

امکان سنجی اجرایی روشهای بهبود روانگرایی در زیر خطوط لوله گاز در بافتهای شهری و مقایسه هزینه های آن با نگاه ویژه به بافتهای فرسوده

حسین قربانی ینگجه

دکترای تخصصی، مشاور تیم تحقیقات پروژه، تهران، ایران
hos_gho@yahoo.com

مسعود صمدیان

مدیر امور پژوهش، شرکت گاز استان تهران، تهران، ایران
mas_samadian@yahoo.com

خسرو برگی

دکترای تخصصی، استاد دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
kbargi@ut.ac.ir

رضا دزواره رسنانی

دانشجوی دکترای تخصصی، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
rdezvareh@ut.ac.ir

کلید واژه‌ها: روانگرایی، خطوط لوله گاز، زلزله، برآورد هزینه، بافت فرسوده

چکیده

تغییر شکلهای و نشستهای ایجاد شده در اثر روانگرایی طی زلزله های گذشته، خطرات و خسارت جدی در تاسیسات حیاتی شهری ایجاد نموده است که شاید مهمترین این تاسیسات خطوط لوله گاز شهری می باشد که بروز نشستهای غیر متعارف میتواند باعث شکستگی و متعاقبا آتش سوزی شود. در این مقاله ضمن بررسی و معرفی عمومی روشهای مقابله با روانگرایی، با بررسی ماتریس محدود و امکانات و هزینه اجرایی هر بخش، تلاش شده است که در شرایط اجرایی مختلف، روشهای مناسب اولیه را در فاز مطالعات مفهومی ارائه نماید تا امکان بررسی دقیقتر روی گزینه های محدود تر وجود داشته باشد. در این راستا، فرمولهای ساده مناسبی برای برآورد اولیه هزینه اجرایی روشهای مختلف ارائه گردیده است که بر این اساس تحلیل روی روشهای مختلف صورت گرفته و روش مناسب در شرایط قبل و بعد از احداث لوله و همچنین در حالت وجود و یا عدم وجود مستحذات حساس در اعماق مختلف ارائه شده است.

مقدمه

آنچه که در مطالعه اخیر به آن پرداخته شده است، معرفی و مقایسه روشهای مقابله با روانگرایی در مناطق عبوری خطوط لوله گاز می باشد. همچنین اثرات سطحی بروز پدیده روانگرایی مشروحا ذکر شده است. در ابتدا ضمن بررسی فلسفه بروز روانگرایی و آشنایی با فلسفه های متقابل مقابله با این پدیده مخرب، روشهای مختلف و فلسفه رفتاری آن معرفی شده است و در ادامه با در نظر گرفتن ماشین آلات خاص مورد نیاز در هر روش و میزان در دسترس بودن آن که در امکان سنجی اجرایی روشهای مختلف با استفاده از ماتریس محدودیتها و امکانات صورت گرفته است. در ادامه بر اساس حساسیت ساختار موجود در ارزیابی ریسک مخاطرات، روشهای مقابله با روانگرایی در دو حوزه خطوط دایر گاز و خطوط احداث نشده از هم تفکیک شده و بر همین مبنا روی خطوط دایر گاز تمرکز بیشتری صورت گرفته است. بافت فرسوده به عنوان اثر وضعی مناطق شهری قدیمی که تحمیل کننده شرایط اجرایی ویژه ای خواهد بود مورد توجه خاص قرار گرفته و در مورد روشهای اجرایی امکان پذیر در این بخش نیز مورد توجه خاص قرار گرفته است. به نوعی که بتوان الگوریتم عمومی انتخاب روش (یا روشهای امکان پذیر اجرایی) را بر اساس فلوجارت



تعریف شده این بخش تعیین نمود. همچنین مبانی تحلیل اقتصادی هر یک از روش های مقاوم سازی شبکه خطوط لوله گاز مدفون در برابر روانگرایی و برآورد تخمینی هزینه ها با ساده سازی عوامل موثر و ارائه فرمولهای تقریبی برآورد اولیه برای هزینه اجرایی صورت گرفته است.

فلسفه روانگرایی ، مقابله با آن

روانگرایی بیشتر در خاک های ماسه ای، لای غیر خمیری (غیر پلاستیک) و بسیار کم در شن و رُس رخ می دهد. با بررسی مقدمه فوق فلسفه روانگرایی عبارتست از کاهش تنش موثر در خاک ریزدانه در اثر افزایش فشار آب حفره ای که آن نیز به نوبه خود عمدتاً در اثر بار دینامیکی زلزله یا انفجار ایجاد میشود. باعث روان شدن لایه خاک میگردد بنابراین الزامات ایجاد روانگرایی عبارتند از : خاک سست که قابلیت و پتانسیل روانگرایی را داشته باشد ، اشباع بودن خاک و منشاء افزایش فشار آب حفره های. فلسفه روشهای مقابله با روانگرایی در حقیقت همان فلسفه های روانگرایی است ، به عبارت دیگر در صورتیکه بتوان یکی از عوامل را از بین برد میتوان با روانگرایی مقابله نمود. بر همین اساس فلسفه روشهای مقابله با روانگرایی عبارتند از :

بهبود شرایط خاک به روشهای مختلف (جایگزینی ، تراکم ، صلب سازی ،) ، کاهش سطح آب به نحوی که لایه روانگرا اشباع نباشد ، کمک به زایل شدن سریع فشار آب حفره ای در خاک و یا ترکیبی از فلسفه های فوق

روشهای اجرایی مقابله با روانگرایی

همانگونه که عنوان شد بر اساس فلسفه های متفاوت مقابله با روانگرایی روشهای مختلفی ابداع شده است که گاهی این روشها ترکیبی است در این مقاله صرفاً به معرفی عمومی روشها بسنده میکنیم و اطلاعات جزئی تر در مراجع و منابع قابل دستیابی است

