رویکردهای نوین در مهندسی عمران، دوره هفتم، شماره چهارم ۱۴۰۲، صفحه: ۲۷-۴۲

بررسی تاثیرات زلزله بر تونلهای شهری

جلیل هادی [*1]، ***محمد کشاورز بخشایش*** [2]

[*1] *دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- ژئوتکنیک، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران*

[2] *استادیار، گروه علوم پایه، دانشگاه پیام نور، واحد زنجان*

(jalilhadi127@yahoo.com)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۸)

چکیده

زیرساخت های حیاتی یک شهر مجموعه ای از شبکه ها و سیستم هایی هستند که در صورت نبود هریک از آنها عملکرد شهر و ارائه خدمات اولیه مورد نیاز زندگی با مشکل مواجه می شود، در صورت رخداد یک سانحه عملکرد این اجزا و شبکه ها از جمله شبکه برق، آب، حمل و نقل، مخابرات و گاز، و تقاضا جهت استفاده از آنها تحت تاثیر قرار خواهد گرفت و نقص و فقدان هر شبکه تاثیر بر عملکرد شبکه های دیگر خواهد داشت. به این شبکه ها می بایست به دید یک سیستم از سیستم ها نگاه کرد، در پژوهش حاضر به بررسی اجزای ۵ شبکه برق، آب، گاز، مخابرات و حمل و نقل پرداخته شده و اجزاء به صورت جدول مشخص شده است، در پایان به ارزیابی عملکرد زیرساخت ها در صورت رخداد زلزله پرداخته و به این نتیجه رسیده که در صورت رخداد زلزله، احتمال آسیب دیدگی با توجه به گستردگی و تمرکز زیرساخت ها و هزینه های بازسازی و مدت زمان تعمیر به چه صورتی است، ابتکار این پژوهش نگرش به زیرساخت ها به صورت دسته بندی و ارائه جداول نوین، از قبیل جداول هر زیرساخت به صورت جداگانه و تجمیع زیرساخت در یک جدول و بررسی وضعیت و احتمال آسیب پذیری آنها به صورت همزمان است.

کلمات کلیدی

زیرساخت های حیاتی، زلزله، تخلیه جمعیت، اجزاء زیرساخت ها.

Investigating the Effects of Earthquakes on Urban Tunnels

Jalil Hadi [1*]***, Mohamad Keshavarz Bakhshaesh*** [2]

[*1] *Ms.c. of Geotechnical Engineering, Department of Civil Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran*

[2] *Assistant Professor, Department of Basic Sciences, Payam Nour University, Zanjan Branch*

(jalilhadi127@yahoo.com)

(Date of received: 05/12/2023, Date of accepted: 08/03/2024)

ABSTRACT

The vital infrastructures of a city are a set of networks and systems, in the absence of any of them, the functioning of the city and the provision of basic services needed for life will face problems. In the event of an accident, the performance of these components and networks, including the network Electricity, water, transportation, telecommunications and gas, and the demand for their use will be affected, and the failure and lack of each network will affect the performance of other networks. These networks should be looked at from the point of view of a system of systems, in the current research, the components of 5 electricity, water, gas, telecommunication and transportation networks have been examined and the components have been specified in the form of a table, at the end of the evaluation The performance of the infrastructures in the event of an earthquake has been studied and it has been concluded that in the event of an earthquake, the probability of damage is what it looks like according to the extent and concentration of the infrastructures and the costs of reconstruction and the duration of the repair. The initiative of this research is the attitude towards infrastructures It is in the form of categorizing and presenting new tables, such as the tables of each infrastructure separately and aggregating the infrastructure in one table and checking their status and vulnerability at the same time.

Keywords:

Critical infrastructure, Earthquake, Population evacuation, Infrastructure components.

۱- مقدمه

شریان های حیاتی یا همان زیرساختها جزء بنیانهای اصلی و چارچوبهای پایه هر جامعه به شمار میآیند که در برگیرنده تمامی تأسیسات و تسهیلات مورد نیاز آن جامعه اند. در زندگی مدرن، با افزایش وابستگی سریع به این امکانات، این نیاز روزافزون شده است. امکان زندگی در شهرها بستگی به کیفیت و کمیت کارکرد این شریانها دارد؛ همچنین طبق تعریف سازمان امنیت اجتماعی و آمادگی شرایط اضطرار کانادا، زیرساختهای حیاتی، شبکه ها، تأسیسات و سرویسهای اطاعاتی و فیزیکی مرتبط به یکدیگر هستند که اگر منقطع یا تخریب شوند، بر روی سالمتی، ایمنی، امنیت و اقتصاد جامع تأثیر جدی خواهند گذاشت. منظور از شریانهای حیاتی، تأسیساتی است که به منظور رفع نیازها و مایحتاج ساکنان شهر از نظر تأمین آب، برق، تلفن، فاضلاب، جمع آوری آبهای سطحی و گاز به وجود می آیند و لزوم ایجاد آنها و ضابطه هایی که باید در مورد چنین تأسیساتی رعایت شود، از اهمیت و اولویت ویژهای برخوردار است. تأسیسات زیربنایی امکاناتی است که شهر باید به آنها مجهز باشد، تا بتواند روال زندگی عادی و احتیاجات بخشهای مختلف شهری مانند بخشهای مسکونی، تجاری، اداری، صنعتی و عمومی و مانند آنها را از تسهیالت بیشتری برخوردار سازد. چنین تجهیزاتی معیار سنجش گسترش شهرها از دیدگاههای مختلفی که معموال یک جامعه شهری واجد آن است، به حساب آید. در طراحی یک شهر که همه تأسیسات زیربنایی آن از قبل برنامه ریزی شده، ایجاد تأسیسات و برقراری هماهنگی در تأمین الزامات آنها میتواند طی برنامه هایی بر حسب زمان و مکان به خوبی پیشرفت نماید. ولی در مورد شهرهای موجود این مورد فرق میکند. در شهرهای موجود احداث و گسترش تأسیسات شهری، تدریجی است و تجهیز شهر در مراحل مختلف، توسط نهادها و سازمانهای گوناگون صورت میگیرد. در شهرهای بزرگ و کالنشهرها مثل کالنشهر تهران که تأسیسات زیربنایی از جمله تأسیسات برق در دوران مختلف ایجاد شده است، گسترش تأسیسات شهری که ناشی از افزایش جمعیت شهر است، مشکالت جدیدی را در شهر به وجود میآورد. این امور در زمانی که شهرها هنوز گسترش چندانی نیافته است، مسایل عمدهای را باعث نمیشود، ولی با افزایش جمعیت شهرنشین و نیاز به تأسیسات شهری، اعم از گسترش تأسیسات موجود و یا ایجاد تأسیسات جدید، گاهی مشکالت غیرقابل حل باقی می ماند و یا انواع شریانهای حیاتی عبارتند از سیستمهای آبرسانی، شبکه برق، خطوط لوله نفت و گاز، جمع آوری فاضالب و آبهای سطحی، شبکه ارتباطات و حمل و نقل. ایمنی شریانهای حیاتی در پیش و پس از بحرانهای طبیعی برای جلوگیری از تخریب و حتی به تأخیر افتادن عملکرد شریانها و بررسیهای دقیق در جهت ارتقاء ایمنی آنها امری ضروری است. یکی از شریانهای حیاتی اصلی شبکه برق است. که در ارتباط با اکثر سیستم کنترل شریانهای دیگر از قبیل ترافیک، شبکه آب و ... دارد که از کار افتادن آن می تواند بسیار پر ریسک و پر ضرر باشد، شریان حیاتی دیگری که بسیار پر خطر تلقی می شود، سامانههای خطوط انتقال گاز هستند که یکی از ویژگی های خاص این شریان قابلیت آتش گیری و انفجار آن می باشد[۱] اندرکنش این شریان ها آسیب دیدگی آنها می تواند سوانح ثانویه و افزایش تلفات سوانح طبیعی را در پی داشته باشد.

