ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه توزیع آب با استفاده از GIS

مطالعه موردی: محدوده آب و فاضلاب منطقه یک شهر تهران

احمد سلامت [۱]، مهدی اعلمی [۲]، نبی اله غلامی بیدخانی [۳] ، اسلام ستارزاده[۴]

[۱] دانشجوی دکتری مهندسی عمران-مدیریت منابع آب، دانشگاه تهران، مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب منطقه یک
a.salamat@tpww.ir
[۲] دانشجوی دکتری مهندسی عمران-مدیریت منابع آب، دانشگاه تهران ، معاون مهندسی و توسعه شرکت آب و فاضلاب منطقه یک
aalami@tpww.ir
[۳] دانشجوی دکتری مهندسی عمران- نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، کارشناس GIS شرکت آب و فاضلاب منطقه یک
n.gholami83@gmail.com
[۳] دانشجوی دکتری مهندسی عمران-مدیریت منابع آب، دانشگاه آزاد تهران مرکز، مدیر دفتر فنی و خدمات مهندسی شرکت آب و فاضلاب منطقه یک
satarzadeh@t1ww.tpww.ir

چکیده

توسعه نامناسب شهرها در نواحی تحت تسلط سیستم گسلی، تاسیسات شهری را در معرض خطرات ناشی از زمین‌لرزه و رخدادهای ژئومورفولوژیک ناشی از آن قرار دارد. در هر شهر خطوط و لوله‌های مدفون شبکه توزیع آب شهری به عنوان قسمتی از یک شبکه شریان حیاتی و زیرساخت شهری محسوب می‌گردد. خطوط لوله شبکه آب متحمل بیشترین خسارت لرزه‌ای ناشی از زلزله، بخصوص اتصالات شبکه را دارد. در همین راستا با مدلسازی لرزه ای و آنالیز مکانی عوارض شبکه توزیع آب شهری آب و فاضلاب منطقه یک شهر تهران، لرزه‌خیزی منطقه با استفاده از GIS مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از روابط نیومارک هال میزان PGV و PGD خروجی در هر منطقه محاسبه گردیده و میزان خطرپذیری منطقه مورد ارزیابی دقیق لرزه‌ای قرارگرفت. نتایج بررسی ها نشان داد که لوله‌های بتنی در منطقه خطرپذیری بالا حجم بسیار زیادی را به خود اختصاص داده است و درصورت استفاده از خطوط لوله انعطاف‌پذیر آسیب‌های احتمالی به میزان 10% کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی

GIS، شبکه توزیع آب، لرزه خیزی

۱- مقدمه

آمار ناگوار حوادث طبیعی، وجود گسل های فعال و زمین لرزه در تمام مناطق جهان به نتایج مصیبت باری منتهی می شود. آثار این حوادث ناگوار طبیعی در کشورهای کمتر توسعه یافته، به مراتب شدیدتر از کشورهای توسعه یافته است [۱]. وقوع زمین لرزه باعث ایجاد خسارات زیادی در تمام منطقه تحت تاثیر می شود. تاسیسات و زیر ساختهایی مانند شبکه توزیع آب شهری، فاضلاب، برق، گاز و... که بعنوان شریانهای حیاتی نامیده میشوند، در برابر زمین لرزه می توانند آسیب پذیر باشند و متحمل خسارتهای فراوانی گردند[۲].

خطوط لوله شبکه توزیع آب به دلیل گستردگی و عبور از نواحی مختلف در معرض خطرات گوناگون قرار می‌گیرند و همچنین به علت پر مولفه بودن و پیچیدگی آن‌ها سبب می‌گردد که در برابر خطرات زمین لرزه از آسیب پذیری بالایی برخوردار باشند. لوله‌ی مدفون در سطح وسیعی از شهرها پراکنده شده و در تمامی مناطق اعم از مناطق با خطرپذیری بالا، متوسط و کم به چشم

می‌خورند. لذا مصون ماندن آن‌ها در زلزله‌های احتمالی امری امکان‌ناپذیر و غیرممکن می‌باشد؛ در نتیجه بهترین نوع برخورد با این بلایای طبیعی و مدیریت صحیح، شناخت دقیق و درست از آسیب‌های احتمالی وارده می‌باشد. بیشتر آسیب‌پذیری لوله‌های مدفون طی زلزله‌های گذشته ناشی از بیرون‌زدگی اتصالات می‌باشد[۳].

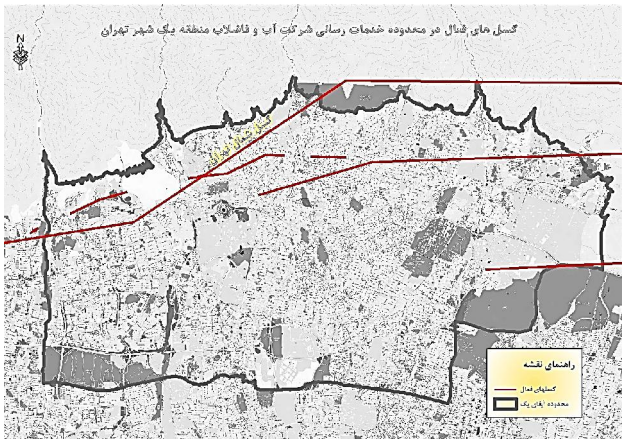
کشور ایران به لحاظ ساختار زمین شناختی، از مناطق با فعالیت بالای لرزه ای در دنیا شناخته می‌شود. زمین لرزه‌های بزرگ و کوچک به وقوع پیوسته در کشورمان گواهی بر این مطلب می‌باشد. از پیامدهای مهم هر زلزله‌ای میتوان به تاثیر احتمالی این رخداد بر روی شریانهای حیاتی از جمله شبکه توزیع آب شهری کشور اشاره کرد. با توجه به گستردگی شبکه توزیع آب شهری در سراسر کشور و در کنار آن لرزه خیزی اقلیم ایران، اهمیت بررسی تاثیر زلزله بر روی این شبکه بیشتر نمود پیدا میکند. مطالعات نظری و میدانی لرزه زمین‌ساختی در گستره تهران نشان می‌دهد که این شهر بر روی منطقه‌ای لرزه‌خیز و در اطراف گسل‌های فعال و مهم مشا، شمال تهران ، ری و کهریزک قرار دارد. وقوع 20 زلزله نسبتاً شدید(ثبت شده در تاریخ) بیانگر این مدعا است. در نتیجه براساس مطالعات علمی و شواهد تاریخی، تهران منطقه‌ای با لرزه‌خیزی بسیار زیاد تعیین شده است و احتمال وقوع زلزله در تهران با بزرگی ۷ در مقیاس ریشتر و بیشتر، بسیار زیاد و حدود % 64 در ۱۰ سال آینده می‌باشد. با توجه به عدم توانایی در جلوگیری از وقوع زلزله و عدم توانایی متخصصین در پیش‌بینی دقیق زمان آن ضروری است که با شناخت از وضعیت لرزه زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی تهران میزان خطر زمین لرزه را مشخص تا بر آن اساس برنامه‌ریزی‌های لازم برای انجام مقاوم‌سازی سازه‌ها اقدام لازم به عمل آید.

در این میان با توجه به قرارگیری محدوده خدمات رسانی شرکت آب و فاضلاب منطقه یک شهر تهران بر روی گسل شمال تهران با طول تقریبی 41کیلومتر، ارزیابی میزان آسیب‌پذیری تأسیسات آب این محدوده لازم و ضروری می باشد. با عنایت به مطالعات پیشین صورت گرفته نقشه پهنه‌بندی لرزه‌خیزی منطقه مورد بازنگری قرار گرفت و سپس بکمک نقشه‌های GIS موجود و تطبیق مختصات خطوط لوله با نقشه پهنه‌بندی خطر در نهایت نقاط دارای ریسک خطر بالا شناسایی گردیدند.

۲- محدوده مورد مطالعه

برای تحقیق وضعیت لرزه‌خیزی یک منطقه و تخمین خطر زمین لرزه، آگاهی و اطلاع جامع از زمین لرزه‌های ثبت شده و همچنین زمین شناسی و تکتونیک آن منطقه ضرورت دارد[۴]. نقشه‌های توزیع کانون زمین لرزه‌ها بیانگر این واقعیت است که فلات ایران خود یک زون لرزه خیز می‌باشد. در واقع فلات ایران به عنوان قسمتی از کمربند آلپ–هیمالیا دارای گسل‌های بی‌شمار فعال و غیرفعال است که عمدتاً دارای مکانیزم روراندگی می باشند. گسل رونده، گسل معکوسی است که زاویه شیب آن کمتر از ۱۰ درجه و لغزش کلی آن زیاد باشد.

