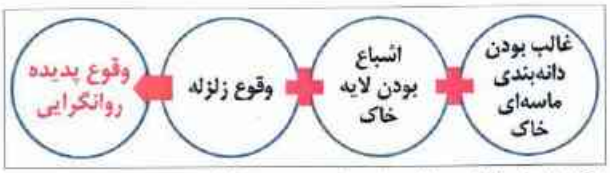
بررسی اثرات تخریبی پدیده روانگرایی برروی خطوط لوله و شبکه تغذیه و توزیع گاز استان تهران و تعمیم آن به کل کشور

دکتر خسرو برگی
دانشگاه تهران، پردیس دانشکده های فنی

مقدمه

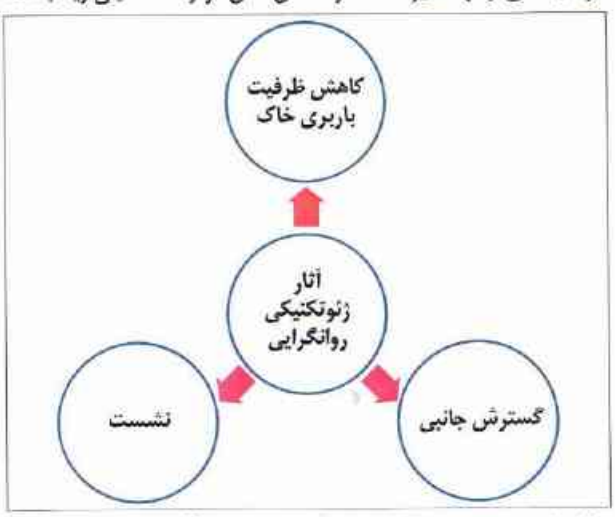
روانگرایی یکی از پدیده های طبیعی است که ممکن است هنگام وقوع زلزله رخ دهد. در شکل زیر شرط لازم و کافی برای وقوع پدیده روانگرایی آورده شده است.



شکل ۱- شرط لازم و کافی برای وقوع پدیده روانگرایی

مبانی ژئوتکنیکی پدیده روانگرایی بدین صورت است که دانه‌های لایه ماسه‌ای غیر متراکم در اثر ارتعاش ناشی از زلزله، نشست کرده و بطور نسبی متراکم می شوند و بدنبال آن فشار آب منفذی موجود در لایه موردنظر افزایش یافته و در نتیجه مهمترین پارامتر مقاومتی خاک یعنی تنش موثر آن برای نگهداری سازه (لوله مدفون گاز) مستقر بر آن کاهش می یابد! از جمله مهمترین و تاثیرگذارترین نتایج منفی ژئوتکنیکی حاصل از روانگرایی در شکل ۲ نشان داده شده است.

به دلیل ماهیت کاملاً متفاوت ساختاری سازه لوله ها (طویل و دارای جرم ناچیز بودن)، بطور کلی و بر اساس سوابق زلزله‌های قبلی و در مقایسه با سایر ابنیه فنی، اصولاً خطر روانگرایی برای لوله های مدفون چندان از ریسک خیلی بالا برخوردار نمی باشد مگر اینکه مولفه های موثر در روانگرایی نظیر شدت زلزله و غیر متراکم بودن لایه خاک بسیار شدید و عواقب ناشی از آنها نظیر نشست و کاهش تنش موثر خاک خیلی زیاد باشند.



شکل ۲- مهمترین نتایج منفی ژئوتکنیکی حاصل از روانگرایی

امروزه مشکل اصلی در ارزیابی روانگرایی در شبکه‌های لوله‌های مدفون دو عامل زیر می باشد:

- موضعی و محدود بودن ناحیه مورد ارزیابی به دلیل نیاز به اطلاعات ژئوتکنیکی محل مورد نظر
- گستردگی شبکه های انتقال، تغذیه و توزیع لوله های گاز (تفاوت با سایر ابنیه)

لذا با توجه به عوامل تاثیرگذار در بررسی وقوع پدیده روانگرایی، اصولاً در عمل نمی توان یک منطقه بسیار گسترده را در این خصوص ارزیابی نمود و به همین دلیل باید با استفاده حداکثری از نظرات کارشناسی متخصصان درتعیین محدوده دارای خطر وقوع روانگرایی، دقت و عملکرد بالایی وجود داشته باشد.

امروزه برای کاهش نسبی این مشکل، اقدامات سه گانه اساسی زیر حتماً توصیه می شود:

- تشخیص صحیح از درجه اهمیت مولفه های پروژه
- استفاده حداکثری از نظرات کارشناسان خبره ژئوتکنیکی از طریق بازدیدهای میدانی
- کسب بیشترین اطلاعات ژئوتکنیکی معتبر موجود از پروژه‌های مجاور محل موردنظر

سابقه و تاریخچه اجمالی موضوع پروژه در ایران

- مهمترین اقدام قبلی، توسط شرکت گاز اوزاکا بر اساس داده‌های لرزه ای آژانس همکاری های بین المللی ژاپن (JICA) در اواخر دهه ۹۰ میلادی انجام شده است.

