بررسی رفتار دینامیکی شبکه‌ای از خطوط لوله با روانگرایی بخشی از خاک ناشی از شتاب زلزله

علیرضا میرزا گل تبار روشن*[۱]، سهیل مهدوی عمران[۲]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- کارشناس ارشد زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفت

چکیده

تحلیل خطرپذیری خطوط لوله مدفون در برابر زلزله به عنوان یکی از مهمترین شریان‌های حیاتی در شرایط حاضر جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در فعالیت‌های روزمره ما، سازه‌های زیر زمینی مانند لوله‌ها، تونل‌ها، چاه‌ها و غیره برای خدماتی مثل انتقال آب، حمل و نقل، زهکشی، آبیاری، دفع فاضلاب، انتقال نفت و گاز، حمل ضایعات اسیدی، صنعتی، خانگی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به سرمایه گذاری‌های عظیم در سازه‌های زیرزمینی به ویژه لوله‌های مدفون، نیاز به مطالعه پاسخ این سازه‌ها در برابر زلزله، به وضوح احساس می‌گردد. خطوط لوله که در انتقال گاز و سایر سیالات مورد استفاده قرار می‌گیرند، به طور گسترده‌ای تمام مناطق را پوشانده‌اند. این خطوط به دلیل عبور از مناطق پرجمعیت اکثرا به صورت پیوسته و مدفون در خاک اجرا می‌شوند. رفتار لرزه‌ای این لوله‌ها به علت اندرکنش بین خاک و لوله، متفاوت از سازه‌های روزمینی است. نحوه مدلسازی اثر روانگرایی خاک بر روی لوله در این تحقیق به این صورت است که دو فنر برشی و یک فنر نرمال بین خاک و لوله تعریف می‌شوند که در حالت روانگرایی مقاومت برشی فنرهای اصطکاکی به حداقل میل داده می‌شود.

کلمات کلیدی: خط لوله مدفون، شبکه، روانگرایی خاک

The Dynamic Behavior of a Network of Pipelines and Liquefaction of Soil Caused by the Earthquake Acceleration

Alireza mirza goltabar roshan*[1], Soheil mahdavi omran[2]

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Babol University

2- MSc in Earthquake Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Taft Branch

Abstract

Risk analysis pipelines in the quake as one of the most vital arteries in the current circumstances in the world is of special importance. in our everyday activities, used to underground structures such as pipes, tunnels, wells and so on for services such as transporting water, transportation, irrigation, drainage, sewage disposal, transporting oil and gas, carrying acid waste, industrial, household and so on. With regard to the huge investments structures, especially buried underground pipes, we need to study these constructs in response to the

* مؤلف مسئول: علیرضا میرزا گل تبار روشن ar-goltabar@nit.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۳/۲٤، تاریخ پذیرش مقاله: ۹٤/۵/۱۹

earthquake, is clearly felt. Pipelines used for transporting gas and other fluids, are widely distributed in all areas. These lines due to passing through the densely populated areas are always buried in the earth. Seismic behavior of these pipes as a result of the interaction between the soil and the pipe is different from the above-ground structures. The manner of modelling of the effects of soil liquefaction on the pipes in this thesis is that two shear springs and a normal spring is defined between soil and the pipe that in liquefaction mode minimize the friction shear strength.