۲- مرور ادبیات

۲-۱- شبکه گاز رسانی

در این بخش به معرفی ادبیات مربوط به زیرساخت ها و معرفی بخش ها و شبکه های زیرساختی و شریان های حیاتی پرداخته می شود. شبکه برق و اجزای تشکیل دهنده آن سیستم شبکه برق را می توان به سه بخش تولید، انتقال و توزیع دسته بندی نمود، انرژی با ولتاژ متوسط در نیروگاه ها تولید و با تبدیل به سطوح ولتاژی بالاتر توسط خطوط فوق فشار قوی (EHV) فشار قوی(HV) انتقال و به پست های کاهنده رسیده و در سطح ولتاژ توزیع بدست مشترکین می رسد . با توجه به بررسی انجام شده درتحقیقات انجام شده اجزای شبکه برق به همراه اجزای زیرمجموعه آن به صورت منسجم مشخص نشده بود لذا بر اساس مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال سیستم های کنترل و اتوماسیون در پست های فشار قوی و همچنین پرسش از اساتید و صاحب نظران، جدول (۱) تدوین شده است. [۲].

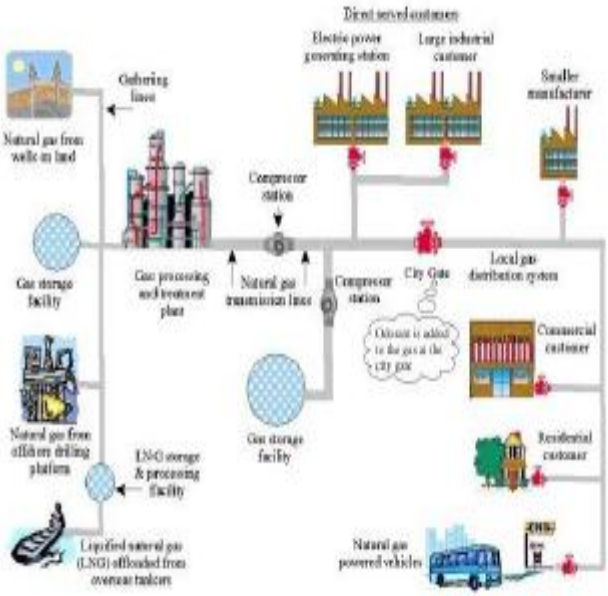
جدول ۱: اجزاء شبکه برق و زیر مجموعه ها.

بررسی اجزاء شبکه برق							
تولید		انتقال		توزیع			
اجزاء اصلی	زیرمجموعه	اجزاء اصلی	زیرمجموعه	اجزاء اصلی	زیرمجموعه		
توربین و ژنراتور	پره های ثابت و متحرک	پست انتقال برق	ترانسفورماتور	ترانسفورماتورهای توزیع	ترانس		
	یاتاقان های ژورنال[۲۴] تراس		کلیدها		برق گیر		
	موتور تحریک		بریکرها		کپسول رطوبت گیر		
	سوویچ گیرمدول		سکسینیورها				
سامانه سوخت رسانی	پمپ ها	خطوط انتقال	دکلهای انتقال انرژی	دکل و تیرهای برق	تیرهای برق		
	مخازن سوخت		مقره های عایقی		هادی های برق		
سامانه خنک کننده	رادیاتورها		کابل های حامل انرژی		کابل ها		
	پمپ های خنک کننده (دیلوج و استروج)	تجهیزات اندازه گیری	سامانه های ارتباطی	تجهیزات کنترل و اندازه گیری سامانه توزیع	فیوز ها		
	فن های پیکولر		سامانه های پایش		کنتورها		
واحدهای شیمیایی	مخازن مواد شیمیایی (اسید و قلیایی)		سامانه های پردازش				
ترانس ها	ترانس استیشن	سامانه های کنترلی و حفاظتی	مرکز کنترل				
	ترانس یونیت		رله های حفاظتی				
	بریکرها		کلید زنی اتوماتیک				
اتاق راه اندازی (کوپه اکسسوری)	گیربکس						
	پمپ ها (هیدرولیک و AC)						
	ترک کانورتور						

مطابق جدول شماره ۱ اجزاء اصلی شبکه برق به ۱۲ جزء اصلی تقسیم شده است. اثر زلزله بر روی هر قسمت خسارات مختلفی ایجاد می کند با توجه به وابستگی و اهمیت و ابعاد بخش های اصلی، خسارت در اجزاء تاثیرات مختلفی بر روی عملکرد شبکه باقی می گذارد، مراکز تولید انرژی الکتریکی که حجم زیادی از توان مصرفی شبکه را به صورت متمرکز تولید کرده به عنوان یکی از اجزای آسیب پذیر شبکه برق شناخته میشوند؛ زیرا درصورت خروج یک ژنراتور بزرگ در شبکه ظرفیت سامانه انرژی الکتریکی صدها مگاوات کاهش خواهد یافت. این مراکز به دلیل اهمیت باالیی که در شبکه دارند به طور طبیعی دارای تمهیداتی جهت مقابله با تهدیدات طبیعی هستند، از این رو کمتر مورد آسیب تحت اثر حوادث طبیعی و انسان ساخت قرار می گیرند [۳]. یکی از اصول پدافند غیرعامل مقاوم سازی و استحکام در سازه های اساسی و زیرساختی است که برای اعمال پدافند غیرعامل در تولید انرژی الکتریکی در برابر حوادث طبیعی (سیل، زلزله و ...) پیش از ساخت نیروگاهها، ابتدا مکانیابی با توجه به تمامی پارامترهای زیر صورت می گیرد و حتی االمکان مکانی انتخاب گردد که سیلگیر نباشد، دارای زمین سست نباشد و بر روی گسل نیز قرار نداشته باشند [۴].

پستهای انتقال برق نیز به دلیل اهمیت بالایی که در سامانه برق دارند همواره در معرض آسیب دیدگی هستند و این بحث در پست های فشار قوی ملموس تر است. از جمله دلیلی که باعث افزایش حساسیت پست های برق رسانی می شود میتوان به وجود تجهیزات مهم و اساسی در این مراکز و همچنین مدت زمان زیادی که جهت جایگزینی آنها الزام است اشاره کرد. اهمیت این زیرساخت وقتی مشخص تر می شود که به حوادث رخداده بپردازیم به عنوان مثال پست انتقال برق در سن جوز آمریکا در سال ۲۰۱۳ تحت اثر حمله مهاجمین و از کار افتادن ۱۷ ترانسفورماتور آن پست انتقال گردیدند که حدود ۱۶ میلیون دلار برآورد خسارت شده است از طرفی عالوه بر هزینه سنگین تجهیزات تخریب پست موجب از کارافتادگی ۲۷ روزه کامل آن پست گردید و سبب قطعی برق مناطق بسیاری از آن ایالت به مدت یک ماه شد [۴]. خطوط انتقال انرژی الکتریکی نیز مطابق آمار

