روز افزون جوامع شهری، اهمیت شریان های حیاتی بر زندگی عمومی را بیشتر کرده است. یکی از مهمترین شریان های حیاتی خطوط انتقال انرژی می باشد. با توجه به کارایی بالای خطوط لوله مدفون در انتقال آب، نفت، گاز و سیالات دیگر و افزایش چشمگیر استفاده از آنها در نقاط مختلف دنیا، لزوم بررسی رفتار اینگونه سازه ها در برابر تحریکات دینامیکی ناشی از حرکت شدید زمین ضروری به نظر میرسد.

ضمن اینکه کشور ایران در یکی از نواحی زلزله خیز دنیا واقع شده است و هر لحظه احتمال وقوع زمین لرزه در کشور وجود دارد. از این رو توجه خاص به روش های مقاوم سازی سازه ها و به ویژه شریان های حیاتی که غالباً به صورت مدفون شده در خاک می باشند ضروری است. لازمه این کار تجزیه و تحلیل شرایط به وجود آمده در لحظه زلزله و تغییر مکان های ماندگار زمین پس از زلزله خصوصاً در خاک هایی با شرایط خاص مانند گسل ها، خاک های مستعد روانگرایی، خاک های مستعد نشست و ... می باشد. مهمترین علت شکست لوله ها، جابه جایی ناشی از زلزله می باشد. این جا به جایی ها به دو صورت گذرا و ماندگار می باشد. جابه جایی گذرا در اثر موج و جابه جایی ماندگار در اثر پدیده های ژئوتکنیکی مانند روانگرایی و گسل می باشد. از این میان روانگرایی عمده ترین عامل این شکستگی هاست.

لذا در این تحقیق با مدل سازی در نرم افزار المان محدود ABAQUS ورژن ۶/۱۴ به بررسی و آنالیز تحلیل دینامیکی خطوط انتقال سیال مدفون شده و در مجاورت خاک ماسه ای اشباع که مستعد روانگرایی می باشد و یکی از شرایط بحرانی و خاص می باشد می پردازیم.

در پایان به این نتیجه می رسیم که هرچه ضخامت لوله ها کوچکتر فرض گردد اثرات تخریبی نیروی زلزله بر خطوط انتقال کمتر خواهد بود و نیز چون بیشترین تاثیر مخرب امواج زلزله در نواحی سطحی زمین می باشد و با افزایش عمق خاک از شدت نیروی زلزله کاسته می شود، پس مطلوب تر این است که لوله های مدفون در عمق بیشتری از سطح زمین قرار گیرند. از نتایج بدست آمده در این تحقیق توصیه می شود برای ساخت لوله های مدفون در خاک از لوله های فولادی و فایبرگلاس استفاده شود و نیز پس از بررسی بر روی چهار نوع سیال (آب، نفت، گازوئیل و گاز متان) نتیجه گرفته می شود که سیال درون لوله تاثیر چندانی بر روی مقاومت و عملکرد لوله ی مدفون در هنگام وقوع زلزله ندارد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل دینامیکی، خطوط انتقال، سیال، خاک ماسه ای

### ۱- مقدمه

درمیان شریان های حیاتی سازه های مدفون به دلیل گستردگی شان در محیط شهری و تامین نیازهای حیاتی شهروندان از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردارند بخش مهمی از شریان های حیاتی شهرهای مدرن را خطوط لوله مدفون تشکیل



می دهند تا چندی پیش چنین به نظر می رسد که سازه های زیرزمینی به جز سازه هایی که در مناطق مستعد لغزش زمین و یا بر روی گسل ها قرار دارند در جریان زلزله با خطر چندانی مواجه نیستند اما تجربیات زلزله های شدید در چند دهه اخیر مانند زلزله های ۱۹۹۴ نوثرریچ و ۱۹۹۵ کوبه لزوم طراحی لرزه ای سازه های مدفون و در نظر گرفتن پدیده های مانند روانگرایی و اثرات ناشی از آن مانند تغییر شکل های جانبی و بالا آمدگی سازه را روشن نموده است زلزله ۱۹۸۹ لمپریتا به خاطر وقوع روانگرایی و تغییر مکان جانبی زمین موجب آتش سوزی و خسارت شد، زلزله ۱۹۹۰ رودبار منجیل منبع بزرگ آب آشامیدنی رشت انزلی را در اثر روانگرایی ویران کرد، زلزله ۱۹۹۴ نوثرریچ باعث شکست تعداد زیادی از لوله ها در اثر تغییر شکل دائمی زمین شد، زلزله کواشیرواکی که در سال ۱۹۹۳ به بزرگی ۸/۷ در شمال ژاپن به وقوع پیوست باعث ایجاد آسیب های فراوان به تسهیلات فاضلاب و لوله های گازرسانی، قرضه های جاده ها، خانه ها و تسهیلات ساحلی شد.

انتقال فرآورده های نفتی و گاز و حتی آب و فاضلاب توسط خطوط لوله که یکی از روشهای مناسب، ارزان قیمت، سریع و مطمئن است انجام می گیرد. با توجه به اینکه خطوط لوله در سطح وسیع گسترش می یابند، لذا در اثر خطراتی مانند گسلش، زمین لغزش، تغییر مکانهای ناشی از روانگرایی، چگالش، ترکهای زمین و حرکات شدید زمین که تماما ناشی از زلزله هستند دچار آسیب دیدگی و باعث خسارات اقتصادی و زیست محیطی فراوانی می گردند. لذا باید عملکرد این خطوط در مقابل زلزله بررسی گردد تا بتوان راهکارهایی برای جلوگیری از این آسیبها در نظر گرفت. از عوامل تاثیرگذار بر خطوط لوله مدفون سیال، ضخامت، قطر لوله، مدول یانگ و عمق دفن لوله در مورد خصوصیات لوله و در مورد خصوصیات بستر، دانسیته، ضریب پواسون، سرعت انتشار امواج و طول موج آن، پرپود طبیعی ارتعاش، ضخامت لایه ها، ضخامت بستر و بالاخره سرعت و شتاب طیف طرح را می توان نام برد. لذا در این تحقیق تصمیم بر آن است که یکسری از عوامل بصورت ثابت و تعدادی از عوامل متغییر در نظر گرفته شود و تاثیر عوامل متغییر بر رفتار لرزه ای لوله های مدفون سیال در خاک ماسه ای اشباع مستعد روانگرایی بررسی گردد. در این تحقیق رفتار خطوط لوله مدفون با استفاده از المانهای نرم افزار ABAQUS و تئوری تیر بر بستر ارتجاعی بصورت سه بعدی مدل شده است. همچنین عواملی مانند عمق دفن، قطر لوله، جنس و نوع لوله، ضخامت لوله، بررسی شده است. لذا به دلایل مهم اقتصادی و زیست محیطی ضرورت انجام این تحقیق از اهمیت بالایی برخوردار می باشد.

## ۲- روش کار

در تحقیق حاضر از نرم افزار المان محدود ABAQUS ورژن ۶/۱۴ استفاده شده که در ابتدا مدل های اولیه خاک و لوله در ماژول پارت<sup>۱</sup> ساخته شده، سپس در ماژول پراپرتی<sup>۲</sup> مشخصات مصالح خاک و لوله، به نرم افزار داده می شود. حال باید مدل های ساخته شده اولیه را در ماژول اسمبلی<sup>۳</sup> با هم ترکیب کرده تا مدل نهایی خاک و لوله به دست آید. هم چنین معیارهای خروجی که از نرم افزار خواسته می شود نیز در ماژول استپ<sup>۴</sup> تعریف شدند. در ماژول اینترکشن<sup>۵</sup> اندرکنش های بین نواحی مدل یا بین ناحیه ای از مدل با اطراف آن مشخص می شوند. در ماژول لود<sup>۶</sup> به معرفی بارهای استاتیکی و دینامیکی وارده به مدل پرداخته شد. سپس در ماژول مش<sup>۷</sup>، مش بندی صورت گرفت.