Keywords: Buried pipe line, Network, Soil Liquefaction

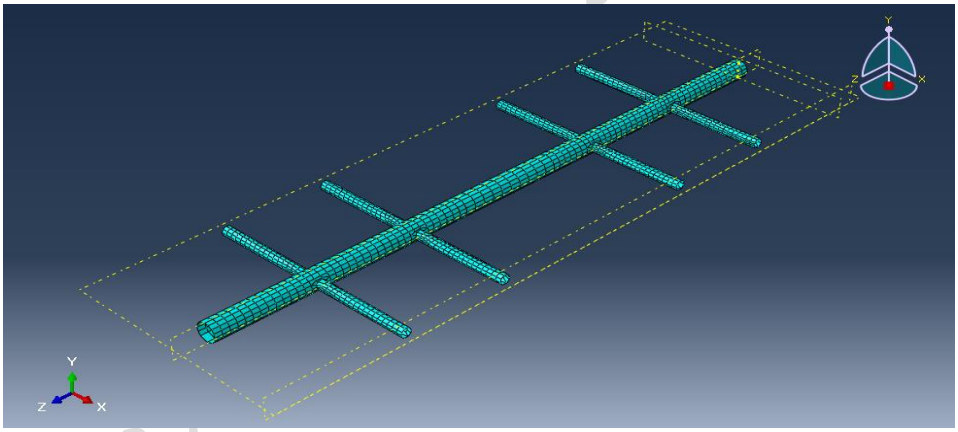
۱- مقدمه

روانگرایی یکی از مهمترین، پیچیده‌ترین و بحث برانگیزترین موضوعات در ژئوتکنیک لرزه‌ای می‌باشد. اثرات ویران کننده روانگرایی در طول ۳ ماه در سال ۱۹٦٤ در فاصله‌ی بین دو زلزله آلاسکا و نیگاتا توجه مهندسان ژئوتکنیک را به خود جلب نمود. در هر دو زلزله نمونه‌هایی از خرابی ناشی از روانگرایی مانند خرابی شیب‌ها، خرابی پل‌ها و نیز خرابی سازه‌ها و لوله‌های مدفون در خاک مشهود بود. در طول ٤۰ سال پس از وقوع این زلزله‌ها بحث روانگرایی توسط محققین بسیاری در سراسر دنیا مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته است و از روشهای مختلف آنالیز استفاده شده است. پدیده‌ای که در طی آن مقاومت برشی خاک کاهش یابد، روانگرایی خاک نامیده می‌شود. عامل اصلی این پدیده افزایش فشار آب حفره‌ای و به تبع آن کاهش تنش مؤثر خاک در اثر بارگذاری در شرایط زهکشی نشده می‌باشد [۱]. اصطلاح روانگرایی برای اولین بار توسط هازن استفاده شد تا شکست سد کالاوراس کالیفرنیا را در سال ۱۹۱۸ توضیح دهد [۲]. هنگام وقوع زلزله، خاک‌های ماسه‌ای سست اشباع به علت ارتعاش ناشی از زلزله متراکم شده و تراکم خاک سبب افزایش فشار آب حفره‌ای ذرات خاک می‌گردد. در صورتی که نفوذپذیری خاک کم باشد، خاک قابلیت تقلیل فشار آب حفره‌ای را نداشته و همراه با تداوم ارتعاشات ناشی از زلزله، فشار آب حفره‌ای بالا می‌رود. هنگامی که فشار آب حفره‌ای با فشار سر بار خاک مساوی شود، خاک روانگونه می‌شود. به علت مساوی شدن تنش کل خاک و فشار آب حفره‌ای المان خاک، تنش مؤثر صفر می‌شود و چون مقاومت برشی خاک‌های ماسه‌ای به علت چسبنگی صفر، متناسب با تنش مؤثر می باشد، مقاومت برشی خاک نیز صفر می‌شود. در طی وقوع زلزله پدیده‌هایی همچون انتشار امواج زلزله و حرکات بزرگ زمین، زمینه آسیب رسانی به لوله‌ها را فراهم می‌آورد که در این میان حرکات بزرگ زمین همچون حرکات گسل، زمین لغزش و روانگرایی خاک از مهمترین عوامل به شمار می‌آید [۳]. ماتسو و همکاران [٤] برای پیش بینی رخداد روانگرایی در شالوده سدها از مدلسازی عددی استفاده کردند. بررسی‌های انجام شده بر روی خرابی لوله‌های مدفون در اثر وقوع زلزله ثابت کرده است که بر خلاف سازه‌های روزمینی، بارهای حاصل از ارتعاشات لرزه‌ای علت اصلی انهدام لوله‌های مدفون نمی باشد، بلکه حرکات بزرگ زمین عامل عمده خرابی لوله‌ها است. به عبارت دیگر خطوط لوله مدفون معمولاً توانایی تحمل امواج زلزله را دارا می‌باشند اما غالباً نمی‌توانند حرکات بزرگ زمین را تحمل نمایند. حرکات بزرگ زمین می‌تواند ناشی از پدیده‌هایی چون گسل، زمین لغزش و روانگرایی خاک باشد. در واقع خطر اصلی زلزله برای خطوط لوله شامل حرکت گذرای زمین و تغییر مکان‌های ماندگار زمین است. حرکت گذرای زمین سبب انتشار امواج نشأت گرفته از منبع آزاد سازی انرژی و تشدید آن در اثر توپوگرافی زمین و شرایط خاک محلی می‌شود. جابجایی ماندگار زمین بیانگر شکست و گسیختگی در زمین در اثر پدیده‌هایی مانند گسلش سطحی، حرکت شیروانی‌ها و زمین لغزش، حرکت جانبی توده خاک در اثر روانگرایی، نشست ناهمگون و ... می‌باشد. تحقیقات بعد از زلزله نشان داده است که بیشترین آسیب لرزه‌ای به خطوط لوله پیوسته فولادی مدفون نفتی و گازی توسط تغییر مکان ماندگار زمین صورت می‌گیرد و تنها تعداد کمی از این آسیب‌ها ناشی از پدیده انتشار امواج می‌باشد. تغییر مکان ماندگار به صورت شبه استاتیکی به خط لوله وارد می‌گردد و الزاماً دارای شدت زیادی نیست. اما ممکن است با این وجود باعث آسیب جدی خط لوله گردد. چنین آسیب‌هایی در تعداد زیادی زلزله گزارش شده‌اند. به عنوان مثال می‌توان به زلزله‌های ۱۹٦٤ نیگاتا و زلزله منجیل در ایران و زلزله آلاسکا اشاره نمود [۵]. زینکوویچ و همکاران [٦] با استفاده از تجربیات قابوسی