روش عمومی مورد استفاده رها کردن وزنه های فلزی سنگین ۱۵ تا ۴۰ تنی از ارتفاع ۱۰ تا ۳۰ متر می باشد که تراکم دینامیکی نامیده میشود ، اصل اساسی حاکم بر این روش انتقال امواج پرانرژی به لایه های تراکم پذیر خاک به منظور اصلاح مشخصات ژئوتکنیکی آنهاست از محدودیتهای این روش این است که از آن در ۳۰ متری ساختمانهای موجود و یا در ۱۵ متری خطوط خدماتی نمیتوان استفاده کرد و ممکن است انرژی انتقالی آسیب جدی به سیستم برساند. در اعماق زیاد (بالای ۱۰-۱۲ متر) که انرژی لازم زیاد می باشد ، و گاهی انرژی بیش از ۶۰۰ تن متر الزامی است . شکل وزنه برای نفوذ بیشتر طراحی شده است که بیش از ۳۰ تن و ارتفاع سقوط بیش از ۳۰ متر می باشد که به این روش /بر تراکم دینامیکی اطلاق میشود . همچنینی در مواردی که عمق لایه روانگرا کم باشد ، بر اساس همان روش عمومی تراکم دینامیکی ماشین خاصی ابداع شده است که عملکردی مشابه سیلندر ماشین دارد و طبیعتاً سرعت بالایی دارد . در حقیقت این دستگاه یک چکش شمع کوبی است که روی یک دستگاه خاکبرداری نصب شده است و یک ورقه دایره ای را روی زمین میکوبد. چکش ۷.۵ تنی بصورت هیدرولیکی تا ارتفاع حداکثر ۱۲۰ سانتیمتر بالا رفته و سقوط آزاد میکند و بنابراین انرژی حدود ۹ تن-متر ایجاد میکند. چکش صفحه را با سرعتی حدود ۳۰ تا ۴۰ ضربه در دقیقه میکوبد و معمولاً برای هر نقطه ۱۰ تا ۳۰ ضربه زده میشود. این روش تراکم سریع ضربه ای (Rapid Impact Compaction) نامیده میشود. یکی دیگر از روشهای قدیمی که کاربرد فراوانی نیز دارد ستون سنگی (Stone Column) نامیده میشود در این روش شفت لرزان به دخل زمین رانده شده و فضای خالی ایجاد شده با مصالحی سنگی پر شده و مجدد مصالح پر شده متراکم و کمپکت میشوند. تکنیک پرکردن از بالا و پایین هر دو قابلیت کاربرد دارند و بسته به پایداری خاک درجا و تراز آب یکی انتخاب میشود. این روش معمولاً در جاهای استفاده میشود که بار یکنواخت بر زمین وارد میشود نظیر دال ساختمان ، دایک ساحلی . قطر نهایی ستون سنگی بستگی به مشخصات خاک سطحی داشته و در خاکهای غیر همگن در عمق متغیر است. نوع دیگری از ستونهای سنگی وجود دارد که به تراپیر (Terrapier) موسوم می باشد. تراپیرها ستونهای سنگی کوبیده شده هستند که به عنوان المان سازه ای طراحی شده اند تا یک توده خاک را مسلح نموده و نشست فونداسیون سطحی را به حداقل ممکن میرسانند . اگرچه تراپیرها مشابه سایر ستونهای سنگی هستند ولی مکانیسم خاصی در این روش ، این روش را متمایز نموده است. تراپیرها با برداشت یا جایگزینی خاک ساخته میشود و در ابتدا حفره ای در زمین ایجاد نموده و سپس نفوذ در منطقه نرم با پرکردن حفره با مصالح سنگی از پایین با استفاده از لرزش و سایر تکنیکها انجام می پذیرد. تنش جانبی قابل توجهی توسط عملکرد تراکم سنگدانه ها ایجاد شده و در نتیجه المانهای سنگی با مدول سختی بالا و توسط که با خاک پیش کرنش یافته احاطه شده است ایجاد میگردد. نوع دیگری از همین سیستم وجود دارد که به روش جایگزینی لرزه ای (Vibro Replacement) موسوم است که در فرآیند این روش هیچ تراکم در خاک اطراف فرض نمیشود. و صرفاً سیستم متکی به سختی و مقاومت برشی بالاتر ستون سنگی نسبت به خاک اطراف می باشد. برای ساختن ستونهای جایگزینی لرزه ای ، روش خوراکدهی از بالا یا پایین میتواند مورد استفاده قرار گیرد. در خوراکدهی از پایین مصالح دانه ای به نوک لرزشگر با فشار هوا هدایت میشود. جهت بهینه سازی عملکرد این روش در این سیستم ، یک سیستم ویبروکت خاص تعبیه شده است که کل فرآیند داخل این مجموعه صورت گیرد. و باعث ایجاد فشار مضاعف حین فرو راندن و بیرون کشیدن میشود. بر اساس کلیات همین روش ، روش دیگری ابداع شده است که با استفاده از تراکم لرزه ای مصالح پر کننده (که لزوماً سنگی نیستند و ریزدانه تر می باشند) باعث تراکم سیستم میشود . در این روش از نیروی رانش ریگ به سمت پایین استفاده شده و برای فرورفتن میله در زمین از لرزش و جت آب استفاده میکنیم سپس جت آب کاهش یافته و در نتیجه در نوک مخروط خاک نسبت به

بازآرایی ذرات خود اقدام میکند. سپس مصالح دانه ای پر کننده را میتوان از بالا به حفره ایجاد شده اضافه کرد. جریان رو به پایین آب در نوک میله لرزان کمک میکند تا مصالح پرکننده به منطقه تراکم یافته در نوک میله لرزان حرکت کنند. میله لرزان به تدریج جهت ایجاد شکل استوانه ای تراکم یافته به قطر ۴ تا ۲ متر بالا کشیده میشود. که قطر استوانه حاصل بستگی به نوع خاک و ابزار ایجاد لرزش دارد. این نوع تراکم چاله های مخروطی ایجاد میکند که باید با مصالح دانه ای همراه با بیرون کشیدن میله پر شود. این روش تراکم لرزه ای (Vibro Compaction) نامیده میشود.

