تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۰

بررسی رفتار تأسیسات لوله‌کشی در اثر وقوع زلزله

سیدمحمدرضا حسنی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قم، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، قم، ایران
مسعود محمودآبادی (نویسنده مسئول)، استادیار دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه قم،
m.mahmoudabadi@qom.ac.ir

چکیده: *از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین اصول در موارد کاهش خطر زلزله، بررسی و مقاوم‌سازی تأسیسات لوله‌کشی است. آسیب‌پذیری لوله‌کشی‌ها به هنگام زلزله از چند جنبه حائز اهمیت است. در اثر وقوع یک زلزله، قطع جریان در شاه‌لوله‌های آب به‌واسطه‌ی شکستگی‌ها می‌تواند جان بازماندگان زلزله را به خطر بیاندازد. همچنین شکست و انفجار در لوله‌های گاز طبیعی می‌تواند باعث آتش‌سوزی‌های وسیع شود. در صورت آسیب دیدن لوله‌ها و شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب بوی تعفن، منطقه‌ی آسیب‌دیده را فرا گرفته و احتمال شیوع بیماری‌های عفونی پس از زلزله وجود دارد. در این مقاله که با روش کتابخانه‌ای و مقایسه‌ای انجام شده است هدف، بررسی و تفسیر عوامل تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری لوله‌ها به هنگام زلزله می‌باشد که می‌توان از آنها در ساختمان‌ها و تأسیسات ساختمانی، مجتمع‌های بزرگ صنعتی و شبکه‌های لوله‌کشی شهری استفاده نمود. همچنین استفاده از میز لرزان جهت بررسی و شبیه‌سازی زلزله‌ها و پیش‌بینی سیستم‌های لوله‌کشی[1] مورد نیاز و همچنین استفاده از سیستم‌های نوین لوله‌کشی که در برابر زلزله مقاوم و مناسب نیز می‌باشند از پیشنهادات پایانی در این تحقیق هستند.*

واژگان کلیدی: *تأسیسات لوله‌کشی، زلزله، شبکه لوله‌کشی، مقاوم‌سازی*

۱- مقدمه

در زلزله‌ی سال ۱۹۹۴ نورتریج در یکی از مناطق آموزشی شهر لس‌آنجلس آمریکا، بیش از ۱۷۰ ساختمان آموزشی خسارت دیدند که اکثر آنها مربوط به اجزای غیر سازه‌ای که شامل تأسیسات لوله‌کشی نیز می‌شود، بوده است. همچنین این زلزله باعث بسته شدن موقتی ۱۰ ساختمان بیمارستان مهم و تخلیه یا انتقال بیماران از آنها شد. این بیمارستان‌ها عموماً خسارات سازه‌ای اندک یا ناچیزی متحمل شده بودند، اما عمدتاً به علت آسیب‌دیدگی تأسیسات آب، غیرقابل استفاده شدند. در بسیاری از این بیمارستان‌ها عامل نشت آب، شکستگی در لوله‌های آب اطفای حریق، آب سرد شده یا سایر لوله‌های آب بوده است. به‌ظاهر، کارکنان تأسیسات این بیمارستان‌ها بعد از وقوع زلزله در دسترس نبوده و یا قادر به بستن جریان آب نبوده‌اند؛ به‌طوری‌که در چند مورد جریان آب ساعت‌ها ادامه یافته بود. در یکی از ساختمان‌ها به دلیل آسیب‌دیدگی منبع آب مصرفی واقع در بام، آب در بعضی نقاط تا ۶۰ سانتیمتر روی کف جمع شده بود [۱]. در زلزله‌ی سال ۱۹۹۹ ترکیه فرو ریختن یک دودکش بتنی ۹۰ متری در پالایشگاه نفت توپراش بر روی واحد تقطیر و خط لوله‌ی نفت خام از بالای شیر مسدود کننده باعث

جریان و فوران غیر قابل کنترل سوخت و شعله‌ور شدن آتش در داخل محوطه تقطیر گردید، به‌طوری‌که ستونی از دود سیاه و غلیظ سر به فلک کشیده بود و مهار این آتش پنج روز تمام به طول انجامید.