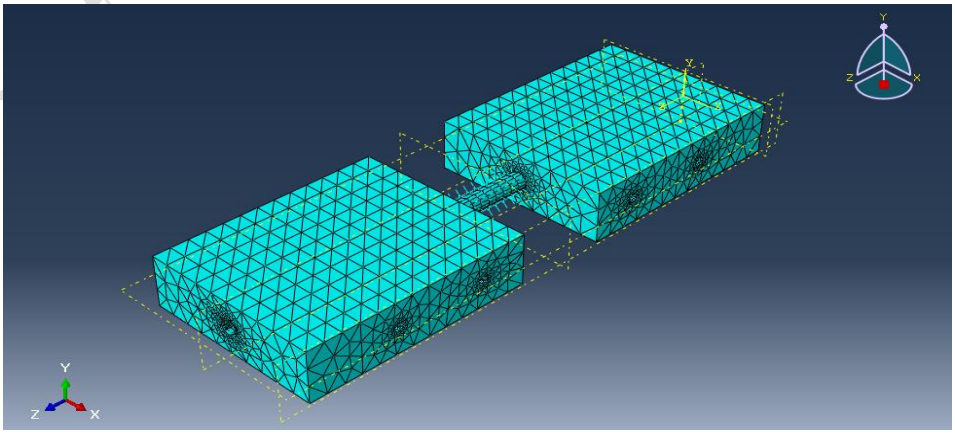
یک برنامه کامپیوتری چند منظوره برای حل مسائل مکانیک خاک و بالاخص تحلیل روانگرایی تهیه کردند. کاساگرانده (۱۹۳٦) اولین محققی بود که به تمایل ماسه‌های سست و اشباع برای کاهش حجم تحت اثر بارگذاری متناوب در شرایط زهکشی شده توجه نمود و ملاحضه کرد که این امر باعث افزایش فشار آب منفذی در شرایط زهکشی نشده می‌شود. سید و همکاران در مطالعات خود بر روی رفتار ماسه اشباع تحت اثر بارهای متناوب، ضمن تأیید مشاهدات کاساگرانده یک سری روابط تجربی که در آن‌ها مدول برشی خاک و نسبت میرایی به سطح کرنش در خاک وابسته بودند را برای آنالیز دینامیکی روانگرایی ارائه نمودند. سید و ادریس [۸] (۱۹٦۷) یک روند تحلیل تنش مؤثر ارائه کردند که قادر به مدلسازی تأثیرات افزایش فشار آب منفذی بر روی سختی برشی توده خاک بود. آنها همچنین یک فرمول بندی یک بعدی برای تعیین میزان زائل شدن فشار آب منفذی در پروسه تحلیل عددی پیشنهاد کردند. در این پروسه از دو مکانیزم مجزا برای تولید و زائل شدن فشار منفذی استفاده گردید. ساندهو در سال ۱۹۸٦ معادلات دیفرانسیلی همبسته به تغییرشکل و فشار منفذی را که توسط بیوت در سال ۱۹٤۱ ارائه شده بود را به روش اجزا محدود حل نمود. قابوسی از این روش برای آنالیز روانگرایی خاکهای دانه‌ای اشباع استفاده کرد ولی چون فرمولاسیون بر اساس فرض الاستیک برای ساختار خاک بود، نتوانست افزایش فشارآب منفذی را در ماسه‌های اشباع مدلسازی کند. بعدها قابوسی و دیکمن در سال ۱۹۷۸ با استفاده از یک مدل رفتارالاستوپلاستیک به طور موفقیت آمیزی افزایش فشار آب منفذی در توده‌های ماسه اشباع تحت بارگذاری متناوب را پیش‌بینی کردند. مسئله روانگرایی موضوع تحقیقات بسیاری شد و توصیه و استانداردهایی در خصوص تبیین روانگرایی بر اساس داده‌های صحرایی و آزمایشگاهی ارائه شد [۹]. ونگ و یه [۱۰] جهت تحلیل لوله‌های مدفون تحت اثر پدیده روانگرایی با تفکیک دو ناحیه روانگراشده و نشده، یک مدل تیرستون برای خط لوله مدفون پیشنهاد نمود. آنگاه به روش تفاضلات محدود محاسبات انجام گرفته و ضمن مقایسه با نتایج دیگران، مطالعه پارامتریک را جهت بررسی فرایند تاثیرپذیری و حساسیت پارامترها انجام داده است. دراین مدلسازی خواص هندسی، مشخصات مصالح، سختی خاک، سرعت انتشار امواج برشی، اثرات خمشی و محوری، جرم و قطر لوله، جرم خاک و اثر شناوری منظور گردید. نیشیو [۱۱] کرنش‌های دینامیکی در خط لوله مدفون ناشی از روانگرایی خاک را مورد تحلیل قرار داد. وی در یک مطالعه تجربی و ساخت مدل آزمایشگاهی پدیده روانگرایی خاک را مورد تست قرار داد، آنگاه بر اساس نتایج تجربی حاصله یک مدل تحلیلی جهت محاسبات تئوریکی ارائه نمود. در این مدل قسمتی از زمین در طول لوله که خاک روانگرا می‌شود و در مدل مکانیزم شکست لوله دخالت داده شده و با بکار بردن این مدل،کرنش‌های دینامیکی محاسبه می‌شوند. نتایج وی نشان می‌دهند تحت شرایط روانگرایی قسمتی از خاک، کرنش‌های بسیار زیاد در لوله تولید می‌شوند. هامادا و همکارانش [۱۲] با بکارگیری نقشه‌ها و تصاویر با نقشه‌برداری هوائی قبل و بعد از زلزله سال ۱۹۸۳ Nihonkai-chubu و اندازه‌گیریها و جابجایی‌های بزرگ زمین ناشی از پدیده روانگرایی خاک را بر روی نقشه‌ها مشاهده و مورد ارزیابی قرار دادند. ونگ گاکسین [۱۳] و همکارانش پاسخ لرزه‌ای خطوط لوله مدفون در طی پدیده روانگرایی خاک از انتشار امواج در جهات مختلف محوری و جانبی را مورد بررسی قرار دادند. آنها در یک تحلیل تئوریکی و محاسباتی پاسخ خط لوله نسبت به موج زلزله ای در یک محیط خاک میعانی را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها در مدل خود تنش موثر خاک و اثر شناوری را در نظر گرفتند و از یک سیستم فنر خاک و لوله جهت شبیه سازی استفاده کردند. فولو [۱٤] دوروش استاتیکی جهت بررسی مسئله روانگرایی و تاثیر آن بر خط لوله مدفون ارائه کرد. خطوط لوله ممکن است تحت تاثیر روانگرایی ماسه در طی وقوع زلزله ناشی از تحریک امواج P و S قرار بگیرد. در روش اول فرض می‌شود خط لوله مستقیم تحت تاثیر روانگرایی خاک ماسه ای دچار تغییر شکل شده و از تئوری تیر بر بستر الاستیک جهت فرمول بندی مسئله استفاده شد. در روش دوم مدلسازی، نقطه‌ای از انحنای لوله به عنوان نقطه عطف در نظر گرفته می‌شود که در آنجا مشتق دوم تغییر مکان صفر بوده وبه اعتقاد او می‌توان به عنوان یک تیر با تکیه‌گاه ساده در نظر گرفت و با حل آن می‌توان تغییر مکان و دوران در نقاط مختلف را به دست آورد.