در مواردی که خاک خیلی سست باشد روش جایگزینی دینامیکی (Dynamic Replacement) مورد استفاده قرار میگیرد که تعمیم یافته روش تراکم دینامیکی برای این نوع خاکها می باشد. در این روش در ابتدا مصالح سنگی مناسب که قرار است برای تراکم مورد استفاده قرار گیرند بصورت پوشش روی منطقه تراکم قرار گرفته و با وزنه دایره ای جهت ایجاد ستون تقویت شده خاک به قطر ۲ تا ۳.۵ متر کوبیده میشود. همچنین لایه های زیرین با انتقال انرژی ناشی از کوبش متراکم میشوند. به عبارت دیگر در این روش مجموع مزایای روش ستون سنگی و تراکم دینامیکی حادث میشود. میزان نسبت جایگزینی گاهها به ۲۵ درصد هم میرسد. از نظر میزان ابزار کار مشابه تراکم دینامیکی است که وزنه ۱۰ تا ۳۵ تن با ارتفاع ۱۰ تا ۳۰ متر سقوط میکند. فلسفه و فرایند کلی دیگر مورد استفاده استفاده از ستونهای بتنی و یا نیمه بتنی است مشهورترین این روشها ستونهای لرزه ای بتنی (Vibro Concrete Columns) می باشد که روش سریع، ساده و نسبتا ارزان برای خاکهای نرم بوده و جایگزین مناسبی برای پایه های شمعی است که حداقل ضایعات را ایجاد نمود و نسبت به شمع از میزان بتن کمتری استفاده میکند. در فرآیند اجرایی تیوب لرزان در محل دقیق ستون قرار گرفته و سیستم میله لرزان با لرزش تا عمق طرح فرو رفته و یتن تازه از طریق تیوب داخلی بصورت پیوسته تزریق میشود در عمق انتهایی با حرکت دادن تیوب لرزان حباب بزرگ شده در نوک تشکیل میشود و در نتیجه نسبت به شمع طول کوتاهتری پیدا میکند. وقتی بهبود مطلوب حاصل شد، تیوب به تدریج بالا کشیده شده به نحوی که بتن از تیوب سرریز شود. سرعت بیرون کشیدن و فشار بتن توسط سیستم پایش می شود تا در تمام نقطه پیوستگی داشته باشد. نوع دیگر که بدون لرزش اجرا میشود ستونهای مدوله کنترل شده (Controlled Modulus Columns) نامیده. این ستونها توسط اوگر خاصی اجرا میشود که خاک درجا را به صورت جانبی بدون هیچگونه لرزش یا ضایعات جابجا نموده و ریسک آلودگی را کمک میکند. اوگر تا عمق طراحی شده داخل زمین پیچانده میشود. این امر تراکم خاک اطراف را افزایش داده و بالطبع مقاومت و یا باربری آن افزایش می یابد همزمان با بیرون کشیدن اوگر با تزریق گروت ستون مدوله تشکیل میشود. در نتیجه مشخصات سختی نیز بهبود می یابد ستونهای مدوله کنترل شده جهت بهبود مشخصات مکانیکی خاک ضعیف و کنترل نشستهای آن مورد استفاده قرار میگیرد. روش دیگری که ترکیبی از روش فوق و ستون سنگی است ستونهای دو مدوله (Bi-Modulus Columns) نامیده میشود. ستونهای دو مدوله ترکیبی از دو ساختار مختلف می باشند به نوعی که در قسمت پایینی آن یک ستون صلب و در قسمت بالا ستون سنگی ایجاد میشود و بنابراین از هر دو نوع ماشین آلات باید استفاده شود. بخش سنگی انتقال و توزیع بار را از ساختمان به بخش صلب بهبود میبخشد. ستونهای دو مدوله یک ابداع ترکیبی از روش ستون سنگی و روش ستون مدوله کنترل شده می باشد. این سیستم سهولت استفاده از ستونهای سنگی را بدون محدودیت استفاده در خاکهای ضعیف را همزمان به کار میگیرد. بخش صلب در ابتدا نصب شده و متقابلا پیش از اینکه ملات کاملا سفت شود مصالح سنگی ریخته شده و ستون سنگی اجرا میشود که این امر باعث میشود بخشی از سنگ در ملات نفوذ کرد و یک لایه میانی گذارا ایجاد نماید. فرایند عمومی دیگر مورد استفاده در مقابله با روانگرایی استفاده از گروت می باشند که به روشهای متفاوتی صورت میگیرد در روش اول که تراکم با گروت (Compaction Grouting) نامیده میشود، گروت با فشار تزریق میشود که هدف اولیه آن متراکم کردن خاک اطراف است (نه نفوذ در آن). گروت زنی تراکمی با پمپ کردن ملات سیمان تحت فشار از طریق نوک ابزار حفاری جهت جایگزینی جانبی و متراکم نمودن خاک اطراف صورت میپذیرد. ستونهای گروت تراکمی استوانه های قائم هستند که از گروت ویسکوز با اسلامپ پایین ایجاد شده است. با عملکرد پیوسته سیستم همزمان با بیرون کشیدن ابزار حفاری یک ستون پیوسته شکل میگیرد. بهبود عمومی حجم خاکهای قابل تراکم نیازمند مرحله بندی عملیات گروت زنی به یک سری مش اولیه و ثانویه است. در روش توسعه یافته تر که جت گروت (Jet Grouting) نامیده میشود مشخصات مکانیکی خاک را با استفاده از جت سیال با انرژی سینتیک بالا بهبود می بخشد، به نحویکه ساختار خاک را شکست داده و ذرات خاک را با گروت ترکیب نموده و یک توده همگن مقاوم بصورت خاک مسلح شده با سیمان ایجاد میکند. در جت گروت سه پدیده درگیر میشود، شکست ساختار خاک توسط مایع تزریقی به خاک در سرعت بالا، خروج بخش های مازاد و ضایعات از سطح و اختلاط ذرات خاک با سیستم هیدرولیکی. در این روش ریگ حفاری به یک سیستم تزریق با فشار بالای گروت وصل میشود. مته حفاری دارای نازل گروتی ویژه ای می باشد. سه روش گروت زنی در جت گروت وجود دارد جت گروت با سیال ساده که در این روش گروت مستقیم هر سه وظیفه گسیختگی ساختار خاک، برداشت مواد اضافی و ترکیب با خاک را به عهده میگیرد. جت گروت با سیال مضاعف (فشار هوا) که در این روش فشار هوا نیز در بخش حفاری دخیل میشود تا سرعت افزایش یابد و در روش سوم علاوه بر هوا، آب نیز دخالت میکند. تکنیکی سومی وجود دارد که بینابین گروت تراکمی و جت گروت می باشد که گروت نفوذی (Permeation Grouting) نامیده میشود و تزریق سیال گروت درون خاک دانه ای است بسیار به گروت تراکمی شباهت دارد ولی جریان آزادتری در سیستم وجود دارد. روش دیگری که در اینجا معرفی میشود مخلوط کردن خاک (Soil Mixing) می باشد که مخلوط کردن خاک شامل به هم زدن مکانیکی خاک درجا با مصالح سیمانی با استفاده از اوگر مخصوص صورت میگیرد. سیستم بصورت مشابه جابجایی خاک بدون بیرون کشیدگی، تزریق فشار پایین و همزدن و اختلاط با خاک توسط ابزار اختلاط است.