همواره در معرض بیشترین حمالت تروریستی و حوادث و آسیب ها بوده و تهدیدات طبیعی مانند طوفانها و یخبندانها نیز ازجمله عوامل طبیعی دردسرساز برای این بخش از شبکه برق محسوب می شوند. سامانه های برق به شدت به مراکز کنترل خود وابسته هستند. کامپیوترها، تجهیزات سنجش از راه دور، فیبر، رادیو و خطوط اختصاصی تلفن از جمله تجهیزات این مراکز هستند که به طور مداوم برای نظارت بر عناصر شبکه برق و انتقال اطالعات حیاتی به مرکز کنترل استفاده می شود. وظیفه این مراکز ایجاد هماهنگی در بهره برداری بهتر و حفظ قابلیت اطمینان آن است، از دست رفتن این مراکز که به نوعی مغز سامانه محسوب می شوند منجر به ایجاد آسیب های اساسی و مخرب در شبکه می شود [۵]. تجهیزات توزیع نیز قسمت آخر شبکه توزیع می باشد که این تجهیزات برق را از پست ها و ایستگاه انتقال خطوط و ایستگاههای فشار متوسط شبکه به تمام مشترکین انتقال می دهد. تعداد اجزای سامانه توزیع بیشتر و ظرفیت کمتری نسبت به اجزای سامانه انتقال دارند و قطعات یدکی به طور کلی در این بخشها بیشتر است. آسیب دیدن اجزای سامانه توزیع می تواند موجب بروز مشکالتی در تامین برق مشترکین گردد اما این مشکالت معموال امکان کنترل بیشتری نسبت به اختالالت و خرابی بر روی سامانه های انتقال و یا ایستگاه های تولید دارند؛ مگر اینکه منجر به قطع برق مراکز بحرانی و حساس در سامانه توزیع شود و یا تعداد و شدت آسیب ها به گونه ای باشد که درصد زیادی از شبکه کارایی خود را از دست دهد [۵]. شبکه گاز و اجزای تشکیل دهنده آنشبکه گازرسانی نیز از سه قسمت اصلی تولید، انتقال و توزیع تشکیل شده است، گاز طبیعی از طریق خطوط لوله انتقال از منبع به نقاط توزیع منتقل می شود . اجزای این مجموعه شامل خطوط لوله (مدفون یا سطحی) ایستگاه های فشار(تقلیل یا تقویت)تجهیزات ذخیره سازی (منابع ذخیره سازی) زیرزمینی، تجهیزاتLNG و ترمینال مربوطه، تجهیزات اندازه گیری و کنترل سیستم های توزیع، سوپاپ ها، رگالتورها، سیستم کنترل و ارتباطات و تجهیزات تعمیر و نگهداری می باشد که شکل زیر شبکه گاز را به صورت شماتیک نشان می دهد. همانطور که در شکل۱ نمایش داده شده است قسمت تولید در سمت چپ چه به صورت استخراج و تولید باشد یا واردات به صورت کشتی های LNG به سیستم یک پاالیشگاه وارد می گردند سپس پس از فیلتراسیون از طریق خطوط انتقال گاز پرفشار انتقال داده می شوند، در بین مسیر نیز ممکن است در برخی مخازن تعبیه شده ذخیره شوند، در بین مسیر نیز خطوط تنظیم فشار و کمپرسورها موجود است که از افت فشار جلوگیری نماید، و ئر قبل از ورودی شهر به دروازه شهر می رسد که در این مرحله در ایستگاه ورودی شهر گاز با بو می شود تا در صورتی که نشتی در شهر رخ دهد قبل از انفجار و آتش سوزی و ایجاد خسارت کشف و رفع و رجوع گردد، پس از آن به مناطق و مشتریان به وسیله خطوط انتقال داده می شود.



شکل ۱: نمایی از شبکه گاز رسانی.

اگر بخواهیم این شبکه را نیز به صورت جدول اجزاء مشخص کنیم به صورت زیر می توان دسته بندی نمود. ایستگاههای تقلیل فشار جزو مهمترین بخش های شبکه گازرسانی می باشد که در بیرون شهر و یا در دروازه های شهری بنا می گردد. ۷ نوع دسته بندی برای ایستگاه ها وجود دارد از قبیل ایستگاه دروازه شهری (C.G.S) این ایستگاه ها معمولاً از خطوط انتقال منشعب می گردند، بنابراین فشار ورودی آنها همان فشار خط انتقال می باشد که به لحاظ انشعاب گیری از خطوط انتقال آنها را می توان در زمره ایستگاه های بزرگ محسوب نمود. این ایستگاه ها دارای رگلاتور یا دستگاه کاهنده بوده و با کاهش فشار از psi 1000به حدودpsi250 ، بیشتر در ورودی شهرها مورد استفاده واقع می شود. در این نوع ایستگاه از دو رگلاتور استفاده می شود. ایستگاه های نوعTBS عالوه بر فیلتر و کنتور، دارای رگلاتور یا دستگاه کاهنده فشار بوده و با کاهش فشار ازpsi250 به psi 60، استفاده می گردد. در این نوع ایستگاه از یک رگلاتور استفاده می شود. این نوع ایستگاهها براساس ظرفیتشان بیشتر در مبادی ورودی گاز در شهرهای کوچک و روستاها یا جهت استفاده درشبکه داخلی صنایع و واحدهای تجاری ومسکونی بزرگ نصب می گردند. ایستگاه هایTBS از دو قسمت با کلاسهای ۳۰۰ و۱۵۰ تشکیل می شوند که قسمت ورودی ایستگاه کلاس ۳۰۰ و قسمت خروجی کلاس ۱۵۰ می باشد. ایستگاه های اندازه گیری و تقلیل فشار (M.R.S) معمولاً ایستگاه هایی که از فشار خط تغذیه و یا شبکه انشعاب گیری و یا در طی یک مرحله به شکست فشار منتهی می گردند و در ضمن عملیات اندازه گیری حجم نیز در آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. ایستگاههای تقلیل فشار نوعTBS -CGS از نوع ایستگاه ها ترکیبی از دو نوع ایستگاهCGSو ایستگاهTBSاست و دارای یک رگلاتور اضافی است که طبیعتا می بایست در دومرحله، فشار را کاهش دهد. این ایستگاه فشار را از1000 psi به حدود60 psi می رساند. در این نوع ایستگاه از3 رگلاتور استفاده می گردد، ایستگاه تقلیل فشار (R.S) یک عنوان کلی که معموال در ایستگاه های تقلیل فشار از60 Psi به2 ،15 و 30 Psi استفاده می گردد. ایستگاه های اندازه گیری(M.S) ایستگاه هایی که در آنها فقط عملیات فیلتراسیون و اندازه گیری حجم گاز تحویلی انجام می گردد و در فشارهای1000 ،250 و60 Psi وجود دارند. مطابق مطالعات خطر آتش سوزی در صورت رخداد زلزله با سه سناریو مطابق روش شبیه سازی مونت کارلو در یکی از مناطق شهری صورت پذیرفت. آسیب پذیری شبکه گازرسانی و احتمال آتش سوزی به صورت زیر پیش بینی گردیده است. در دو سناریوی اول حداقل4 نشت و1 شکست و2 اشتعال ناشی از انشعاب خطوط20 و30 اینچی در منطقه رخ خواهد داد و قریب به مساحت41 هزار مترمربع دچار آتش سوزی در هر کدام از سناریوها خواهد شد و سناریوی سوم فقط یک شکست رخ خواهد داد و قابل صرفه نظر کردن می باشد، البته الزم به ذکر است. است. در ارزیابی صورت گرفته فقط المان های خطوط لوله درنظر گرفته شده و به علت کمبود اطالعات از انواع مختلف شیرها و زانوئی ها و موارد دیگر صرفنظر شده است که می توان گفت حداقل آسیب برآورد گردیده است [۱]. مطابق بررسی انجام شده، پس از رخداد انفجار در منطقه5 در محدوده میدان شهران، خطر وقوع حادثه پس از زلزله در خطوط گاز می بایست به صورت جدی تر مدنظر قرار گیرد در حادثه28 خرداد1395 در منطقه شهران در اثر نشست زمین لوله ی گاز دچار شستگی گشت و با توجه به مجاورت شبکه انتقال برق و آسیب دیدگی آن نیز دچار انفجار شدید گردید که موجب حفر گودال عظیمی در وسط میدان شد و قرار داشتن تونل مترو در زیر آن سبب شد آتش بیشتر به سمت تونل گسترش پیدا کند و تنها 2 ساختمان در مجاورت میدان دچار آتش سوزی گردید، اداره گاز با تعلل45 دقیقه ای نسبت به قطع گاز اقدام نمود که خود جای نگرانی است، این حادثه موجب قطع جریان برق، گاز، آب و تلفن در منطقه شهران شد [۶] که خود زنگ هشداری بر خطرات نشست و انفجار در شبکه گازرسانی است. طبق بررسی به عمل آمده در تهران در صورت وقوع زلزله شد احتمال وقوع حریق ها و انفجارات گسترده بسیار زیاد می باشد که علیرغم انجام اقداماتی ایمنی از قبیل قطع اتوماتیک جریان از طریق رگلاتورهای نصب شده بر روی علمک های گاز، یکی از علل بروز نگرانی امکان قطع گاز در لوله کشی های داخلی، شبکه توزیع و خرجی های ایستگاه تقلیل فشار است. که عمدتا به صورت دستی و منوط به حضور و اقدام پرسنل اداره گاز می باشد که در صورت رخداد زلزله، قطع به موقع و حاضر شدن در محل بسیار سخت خواهد بود [۷].