۲- مدل سازی و معرفی نرم افزار

با توجه به تاریخچه مطالب اکنون باید ورودی‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای هر المان را بیان کرد. در این پژوهش از نرم‌افزار المان محدود abaqus ver 6.13 استفاده شده که در ابتدا مدل‌های اولیه خاک و لوله در ماژول part با اندازه‌های معین و عمق دفن معین لوله ساخته شده، سپس در ماژول property مشخصات مصالح خاک و لوله به نرم افزار داده می‌شود. حال باید مدل‌های ساخته شده اولیه را در ماژول assembly با هم ترکیب کرده تا مدل نهایی خاک و لوله به دست آید. معیارهای خروجی که از نرم افزار خواسته می‌شود باید در ماژول step تعریف شوند. در ماژول interaction اندرکنش‌های مکانیکی و حرارتی بین نواحی مدل یا بین ناحیه‌ای از یک مدل با اطراف آن مشخص می‌شوند. در این حالت تنها پارامتر مورد نیاز، ضریب اصطکاک بین سطوح است که بر اساس نتایج مرجع [۷] ضریب ۰/٤ در نظر گرفته شد. در ماژول load به معرفی بارهای استاتیکی و دینامیکی وارده به مدل پرداخته می‌شود که شامل وزن خاک و لوله و نیروی uplift و رکوردهای زلزله است. سپس باید مدل را در ماژول mesh، مش بندی کرد. اشکال ۱ و ۲ المان‌های مش بندی شده شبکه لوله و خاک مورد استفاده در نرم افزار را نشان می‌دهند. در نهایت در ماژول job یک محیط تحلیلی برای آنالیز مدل تعریف می‌شود و در ماژول visualization می‌توان نتایج و خروجی‌ها را مشاهده کرد. فرضیه‌هایی که برای مدل کردن لوله به کار می‌روند بدین شرح هستند: ۱- از تئوری تیر بر بستر ارتجاعی برای مدل کردن استفاده می‌شود. ۲- از وزن سیال داخل لوله صرف‌نظر می‌شود، این فرض در مورد خط لوله گاز بیشتر مصداق پیدا می‌کند. ۳- فشار سیال داخل لوله ناچیز فرض می‌شود. ٤- از میرایی و لغزش بین خاک و لوله به علت کوچکی صرف‌نظر می‌شود. ٥- مصالح لوله در حالت الاستیک باقی می‌ماند. ٦- از حرکت سیال داخل لوله صرف نظر می‌شود.



شکل ۱: المان شبکه لوله استفاده شده در نرم‌افزار



شکل۲: المان شبکه لوله و خاک استفاده شده در نرم‌افزار

۳- اطلاعات ورودی به نرم افزار

در این پژوهش طول شاه لوله ٦٠ متر، طول شاخه های فرعی ١٠ متر، قطر شاه لوله ٢ متر، قطر شاخه‌های فرعی ١ متر، ضخامت لوله‌ها ٠,٠١ متر و مدول الاستیسیته لوله ٢٠٠e٩ پاسکال در نظر گرفته شده‌اند. در ادامه به معرفی مشخصات خاک پرداخته می‌شود که شامل مدول الاستیسیته خاک ١e٨ پاسکال، زاویه اصطکاک داخلی خاک ٣٠ درجه و دانسیته خاک و لوله به ترتیب ١٧٥٠ و ٧٨٥٠ کیلوگرم بر مترمکعب هستند.

٤- مشخصات فنرها برای مدلسازی خاک

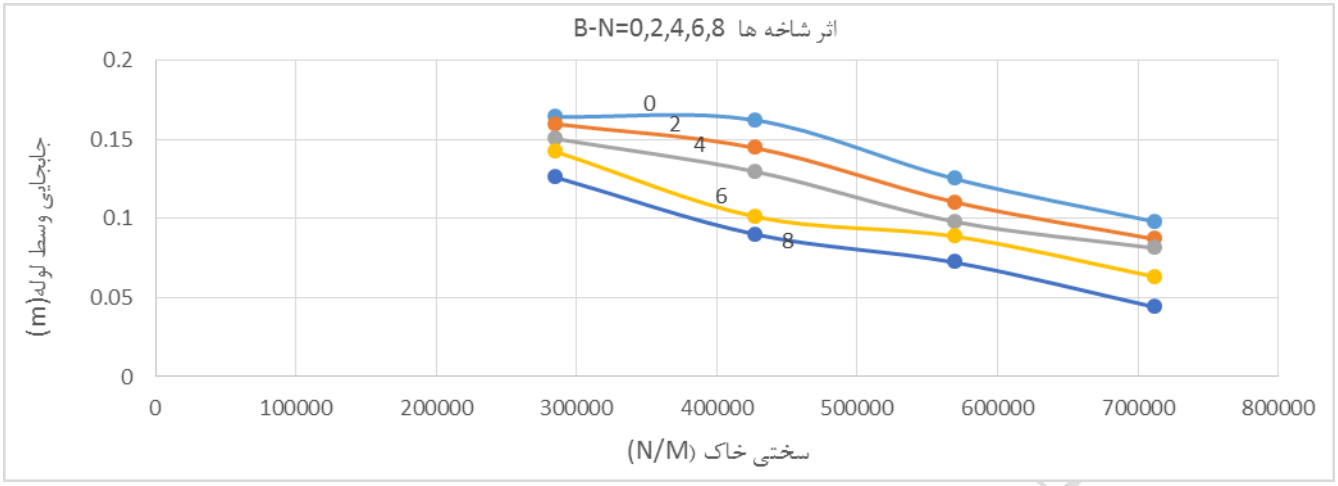
در مورد انواع مدل‌های تئوری موجود درباره روانگرایی در بخش‌های قبل تحقیق توضیح داده شد. یکی از رایج‌ترین مدل‌ها، استفاده از المان تیر برای لوله و فنر معادل برای اندرکنش خاک و لوله است. در این پژوهش خاک روانگرا در ٢٠ متر وسط اطراف لوله به صورت متقارن قرار دارد، که برای مدلسازی آن از فنرهای معادل خاک استفاده می‌شود. در هر نقطه از لوله در ناحیه روانگرایی سه فنر در راستاهای محوری، عرضی- افقی و عرضی- عمودی قرار می‌گیرند. برای به دست آوردن سختی فنرهای خاکی در سه جهت از مرجع استفاده می‌شود [١٥].