مراحل تحقیق

با توجه به اینکه شرایط زئوتکنیکی، محل قرارگیری فیزیکی و وع و منطقه عبوری خط لوله تاثیر فراوانی در انتخاب روش بهینه در برخورد با موضوع روانگرایی زیر بستر خط لوله دارد، در این راستا در ابتدا، برای تمامی روشها ماتریس امکانات و محدودیتها به روش ارزش گذاری ۵ مرحله ای تهیه شده است. عوامل موثر در این ماتریس عبارت بودند از:

الف - تجربه اجرایی در زمینه مقابله با روانگرایی ب- تجربه اجرایی در مورد روش خاص ج - حجم کل قرارداد د- وجود ماشین آلات ه - امکان تهیه ماشین آلات و - وجود یا عدم وجود نیروی اجرایی ماهر ز- میزان آلودگی ایجاد شده ح - میزان کارایی روش در خاک اشباع ط- هزینه اجرایی ی- دامنه کارایی در عمق ک- عمق خاک مورد نظر برای روانگرایی ل- مصالح مصرفی م - میزان انرژی مصرفی ن - درصد اشتغال ماشین آلات می باشد.

بررسی ضریب همبستگی اطلاعات در خصوص آیتم کارایی عمومی و هزینه اجرایی طرح به گونه ای است که در خصوص عمق روانگرایی را نمیتوان جزء عوامل در ماتریس و الگوریتم امتیازدهی وارد نمود، از این رو، ماتریس فوق جداگانه در خصوص اعماق مختلف تشکیل شد. همچنین شرایط سازه های موجود در اطراف سازه میتواند به شکلی باشد که امکان اجرای برخی از روشها میسر نباشد، مثلا در حضور یک ساختمان دو طبقه قدیمی در فاصله ۱۵ متری نمیتوان از روش تراکم دینامیکی استفاده کرد و یا به عنوان مثال استفاده از تراکم دینامیکی در خصوص لوله های گاز دایر کارایی نخواهد داشت. از این رو در امتیازدهی فنی، موارد فوق الذکر نیز بصورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و به عبارت دیگر تعداد ۲۴ ماتریس و جدول امتیازدهی مستقل مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اهمیت ویژه هزینه تمام شده در تمامی کارهای مهندسی بخش مهمی از تصمیم گیری در خصوص روش انتخابی به این موضوع بستگی دارد، از طرف دیگر تعیین دقیق هزینه تمام شده نیازمند طراحی کامل سیستم مقابله با روانگرایی می باشد که معمولا در گام اول بسیار هزینه بر می باشد، از این رو بر اساس فرضیات کلی معمول در پروژه های لوله های گاز تلاش شد تا تخمین مناسبی از هزینه های اجرایی توسط فرمولهای ساده ارائه گردد تا بتوان در محدوده عملیاتی فاز مطالعات مفهومی، بتوان ایده اولیه ای از روشهای منطقی بدست آورد و در مرحله بعدی در خصوص فرایند و روش مطالعات مرحله پایه تصمیمات مهندسی تری اتخاذ گردد.