اما در این بحث به چند سوال اساسی برمی‌خوریم که باید پاسخ داده شود.

مقاوم‌سازی شبکه‌های لوله‌کشی در برابر زلزله چگونه آغاز می‌شود؟

پیش از هر چیز صاحب تأسیسات باید زمانی را برای فکر کردن دقیق و منطقی به «سناریوی پس از زلزله» در تأسیسات خود اختصاص دهد و با بررسی دقیق و اصولی، نقاط بحرانی را در تأسیسات و سیستم‌های لوله‌کشی خود شناسایی نماید. سپس باید دید رفتار مورد انتظار ما از سیستم‌های لوله‌کشی در این نقاط بحرانی چیست؟ چه نقاطی مستعد شکست، ترک یا ایجاد نشتی هستند؟ آیا ریسک بالا آمدن آب و دیگر سیالات در داخل ساختمان وجود دارد؟ آیا سقوط احتمالی لوله‌ها خطرساز نخواهد بود؟ هدف از این بررسی‌ها ایجاد مستنداتی تحت عنوان‌های P & EL[2] و P & ID[3] می‌باشد.

۲- بررسی فرآیند مقاوم‌سازی و تأسیسات لوله‌کشی

۲-۱- آیا می‌توان رفتار سیستم‌های لوله‌کشی را به هنگام زلزله پیش‌بینی کرد؟

تا حد زیادی می‌توان رفتار سیستم‌های لوله‌کشی را به هنگام زلزله پیش‌بینی کرد و اطلاعات و درک ما در این زمینه از چهار منبع ریشه می گیرد [۲] که عبارتند از:

۱- آنچه از زلزله‌های قبلی آموخته‌ایم.

۲- آنچه از آزمایش‌های شبیه‌سازی لرزه‌ای، خستگی[4] و مقاومت مصالح آموخته‌ایم.

۳- آنچه از تجزیه‌وتحلیل‌ها آموخته‌ایم.

۴- آنچه از رفتار سیستم‌های لوله‌کشی در شرایط عادی کارکرد می‌دانیم.

۲-۲- تخریب و از کار افتادن سیستم‌های لوله‌کشی در اثر زلزله

زلزله باعث تخریب و از کار افتادن سیستم‌های لوله‌کشی می‌شود و این آسیب‌ها قابل پیش‌بینی هستند؛ اما ابتدا باید روشن شود که معنای از کار افتادگی به‌طور دقیق چیست. به طور کلی خسارت‌های وارده به شبکه‌های لوله‌کشی ناشی از زلزله را می‌توان به سه دسته‌ی کلی تقسیم نمود که عبارتند از [۳]:

۱- **از دست دادن قابلیت بهره‌برداری:** زمانی که شبکه دیگر توانایی انتقال سیال را نداشته باشد حتی بدون اینکه نشتی یا شکستگی حادث شده باشد، برای مثال زمانی که پمپی آسیب‌دیده و دیگر نمی‌توان آن را به خط سرویس‌دهی آورد یا زمانی که کمپرسور روی خط لوله دچار نقص فنی شده یا یک شیر کنترل در اثر ضربه از کار افتاده و دیگر اجازه‌ی عبور سیال را از خود نمی‌دهد.

۲- **از دست دادن فشار کافی:** که می‌تواند در اثر نشت، شکستگی، ترک یا پارگی جداره‌ی لوله به هنگام زلزله اتفاق افتد.

۳- **از دست دادن تکیه‌گاه‌ها و نگه‌دارنده‌ها:** لوله از روی تکیه‌گاه‌ها، آویزها و نگه‌دارنده‌ها سقوط نموده یا کنده شدن تکیه‌گاه‌ها از داخل دیوارها سبب سقوط لوله‌ها بر روی زمین می‌شود.