مناطق بالقوه و فعال و همچنین تغییر شکل‌های معرف زمین‌ساختی، معمولاً در امتداد تعداد زیادی گسل رونده قرارگرفته است. حرکت صفحه عربستان در امتداد شمال‌شرق–جنوب‌غرب به سمت شمال‌شرق و حرکت صفحه هند درجهت شمال‌غرب از یک طرف و پایداری صفحه اوراسیا در شمال، نقش اصلی در به‌وجود آوردن نیروهای فشاری در لایه‌های رسوبی قشر آذرین سطحی و نیز در قسمت‌های عمقی فلات ایران را دارا می‌باشد. به‌همین دلیل یعنی محدود بودن فلات بین صفحات نامبرده، امکان به‌وجود آمدن حرکت‌های امتدادی کم است. در عوض در پوسته قاره‌ای و به‌خصوص قشر رسوبی آن، چین‌خوردگی و روراندگی‌هائی شکل می‌گیرد. بعضی از گسل‌های کواترنر با زمین‌لرزه‌های بزرگی همراه هستند و می‌توان ادعا نمود که در آینده هم صحنه زمین‌لرزه‌های بزرگ خواهند بود. شرط احتیاط این است که گسل‌های کواترنر را به‌عنوان کانون‌هایی با توان ایجاد زلزله‌های احتمالی آینده فرض نمود. گستره تهران که در کوهپایه جنوبی کوه‌های البرز قرار دارد، شمالی‌ترین فرونشست ایران مرکزی به حساب می‌آید. کوه‌های البرز شمال تهران متشکل از یک سری چین‌ها و راندگی‌های شرقی غربی است که از دامنه مرکزی کوه البرز روی هم و به سمت خارج (شمال و جنوب) رانده شده‌اند. شدت دگریختی (Deformation) در دو کناره شمالی گسله خزر و جنوبی گسله شمال تهران به بیشترین مقدار خود رسیده و بلندی‌های کوه البرز به ترتیب بر روی دشت کناری خزر در شمال و دشت تهران در جنوب رانده شده است. شناخت دقیق، و کامل گسل‌های کواترنر گستره تهران گام نخست در راه بررسی لرزه زمین‌ساخت و خطر (Hazard) زمین‌لرزه در تهران و محدوده مورد مطالعه در این تحقیق می‌باشد. از این دیدگاه گسل‌های کواترنرگستره تهران را به سه گروه زیر تقسیم می‌گردد: ۱- گسل‌های اصلی و لرزه زا (طول بیش از 10 کیلومتر) . ۲- گسل‌های متوسط (طول بین 2 تا 10 کیلومتر . ۳- گسل‌های فرعی (طول کمتر از ۲ کیلومتر). محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، گستره شرکت آب و فاضلاب منطقه یک شهر تهران می‌باشد. شکل(۱) موقعیت مکانی و نحوه قرارگیری گسل‌های شهر تهران را نشان می‌دهد.



شکل (۱): گسلهای فعال محدوده مورد مطالعه

۳- روش شناسی و پیاده سازی و تحلیل نتایج

جهت بررسی لرزه‌ای و ارزیابی کیفی مطالعات لرزه‌ای خطوط آب در ابتدا یک سری اطلاعات اعم از مطالعات ژئوتکنیک به همراه مطالعات لرزه‌خیزی محل

موجود گسل‌ها و همچنین بررسی خطرات روانگرایی و لغزش در محل صورت پذیرفت.

۳-۱- خطرات ناشی از گسلش سطحی

گسلش سطحی اثر جابجائی حاصل از یک زمین‌لرزه قوی است که در سطح زمین قابل مشاهده می باشد. زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای ۶ ریشتر ممکن است باعث ایجاد گسلش سطحی شوند. اکثراً گسلش سطحی به طور مکرر در یک پهنه اتفاق می‌افتد. به‌ویژه در طول پهنه گسلی که در کواترنر فعالیت داشته باشد، مقدار جابجایی که گسلش ساطحی می‌تواند ایجاد کند را می‌توان ارزیابی نمود. براساس بررسی‌ها و مشاهدات تجربی لغزش‌های همراه با زمین‌لرزه در ایران و سایر نقاط جهان، می‌توان رابطه تقریبی میان درازای گسل و میزان بیشترین جابجایی مورد انتظار را بدست آورد. با توجه به رابطه-های موجود برای گسل هایی با طول حدود 10 کیلومتر جابجایی ۰/۵ متر در یک جهش و برای گسل‌هایی با طول 100 کیلومتر جابجایی حدود 4 متر دور از انتظار نخواهد بود. با توجه به محدوده مورد تحقیق و قرار نگرفتن آن برروی گسل‌های اصلی و فرعی شناخته شده تهران(نزدیک‌ترین گسل گسل شمال ری به فاصله 5 کیلومتر) خطرات ناشی از حرکت برشی گسل بعید به نظر می‌رسد ولی در صورت مشاهده هرگونه ناحیه خردشده در محل تحقیق بایستی بررسی‌های بیشتر و دقیقتری انجام گیرد.

۳-۲- خطر تشدید زلزله

پدیده تشدید در بعضی مناطق باعث بزرگنمایی شتاب ناشی از زمین‌لرزه در سطح زمین به میزان چند برابر سنگ کف می‌شود. وضعیت بستر آبرفتی تهران نشان می‌دهد که رسوبات این شهر از دیدگاه پدیده تشدید زلزله به دو قسمت تقسیم می‌شوند:

الف) واحد رسوبی نوع 1 که در این لایه به دلیل بالا بودن سرعت موج برشی در آن به‌عنوان سنگ کف لرزه‌ای درنظر

گرفته می‌شود، در نتیجه مناطق دارای این رسوبات باعث تشدید زلزله نمی-گردند.

ب) واحد رسوبی نوع 2 که از رسوبات جوان‌تر بوده و از نظر مقاومتی نسبت به نوع 1 ضعیف‌تر می‌باشد. آبرفت علاوه بر تاثیر قابل توجه به حداکثر شتاب زمین‌لرزه در سطح زمین (PGA) بر محتوای فرکانسی حرکت ورودی نیز اثر بسیار زیادی دارد. آن‌چه که در حین زمین‌لرزه‌های متوسط و بزرگ اهمیت بیشتری دارد. پریود دینامیکی زمین‌های آبرفتی و رزونانس و همسانی آن با پریود ارتعاشی سازه‌های بنا شده بر روی آن است؛ لذا دو پارامتری که در امتداد نیروهای وارد بر سازه‌ها نقش‌آفرینی می‌کنند PGA و پریود غالب حرکت ورودی، در بخش ریزدانه در نگاه کلی تقویت می‌گردند و اثر تشدید کننده‌ای بر روی سازه ها دارد. بررسی وضعیت کلی و تحلیل دینامیکی خاک تهران از نقطه‌نظر تشدید شتاب زلزله در چندین نقطه تهران حاکی از آن است که بستر آبرفتی باعث تشدید زلزله می‌گردد. لذا جهت بررسی دقیق وضعیت خاک محل پروژه از لحاظ پدیده تشدید شتاب زلزله بهتر است گمانه‌هایی آزمایشی حفر شده و وضعیت خاک محل مشخص شود. بررسی‌های انجام شده روی نقشه‌های مطالعاتی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله در گستره جنوب تهران منطقه موردنظر حاکی از قرار گرفتن محال روی خاک ریز دانه سیلتی با سرعت موج برشی متوسط می باشد که پریود طبیعی آن بین ۰/۲ تا ۰/۳ ثانیه و پریود دینامیکی آن بین ۰/۱ و ۰/۲ ثانیه برآورد شده است.

۳-۳- خطر روانگرایی

یکی از اثرات ثانویه زلزله روانگرایی می‌باشد. در حال حاضر عموماً علت اساسی روانگرایی خاک‌های غیرچسبنده اشباع در هنگام زلزله ایجاد اضافه فشار هیدرواستاتیکی ناشی از اعمال تنش‌های برشی دوره‌ای مربوط به حرکات‌های زمین در نظر گرفته می‌شود. پتانسیل روانگرایی هر نهشته خاکی با ترکیبی از ویژگی‌های خاک، عوامل محیطی و نیز ویژگی‌های زلزله محتمل کنترل می‌شود از جمله عواملی که در ارزیابی روانگرایی باید درنظر گرفته شود عبارتند از: الف) ویژگی‌های خاک شامل: مدول برشی دینامیکی، ویژگی‌های میرایی، وزن مخصوص، ویژگی‌های دانه‌بندی و دانه‌ها، دانسیته نسبی و ساختار خاک. ب) عوامل محیطی شامل: نحوه تشکیل خاک، تاریخچه لرزه-خیزی، تاریخچه زمین‌شناسی، ضریب فشار جانبی خاک، عمق سطح آب زیرزمینی. ج) ویژگی‌های زمین‌لرزه شامل : شدت یا حداکثر دامنه تکان زمین‌لرزه ، انرژی زمین‌لرزه.

بررسی مطالعات انجام شده توسط آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن(جایکا) نشان می‌دهد نتایج تحلیل هر یک از گمانه‌ها تقریباً تمامی گستره مورد مطالعه با استعداد روانگرایی خیلی کم یا نسبتاً کم درجه‌بندی شده است. خاک رسی سخت و بهم چسبیده به‌طور غالب در محدوده تحلیل شده انباشته است. برخی لایه‌های ماسه‌ای و شنی در میان لایه‌های رسی قرار دارند. نتیجه گرفته می‌شود که خطر روانگرایی گستره مورد مطالعه، با احتساب برخی موارد استثنایی، ضعیف است به‌منظور تأیید پراکندگی چنین خاک‌های روانگرا، تحقیقات تفصیلی باید انجام گیرد.