متاسفانه به دلایل سه گانه کلی زیر، نتایج کامل و صحیحی از بررسی های انجام شده حاصل نگردیده است:

- محدودیت شدید در ارائه اطلاعات ژئوتکنیکی تهران بزرگ به کارشناسان JICA
- ارزیابی محافظه کارانه از ریسک وقوع زلزله در تهران (کمبود اطلاعات لازم)
- کمبود متخصصان ایرانی در زمینه های مورد نیاز به عنوان همکار در کنار محققان ژاپنی

نتیجه

- تهیه و ارائه گزارش بر اساس اهداف ولی با کیفیتی محدود به کمبودهای فوق!
- عدم پیگیری های لازم فنی و مدیریتی به دلایل مختلف!

هدف پروژه حاضر عبارت است از ارائه امکان به مهندسان شاغل در

شرکت های مختلف گاز در کل ایران برای مقابله صحیح و مناسب با عواقب پدیده روانگرایی ناشی از زلزله.

شرایط فنی (روز) موثر بر اهداف انجام پروژه

۱- پیشرفت های قابل توجه بین المللی (بویژه در ژاپن و آمریکا) در خصوص پدیده روانگرایی

۲- فراهم شـــدن امکان ارزیابی در تطبیق درجه لرزه خیزی آئین نامه های ژاپن و ایران

۳- دسترسی به اطلاعات بیشتر نسبی در خصوص گمانه های ژئوتکنیکی موردی در تهران

۴- انجام مطالعات لرزه شناســی جدید در تهران (پروژه مشـــترک دانشگاه برکلی و دانشگاه تهران)

۵- افزایش قابل توجه کارآمدی و تجربه متخصصان ذیربط در شرکت گاز تهران (ایران)

۶- توجه بیشـــتر گروه کاری به شـــرایط مهندسی مســـاله در ایران از نظر طراحی، امکانات اجرایی و استاندارد مصالح

توجه:
استفاده کورکورانه از تحقیقات دیگران بدون درک صحیح از فرضیات و نحوه انجام آنها (بویژه مساله تعمیر و نگهداری) و عدم تطبیق نتایج آن به شرایط مهندسی ایران در زمینه های مختلف، می تواند منجر به فاجعه (محافظـــه کاری غیر ضرور و افزایش هزینه ها یا کاهش ایمنی لازم و افزایش احتمالی آسیب ها) شود!

مراحل انجام پروژه

بر اســـاس شـــرح خدمات قرارداد مطالعاتی موردنظر، مراحل مختلف انجام پروژه در چهار مرحله اصلی و یک مرحله تکمیلی به شرح زیر تنظیم و انجام شده است.

الف- اقدامات اصلی در مرحله اول شامل موارد زیر می باشد:

۱- گردآوری بانک اطلاعات فنی جامع

۲- بررســـی و طبقه بندی شرایط ژئوتکنیکی و سطوح خطر زلزله در آسیب ناشی از روانگرایی

۳- تعیین عوامل مؤثر در احتمال بروز و درجه روانگرایی در شرایط مختلف

۴- مدلســـازی عددی اندرکنش لوله های گاز با خاک مجاور در حالت بروز روانگرایی

ب- مرحله دوم

بررسی آزمایشگاهی اثرات پدیده روانگرایی بر خطوط لوله

ج- مرحله سوم

تحلیـــل و انطباق نتایج عددی و آزمایشـــگاهی و جمـــع بندی راهکارهای مقاوم‌سازی برای شبکه گاز استان تهران

د- مرحله چهارم

۱- ارائه نرم افزار جامع بررسی احتمال بروز روانگرایی و تحلیل خطوط لوله گاز در برابر آثار مخرب آن در کلیه نقاط کشور

۲- ارائه دســـتور العمـــل نهایی تحلیل و طراحی خطوط لولـــه گاز در برابر روانگرایی به همراه مثال کاربردی

ه- مرحله تکمیلی

بررسی روش های مختلف اجرائی برای کاهش خطر بروز پدیده روانگرایی و مطالعه اجمالی هزینه های مترتب آن

انتخاب ناحیه مستعد روانگرایی

با توجه به داده‌های موجود از توزیع پتانسیل روانگرایی در تهران که براساس نتایج گمانه‌های قابل دســـترس تعیین شده اســـت، مشخص می‌باشد که ناحیه‌ای که در این پروژه باید به تحلیل لوله‌های مدفون آن پرداخته شـــود، قسمت جنوب شرقی تهران است.

