برنامه‌ریزی برای تعمیرات سامانه‌های آبرسانی در شهرهای بزرگ پس از زلزله

محمود حسینی، استادیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
محمد سربندی فراهانی، کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

چکیده

سامانه تأمین آب، یکی از شریانهای حیاتی مهم در شهرها می‌باشد که آسیب‌پذیری آن در برابر زلزله‌های گذشته ثابت شده است. این شبکه‌ها به‌واسطه پراکندگی و قرارگیری در سطح گسترده و شرایط گوناگون زمین، در زلزله آسیب قابل-توجه می‌بینند که علاوه بر زیانهای مستقیم پیامدهایی مانند عدم توانایی در مهار آتش به علت قطع آب، مشکلات بهداشتی و مهاجرت را به وجود آورده و زندگی مردم تا روزها وحتی ماهها پس از زلزله دچار مشکل می‌شود. وصل سریع و کوتاه کردن زمان قطع آب یک خواست عمومی است و ناکارآمدی در این خصوص نارضایتی مردم را به دنبال دارد. بدیهی است هرگونه دیرکرد در تعمیرات شبکه‌های آبرسانی و وصل آب و عدم رعایت اولویتها باعث آسیبهای اساسی در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و بهداشتی می‌شود. یکی از اقدامات اساسی برای مدیریت شرایط اضطراری و بازگرداندن اوضاع به حالت عادی انجام سریع تعمیرات در سامانه‌های آسیب‌دیده می‌باشد و این امر مستلزم وجود برنامه و دستورالعملی از پیش تدوین شده می‌باشد و در صورت نبود برنامه تعمیرات، انجام کار با تأخیر فراوان روبرو خواهد شد، بنابراین ضرورت تدوین یک برنامه جامع و کاربردی در این باره احساس می‌گردد. هدف از این مقاله، پیشنهاد برنامه تعمیرات شبکه-های آبرسانی پس از زلزله به منظور کاهش پیامدهای ناخواسته ناشی از نبود آب در جامعه آسیب‌دیده و در شرایط بحرانی پس از وقوع زلزله می‌باشد. دستاورد نهایی این مقاله در قالب پیشنهاد برنامه تعمیرات پس از زلزله که با توجه به بررسی تجربیات زلزله‌های گذشته ایران و سایر کشورها به دست آمده ارائه می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: برنامه تعمیرات پس از زلزله، شبکه‌های آبرسانی، آسیب‌پذیری، شریانهای حیاتی

۱– مقدمه

یکی از مهمترین شریانهای حیاتی، شبکه‌های آبرسانی است که آسیب‌دیدگی آن در هنگام وقوع زلزله موجب مشکلات بسیاری خواهد شد. این شبکه‌ها در معرض انواع خطرات لرزه‌ای مانند تکانهای زمین، گسلش، زمین‌لغزش، روانگرایی که ناشی از انتشار امواج لرزه‌ای و تغییرشکلهای زمین است، قرار دارند. در کنار این خطرها وجود لوله‌های نامرغوب و ترد، اتصالات نامناسب، کهنگی و خوردگی لوله‌ها و عدم طراحی لرزه‌ای شبکه‌ها مانند کاتالیزور عمل نموده و باعث افزایش آسیب‌دیدگی شبکه‌ها می‌گردند. این موارد بازگو کننده حتمی بودن قطع آب پس از زلزله می‌باشد. نبود آب در شرایط نامناسب پس از زلزله باعث آسیبهای فراوانی است که در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و بهداشتی بروز می‌کند و دارای پیامدهایی مانند خشم و رنجش مردم، مهاجرت، گسترش آتش‌سوزی، استفاده از آبهای آلوده و گسترش بیماریهای واگیردار می‌باشد. در زمینه تدوین برنامه تعمیرات پس از زلزله بر اساس انتشارات موجود کار چندانی صورت نگرفته است، بنابراین لزوم تدوین برنامه اصولی و دقیق و ارائه یک دستورالعمل تعمیرات به جهت روشمند کردن شیوه‌های کار و پرهیز از اقدامات وقتگیر و ناهماهنگ و با هدف بازگرداندن شبکه‌های آبرسانی در سریعترین زمان ممکن و با کمترین هزینه به حالت عادی و طبیعی احساس می‌گردد.

در این مقاله نخست، خطرات لرزه‌ای مؤثر بر شبکه‌های آبرسانی بررسی شده و سپس عملکرد و آسیبهای وارده به شبکه‌ها به طور مختصر تشریح و رده‌بندی می‌گردد. به این منظور آسیبهای وارده بر شبکه‌های آبرسانی، شناخت علل اساسی آسیب، تأثیر خطرات لرزه‌ای به همراه عملکرد این شبکه‌ها بر اساس تجارب زلزله‌های مهم گذشته مرور،

ارزیابی و بررسی می‌گردد. لازم است جهت تعمیرات سریعتر، قبل از وقوع زلزله ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه آبرسانی شهر انجام شود تا نقاط آسیب‌پذیر شناسایی شود، به همین منظور در ادامه به عنوان مطالعه موردی وضعیت آسیب‌دیدگی شهر قم پس از زلزله و با در نظر گرفتن سرعت سطح زمین بر حسب سطح خطر ۴۷۵ سال دوره بازگشت ($PGV\ 475$) به همراه بررسی و اعمال مخاطرات ژئوتکنیک بررسی و ارائه می‌گردد. در نهایت برنامه پیشنهادی تعمیرات شبکه‌های آبرسانی در نه قسمت ارائه و به شرح آن پرداخته می‌شود.

۲- انواع خطرات و آسیبهای لرزه‌ای در شبکه‌های آبرسانی

آسیب زلزله به لوله‌های مدفون می‌تواند ناشی از تغییرشکلهای گذرا و تغییرشکلهای ماندگار و یا هر دو عامل باشد. تغییرشکلهای گذرا در نتیجه انتشار امواج لرزه‌ای شامل امواج سطحی، حجمی و یا اثرات لرزشهای زمین می‌باشد، این تغییرشکلها در ناحیه گسترده اثرگذار هستند و آسیبهای زیادی به وجود می‌آورند و برحسب پارامترهای مختلف لرزه‌ای مانند بیشینه سرعت سطح زمین (PGV)، بیشینه شتاب سطح زمین (PGA) و پارامترهای دیگر قابل بیان می‌باشند. همچنین کرنش موضعی و انحنای سطح زمین از آسیبهای ناشی از این نوع تغییرشکل به می‌رود. تغییرشکلهای ماندگار حاصل از گسلش، روانگرایی، زمین-لغزش و یا نشستهای ناهمگون می‌باشند که در ادامه توضیح مختصری از آنها ارائه می‌گردد [۱-۲].