رفتار صحیح و قابل قبول سیستم‌های لوله‌کشی به هنگام زلزله بستگی به سلامت و کیفیت پنج عامل اساسی و کلیدی دارد که عبارتند از:

- مواد و مصالح مصرفی؛
- طراحی (طراحی مکانیکی خطوط لوله، ضخامت جداره، چیدمان و نگه‌دارنده‌ها)؛
- ساخت (جوشکاری، لحیم‌کاری، قید و بست‌ها و اتصالات، آزمایش‌های غیر مخرب و ...)؛
- تعمیر و نگهداری (پایش و مقابله با خوردگی[5]، بازرسی‌های منظم و دوره‌ای حین بهره‌برداری)؛

- ساختمان‌ها و سازه‌ها و شرایط خاک زیر و اطراف ساختمان‌ها.

۲-۳- عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری لوله‌ها

در اینجا به تشریح دوازده عامل مؤثر در آسیب‌پذیری لوله‌ها می‌پردازیم [۴]:

۱- خوردگی: خوردگی و زنگ زدن در لوله‌ها باعث کاهش سطح مقطع مؤثر در لوله‌ها می‌شود و مقطع بحرانی در ناحیه‌ی خوردگی یا زنگ‌زدگی ایجاد می‌شود. بر اساس گزارش‌های منتشر شده از زلزله‌ی سال ۱۹۹۹ تایوان، ۵۰ درصد لوله‌های فولادی شکسته شده قبلاً به علت خوردگی ضعیف شده بودند که نشانگر این مطلب است که خوردگی عامل مهمی در افزایش خسارت‌های ناشی از زلزله می‌باشد و برای مهار آن باید نسبت به تعویض لوله‌ها و احتمالاً تغییر جنس اقدام نمود.

۲- نشت محتویات داخل لوله[۶]: نشت لوله‌ها از دو جهت مورد توجه است. اول از لحاظ ایجاد خرابی در خود لوله و دوم از لحاظ قرار گرفتن لوله‌ها و تکیه‌گاه‌های اطراف محل نشت در معرض خوردگی و زنگ‌زدگی.

۳- **کیفیت جوش**[۷]: در صورتی که نقاط جوش از کیفیت مطلوب برخوردار نباشد نقاط جوش به نقاط بحرانی و آسیب‌پذیر در هنگام زلزله تبدیل خواهند شد.

۴- وضعیت خم‌ها[۸]: تجربه‌ی زلزله‌های گذشته نشان داده است که بیشتر شکست‌ها در لوله‌ها در نواحی خم‌ها رخ داده است که می‌تواند به علت عوامل مختلفی باشد و لذا محل خم لوله‌ها یک ناحیه‌ی آسیب‌پذیر است؛ بنابراین هرچه تعداد خم‌ها کمتر و زوایای تغییر در خم‌ها ملایم‌تر باشد آسیب‌پذیری کمتر خواهد شد.

۵- پوشش: وضعیت پوشش[۹] یا ایزولاسیون لوله‌ها از آن جهت مورد نظر است که در لوله‌های فولادی خرابی پوشش موجب ایجاد زنگ‌زدگی و خوردگی، در لوله‌ها و در نتیجه‌ی ایجاد مقطع بحرانی می‌شود.

۶- مهار لوله[۱۰]: مهم‌ترین عامل و اساسی‌ترین معیار در افزایش و کاهش آسیب‌پذیری لوله‌ها وضعیت مهار لوله‌ها می‌باشد که این نکته در شکل (۱) قابل ملاحظه است. مهار جانبی لوله‌ها در واقع تعیین‌کننده‌ترین عامل در رفتار لوله در هنگام زلزله می‌باشد.

شکل (۱): *عدم مهار لوله.*

۷- نسبت قطر لوله‌های انشعاب: مبنای کلی برای انشعاب‌های نامناسب، انشعاب‌های با قطر نسبی کمتر از ۰/۵ می‌باشد.

۸- خستگی: آنچه به عنوان خستگی در این ارزیابی مد نظر است اثرات ناشی از لرزش لوله یا حرکات دائمی دیگر لوله‌ها تحت اثر عوامل مختلف می‌باشد.