بدین ترتیب برای بررسی خطوط لوله گاز در تهران، ناحیه مستعد روانگرایی که در شکل ۳ مشخص شده است، انتخاب گردید.

شکل ۳- انتخاب ناحیه مستعد روانگرایی برای بررسی خطوط لوله گاز در تهران

مدلسازی عددی (روش اجزای محدود)

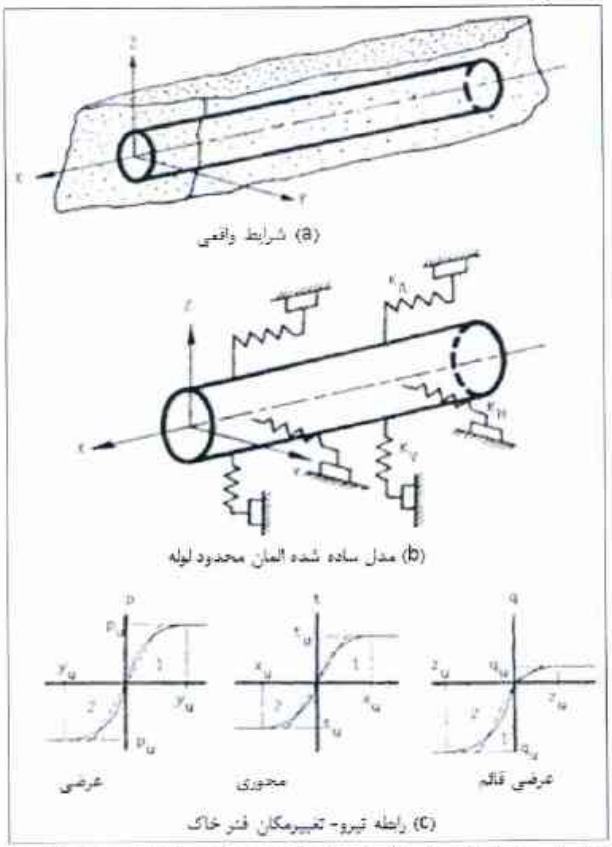
در این روش از مدل المان محدود برای آزمایش توزیع بار (چه شتاب، سرعت یا اغلب مقدار جابجایی ماندگار) در طول خط لوله استفاده می‌گردد و سپس برای ارزیابی حالت تنش، کرنش و جابجایی درون خط لوله و اتصالات خط لوله از مدل‌های المان محدود تیر بر بستر ارتجاعی (و یا گاهی مدل های مش بندی شده دو بعدی و سه بعدی) استفاده شده‌است.

برای مدل های نشان داده شده در شکل ۴ یک لوله گاز می-تواند با استفاده از المانهای تیر (از اثرات فشار داخلی صرف نظر می شود) یا المان های لوله (اثرات فشار داخلی در نظر گرفته می شود) مدل شود. به طور مثال، تنش‌ها و کرنش‌های گزارش شده از چنین المان هایی، واکنش های در جهت طولی می باشند.

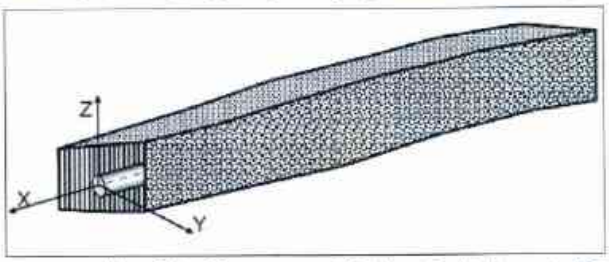
در مدل تحلیلی اندر کنش خاک و لوله که در حقیقت به حالت ســـه بعدی می باشـــد (شکل ۵)، به طور ایده آل می تواند با یک لوله روی فنرهای غیر خطی خاک -همان گونه که در شـــکل ۶ نشان داده شده است- مدل شود. همچنین لوله می تواند با یک المان پوسته سه بعدی و یا با یک المان تیر دو بعدی که به خصوصیات هندســـی خطوط لوله و شرایط بارگذاری وابسته است، مدل شود.

با توجه به توضیحات فوق در این تحلیل که توســـط نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS v. 6.9-1 انجام شده است، خط لوله مدفون با استفاده از المان های تیر (لوله) مدل شـــده و اثر خاک با استفاده از فنرهای غیرخطی وینکلر

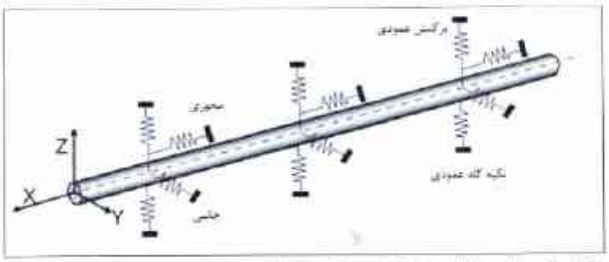
در جهت قائم مدل شـــده اند. در شکل ۷ جزییات شماتیک این مدل سازی ها نشان داده شده است.