ابعاد مدل استفاده شده در شکل (۱) آمده است. طول لوله برابر ۱۰۰ متر و قطر آن برابر ۱/۵۲۴ متر (۶۰ اینچ) و ضخامت آن ۰/۰۲ متر، عرض خاک برابر با ۱۰ متر و ارتفاع خاک برابر با ۱۵ متر می باشد. خاک و لوله به چهار قسمت موازی تقسیم شده اند.

<sup>1</sup> Part

<sup>2</sup> Property

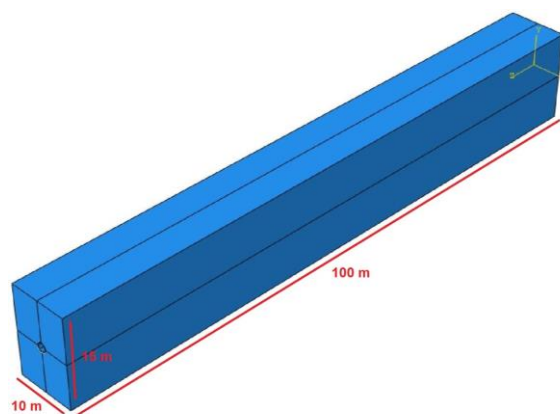
<sup>3</sup> Assembly

<sup>4</sup> Step

<sup>5</sup> Interaction

<sup>6</sup> Load

<sup>7</sup> Mesh



شکل (۱) : ابعاد مدل

### ۳- مشخصات مصالح بکار رفته

با توجه به اینکه در این تحقیق مسئله ی روانگرایی خاک مطرح است از خاک ماسه ای اشباع استفاده شده است. از مدل رفتاری موهر کلمب برای خاک مورد نظر استفاده شده است. مشخصات خاک استفاده شده در تحلیل در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱) : مشخصات مصالح خاک

پارامتر	نام	خصوصیات الاستیک	خصوصیات پلاستیک	واحد
مدل رفتاری	مدل	موهر - کولمب	موهر - کولمب	-
مدول الاستیسیته	E	۹۶۰۰۰۰۰۰	-	N/m <sup>2</sup>
وزن مخصوص اشباع	γ	۲۱۶۰	-	Kg/m <sup>3</sup>
ضریب پواسون	ν	۰/۲۵	-	-
ثابت چسبندگی	C	-	۱۷۰۰۰	N/m <sup>2</sup>
زاویه اصطکاک	φ	-	۴۰	درجه
زاویه اتساع	-	-	۲	درجه

مشخصات مصالح لوله با توجه به اهداف تحقیق و بررسی مشخصات جنس لوله تحقیق حاضر در قابل سه نوع لوله فولادی، فایبرگلاس و بتنی در جدول (۲) آمده است. مشخصات مصالح لوله فولادی با توجه به مقاله (Hyuk ۲۰۱۰) و مشخصات مصالح لوله فایبرگلاس با توجه به مقاله (Nan Ji Jin و همکاران ۲۰۱۳) و همچنین مشخصات مصالح لوله ی بتنی با توجه به مقاله (Masood Hajali و همکاران ۲۰۱۶) بدست آمده است.

جدول (۲) : مشخصات مصالح لوله ی مدفون

پارامتر	نام	لوله ی فولادی	لوله ی فایبرگلاس	لوله ی بتنی	واحد
مدل رفتاری	مدل	الاستوپلاستیک	الاستوپلاستیک	الاستوپلاستیک	-
مدول الاستیسیته	E	۲۱۰/۷X۱۰ <sup>۹</sup>	۷۴X۱۰ <sup>۹</sup>	۲۷/۱۷X۱۰ <sup>۹</sup>	n/m <sup>2</sup>
دانسیته	D	۷۸۵۰	۲۵۴۰	۲۳۲۲/۶۱	Kg/m <sup>3</sup>
ضریب پواسون	ν	۰/۳	۰/۳	۰/۲	-
مقاومت فشاری	C	۴۹۰X۱۰ <sup>۶</sup>	۱۵۰X۱۰ <sup>۷</sup>	۳۵۰X۱۰ <sup>۶</sup>	n/m <sup>2</sup>

با توجه به اهداف تحقیق و بررسی سیال درون لوله ی مدفون از چهار نوع سیال آب، نفت، گازوئیل و گار متان استفاده می شود. مشخصات این چهار نوع سیال با توجه به ابعاد لوله و قطر آن از طریق نرم افزار Pipe Flow Wizard محاسبه

می شود. فشار درون لوله ای که حاوی آب است برابر ۴۱۴۰۰۰، نفت برابر ۵۸۹۰۰۰، گازوئیل برابر ۳۰۴۰۰۰ و گاز متان برابر ۲۰۰ نیوتن بر مترمربع اعمال می شود.

#### ۴- مطالعات پارامتریک

مطالعات انجام شده در این تحقیق با توجه به اهداف تحقیق در جدول (۳) آمده است. مطالعات انجام شده بر روی قطر و عمق لوله مدفون، جنس لوله و نوع سیال درون آن انجام می شود.

جدول (۳): ابعاد مدل های طراحی شده

نوع سیال	جنس لوله	عمق لوله (متر)	قطر لوله (متر)	پارامتر مورد بررسی
آب	فولادی	۶/۷	۱/۵۲۴	تغییرات در قطر لوله
			۱/۷۶۲	
			۲	
آب	فولادی	۵/۷	۱/۵۲۴	تغییرات در عمق لوله
		۶/۷		
		۷/۷		
آب	فولادی	۶/۷	۱/۵۲۴	تغییرات در جنس لوله
	فایبرگلاس			
	بتنی			
آب	فولادی	۶/۷	۱/۵۲۴	تغییرات در سیال درون لوله
نفت				
گازوئیل				
گاز متان				