فرمولهای ارائه شده به شرح ذیل می باشد:

الف - تراکم ضربه ای سریع:

$$R = (4 + 12t)h \times (2 + 0.5h + 1t) \times U_{RTC} \times F \quad (1)$$

ب- تراکم دینامیکی:

$$R = [(4 + 12t)h - (0.15 + 0.35t)h^2] \times (2 + 0.5h + 2t) \times U_{Dy-comp} \times F \times S_1 \times S_2 \quad (2)$$

ج- ابرتراکم مشابه تراکم دینامیکی است با این تفاوت که ضریب $S_2=1,40$

د- جایگزینی خاک با خاک مرغوب

$$R = t \times (4 + h + t) \times U_{soil} \times F \quad (3)$$

۵- تراکم لرزه ای

$$R = \left(\frac{\max(6, (4 + 0.3h + 1.2t))}{g} \times h \times U_{vibro-comp} + (4 + 0.3h + 1.2t) \times U_{soil} \times eh \right) \times F \quad (4)$$

$$U_{vibro-comp} = (0.25h^2 + 0.6h + 75) * 10000$$

۶- جایگزینی لرزه ای

$$R = \left(\frac{\max(8, (4 + 0.3h + 1.2t))}{16} \times h \times U_{dyn-rep} + \max((4 + 0.3h + 1.2t), 8) \times U_{soil} \times eh \right) \times F \quad (5)$$

$$U_{dyn-rep} = (0.55h^2 - 16.50h + 220) * 10000$$

۷- ستون سنگی

$$R = \left(\frac{\max(8, (4 + 0.3h + 1.2t))}{12} \times h \times U_{stone-col} + \max((4 + 0.3h + 1.2t), 8) \times U_{soil} \times eh \right) \times F \quad (6)$$

$$U_{stone-col} = (0.65h^2 - 19.50h + 250) * 10000$$

۸- تراپیر: فرمول محاسبه برآورد قیمت اولیه تراپیر مشابه جایگزینی دینامیکی است و فقط به جای $U_{dyn-rep}$ از U_{triper} استفاده میشود.

$$U_{triper} = (0.60h^2 - 16.0h + 210) * 10000 \quad (7)$$

۹- ستون مدوله کنترل شده

$$R = \frac{\max(8, (4 + 0.3h + 1.2t))}{16} \times h \times U_{CMC} \times F \quad (8)$$

۱۰- ستون لرزان بتنی

$$R = 0.8h \times U_{VCC} \times F \quad (9)$$

۱۱- تراکم گروت

$$R = \frac{\max(6, (4 + 0.3h + 1.2t))}{9} \times h \times U_{Comp-Gr} \times F \quad (10)$$

۱۲- جت گروت

$$R = \frac{\max(8, (4 + 0.3h + 1.2t))}{16} \times h \times U_{Jet-Gr} \times F \quad (11)$$

پارامترهای تمامی فرمولهای فوق به شرح ذیل می باشند:

h عبارتست از عمق مرکز لایه روانگرا ، t عبارتست از ضخامت لایه روانگرا ، R هزینه متر طول ، F ضریب بالاسری، S_1 ضریب جنس بستر که در خاک که استعداد روانگرایی در آن خیلی زیاد است ۱.۲، در خاک با استعداد روانگرایی زیاد ۱.۰ و در خاک با استعداد روانگرایی مرزی ، ۰.۷ توصیه می گردد. S_2 ضریب شکل وزنه که برای وزنه مستطیل ۱.۰ ، برای وزنه استوانه ۱.۱۵ و برای وزنه موشکی مورد استفاده در ابرتراکم ۱.۴۰ می باشد. U_{RTC} عبارتست از قیمت واحد هر تن متر تراکم ضربه ای سریع که برای مبنای متوسط کشوری در سال ۹۱ معادل ۱۰۰۰ ریال در محاسبات قیاسی فرض شده است. $U_{Dy-comp}$ عبارتست از قیمت واحد هر تن متر تراکم دینامیکی که برای مبنای متوسط کشوری در سال ۹۱ معادل ۸۰۰ ریال در محاسبات قیاسی فرض شده است.

U_{soil} هزینه هر متر مکعب خاک جایگزین مناسب در روشهای اصلاحی که برای مبنای متوسط کشوری ۱۰۵۰۰۰ ریال در محاسبات قیاسی لحاظ شده اند و متناسباً U_{stones} هزینه هر متر مکعب مصالح سنگی در روش ستون سنگی که برای مبنای متوسط کشوری ۱۶۰۰۰۰ ریال در محاسبات قیاسی لحاظ شده اند.

$U_{vibro-comp}$ هزینه هر متر طول ارتفاعی اجرای سیستم تراکم لرزه ای ، $U_{dyn-rep}$ هزینه هر متر طول ارتفاعی اجرای سیستم جایگزینی لرزه ای ، $U_{stones-col}$ ، هزینه اجرای متر طول ارتفاعی ستون سنگی ، U_{triper} متناظراً برای روش تراپیر ، U_{VCC} و U_{CMC} به ترتیب هزینه اجرای متر طول ستون بتنی لرزان و ستون مدوله بتنی می باشد ، $U_{Comp-Gr}$ و U_{Jet-Gr} نیز هزینه اجرایی متر طول ارتفاعی جت گروت و گروت تراکمی می باشد که مبلغ قیاسی با توجه به شرایط اجرایی موجود در چهار مورد اخیر به ترتیب ۱.۳۵ ، ۱.۰۵ ، ۰.۹۵ و ۱.۴ میلیون ریال در متوسط ارتفاعی موثر تعریف شده می باشند. با توجه به ماهیت فنی هر یک از روشهای مورد استفاده در مقابله با روانگرایی در ردیف ب ، روانگرایی محتمل در آینده در اثر زلزله ، زودتر از موعد و با فراهم کردن شرایط فنی خاص رخ میدهد و در نتیجه با تغییر ساختار خاک ، پدیده نشست ایجادشده و پتانسیل روانگرایی در آینده تقلیل می یابد. البته مفهوم نهفته در این روش میتواند به اینصورت بیان شود که در محل اجرای این روش ، نشست و لرزش رخ داده و میتواند به خط لوله آسیب برساند که باسد در مطالعات مد نظر قرار گیرد. روشهای پایین آوردن سطح آب نیز معمولاً منجر به نشست لایه خاک میگردد و در صورتیکه سطح آب از طرق مختلف زهکشی به صورت پایدار پایین آورده شود ، میتواند مفید باشد که البته برای خطوط لوله با عرض حداقل مطمئناً روش ارزانی محسوب نمیشود. در برخی از روشها می بایست عرض حداقلی برای بهبود خاک و عدم تاثیر خاک بهبود نیافته جانبی وجود دارد. روشهای تراکمی و برداشتن لایه خاک نامناسب و همینطور روش ستون سنگی در این رده بندی مطرح می شوند.