۲-۲- شبکه آب، شبکه توزیع و اجزای تشکیل دهنده آنها

بخش های مختلف یک سیستم آبرسانی شامل منابع آب، سیستم انتقال آب، تصفیه خانه آب، مخازن آب و شبکه توزیع آب می باشد .منابع آب شامل منابع آب سطحی مانند رودخانه، سد و دریاچه و منابع آب زیرزمینی مانند چاه، چشمه و قنات می باشد.یکی از رخداد هایی که پس از بروز زلزله مشاهده می شود، تغییر خواص و ویژگی های آب زیرزمینی به علل مختلف از قبیل جابه جایی های زمین و الیه های خاکی، آزاد شدن بخش قابل توجهی گوگرد و کدورت آب، جابه جایی ترازهای سطح آب و حتی خشک شدن یکسری از چاه ها هستیم که خود می تواند معضلی در تامین آب باشد بنابراین صرف درنظر گرفتن قابلیت استفاده از چاه ها بدون تصفیه آب عدم قطعیت فراوانی دارد و می بایست مورد تحلیل و بررسی دقیق تری قرار گیرد برای نمونه می توان به آسیب دیدگی سیستم آبرسانی شهر بم در زلزله ۱۳۸۲ اشاره کرد که تا قبل از رخداد زلزله منابع آب شهر با استفاده از ۱۲ حلقه چاه عمیق فعالیت می کرد، در بررسی پس از ۲۴ ساعت گزارش شده که در اثر زلزله سه حلقه از چاه ها به همراه پمپ ها و پست برق و لوله های ارتباطی سالم مانده بود (۲۵ ٪ قابلیت بهره برداری) و از روز دوم پس از زلزله شروع به کار نموده است [۸]. جدول شماره ۲ اجزاء شبکه آبرسانی را به اختصار نمایش می دهد.

جدول ۲: اجزاء شبکه آبرسانی.

بررسی اجزاء شبکه آبرسانی				
منابع آب	سیستم انتقال آب	مخازن آب	تصفیه خانه ها	شبکه توزیع
سدها	لوله های انتقال آب	پمپ ها	خطوط داخلی	لوله های آبرسانی
چاه ها	کانال های انتقال آب	مخازن آب	تاسیسات گندزدایی	شیرها
دریا			مواد شیمیایی	پمپ های شبکه
			برق اضطراری	کنتور و تجهیزات اندازه گیری

سیستم انتقال آب شامل مسیر انتقال آب بین منابع آب، تصفیه خانه و مخازن آب می باشد تصفیه خانه آب در صورتی که منبع آب کیفیت الزم را نداشته باشد جهت تصفیه آب تا حد استاندارد مورد نیاز به کار می رود. تصفیه خانه ها به دلیل تمرکز و اهمیت بسیار زیادی که در سیستم آبرسانی دارند تضمین کیفیت آب پتانسیل بسیار باالیی برای بروز بحرانهای وسیع در جوامع دارند، نوسانات آب هرچند کوتاه و اندک می تواند تاثیرات بسیار زیادی در توزیع آب داشته باشد، مطابق بررسی انجام شده در صورت آسیب دیدن تصفیه خانه ها خسارات شدید اقتصادی و جانی در بر خواهد داشت [۹]. در زلزله بم سیستم تصفیه آب (کلر زنی) دچار آسیب شد که به علت اعزام افراد آموزش دیده و با تجهیزات کامل نشت کلر به سرعت مهار شد و امکان وقوع مسمومیت توسط گاز و فاجعه انسانی دیگر ممکن بود [۸] . مخازن آب به منظور ذخیره آب و همچنین در بسیاری مواقع تامین فشار شبکه توزیع آب به کار می رود و شامل مخازن آب زمینی و هوایی می باشد. الزم به ذکر است. در ۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۹ مطابق اعالم قائممقام شرکت آب و فاضالب استان تهران، اجرای طرح آبرسانی اضطراری شهر تهران تا افق طرح ۱۴۰۳ در ۳۷۴ نقطه از شهر تهران این مخازن ساخته خواهد شد. همچنین تجهیز مخازن بتنی ذخیره آب شرب به دریچه قطع و وصل خودکار، تاکنون روی دو مخزن این تجهیزات نصب شده و تا پایان سال روی ۳۰ مخزن دیگر نیز نصب خواهد شد، نصب این تجهیزات روی مخازن بتنی این امکان فراهم را میسازد تا هنگام وقوع زلزله جریان آب به صورت خودکار قطع شود، با در مدار بهرهبرداری قرارگرفتن ۳۷۴ مخزن آبرسانی اضطراری، تجهیز ۱۲۰ مخزن توزیع آب بتنی و ۱۵۰ حلقه چاه آب شرب، در مجموع حدود ۶۵۰ پایگاه مخازن آبرسانی برای شرایط اضطراری در است.ان تهران با نگاه توزیع عادالنه در افق طرح خواهیم داشت. همچنین در تاریخ ۲۴ مهر ۱۳۹۸ مدیرعامل شرکت آب و فاضالب است.ان تهران بیان نموده که اگر تعداد مخازن برنامهریزی شده که تعداد آنها ۳۷۴ مخزن است، به بهرهبرداری برسد، میتوان آب شرب ۹ میلیون نفر را در سه روز تامین کرد. لازم به ذکر است. با توجه به توضیحات فوق در صورت بهره برداری کامل مخازن هم در شرایط پس از زلزله و در صورت عدم رفع مشکالت ایجاد شده و تعمیر خرابی ها بیش از ۳ روز عمال نیاز آب آشامیدنی تامین نخواهد شد و این موضوع می بایست بیشتر بررسی گردد،