طراحی و ارزیابی خطوط لوله با توجه به اهمیت و عملکرد مورد انتظار از آن در شرایط زلزله صورت می‌گیرد. برای مثال خطوط لوله‌ای که آبآتش‌نشانی را تامین می‌نماید از خط لوله‌ای که آب آبیاری را تامین می‌نماید اهمیت خیلی بیشتری در برابر زلزله دارد. برای طرح و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای باید اطمینان داشت که در هنگام زلزله و بعد از آن، سطوح عملکردمورد نظر در آن خط لوله تامین می‌گردد. به‌عنوان مثال هدف طرح لرزه‌ای در استاندارد شریان‌های حیاتی آمریکا عملکرد خطوط لوله آب در سراسر طول مسیر آن است بدین معنا که میزان اهمیت هر یک به اهمیت در شبکه و نقش هر یک نسبت به ریسک محلی (ALA) زلزله انتخاب می‌شود. هدف آن این است که در لوله‌ها خسارت روی ندهد ولی باید به‌گونه‌ای باشد که کل عملکرد شبکه از کار نیفتاده، خسارت محدود شده، ایمنی افزایش یافته و صدمات اقتصادی مهار گردد. عملکرد شبکه آبرسانی عموما با عملکرد خطوط لوله بستگی دارد. بنابراین عملکرد مستقیماً به توانایی لوله‌ها در زمان وقوع زلزله بستگی دارد.

لوله‌ها بر حسب کلاس عملکرد و سطوح خطر زلزله در جدول(۱) دسته‌بندی می‌گردد:

جدول (۱): طبقه بندی لوله ها برحسب عملکرد و سطوح خطر زلزله

طبقه بندی	اهمیت لرزه ای	توضیح
۱	خیلی پایین	در اتفاقات برای واکنش بعد زلزله احتیاج نیست
۲	نرمال	خطوط لوله عمومی در اغلب سیستمهای آبی
۳	بحرانی	تعداد زیادی از مشتریان را بهره مند میکند
۴	ضروری	ضروری برای عملکرد بعد از زلزله

۳-۴- پارامترهای موثر زلزله در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

پارامترهای موثر زلزله در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شامل ۱- بزرگی زلزله، ۲- مدت زمان زلزله، 3- فاصله منطقه مورد نظر تا مرکز زلزله و ۴- مشخصات خاک در محل ساختگاه می‌باشد.

دو عامل اول رابطه مستقیم با شدت خرابی دارند، بدین نحو که هرچه بزرگی زلزله و مدت آن بیشتر گردد طبیعتاً خرابی بیشتری قابل انتظار است. اما درمورد عامل سوم با توجه به تحقیقات جدید انجام شده، فاصله بیشتر تا مرکز لوله باعث کاهش بزرگنمایی شتاب در زمان‌های تناوب پایین و افزایش آن در زمان‌های تناوب بالا می‌شود. مشخصات خاک نیز یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر روی خواص زلزله به‌شمار می‌رود. با عبور امواج زلزله از لایه‌های مختلف خاک، محتوای فرکانسی آن در فرکانس‌هایی که نزدیک به فرکانس لایه خاک است، تقویت می‌شود. بنابراین

می‌توان انتظار داشت که در خاک‌های نرم بزرگنمایی در فرکانس‌های پایین-تری نسبت به خاکهای ساخت اتفاق افتاد. اما

باتوجه به تحقیقات جدید که در مورد زلزله‌های رویداده در ایران انجام شده است، در زمان‌های تناوب بالاتر از حدود ۰/۴

ثانیه خاک نرم‌تر بزرگنمایی بالاتری را نتیجه می‌دهد و در زمان‌های تناوب پایین‌تر در حدود ۰/۱۵ ثانیه این شرایط برعکس می‌شود. گسلش و شکست زمین عامل موثر دیگر در آسیب‌پذیری خطوط لوله می‌باشد.

۳-۵- عملکرد لوله‌ها در انتشار امواج لرزه‌ای

باتوجه به اهمیت انتشار امواج لرزه‌ای در میزان آسیب‌پذیری و خسارات وارد به خطوط انتقال، بدیهی است مواردی در

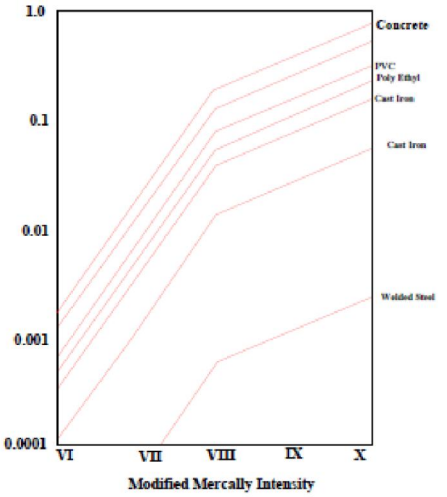
طراحی لرزه‌ای خطوط انتقال و اتصالات باید رعایت شده و در ارزیابی لرزه‌ای خطوط موجود نیاز بعنوان راهکارهای

بهسازی و یا کاهش اثر انتشار امواج لرزه‌ای در دستور کار قرار گیرد. این موارد با تاکید بر نوع اتصالات به‌شرح جدول (۲) براساس کلاس عملکرد خط لوله دسته‌بندی شده و ارائه می‌گردد.

جدول (۲): **توصیه‌های طراحی و ارزیابی اتصالات خطوط انتقال جهت مقابله با پدیده انتشار امواج لرزه‌ای**

کلاس لوله	نوع ارزیابی	توضیح
A	استاندارد	
B	اتصالات انبساطی	دوری از ناحیه PGD
C	اتصالات انبساطی	دوری از ناحیه PGD
D	اتصالات انبساطی	استاندارد
E	بدون توصیه	استاندارد

در مورد انتخاب جنس خط جهت مقابله با این پدیده موارد ارائه شده در جدول ذیل می‌تواند راهگشا باشد. در این راستا منحنی‌های آسیب‌پذیری انواع لوله‌های فولادی جوشی، آزبست، چدنی، چدن داکتیل، بتنی، پلی اتیلن در برابر شدت لرزه‌های مختلف در مقیاس مرکالی اصلاح شده ترسیم شده و ارائه گردیده است.



شکل (۲): منحنی آسیب‌پذیری انواع لوله‌ها

باتوجه به شکل فوق ملاحظه می‌شود که درجه آسیب‌پذیری لوله‌ها در یک شدت لرزه یکسان از کم به زیاد، به صورت زیر است:

لوله‌های فولادی دارای اتصالات با جوش‌های قوسی، لوله‌های چدنی و چدن داکتیل نشکن، لوله‌های پلی‌اتیلن، PVC ، لوله‌های آزبست و بتنی.

در حالت تغییرشکل‌های ماندگار زلزله، میزان حرکت گسل و جنس لوله دو پارامتر اساسی در برآورد میزان خرابی می‌باشند، هرچند پارامترهایی نظیرخصوصیات مقاومتی خاک و زوایه استقرار خط لوله نسبت به جهات گسل و عمق کارگذاری لوله‌ها نیز پارامترهای موثری بشمار می‌آیند. نرخ مرمت برای آسیب‌های ناشی از روانگرایی و زمین لغزش در انواع لوله‌ها در نمودار ذیل با هم مقایسه شده‌اند. همچنین مقایسه نرخ مرمت برای آسیبهای ناشی از حرکات گسل برای انواع لوله‌ها ارائه شده است. با توجه به دو تصویر مذکور و مطالعات انجام شده، عملکرد لوله‌ها در مقابل روانگرایی، زمین لغزش و حرکت گسل، بر حسب جنس لوله به شرح زیر اولویت‌بندی شده است:

لوله‌های پلی اتیلن و فولادی و جوشی، لوله‌های چدن داکتیل نشکن، لوله‌های PVC، لوله‌های چدنی و لوله‌های آزبست سیمانی.

مخاطرات ژئوتکنیکی ناشی از انتشار موج و گسلش در مورد خطوط لوله را می‌توان به‌صورت موارد کلی زیر دسته‌بندی نمود:
حرکات افقی و جانبی زمین، نشست زیرسطحی و نشست در اثر روانگرایی، نشست در بخش اتصال لوله‌ها به ورودی و خروجی تاسیساتی مانند مخازن و ایستگاه‌های پمپاژ، برش در تقاطع با گسل، آسیب‌دیدگی لوله‌ها در شیب‌ها آسیب در بسترهای خاکبرداری و خاکریزی شده،آسیب‌دیدگی ناشی از فروریزی آوار تاسیسات در اثر روانگرایی و تکان‌های زمین.