٥- صحت سنجی

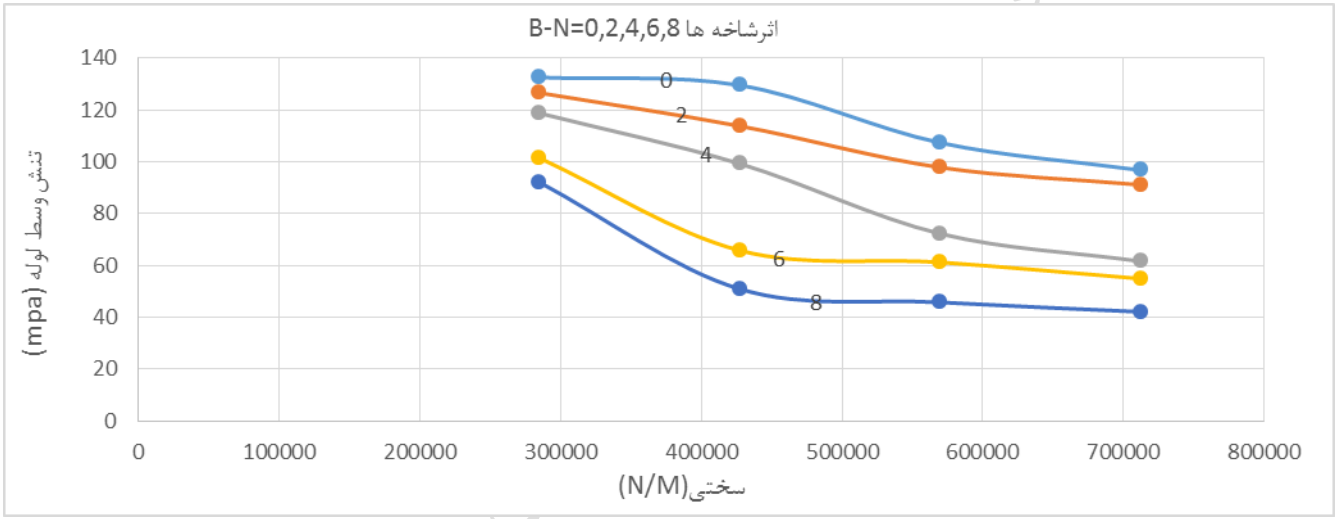
در ادامه به صحت سنجی مدل ساخته شده با مدل دیگران پرداخته می‌شود. در این پژوهش از شرایط مشابه مدلسازی مرجع استفاده شده است که نتایج به دست آمده همخوانی مناسبی با نتایج مرجع داشته است و صحت کار انجام شده را تایید می‌کند [١٦].

٦- مطالعه پارامتریک

پارامتر دیگری که بر رفتار لوله می‌تواند تاثیرگذار باشد، مقادیر سختی خاک نسبت به اثر اضافه شدن انشعابات می‌باشد. تغییر این پارامترها و تاثیر آنها بر تغییر مکان سازه و تنش وسط بر روی شبکه لوله در ادامه در شکل‌های ٣ و ٤ نشان داده شده است. مقادیر سختی خاک اعداد ٧١٢٢٥٠ و ٥٦٩٨٠٠ و ٤٢٧٣٥٠ و ٢٨٤٩٠٠ نیوتن بر متر در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به شکل‌ها مشخص است که با افزایش سختی خاک و اضافه کردن انشعابات، جابجایی سازه و تنش در وسط لوله کاهش می‌یابد. اعداد ٨ و٦ و ٤ و ٢ و ٠ بیانگر تعداد شاخه‌های فرعی در دو سمت لوله هستند که عدد صفر معرف بدون شاخه و عدد ٢ معرف دو شاخه در دو طرف در یک سمت به فاصله ١٠ متر از وسط لوله و همینطور عدد ٤ معرف چهار شاخه به فاصله ١٠ متر در دو طرف لوله و عدد ٦ بیانگر شش شاخه به فاصله ٢٠ متردر دو طرف (چهار شاخه در فاصله ١٠ متری و دو شاخه در فاصله ٢٠ متری از مرکز لوله) و در نهایت عدد ٨ معرف هشت شاخه در دو طرف لوله به فاصله ٢٠ متر از وسط لوله (چهار شاخه در فاصله ١٠ متری و چهار شاخه در فاصله ٢٠ متری) قرار دارند.

