

تأثیر اندرکنش لرزه‌ای شریانهای حیاتی آب و ترابری در منطقه‌ای منتخب از کلانشهر تهران

محمود حسینی

عضو هیئت علمی و مدیر گروه شریانهای حیاتی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

hosseini@iiees.ac.ir

حسین لیبی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

h.labibi@iiees.ac.ir

کلید واژه‌ها: قابلیت اعتماد، مدیریت اضطرار، آب‌گرفتگی معابر، پیشگیری از بحران، بازسازی

چکیده

امروزه از اندرکنش شریانهای حیاتی به عنوان یک پدیده مهم و شناخته شده در تعیین میزان خسارات و نحوه‌ی مدیریت شرایط اضطراری برای پیشگیری از بحران در جامعه علمی مهندسی زلزله نام برده می‌شود. بر اساس این پدیده میزان قابلیت اعتماد یک شریان حیاتی به هنگام وقوع رخداد زمین‌لرزه نه تنها به مشخصات فنی آن، بلکه به نحوه عملکرد سیستمهای مرتبط با آن نیز وابسته است. به عنوان مثال عملکرد شریان حیاتی آبرسانی به عملکرد شریان حیاتی برق رسانی وابسته است یا در صورت فروریزش یک پل در شریان حیاتی ترابری، کابلها یا لوله‌های عبور داده شده از آن دچار انقطاع می‌شوند. این پدیده علاوه بر بحث عملکردی در سرعت بازسازی شهرها پس از وقوع زمین‌لرزه نیز خود نمایی کرده و روند بازسازی شهرها را با مشکلاتی روبرو می‌کند. در این مقاله سعی شده است تا ضمن بررسی تاثیرات این پدیده بر روی سیستم آبرسانی و ترافیک منطقه‌ای منتخب از کلان شهر تهران به بررسی مشکلات ناشی از این پدیده بر روی مدیریت شرایط اضطراری برای پیشگیری از بحران پس از وقوع زمین‌لرزه و راهکارهای کاهش پیامدهای ناگوار زلزله پرداخته شود. همچنین مساله‌ی آموزش و آگاهی بخشی به مردم در مورد نحوه عملکرد در شرایط اضطراری در روند بازسازی مناطق آسیب‌دیده و مدیریت اضطرار می‌تواند بسیار تأثیر گذار باشد.