شکل ٤- مدل المان محدود (نوع تیر) خط لوله مدفون و با خاک و تکیه گاه ها

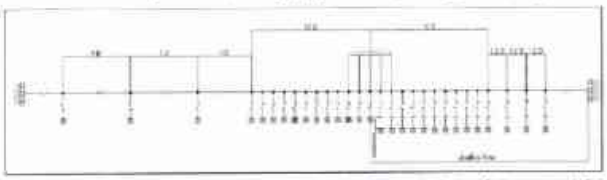


شکل ٥- محیط مدل رفتاری اندرکنش سه بعدی حقیقی خاک و لوله

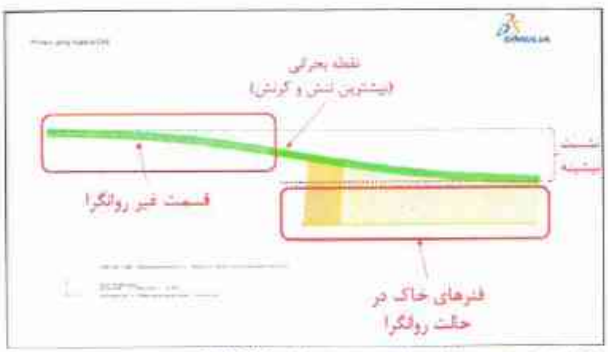


شکل ٦- مدل تحلیلی اندرکنش خاک و لوله

در آنالیزها فشار داخلی لوله و فشار سربار خاک در نظر گرفته شده و همچنین، اثر روانگرایی به صورت نشســت قائم به انتهای فنرهای خاک در قســمت روانگرا اعمال شده است. قسمت روانگرا تا جایی ادامه می‌یابد که جابجایی انتهای لوله به اندازه ماکزیمم نشســت خاک می‌باشد، همچنین پس از این تحلیل، طول‌های مختلفی برای ناحیه روانگرا معرفی شد و نتایج بحرانی‌تر مورد استفاده قرار گرفت. از سوی دیگر، لوله در قسمت غیر روانگرا به اندازه حدود ۱۰ برابر قطر لوله با مش‌بندی با اندازه ریزتر (حدود نصف قطر لوله تا یک پنجم قطر) ادامه می یابد و پس از آن با مش بندی درشت تر (حدود۵ برابر قطر لوله) تا فاصله حدود ۵۰ برابر قطر لوله ادامه می‌یابد. در شــکل ۸ یک نمونه از تحلیل انجام شده با نرم‌افزار ABAQUS ارائه شده‌است.



شکل ۷- شماتیک مدلسازی خطوط لوله



شکل ۸- نمونه تحلیل انجام‌شده در نرم‌افزار ABAQUS

مدلسازی آزمایشگاهی

امروزه اســتفاده از مدل‌های فیزیکی بــرای درک رفتار ابنیه ژئوتکنیکی به ســرعت در حال گسترش است این مدل‌ها نه تنها برای یافتن رفتار واقعی نمونــه اصلی به کار می‌روند، بلکــه در ارزیابی و محک مدل‌های عددی و تحلیلی نیز کاربرد دارند. عمدتاً ثبت رفتار یک ســازه واقعی مشکل و بسیار گران می‌باشد. این امر با ابزاربندی ســازه‌های واقعی باید صورت گیرد که متضمن صرف هزینه و زمان زیادی اســت. در صورتــی که رفتار آن‌ها را با صرف هزینه‌های بســیار کمتر و اندازه‌گیری دقیقتر می‌توان با ســاختن مدل‌های کوچکتر مورد بررسی قرار داد.