جدول ۱: ماتریس ارزیابی محدودیتها و دسترسی در روشهای مختلف مقابله با روانگرایی برای عمق بالای سه متر

در شرایط لوله های جدید الاحداث بدون وجود مستحذات مجاور

نام روش	تجربه اجرایی	وجود ماشین آلات	وجود نیروی انسانی مجرب	میزان آلودگی از لحاظ پسماند	میزان آلودگی صوتی	سهولت کار در شرایط اشباع	هزینه اجرایی	کارایی در عمق	اشتغال ماشین آلات	انرژی مصرفی	برآیند
تراکم دینامیکی	۳	۳	۱	۱	۰	۲	۵	۱	۲	۲	۲۰
ابرتراکم دینامیکی	۱	۲	۰	۱	۰	۲	۳	۱	۲	۱.۵	۱۳.۵
تراکم ضربه ای سریع	۳	۲	۱	۱	۱	۲	۵	۰	۱	۱.۵	۰
جایگزینی دینامیکی	۰	۳	۰	۱	۰	۱	۳	۱	۲	۱	۱۲
ستون سنگی	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱.۵	۱	۱۲.۵
تراپپر	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۲	۱	۱	۱	۸
جایگزینی لرزه های	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۲	۱	۱	۱	۸
تراکم لرزه ای	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۳	۱	۱	۱	۱۱
ستون بتنی لرزه ای	۱	۱	۰	۰.۵	۱	۰.۵	۲	۱	۰.۵	۱	۸.۵
ستونهای مدوله کنترل شده	۰	۰	۰	۰.۵	۱	۰.۵	۲	۱	۰.۵	۱	۶.۵
ستونهای دو مدوله	۰	۰	۰	۱.۵	۱	۰.۵	۲	۱	۰.۵	۰.۵	۷
تراکم با گروت	۲	۲	۱	۲	۱.۵	۱	۳	۱	۰.۵	۱	۱۵
جت گروت	۱	۲	۱	۲	۱.۵	۱	۱	۱	۰.۵	۱	۱۲
گروت نفوذی	۰	۲	۱	۲	۱.۵	۱	۲	۱	۰.۵	۱	۱۲

با آنالیز فرمولهای ساده فوق و در نظر گرفتن امتیازات مکتسبه در آنالیز ماتریس ذکر شده فوق به عنوان راهنمایی عمومی می توان شرایط مختلف که امکان وقوع را دارد به شرح ذیل طبقه بندی نمود

الف - خط لوله جدیدالاحداث بوده و در مجاورت ۳۰ متری خط لوله ساختمان یا مستحذات وجود نداشته باشد که امکان تاثیر پذیری از روش اصلاح را داشته باشند: برای اعماق مختلف موارد مختلفی توصیه می گردد. اگر خاک روانگرا در عمق کمتر از ۳ متر وجود داشته باشد، در این صورت بهترین روش و سریعترین روش استفاده از روش تراکم ضربه ای سریع می باشد که هم سرعت بالایی دارد و هم دامنه اثر آن محدود است و در این روش بصورت استثناء در شرایطی که در ۱۰ متری هم سازه وجود داشته باشد قابل اجراست. از نقطه نظر در دسترس بودن ماشین آلات، این نوع ادوات در حال حاضر در کشور وجود دارد و در صورت تهیه ضریب اشتغال کافی برای توجیه اقتصادی خواهد داشت. در صورتیکه خاک روانگرا در عمق بیش از ۳ متر و کمتر از ۱۲ متر واقع باشد در این حالت اقتصادی ترین روش استفاده از تراکم دینامیکی متعارف می باشد. بسته به شرایط خاک و نوع جرتقیل میتوان از وزنه های مکعب مستطیل و یا از وزنه ای مستطیلی استفاده نمود. وزنه های مکعب مستطیلی توزیع تراکمی متناسب تر در عرض دارند و وزنه های استوانه ای توزیع تراکمی بهتر در عمق دارند و بدیهی است در عمل متناسب با شرایط اجرایی در خصوص نوع وزنه تصمیم گیری خواهد شد ولی به عنوان راهنمایی عمومی در صورت عدم وجود مستحذات در اطراف محل احداث خط لوله، استفاده از وزنه مکعب مستطیل اقتصادی تر خواهد بود ولی در هر صورت توصیه می شود برای حالاتیکه عمق لایه روانگرا در بیش از ۹ متر قرار دارد حتما از وزنه استوانه ای استفاده شود. اگر خاک روانگرا با عمق بیش از ۱۲ متر تا ۱۵ متر واقع باشد، در اینصورت با توجه به عمق زیاد لایه خاک مستعد روانگرایی استفاده از روش ابر تراکم دینامیکی به عنوان اقتصادی ترین روش توصیه می شود. در این روش نوع وزنه یک استوانه تقریبا موشکی می باشد و محدود اثر عمق آن بالا و محدوده اثر عرض آن کم می باشد که می بایست مد نظر قرار گیرد. در صورتیکه عمق خاک روانگرا بیش از ۱۵ متر باشد، استفاده از روش تراکم دینامیکی پاسخگو نخواهد بود و می بایست از روشهای دیگر مرسوم در این زمینه استفاده شود. تحلیل فنی اقتصادی نشان می دهد که استفاده از جت گروت در این عمق گزینه مطلوب خواهد بود. نکته دیگر در این طبقه بندی این است که اگر با خاکهای خیلی سست سطحی برخورد نماییم، در اینصورت استفاده روش جایگزینی حمل مستقیم بهترین راه حل خواهد بود. البته این موضوع به میزان فاصله حمل مصالح مناسب بستگی کامل دارد ولی در شرایط کلی در صورتیکه امکان تامین مصالح در فاصله کمتر از ۱۰ متر