۹- ضربه و برخورد: ضربه و برخورد به لوله‌ها و عدم رعایت فاصله‌ی مناسب بین لوله‌ها با هم و یا سایر تجهیزات و تکیه‌گاه‌ها در ارزیابی عینی مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل (۲) بدان اشاره شده است. در اثر حرکات جانبی ناشی از زلزله اگر موقعیت لوله‌ها نامناسب باشد در اثر ضربه و برخورد نیروهای اضافه به بدنه و نقاط حساس بر لوله‌ها وارد می‌شود که می‌تواند منجر به آسیب لوله‌ها گردد که بر این اساس تعداد موارد مستعد برخورد ارزیابی می‌شود.

شکل (۲): *عدم رعایت فاصله‌ی مناسب بین لوله‌ها.*

۱۰- اتصال به تجهیزات مهار نشده: اتصال لوله‌ها به تجهیزات مهار نشده در عمل به هنگام وقوع زلزله و ایجاد تغییر مکان‌های زیاد در تجهیزات به علت مهار ناکافی باعث ایجاد تغییر مکان‌های بیش از حد انتظار در لوله‌های متصل به آن تجهیزات می‌شود.

۱۱- تغییر مکان‌های متفاوت: وجود گیرداری زیاد در یک سر لوله و امکان ایجاد تغییر مکان‌های بزرگ در سر دیگر لوله باعث آسیب در مقطعی که گیرداری آن زیاد است می‌شود.

۱۲- قطر زیاد و دهانه‌ی کوتاه: لوله‌های با قطر زیاد و دهانه‌ی کوتاه که طبعاً دارای سختی بسیار زیادی هستند مستعد شکست‌های برشی در سیستم‌های لوله‌کشی می‌باشند.

تجربه‌های به‌دست‌آمده از زلزله‌های گذشته حاکی از آن است که لوله‌های زیرزمینی بیشتر از لوله‌های روی زمینی آسیب‌پذیر هستند. علت چیست؟ امروزه عمدتاً در مناطق شهری و سایت‌های صنعتی به دلایل ایمنی و زیباسازی خطوط لوله به صورت مدفون اجرا می‌شوند. ازآنجاکه یک سیستم خط لوله‌ی مدفون عمدتاً از یک منطقه‌ی جغرافیایی وسیع عبور می‌نماید با خطرات لرزه‌ای و شرایط خاک بسیار متنوع مواجه می‌باشد. به‌ویژه اگر لوله‌های زیرزمینی با گسل تقاطع ایجاد کند در نواحی تقاطع با گسل بسیار آسیب‌پذیر خواهد بود. از طرف دیگر لوله‌های زیرزمینی یا مدفون در داخل خاک به حرکت‌های زلزله به‌صورت حرکت‌های همراه با زمین به شکلی که تقریباً همان انحنا و تنش‌های محوری زمین را دارا باشند پاسخ می‌دهند. در هنگام زلزله، زمین توسط امواج زلزله تغییر شکل می‌دهد و خطوط لوله‌ی مدفون ممکن است کمانش نموده یا بشکنند؛ بنابراین اصل اساسی در طراحی لرزه‌ای خطوط لوله‌ی مدفون طرحی آزاد برای زلزله می‌باشد. بدین‌معنا که به لوله اجازه‌ی انبساط و انقباض و همچنین انعطاف‌پذیری لازم برای کاهش نیروهای لرزه‌ای داده شود.

۲-۴- مقاوم‌سازی شبکه‌های لوله‌کشی در برابر زلزله چگونه آغاز می‌شود؟

هدف از این بررسی‌ها ایجاد مستنداتی تحت عنوان‌های P & EL و P & ID است [۵] که عبارتند از:

۱- صاحب تأسیسات باید یک دیاگرام لوله‌کشی و تجهیزات را که به‌اختصار P & ID نامیده می‌شود، برای واضح نشان دادن مسیرهای اصلی، انشعاب‌ها و تجهیزات تهیه نماید. در صورتی که این نقشه در اختیار افراد دارای صلاحیت قرار گیرد و همچنین در مکان‌های مناسب نصب گردد، می‌توان از آنها برای اقدام سریع و قطع مسیرها و باز و بست سریع شیرآلات استفاده نمود.