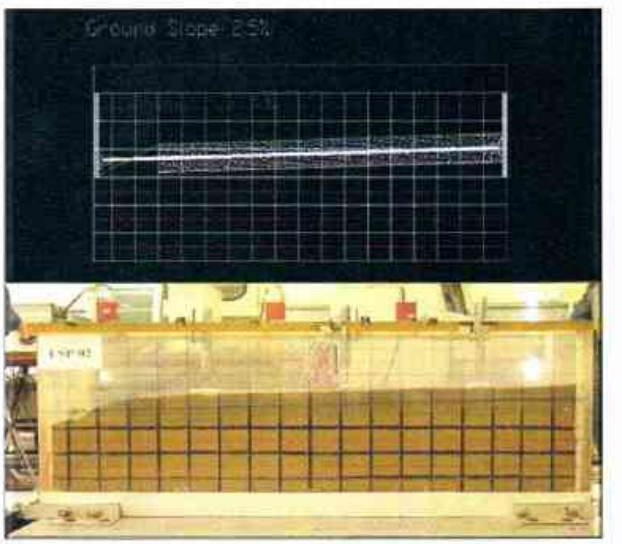
آزمایشــهای میز لرزه عمدتاً در میدان جاذبهٔ 1g بمنظور درک رفتار لرزه‌ای خاک و ســازهٔ روی آن انجام می‌شــود. گاهاً آزمایش‌هــای میزلرزه برای مدل‌های بســیار پیچیده مثل مدل خاک اشباع- سازه-آب حین بارگذاری زلزله انجام می‌شود. در این طرح با ساخت مدل مناسب زمین در قالب یک محفظه بزرگ و لایه‌بندی آن با خاکهای مســتعد به روانگرایی در تطبیق با مشــخصات خاک درنظر گرفته شــده در مدل‌های عددی و به کارگیری لوله‌های مدل شــده با مقیاس حداقل یک به بیســت و اعمال زلزله براین مدل، اثــرات تخریبی روانگرایی بر روی خطوط لوله مدفون گاز، بررســی گردیده‌است.

مشخصات ابزار آزمایشگاهی

در این تحقیق از ابزارها و تجهیزات مختلفی استفاده شده است که به طور کلی عبارتند از:
جعبه مدل، حسگرها، دیتالاگر (دستگاه ثبت داده‌های دینامیکی)، میز لرزه، که در شکل ۹ مشخصات این ابزار بطور مختصر ارائه شده‌است.

دستگاه میزلرزه دانشگاه تهران
ابعاد 1.80 X 0.90X 0.80
شتاب لرزه‌ای تا 1.0 g
سنسورهای دقیق LVDT و فشار سنج‌های فشار آب حفره‌ای

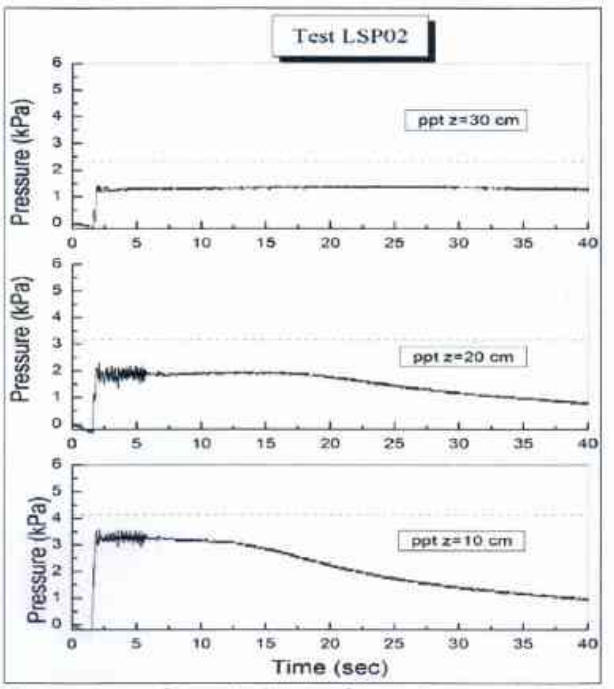
شکل ۹- مشخصات ابزار آزمایشگاهی برای بررسی روانگرایی



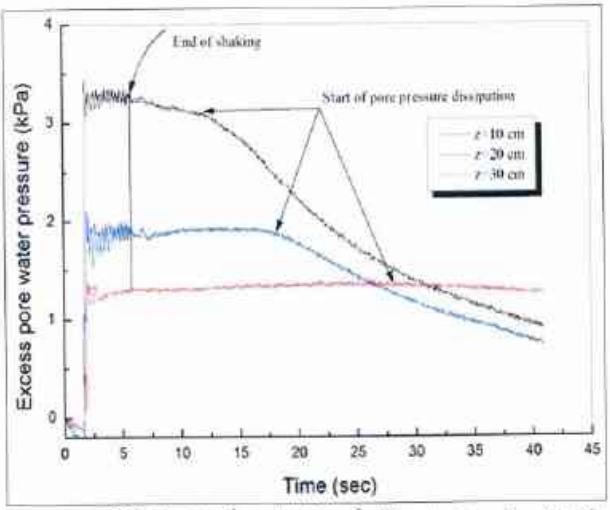
شکل ۱۰- نمونه مدل ساخته شده در آزمایشگاه