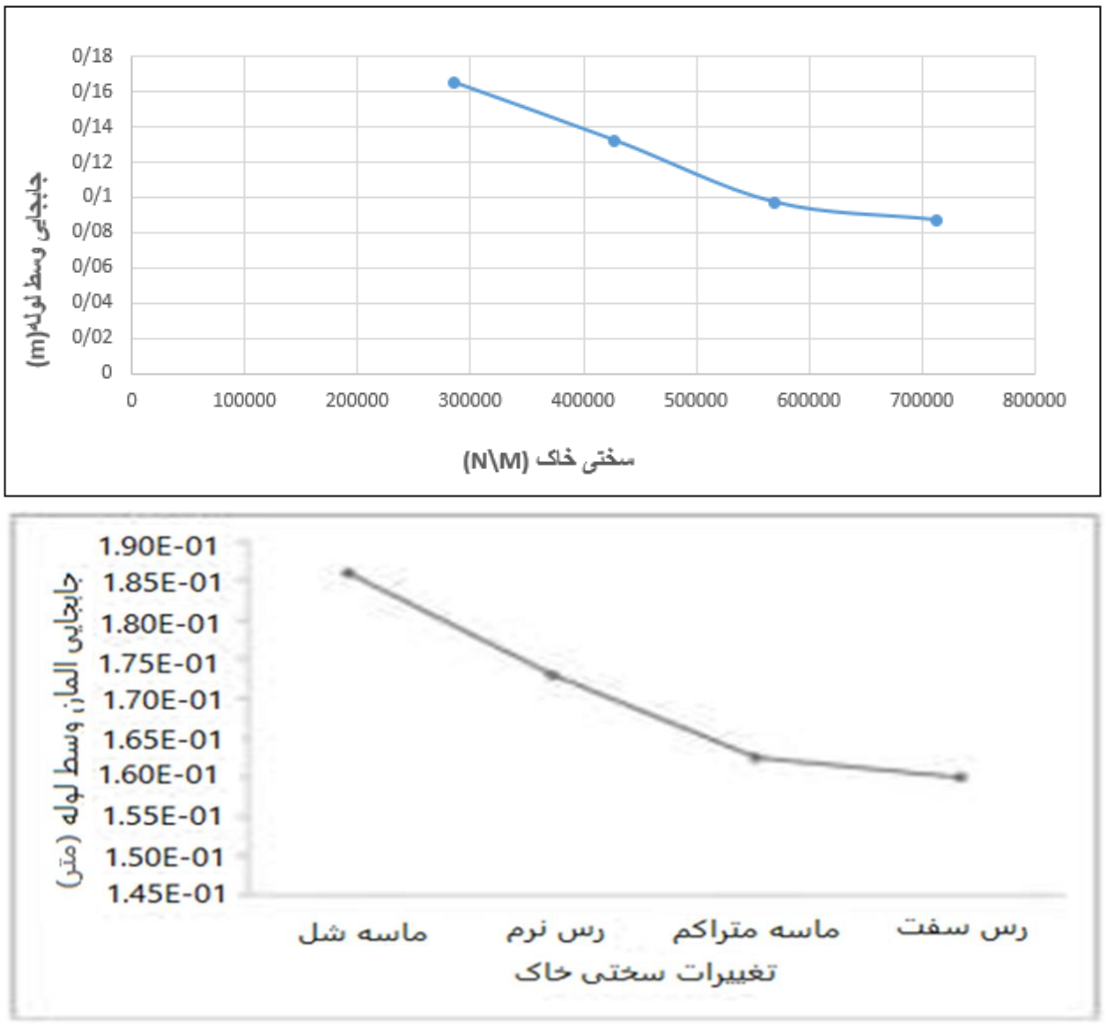


شکل ۳: نمودار تغییرات سختی خاک و اثر شاخه‌ها نسبت به جابجایی وسط لوله



شکل ٤: نمودار تغییرات سختی خاک و اثر شاخه‌ها نسبت به تنش وسط لوله

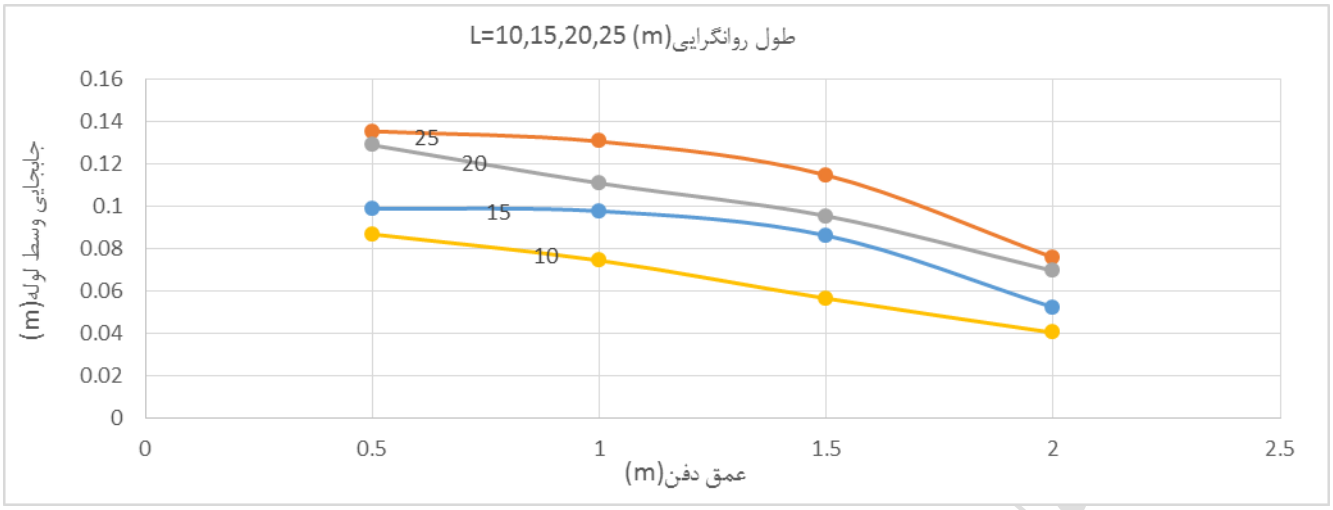
با توجه به شکل‌ها مشخص است که با افزایش سختی خاک، جابجایی و تنش در وسط لوله کاهش می‌یابد. در ضمن با اضافه شدن شاخه‌های فرعی در دو سمت لوله تنش و تغییر مکان وسط المان کم می‌شود که دلیل این امر افزایش سختی لوله در اثر اضافه شدن انشعابات است. در ادامه به صحت نتایج مدل عددی در مقایسه با نتایج مرجع در این زمینه پرداخته می‌شود [۱٦].



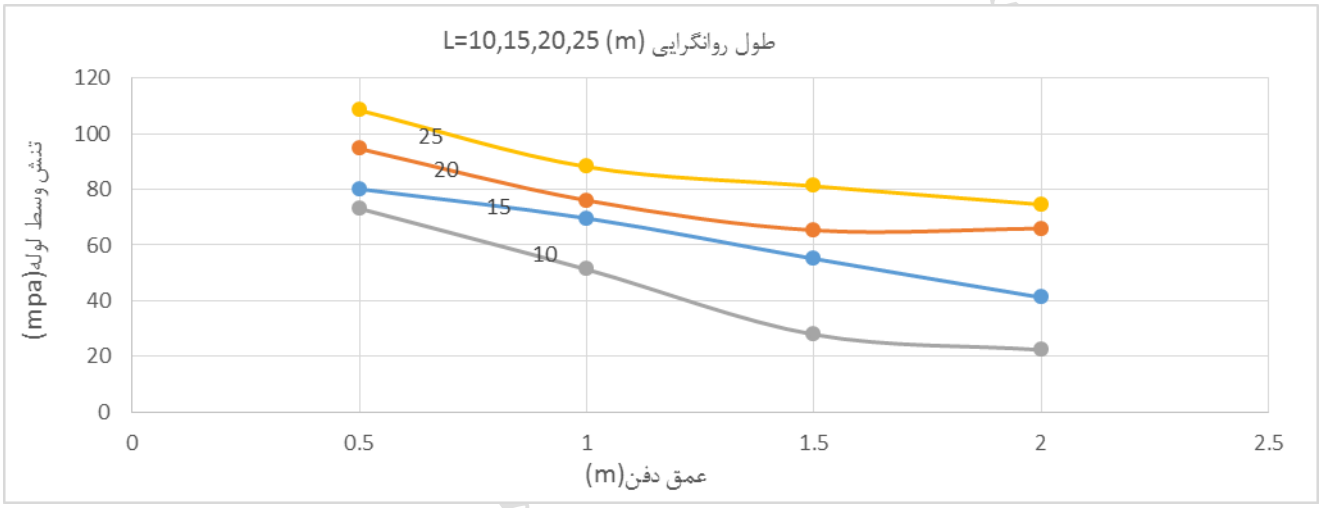
شکل ۵: مقایسه نتایج به دست آمده از مدلسازی عددی و نتایج مرجع[۱۶]