۲- صاحب تأسیسات باید لیستی از نقاط بحرانی و تجهیزات خطرساز که به‌اختصار P & EL نامیده می‌شود تهیه نماید. در این لیست خطرها شناسایی شده و پس از استفاده از خدمات یک تیم مهندسان، شخص یا گروهی مسئول پیگیری و برطرف‌سازی خطرات ثبت و مستند شده می‌شود و طبق یک برنامه‌ی زمان‌بندی مشخص با اختصاص بودجه‌ی مورد نیاز نسبت به کاهش ریسک در این نقاط بحرانی می‌پردازد.

با انجام اقدامات فوق حوزه‌ی فعالیت مشخص شده و برآورد هزینه‌های مورد نیاز جهت مقاوم‌سازی امکان‌پذیر می‌شود.

پس از آن‌که حوزه‌ی فعالیت مشخص شد؛ در این مرحله باید از خدمات مشاوره‌ای یک مهندس زلزله و یک مهندس مشاور تأسیسات یا یک تیم مهندسی با تخصص‌های زلزله،

سازه و لوله‌کشی استفاده نمود.

در این مرحله مهندسان مشاور با بررسیP&EL وP&ID ضمن نهایی کردن این مستندات اقدامات اصلاحی و مقابله ای خود را جهت مقاوم‌سازی آغاز می‌نمایند. آنها در ابتدا به جمع‌آوری اطلاعات پرداخته و از همه‌ی نقشه‌ها و اطلاعات صاحب تأسیسات استفاده می‌کنند. به‌ویژه تاریخچه‌ی اقدامات انجام شده در گذشته را از نظر رفع نشتی‌های احتمالی و تعمیرات مورد بررسی قرار داده و پس از ارزیابی، تجزیه‌وتحلیل و انجام برخی از محاسبات مهندسی در نهایت راهکارهایی را برای مقاوم‌سازی و افزایش ضریب ایمنی سیستم و لوله‌کشی ارائه می‌دهند.

راه‌کارهایی که برای شناخت هر چه بیشتر نقاط بحرانی پیشنهاد می‌شود [۶] عبارتند از:

۱- آزمایش‌های فراصوت برای ضخامت‌سنجی جداره‌ی لوله‌ها به منظور بررسی اثرات ناشی از خوردگی.

۲- بررسی لوله‌هایی که در ارتفاع، مجاور سقف یا در داخل سقف‌های کاذب قرار گرفته‌اند و نحوه‌ی مهاربندی آنها.

۳- بررسی ستون‌ها، پایه‌ها، مهاربندی قاب‌ها، لوله‌ها و بادبندهای سازه‌های فولادی.

۴- بررسی و آزمایش کیفیت و سلامت جوش‌ها از طریق انجام آزمایش‌های غیر مخرب شامل آزمایش با مایعات نافذ، آزمایش با ذرات مغناطیسی؛ آزمایش‌های فراصوت و آزمایش‌های پرتونگاری و رادیوگرافی.

۵- بررسی وضعیت دستگاه‌ها و تجهیزات انتقال سیالات که در امتداد خطوط لوله قرار دارند نظیر پمپ‌ها، کمپرسورها و غیره.

۶- بررسی مواد و مصالح به‌کار رفته.

۷- بررسی اتصالات، انشعاب‌ها و مقاومت آنها.

۸- آنالیز تنش در لوله‌ها.

۳- گزارش اثرات زلزله بر سیستم‌های لوله‌کشی در سرتاسر جهان

اثرات زلزله بر سیستم‌های لوله‌کشی در سرتاسر جهان در جدول (۱) جمع‌آوری شده است [۷].