گسلش: گسلش تغییرشکل ناشی از تغییرمکان نسبی دو قطعه مجاور از پوسته زمین می‌باشد. در اثر گسلش گسیختگی سطحی اتفاق می‌افتد و تغییرشکل دائمی موضعی به وجود می‌آید. به دلیل این رخداد آسیبهای وارده به لوله‌های غیر یکپارچه مانند لوله‌های چدنی بسیار زیاد است، در صورتی‌که خطوط لوله یکسره تا حدودی قادر به تحمل تغییرشکلها می‌باشند.

روانگرایی: عبارت است از تغییر حالت خاک غیرچسبنده اشباع از جامد به مایع در اثر افزایش فشار آب حفره‌ای و کاهش مقاومت برشی خاک. در این رخداد سازه‌های مدفون مانند خطوط لوله و منهولها به حالت شناور در آمده و به واسطه نشستهای نسبتاً زیاد آسیب دیده و شکسته می‌شوند.

زمین لغزش: حرکات توده‌ای زمین هستند که توسط زلزله تولید و باعث وارد آمدن آسیبهای زیادی به شبکه لوله‌ها و سازه‌های در مسیر حرکت خود می‌شوند.

نشستهای ناهمگون: نشستهای غیریکسان عمودی زمین و کاهش حجم توده خاک است و باعث شکست شبکه خطوط لوله می‌شود.

عوامل مؤثر دیگر در آسیب‌دیدگی لوله‌های شبکه‌های آبرسانی عبارتند از: جنس و قطر لوله‌ها، اتصال نامناسب لوله به تأسیسات تغییر جنس زمین بستر لوله، امتداد موج زلزله، عمق کارگذاری لوله و فرسودگی لوله‌ها، همچنین نوع اتصال بین لوله‌ها که شامل: لوله‌های پیوسته (یکپارچه) و تکه‌ای (غیریکپارچه) می‌باشند و در آسیب‌دیدگی لوله‌ها مؤثرند. لوله‌های پیوسته دارای اتصالات صلب جوشی هستند و در زلزله آسیب کمتری می‌بینند ولی لوله‌های تکه‌ای، قطعات لوله می‌باشند که با یک سری اتصالات به هم مرتبط می‌شوند. این لوله‌ها با توجه به نوع اتصال اعم از ترد یا انعطاف‌پذیر آسیبهای مختلفی دارند [۱-۲].

۳- ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌های آبرسانی

ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌های آبرسانی، نیاز اهداف گوناگونی مانند مدیریت بحران، کاهش خطر زلزله، واکنش سریع پس از زلزله و تعمیرات و بازسازی می‌باشد. جهت برآورد پتانسیل آسیب‌پذیری لوله‌ها روابطی به کار می‌رود که معمولاً با نامهای مختلفی از قبیل: منحنی‌های آسیب-پذیری، توابع آسیب، توابع آسیب‌پذیری و یا روابط خسارت نامیده می‌شوند. اساس این روابط تجربی بوده و از بررسی، آماربرداری و قضاوتهای مهندسی از زلزله‌های گذشته به دست آمده است. در قرن اخیر وقوع چندین زلزله متوسط تا شدید باعث واردآمدن آسیبهای اساسی به شبکه لوله‌های مدفون گردید، خصوصاً زلزله نورثریج یکی از رخدادهای مهمی بود که باعث آسیب گسترده در شبکه آبرسانی شهر لس‌آنجلس شد و به واسطه در دسترس بودن تعداد مناسب

دستگاههای لرزه‌نگار در منطقه و اطلاعات شبکه، یک موقعیت منحصر به فرد در بهبود، گسترش و جهش روابط آسیب‌پذیری شبکه‌های آبرسانی به وجود آورد. همان‌گونه که بیان شد آسیب لوله‌ها می‌تواند ناشی از تغییرشکلهای گذار یا تغییرشکلهای ماندگار باشد. آسیبهای مرتبط به تغییرشکلهای ماندگار مانند: گسلش، روانگرایی، زمین لغزش و نشستهای ناهمگون، قبلاً ذکر شد اما به منظور برآورد آسیب‌پذیری شبکه‌های آبرسانی در اثر تغییرشکلهای گذرا از میان پارامترهای لرزه‌ای، مؤثرترین آنها باید انتخاب گردد. طبق پژوهشها و بررسیهای صورت گرفته توسط پژوهشگران دانشگاه آب و برق لس‌آنجلس و دانشگاه کرنل بر روی شبکه آبرسانی بعد از زلزله ۱۹۹۴ نورثریج و با بهره‌گیری از سیستم *GIS* مشخص گردید یک رابطه آماری مشخص بین نرخ تعمیرات *RR* و پارامترهای لرزه‌ای که عبارت است از: *PGA*، *PGV*، *PGD*، سرعت، شتاب، سرعت طیفی و شدت طیفی می‌باشند، وجود دارد. نتیجه این بررسی بیان می‌کند متناسب‌ترین پارامتر بین نرخ تعمیرات و پارامترهای لرزه‌ای *PGV* می‌باشد. افزایش نرخ تعمیرات خطوط لوله با افزایش میزان *PGV* بیانگر این است که قراردادن مبنای توابع آسیب‌پذیری لوله‌ها بر اساس *PGV* یک فرض درست می‌باشد [۳].

ارزیابی و برآورد آسیب سامانه‌های آبرسانی در اثر تغییرشکلهای گذار به طور کلی به وسیله چهار شاخص بیان می‌شود که عبارتند از:

الف- نرخ تعمیرات (*RR=Repair Rate*): عبارت است از تعداد نقاط تعمیر شده لوله‌های موجود واحدهای مربعی مشابه که این واحدها می‌تواند ۲۵۰ × ۲۵۰ متر ۵۰۰ × ۵۰۰ متر و یا یک کیلومتر × یک کیلومتر باشد و هر چه سطح‌بندیها کوچکتر باشد دقت بالاتر می‌رود.

ب- نسبت آسیب (*DR = Damage Ratio*): (واحد طول لوله/ تعداد نقاط خرابی) = *DR*

پ- شاخص آسیب (*DI = Damage Index*): *DI=M/PA* که در این رابطه: *DI*: شاخص آسیب، *M*: تعداد نقاط خرابی، *P*: تراکم جمعیت و *A*: پهنه‌ای که شبکه در آن قرار گرفته است.

ت- وضعیت خرابی (*DS = Damage State*): که بیشتر جهت بررسی وضعیت آسیب‌پذیری مخازن کاربرد دارد و به صورت اعداد یک تا پنج رده‌بندی می‌شود به طوری که ۱ = *DS* بدون آسیب و ۵ = *DS* آسیب کامل می‌باشد.

ولی عموماً در ارزیابی شبکه‌های آبرسانی از رابطه نرخ تعمیرات (*RR*) استفاده می‌شود. در این مقاله نیز جهت ارزیابی آسیب‌پذیری شهر قم از رابطه فوق استفاده شده است.