مشاهده همخوانی مناسب بین نتایج بدست آمده از نمودارهای ترسیم شده در شکل ۵ بر اساس مشاهدات صورت گرفته در مرجع و نتـایج حاصل از مدلسازی عددی در این پژوهش، نشان می‌دهد که با افزایش سختی خاک، جابجایی المان وسط لوله کاهش می‌یابد و با پـذیرش درصد اندکی خطا صحت مدل عددی استفاده شده در این بخش را تأیید می‌نماید [۱۶].

در بخش بعدی با تغییر عمق دفن و طول ناحیه روانگرایی میزان تأثیر آنها بر رفتار لوله بررسی می‌شوند که نتایج این تغییرات در شکل‌های ۶ و ۷ مشخص است. مقادیر عمق دفن لوله اعداد ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ و ۲ متر در نظر گرفته شده است. با افزایش عمق دفن تنش و جابجایی وسط لوله کاهش می‌یابد و با افزایش طول ناحیه روانگرایی تغییر مکان و تنش افزایش پیدا می‌کند.



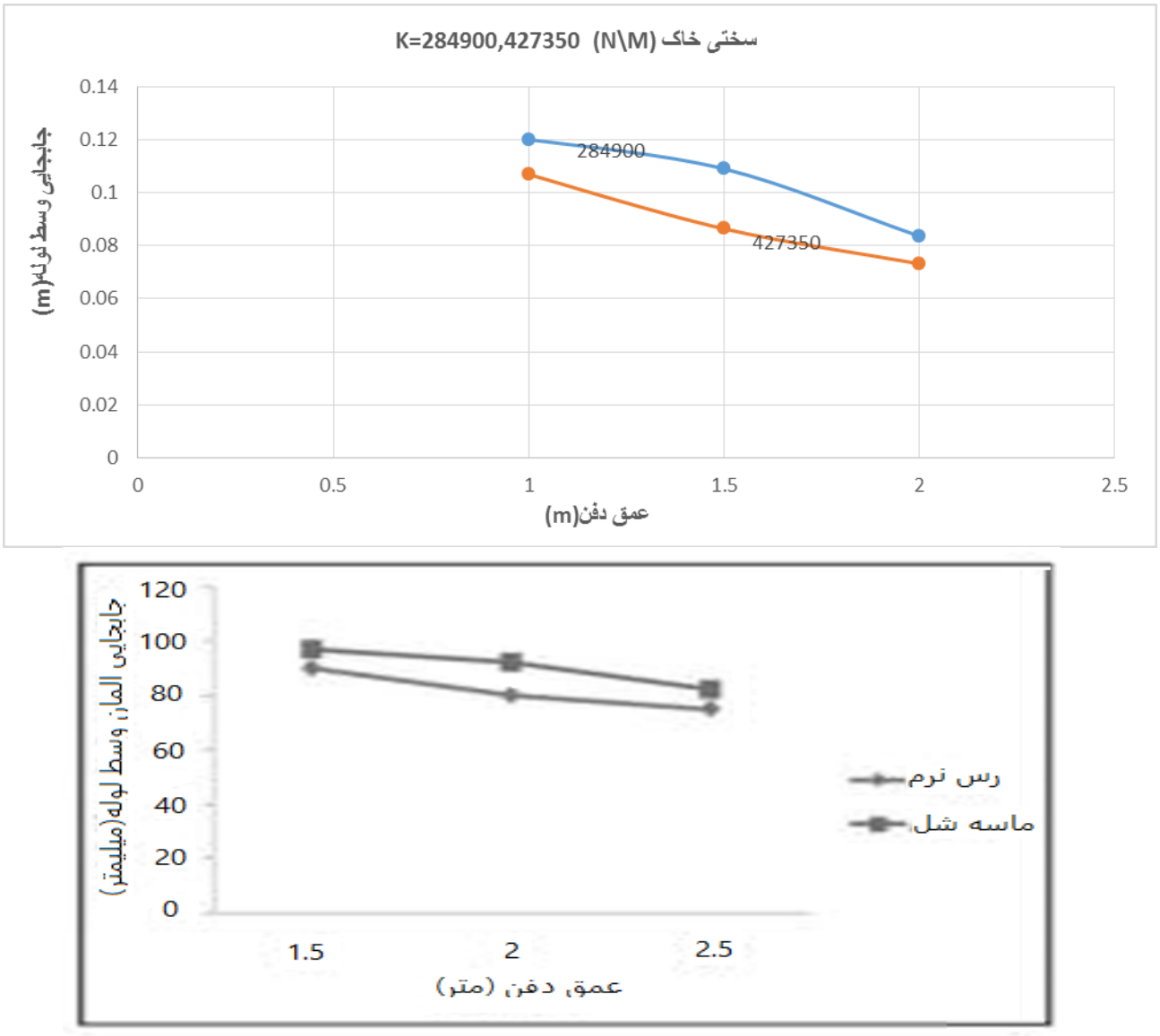
شکل ٦: نمودار تغییرات عمق دفن و طول روانگرایی نسبت به جابجایی وسط لوله



شکل۷: نمودار تغییرات عمق دفن و طول روانگرایی نسبت به تنش وسط لوله

با افزایش عمق دفن لوله جابجایی و تنش وسط لوله کاهش می‌یابد که این موضوع به دلیل افزایش سختی خاک اطراف است، همچنین با افزایش طول ناحیه روانگرایی، تنش و جابجایی وسط لوله افزایش می‌یابد.