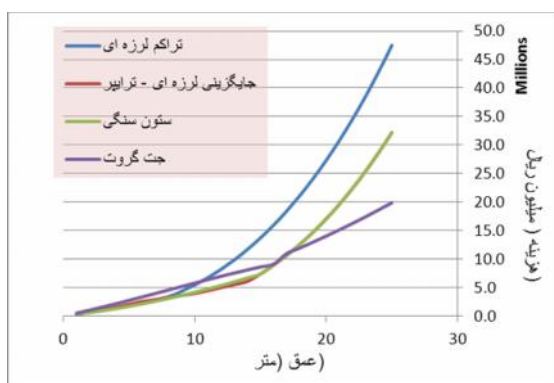
وجود داشته باشد. جایگزینی خاک بی تردید فرایند مناسب تری خواهد بود و در خصوص خاکهای خیلی سست با عمق متوسط روش اقتصادی جایگزینی دینامیکی می باشد.

ب- خط لوله مورد نظر جدی الاحداث بوده ولی در نزدیکی آن مستحذات دارای پی و شالوده ضعیف وجود داشته باشد و یا این که تراکم دینامیکی امکان ایجاد مخاطره برای سازه های مجاور را داشته باشد: اصولا در چنین حالتی استفاده از روشهای با جابجایی کم راه حل اقتصادی تری هستند، هر چند نتیجه حاصل علاوه بر غلبه بر روانگرایی، باربری را نیز به شدت افزایش می دهد. از این دست روشها می توان ستون سنگی، روش جایگزینی دینامیکی، روش تراپیر، روش جایگزین لرزه ای و تراکم لرزه ای را نام برد. در این طبقه بندی، اگر حساسیتهای ساختمانها و مستحذات موجود اطراف زیاد نباشد، میتوان با اجرای ایزولاسیون لرزه ای ساده، از مستحذات فوق مراقبت نموده و از روشهای تراکمی بهره جست ولی در صورتی که حساسیت زیاد باشد، بسته به عمق یکی از روشهای فوق الاشعار انتخاب خواهد شد. اگر عمق لایه روانگرا زیر ۷.۵ متر باشد، روش تراکم لرزه ای در کل اقتصادی تر خواهد بود. مکانیسم این روش نسبت به سایر روشهای تراکم (تحکیم) کمتر نیاز به ماشین آلات خاص دارد. این روش برای اعماق بیش از ۷.۵ متر اگر چه قابل اجراست ولی از لحاظ اقتصادی نسبت به سایر روشها نظیر ستون سنگی و یا جایگزین لرزه ای و یا تراپیر گران تر خواهد بود. در این عمق، آنچه در مورد برآورد قیمت تعیین کننده خواهد بود، در دسترس بودن و یا نبودن ماشین آلات خاص مورد نیاز روشهای مرسوم در این محدوده می باشد. روشهای جایگزین لرزه ای و تراپیر، در صورت وجود ماشین آلات از روش ستون سنگی ارزانتر می باشد و همچنین لرزش کمتری ایجاد می کنند و در صورت عدم امکان تامین ماشین آلات مد نظر، روش ستون سنگی در این حالت بهترین روش خواهد بود.

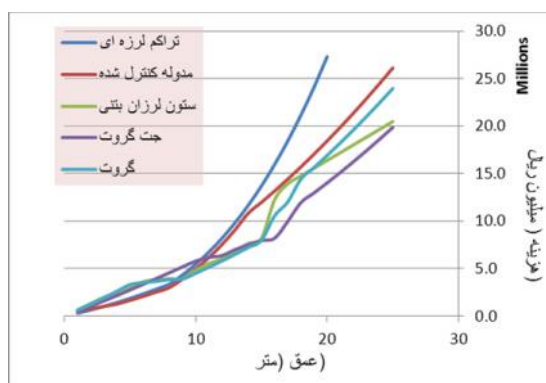
ج - حالتی است که در آن خط لوله از قبل موجود است ولی مستحذاتی در اطراف خط لوله وجود ندارد: این حالت بیشتر تابع حساسیتهای خط لوله می باشد. در صورتیکه حساسیت لوله به گونه ای باشد که امکان ایجاد نشستهای کنترل شده اندک وجود داشته باشد، روشهای مندرج در بند ب با همان ترتیب قبلی کارایی دارد و اقتصادی خواهد بود. در صورتیکه حساسیت در خط لوله بالا باشد، مستقل از وجود یا عدم وجود مستحذات، روشهای بند "د" مورد استفاده قرار می گیرد.