۳-۶- رفتار لرزه‌ای انواع لوله‌ها

۳-۶-۱- لوله‌های چدن نشکن:

لوله‌های چدنی معمولی در زلزله بسیار آسیب‌پذیرند. تغییرشکل و انعطاف-پذیری این لوله‌ها مخصوصاً در قطرهای پایین ناچیز است و رفتاری سخت شکننده دارند. لذا در برابر حرکات زلزله چه دینامیکی و چه استاتیکی دچار آسیب می‌شوند. کاربرد این لوله‌ها در مناطق لرزه‌خیز به هیچ وجه توصیه نمی‌گردد. ولی امروزه لوله‌های چدنی نشکن مقاومدر برابر زلزله به بازار عرضه شده است که می‌توان بر حسب مورد از آن‌ها استفاده نمود.

۳-۶-۲- لوله‌های آزبست:

لوله‌های آزبست سیمان نه تنها به لحاظ زیست‌محیطی مناسب نمی‌باشند، بلکه در حرکات زلزله نیاز به علت عدم انعطاف‌پذیری آسیب‌پذیری بالایی دارند. در نوع کلاس C,D به علت ضخامت جداره زیاد میزان آسیب کمتری در آن دیده شده است.

۳-۶-۳- لوله‌های بتنی:

لوله‌های بتن آرمه نسبت به لوله‌های آزبست سیمان رفتار انعطاف‌پذیرتری دارند، ولی در هرحال در مناطق لرزه خیز توصیه نمی‌شوند. این لوله‌ها در اقطار بالا به علت رفتار خمشی و درصدی تغییر شکل کمتر دچار آسیب می‌گردند. لوله‌های بتنی در نوع هسته فولادی نسبت به سایر لوله‌های بتنی رفتار مناسب‌تری در زلزله‌های گذشته داشته‌اند.

۳-۶-۴- لوله‌های فولادی:

لوله‌های فولادی مخصوصاً اگر در مسیرهای دارای انحنا یا شکستگی استفاده شوند نسبت به حرکات زلزله مقاوم هستند. آسیب‌پذیری در این نوع لوله‌ها مخصوصاً در حالت برخورد عمود بر گسل اتفاق می‌افتد ولی در مقایسه با لوله‌های چدنی، آزبست و بتنی خیلی کمتر دچار آسیب می‌شوند. درصورتی‌که از مشکل خوردگی حفاظت گردد، کاربرد این لوله‌ها در مناطق لرزه‌خیز با خطر کم و متوسط و حتی بدون اتصال انعطاف‌پذیر قابل قبول است. لازم به ذکر است که در صورت استفاده از اتصالات جوشی و یکپارچه نمودن خطوط لوله، عملکرد بهتر و مناسب لرزه‌ای از این لوله‌ها مورد انتظار می‌باشد.

۳-۶-۵- لوله‌های پلاستیکی:

لوله‌های پلاستیکی مخصوصاً از نوع پلی‌اتیلن با جوش‌های فیوژن در زلزله رفتار بسیار خوبی دارند و برای مناطق لرزه‌خیز توصیه می‌شوند. این لوله‌ها به‌علت شکل و نیز احتمال خم و انحنا در مسیرها در زلزله انعطاف‌پذیر هستند و در زلزله‌های گذشته بسیار کم دچار آسیب گردیده‌اند. لوله‌های PE به مرور زمان در برابر کلر موجود در آب لایه لایه شده و باید نسبت به عمر آن‌ها دقت کافی به عمل آورد.

۳-۷- رفتار لرزه‌ای اتصالات لوله‌ها

۳-۷-۱- اتصالات چدنی معمولی(خاکستری):

این نوع اتصال در برابر حرکات زلزله شکننده است و آمار گذشته عموماً دررفتگی یا نشت آب در محل نر و مادگی را نشان داده است. بیشترین خسارت اتصالات نسبت به اتصالات سایر لولاه ها را دارد. با گذشت زمان این اتصالات شکننده‌تر می‌شوند.

۳-۷-۲- اتصالات آزبست سیمانی:

لوله‌های آزبست سیمانی در برابر زلزله آسیب‌پذیرند، نه تنها از محل اتصال دچار شکستگی می‌شوند بلکه بدنه لوله‌ها نیز آسیب می‌بینند. در حالت اتصال به سه حلقه لاستیکی به علت خاصیت ارتجاعی حلقه‌ها و نیز امکان جابجایی دوطرف لوله در حد مجاز آسیب‌پذیری این نوع اتصال کمتر از بدنه لوله می-باشد.

۳-۷-۳- اتصالات بتنی:

کلیه اتصالات نر و مادگی خاصیت ارتجاعی ندارند و امکان در رفتگی و نشت آب در محل اتصال در موقع زلزله زیاد است. در این اتصال، حالت استفاده از حلقه فولادی و لاستیک آب‌بندی، آسیب‌پذیری کمتری نسبت با سایر حالات آن دارد.

۳-۷-۴- اتصالات پلاستیکی و پلی‌اتیلنی

لوله‌های پلاستیکی PVC و پلی‌اتیلن انعطاف‌پذیر هستند و اتصالات آن‌ها هم رفتار ارتجاعی دارد لذا در زلزله دچار آسیب کمتری می‌شوند.

۳-۸- ارزیابی لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه

۳-۸-۱- مدل لرزه‌ای محدوده پروژه

بر اساس مطالعات فوق خصوصیات زمین‌ساخت لرزه‌ای محدوده مورد مطالعه را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱- تأسیسات آب و فاضلاب منطقه 1 تهران در شهر تهران بین رشته کوه البرز و ساختارهای مرکزی ایران قرار گرفته‌اند. تقریباً محدوده پروژه از لحاظ جغرافیایی از غرب به حدود بزرگراه یادگار امام، از شمال به محله‌های ولنجک، دربند، کوهسار و از جنوب به بزرگراه رسالت و بزرگراه حکیم و از شرق به بزرگراه امام علی و خیابان هنگام محدود می‌گردد. گسلش در البرز و ایران مرکزی زلزله‌هایی به بزرگای Ms=1.2 در بوئین زهرا در سال 1351 و Ms=1.4 ریشتر در سال 1356 در طبس و Ms=1.4 ریشتر در سال 1386در منجیل ایجاد کرده است.

۲- بیشتر زلزله‌هایی که در تهران رخ داد ه اند از نوع کم عمق یا عمق متوسط بوده اند، بر اساس مطالعات اخیر جایکا در سال 1318و زلزله‌های کوچک ثبت شده مربوط به گسل‌های مشا و ری جنوب در محدوده زمانی ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۷ و مطالعه ساختار زمین لرزه‌ای منطقه عمق لایه‌های لرزه‌زا بین 8 تا 16 کیلومتر تخمین زده می‌شود.

۳- نرخ رخداد زلزله در محدوده البرز و ایران مرکزی کمتر از زاگرس است اما بزرگای آن ها و دوره بازگشت آن‌ها بزرگ‌تر است. اندازه‌گیری‌ها در این مناطق عمدتاً همراه با مشاهده گسلش سطحی بوده است.

۴- مکانیزم اصلی زلزله‌ها در محدوده پروژه معمولاً فشاری و گاهی با مؤلفه لغزشی راستگرد است.

۵- مهم‌ترین منابع لرزه‌زای منطقه بر اساس مطالعات پروژه گاز مشا، شمال تهران، ری شمالی، کهریزک و پارچین بوده‌اند که همه دارای تاریخچه لرزه‌ای هستند. گسل شمال تهران با طول تقریبی 41کیلومتر و گسل‌های شمال و جنوب ری با طول تقریبی 21 کیلومتر می‌توانند روی تأسیسات آب اثر بگذارند.

۶- مکانیزم اکثر گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه به صورت فشاری با مؤلفه لغزش چپ‌گرد است. حرکت عمومی گسل‌ها در این محدوده عمدتاً شمال غرب جنوب‌شرقی یا شرق غرب است و به سمت شمال یا جنوب به عمق گرایش دارند، بنابراین جهت عمومی تنش‌های اصلی در محدوده شمال‌شرقی جنوب‌غربی در-نظر گرفته می‌شود. در مجموع دو گروه گسل در محدوده مورد بررسی تشخیص داده می‌شوند:

الف – گسل‌ها با تمایل شمالی مانند گسل شمال تهران و شمال و جنوب ری و کهریزک و نیاوران و...

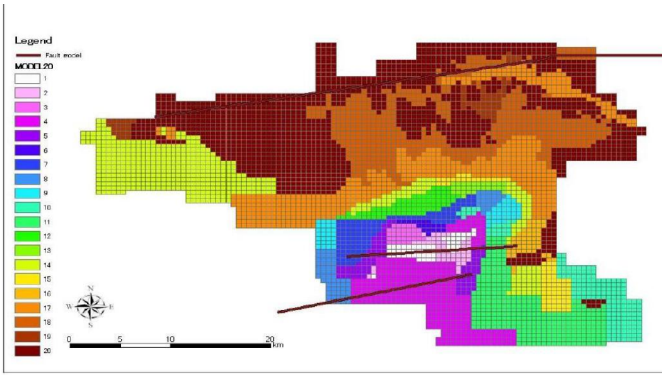
ب – گسل‌های متمایل به سمت جنوب مانند محمودیه، داوودیه، سرخه حصار، شیان، کوثر، تلو پایین و...