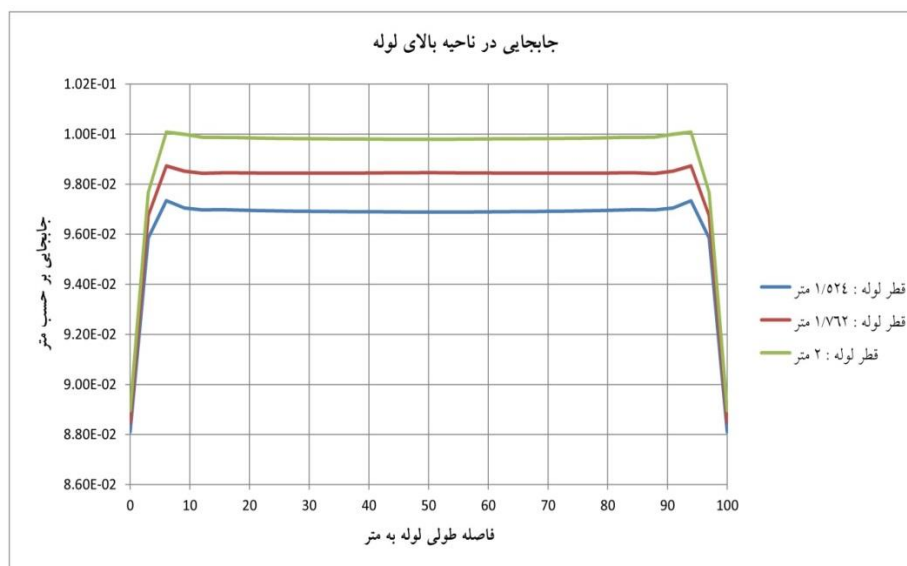
#### ۵- نتایج و شبیه سازی تحقیق

##### ۵-۱- مقدمه

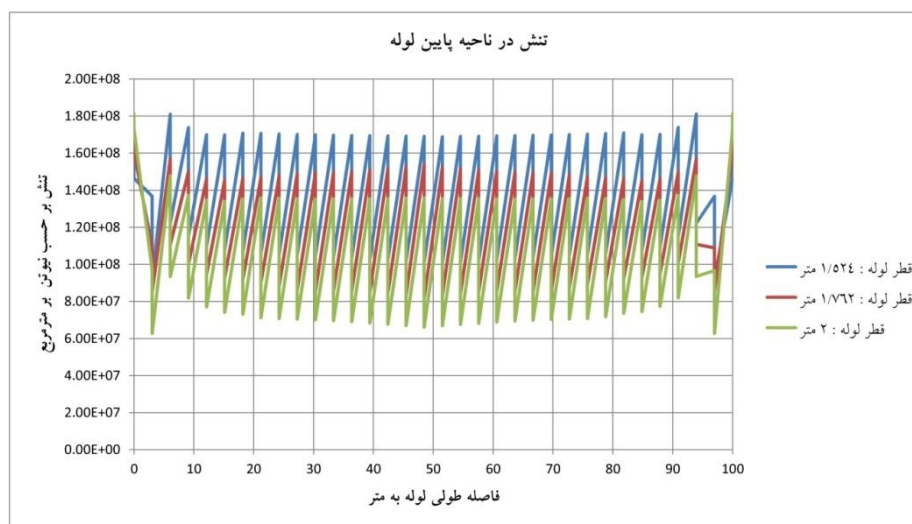
براساس اهداف تحقیق در این بخش به بررسی نتایج خروجی نرم افزار Abaqus در رابطه با تغییرات قطر لوله، عمق لوله، جنس لوله ی مدفون و همچنین نوع سیال درون لوله در خاک ماسه ای اشباع مستعد روانگرایی تحت نیروی زلزله پرداخته خواهد شد. نتایج براساس تنش و جابجایی در ناحیه بالا و پایین لوله و اندرکنش آن با خاک اطراف بررسی خواهد شد. نتایج در قالب نمودار بررسی می گردد.

##### ۵-۲- بررسی تغییرات قطر لوله مدفون

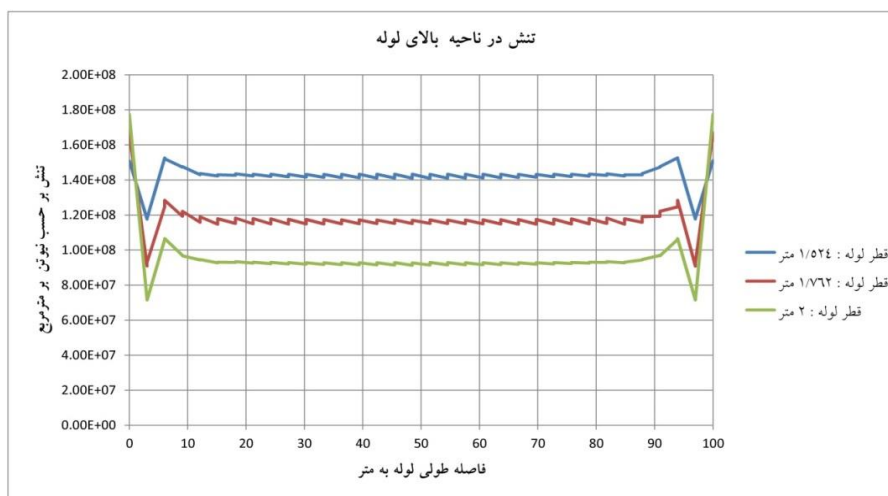
جهت بررسی تغییرات قطر لوله ی مدفون در خاک مستعد روانگرایی از سه قطر ۱/۵۲۴ متر (۶۰ اینچ)، ۱/۷۶۲ متر (۷۰ اینچ) و ۲ متر (۸۰ اینچ) استفاده شده است. پس از تحلیل توسط نرم افزار Abaqus، تحت نیروی زلزله طیس نتایج بصورت نمودارهای در قالب تنش و جابجایی آورده شده اند. شکل (۲) جابجایی لوله ی مدفون را در ناحیه بالای لوله و در مجاورت خاک اطراف آن نمایش میدهد. محور افقی فاصله طولی لوله و محور عمودی جابجایی را بر حسب متر نشان میدهد. شکل های (۳) و (۴) نتایج مربوط به تنش بوجود آمده در ناحیه ی پایین و بالا لوله مدفون که در مجاورت خاک اطراف لوله قرار دارد را نشان میدهند. محور افقی فاصله ی طولی لوله که به میزان ۱۰۰ متر می باشد و محور عمودی تنش را بر حسب نیوتن بر مترمربع نشان میدهد.