در پژوهش حاضر یکی از دالیل مدنظر که سبب تصمیم و صدور فرمان تخلیه خواهد بود قطع آب و عدم بازگشت پذیری تا یک هفته و بیشتردر نظر گرفته شده است. شبکه توزیع آب نیز در جهت انتقال و توزیع آب برای مصرف کنندگان به کار می رود. در گزارش رخداد زلزله بم باتوجه به اینکه لوله های آب از جنس آزبست سیمانی بوده، ۶ نقطه شکست لوله های اصلی براورد گردیده است. و قابل توجه آن است. که تیم بازیابی شبکه آب به علت عدم مجهز بودن به دستگاههای نشت یاب .و همچنین نداشتن پمپ سیار جهت تخلیه آب فرآیند بازیابی و تعمیر طوالنی گردید و آبرسانی به علت قطع آب به وسیل تانکرهای آب شهرهای مجاور انجام می گرفت شکستگی خطوط آب در شبکه حمل و نقل نیز موجب ایجاد انسداد در برخی کوچه ها شده بود. اجزای شبکه توزیع آب شامل لوله ها، شیر، پمپ و مخازن می شوند. در بررسی آسیب پذیری شبکه آب همانطورکه در جدول شماره ۳ مشاهده می شود بیشتر آسیب پذیری لوله های مدفون طی زلزله های گذشته ناشی از بیرون کشیدگی اتصاالت بوده که عامل اصلی این بیرون زدگی ها هندسه لوله (قطر لوله) می باشد که هرچه قطر بیشتر بوده سطح تماس بیشتری با خاک داشته و نیروی بیشتری به لوله انتقال می یابد، در مدل ارزیابی خسارت ارائه شدهHAZUS-SR یک عامل اصلی برای میزان آسیب پذیری لرزه ای لوله های مدفون نیروهای ناشی از بیشینه سرعت زمین مطرح می شود که فاصله از گسل بسیار اهمیت پیدا می کند [۱۰].

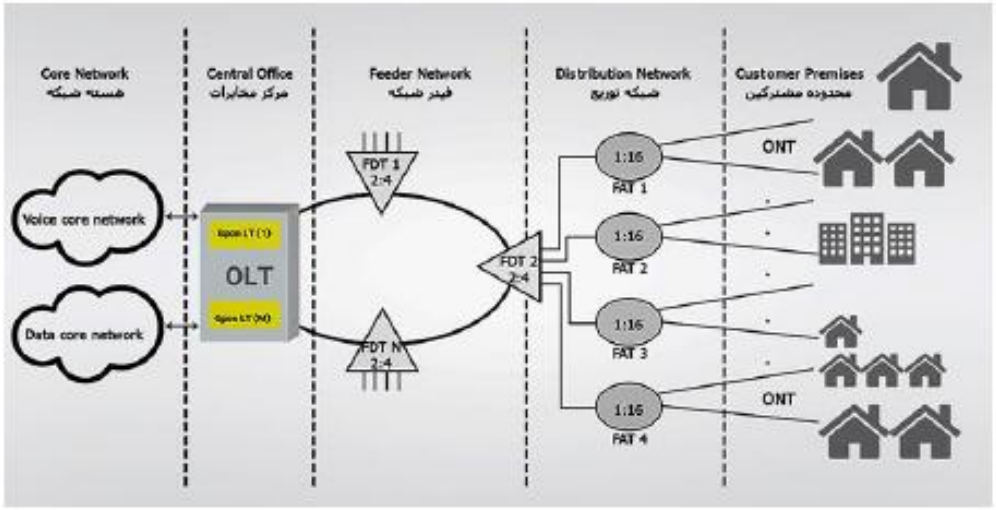
جدول ۳: نمونه های آسیب پذیری سامانه ابرسانی در زلزله های گذشته [۱۱].

زلزله	نحوه آسیب به شبکه
زلزله ۱۹۶۴ نی گاتا ژاپن	بیرون کشیدگی اتصالات، گسیختگی لوله ها و خرابی اتصالات توپی
زلزله ۱۹۷۱ سان فرناندو	بیرون زدگی اتصالات، ترک خوردگی خطوط لوله چدنی
زلزله ۱۹۷۵ هایچینگ چین	شکست در لوله ها
زلزله ۱۹۷۸ میاگی – کن – اکی، ژاپن	شکستگی لوله های مدفون در اثر پدیده روانگرایی
زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی	بیشترین خسارت در اقطار کوچک لوله ها
زلزله ۱۹۹۴ نورتریج	خرابی خطوط انتقال در محل گسل ها
زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن	آسیبهای عمده به محل اتصالات، تغییر شکل و کمانش در لوله ها، بیشترین آسیب به لوله های آزبست سیمان وارد شد
زلزله ۱۹۹۹ کوجایلی ترکیه	آسیب به خطوط انتقال بتنی، آسیب به خطوط لوله در اثر روانگرایی، حرکت گسل، گسترش جانبی و تکانهای شدید زمین
زلزله ۱۹۹۹ جی جی تایوان	آسیب در اثر شکنندگی و در رفتگی در اتصالات
زلزله ۲۰۰۳ بم	خرابی در منهول ها و شکست در اتصال لوله ها به منازل
زلزله ۲۰۰۴ نیگاتای ژاپن	آسیب گسترده به منهول ها در اثر روانگرایی، خسارت به لوله های آزبستی

۲-۳- *شبکه مخابرات و اجزای تشکیل دهنده آن*

ارتباطات در شرایط بحرانی یکی از ابزارهای الزم برای آگاهی یافتن و آگاهی رساندن از وضعیت بحران است [۱۲]. حفظ ارتباطات در شرایط بحران اهمیت زیادی دارد، زیرا همه افراد به طور خودکار خواستار اطالع از وضعیت نزدیکان خود هستند و تماس و استفاده از زیرساختهای ارتباطی افزایش تصاعدی می یابد. در این شرایط زیرساختهای شبکههای ارتباطی معموالً زیر بار حجم تقاضا قادر به حفظ کیفیت خود نیستند در حالیکه نهادهای متولی فوریتهای امدادی همچون نیروی انتظامی، آتشنشانی، هالل احمر و اورژانس باید به ارتباطاتی پایدار دسترسی داشته باشند، فناوری فعلی این دستگاهها در حد ارتباطات بیسیم معمولی است که عالوه بر تداخل بسامدی، بسیاری از قابلیتهای الزم برای امدادرسانی نظیر اشتراکگذاری اطالعات متنی و تصویری مانند مکان جغرافیایی را نداشته و اطالعات مورد نیاز برای تسریع و اولویت بندی امدادرسانی در فناوری فعلی ارتباطی این دستگاهها قابل دریافت نیست، اطالعاتی مانند نقشه ساختمانی که دچار حریق شده، دسترسی آنی به پایگاه اطالعات سوءسابقه و چهره نگاری و دسترسی به اطالعات تصویری فرد نیازمند فوریتهای امدادی میتواند جان نیروهای امدادی و انتظامی و افراد نیازمند کمک را از خطرات متعدد حفظ کند و فرایند امداد و نجات را سرعت ببخشد. در حقیقت، متولیان فوریتهای امدادی و انتظامی برای استفاده از خدمات پیشرفته ارتباطی در این شرایط مانند دیگر کاربران هستند و کندی و قطعی شبکه های ارتباطی عمومی