۴- مدل‌های آسیب‌پذیری

با توجه به اینکه پژوهشی در زمینه آسیب‌پذیری لوله‌های مدفون انتقال آب در ایران برحسب جنس زمین، شرایط ساختگاه و شتاب لرزه‌ها انجام نشده است، بنابراین از مدل‌های آسیب‌پذیری لوله‌های سایر کشورها استفاده می‌گردد. به منظور آشنایی با مدل‌های موجود، چند مدل برآورد آسیب‌پذیری در جدول (۱) آورده شده است که برخی از مدل‌ها به طور مختصر بیان می‌گردد، در ادامه جهت برآورد آسیب‌پذیری شبکه آبرسانی شهر قم از مدل *HAZUS* که از روشهای برآورد آسیب *FEMA-US* است، استفاده می‌گردد. در این مدل‌ها، *PGV* به دو صورت میانگین و بیشینه تعریف می‌شود. *PGV* میانگین، متوسط هندسی دو مؤلفه افقی زلزله و *PGV* بیشینه، مؤلفه افقی بزرگتر است. در بعضی مدل‌ها اثر هر دو پارامتر *PGV* و قطر لوله در برآورد آسیب‌پذیری در نظر گرفته می‌شود. مدل اتحادیه شریانهای حیاتی آمریکا (*ALA 2001*)، حاصل ترکیب ۱۲ زلزله آمریکا، ژاپن و مکزیک است و در حالتی که هیچ‌گونه اطلاعاتی از جنس، اتصالات، قطر لوله‌ها وجود ندارد، به کار برده می‌شود و در صورت وجود اطلاعات توسط ضرائبی اصلاح می‌گردد. مدل *HAZUS* یکی از پرکاربردترین مدل‌ها می‌باشد. در این مدل و برخی مدل‌های دیگر فرض بر این است که میزان آسیب لوله‌های انعطاف‌پذیر (چدن‌داکتیل، پلی‌اتیلن، فولادی‌جوشی) ۳۰ درصد لوله‌های ترد (چدن، آزبست، بتن) می‌باشد. اورک و چیون [۳]، پس از بررسی اختلاف بین روابط *HAZUS* و روابط ارائه شده پس از زلزله نورثریج به تأثیر نوع امواج

جدول (۱): *روابط تخمین آسیب لوله‌ها.*

منابع روابط	PGV	نوع لوله	اندازه لوله	معادله نرخ تعمیر (تعداد موارد تعمیر در کیلومتر)
HAZUS	*Maximum*	*Brittle mix*	*Mix*	$0.0001 *(PGV)^{2.25}$
Toprak (1998)	*Maximum*	*CI*	*Dp≤600 mm*	$10^{(1.62*\log(PGV)-3.64)}$
O'Rourke and Jeon (2000)	*Geometric mean*	*CI*	*Dp≤600 mm*	$e^{(1.09*\ln(PGV)-6.12)}$
O'Rourke and Jeon 1999, 2000)	*Maximum*	*CI*	*Dp≤600 mm*	$e^{(1.21 *\ln(PGV)-6.78)}$
O'Rourke and Jeon (1999, 2000)	*Maximum PGV scaled with pipeline diameter*	*CI* *DI*	- -	$0.036*(PGV/D_p^{1.021})^{0.989}$ $0.004*(PGV/D_p^{0.468})^{1.378}$
ALA (2001)	*Geometric mean*	*Mix*		$0.0187*PGV$
O'Rourke and Deyoe (2004)	*Brittle mix*	*Mix*	$0.0035*PGV^{0.92}$	*for secondary wave*
	Brittle mix	*Mix*	$0.034*PGV^{0.92}$	*for Rayleigh wave*

لرزه‌ای درآسیب‌های وارده به لوله‌ها پی بردند، آنها پس از بررسی امواج سطحی (R) و امواج حجمی (S) و تأثیر آنها بر روی کرنش زمین و آسیب لوله‌ها یک معیار بسیار ساده جهت اعمال نوع امواج ارائه کردند، دراین معیار چنانچه فاصله مرکز به عمق کانونی زلزله ۵ یا بزرگتر باشد امواج سطحی مؤثرند و در صورتی که این نسبت کوچکتر از ۵ باشد امواج حجمی تأثیرگذارند [۳].

۵- مراحل محاسبه آسیب‌پذیری

باتوجه به گستردگی شبکه‌های آبرسانی در یک محدوده جغرافیایی لازم است جهت بررسی دقیقتر آسیب‌پذیری، محدوده مورد مطالعه به شبکه‌های کوچک مربعی تقسیم شود و در هر واحد مربعی مشخصات شبکه آبرسانی شامل جنس، طول و قطر لوله‌ها و مشخصات زمین به طور جداگانه برداشت شده و پس از بررسی وضعیت لرزه‌خیزی منطقه بر اساس سوابق رویداد زلزله شامل: زلزله‌های تاریخی و زلزله‌های اخیر، میزان فعالیت و مشخصات گسلها، زلزله محتمل در سنگ بستر محاسبه و در ادامه برای هر شبکه مربعی سرعت بیشینه سطح زمین (PGV) با توجه به جنس لایه‌های خاک و سایر پارامترهای مؤثر و تحلیل دینامیکی آبرفت به دست آورده شود. پیشنهاد می‌گردد جهت برنامه‌ریزی تعمیرات شبکه‌های آبرسانی، سرعت سطح زمین بر حسب سطح خطر ۴۷۵ سال دوره بازگشت محاسبه و خطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای مانند گسلش و روانگرایی نیز جهت شناسایی نقاط آسیب‌پذیر بررسی گردد. در ادامه، بررسی آسیب‌پذیری شهر قم به عنوان نمونه توضیح داده می‌شود. مراحل محاسبه آسیب‌پذیری شبکه‌های آبرسانی جهت تعمیرات به طور خلاصه در زیر آورده شده است.

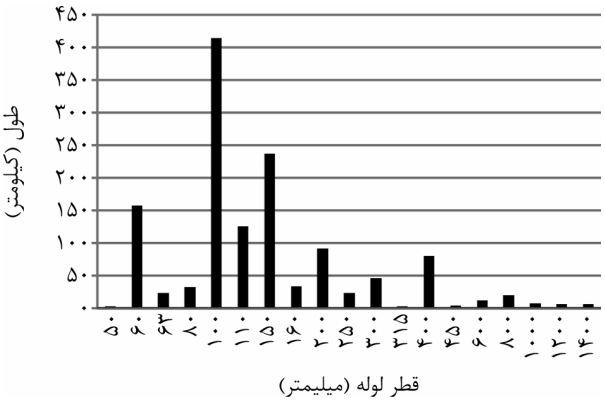
- تقسیم محدوده مورد مطالعه به واحدهای مربعی (یک کیلومتر در یک کیلومتر)؛
- محاسبه سرعت سطح زمین بر حسب سطح خطر ۴۷۵ سال دورهٔ بازگشت در هر واحد مربعی؛
- محاسبه طول لوله‌ها بر حسب قطر و جنس در هر کیلومتر مربع ناحیه؛
- تعیین جنس زمین در محل لوله و مناطق دارای پتانسیل روانگرایی و زمین لغزش در منطقه؛
- محاسبه آسیب‌پذیری در هر کیلومترمربع با یکی از مدل‌های آسیب‌پذیری؛
- تعیین تعداد تعمیرات مورد نیاز (تعداد خرابی) در هر کیلومترمربع.