شکل (۲) : جابجایی در ناحیه بالا لوله براساس تغییرات قطر لوله



شکل (۳) : تنش در ناحیه پایین لوله براساس تغییرات قطر لوله

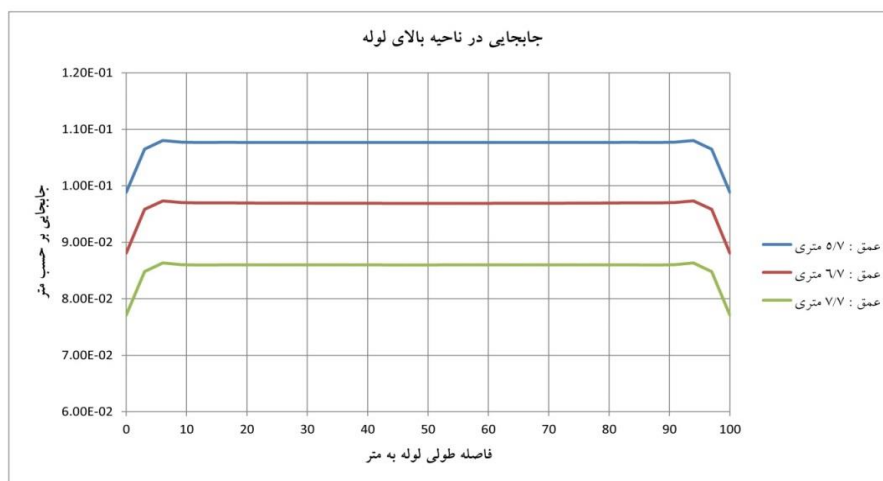


شکل (۴): تنش در ناحیه بالا لوله براساس تغییرات قطر لوله

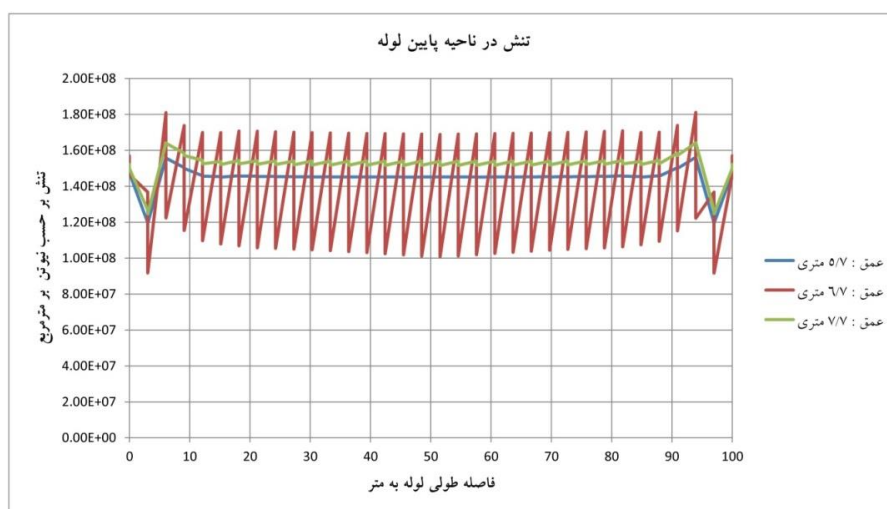
با توجه به شکل (۲) با افزایش قطر لوله از ۱/۵۴۲ به ۲ متر، جابجایی‌ها در ناحیه‌ی بالای لوله و در بین لوله و خاک اطراف آن از ۰/۰۹۶۸ به ۰/۰۹۹۷ متر افزایش می‌یابد. همچنین براساس شکل‌های (۳) و (۴) با افزایش قطر لوله از ۱/۵۲۴ به ۲ متر، تنش‌ها در ناحیه پایین لوله از  $1/69 \times 10^8$  به  $1/36 \times 10^8$  و در ناحیه بالای آن از  $1/43 \times 10^7$  به  $9/3 \times 10^7$  کاهش می‌یابند. هر چقدر قطر لوله افزایش یابد سطوحی که نیروی زلزله بر آن اعمال می‌شود نیز افزایش می‌یابد و همین موضوع باعث افزایش جابجایی در خاک اطراف لوله‌ی مدفون می‌شود. علاوه بر آن افزایش سطح لوله بر اثر افزایش قطر آن، باعث کاهش تنش‌های اطراف لوله خواهد شد که نتایج نیز این موضوع را به وضوح نشان می‌دهند.

### ۵-۳- بررسی تغییرات عمق لوله مدفون

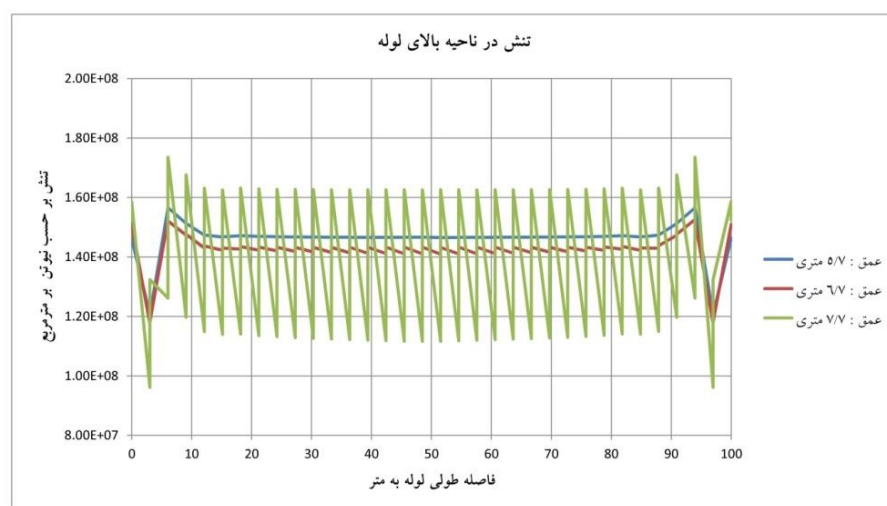
جهت بررسی تغییرات عمق لوله مدفون در خاک ماسه‌ای اشباع مستعد روانگرایی از سه عمق ۵/۷، ۶/۷ و ۷/۷ متر از سطح زمین استفاده شده است. زلزله مورد استفاده جهت این نوع تحلیل، زلزله‌ی طبرس می‌باشد که براساس به دو مولفه طولی و عرضی به مدل اعمال شده است. نتایج بدست آمده از نرم افزار Abaqus در شکل‌های (۵) تا (۷) آمده است. شکل (۵) جابجایی‌های حاصل از اعمال نیروی زلزله را در ناحیه بالا لوله مدفون را نمایش می‌دهند. محور افقی فاصله طولی لوله و محور عمودی، جابجایی را بر حسب متر نشان می‌دهد. شکل (۶) و (۷) نتایج مربوط به تنش بوجود آمده در ناحیه پایین و بالا لوله مدفون را نشان می‌دهند.



شکل (۵): جابجایی در ناحیه بالا لوله براساس تغییرات عمق لوله



شکل (۶) : تنش در ناحیه پایین لوله براساس تغییرات عمق لوله



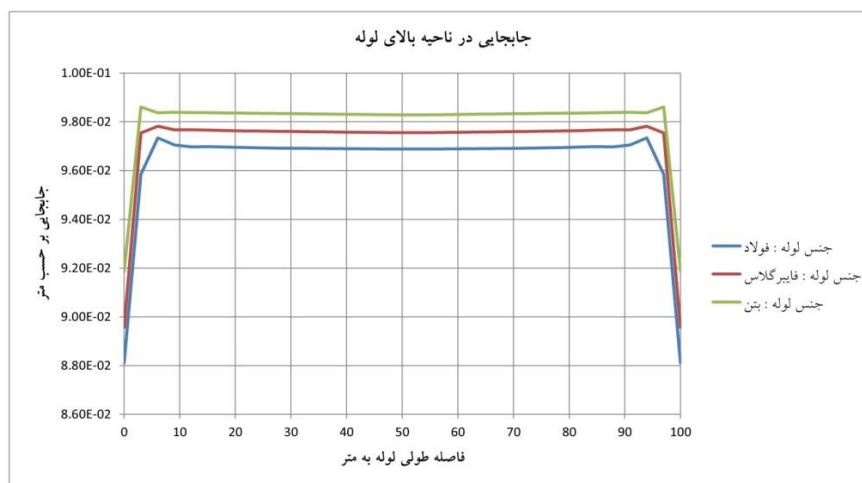
شکل (۷) : تنش در ناحیه بالای لوله براساس تغییرات عمق لوله

براساس نتایج بدست آمده از شکل (۵) مشخص است که با افزایش عمق لوله مدفون در خاک ماسه ای اشباع مستعد روانگرایی از ۵/۷ به ۷/۷ متر، جابجایی در ناحیه بالای لوله از ۰/۱۰۷ به ۰/۰۸۵ متر کاهش می یابد. با توجه به اینکه بیشترین تاثیر مخرب امواج زلزله در نواحی سطحی زمین می باشد و با افزایش عمق خاک از شدت نیروی زلزله کاسته می شود همین امر باعث می شود که با افزایش عمق لوله میزان تاثیر نیروی زلزله بر خطوط لوله کاهش پیدا کرده و جابجایی کمتر شوند. همچنین براساس شکل (۶) با افزایش عمق لوله مدفون از ۵/۷ به ۶/۷ متر، تنش ها در ناحیه پایین لوله و در اواسط آن از  $1/45 \times 10^8$  نیوتن بر مترمربع و با افزایش عمق لوله از ۶/۷ به ۷/۷ متر از  $1/69 \times 10^8$  به  $1/54 \times 10^8$  نیوتن بر مترمربع کاهش می یابد. با توجه به نمودارهای شکل (۷) با افزایش عمق لوله از ۵/۷ به ۷/۷ متر، تنش ها از ناحیه بالای لوله از  $1/47 \times 10^8$  به  $1/63 \times 10^8$  افزایش می یابد.