مشاهدات کلی انجام گرفته در آزمایش‌ها

در اینجا مشاهداتی را که در آزمایش ها انجام پذیرفته است به طور مختصر بیان می گردد.
پس از انجام آزمایش های بررسی اثر شیب، مشاهده می گردد که شیب تمایل به حرکت به سمت پایین دست و همچنین افقی شدن دارد. در واقع پس از انجام آزمایش دیگری اثری از شیب نیست و سطح خاک به صورت افقی در آمده است. حرکت رو به پایین شیب هم به وضوح دیده می شود و هر چه شیب بیشتر بوده است، این تغییر مکان افقی نیز بیشتر بوده است. همچنین حرکت بسیار زیاد لایه های زیرین روانگرا شده که به کمک ماسه های رنگی عمودی انجام می پذیرد، نشان از همین حرکت جانبی داشته است. همچنین عمودی باقی ماندن ماسه های رنگی در لایه غیرروانگرا، نشان از عدم روانگرایی این لایه داشته که باعث می شود مکانیزم حرکت رو به پایین شیب و ایجاد نیروهای محوری و خمشی به لوله به وجود آید.
در آزمایش‌های اثر نشست ناشی از روانگرایی شاهد آن هستیم که خاک پس از لرزش نشست کرده و همانطور که انتظار می رفت، تغییر جانبی خاصی مشاهده نگردید.
نکته دیگری که تقریباً در تمامی آزمایش های روانگرایی مشاهده گردید این است که بالا زدن آب و حتی در بعضی از آزمایش ها جوشش ماسه، پس از لحظاتی از پایان لرزش در سطح زمین دیده شده است. این پدیده مشابه پدیده ای است که در واقعیت وجود دارد.
دلیل این امر هم این است که فشار آب حفره ای در اعماق بیشتر از سطح است و آب تمایل به حرکت به سمت بالا را دارد. در نتیجه در جاهای سست و دارای درز، آب به همراه ماسه داخل زمین به صورت جوششی به سطح زمین می رسد. به علت این پدیده شاهد آن هستیم که سطح نمونه قبل از آزمایش خشک بوده است، اما پس از لرزاندن، مقادیر زیادی آب در سطح آن مشاهده می‌شود. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نمونه‌ای از خروجی‌های آزمایش ارائه شده است.



شکل ۱۱- تاریخچه زمانی بدست آمده از حسگرهای فشار آب حفره ای در اعماق مختلف در آزمایش LSP02



شکل ۱۲- مقایسه تغییرات فشار آب حفره ای در آزمایش LSP02

تطبیق و صحت سنجی نتایج عددی و آزمایشگاهی

مهمترین کاربرد تست های مدل فیزیکی در آزمایش های بالا، کالیبره کردن نرم افزار عددی مورد استفاده در این تحقیق در راستای تعمیم نتایج حاصل می باشد.

از آنجایی که پس از مدلسازی عددی یک مساله فنی، نیاز به این است که صحت کارکرد نرم افزار، مورد بررسی قرار گیرد، در نتیجه این تستها برای صحت سنجی برنامه های نوشته شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عبارت بهتر برنامه را با تست ها انجام شده کالیبره می‌کنند. در صورتی که تفاوتی بین داده‌های برنامه با داده‌های حاصل از تست های مدل فیزیکی موجود باشد، برنامه را به گونه ای تصحیح می کنند که جواب صحیح را به کاربر ارائه دهد.

با این کار دقت برنامه افزایش یافته و برنامه قادر به این خواهد بود که در مورد حالت های بسیار دیگری که امکان انجام تست های مدل فیزیکی در تمام آن حالت ها امکان پذیر نیست، مسئله را حل نموده و جواب های نسبتاً دقیقی را ارائه دهد.

در جدول ذیل مقایسه بین ماکزیمم کرنش‌های لوله حاصل از نتایج آزمایشگاهی و عددی و درصد خطای آن‌ها ارائه شده است. شایان ذکر است به منظور انجام این مقایسه و صحت‌سنجی، نشست‌های حاصل از نتایج آزمایشگاهی به مدل‌های عددی اعمال شده و سپس ماکزیمم کرنش لوله‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۱- مقایسه ماکزیمم کرنش های عددی و آزمایشگاهی

مدل آزمایش	ماکزیمم کرنش لوله (درصد)		
	عددی	آزمایشگاهی	درصد خطا
LSP04	۰/۱۲۳	۰/۱۰۳	۱۹/۴
LSP05	۰/۰۱۸	۰/۰۲۳	۲۳/۴
LSP06	۰/۰۴۱	۰/۰۳۶	۱۳/۹

تفسیر کلی نتایج تحلیل پدیده روانگرایی در محدوده مورد مطالعه (جنوب شرق تهران)

- خطوط لوله پرفشار گاز در هیچ نقطه ای دچار خرابی نمی گردد.
- خطوط لوله کم فشار گاز ساخته شده از فولاد، در مواردی ممکن است در محل اتصال به سازه ها و ساختمان های توزیع یا مصرف دچار تغییرشکل‌های فراتر از حد مجاز شوند.
- خطوط لوله کم فشار گاز پلی اتیلنی در برخی موارد ممکن است در نشست‌های ناشی از روانگرایی دچار تغییرشکل های غیر الاستیک زیاد شوند.