۶- برآورد وضعیت آسیب‌دیدگی شهر قم پس از زلزله

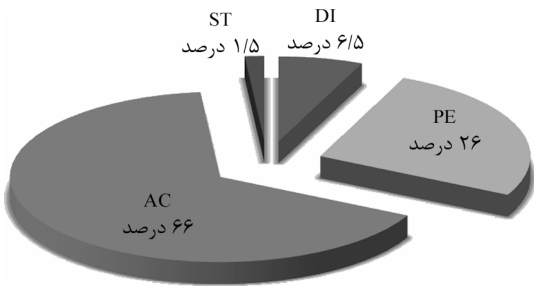
۶-۱- مشخصات شبکه آبرسانی شهر قم

در شکل (۱)، نمودار درصد نوع لوله‌های موجود در شبکه و در شکل (۲) نمودار طول لوله‌های موجود در شبکه آب شهر قم با توجه به قطر لوله‌ها ارائه شده است. این نمودارها از پایگاه اطلاعات موجود در *GIS* استخراج گردیده

است. مجموع طول لوله‌های موجود در محدوده تعریف شده شهر قم حدود ۱۳۱۳ کیلومتر می‌باشد. خطوط اصلی و فرعی شبکه از لوله‌هایی با جنس آزبست (*AC*)، پلی‌اتیلن (*PE*)، چدن‌داکتیل (*DI*) و فولادی (*ST*) تشکیل شده است. از این شبکه حدود ۶۶ درصد از نوع (*AC*) حدود ۲۶ درصد از نوع (*PE*)، حدود ۶/۵٪ از نوع (*DI*) و حدود ۱/۵٪ از نوع (*ST*) می‌باشد. خطوط توزیع آب از لوله‌هایی بین قطرهای ۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر است در صورتی که خطوط اصلی شامل لوله‌هایی با قطرهای بین ۱۶۰ تا ۱۴۰۰ میلیمتر می‌باشد.



شکل (۱): *درصد لوله‌ها با توجه به جنس آنها.*



شکل (۲): *طول لوله‌ها بر حسب قطر.*

۶-۲- ارزیابی آسیب‌پذیری

با توجه به اینکه مدل برآورد آسیب‌پذیری برای شهرهای ایران وجود ندارد و از مدل سایر کشورها استفاده می‌شود، بنابراین انتخاب نوع مدل آسیب‌پذیری تأثیر زیادی در نتایج دارد که باید با توجه به قضاوتهای مهندسی و بررسی و انطباق شرایط ارائه مدل و محل مورد بررسی انتخاب گردد. به منظور نشان دادن این اختلاف، آسیب‌پذیری شبکه توسط فرمولهای ارائه شده توسط *HAZUS*، جدول (۲) و دو فرمول اورک و چیون [۳] که یک فرمول برای وضعیت غالب بودن امواج عرضی، جدول (۳) و فرمول دیگر برای وضعیت غالب بودن امواج رایلی، جدول (۴) می‌باشد، مورد ارزیابی قرار گرفت. مشاهده می‌شود نتایج دارای اختلاف نسبتاً زیادی می‌باشند (۸۶۳-۲۶۷-۹۳)، ولی به نظر می‌رسد با توجه به عمق کانونی گسلهای شهر قم که حدود ۱۵-۱۰ کیلومتر می‌باشد،

جدول (۲): *بررسی تعداد آسیب با استفاده از فرمول HAZUS [۴].*

PGV (سانتیمتر/ثانیه)	R-R		طول		تعمیر	
	B	D	B	D	B	D
۲۸	۰/۱۸۰۳	۰/۰۵۴	۲۰۲/۹	۶۷/۸	۳۷	۴
۳۳	۰/۲۶۱۰	۰/۰۷۸۳	۵۵۳/۲	۱۶۰	۱۴۵	۱۳
۳۷	۰/۳۳۷۶	۰/۱۰۱۳	۱۸۳/۴	۵۴/۹	۶۲	۶

لوله‌های ترد (B) $RR = ۰/۰۰۰۱ \times (PGV)^{۲/۲۵}$

لوله‌های انعطاف‌پذیر (D) $RR = ۳^{-۵} \times (PGV)^{۲/۲۵}$

مجموع تعداد خرابی لوله‌های ترد (۲۴۴)

مجموع تعداد خرابیهای لوله‌های انعطاف‌پذیر (۲۳)

۲۶۷ = تعداد کل خرابیها (تعمیرات)

جدول (۳): *بررسی تعداد آسیب با استفاده از فرمول اورک و چیون [۳] برای secondary wave.*

PGV (سانتیمتر/ثانیه)	R-R		طول		تعمیر	
	B	D	B	D	B	D
۲۸	۰/۰۷۵۱	۰/۰۲۲۶	۲۰۲/۹	۶۷/۸	۱۶	۲
۳۳	۰/۰۸۷۴	۰/۰۲۶۲	۵۵۳/۲	۱۶۰	۵۰	۵
۳۷	۰/۰۹۷۰	۰/۰۲۹۱	۱۸۳/۴	۵۴/۹	۱۸	۲

لوله‌های ترد (B) $RR = ۰/۰۰۳۵ \times (PGV)^{۰/۹۲}$

لوله‌های انعطاف‌پذیر (D) $RR = ۱/۰۵^{-۳} \times (PGV)^{۰/۹۲}$

مجموع تعداد خرابی لوله‌های ترد (۸۴)

مجموع تعداد خرابیهای لوله‌های انعطاف‌پذیر (۹)

۹۳ = تعداد کل خرابیها (تعمیرات)

جدول (۴): *بررسی تعداد آسیب با استفاده از فرمول اورک و چیون [۳] برای Rayleigh wave.*

PGV (سانتیمتر/ثانیه)	R-R		طول		تعمیر	
	B	D	B	D	B	D
۲۸	۰/۷۲۹۲	۰/۲۱۸۸	۲۰۲/۹	۶۷/۸	۱۴۸	۱۵
۳۳	۰/۸۴۸۲	۰/۲۵۴۵	۵۵۳/۲	۱۶۰	۴۷۰	۴۱
۳۷	۰/۹۴۲۴	۰/۲۸۲۷	۱۸۳/۴	۵۴/۹	۱۷۳	۱۶

لوله‌های ترد (B) $RR = ۰/۰۳۴ \times (PGV)^{۰/۹۲}$

لوله‌های انعطاف‌پذیر (D) $RR = ۰/۰۱۰۲ \times (PGV)^{۰/۹۲}$

مجموع تعداد خرابی لوله‌های ترد (۷۹۱)