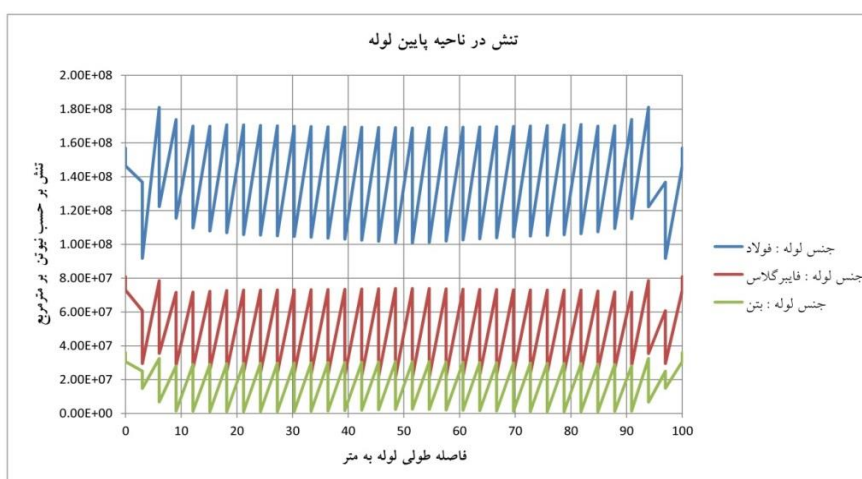
#### ۵-۴- بررسی جنس مصالح لوله مدفون

در این بخش به بررسی جنس مصالح بکار رفته در لوله مدفون پرداخته می شود. بر این اساس از سه نوع لوله فولادی، فایبرگلاس و بتنی استفاده شده است. عمق و قطر لوله در تمام مدلها ثابت می باشد. شکل (۸) جابجایی های بوجود آمده در

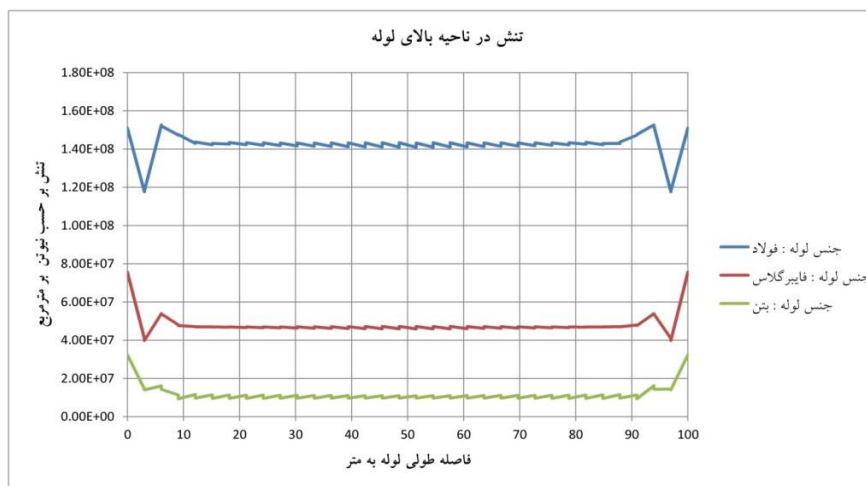
خط لوله را در ناحیه بالای لوله و بر حسب متر نشان میدهد. شکل های (۹) و (۱۰) تنش های بوجود آمده در اثر نیروی زلزله در ناحیه پایین و بالای لوله مدفون را بر حسب نیوتن بر مترمربع نمایش میدهد.



شکل (۸) : جابجایی در ناحیه بالا لوله براساس جنس لوله



شکل (۹) : تنش در ناحیه بالا لوله براساس جنس لوله

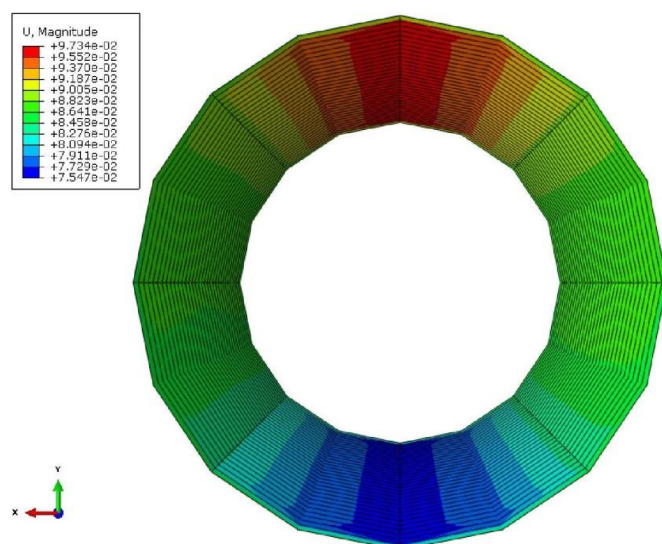


شکل (۱۰) : تنش در ناحیه بالا لوله براساس جنس لوله

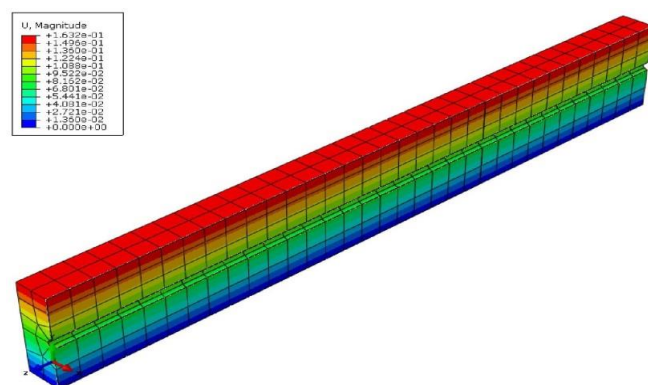


با توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که جابجایی در لوله فولادی  $0/0968$  متر، در فایبرگلاس  $0/0975$  متر و در لوله بتنی  $0/0982$  متر گزارش شده است. این موضوع نشان دهنده این است که لوله فولادی دارای جابجایی کمتر و عملکرد بهتری در هنگام وقوع زلزله است. این امر به دلیل بالا بودن پارامترهای مقاومتی این لوله در بین سایر لوله‌ها می‌باشد. همچنین براساس شکل‌های (۹) و (۱۰) تنش‌های موجود آمده در ناحیه‌ی پایین لوله فولادی  $10^8 \times 1/69$  و در لوله فایبرگلاس  $10^7 \times 7/39$  و در لوله بتنی  $10^7 \times 3/08$  نیوتن بر مترمربع می‌باشد. تنش‌های موجود آمده نیز در ناحیه بالای لوله فولادی  $10^8 \times 1/43$  و در لوله فایبرگلاس  $10^7 \times 4/72$  و در لوله‌ی بتنی  $10^6 \times 9/74$  می‌باشد. همانطور که نتایج نشان می‌دهند میزان تنش‌ها در اطراف لوله فولادی به نسبت سایر لوله‌ها بیشتر است و دلیل این موضوع می‌تواند به توانایی جاری شدن فولاد در هنگام وقوع زلزله برگردد. به دلیل جاری شدن لوله فولادی در اثر بار زلزله تنش‌ها در اطراف آن افزایش می‌یابند و از طرف دیگر جابجایی‌ها کاهش خواهند یافت. لوله بتنی به دلیل توانایی کم در برابر کشش برآحتی خرد شده و توانایی کمتری در مقابله با نیروی زلزله داشته و جابجایی‌ها در اطراف آن افزایش می‌یابد.