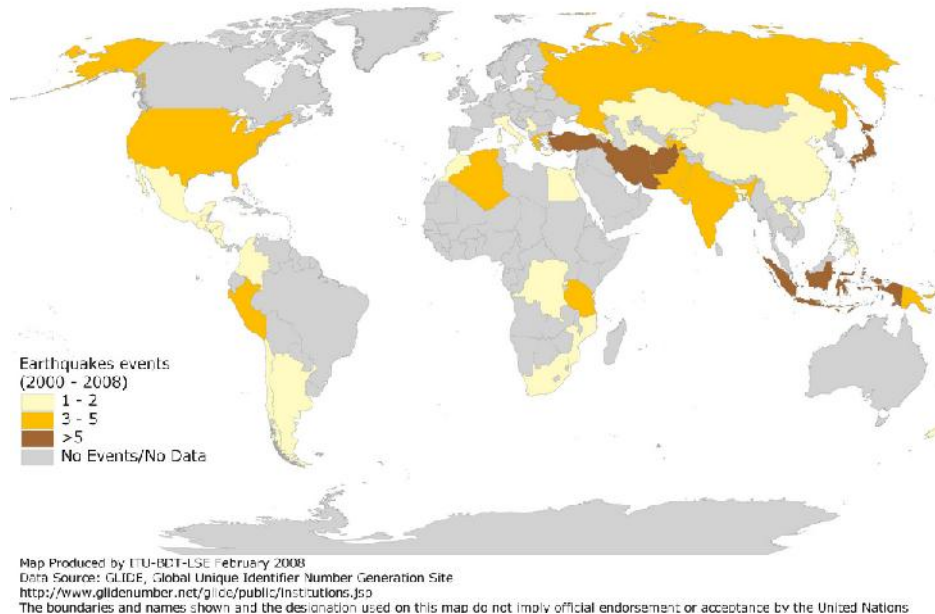
مقدمه

گستره جغرافیایی ایران از نظر وقوع انواع حوادث طبیعی از آسیب‌پذیرترین بخش‌های کره زمین می‌باشد. هرساله وقوع این حوادث موجب خسارت‌های جانی و مالی فراوان می‌شود. کشور ایران به سبب قرارگیری بر روی یکی از دو کمربند جهانی زلزله و عدم رعایت موارد صحیح در اجرای سازه‌ها در برخی موارد، بر اثر وقوع زلزله، متحمل خسارات زیادی می‌گردد به نحوی که ۱۷/۶ درصد از زلزله‌های مخرب جهان به ایران تعلق دارد که این میزان حدود سه برابر بیشتر از زلزله‌های مخرب ژاپن می‌باشد، (Mohammadzadeh, 2005). با توجه به شکل شماره (۱) ایران در مقایسه با دیگر کشورها از خطر لرزه‌ای بسیار بالایی برخوردار است این نقشه براساس میزان زلزله‌های رخ داده در کشورهای مختلف در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ تهیه شده است. طی تحقیقات صورت گرفته بر اندرکنش شریانهای حیاتی در سالهای اخیر، محققان به این نتیجه رسیده‌اند که شریان حیاتی آبرسانی تقریباً بیشترین مقدار اندرکنش را پس از وقوع زلزله با شریان‌های حیاتی ترابری داشته و عملکرد یا عدم عملکرد این شریان پس از وقوع زمین‌لرزه وابستگی زیادی به شریانهای حیاتی مرتبط دارد.

پیشینه مطالعات و معرفی مطالعه حاضر

شبکه توزیع آب شهری به عنوان یکی از گسترده‌ترین زیرساخت‌های شهری بیش از همه در معرض زلزله بوده و هست به همین دلیل تحقیقات زیادی برای مقاوم سازی و پیش‌بینی خطر لرزه‌ای و آسیب‌پذیری این زیرساخت در برابر زلزله صورت گرفته است. در سال‌های گذشته تحقیقات زیادی به صورت کلی در مورد رفتار لرزه‌ای شریانهای حیاتی و تأثیر متقابل خرابی زیرساخت‌ها و تأثیر آن بر روی کل سیستم آبرسانی صورت گرفته است. حسینی، بر روی نیازها و رهیافت‌های مهندسی زلزله‌ی شریانهای حیاتی در سال ۷۷ تحقیق نمود. در آن مقاله ضمن معرفی جامع مهندسی زلزله شریانهای حیاتی و تقسیم‌بندی شریانهای حیاتی مولفه‌های مهم آنها به بررسی ویژگی‌های شریانهای حیاتی و ارائه رهیافت‌هایی





شکل شماره ۱: میزان رخداد زلزله در کشورهای مختلف در بازه سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۰

جهت کاهش آثار نامطلوب زلزله بر مستحدمات پرداخته شد. حسینی و میرزا حسابی مشکلات ترافیکی در واکنش اضطراری آتش نشانی تهران پس از وقوع زمین لرزه‌ی احتمالی را در سال ۷۷ بررسی نمودند. در آن مقاله با توجه به اهمیت آتش سوزی و اندرکنش واکنش‌های اضطراری آتش نشانی با آن پس از یک زلزله در شهرهای بزرگ به بررسی ویژگی‌های ترافیکی و توانایی خدمت دهی شبکه ترابری آتش نشانی و مشکلات احتمالی و ارایه راهکارهایی برای کاهش مشکلات احتمالی بپردازد که با توجه به وسعت زیاد شهر تهران و مشکلات ترافیکی فراوان و نبود شبکه حمل و نقل جاده‌ای منظم به بررسی محدوده‌ی ایستگاه شماره ۱۱ تهران پرداخته است. حسینی و لیبیبی اندرکنش لرزه‌ای شریانهای حیاتی در سال ۹۳ را مورد بررسی و موشکافی قرار دادند در آن مقاله سعی شد تا ضمن بررسی تاریخچه مشکلات ناشی از اندرکنش شریانهای حیاتی به هنگام وقوع زلزله، به دسته بندی آنها و نگاهی گذرا بر تاریخچه تحقیقات صورت گرفته پرداخته شود.