د- حالتی که لوله از قبل وجود دارد و مستحذات نیز در نزدیکی خط لوله وجود دارد: حساسیتهای بالای موجود در این حالت باعث می شود که از روشهایی استفاده گردد که جابجایی ایجاد شده در خاک در حد صفر باشند، به نوعی که در خط لوله و سازه های اطراف هیچ نشستی انجام نشود و این کار صرفا با روشهای تزریق میسر خواهد بود. این روشها عبارتند از: ستون لرزه ای بتنی، ستون مدوله کنترل شده، ستون دو مدوله (BMC)، تراکم با گروت و جت گروت که متناسب با عمق لایه روانگرا می بایست یکی از این روشها را مورد استفاده قرار داد. در صورتیکه لایه روانگرا در عمق کمتر از ۳ متر واقع شده باشد با برخی تمهیدات روش تراکم لرزه ای را میتوان استفاده کرد و در صورت عدم امکان تمهیدات استفاده از ستون سنگی و یا تراپیر می تواند راهگشا باشد. در صورت وقوع لایه روانگرا در محدوده ۳ تا ۸ متر ستون مدوله کنترل شده اقتصادی است و در محدوده ۸ تا ۱۵ متر هر دو حالت ستون بتنی و گروت تراکمی هر دو دارای شرایط اقتصادی مناسبی خواهند بود. برای عمق لایه بیش از ۱۵ متر جت گروت اقتصادی ترین روش می باشد.

در شکل یک و شکل دو گراف مربوط به هزینه اجرایی متر طول خط لوله جهت قیاس روشهای مختلف نشان داده شده است:



شکل ۲: مقایسه اقتصادی بین گزینه های مختلف بافت شهری بدون وجود خط لوله



شکل ۱: مقایسه اقتصادی بین گزینه های مختلف بافت شهری با وجود خط لوله

بافت فرسوده نماد ویژه و خاص حالت چهارم می باشد که ملاحظات ویژه می بایست مد نظر قرار گیرد من جمله اینکه تلاش شود تا اتصالات لوله ها را به نحوی طراحی نمود که دارای انعطاف پذیری کافی باشند. بررسی ها نشان می دهد که تعبیه در فواصل حداکثر ۱۵۰ متری می تواند مانع اثرات تنشهای طولی حین لرزه گردد.



نتیجه گیری

نتایج بررسیها و مطالعات نشان داد که مهمترین عامل در تعیین روش مقابله با روانگرایی، عمق لایه روانگرا و در درجه بعدی ضخامت این لایه می باشد. در بافتهای شهری در حال ساخت، بهترین روش برای اعماق زیر سه متر، روش تراکم سریع و در اعماق بین سه تا ۱۲ متر، تراکم دینامیکی با وزنه استوانه ای و در اعماق بالای ۱۲ متر تا حداکثر ۱۵ متر ابرتراکم دینامیکی می باشد. در صورت وجود خاکهای سست سطحی و نیمه سطحی، روش جایگزینی ارجحیت بالاتری خواهد داشت. در بافتهای شهری دایر و خط لوله گاز در حال احداث، در مناطقی که ساختمانها دارای فاصله بیش از سی متر بوده و یا دارای ساختمانهای یک طبقه (و حداکثر دو طبقه) با پی های غیرسست باشد، با اضافه کردن ایزولاسیون لرزه ای به صورت اجرا چاله در اطراف مسیر مورد تراکم، از روشهای فوق استفاده نمود. در همین شرایط برای ساختمانهای بیش از یک طبقه، روشهای مبتنی بر تغییر مکان زیاد مردود بوده و روشهای زیر بهترین نتایج اقتصادی را در بر خواهند داشت. برای عمق لایه روانگرا زیر ۷.۵ متر، روش تراکم لرزه ای و برای ۷.۵ متر تا ۱۵ متر روش جایگزین لرزه ای و تراپیپر و ستون سنگی خواهند بود. برای عمق بیش از ۱۵ متر روش جت گروت نتایج اقتصادی در بر دارد. بررسیها و محاسبات در بافتهای شهری دایر و خطوط لوله موجود نشان داد که برای عمق لایه روانگرا کمتر از سه متر اقتصادی ترین روش تراکم لرزه ای، برای سه تا هشت متر، ستون مدوله کنترل شده، برای ۸ تا ۱۵ متر، ستون لرزان بتنی و تزریق گروت و بیش از ۱۵ متر جت گروت اقتصادی خواهند بود. مطالعات در مورد بافتهای فرسوده حاکی از این است که علاوه بر ملاحظات فوق، احداث اتصالات انعطاف پذیر در فواصل حداکثر ۱۵۰ متری می تواند مانع اثرات تنشهای طولی حین لرزه گردد.

تشکر و قدردانی

مؤلفین بر خود لازم می دانند از امور پژوهش و فن آوری شرکت گاز استان تهران به جهت حمایت های علمی و مالی انجام شده از این پروژه تحقیقاتی، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

مراجع

راهنمای ارزیابی پتانسیل روانگرایی خاک، پیامدها و روش های کاهش مخاطرات آن (۱۳۹۱) نشریه ۵۲۵، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری

Andrus RD and Chung M (1996) Liquefaction remediation near existing lifeline structures, in *National Center for Earthquake Engineering Research*, Buffalo, NY

Ballantyne D (2008) Oil and Gas Pipelines, USGS

Fuchida K et al. (1996) Protection of Buried Pipelines From Liquefaction By Ground Improvements, 11th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 583

Jeanne OBAG and Perkins B (2001) Earthquake Program Manager, The REAL Dirt; A Guide to the Liquefaction Hazard in future Earthquakes Affecting the San Francisco Bay Area, *ASSOCIATION OF BAY AREA GOVERNMENTS*

www.geopac.ca/site/en/services

www.keller-foundations.co.uk/technique, © Keller 2009–2013, All contents copyright

www.terrasystemsonline.com/faq/terrapier.html, © 2013 TerraSystems, Inc., All rights reserved

www.vibromenard.co.uk, © 2013 Vibro Menard Limited, All rights reserved