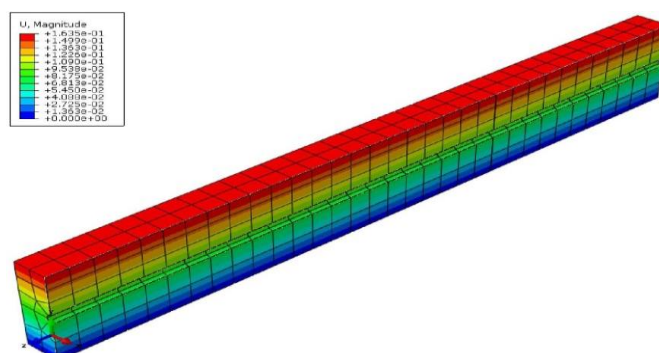
شکل (۱۱) جابجایی‌های موجود آمده در درون لوله فولادی را نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های (۱۲) و (۱۳) نیم‌رخ‌ها از جابجایی‌های موجود آمده در اطراف لوله‌های فایبرگلاس و بتنی را نمایش می‌دهند.



شکل (۱۱) : جابجایی‌های موجود آمده در درون لوله فولادی بر حسب متر



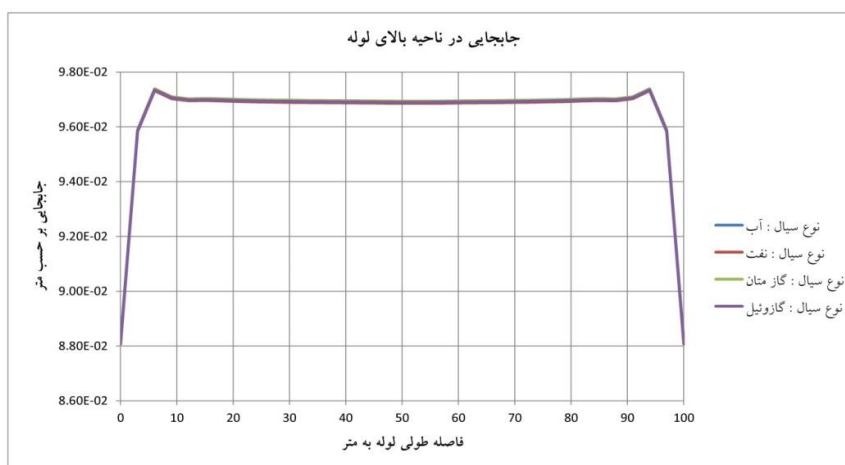
شکل (۱۲) : جابجایی‌های موجود آمده در اطراف لوله فایبرگلاس بر حسب متر



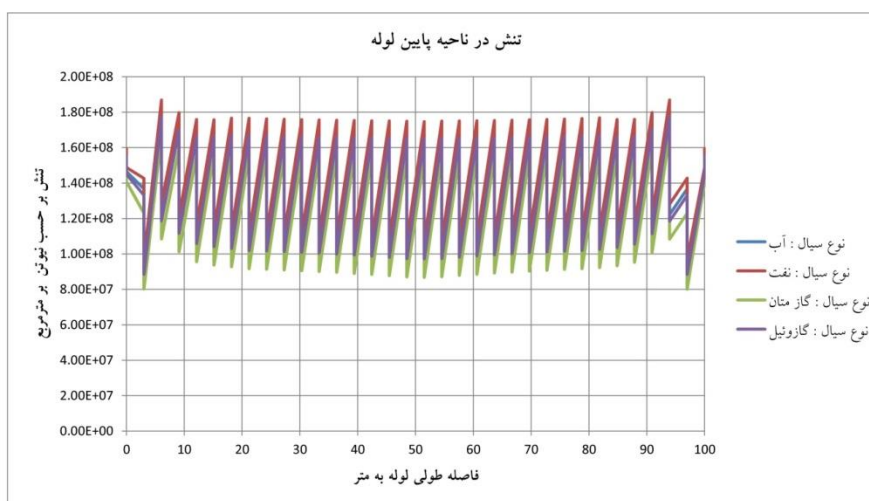
شکل (۱۳): جابجایی‌های بوجود آمده در اطراف لوله بتنی بر حسب متر

#### ۴-۵- بررسی نوع سیال درون لوله مدفون

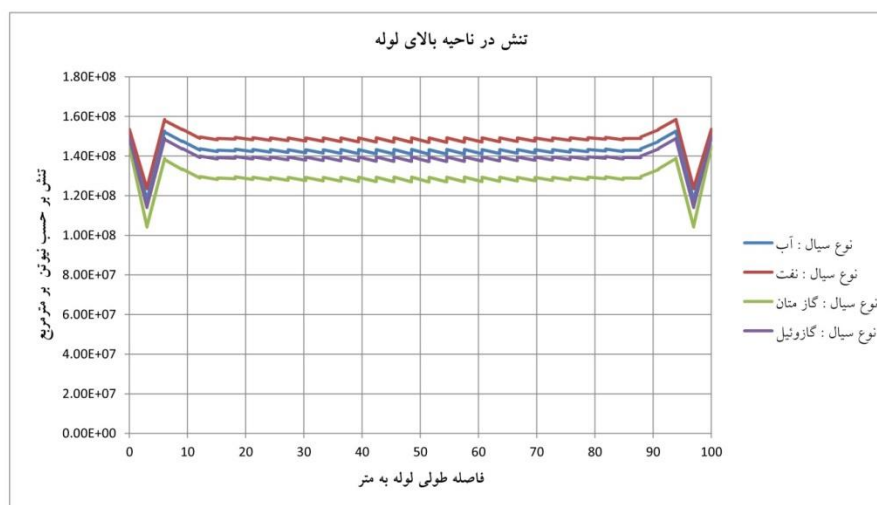
با توجه به اینکه یکی از اهداف این تحقیق بررسی سیال درون لوله مدفون می باشد، در این بخش به این مسئله می پردازیم. جهت بررسی این موضوع از چهار نوع سیال آب، نفت، گاز متان و گازوئیل و گاز متان استفاده گردیده است. لوله ی مورد نظر فولادی می باشد و در خاک ماسه ای اشباع مستعد روانگرایی تحت نیروی زلزله ی طبس قرار دارد. نتایج حاصل از مدلها در شکل های (۱۴) تا (۱۶) براساس جابجایی و تغییرات تنش آمده است.



شکل (۱۴): جابجایی در ناحیه بالا لوله براساس نوع سیال درون آن



شکل (۱۵): تنش ها در ناحیه پایین لوله براساس نوع سیال درون آن



شکل (۱۶): تنش‌ها در ناحیه بالای لوله براساس نوع سیال درون آن

براساس شکل (۱۴) جابجایی‌های بوجود آمده در اثر نیروی زلزله بر لوله مدفونی که حاوی آب است برابر  $0.096883$  متر، دارای نفت برابر  $0.096859$  متر، دارای گاز متان برابر  $0.096939$  متر، دارای گازوئیل برابر  $0.096898$  متر می‌باشد. همانطور که مشخص است جابجایی خیلی به هم نزدیک است و تفاوت چندانی ندارد با این وجود تاثیر سیالات از نظر جابجایی خاک اطراف خط لوله به ترتیب نفت، آب، گازوئیل و گاز متان کمترین جابجایی را دارا هستند. با توجه به شکل (۱۵) تنش‌ها در ناحیه پایین لوله مدفونی که دارای سیال آب است برابر  $1.69 \times 10^8$ ، نفت برابر  $1.75 \times 10^8$ ، گاز متان برابر  $1.55 \times 10^8$  و گازوئیل برابر  $1.65 \times 10^8$  نیوتن بر مترمربع است. همچنین با توجه به شکل (۱۶) وضعیت این تنش‌ها در ناحیه بالای لوله ای که دارای سیال آب است برابر  $1.43 \times 10^8$ ، نفت برابر  $1.49 \times 10^8$ ، گاز متان برابر  $1.29 \times 10^8$  و گازوئیل برابر  $1.40 \times 10^8$  نیوتن بر مترمربع می‌باشد.