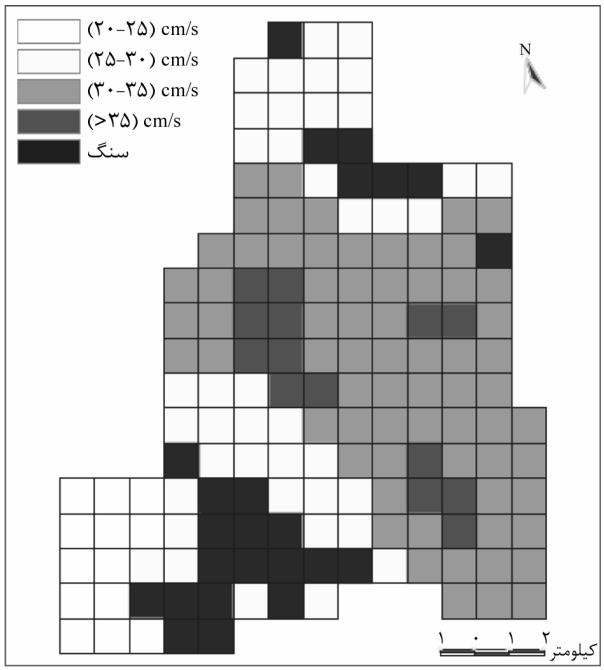
مجموع تعداد خرابیهای لوله‌های انعطاف‌پذیر (۷۲)

۸۶۳ = تعداد کل خرابیها (تعمیرات)

فاصله گسلها تا شهر و نوع لوله‌ها که تقریباً مشابه محل ارائه مدل *HAZUS* می‌باشد، استفاده از مدل *HAZUS* که حالتی متوسط نیز دارد جهت برنامه‌ریزی تعمیرات مناسب باشد، بنابراین در برآورد آسیب‌پذیری شبکه آبرسانی شهر قم از این مدل استفاده می‌گردد.

به طور خلاصه کارهای انجام شده به صورت زیر می‌باشد:

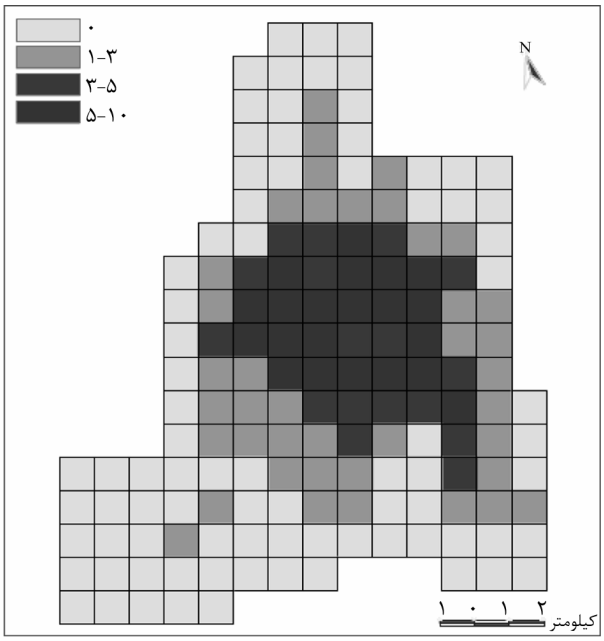
- تقسیم‌بندی محدوده مورد مطالعه به ۹۸ واحد مربعی به ابعاد یک کیلومتر در یک کیلومتر؛
- برداشت اطلاعات هرواحد مربعی شامل طول، قطر و جنس لوله‌های موجود با استفاده از نرم‌افزار *ArcGIS*؛
- برآورد سرعت (*PGV*) سطح زمین بر حسب سطح خطر ۴۷۵ سال، شکل (۳)؛



شکل (۳): *نقشه ریزپهنه‌بندی شهر قم بر حسب (PGV 475) [۵].*

- بررسی مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای شامل روانگرایی، زمین لغزش، گسلش و بررسی اثر حوزه نزدیک؛
- محاسبه آسیب‌پذیری برای لوله‌های شبکه با استفاده از فرمول ارائه شده توسط *HAZUS*، شکل (۴).

شکل (۴) نتیجه برآورد آسیب‌پذیری بر اثر تغییرشکلهای گذرا را نشان می‌دهد. همچنین برای ارزیابی آسیب‌پذیری بر اثر تغییرشکلهای ماندگار می‌بایست نقاط را به صورت موردی بررسی و محل آنها بر روی نقشه مشخص گردد [۶].



شکل (۴): *تعداد خرابی لوله‌های شبکه آبرسانی برای (PGV 475) [۵].*

شهر قم از نظر مختصات جغرافیایی میان طولهای جغرافیایی ۰۱"۴۷°۵۰ الی ۱۲"۵۶°۵۰ شرقی و عرضهای جغرافیایی ۳۴"۳۳°۳۴ الی ۵۲"۴۳°۳۴ شمالی قرار گرفته است.

۷- مشکلات عمده تعمیرات شبکه بعد از زلزله

مشکلات عمده تغییرات شبکه که بعد از زلزله روی می‌دهد عبارتند از:

- وارد آمدن آسیبهای روحی به مجموعه کارکنان شرکت آب و فاضلاب و عدم امکان آماده‌سازی سریع گروه تعمیرات؛
- دشوار بودن برآورد میزان آسیب وتصمیم‌گیری در چگونگی انجام و اولویت‌بندی تعمیرات؛
- ترافیک ناشی از امدادرسانی و وجود آوار در معابر عمومی به ویژه بر روی حوضچه‌های شیرآلات و عدم وجود معابر با عرض کافی؛
- مشکلات در انجام هماهنگی‌های لازم با بخشهای برون سازمانی؛
- عدم آشنایی گروههای تعمیرات به تأسیسات شبکه شهر.

۸- چگونگی تعمیرات کوتاه مدت بهینه

با توجه به اینکه پس از زلزله دو مرحله وجود دارد: ۱- تعمیرات کوتاه‌مدت (فوری و اضطراری) و ۲- تعمیرات بلندمدت (اساسی)، مناسبترین روش این است که در زمان تعمیرات کوتاه‌مدت ضمن انجام تعمیرات سریع، موارد تعمیرات بهینه در نظر گرفته شود، به طوری که برای تعمیرات بلندمدت نیاز به تخریب اصلاحات قبلی نباشد. از طرف دیگر در مرحله تعمیرات بلندمدت از طریق نصب وسایل و استفاده از روشهای جدید راهکارهایی در نظر گرفته شود تا در زمان بحران در کوتاهترین زمان و به بهترین شکل تعمیرات کوتاه مدت صورت پذیرد. برخی از مواردی که در تعمیرات بهینه باید در نظر گرفته شود به شرح زیر است [۶- ۷]:

- استفاده از لوله مقاوم در برابر زلزله؛
- استفاده از لوله‌ها و اتصالات انعطاف‌پذیر در برابر زلزله؛
- بهسازی بستر خطوط لوله؛
- رعایت عمق استاندارد برای کارگذاری لوله‌ها؛
- قراردادن شیرهای قطع خودکار در مسیر خطوط اصلی آبرسانی؛
- امکان ارتباط بلوکهای مستقل با یکدیگر؛
- آبرسانی از بیش از یک مسیر برای مناطق مهم؛
- در نظر گرفتن سیستم پشتیبان (بک آپ) برای خطوط مهم؛
- تقسیم نواحی آبرسانی بزرگ به نواحی کوچکتر؛
- در نظر گرفتن سیستم حلقه (لوپ) و سیستم حذفی در شبکه؛
- استفاده از راهکارهای کاهش آسیب در مجاورت گسلها.