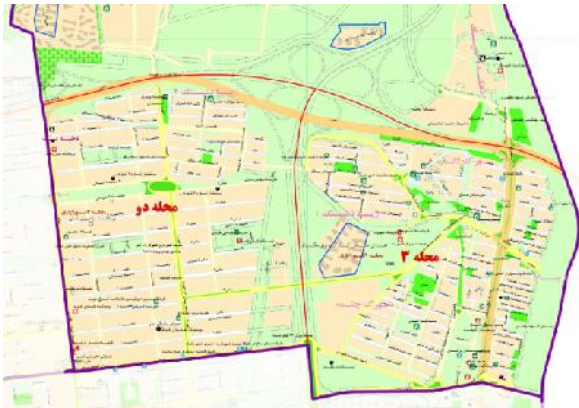
به عنوان مثال عدم عملکرد شبکه برق‌رسانی موجب عدم عملکرد ایستگاه‌های پمپاژ آب شده و متعاقباً آب کافی برای اطفای حریق در شبکه آبرسانی موجود نخواهد بود (اندرکنش شبکه‌های آب و گاز و برق) و یا شکستگی لوله‌های شبکه آبرسانی در برخی موارد موجب آبگرفتگی معابر می‌شود که این موضوع موجب سختی عبور و مرور ترافیک و انسداد مقطعی برخی معابر می‌شود (اندرکنش شبکه آب و ترابری) که این موضوع به هنگام عملیات تعمیر و بازسازی شبکه نیز موجب اختلال در جریان ترافیک خواهد شد. اختلال در جریان ترافیک خود عاملی است جهت کندی عملیات بازسازی و امداد رسانی به مجروحین و آسیب دیدگان در نتیجه مشاهده می‌کنیم که عملکرد این تاسیسات مهم زیربنایی تا چه میزان می‌تواند به یکدیگر وابسته بوده و مجموعه عملیات امداد و نجات و بازسازی شهرها را پس از وقوع زمین لرزه به تعویق بیندازد. در این تحقیق سعی شده است میزان تاثیر آب گرفتگی معابر ناحیه‌ای خاص از منطقه ۲۲ شهر تهران به عنوان منطقه نمونه شهری ناشی از آسیب پذیری لرزه‌ای شبکه آبرسانی آن ناحیه مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

معرفی منطقه مورد مطالعه و بررسی آسیب پذیری سامانه آبرسانی آن

شهر تهران به عنوان با اهمیت ترین شهر ایران از نظر سیاسی، اقتصادی، جمعیتی و اجتماعی در سطح بالایی از خطر پذیری وجود دارد همچنین از نقطه نظر زمین شناسی لرزه‌ای با وجود گسل‌های مهم و فعال در این منطقه، چندین سال است که این شهر شاهد وقوع پدیده زمین لرزه نبوده است. لذا این موضوع مزید بر علت شده و سطح خطرپذیری تهران را به عنوان مهمترین و پرجمعیت ترین شهر واقع در کمربند لرزه‌ای در ایران بسیار بالا نگه میدارد. در تمامی زلزله‌های گذشته سیستم‌های آبرسانی دچار مشکل شده و عملکرد آنها همواره دچار اختلال شده است. این موضوع با توجه به سن زیاد شبکه آبرسانی در شهر تهران اهمیت دوچندانی پیدا می‌کند همچنین با توجه به اهمیت تامین آب و نیز کنترل خسارات پس از زلزله نحوه مدیریت صحیح و موثر شبکه آب و همچنین کمی کردن پارامترهای موثر همواره مورد بحث محققان بوده است. از طرفی با توجه به سطح ترافیک موجود در خیابان‌های شهر تهران انتظار می‌رود به هنگام وقوع بحران، جریان ترافیک این شهر بطور جدی دچار مشکل شده و موجب افزایش سطح بحران و کاهش میزان امداد رسانی در منطقه شود. لذا در این تحقیق سعی شده است به طور خاص به بررسی میزان تاثیر آب گرفتگی ناشی از آسیب پذیری بخشی از شبکه آبرسانی منطقه ۲۲ تهران به عنوان منطقه نمونه شهری (واقع در بلوار دهکده المپیک مابین بزرگراه شهید همت و میدان المپیک) به هنگام وقوع زمین لرزه بر روی جریان ترافیک عبوری در بلوار دهکده المپیک پرداخته شود.