## ۶- نتیجه گیری

### ۶-۱- مقدمه

با توجه مطالعات صورت گرفته و نتایج بدست آمده از نرم افزار آباکوس و همچنین اصول مدلسازی و تحلیل که توضیح داده شد در این بخش به نتیجه گیری از مطالعات و نتایج بدست آمده و توصیه‌هایی برای افزایش مقاومت لوله مدفون تحت نیروی زلزله پرداخته می‌شود.

### ۶-۲- نتیجه گیری

با افزایش قطر لوله از  $1.542$  به  $2$  متر، جابجایی‌ها در ناحیه بالای لوله و در بین لوله و خاک اطراف آن از  $0.0968$  به  $0.0997$  متر افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش قطر لوله از  $1.524$  به  $2$  متر، تنش‌ها در ناحیه پایین لوله از  $1.69 \times 10^8$  به  $1.75 \times 10^8$  و در ناحیه بالای آن از  $1.43 \times 10^8$  به  $1.49 \times 10^8$  کاهش می‌یابند. هر چقدر قطر لوله افزایش یابد سطوحی که نیروی زلزله بر آن اعمال می‌شود نیز افزایش می‌یابد و همین موضوع باعث افزایش جابجایی در خاک اطراف لوله مدفون می‌شود. علاوه بر آن افزایش سطح لوله بر اثر افزایش قطر آن، باعث کاهش تنش‌های اطراف لوله خواهد شد. بنابراین توصیه می‌شود حتی الامکان از لوله با قطر کوچکتر که در این تحقیق  $1.524$  متر (۶۰ اینچ) بود استفاده گردد.

با افزایش عمق لوله مدفون از ۵/۷ به ۷/۷ متر، جابجایی در ناحیه ی بالای لوله از ۰/۱۰۷ به ۰/۰۸۵ متر کاهش می یابد. با توجه به اینکه بیشترین تاثیر مخرب امواج زلزله در نواحی سطحی زمین می باشد و با افزایش عمق خاک از شدت نیروی زلزله کاسته می شود همین امر باعث می شود که با افزایش عمق لوله میزان تاثیر نیروی زلزله بر خطوط لوله کاهش پیدا کرده و جابجایی ها کمتر شوند. همچنین با افزایش عمق لوله مدفون از ۵/۷ به ۷/۷ متر، تنش ها در ناحیه پایین لوله و در اواسط آن از  $1/45 \times 10^8$  به  $1/54 \times 10^8$  نیوتن بر مترمربع کاهش می یابد و در ناحیه ی بالای لوله از  $1/47 \times 10^8$  به  $1/63 \times 10^8$  افزایش می یابد. بنابراین توصیه می شود لوله های مدفون در خاک در عمق های پایین تری از سطح زمین دفن شوند. در این تحقیق عمق ۷/۷ متر مناسب تر می باشد.

در بررسی های مربوط به جنس لوله ی مدفون، جابجایی در لوله فولادی ۰/۰۹۶۸ متر، در فایبرگلاس ۰/۰۹۷۵ متر و در لوله ی بتنی ۰/۰۹۸۲ متر می باشد. این موضوع نشان دهنده این است که لوله فولادی دارای جابجایی کمتر و عملکرد بهتری در هنگام وقوع زلزله است. این امر به دلیل بالا بودن پارامترهای مقاومتی این لوله در بین سایر لوله ها می باشد. همچنین تنش های بوجود آمده در ناحیه ی پایین لوله فولادی  $1/69 \times 10^8$  و در لوله فایبرگلاس  $7/39 \times 10^7$  و در لوله بتنی  $3/08 \times 10^7$  نیوتن بر مترمربع می باشد. تنش های بوجود آمده نیز در ناحیه بالای لوله فولادی  $1/43 \times 10^8$  و در لوله فایبرگلاس  $4/72 \times 10^7$  و در لوله بتنی  $9/74 \times 10^6$  می باشد. همانطور که نتایج نشان میدهند میزان تنش ها در اطراف لوله فولادی به نسبت سایر لوله ها بیشتر است و دلیل این موضوع می تواند به توانایی جاری شدن فولاد در هنگام وقوع زلزله برگردد. به دلیل جاری شدن لوله فولادی در اثر بار زلزله تنش ها در اطراف آن افزایش می یابند و از طرف دیگر جابجایی ها کاهش خواهند یافت. لوله بتنی به دلیل توانایی کم در برابر کشش براحتی خرد شده و توانایی کمتری در مقابله با نیروی زلزله داشته و جابجایی ها در اطراف آن افزایش می یابد. بنابراین توصیه می شود برای ساخت لوله های مدفون در خاک از لوله های فولادی و فایبرگلاس استفاده شود.

در بررسی های انجام شده در خصوص نوع سیال درون لوله نتایج نشان میدهد که جابجایی های بوجود آمده در اثر نیروی زلزله بر لوله مدفونی که حاوی آب است برابر  $0/096883$  متر، دارای نفت برابر  $0/096859$  متر، دارای گاز متان برابر  $0/096939$  متر، دارای گازوئیل برابر  $0/096898$  متر می باشد. همانطور که مشخص است جابجایی خیلی به هم نزدیک است و تفاوت چندانی ندارد با این وجود تاثیر سیالات از نظر جابجایی خاک اطراف خط لوله به ترتیب نفت، آب، گازوئیل و گاز متان کمترین جابجایی را دارا هستند. همچنین تنش ها در ناحیه پایین لوله مدفونی که دارای سیال آب است برابر  $1/69 \times 10^8$ ، نفت برابر  $1/75 \times 10^8$ ، گاز متان برابر  $1/55 \times 10^8$  و گازوئیل برابر  $1/65 \times 10^8$  نیوتن بر مترمربع است. همچنین وضعیت این تنش ها در ناحیه ی بالای لوله ای که دارای سیال آب است برابر  $1/43 \times 10^8$ ، نفت برابر  $1/49 \times 10^8$ ، گاز متان برابر  $1/29 \times 10^8$  و گازوئیل برابر  $1/40 \times 10^8$  نیوتن بر مترمربع می باشد. بنابراین سیال درون لوله تاثیر چندانی بر روی مقاومت و عملکرد لوله ی مدفون در هنگام وقوع زلزله ندارد.

## مراجع

- ۱- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۴، (۱۳۹۳)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- ۲- برگی، خ. (۱۳۹۳)، "بررسی اثرات تخریبی پدیده روانگرایی بر روی خطوط لوله شبکه گاز تغذیه و توزیع گاز استان تهران و تعمیر آن به کل کشور"، پروژه پژوهشی از دانشگاه تهران، پردیس دانشکده های فنی، شبکه اطلاع رسانی نفت و انرژی شانا.
- ۳- توفیق، م.م. و س.ط. طباطبایی (۱۳۸۳). پیش بینی نشست منطقه ای زمین به روش محاسبه برگشتی و تاثیر نشست بر شبکه فاضلاب، مجله تحقیقات مسکن و ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران، ص ۴۴-۵۸.