جدول (۱): *گزارش‌هایی از اثرات زلزله بر سیستم‌های لوله‌کشی طی سال‌های ۱۹۶۹-۱۹۹۷ میلادی [۲].*

خسارت‌های گزارش شده	شدت زلزله (ریشتر)	مکان و تاریخ
خسارت‌های جزئی به مخازن ذخیره‌ی آب آشامیدنی، ایستگاه‌های پمپاژ و سدها و خسارت‌های چشمگیر به لوله‌های توزیع آب	۵/۷	آمریکا- کالیفرنیا سانتا روزا (۱۹۶۹)
تغییرات چشمگیر در کیفیت آب آشامیدنی به‌واسطه‌ی خسارات وارده به چاه‌ها، سدها و کانال‌ها و نوسانات سطح آب در چاه‌ها	۶/۶	آمریکا -کالیفرنیا سان فرناندو (۱۹۷۱)
در شبکه‌ی توزیع آب که شامل لوله‌های ۱۶ اینچی چدنی و لوله‌های ۴ اینچی pvc بود بیشتر از یک‌صد مورد شکستگی اتفاق افتاد و جریان آب در بخش شرقی شهر به‌طور کامل قطع شد. سقف ایستگاه‌های پمپاژ آب فرو ریخت و چند مخزن ذخیره‌ی آب به شدت آسیب دیدند.	۶/۲۵	نیکاراگوآ ماناگوا (۱۹۷۲)
در جریان این زلزله صدمه‌ها و خسارت‌های فراوانی به تأسیسات شهری وارد شد.	۷/۵	گواتمالا (۱۹۷۶)
بخشی از شاه‌لوله‌ی تأمین آب شهر کوتاباتو به علت فروریزی یک پل بر روی این خطوط لوله دچار شکست و آسیب جدی شد.	۷/۹	فیلیپین جزیره میندانائو (۱۹۷۶)
لوله‌های اصلی تأمین‌کننده‌ی آب شهر کم‌وبیش در تمام طول خود (حدود ۴۰ کیلومتر) دچار شکست‌های متعددی شد و وضعیت به‌واسطه‌ی بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه و وقوع پدیده‌ی روانگرایی خاک[11] وخیم‌تر شد.	۷/۴	آرژانتین سان خوآن، مندوزا (۱۹۷۷)
شهر مکزیکوسیتی که در آن زمان ۷۲۰۰۰ کیلومتر خط لوله را در خود جای داده بود دچار آسیب‌های جدی شد. لوله‌های مدفون در زیر خاک بیشتر دچار آسیب شدند و اکثر لوله‌های قطور به‌واسطه‌ی اتصالات صلب و غیر انعطاف‌پذیر و عمدتاً از ناحیه‌ی سه‌راهی، چهارراه‌ها، شیرها و نقاط اتصال و ورود به سازه‌ها و ساختمان‌ها دچار شکستگی شدند.	۸/۱	مکزیک مکزیکوسیتی (۱۹۸۵)

ادامه جدول (۱)