راهکارهای مقاوم سازی خطوط لوله گاز تهران

- شبکه گازرسانی تهران به طور عمومی ضوابط طراحی در برابر روانگرایی را ارضا می کند.
- در مواردی که خطوط لوله به سازه ها و ساختمان ها متصل می شوند، در صورتی که از اتصالات از پیش ساخته شده انعطاف پذیر (ضد زلزله) استفاده نشده است، از شیرهای قطع خودکار برای قطع جریان در صورت بروز نشت استفاده گردد.
- خطوط لوله کم فشار گاز پلی اتیلنی دارای ظرفیت تغییرمکان پلاستیک بسیار بالایی می باشند و تنها لازم است تا بعد از بروز خرابی به نحو مناسبی تعویض گردند.
- بهترین گزینه برای کنترل آسیب شبکه در برابر زلزله و روانگرایی استفاده از سیستم های کنترل و مانیتورینگ به هنگام (SCADA) می باشد. در صورت عدم امکان دسترسی، ساخت ایستگاههای بازرسی و کنترل فوری در محدوده خطرپذیر پیشنهاد می شود.

اصول مقاوم‌سازی شبکه لوله گاز در برابر روانگرایی

۱- تعدیل (کاهش) مشخصات مقاومتی خاک مستعد روانگرایی بر اساس کمبود ضریب اطمینان از مقدار مجاز

- در این حالت هیچگونه اقدام فیزیکی برای مقاوم سازی صورت نمی پذیرد و قابلیت اعتماد برای مقابله با روانگرایی، نسبی است.

۲- بهسازی خاک مستعد روانگرایی

- چنانچه بتوان یکی از سه عامل اصلی بروز روانگرایی (زلزله، آب زیرزمینی و غیر متراکم بودن خاک ماسه ای) را در عمل حذف نمود، مساله حل شده خواهد بود:

۱- آیا حذف زلزله در کشور امکان پذیر می باشد؟ خیر!

۲- پیش بینی تمهیدات لازم برای زهکشی دائم و حذف آب در لایه خاک تا چه حدی امکان دارد؟ هزینه و نگهداری زیاد

۳- اصلاح و بهسازی خاک (تحکیم و متراکم نمودن از طریق تحکیم دینامیکی یا حفر چاه های سنگی) تنها روش مطمئن امروزی در اکثر کشورهای دنیا از جمله ایران می باشد.

پارامترهای موثر در روش های مقاوم سازی شبکه لوله گاز در برابر روانگرایی

۱- شدت پدیده (ضریب اطمینان در برابر روانگرایی)

۲- درجه اهمیت شبکه لوله گاز در جغرافیای محل مورد نظر

۳- دایر بودن شبکه (شبکه احداث شده قبلی)
۴- طراحی و ساخت شبکه جدید (احداث نشده)
۵- جغرافیای کلی شبکه (شهری، برون شهری، تراکم و نزدیکی ابنیه و...)
۶- امکان سنجی اجرایی روش های مختلف با توجه به محدودیت ها (توانمندی پیمانکار)
۷- مشخصات سازه ای لوله ها از نظر قطر، ضخامت، جنس و..
۸- مقدار عمق لایه روانگرای مدفون، ضخامت لایه ها و ویژگی های خاک محل
۹- فراهم بودن امکانات و تجهیزات مورد نیاز
۱۰- تحلیل اقتصادی بر اساس هزینه هریک از گزینه های احتمالی

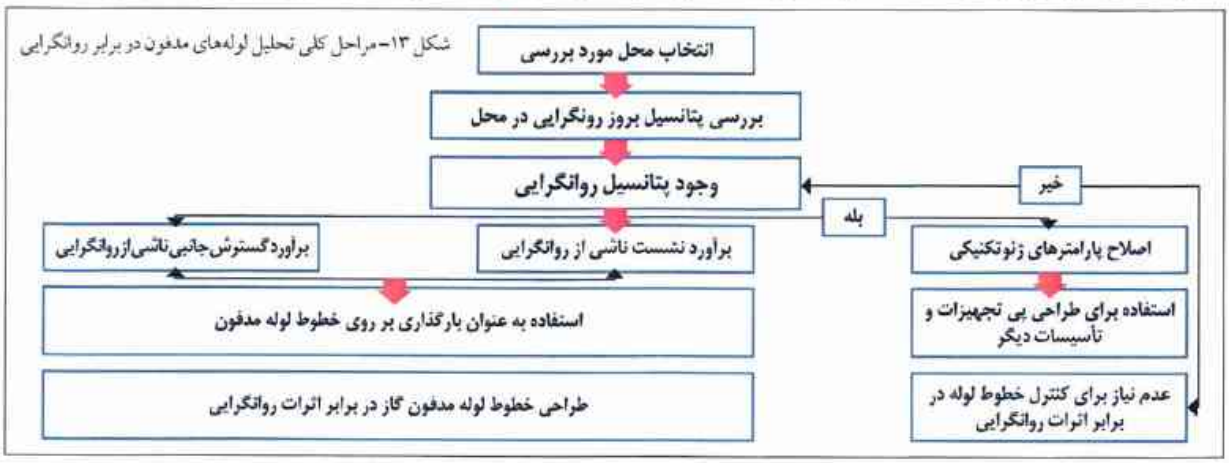
• امروزه متناسب با میزان تاثیر هریک از پارامترهای فوق الذکر و بر اساس قضاوت صحیح طراح، روش های مختلف مقاوم سازی شبکه لوله گاز مدفون در برابر روانگرایی در شرایط متفاوت وجود دارد که جزئیات آنها در مرحله پنجم گزارش پروژه (مرحله مکمل) تشریح شده و هزینه های هریک بطور نسبی قابل برآورد می باشند.