بر اساس نتایج فوق و خصوصیات لرزه‌خیزی منطقه و رخداد زلزله‌ها با بزرگای بیشتر یا مساوی 6 ریشتر، تغییر مکان‌های احتمالی قابل توجه می‌باشند. در اینجا فرض شده است 4 سناریوی زلزله بر اساس مدل‌های گسل اشاره شده در جدول (۳) همراه با پارامترهای در نظر گرفته شده ایجاد می‌شوند.

جدول (۳): گسل‌های سناریوی محدوده پروژه

حالت	حالت۱	حالت ۲	حالت ۳	حالت ۴
مدل گسل	مشا	ری شمالی	ری جنوب	شمال تهران
طول (km)	۱۰۰	۲۰	۱۷	۶۸
عرض (km)	۲۰	۱۰	۹	۲۲
بزرگا (M)	۷,۱	۵,۶	۶,۶	۷,۲
زاویه تمایل(درجه)	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵
عمق بالایی (km)	۵	۵	۵	۵

در پروژه جایکا شرایط خاک تهران به 41 پروفیل تقسیم شد. در این مطالعه این طبقه‌بندی اصلاح شده و به21 پروفیل مطابق جدول و شکل ذیل کاهش یافت. اکثر این خاک‌ها از رس و ماسه رسی تشکیل شده‌انـد. در شـکل (۳) اعداد بزرگ‌تر خاک‌های سخت‌تر را نشان می‌دهند. در قسـمت‌هـای جنـوب تهران خاک‌های نرم‌تری وجود دارد و می‌توان گفت که با توجه به شکل ذیل که انواع خاک در شهر تهران را نشـان داده در منطقـه یـک آب و فاضـلاب تهران لایه‌های خاک سخت‌تر است.



شکل (۳): طبقه‌بندی جنس زمین در تهران

حرکات شدید زمین برای تحلیل قابلیت اطمینان لرزه‌ای تأسیسات آب بر اساس زلزله‌های سناریو مشخص می‌شود. فرض می‌شود این زمین لرزه‌ها شدید بوده و باعث آسیب‌دیدگی تأسیسات شود. به‌علاوه برای هر زلزله سناریو بیشترین مقدار حرکات زمین، به عنوان بدترین حالت در محاسبات درنظر گرفته می‌شود.

۳-۸-۲- روش تولید شتاب نگاشت مصنوعی

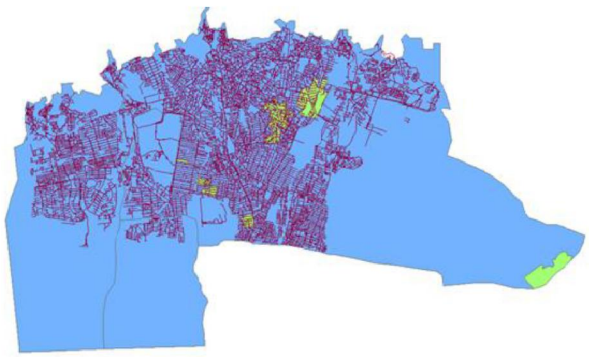
در این بخش روش انتخاب گسل سناریو و بدترین حالت خسارات که در اثر فعالیت آن ایجاد می‌شود، معرفی شده است. در شکل ذیل نمودار محاسبه شتاب زمین‌لرزه نشان داده شده است. در ابتدا گسل‌های سناریو بر اساس

اطلاعات زلزله‌های گذشته مانند موقعیت کانون و بزرگا و غیره مشخص می-شود. آن‌ها به دو دسته زلزله تقسیم می‌شاوند، شامل زلزله‌های دوردست و نزدیک هستند.

در حالت زلزله‌های دوردست لازم است که محل کانون و بزرگا تعیین شود. درحالی‌که در مورد زلزله های نزدیک لازم است که طول گسل و عرض آن که بزرگای احتمالی آن را مشخص می‌کند، تعیین گردد. سپس شتاب لرزه‌ای تعیین می‌گردد که بر اساس روش 511 متر تقسیم می‌شود. با استفاده از GISو شتاب تعینی می‌باشد. در این روش منطقه به مش‌های 511 نگاشت تراز سن بستر هر مش مشخص می‌شود. برای این کار از روش تحلیل کامپیوتری استفاده می‌شود. برای تولید موج زلزله‌های کوچک روش شبیه-سازی Boove مورداستفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از مدل طیف گسل مبنا اعداد رندم مختلف برای تولید موج لرزه‌ای استفاده می‌شوند و با استفاده از رابطه کاهیدگی منطقه و پایش تجربی مدت دوام اصلاحات لازم صورت می-گیرد. در این روش تجربی لازم است مشخصات مسیر انتشار موج تعیین گردد. همچنین از مزایای تابع تجربی Green به‌طور نسبی استفاده شده است، از طرفی توزیع شکست روی سطح گسل و رابطه هندسی گسل در هر نقطه دلخواه در محاسبات در نظر گرفته شده است.

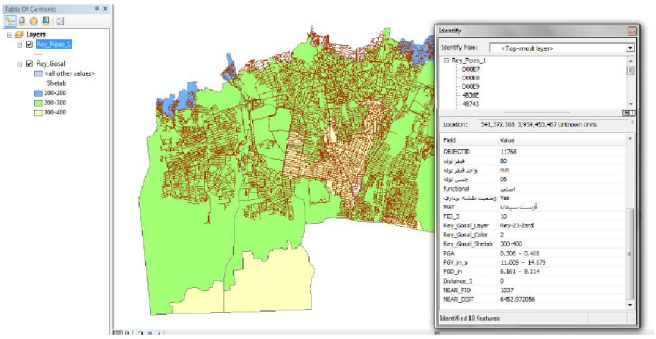
۳-۹- بررسی پهنه لرزه‌خیزی منطقه با استفاده از GIS

برای استفاده از نقشه‌ها، بایستی این اطلاعات در محیط GIS وارد شوند لذا بخش‌های مربوط به منطقه یک از نقشه‌ها تفکیک شده و در محیط GIS وارد گردید. برای اطمینان از هم‌پوشانی نقشه‌ها مناطق ۱، ۲، ۳ و ۴ تهران درنظر گرفته شد. این نقشه‌ها در محیط GIS با نقشه‌های خطوط لوله و نقشه گسل در فایل GIS مطابقت و کنترل شد. از آنجا که خطوط لوله و به‌طورکلی شریان‌های حیاتی جزء سازه‌های خطی محسوب می‌شوند لذا برای بررسی خطرپذیری زلزله به‌جز پارامتر شتاب نیاز به بررسی پارامترهای سرعت و جابجایی نیاز می‌باشد. بدین منظور با استفاده از رابطه نیومارک هال مقادیر سرعت (PGV) و جابجایی(PGD) بدست آمد و اطلاعات مربوط وارد محیط GISگردید. شکل (۴) نقشه بیشینه شتاب براساس خطر گسل مشا را در محیط GIS نشان می‌دهد. مقادیر PGA، PGV و PGD به‌ترتیب بر حسب مجذور ثانیه، اینچ بر ثانیه و اینچ می‌باشد.



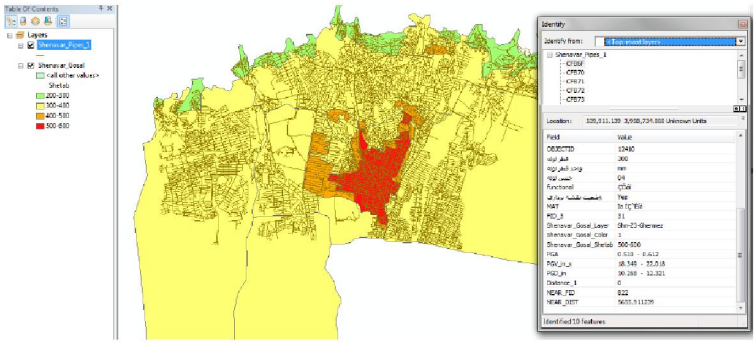
شکل (۴): نقشه بیشینه شتاب(مدل گسل مشاء)در منطقه یک

بدین ترتیب برای سه سناریو دیگر نیز این نقشه‌ها و نقشه گسل‌ها تهیه و در کنار نقشه لوله‌ها قرار داده شد تا بتوان ارزیابی لازم از نقطه نظر خطرپذیری و زلزله بر روی خطوط لوله انجام داد. در ادامه شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) به سه سناریو دیگر نشان داده شده است.



شکل (۵): نقشه بیشینه شتاب و مقادیر سرعت و جابجایی متناسب (مدل گسل ری)در منطقه یک

شکل (۶): نقشه بیشینه شتاب و مقادیر سرعت و جابجایی متناسب (مدل گسل شمال تهران)در منطقه یک



شکل (۷): نقشه بیشینه شتاب و مقادیر سرعت و جابجایی متناسب (مدل شناور)در منطقه یک

برای ارزیابی دقیق و جامع به‌جز بحث خطرپذیری و گسل‌ها، پارامترهای بسیار دیگری نیز دخیل می‌باشد که پس از ارزیابی آن‌ها و جمع‌بندی نهایی اقدام تهیه نقشه ریسک خواهد شد که نتایج آن‌ها در تعیین اولویت‌بندی خطوط لوله برای مقاوم‌سازی و ارزیابی دقیق‌تر و همچنین تعداد آزمایشات موثر می‌باشد.