مکان و تاریخ	شدت زلزله (ریشتر)	خسارت‌های گزارش شده
السالوادور سان‌سالوادور (۱۹۸۶)	۵/۴	در جریان این زلزله حدود ۲۴۰۰ مورد نشتی و شکستگی در شبکه‌های لوله‌کشی و بیشتر بر روی خط لوله‌ی تأمین‌کننده‌ی آب گزارش شد. فشار شبکه‌ی توزیع آب سریعاً به‌واسطه‌ی شکستگی‌ها افت نمود. حدود ۸۰ کیلومتر از لوله‌های آب (۲۰٪ از کل خطوط لوله‌ی آب) و حدود ۶۵ کیلومتر از لوله‌های فاضلاب (۲۲٪ از کل خطوط جمع‌آوری فاضلاب) دچار آسیب جدی شدند. شهر سان‌سالوادور بر روی رسوب خاکستر آتشفشانی واقع گردیده است. در جریان این زلزله بخشی از لوله‌های فولادی دچار تغییر شکل شده و کج شدند.
ارمنستان اسپیتاک، لنیناکان (۱۹۸۸)	۶/۸	تغییر مکان افقی در ناحیه‌ای به طول ۴/۵ کیلومتر باعث آسیب‌های جدی به خط لوله‌ی مجاور رودخانه شد.
آمریکا- کالیفرنیا لوما پریتا (۱۹۸۹)	۷/۱	ایجاد اختلال در سیستم‌های تصفیه و پمپاژ آب به علت قطع برق در منطقه، در جریان این زلزله شاه‌لوله‌های آب و بسیاری از لوله‌های آب در نواحی کوهستانی دچار آسیب‌های جدی شدند.
کاستاریکا (۱۹۹۱)	۷/۴	تغییر کیفیت آب آشامیدنی- ترک و شکست‌های فراوان در شبکه‌ی آب‌رسانی و لوله‌کشی.
ایران- منجیل (۱۹۹۰)	۷/۵	منبع بزرگ تأمین آب مشروب رشت- انزلی به‌طور کامل از بین رفت. در آستانه اشرفیه منبع آب آشامیدنی شهر به کلی ویران گردید. تمامی خطوط و سیستم‌های و تأسیسات لوله‌کشی در اثر این زلزله دچار آسیب شده است [۸]. برای اصلاح و بازسازی تمامی خطوط، شبکه و تأسیسات آب آشامیدنی منطقه رودبار افزون بر ۲۰۰ میلیارد ریال هزینه گردید.
ترکیه ارزینگان (۱۹۹۲)	۶/۸	خسارت‌هایی به مخازن و ایستگاه‌های پمپاژ وارد شد- ۲۵ مورد شکستگی در شاه‌لوله‌های آب و عمدتاً از محل‌های اتصال لوله‌های pvc به لوله‌های سیمانی گزارش شد.
کالیفرنیا- آمریکا لس‌آنجلس نورتریج (۱۹۹۴)	۶/۷	در جریان این زلزله خسارت‌هایی به شبکه‌ی توزیع آب وارد شد؛ اما مادامی‌که تعمیرات در حال انجام بود امکان بهره‌برداری از شبکه با فشار پایین تا مدت چهار هفته وجود داشت. برخی از لوله‌های بتنی دچار شکست شدند و بیشترین خسارت لوله‌ها مربوط به لوله‌های فولادی به‌ویژه در ناحیه‌ی اتصالات صلب و غیر انعطاف‌پذیر و همچنین نواحی دارای آثار خوردگی بود.
ژاپن-کوبه (۱۹۹۵)	۷/۲	حدود ۷۵٪ آب کوبه از طریق دو شاه لوله و از رودخانه یودو تأمین می‌شود. به‌واسطه‌ی شکست ۲۳ نقطه از این لوله جریان آب به‌طور کامل قطع شد و حدود ۱/۵ میلیون نفر بدون آب ماندند.
ونزوئلا کاریاکو (۱۹۹۷)	۶/۹	در ناحیه‌ی گسل زمین دچار جابه‌جایی به سمت راست (در حدود ۴۰ سانتی‌متر) شد. لوله‌های مدفون در زیر خاک و تأسیسات تصفیه‌ی فاضلاب به‌شدت آسیب دیدند و خط لوله تأمین آب آشامیدنی که با زاویه‌ی ۳۰ تا ۳۵ امتداد گسل را قطع می‌کرد در اثر نیروهای فشاری و خمشی ناشی از زلزله به‌شدت دچار آسیب شد.
ایران- بم (۲۰۰۳)	۶/۶	پس از وقوع زلزله به دلیل شکست لوله‌های انتقال، آب شهر قطع شد. به علت اینکه لوله‌های انتقال آب از مخازن به شهر دچار شکست شده بودند شیرهای خروجی مخزن زمینی بسته شد تا از هرز آب در محل‌های شکست جلوگیری به عمل آید و عمل تعمیر خرابی‌ها راحت‌تر صورت پذیرد [۹].

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث مطرح شده و همچنین اهمیت نگهداری، تعمیرات و بهسازی خطوط و شریان های مدفون و سطحی در اثر وقوع زلزله؛ لذا موارد زیر توصیه می‌شود:

۱- با توجه به شرایط موجود در کشور عزیزمان ایران و تفاوت‌هایی که با سایر کشورها دارد، نسبت به تهیه‌ی استانداردها و چک‌لیست‌های تعمیر و نگهداری و همچنین بهسازی اقدام شود تا بیش از پیش شاهد افزایش بهره‌وری و کارآمدی تأسیسات در حین بهره‌برداری باشیم.

۲- استفاده از تأسیسات لوله‌کشی نوین و طراحی پیشرفته در مناطق زلزله‌خیز.