حال به صحت سنجی نتایج این بخش با نتایج حاصل از یک منبع معتبر [١٦] در زمینه روانگرایی پرداخته می‌شود.



شکل۸: مقایسه نتایج به دست آمده از مدلسازی عددی و نتایج منبع[۱۶]

مشاهده همخوانی مناسب بین نتایج بدست آمده از نمودارهای ترسیم شده در شکل ۸ بر اساس مشاهدات صورت گرفته در منبع [۱۶] و نتایج حاصل از مدلسازی عددی، نشان می‌دهد که با افزایش عمق دفن لوله و سختی خاک، جابجایی وسط لوله کاهش می‌یابد و با پذیرش درصد کمی خطا می‌توان صحت مدل عددی استفاده شده در این بخش را تأیید کرد.

۷- نتیجه‌گیری

همانطور که بیان شد عملکرد لوله و خاک در مقابل زلزله به پارامترهای زیادی از جمله عمق دفن لوله، سختی خاک، طول ناحیه روانگرایی، اثر شاخه‌های فرعی و غیره بستگی دارد. در این مقاله ضمن بررسی رفتار دینامیکی شبکه خطوط لوله مدفون تحت اثر پارامترهای مختلف، نتایج حاصل به صورت خلاصه ارائه می‌گردند:

۱- افزایش عمق دفن لوله، سختی خاک را افزایش می‌دهد و به همین دلیل جابجایی وتنش المان وسط لوله کاهش می‌یابد.

۲- افزایش سختی خاک اطراف لوله، جابجایی المان وسط و تنش وسط لوله را کاهش می‌دهد.

۳- لوله‌های قرار گرفته در مناطق روانگرا، آسیب پذیرتر از لوله های قرار گرفته درمناطق غیر روانگرا می باشند در نتیجه با افزایش طول منطقه روانگرایی لوله، جابجایی و تنش المان وسط لوله افزایش می‌یابد.

٤- اضافه کردن شاخه های فرعی در دو سمت لوله در فواصل مشخص موجب می‌شود تا سختی لوله افزایش و تنش وسط لوله و جابجایی وسط لوله کاهش یابد.

۸- مراجع

[1] Baska, D.A., (2002), "An analytical/Emperical model for prediction of lateral spread displacements", PhD Thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Washington,Washington.

[۲] حسینی، محمود و مهران تیو،(۱۳۷٦) ؛ "رهنمودهایی برای طراحی لرزه‌ای خطوط لوله نفت و گاز"؛ تهران : مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

[3] Liang,j.,Sun,S. (2002)." *Site Effects on Seismic Behaviour of Pipeline",Pressure Vessel Tech.,ASME,Vol .122,pp 469-475,2000Atluri, S.N. and Shen,* S.

[4] *Matsuo , O., Nishi , K . and Uzuoka , R . (1997) " Numerical simulation of embankments founded on liquefied soil " Proc . of* ۹*th Int . Conf . on Computer Methods and Advances in Geomechanics , Wuhan , pp.1807- 1812 .*

[۵] مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، (۱۳۷۰) ، زلزله رودبار و منجیل ۳۱ خرداد ۱۳٦۹ ، گزارش تحلیلی شماره ۱، تهران: مؤسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

[6] Huang , M. and Zienkiewicz , O.C. (1998) " New unconditionally stsble staggered solution procedures for coupled soil- pore fluid dynamic problems " Int . j. Num. Meth . in Eng . , 43 , pp . 1029- 1052 .

[۷] حامد باوان پوری، جهانگیر خزایی، حسن شرفی ،(آذر ۱۳۹۱) ، " بررسی و مطالعه عددی تأثیر روانگرایی ناشی از زلزله بر لوله‌های مدفون گاز"دومین کنفرانس ملی سازه - زلزله – ژئوتکنیک ، مازندران.

[8] Seed, H.B. Idris10s, I.M. and Arango, I. (1967), "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performan Data", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 109(3), pp. 458-482.

[۹] حسینی،م.، درخشندی،م.(۱۳۸۵)،" راهنمای مقاوم سازی زمینهای سست در برابر روانگرایی"، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران)

[10] Wang L.R.L., Yeh, Y. H. (1989), "Combined Effecte of Soil Liquefaction and Ground Displacement to Buried Pipelines". P. V. P., Vol.162, PP.43-51.

[11] Nishio N. (1989) ''Dynamic Strains in Buried Pipelines due to Soil''. P. V. P., Vol.162, PP.83-88.

[12] Hamada M., Kubo K. and Saito K، (1985) ''Large Ground Displacement and Buried Pipe Failure by Soil Liquefaction during 1983 NIHONLAI-CHUBU Earthquake''. P. V. P., Vol.98-4, PP.11-18.

[13] Guoxin Wang., Wei H. and Jianguo. (1995) ''Seismic Response of Buried Pipelines during Liquefaction Conference on Seismology and Earthquake Engineering'', P. V. P., Vol.2, PP.1343-1351.

[14] Fu-Lu M. (1983) ''Earthquake Response of Fluid-Filled Pipeline in Soil''. P. V. P., Vol.77, PP.196-201.

[۱۵] جواد هدایتی، مسعود سلطانی محمدی، محمود یزدانی،(۱۳۹۱)، "رفتار کمانشی شمع‌ها در خاک‌های روانگرا" چاپ بیست و سوم، شماره دو.

[۱٦] مسعود عبدالحی،(۱۳۹۰)،" بررسی رفتار لرزه‌ای خطوط لوله فولادی مدفون نفت"نشریه مقاوم سازی و بهسازی صنعت.