۳-۹-۱- ارزیابی اطلاعات وروردی به نرم افزارGIS

با عنایت به نقشه‌های موجود در قسمت گذشته پهنه‌بندی لرزه‌خیزی منطقه مربوط به گسل‌های مهم اطراف تهران مبنای محاسبات و ارزیابی قرار گرفت جهت بررسی و نحوه تقسیم‌بندی مشخصات لوله‌های موجود در شبکه دو پارامتر مهم قطر و جنس لوله مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۹-۲- تقسیم‌بندی لوله‌های موجود براساس قطر

ابعاد لوله‌های موجود در شبکه در اقطار مختلف با عنایت به نوع کاربری طبقه‌بندی گردید. لوله‌های با قطر ۱۰۰ میلیمتر بیشترین حجم لوله‌های به خود اختصاص می‌دهد. اما باید توجه داشت که لوله‌های با قطر بالاتر از اهمیت بسیار بیشتری در آبرسانی منطقه برخوردار می‌باشد چون به‌عنوان لوله‌های اصلی منطقه شناخته شده و مشکلات ایجاد شده در این لوله‌ها عملیات آبرسانی را دچار مشکل می‌سازد.

۳-۹-۳- تقسیم‌بندی لوله‌های موجود براساس جنس

جنس لوله‌ها نیز یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در اولویت‌بندی مقاوم‌سازی لرزه‌ای خطوط شبکه آب می‌باشد و می‌تواند درمدیریت مربوط به هزینه‌های اجرای مقاوم‌سازی بسیار تاثیرگذار باشد لوله‌های موجود در خطوط انتقال آب تقریبا تمامی لوله‌های موجود را تشکیل می‌دهد این لوله‌ها از جنس فولاد و بتن و آزبست سیمانی گرفته تا لوله‌های پلی‌اتیلنی دامنه وسیعی را به خود اختصاص می‌دهد. میزان لوله‌های از جنس چدن‌داکتیل مقدار بسیار زیادی از لوله‌های موجود را به خود اختصاص می‌دهد و با عنایت به اهمیت اتصالات برای این نوع لوله‌ها می‌تواند یکی از روش‌های مهم مقاوم‌سازی دراین منطقه، تقویت اتصالات می‌باشد. در این میان لوله‌های از نوع آزبست سیمان حدود 6 درصد میزان لوله‌های موجود را به خود اختصاص می‌دهد که این خود می‌تواند یکی از اولویت‌های اصلی تعویض لوله‌های آسیب‌پذیر را به‌خوبی نشان دهد.

۳-۱۰- تحلیل میزان خطر لرزه‌ای خطوط آب

۳-۱۰-۱- آنالیز خطر لرزش زمین

لرزش زمین باعث ایجاد کرنش‌های موقتی زمین می‌شود که ناشی از عبور موج زلزله می‌باشد. این مورد در مبحث سرعت حداکثر زمین (PGV) قرار می‌گیرد. این وضعیت باعث ایجاد کرنش‌های موقتی در لوله مدفون که همراه با خاک تغییر شکل می‌دهد، می شود. در موقعیت‌هایی که صرفا تحت تاثیر لرزش زمین قرار می‌گیرند، لوله‌ی مدفون همراه با خاک جابجا می‌شود. در چنین موقعیت‌هایی، گسیختگی زمین از قبیل رانش زمین، روان‌گرایی، یا گسلش سطحی رخ نمی‌دهد. کرنش حداکثر در خاک منطقه را می‌توان به روش زیر تخمین زد:

$$\varepsilon_{soil} = \frac{PGA}{c} \qquad (۱)$$

که PGV سرعت انتشار موج زلزله در خاک در موقعیت لوله می باشد و c سرعت حداکثر زمین در موقعیت لوله می باشد. سرعت انتشار موج را می توان به مقدار۲۶۹۳/۴ متر در ثانیه درنظر گرفت مگر این که مقدار دیگری مشخص شده باشد.

۳-۱۰-۲- ارزیابی لرزه‌ای لوله‌های پیوسته

یک لوله پیوسته دارای اتصالاتی می‌باشد که مقاومت و سختی نسبی قابل ملاحظه‌ای را نسبت به بدنه لوله(pipebarrel)، معمولا به عنوان اتصالات محدود شده به آن‌ها اشاره می شود، دارا می‌باشد. به عنوان مثال می‌توان به یک لوله فولادی که دارای اتصالات جوشی(تک‌لا، دولا یا جوش لب به لب) می‌باشد اشاره کرد. نیروی مورد نظر در بدنه لوله و اتصالات لوله را می‌توان کوچک‌ترین مقدار F1 یا F2 درنظر گرفت که F1 نیرویی می‌باشد که با فرض تماس کامل لوله و خاک(یعنی لوله در داخل خاک نمی‌لغزد) محسوب می‌شود، F2 حداکثر نیرویی است که خاک می‌تواند به لوله منتقل کند. اگر فرض شود که کرنش زمین بدون لغزش لوله منتقل شود .آنگاه:

$$\varepsilon_{pipe} = \varepsilon_{soil} = \frac{PGA}{c} \qquad (۲)$$

$$F_1 = AE\varepsilon_{pipe} \qquad (۳)$$

$$F_2 = \frac{t_u \lambda}{4} \qquad (۴)$$

که A مساحت محوری بدنه‌ی لوله، E مدول یانگ لوله، tu حداکثر نیروی اصطکاکی که خاک در جهت محوری به لوله وارد می‌کند(نیرو در واحد طول) و λ طول‌موج زلزله در خاک در موقعیت لوله می‌باشند. مقدار طول‌موج را می‌توان به اندازه‌ی ۱۸۹۱/۲ متر در نظر گرفت مگر آن که مقدار دیگری مشخص شده باشد.

۳-۱۰-۳- ارزیابی لرزه‌ای لوله‌های غیرپیوسته یا جزء جزء

یک لوله غیرپیوسته دارای اتصالاتی با مقاومت و سختی پایین نسبت به بدنه لوله(معمولا به‌عنوان اتصالات محدود نشده به آن‌ها اشاره می‌شود) می‌باشد .به‌عنوان مثال می‌توان یک لوله از جنس چدن‌نشکن یا پی‌وی‌سی را ذکر کرد که دارای اتصالات پوش آن (push-on) یا کلاهک توپ و زنگ‌دار(bell-and-spigot gasketed) باشند. فرض می‌شود که کرنش زمین به یک جابجایی محوری نسبی بین قسمت‌های لوله تبدیل می‌شود که بایستی در اتصالات لوله درنظر گرفته شود. اگر جابجایی نسبی نهایی اتصال بزرگ‌تر از میزان تعبیه شده در اتصال باشد، آن قسمت از لوله در ناحیه‌ی اتصال جدا خواهد شد، یا آن قسمت‌ها با یکدیگر تحت تعامل فشاری قرار می‌گیرند، که

ممکن است منجر به درهم‌رفتگی به‌صورت تلسکوپی یا کمانش موضعی (چروک‌شدگی)در بدنه لوله شود. جابجایی محوری(در هر دو جهت کوتاه شونده و بلند شونده)که در حد توان اتصال باشد را می‌توان به صورت زیر در-نظر گرفت.

$$\Delta_{joint} = 7L_p\varepsilon_{pipe} \quad (۵)$$

که Lp طول قسمت مورد نظر لوله می‌باشد.

اگر طراح بخواهد از عملکرد غیرخطی لوله استفاده کند، بایستی کنترل تنش با کنترل مرز کرنش کششی و کنترل چروک‌شدگی جایگزین شود. به‌طور عمومی، لوله با جوش تک‌لا بایستی به مرزهای الاستیک ذکر شده در بالا محدود شود. برای لوله با جوش دولا یا جوش لب به لب می‌توان به میزان مشخصی کرنش یا چروک‌شدگی را قابل قبول دانست، که البته لوله با جوش لب به لب دارای عملکرد بهتری نسبت به لوله با جوش دولا می‌باشد. برای لوله‌های آب‌وفاضلاب چروک‌شدگی تا حدی قابل قبول است که عملکرد آن قابلیت بهره‌برداری آن را مختل نکند و یا این که گسیختگی لوله باعث اثرات مخرب روی لوله‌ها، سازه‌ها و یا ساکنین مجاور آن نشود. برای لوله‌هایی که از طریق اتصالات بال‌دار بولت شده به یکدیگر متصل هستند، معادلات فوق در صورتی کاربردی هستند که جوش بین بال و لوله باشد .فرض بر این است که اندازه‌ی بال و بولت‌ها بر پایه‌ی نیازمندی‌های فشاری می‌باشد، و بارگذاری زلزله ناشی از لرزش زمین عامل کنترلی نمی‌باشد.