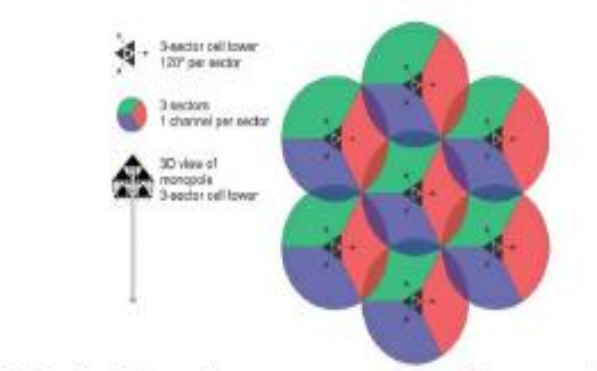
شامل آنها نیز می شود. برای رفع این مشکل در مطالعات اخیر، ایجاد یک اپراتور اختصاصی سرتاسری و اختصاص بسامد جدید و خدمات اینترنت پهن باند برای تأمین نیازهای ارتباطاتی این نیروها پیشنهاد شده است [۱۲]. شبکه های مخابراتی فعلی که توسط متولیان امداد و نجات و فوریتهای انتظامی استفاده میشوند به دلایل مختلف نظیر مشکلات ناشی از تداخل بسامدی، عدم تعریف بسامد مشترک برای ایجاد هماهنگی بین سازمانهای متولی فوریتهای امدادی و ظرفیت پایین فرکانسهای فعلی پاسخگوی نیازهای عملیاتی در شرایط بحران نیست. بنابراین، ایجاد یک اپراتور اختصاصی سرتاسری، اختصاص بسامد جدید و خدمات اینترنت پهن باند برای تأمین نیازهای ارتباطاتی نیروهای امدادی در شرایط بحران نیز موضوع مهمی به شمار میرود. سازمان های امدادی همچون اورژانس و آتش نشانی خواستار اختصاص باندهای بسامدی بیشتر و ارتقای فناوری ارتباطی خود هستند. این در حالی است. که طیف بسامدی یکی از منابع ملی کشورها محسون شده و استفاده بهینه از آن میتواند موانع فنی و مالی الزم برای تحول فناوری ارتباطات بخش فوریتهای امدادی و انتظامی را فراهم آورد. اجزاء شبکه ارتباطات شامل دو دسته اجزاء شبکه خطوط تلفن ثابت و شبکه ارتباطات بیسیم و تلفن همراه متفاوت می باشد، برای شبکه خطوط تلفن ثابت را مطابق شکل شماره ۲ می توان به هسته شبکه، مرکز مخابرات، فیدر شبکه، شبکه توزیع، محدوده مشترکین دسته بندی نمود.



شکل ۲: نحوه عملکرد شبکه مخابرات از هسته شبکه تا ارائه مشترکین.

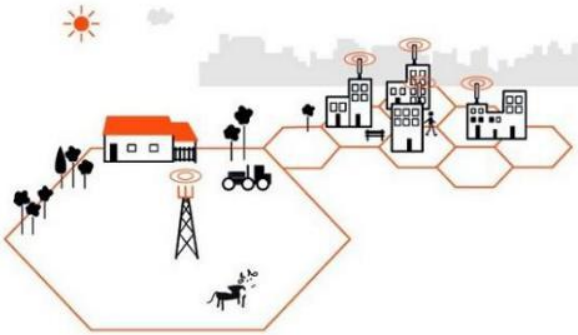
برای شبکه تلفن همراه و اینترنت الزم است در نظر داشته باشید طریقه کار به صورت امواج رادیویی و فرکانس می باشد که فضای فرکانسی اختصاص داده شده به ارتباطات تلفن همراه، طیف فرکانسی مشخصی را شامل می شود که اساساً یک منبع محدود به شمار می رود. این محدودیت از لحاظ فرکانس و در نتیجه توان یا برد هر فرکانس نیز با محدودیت هایی همراه است. که در حالت عادی استفاده ی اینهمه کاربر از این فضا را غیر ممکن می کند. از همین رو شبکه ی سراسری موبایل بنا به دلیل باال و دالیل دیگری که در ادامه توضیح داده می شود، با کمی همپوشانی به محدوده های مشخص جغرافیایی به نام سلول تقسیم می شود که هر یک توسط حداقل یک دستگاه ترانسیور یا همان فرستنده و گیرنده ی ثابت پشتیبانی می شوند. همین ایستگاه ثابت فرستنده یا گیرنده یاBTS است، که پوشش الزم برای برقراری ارتباطات صوت، دیتا و غیره را در محدوده ی سلول خود فراهم می کند.از زمان پیدایش سیستم ارتباطی سلولی تاکنون، در اساس معماری آن تغییر چندانی رخ نداده است. با این تفاسیر به اینجا می رسیم که پوشش سراسری تلفن های همراه در یک محدوده ی وسیع جغرافیایی مثل یک شهر، از کنار هم قرار گرفتن تعداد زیادی سلول (با یک یا چند ایستگاه ثابت در هر یک) شکل می گیرد که هر کدام شعاع مشخصی را تحت پوشش خود قرار می دهند، ایستگاه فرستنده و گیرنده ی ثابت شبکه ی موبایل(BTS) به تجهیزاتی گفته می شود که در محدوده ی سلول، امکان ارتباط بی سیم بین تجهیزات کاربر)مثل موبایل(و یک شبکه ی ارتباطی را از طریق امواج فراهم

می آورد از آنجایی که این فناوری در شبکه های مختلفی چون GSM،CDMA ، وای فای و وایمکس کاربرد دارد، اصطالح BTS را می توان برای همه ی این شبکه ها صحیح دانست.



شکل ۳: نحوه عملکرد شبکه سلولی مخابرات به وسیله آنتن ها در محیط های شهری [۱۲].

مطابق شکل شماره ۴ این تفاسیر ظرفیتی که در یک محدوده ی جغرافیایی مثل یک منطقه از شهر در اختیار کاربران تلفن همراه قرار می گیرد، به اندازه ی سلول های آن منطقه نیز بستگی خواهد داشت. ظرفیت هر سلول نیز به واسطه ی پهنای باند در دسترس و تجهیزات عملیاتی آن تعیین می شود. بنابراین اپراتور های تلفن همراه باید اندازه ی سلول های شبکه ی موبایل خود را با در نظر گرفتن تقاضایی که برای ترافیک موبایل در آن محدوده وجود دارد تنظیم کنند. مثالً در مناطق پرتراکم شهری هرچه تعداد آنتن ها بیشتر و سلول ها متراکم تر باشند، سرویسی که به کاربران موبایل ارائه می شود بهتر خواهد بود. اما در مناطق روستایی معمولاً نیازی به این کار نیست [۱۲].



شکل ۴ : نمایش تعداد آنتن مورد نیاز بر اساس تراکم و تقاضای شبکه در محیط های پرتراکم و فضاهای کم تراکم روستایی.

با توجه به ساختار شبکه تلفن همراه و ارتباطات قاعدتا در صورت تماس همزمان و افزایش تقاضا و بدون حتی آسیب به آنتن های مذکور شبکه دچار مشکل می شود، برای مثال در شش ماهه نخست سال ۱۳۹۹ به دلیل شیوع کرونا و افزایش خانه نشینی و دورکاری استفاده از اینترنت بیشتر شد و همین سبب آن گردید که حتی اگر نزدیک دکل مخابراتی نیز باشید اینترنت باز هم ضعیف باشد، این مسئله همانطور که در قبل نیز اشاره شد بستگی به فرکانس های ارتباطی دارد که می بایست ساختار و زیرساخت های آن فراهم گردد.