برای نیل به این هدف پس از روی هم قرار دادن نقشه شبکه آبرسانی منتخب بر روی نقشه راه‌ها و توپوگرافی منطقه به کمک نرم افزار جی آی اس موقعیت لوله‌ها، انشعابات، شیرها و خم‌ها نسبت به خیابان‌ها مشخص گردید. نقشه شبکه آبرسانی ناحیه منتخب و راه‌های منطقه در شکل (۲) و شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل ۳: نقشه ناحیه منتخب

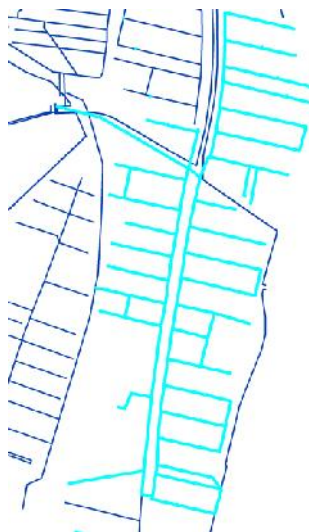


شکل ۲: نقشه شبکه آبرسانی ناحیه منتخب

پس از آن قسمتی از شبکه شامل لوله‌های آزیست با قطرهای بین ۸۰ و ۳۵۰ میلی متر جهت کنترل میزان آسیب دیدگی به صورت مجزا در نظر گرفته شد. شکل (۴). که با توجه به نقشه شبکه آبرسانی منتخب مشخصات این شبکه را می‌توان در جدول (۱) مشاهده کرد.

جدول ۱: مشخصات فنی لوله‌های شبکه منتخب

قطر لوله (mm)	مدول الاستیسیته (KPa)	ضریب پواسون	مقاومت خمشی (KPa)	طول لوله (KM)	جنس لوله
80	2.35E+08	3.00E-01	24516.625	3.845	آزیست
100	2.35E+08	3.00E-01	24516.625	1.315	آزیست
150	2.35E+08	3.00E-01	24516.625	0.880	آزیست
200	2.35E+08	3.00E-01	24516.625	0.475	آزیست
300	2.35E+08	3.00E-01	24516.625	1.786	آزیست
350	2.35E+08	3.00E-01	24516.625	0.340	آزیست
				8.64 km	طول شبکه منتخب



شکل ۴: نقشه شبکه آبرسانی منتخب

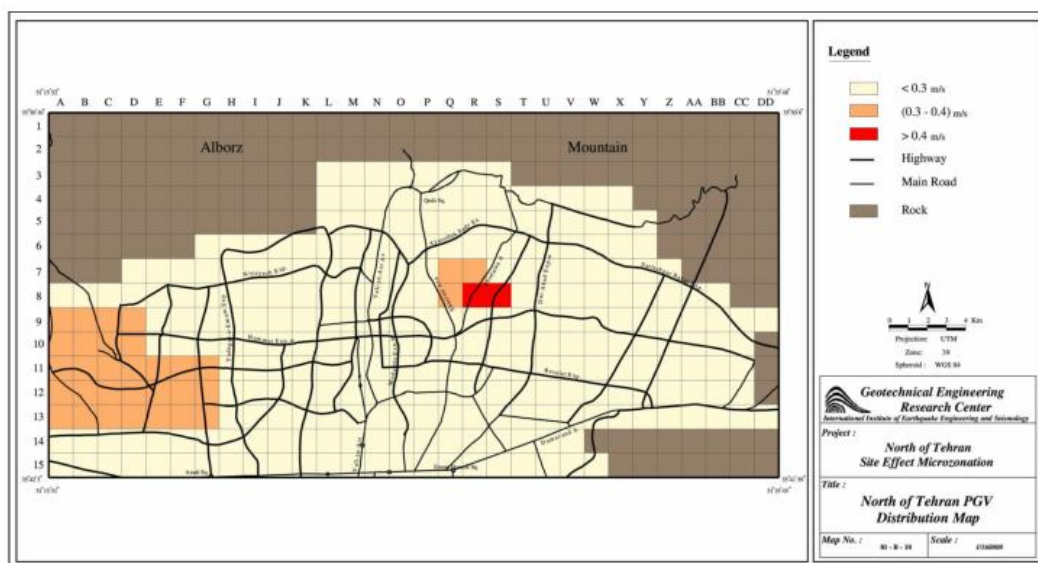
با توجه به روابط ارائه شده در جدول (۲) موجود در دستورالعمل فنی هزوس^۱ میزان آسیب دیدگی خطوط لوله بر اساس مقادیر بیشینه سرعت و بیشینه تغییر مکان هنگام وقوع زلزله در منطقه بر اساس تعداد خرابی بر کیلومتر به صورت زیر قابل محاسبه است.