جابجایی‌های پیش‌بینی شده‌ی اتصال لوله بایستی کمتر از ظرفیت جابجایی آن باشد. جابجایی پیش‌بینی شده‌ی اتصال هم برای کشش و هم برای فشار در اتصال می‌باشد. بسته به سخت‌افزار مورد استفاده در لوله، ممکن است لوله در برابر با مقاومت یکسان (معمول در اتصالات PVC) و یا مقاومت غیریکسان(معمول در اتصالات چدنی‌نشکن و آهن نرم)در برابر کشش فشار، تا حدی جابجایی داشته باشد. از مشاهدات زلزله‌های قبلی، گسیختگی‌های فشاری لوله‌های از جنس آهن نرم بسیار معدود بوده است، بنابراین، این مورد یک مسئله مهم محسوب نمی‌شود. از این‌رو، مسئله مهم‌تر مربوط به جابجایی کششی می‌شود که نبایستی بیشتر از ظرفیت اتصال باشد. همان‌طور که بیان شد، دو اثر دینامیکی و استاتیکی زلزله در زمین موجب به‌وجود آمدن احتمال آسیب در خطوط لوله مدفون می‌گردند، که پارامتر حداکثر سرعت ارتعاش زمین که ناشی از پدیده انتشار امواج زلزله در زمین است، بیش از پارامتر شتاب زمین بر عملکرد لرزه‌ای خطوط مدفون اثر می‌گذارد.

در این گزارش ضمن بررسی روش ارزیابی لرزه‌ای خطوط لوله مدفون تحت پارامتر حداکثر سرعت زمین و ارائه فرمول‌های محاسباتی در این خصوص، نتایجی بدست آمده که در ادامه به صورت خلاصه ارائه می‌گردد:

۱- کرنش های موقتی بوجود آمده در زمین با حداکثر سرعت زمین در اثر زلزله ارتباط مستقیم دارند.

۲- در هنگام زلزله در سرعت‌های کم زمین، خاک و لوله بدون لغزش و با هم عمل می‌کنند ولی با بالا رفتن سرعت زمین و در نتیجه افزایش کرنش‌های خاک، احتمال لغزش بین خاک و لوله بالا می‌رود.

۳- عملکرد لرزه‌ای خطوط لوله پیوسته فلزی در زلزله‌های گذشته به مراتب بهتر از خطوط لوله ناپیوسته(دارای اتصال)می‌باشد.

۴- ضعف اصلی خطوط لوله ناپیوسته در اتصالات آن‌ها می‌باشد.

در نتیجه میزان PGD می‌تواند تا اندازه بسیار زیادی در نشان دادن خطر لرزه‌ای و تاثیر آن بر لوله‌های مدفون تاثیرگذار باشد.

۳-۱۰-۴- بررسی اثر روانگرایی

روانگرایی عبارت است از تغییر حالت خاک غیرچسبنده اشباع از جامد به مایع بر اثر افزایش فشار آب حفره‌ای و کاهش مقاومت برشی خاک. هنگامی‌که در اثر زلزله چنین شرایطی پیش می‌آید به مستحدثات ازجمله خطوط لوله مدفون آسیب‌هایی وارد می‌گردد که این آسیب‌ها شامل شناوری خطوط لوله و فرونشست آن در اثر کاهش مقاومت باربری خاک، نشت بیش از حد و گسیختگی لوله می‌باشد. به‌منظور کاهش آسیب‌های وارده می‌بایستی موارد زیر را درنظر گرفت:

- شناسایی دقیق منطقه عبور خطوط لوله و پرهیز از عبور منطقه با خطر روانگرایی
- زهکشی و پایین آوردن تراز آب‌های زیرزمینی به‌منظور جلوگیری از بروز روانگرایی
- درنظر گرفتن عمق کم پوشش خاک و استفاده از مصالح دانه‌ای جهت خاکریزی روی لوله
- استفاده از سامانه‌های انعطاف‌پذیر

همچنین زمین‌لغزش‌ها علاوه بر آن‌که سبب افزایش بار در اثر حرکت توده خاک می‌گردد، می‌تواند سبب افزایش تغییر شکل در اثر خالی شدن خاک زیر لوله و اعمال بارهایی که در طراحی درنظر گرفته نشده گردد.

- تغییر شکل‌ها و تنش‌های محور، خمشی و برشی در اثر حرکات زمین-لرزه
- تغییر مکان‌های زیاد به علت روانگرایی و خالی شدن خاک زیر لوله در اثر زمین لغزش
- گسلش

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

نشت از لوله که بیشتر در اثر حرکات زمین ناشی از زلزله اتفاق می‌افتد و 80%تابعی از بیشینه سرعت زمین (PGV) و 20% تابعی ازتغییر شکل دائمی زمین (PGD) می‌باشد.

شکست لوله که در اثر تغییر شکل‌های بزرگ زمین رخ می‌دهد و 80% تابعی از PGD و 20% تابعی از PGV می‌باشد.

همچنین تحقیقات انجام شده بروی زلزله‌های گذشته بیانگر این مطلب می‌باشد که درصورت استفاده از خطوط لوله انعطاف‌پذیر آسیب‌های به میزان 10% کاهش می‌یابد. لوله‌های انعطاف‌پذیر شامل لوله‌هایPVC و لوله‌های فولادی با جوشکاری قوس الکتریکی می‌باشند در صورتی‌که لوله‌های آزبستی،

بتنی، چدنی و فولادی با جوش گاز در گروه لوله‌های ترد و شکننده قرار می-گیرند. شاخص عملکرد شبکه تابعی از کل خرابی‌های ناشی از شکست می-باشد و نمایش‌دهنده میزان عملکرد شبکه بلافاصله پس از وقوع زلزله می‌باشد و مطابق با روش زیر محاسبه می‌گردد:

۳-۱۰-۵- بررسی رفتار خط لوله منطقه با استفاده از روابط نیومارک هال

جهت بررسی رفتار لرزه‌ای منطقه پارامتر PGA منطقه با استفاده از روابط ارائه شده در این روش تبدیل به پارامترهای موثر PGV و PGD می‌گردند که این خود در مشخص شدن میزان خطرپذیری منطقه بسیار تاثیرگذار خواهد بود. در روش نیومارک هال از مقاومت جانبی خاک در مقابل حرکت لوله و همچنین سختی خمشی خط لوله صرف‌نظر شده است و با فرض این‌که تغییر شکل‌های ایجاد شده در لوله تنها از نوع محوری بوده

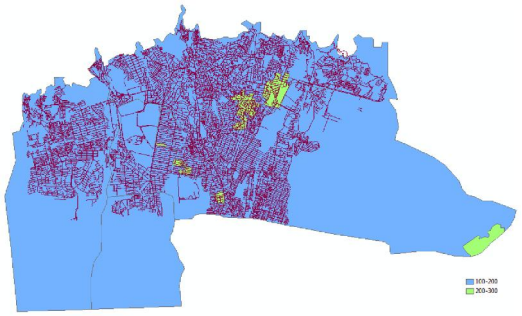
و تنها عامل مقاوم، مولفه نگهدارنده محوری خاک می‌باشد، رفتار لوله تحلیل می‌شود در این حالت شکل تغییرشکل یافته خط لوله به صورت یک خط راست مورب می‌باشد که نقاط مهاری موثر یا واقعی را در دوطرف صفحه گسل به یکدیگر متصل کرده است. این رفتار برای لوله‌های مدفون موجود در خطوط انتقال آب مدل مناسب و قابل‌قبولی می‌باشد، فرمول‌های حاکم بر این روش مطابق روابط ذیل می‌باشد:

$$PGV\left(\frac{in}{s}\right) = 36 * PGA(m/s^2 \quad (۶)$$

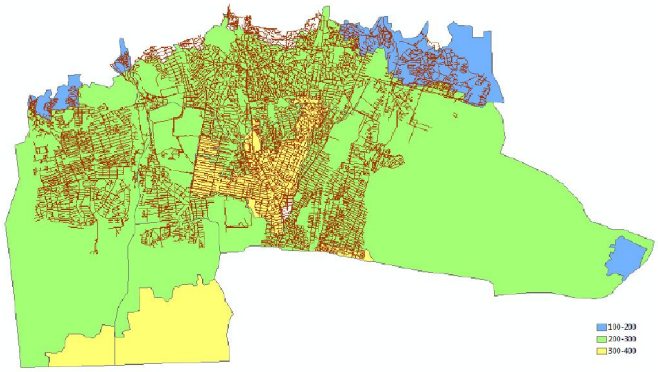
$$PGD(inch) = \frac{6PGV}{386PGA} \quad (۷)$$

۳-۱۱- تحلیل اطلاعات لرزه‌ای درGIS

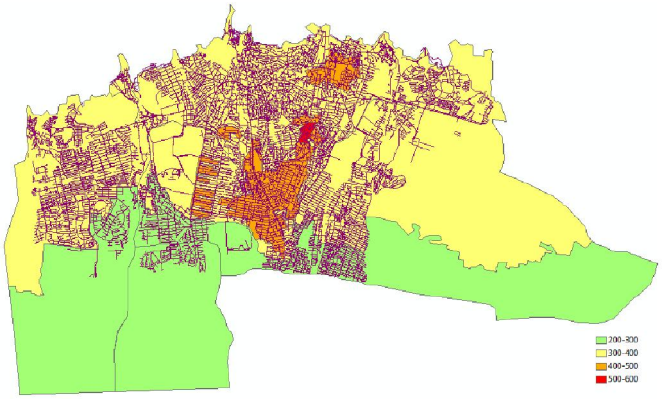
در این میان پارامترهای مربوط به PGV و همچنین PGD مربوط به گسل‌های فعال مشا، ری، شمال و همچنین شناور(هم‌پوشانی)مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان خطرپذیری منطقه براین اساس شناسایی گردید. در ابتدای امر نقشه مربوط به خطوط لوله مطابق شکل ذیل بر روی نقشه خطرپذیری زلزله برای گسل‌های فعال مشا، شمال و ری قرار گرفته و سپس نقشه هم‌پوشانی هرسه که معرف میزان کل خطرپذیری منطقه می‌باشد مطابق اشکال ذیل تهیه و فایل خروجی جهت تحلیل اطلاعات خروجی اماده گردید.