۲-۴- شبکه حمل و نقل و اجزای تشکیل دهنده آن

در بین زیرساختهای مهمی که زندگی شهری به آن وابسته است، مراکز، تجهیزات و تأسیسات زیرساخت حمل ونقل به دلیل نقش مهم آن در زندگی بشر از اهمیت اساسی بیشتری برخوردار است، به عبارت دقیقتر، نقش شبکه حمل ونقل در شهرها همانند رگهای بدن انسان حیاتی است. از این رو بررسی و ارزیابی شیوه های تأمین امنیت این مراکز و زیرساختها در مقابل رخداد سوانح و تهدیدات نظامی و تروریستی گامی مهم در قالب اصل پیشگیری مدیریت بحران محسوب می شود [۱۳]. شبکه حمل و نقل شامل انواع حمل و نقل از جمله زمینی)جاده ها، راه آهن، مترو و ..(، هوایی، دریایی در شهرهای ساحلی می شود که هر کدام دارای اجزای به خصوصی است. و هرکدام هم به نحوی در امدادرسانی، بازیابی و تعمیرات زیرساخت ها و شبکه های حیاتی آسیب دیده دیگر و حتی در صورت نیاز تخلیه جمعیت تاثیرگذار است.. در این پژوهش حمل و نقل زمینی علی الخصوص جاده ها و بزرگراه ها مدنظر می باشد و بررسی سایر روش های حمل و نقل می بایست به صورت جداگانه پرداخته شود شبکه ی حمل و نقل جاده ای شهر به صورت جدول شماره ۴ دسته بندی می گردد.

جدول ۴: بررسی اجزاء شبکه حمل و نقل.

بررسی اجزاء شبکه حمل و نقل			
راه ها	ابنیه فنی (وسایل نقلیه)	ابنیه فنی (عابر پیاده)	تجهیزات کنترل
راه اصلی درجه ۱ (آزادراه)	پل ها	پیاده رو	مراکز کنترل
راه اصلی درجه ۲ (بلوار و بزرگراه ها)	تقاطع های غیرهمسطح	پل عابر پیاده	چراغ های راهنمایی رانندگی
راه های فرعی درجه ۱ (خیابان ها)	تونل	مسیر دوچرخه	دوربین های ترافیکی
راه های فرعی درجه ۲ (کوچه)	ایستگاه های حمل و نقل عمومی (تاکسی و اتوبوس)		
تقاطع های همسطح			
راه ها و لاین های ویژه جهت مسیر اتوبوس های BRT ویا مسیر امداد و اضطراری			

اجزای شبکه حمل و نقل به صورت اجزای مرتبط به هم به گونه ای عمل میکنند که در صورت آسیب به یک قسمت در کل جریان اثر خود را می گذارد، در واقع پسزدگی ترافیکی یا به عبارتی اشباع ظرفیت ترافیک را در بر دارد، مطابق تعاریف ترافیکی، حداکثر ظرفیت مسیرهای یک تقاطع را برحسب تردد اشباع تعریف می کنند، تردد اشباع هر مسیر عبارتست از حداکثر تردد وسایل نقلیه از خط توقف آن مسیر در مدت یک ساعت، با فرض آنکه در تمام این مدت چراغ سبز باشد و وسایل نقلیه در آن مسیر بتوانند پی در پی از صف وسایل نقلیه موجود در پشت خط توقف جدا شوند و بگذرند. متاسفانه مقاالت چندانی در خصوص تاثیر ترافیک و پس زدگی ترافیکی پرداخته نشده است. لکن براساس واقعیت و وضعیت موجود در صورت انسداد یک مسیر اصلی، بار ترافیکی در مسیرهای مجاور پخش می شوند، عالوه بر آن در صورت انسداد قسمتی از مسیر به صورت گلوگاهی ظرفیت عبوری به شدت کاهش پیدا کرده و در تمام امتداد مسیر تاثیر می گذارد، البته الزم به ذکر است. بر اساس بار ترافیکی معمولی و ظرفیت جذب مسیر روزانه تردد ظرفیت روزانه مشخص است و در صورت اعالم به موقع از حجم ترافیک و تقاضای سفر در مسیرها می توان کاست. شرایط بحرانی می تواند مستقیما بر ظرفیت راه اثر گذارد، هر چند که ممکن است. عدم کارآیی راه در شرایط بحرانی به دالیلی غیر از کاهش ظرفیت نیز باشد. به عنوان مثال، در زلزله دی ماه سال ۱۳۸۲در بم، جاده ارتباطی با مرکز استان آسیب چندانی ندیده بود، اما به دلیل حجم باالی ترافیک برای کمک رسانی به منطقه (با استفاده از شیوه های هوایی، ریلی و جاده ای) عملکرد راه موجود نامناسب بود [۱۳] در صورت وقوع بحران، ممکن است. بخشی از راه تخریب یا بسته شود که در این حالت عمال ماهیت ترافیک عبوری و شرایط عملکردی راه تغییر خواهد کرد. این وضعیت ممکن است. در محلهای گوناگون (خطوط عبوری، شانه راه و ابنیه فنی) و با شدتهای متفاوت)میزان خرابی در عرض و طول راه(اتفاق افتد، در نتیجه تخریب بخشی از راه، ظرفیت نیز به عنوان معیاری تأثیر گذار بر عملکرد راه دچار اختالل شده و با توجه به محل و شدت

انسداد ممکن است. کاهش یابد. در پژوهشهای مرتبط با بررسی عملکرد شبکه های حمل ونقل جاده ای در صورت وقوع بحران که به دو گروه کلی مطالعات پیش و پس از بحران (از جهت زمان انجام مطالعه نسبت به زمان وقوع بحران)تقسیم میشوند، ظرفیت راه یکی از موارد اثرگذار در تحلیل ها شناخته میشود. مطالعات بسیاری شرایط پس از بحران را مورد مطالعه قرار داده اند که در بیشتر آنها ظرفیت به عنوان یک متغیر برونزا مطرح بوده است، به طور مشخص بررسی تغییرات ظرفیت راه به عنوان یکی از عوامل تأثیر گذار بر عملکرد شبکه کمترموردتوجه قرارگرفته است..طبق آیین نامه ظرفیت راهها آمریکا ظرفیت باقیمانده راه پس از وقوع حوادث به صورت غیرخطی با انسداد فیزیکی خطوط تغییر می کند. جدول زیر مقدار ظرفیت باقیمانده آزادراه را با توجه به تعداد خطوط عبور در حالت عادی (پایه) و موقعیت انسداد نشان می دهد. الزم به ذکر است که مقادیر ظرفیت در این جدول برای طول مدت زمان حادثه تعیین شده اند. جدول ۵ نسبت ظرفیت باقیمانده آزادراه با توجه به تعداد خطوط مسدود شده را نشان می دهد.

جدول ۵: درصد ظرفیت باقیمانده آزادراه براساس تعداد خطوط مسدود شده و تعداد خطوط عبوری.