جدول ۲: روابط محاسبه میزان نرخ آسیب دیدگی خطوط لوله بر کیلومتر بر اساس دستورالعمل فنی Hazus 2010

الگوریتم محاسبه آسیب برای خطوط لوله بر اساس دستورالعمل فنی هزوس ۲۰۱۰				
میزان نرخ آسیب خرابی بر کیلومتر	PGV Algorithm		PGD Algorithm	
	$R.R=0.0001 \times PGV^{2.25}$		$R.R=Prob[liq] \times PGD^{0.56}$	
نوع لوله	Multiplier	Example of pipe	Multiplier	Example of pipe
لوله های شکننده	1	CI,AC,RCC	1	CI,AC,RCC
لوله های شکل پذیر	0.3	DI,S,PVC	0.3	DI,S,PVC

با توجه به تحقیق انجام شده در پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله در مورد ریز پهنه بندی شمال تهران (Jafari,2004) طبق شکل (۵) نقشه توزیع مقادیر بیشینه سرعت در منطقه شمال تهران قابل رویت می باشد که با توجه به موقعیت مکانی ناحیه انتخاب شده، مقدار ۴۰ سانتی متر بر ثانیه به عنوان بیشینه سرعت به هنگام وقوع زمین لرزه برای ناحیه منتخب در نظر گرفته شد.



شکل ۵: نقشه توزیع مقادیر بیشینه سرعت در منطقه شمال تهران. (Jafari et al.,2004)

با توجه به نوع لوله و اطلاعات موجود از شدت زمین لرزه احتمالی در منطقه، با استفاده از رابطه (۱) میزان نرخ آسیب در شبکه آبرسانی انتخاب شده قابل محاسبه است که در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳: مقادیر میزان آسیب وارد شده به شبکه بر اساس رابطه (۱)

قطر لوله (میلی متر)	طول لوله (کیلومتر)	تعداد آسیب (تعداد بر کیلومتر)
80	3.844712166	1.547030274
100	1.315041355	0.529144628
150	0.880031111	0.354105772
200	0.474872983	0.191078772
300	1.786534113	0.718863269
350	0.339125991	0.136457074
	8.640317718	3.47667979

بررسی اثرات اندرکنشی سامانه های آب و ترابری

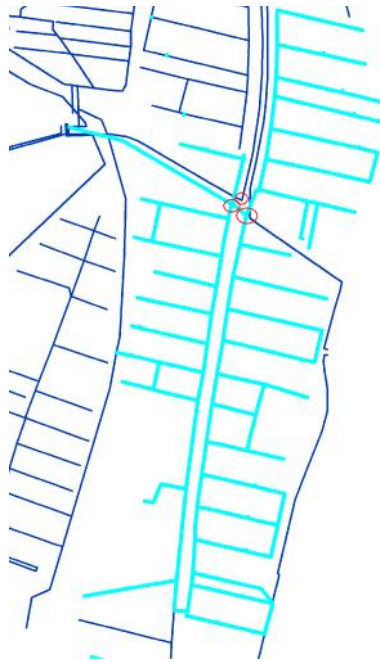
با توجه به نتایج به دست آمده می توان تعداد شکستگی های شبکه منتخب به هنگام وقوع زمین لرزه محتمل را تقریباً ۳ عدد در نظر گرفت؛ اصولاً با توجه به مدفون بودن لوله ها این تعداد خرابی ها به اتصالات تخصیص داده می شوند و با توجه به اینکه یکی از اهداف اصلی این تحقیق بررسی تاثیر میزان آبرگرفتگی معابر بر روند جریان ترافیک آنها است، محل این شکستگی ها در محل تقاطع ها و خیابان های اصلی بر اساس

شکل (۶) در نظر گرفته شد. میزان دبی خروجی از هر لوله با در نظر گرفتن فشار داخلی لوله‌ها برابر ۴ بار و با صرف نظر کردن از مقاومت خاک و نوع شکستگی طبق رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2)$$