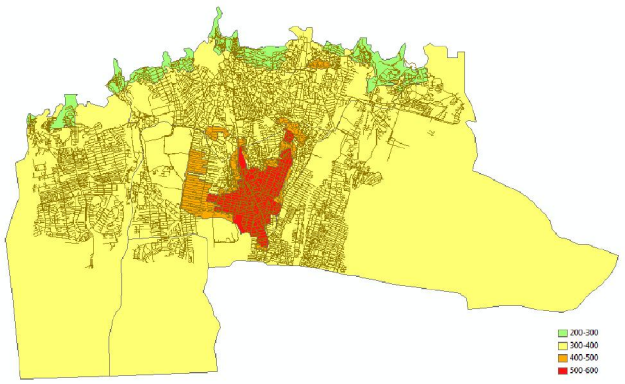
شکل (۸): انطباق نقشه پهنه‌بندی لرزه ناشی از مدل مشا و شبکه انتقال آب منطقه یک تهران در نرم افزارGIS



شکل (۹): انطباق نقشه پهنه‌بندی لرزه ناشی از مدل ری و شبکه انتقال آب منطقه یک تهران در نرم‌افزارGIS



شکل (۱۰): انطباق نقشه پهنه بندی لرزه ناشی از مدل شمال تهران و شبکه انتقال آب منطقه یک تهران در نرم افزارGIS



شکل (۱۱): انطباق نقشه پهنه بندی لرزه ناشی از مدل همپوشانی شناور و شبکه انتقال آب منطقه یک تهران در نرم افزارGIS

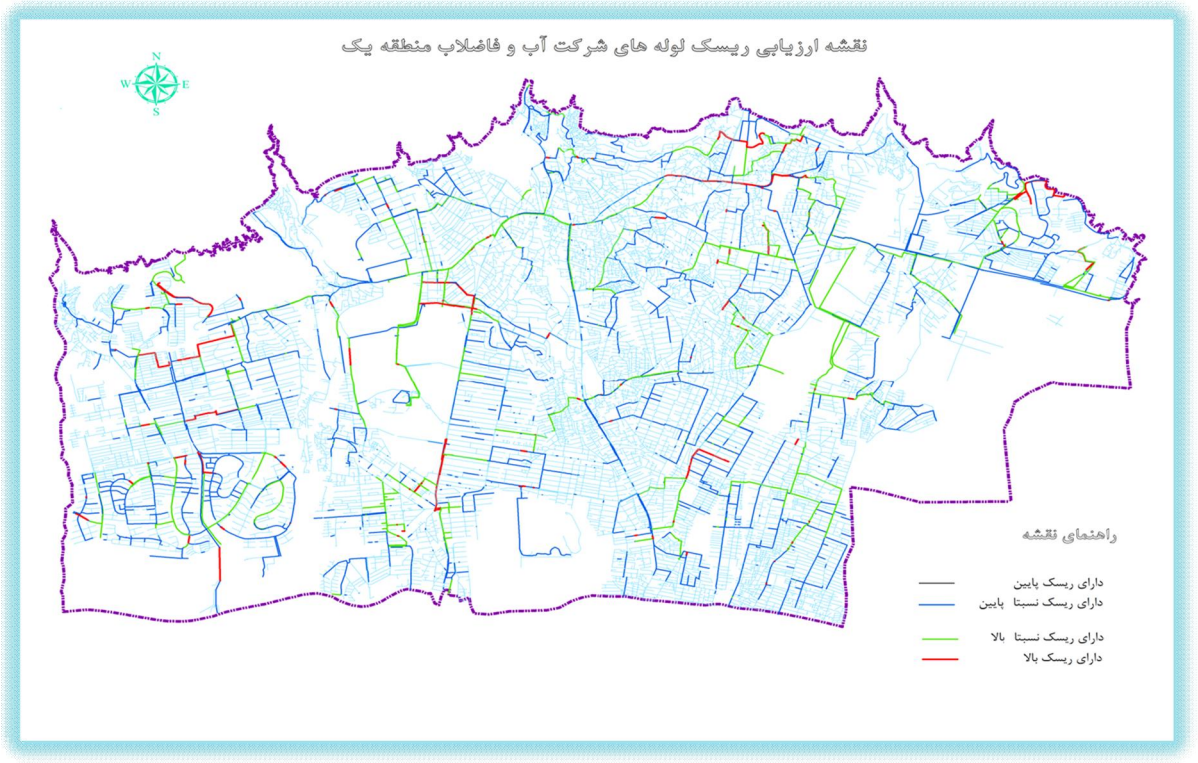
پس از هم‌پوشانی اطلاعات مربوط مختصات خطوط انتقال اب به همراه اطلاعات مربوط به پهنه‌بندی لرزه‌ای منطقه اطلاعات خروجی نرم‌افزار GIS

برای هریک از گسل‌های فعال مشا ری و شمال بدست آمد؛ سپس با استفاده از روابط نیومارک هال میزان PGV و PGD خروجی در هر منطقه محاسبه گردیده و سپس مورد ارزیابی دقیق لرزه‌ای قرارگرفت. شکل(۱۲) نتیجه نهایی ارزیابی ریسک لوله های شبکه توزیع آب در گستره خدمات رسانی شرکت آب و فاضلاب منطقه یک را نشان میدهد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله با مدلسازی لرزه ای و آنالیز مکانی عوارض شبکه توزیع آب شهری آب و فاضلاب منطقه یک شهر تهران، لرزه‌خیزی منطقه با استفاده از GIS مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از روابط نیومارک هال میزان PGV و PGD خروجی در هر منطقه محاسبه گردیده و میزان خطرپذیری منطقه مورد ارزیابی دقیق لرزه‌ای قرارگرفت. نتایج بررسی ها نشان داد که لوله‌های بتنی در منطقه خطرپذیری بالا حجم بسیار زیادی را به خود اختصاص داده است و درصورت استفاده از خطوط لوله انعطاف‌پذیر آسیب‌های احتمالی به میزان 10% کاهش می‌یابد. مناطق دارای ریسک بالا بیشتر شامل لوله‌ها و انشعابات اصلی می‌باشد البته این بدان معنی نیست که خطوط دارای قطر پایین در این نواحی وجود ندارد اما لوله‌های دارای قطر بالا دارای اولویت بالاتری نسبت به بقیه مناطق می‌باشد.

اولویت برای ارزیابی کمی مقاوم‌سازی محدوده دارای ریسک خطر بالا بوده که شامل لوله‌های بتنی فولادی و بخش عظیمی از لوله‌های چدنی می‌باشد؛ این لوله‌ها اکثرا دارای قطرهای بالا بوده که خود اهمیت آن‌ها را دوچندان می‌سازد. جهت انجام مطالعات کمی ابتدا باید آزمایشات ژئوتکنیکی مناسب در محل صورت پذیرفته و ارزیابی کمی دقیق از میزان آسیب‌پذیری لوله‌ها بدست اید سپس با توجه به مطالعات مربوط به سطح خطر زلزله و میزان و سطح بهره‌برداری می‌توان به‌صورت دقیق‌تر نقاط آسیب‌پذیر را شناسایی و راهکارهای مقاوم‌سازی جهت تعویض و یا تقویت اتصالات بکار برد.



شکل (۱۲):طبقه بندی لوله های شبکه توزیع آب براساس میزان ریسک پذیری

مراجع

[۱] نجفیها،بابک، ۱۳۷۹ ،بررسی احتمال وجود پدیده لغزش در منطقه شمال تهران ولنجک،پایان نامه کارشناسی ارشد

[2] O'Rourke M.J. (2003) "Buried Pipelines in Earthquake Engineering Handbook", in New Directions in Civil Engineering (Eds).

[3] Romero N, O'Rourke TD, Nozick LK, Davis CA (2010). "Seismic hazards and water supply performance", Journal of Earthquake Engineering, 14(7): 1022-1043.

[4] C. Vipulanandan, W. Qiao and H. Hovsepian (2012)" water pipeline failures in the active zone".