۹- بررسی رابطه بین نیازهای آبرسانی و مدت زمان تعمیرات پس از زلزله

به منظور تعیین زمان تعمیرات شبکه آبرسانی، لازم است نخست شناختی از مدت زمان نیازهای آب در جامعه داشت. با توجه به ظرفیت روحی مردم و تجربه سایر کشورها نهایت تحمل بی‌آبی در جامعه حداکثر چهار هفته در نظر گرفته شده است. به همین جهت بایستی بلافاصله پس از تعمیرات جریان آب در لوله برقرار شود، اما باید از مردم خواسته شود تا نخست آب را جوشانده و سپس به مصرف آشامیدن و پخت و پز برسانند. بارزترین درخواستهای مردم در واحد هفته به شرح زیر است[۶]:

هفته اول: تلاش برای به دست آوردن آب، حفظ حیات؛

هفته دوم: درخواست در زمینه میزان افزایش آب، بی‌تابی و بی‌قراری

هفته سوم: درخواست پایان محدودیت تأمین آب؛

هفته چهارم: خشم و رنجش مردم (آستانه تحمل).

۱۰- برنامه پیشنهادی تعمیرات

جهت تعمیرات پس از زلزله وجود یک برنامه از پیش تدوین شده برای پرهیز از اقدامات وقتگیر، ناهماهنگ و تصمیم‌گیریهای شخصی امری ضروری است، البته بهتر است که پیش از وقوع زلزله این برنامه به صورت اجرایی در آمده و به همراه تحلیل آسیب شبکه در دسترس باشد. در زیر برنامه پیشنهادی تعمیرات ارائه می‌گردد و سپس به توضیح آن پرداخته می‌شود.

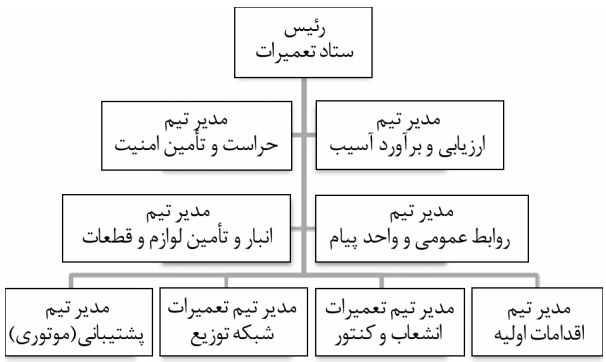
برنامه پیشنهادی تعمیرات عبارتند از:

- تشکیل و استقرار ستاد تعمیرات؛
- تعیین تیم تخصصی جهت گردآوری اطلاعات اولیه و برآورد آسیبها و نیازها؛
- اولویت‌بندی و ارائه جدول زمان‌بندی کارهای تعمیراتی؛
- تعیین پایگاههای مختلف جهت تعمیرات و بازسازی در سطح شهر؛
- تعیین شرکتهای کمکی، وظایف و چگونگی همکاری آنها؛
- تخمین، جمع‌آوری و سازماندهی نیروی انسانی متخصص مورد نیاز؛
- تخمین، تهیه و تدارک مصالح تعمیرات؛
- تخمین و سازماندهی تجهیزات و ماشین‌آلات مورد نیاز؛
- تعیین نحوه فعالیت و اطلاع‌رسانی روابط عمومی.

۱۰-۱- تشکیل و استقرار ستاد تعمیرات

۱۰-۱-۱- ساختار پیشنهادی ستاد تعمیرات شبکه آب بعد از زلزله

در برنامه تعمیرات به طور واضح رئیس، مدیران و اعضای هر تیم کاری باید مشخص گردیده و به خوبی به همه طرفهای درگیر معرفی شوند بهتر است در کلان شهرها و شهرهای بزرگ به ازای هر واحد شهرداری یک ستاد تعمیرات تشکیل شود، شکل (۵).



***شکل (۵)**: ساختار پیشنهادی ستاد تعمیرات.*

۱۰-۱-۲- معیارهای انتخاب رئیس و مدیران ستاد تعمیرات

معیارهای انتخاب رئیس و مدیران ستاد تعمیرات عبارتند از:

- دارای تجربه و شناخت از منطقه آسیب‌دیده؛
- شناخت نسبی شبکه و وضعیت و محل مخازن و خطوط اصلی؛
- شناخت و ارتباط مناسب با رؤسای سایر دستگاههای اجرایی مرتبط برون سازمانی؛
- آشنایی با سیاستهای کلان دولت در ارتباط با رویارویی با شرایط بحرانی؛
- آشنایی در مورد مدیریت بحران در حوادث گوناگون؛
- آشنایی با اصول مدیریت، داشتن تجربه مدیریت، سوابق روشن و توانایی هماهنگی؛
- ترجیحاً دارا بودن شخصیت کاریزماتیک (مرجعی)، پویا و مسؤولیت‌پذیر؛
- دارای تفکر مدیریتی و مهندسی؛
- دارای شجاعت، سرعت عمل، تیز هوشی، غیر-احساساتی بودن و قدرت تصمیم‌گیری درست.

پیشنهاد می‌گردد که رئیس ستاد، مدیر عامل، معاونت بهره‌برداری و یا معاونت مهندسی و توسعه باشد.

۱۰-۱-۳- تیمهای تعمیرات و مشخصات آنها

چهار تیم عملیاتی جهت تعمیرات شبکه‌های آب پس از زلزله پیشنهاد می‌گردد:

- تیم اقدامات اولیه؛
- تیم پشتیبانی (موتوری)؛
- تیم تعمیرات شبکه توزیع؛
- تیم تعمیرات انشعاب و کنتور.

هر یک از این تیمها دارای شرح وظایف، ترکیب و تجهیزات خاص بوده و آموزشهای ویژه‌ای را نیز باید طی کرده باشند. این تیمها در مراکز عملیاتی باید بسته به وسعت حادثه در اختیار باشند.

تیم اقدامات اولیه: اولین تیم حاضر در محل حادثه است و دارای وظایف زیر می‌باشد:

- حضور به موقع در محل حادثه؛
- قطع آب در کوتاهترین زمان و کمترین محدوده؛
- انجام اقدامات فوریتی و کنترلی جهت کاهش و رفع مشکلات روی داده؛
- اعلام قطعی آب به ستاد جهت شروع کار تیم تعمیرات؛
- رساندن آب به مناطق قطع شده پس از تعمیرات.