همچنین با توجه به موقعیت لوله‌ها پارامتر عمق دفن لوله برابر ۱.۵ متر در نظر گرفته شد. پس از محاسبه سرعت خروجی آب از لوله مقدار دبی خروجی با در نظر گرفتن عدم اختلال در عملکرد ایستگاه‌های پمپاژ (فشار ثابت) از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$$Q = A \times V \quad (3)$$



شکل ۶: جا نمایی محل اتصالات آسیب دیده

با توجه به مشخصات شبکه، داده‌ها و روابط موجود میزان دبی خروجی از اتصالات شکسته شده در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴: جدول میزان دبی خروجی از محل شکستگی اتصالات

قطر لوله (mm)	(m ²)	دبی خروجی (m ³ /s)
600	0.28260	7.85
350	0.09616	2.67
300	0.07065	1.96

با توجه به شیب نسبی ۰.۸٪ در مسیر مربوطه (بلوار دهکده مابین بزرگراه شهید همت و میدان المپیک) و عدم امکان انتقال آن توسط آبراهه‌های مجاور بلوار، به نظر می‌رسد این حجم از آب به صورت رواناب در یک باند از سه خط عبوری مسیر، جاری شده و حرکت وسایل نقلیه در آن را با مشکل مواجه کرده و موجب کندی و تراکم ترافیک شود. بر اساس دستورالعمل HCM^۲ در سال ۲۰۱۰ در صورت انسداد یا عدم امکان عبور از یکی از باندهای عبور در یک راه بانده شهری میزان کاهش ظرفیت آن مسیر به میزان ۳۰٪ کاهش پیدا می‌کند. این موضوع به خصوص در شرایط بحران بسیار خود نمایی کرده و ورود و خروج مردم و وسایل نقلیه امداد رسانی از قبیل خودروهای آمبولانس و آتش نشانی را با دشواری روبرو می‌سازد که این امر موجب افزایش شدید تلفات انسانی در ساعات طلایی اولیه امداد رسانی پس از وقوع زمین لرزه می‌شود. از طرفی با توجه به شکستگی در اتصالات لوله‌های اصلی و فرعی، میزان فشار مورد نیاز جهت پر نمودن خودروهای آتش نشانی تامین نمی‌شود که این موضوع علاوه بر مساله‌ی کندی



ترافیک عبوری در منطقه موجب عدم امکان اطفای حریق ناشی از شکستگی احتمالی لوله‌های گاز شده و در نتیجه حریق به سرعت گسترش می‌یابد. محققان از این پدیده به نام اندرکنش عملکردی یاد می‌کنند و آنرا به این صورت تعریف می‌کنند که اندرکنش عملکردی عبارت است از پخش خسارت عملکردی ناشی از عدم کارکرد در شریانهای مرتبط؛ در این نوع اندرکنش عملکردی ناقص یک شریان در زمان بحران قابلیت سرویس دهی شریانهای مرتبط را کاهش می‌دهد در واقع شریانهای حیاتی که برای سرویس دهی خود نیاز به یک شریان خاص دارند، در صورت عملکرد ناقص آن شریان در سرویس دهی خود دچار مشکل می‌شوند. (Hosseini, Labibi, 2013) یکی راهکارهای حل این مشکل که توسط محققان ارائه شده است افزایش شبکه لازم و تجهیزات پشتیبانی است که مقاومت خوبی در مقابل زلزله دارند. تا بتوانند پس از وقوع رخداد زلزله نیز ایفای نقش کرده و نقصان عملکردی شریانهای حیاتی را جبران کنند.