ملزومات مورد نظر در انجام و نتیجه گیری پروژه

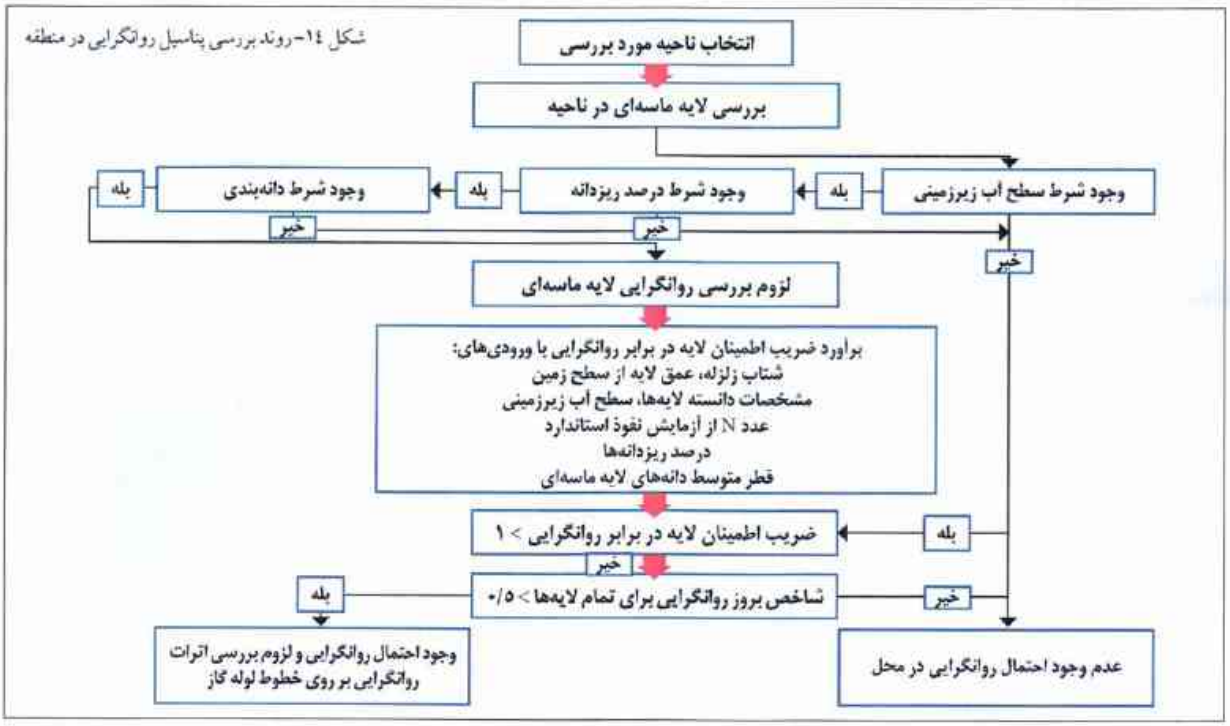
۱- منطبق بر پیشرفت های به روز و معتبر باشد.
۲- کاملاً کاربردی و حتی الامکان ساده باشد.
۳- قابل کاربرد برای ارزیابی شبکه های لوله مدفون موجود باشد.
۴- امکان بهره برداری برای طراحی شبکه های جدید لوله را داشته باشد.
۵- قابل استفاده و انجام در سراسر کشور باشد.

مراحل کلی تحلیل لوله های مدفون در برابر روانگرایی

شکل ۱۳- مراحل کلی تحلیل لوله‌های مدفون در برابر روانگرایی



شکل ۱۴- روند بررسی پتانسیل روانگرایی در منطقه



شکل ۱۵–روند طراحی و تحلیل خطوط لوله مدفون در برابر روانگرایی