تیم پشتیبانی (موتوری): این تیم زیر نظر سرپرست موتوری عمل می‌کند و موظف است ابزار موتوری مانند ماشین برش لوله، موتور پمپ، موتور برق، کمپرسور و خودروهای سنگین مانند بیل مکانیکی، جرثقیل، لودر، کمپرسی، کامیون، تانکر و ... را بر حسب درخواست واحد تعمیرات به محل اعزام نماید.

تیم تعمیرات شبکه توزیع: این تیم وظیفه تعمیرات خطوط اصلی آبرسانی که شامل لوله‌های ۱۰۰ میلیمتر و بالاتر هستند را بر عهده دارد.

تیم تعمیرات انشعاب و کنتور: این تیم وظیفه تعمیرات و وصل لوله‌های انشعابات ، تعویض و اصلاح کنتورهای آب و تعمیرات لوله‌های با قطر کمتر از ۱۰۰ میلیمتر را بر عهده دارد [۶-۷].

۱۰-۲- تعیین تیم تخصصی جهت گردآوری اطلاعات اولیه و برآورد آسیبها و نیازها

وظایف تیم ارزیابی و برآورد آسیب عبارتند از:

- بازدید، بررسی و تعیین میزان آسیب ساختمانها و تأسیسات؛
- بازدید، بررسی و تعیین میزان آسیب خطوط انتقال و شبکه توزیع؛
- بازدید از محلهای تقاطع خطوط اصلی و توزیع با گسلها و مناطق دارای مخاطرات ژئوتکنیک؛
- بازدید از ایستگاههای کلرزنی و ارزیابی میزان آسیب وارده؛
- ارزیابی محدوده تحت پوشش مناطق آسیب‌دیده؛
- ارزیابی تقریبی جمعیت تحت پوشش؛
- تهیه و ارائه گزارش از حوادث و سوانح و اثرات آن به ویژه امور فوریتی که جلوگیری، ترمیم و بازسازی آنها اولویت دارد؛
- تهیه و ارائه گزارش کتبی در خصوص ارزیابی آسیبهای وارده؛

در خلال دوره بازسازی، روند کار می‌بایست هر روز برای فهمیدن فاصله به وجود آمده از برنامه زمانی، بر اساس تجزیه و تحلیل پیشرفت بازسازی شبکه آبرسانی، شرایط خطوط لوله تعمیرشده برآورد شده و برنامه تعمیرات به‌هنگام شود. مثلاً تغییر مأموریت تیمها به نواحی و افزایش یا کاهش نیروی کار برای عملیات تعمیرات به مقدار مورد نیاز توسط این تیم انجام می‌گردد.

۱۰-۳- اولویت‌بندی و ارائه جدول زمان‌بندی کارهای تعمیراتی

برنامه تعمیرات بر اساس اولویت و اهمیت به ترتیب زیر پیشنهاد می‌گردد:

- مخازن ذخیره آب، چاهها و تصفیه‌خانه‌ها؛
- خطوط اصلی که شبکه را تغذیه می‌کنند؛
- انشعابات مشترکین کلیدی و مهم، بیمارستانها، مراکز آتش‌نشانی، مراکز اسکان موقت مانند: مساجد، مدارس و ادارات که دارای اولویت اجتماعی بالا هستند.
- پیشروی از نواحی کم آسیب‌دیده به نواحی دارای آسیب بیشتر.

جهت ارائه جدول زمان‌بندی دانستن درصد تقریبی زمانهای عوامل مؤثر در تعمیرات می‌تواند مفید باشد [۶]:

- زمان رسیدن به محل تعمیر: ۱۲ درصد
- زمان بازرسی شیرها: ۴ درصد
- زمان بستن شیرها: ۱۲ درصد
- زمان تعمیرات: ۵۵ درصد
- زمان بازکردن شیرها: ۷ درصد
- زمان هواگیری: ۹ درصد

سرعت حرکت تعمیرکاران با توجه به خرابیها و ترافیک ناشی از زلزله حدود ۱۵ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته می‌شود. پایان عملیات نیز باید پس از اطمینان از کیفیت آب و عدم وجود شکست مجدد در شبکه، اعلام گردد.

۱۰-۴- تعیین پایگاههای مختلف جهت تعمیرات و بازسازی در سطح شهر

در تعیین تعداد پایگاهها باید موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

- با استفاده از نقشه تعداد خرابیها، شکل (۴)؛
- به ازای هر ۱۰ هزار انشعاب؛
- چنانچه آسیب به شبکه زیاد بود، به ازای هر ۵ هزار انشعاب؛
- در غیر این صورت، به ازا هر ۵ کیلومترمربع به یک پایگاه عملیاتی نیاز است.

پیشنهاد می‌گردد در هر پایگاه یک محل مناسب و مجهز جهت تأمین محل اقامت، لباس کار و خوراک برای پرسنل عملیات تعمیرات در نظر گرفته شود.

جهت انتخاب پایگاههای عملیاتی و تجهیز آنها، ضوابط زیر باید مد نظر قرار گیرد:

- ساختمان پایگاه در برابر زلزله مقاوم باشد؛
- پایگاههای عملیاتی پشتیبانی باید فضای کافی را برای پذیرش تجهیزات و اقلام عملیاتی را داشته باشد؛
- امکان استقرار تعمیرگاه خودروها در مکان پایگاه فراهم باشد؛

- امکان ورود و خروج تریلر و خودروهای سنگین به پایگاه فراهم باشد؛
- امکان تأمین امنیت برای امکانات و تجهیزات و نیروی انسانی میسر باشد؛
- امکان استقرار تجهیزات ارتباطی و دکل بی‌سیم میسر باشد؛
- پایگاه به آب، برق، سوخت و تلفن دسترسی داشته باشد؛
- مالکیت پایگاه مشخص و شناخته شده و محل پایگاه قابل تغییر نباشد؛
- پایگاه در مسیر جاده اصلی باشد؛
- دسترسی به تمام نقاط مرزی محدوده تحت پوشش آن تقریباً مساوی باشد؛
- در صورتی که چنین محلهایی در اختیار نباشد باید نزدیکترین محل به نقاط دارای آسیب بالا در نظر گرفته شود.