نتیجه‌گیری

- نتایج به دست آمده از تحقیق انجام شده به صورت زیر ارائه می‌شود.
- ۱- اندرکنش موجود در شریانهای حیاتی پدیده‌ای نو، تاثیرگذار و پیچیده در زلزله‌های شهری محسوب می‌شود که بررسی و تحلیل دقیق آن در مقیاس‌های بزرگ شهری، زمان و انرژی زیادی را طلب می‌کند.
 - ۲- این تحقیق به عنوان نمونه‌ای از کل شهر تهران نشانگر این است که در صورت بروز زمین‌لرزه احتمالی، میزان تاثیر اندرکنش شبکه آبرسانی بر روی جریان ترافیک در سطح شهر قابل توجه خواهد بود.
 - ۳- پیشنهاد می‌شود بحث پیش بینی محل‌های بالقوه آسیب و اقدام به مقاوم‌سازی آنها در شبکه آبرسانی با در نظر گرفتن عمر لوله‌ها، شیرها و اتصالات، با توجه به احتمال بروز زمین‌لرزه به صورت بالقوه توسط مسولین مربوطه در کل کشور و به طور خاص در شهرهای بزرگ و پرجمعیت صورت پذیرد.
 - ۴- پیش بینی آبروهای لازم جهت هدایت و انتقال رواناب‌های سطحی بر اساس میزان دبی احتمالی امری ضروری به نظر می‌رسد.
 - ۵- پیش بینی مخازن ذخیره آب جهت استفاده برای مصارف آتش نشانی لازمه اطفای حریق در صورت عدم امکان استفاده از شبکه آبرسانی برای تامین آب مورد نیاز است
 - ۶- مکان یابی اتصالات، شیرها و لوله‌های شبکه آبرسانی با استفاده از سیستم مکان یابی جغرافیایی امروزه به صورت گسترده در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد، با استفاده از این سیستم نه تنها در شرایط عادی امکان دسترسی جهت تعمیرات و مقاوم‌سازی به سهولت امکان پذیر است، بلکه در شرایط اضطرار نیز مکان یابی سریعتر محل آسیب به شدت بر سرعت روند بازسازی تاثیر می‌گذارد. شایان ذکر است که آموزش همگانی و به کار گیری نیروی پلیس برای کاهش وخامت اوضاع در شرایط اضطراری و هدایت مناسبتر تیم‌های امدادی تاثیر به سزایی دارد. البته ارزیابی میزان این تاثیر خود یک مطالعه جداگانه را طلب می‌کند.

فهرست مراجع

- اندرکنش لرزه‌ای شریانهای حیاتی - محمود حسینی، حسین لیبی - اردیبهشت ۱۳۹۳
- مشکلات ترافیکی در واکنش اضطراری آتش نشانی تهران پس از وقوع زمین لرزه‌ی احتمالی - علی میرزا حسینی، محمود حسینی - اردیبهشت ۱۳۷۷
- مهندسی زلزله شریانهای حیاتی، نیازها و رهیافت ها - محمود حسینی - اردیبهشت ۱۳۷۷
- Bob-Lau -John. M .Eidinger,1991, Water-Power lifeline interaction
- Hazus Technical Manual, 2010
- Highway Capacity Manual, 2010
- Hirouky KAMEDA,2000,Engineerin management of lifeline systems under earthquake risk
- M.J.O'rouke,Aug2004, soil structure interaction facility for lifeline systems
- M.K.Jafari, M.Kamalian, A.Razmkhah, A.Sohrani, Aug2004, North of Tehran Site Effect Mirozonation
- M.Shinozuka,1996, Effects of lifeline interaction under seismic condition
- M.shinozuka,Aug.2004,transportation network simulation for dynamic origin destination matrix under earthquake damage



- Mahmood Hosseini .Alireza Hessabi,1999, Lifeline interaction effects on the earthquake emergency response of fire department in tehran metropolis
- Mahmood Hosseini, Oct 2008,a procedure for risk mitigation of water supply system in large and populated cities
- Mahmood Hosseini, Oct 2008,A risk management model for inter city road systems
- Mahmood Hosseini,May2003,The latest achievements in seismic evaluation methods and upgrading techniques for Gas & Water Lifelines
- R.H.Zhang,1992, Lifeline interaction and post earthquake urban system reconstruction
- S.E.Chang,1998,Measuring lifeline system performance: Highway transportation systems in recent earthquakes build on KOBE and Northridge experiences
- T. D. O'rourke, Jan. 2003,large scale of experiments of buried steel pipelines with elbows subjected to permanent ground deformation
- Tang Aiping -Ou Jingping,Aug2004, Lifeline systems interaction and their seismic performance assessments
- Yao bao hua -Xie lili -Hou Enjie,Aug2004, Study effect of lifeline interaction under seismic condition
- Yao bao hua -Xie lili -Hou Enjie,Mar2004, A comprehensive study method for lifeline system interaction under seismic condition