- ۴- حسینی، م-و مقارین، م. ۱۳۷۸. "مطالعه تحلیلی یک خط لوله مدفون تحت اثر انتشار امواج لرزه ای".
- ۵- حاصلی، میترا (۱۳۷۲). اثر روانگرایی خاک بر روی خطوط لوله مدفون، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده عمران.
- ۶- حاجی نبی زاده، معصومه (۱۳۹۰). مطالعه تاثیر نوع گسل در اندرکنش خاک و لوله مدفون بدون فشار داخلی به روش تفاضل محدود، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی عمران، گروه خاک و پی، دانشگاه تبریز.
- ۷- راستی، ر. محمدی، ح. (۱۳۹۲). "مقاوم سازی شریان های حیاتی مدفون در خاک و نحوه عملکرد انواع لوله ها در هنگام زلزله"، نشریه مقاوم سازی و بهسازی صنعت، شماره ۲۱.
- ۸- گروه نویسندگان و کار گروه ارزیابی وزارت نیرو، مهندسی خطوط لوله انتقال آب (منطبق بر ضوابط نشریه شماره ۱۸۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی)، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۳.
- ۹- صابری، میعاد (۱۳۸۹). تحلیل رفتار دینامیکی لوله های فولادی مدفون در خاک در ناحیه خم تحت اثر انتشار موج، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده عمران.
- ۱۰- ضیاء توحیدی، رضا؛ قلعه نوی، منصور؛ قدیری، محمد رضا (۱۳۹۰). بررسی رفتار لوله های فلزی مدفون در برابر حرکات دو بعدی گسل و مقاوم سازی آنها با FRP، کنفرانس زلزله، سازه و روش های محاسباتی، جهاد دانشگاهی استان کرمان، ۲۷ و ۲۸ مهر ماه ۱۳۹۰.
- ۱۱- سید، اچ.بی. و ادیس، آی. ام. (۱۳۷۴)، "حرکت های زمین و روانگرایی خاک حین زلزله"، انتشارات موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
- ۱۲- شکیب، ح. (۱۳۹۳)، "بررسی رفتار لوله های مدفون در خاک تحت بارگذاری ناشی از انفجار سطحی"، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۱۳- عبدالحی، م. (۱۳۹۲)، "بررسی اثر انتشار امواج زلزله بر خطوط لوله فولادی مدفون نفت"، دانشگاه شهرکرد.
- ۱۴- میرکریم زاده، سید مجتبی (۱۳۹۰). بررسی اندرکنش خاک و لوله های مدفون در اثر بارهای دینامیکی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یزد، گروه عمران.
- ۱۵- مسیحی، ح، زرنگاریان، ا، حقی، ح (۱۳۸۴). بررسی و مقاوم سازی شریان های حیاتی و مجاری مدفون در اثر وقوع زلزله (با مطالعه موردی شهر تهران)، پروژه تحقیقاتی دانشگاه صنعت آب و برق، تهران.
- ۱۶- میهن روستا، ر. و م. یعقوبی (۱۳۸۷). بررسی پاسخ استاتیکی و دینامیکی مخازن نیمه مدفون با توجه به جنس خاک بستر، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
- ۱۷- نیک نهاد، د. منشوری، م. (۱۳۸۶)، "بررسی آسیب پذیری و شناسایی مودهای خرابی لوله ها در زلزله"، کارشناسان ارشد مهندسی زلزله، اداره کل ضوابط فنی و استانداردها، پوستر اولین کنفرانس لوله و صنایع وابسته.
- ۱۸- هاكاتو، م؛ حسنی، ن؛ اسلامی، م (۱۳۸۳). زلزله در آلبوم تجربه .
- 19- American lifelines alliance-ASCE. Guidelines for the design of buried steel pipe, with addenda through February, 2005.
- 20- Barkahov, E.2001. "Introduction to the Finite Element Method". Riga Technical University.
- 21- Baska, D.A., (2002), "An analytical/Emperical model for prediction of lateral spread displacements", PhD Thesis, Dept. Of Civil Engineering, University of Washington, Washington.
- 22- Chunfeng Zhaoa, Jianyun Chena, Qiang Xua (2014), FSI effects and seismic performance evaluation of water storage tank of AP1000 subjected to earthquake loading, Institute of Earthquake Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China b School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Anhui Province 230009, China.
- 23- Concequences of Izmit (Kochali) earthquake (turkey, august 17, 1999) on industrial plants and some jetties, F. Masson, J. P. Pineau, J. J. Tritsch INERIS, Parc technologique Alata, BP 2, 60550 Verneuil en Halatte, France.
- 24- Elachachi, S.M., D. Breyssand L.Houy. 2004. "Longitudinal variability of soils and structural response of sewer networks", Computers and Geotechnics.
- 25- H. Ghasemzadeh, S.A. Ghoreishian Amiri (2013), a hydro-mechanical elastoplastic model for unsaturated soils under isotropic loading conditions, Faculty of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.



- 26- H.-Y.Zhao, D.-S.Jeng,n, C.C.Liao(2016), Effects of cross-anisotropic soil behaviour on the wave-induced residual liquefaction in the vicinity of pipeline buried in elasto-plastic seabed foundations, School of Civil Engineering, South West Jiaotong University, Sichuan, 610031,China . Key Laboratory of Theory and Technology of High-Speed Railway Structures, Ministry of Education, South West Jiaotong University, Sichuan, 610031, China. Griffith School of Engineering, Griffith University Gold Coast Campus, QLD4222, Australia. Department of Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China.
- 27- Huang, M. and Zienkiewicz, O.C. (1998) “New unconditionally stable staggered solution procedures for coupled soil- pore fluid dynamic problems” *Int. J. Num. Meth. In Eng.*, 43, pp. 1029- 1052.
- 28- Karamitros D, Bouckovalas G. Stress analysis of buried steel pipelines at strike-slip fault crossings, *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2007.
- 29- Liang, j., Sun,S. (2002).” Site Effects on Seismic Behaviour of Pipeline”, *Pressure Vessel Tech.*, ASME, Vol .122, pp 469-475,2000 Atluri, S.N. and Shen, S. j.,Sun,S. (2002).” Site Effects on Seismic Behaviour of Pipeline”,*Pressure Vessel Tech.*,ASME,Vol .122,pp 469-475,2000 Atluri, S.N. and Shen, S.
- 30- Madenci E, Guven I. The finite element method and applications in engineering Using ANSYS, The University of Arizona, 200۲.
- 31- Matsuo, O., Nishi, K. and Suzuki, R. (1997) “Numerical simulation of embankments founded on liquefied soil” *Proc. Of 9th Int. Conf. on Computer Methods and Advances in Aeromechanics*, Wuhan, pp.1807- 1812.
- 32- Nowzartash, F.and M.Mohareb. 2004. “An elastoplastic finite element for steel pipelines”. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 81919–930.
- 33- Ozkan, I.F.and M.Mohareb. 2009. Moment resistance of steel pipes subjected to combined loads *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 86, pp: 252, 264.
- 34- Shakib H, Zia – Tohidi R. Response of Steel buried pipelines to three – dimensional fault movements by considering material and geometrical non – linearities, *Conference on Earthquake Engineering*, 2004.
- 35- Seed, H. B. and Idriss, I. M., (1985) “Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential”. *Journal of SMFD, ASCE*, vol 97, no 9, pp 1249-1273.
- 36- Seed, H. B., and Alba, P, D., (1986), “Use of SPT and CPT tests for Evaluating the Liquefaction Resistance of Sands”. *Use of in-situ Tests in Geotechnical Engineering*, *Geotechnical Special Publication*, no 6, pp 281-302.
- 37- SIMULIA , ABAQUS Version 6.14-3, SIMULIA Consulting Group Inc. 2015.
- 38- Hyuk Lee 2010. “Finite element analysis of a buried pipeline”. Thesis , The University of Manchester .
- 39- Nan Ji Jin , Hae Geun Hwang , Jung Heum Yeon , 2013. “Structural analysis and optimum design of GRP pipes based on properties of materials”. *Construction and Building Materials journal* .
- 40- Masood Hajali , Ali Alavinasab , Caesar Abi Shdid , 2016. “Structural performance of buried prestressed concrete cylinder pipes with harnessed joints interaction using numerical modeling”. *Tunnelling and Underground Space Technology journal* .
- 41- Pipe Flow Wizard Version 1.12