۱۰-۵- تعیین شرکتهای کمکی، وظایف و چگونگی همکاری آنها

در صورت ضعیف بودن شرکت آب و فاضلاب منطقه زلزله‌زده و یا به منظور سرعت بخشیدن به روند تعمیرات لازم است از همکاری شهرها و استانهای دیگر استفاده شود. به این منظور موارد زیر باید مد نظر قرار گیرد:

- استانهای کمکی می‌بایست با ویژگیهای اجتماعی و فرهنگی محدوده آسیب‌دیده آشنا باشند و ترجیحاً از اشتراکاتی نیز برخوردار باشند.
- موقعیت جغرافیایی تعیین شده برای استانهای کمکی در نقشه محدوده آسیب‌دیده، به موقعیت واقعی استان کمکی نزدیک باشد.
- استان کمکی از اطلاعات تخصصی و زیربنایی سیستم آب و فاضلاب محدوده تحت تأثیر حادثه مطلع باشد.
- استان کمکی زیر نظر استان آسیب‌دیده فعالیت نماید و فرماندهی این استان را پذیرفته و به آن عمل نماید.
- استان کمکی کلیه تجهیزات و لوازم مربوط را برای عملیات و پشتیبانی تیمهای عملیاتی در اختیار داشته باشد. بدیهی است انتظار نمی‌رود که استانهای کمکی در زمان حادثه لوازم و اقلام مصرفی تیمی و عملیاتی را از ستاد اصلی درخواست نمایند.
- استان کمکی مکلف است در بحث ارتباطات و مخابرات از فرکانسهای مصوب در ستاد عملیاتی استفاده نماید. شایان ذکر است که عدم توجه به این موضوع موجب تداخل فرکانسی و مخابراتی خواهد شد [۶].

۱۰-۶- تخمین، جمع‌آوری و سازماندهی نیروی انسانی متخصص مورد نیاز

برای برآورد تقریبی نیروی انسانی مورد نیاز به صورت زیر عمل می‌شود:

- باتوجه به نقشه تعداد خرابیها تعداد و نوع پرسنل لازم برای تعمیرات آسیبها مشخص گردد؛
- از گزارش تیم برآورد آسیبها و نیازها؛
- نیروی انسانی لازم را باید طوری برآورد نمود که بتوان تعمیرات اضطراری شبکه را برای وصل آب مشترکین در کمتر از چهار هفته انجام داد؛
- نیروی انسانی باید پیش از زلزله آموزشهای لازم را گذرانده و در دسترس باشند.

۱۰-۷- تخمین، تهیه و تدارک مصالح تعمیرات

برای مشخص شدن مواد و مصالح مورد نیاز از روش زیر استفاده می‌گردد:

- با توجه به نقشه تعداد خرابیها، شکل (۴)، لوله‌ها، اتصالات و سایر لوازم برآورد شده و برای تأمین آنها اقدام شود؛
- با توجه به گزارش تیم برآورد آسیبها تعداد و نوع آسیبها، فراوانی هر نوع آسیبی، مصالح مورد نیاز برای تعمیر آن برآورد می‌گردد؛
- مواد و مصالحی که تهیه آن طولانی است (مثلاً از خارج وارد می‌شود) باید پیش از وقوع زلزله به تعداد لازم در محلهای مناسب ذخیره گردد؛
- برای تهیه سایر موارد با تولیدکنندگان آنها قرارداد ویژه‌ای برای تأمین نیاز در زمان زلزله و پس از آن منعقد گردد [۶].

۱۰-۸- تخمین و سازماندهی تجهیزات و ماشین‌آلات مورد نیاز

تجهیزات و ماشین آلات مورد نیاز تیمها به طور عمده همانهایی است که در شرایط عادی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین با توجه به شرایط عادی در تعمیرات روزمره برآورد می‌گردند. البته باید توجه داشت تخریب جاده‌ها، پلها، مسیرهای ترافیکی و همین‌طور خرابی خانه‌ها و ازدحام جمعیت، تردد در شهر را مشکل می‌کند. بنابراین لازم است برای هر یک از پایگاهها، تجهیزات مورد نیاز به طور جداگانه فراهم گردد.

۱۰-۹- تعیین نحوه فعالیت و اطلاع‌رسانی روابط عمومی

روابط عمومی موظف است برای مسائلی مانند: ۱) جلوگیری از بحرانهای ثانویه پس از زلزله، ۲) اطمینان دادن به مشترکین، ۳) توصیه به رعایت اصول ایمنی و بهداشتی و ۴) ایجاد شرایط تداوم اجرای فعالیتهای تعمیراتی و انجام فعالیتهای مؤثر دیگر در مقابله با بحران، فعالیتهای خود را در قالب یک برنامه منظم و به روش جمع‌آوری و انتشار اطلاعات انجام دهد. همچنین لازم است روابط عمومی مستندسازی اقدامات تعمیرات صورت گرفته، مکاتبات، نقشه‌ها، مصوبات، صورتجلسات، مصاحبه‌ها، گزارشات و تصاویر و نظایر آن را در قالب فایلهای رایانه‌ای و لوحه‌های فشرده با داشتن کپی‌های لازم جهت تصمیم‌گیریهای بعدی در مورد بهسازی، مقاوم‌سازی، تعمیرات بلند مدت و به دست آوردن و پیشنهاد فرمولها و منحنی‌های شکست برای لوله‌های شبکه آبرسانی در ایران انجام دهد [۶، ۸].

۱۱- نتیجه‌گیری

بر اساس بررسیهای صورت گرفته در این پژوهش می‌توان نتایج زیر را عنوان نمود:

۱- لازم است تحقیق و پژوهشی جهت تهیه مدل آسیب‌پذیری شبکه‌های آبرسانی در ایران انجام گردد.

۲- لازم است بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های آبرسانی و شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و اولویت‌بندی آنها پیش از وقوع زلزله برای تمامی شهرهای لرزه‌خیز انجام گردد.

۳- تدوین برنامه و دستورالعملی کامل و اجرایی برای تعمیرات پس از زلزله برای سایر شریانهای حیاتی نیز لازم می‌باشد.

۱۲- مراجع

۱. حسینی، محمود (۱۳۷۶). مطالعه‌ای بر رفتار سیستم‌های آبرسانی در برابر زلزله، *پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله*، سال ششم، شماره چهارم.

۲. حسنی، نعمت (۱۳۸۴). بررسی میزان آسیب‌پذیری شبکه‌های آب و فاضلاب در مقابله با زلزله و راهکارهای ایمنی‌سازی، وزارت نیرو، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

3. O'Rourke, T.D. and Jeon, S.S. (2005). Northridge earthquake effects on pipelines and residential buildings, BSS A, **95**(1), 294-318.

4. HAZUS-MH MR4, "Multi-hazard Loss Estimation Methodology-Earthquake Model" Technical manual, developed by the FEMA (Federal Emergency Management Agency), Washington, D.C.

۵. کمالیان، محسن (۱۳۸۴). مطالعات زیر پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر قم، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۶. سربندی فراهانی، محمد (۱۳۸۹). *پیشنهادی جهت تعمیرات پس از زلزله برای سامانه‌های آبرسانی شهری بر اساس مطالعه موردی شهر قم*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۷. مجموعه دستورالعمل امداد و تعمیرات شبکه توزیع و انشعابات آب شرب (۱۳۸۴). شرکت آب و فاضلاب استان تهران.

۸. خباز تمیمی، م.، امیدوار، بابک و حسینی، محمود (۱۳۸۵). مطالعه‌ای در مورد آسیب‌پذیری سامانه آبرسانی بر اساس روش *HAZUS-SR2*، ویژه نامه دانش‌نما در مورد بهسازی.