۳- استفاده از میز لرزان این امکان را برای محققین فراهم کرده تا بتوانند ساختمان‌های عظیمی را بر روی آن بنا کرده و سپس رفتار سازه‌ها را در طول زلزله بررسی کنند. با استفاده از میز لرزان می‌توان سیستم‌های لوله‌کشی مورد نیاز برای هر میزان شدت زلزله را تعبیه کرد.

۳- با توجه به قدیمی بودن سیستم‌های لوله‌کشی در برخی مناطق ایران و همچنین زلزله‌خیز بودن برخی مناطق در ایران، لذا نقش مدیریت بحران بلافاصله پس از زلزله و همچنین استفاده از ابزار جایگزین جهت عدم ایجاد مشکلات ناشی از نبود سیستم آب‌رسانی تعیین‌کننده می‌باشد.

۴- آگاهی و آشنایی بیشتر مردم پیرامون رفتار صحیح پس از زلزله و عملیات فوری جهت کاهش آسیب‌دیدگی از تأسیسات لوله‌کشی.

مراجع

۱. حسینی، مازیار، منتظرقائم، سعید، و کمک‌پناه، علی (۱۳۸۷) *راهنمای کاربردی کاهش خسارات اجزای غیر سازه‌ای ساختمان‌ها در برابر زلزله*، نشر سازمان پیشگیری و مدیریت بحران تهران، چاپ اول، ۳۰ صفحه.

۲. محمدی شوره، محمدرضا و وثوقی شهسواری، فریبرز (۱۳۸۰) *بهینه‌سازی حوضچه‌های بتنی و تأسیسات آبی*، مجله عمران شریف، شماره ۳۰.

3. Arze, E. (1969) Seismic failure and repair of an elevated water tank. *Proceeding of the Fourth World Engineering*. Santiago, Chile, Vol. III, B6-57-B6-69.

4. Astaneh, A. (1991) *Slides on Manjil- Iran Earthquake of June 21*. Earthquake Engineering Research Center (EERC), University of California, Berkeley, CA, USA.

۵. میسمی، حسین، زرنگاریان، احمد و حقی، حسین (۱۳۸۴) *بررسی و مقاوم‌سازی شریان‌های حیاتی و مجاری مدفون در اثر وقوع زلزله (با مطالعه‌ی موردی شهر تهران)*. پروژه‌ی تحقیقاتی دانشگاه شهید عباسپور تهران.

۶. کمک‌پناه، علی و منتظر قائم، سعید (۱۳۷۳) *سخنرانی جلسه‌ی افتتاحیه‌ی اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین‌لغزه در کشور*. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۷. نیک‌منش، محمدرضا (۱۳۸۵) مقاوم‌سازی لرزه‌ای دیوارهای حمال (باربر) در ساختمان‌های بنایی. مجموعه *مقالات اولین همایش بین‌المللی مقاوم‌سازی لرزه‌ای*، تهران، سالن همایش‌های بین‌المللی صداوسیما.

۸. عشقی، ساسان (۱۳۷۰) *عملکرد شریان‌های حیاتی و تأسیسات صنعتی*. گزارش تحلیلی زلزله رودبار- منجیل، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، فصل سوم، ۲۰۰ صفحه.

۹. عشقی، ساسان، زارع، مهدی، ناصر اسدی، کیارش، سید رزاقی، مهران، نورعلی آهاری، مسعود، معتمدی، مهرتاش (۱۳۸۲) *گزارش مقدماتی شناسایی زلزله بم ۵ دیماه ۱۳۸۲*. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۰۶ صفحه.

واژه‌نامه

۱- سیستم‌های لوله‌کشی	Piping
۲- دیاگرام لوله‌کشی و تجهیزات	P & ID
۳- لیست نقاط بحرانی و تجهیزات خطرساز	P & EL
۴- خستگی	Fatigue
۵- خوردگی	Corrosion
۶- نشت محتویات داخل لوله	Leakage
۷- کیفیت جوش	Weld Quality
۸- وضعیت خم‌ها	Bend Conditions
۹- پوشش	Isolation
۱۰- مهار لوله	Restraints
۱۱- روانگرایی خاک	Liquefaction