موقعیت و مقدار انسداد	تعداد خطوط عبور (باند) پایه در هر جهت						
	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸
شانه راه	۸۱	۸۳	۸۵	۸۷	۸۹	۹۱	۹۳
یک باند	۳۵	٤۹	٥۸	٦٥	۷۱	۷٥	۷۸
دو باند	۰	۱۷	۲٥	٤۰	٥۰	٥۷	٦۳
سه باند	-*	۰	۱۳	۲۰	۲٦	۳٦	٤۱

* غیرقابل محاسبه

مطالعه آیین نامه ظرفیت راهها آمریکا اگرچه توانست تا حدود زیادی برآوردی از ظرفیت پس از بحران را ارایه کند،ولی تنها برای آزادراه ها صورت گرفته است.. عالوه بر این، مسدود شدن خطوط را به صورت صفر و یک در نظر می گیرد؛ یعنی یا یک خط کامال مسدود شده است و یا کامال جریان در آن وجود دارد [۱۴]. در پژوهش صورت گرفته ظرفیت راه پس از وقوع بحران به صورت تابعی از ظرفیت پایه راه در شرایط عادی و ضرایب تأثیر باند، شانه و ابنیه فنی در نظر گرفته شده و با استفاده از رابطه زیر که جنبه نوآوری این مقاله است. پیشنهاد شده است.

$$C_d = C_b * f_n * f_{lc} * f_s \qquad (۱)$$

که در این رابطهCd ظرفیت راه پس از وقوع بحران وCb ظرفیت پایه راه در شرایط عادی (مستخرج از آیین نامه ظرفیت راههای آمریکا) وfn وfIC وfs به ترتیب ضرایب تاثیر خرابی عرض باند بر ظرفیت، خرابی عرض شانه راه بر ظرفیت و ضریب تاثیر خرابی پل یا تونل بر ظرفیت است. که بر اساس شبیه سازی صورت گرفته در پژوهش محاسبه می شود .به منظور ارزیابی تأثیر مقادیر گوناگون شدت خرابی و محل وقوع انسداد بر ظرفیت راه و محاسبه ضرایب رابطه در این پژوهش، از مفهوم گلوگاه ترافیک و مدل شبیه سازی خرد ترافیک استفاده شده، به این ترتیب که فرض شده پس از وقوع بحران، خرابی راه همانند گلوگاه عمل کرده و باعث اختالل در عملکرد راه و کاهش ظرفیت شده است. . براساس مطالعات شبیه سازی [۱۴] نتایج به صورت خالصه و تلفیق صورت گرفته توسط نویسندگان مطابق جدول شماره ۶ تهیه شده است. که نمایانگر درصد باقیمانده ظرفیت آزادراهها و بزرگراه ها بر اساس تعداد خطوط است.

جدول ۶: ظرفیت عملکرد باقی مانده آزادراه و بزرگراه تحت اثر میزان خرابی از کل عرض باندها.

تعداد خط در یک جهت (n)	نوع راه شهری (محور)	میزان خرابی از کل عرض باندها (درصد)									
		۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
۲	آزادراه	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۹۷	۰.۹۷	۰.۹۱	۰.۴۱	۰.۴	-	-	-
	بزرگراه	۰.۹۹	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۳۸	۰.۳۶	۰.۳۵	-	-	-
۳	آزادراه	۰.۹۸	۰.۹۷	۰.۸۵	۰.۸	۰.۶۶	۰.۶۶	۰.۳۹	۰.۳۶	-	-
	بزرگراه	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۸۲	۰.۸	۰.۶	۰.۶	۰.۳۵	۰.۳۲	-	-
۴	آزادراه	۰.۹۸	۰.۹۷	۰.۸	۰.۷۹	۰.۷۹	۰.۵۹	۰.۴۲	۰.۲۷	-	-
	بزرگراه	۰.۹۹	۰.۹۸	۰.۸۵	۰.۷۴	۰.۵۵	۰.۴۶	۰.۳۴	۰.۱۹	-	-
خرابی شانه راه	آزادراه	۱	۱	۰.۹۹	۰.۹۹	۰.۹۹	۰.۹۸	۰.۹۷	۰.۹۷	۰.۹۷	۰.۹۶
	بزرگراه	۱	۱	۰.۹	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۹۷	۰.۹۵	۰.۹۴	۰.۹۴	۰.۹۴

با مقایسه دو جدول شماره ۵ و شماره ۶ مشخص می شود در صورتی که در یک آزادراه یک الین(معادل30% کل مسیر) با 3 خط مطابق راهنمای ظرفیت بزرگراه های آمریکا، ظرفیت باقی مانده عبوری به49% کاهش پیدا می کند و مطابق بررسی خرابی به صورت درصدی، ظرفیت و توانایی عبور به85% کاهش پیدا می کند و به نظر می رسد با توجه به مشاهدات شیوه و نحوه رانندگی در ایران که در یک مسیر حرکت نمی کنند و در نقاط گلوگاهی به صورت فشرده تر رانندگی می نمایند، نتیجه حاصل از روش محاسبات به صورت درصد خرابی معتبر و قابل پذیرش تر باشد. از محاسبات فوق در تاثیر ریزش آوار و انسداد قسمتی از مسیرهای بزرگراهی می توان استفاده نمود، مطابق بررسی های صورت گرفته قبلی در صورت رخداد زلزله جادهها عموماً با شکست زمین و گسل، تحت تأثیر قرار میگیرند. خسارتهای بزرگراهها (جاده ها)، شامل خسارتهای سطحی و تخریب شیبهای مجاور یا دیوارهای حائل میباشد همچنین تخریب زیرگذرها یا ساختمانها، حتی اگر بزرگراهها خسارت ندیده باشند، سدی از ترافیک را ایجاد مینماید. در مطالعات جایکا خیابانها را به چهار دستهٔ راههای تخلیه یا فرار، راههای حمل و نقل اضطراری، راههایی که فوراً برای شرایط اضطراری توسعه مییابند و دیگر راهها طبقه بندی میشود و ترافیک (مانند حجم، جهت) و ویژگیهای جاده (مانند کاربری زمین، خطر سقوط ساختمان ها و پلهای موجود(را به عنوان مشخصه هایی برای ارزیابی مناسب وزن دهی عوامل، مدنظر قرار داده است. در کشورهایی همچون ایران، تجربیات مخاطرات طبیعی نشان میدهد که مدیریت و تصمیم گیری پیش از وقوع زلزله و پس از آن، بسیار حائز اهمیت است. بسیاری از مناطق قدیمی شهری در ایران، از جاده ها و خیابانهای باریک رنج میبرند. این وضعیت نه تنها ممکن است برای حمل و نقل مشکالتی را ایجاد نماید؛ بلکه بر فعالیتهای پاسخگویی اضطراری پس از زلزله به علت انسداد جاده ها به وسیلهٔ آوار نیز تاثیر میگذارد. در زلزله منجیل سال ۱۳۷۰ و بم سال ۱۳۸۲تقریباً، تمام جادههای باریک در شهرها تا حدودی یا به طور کامل مسدود شدند و این خود سبب شد تا عملیات امداد و نجات و تخلیه به تأخیر افتد. در پژوهش ارزیابی فضایی کارایی شبکه ارتباطی دورن شهری برای امدادرسانی بعد از وقوع زلزله نیز به این نتیجه رسیده اند که باید تراکم ساختمانی و جمعیتی در معابر کم عرض کاهش یابد و از افزایش درجهٔ محصوریت و ساختن ساختمانهای مرتفع در مسیرهای آسیب پذیر جلوگیری به عمل آید [۱۵]. نتایج مطالعات ، بیانگر این نکته است که متاسفانه در شهرسازی و توسعه فضاهای شهری الگوهای شهرسازی به درستی رعایت نشده و تراکم های احداث شده با عرض معابر تناسب کافی ندارد لذا در صورت وقوع زلزله ریزش آوارها سبب مسدود شدن بسیاری از معابر فرعی درجه ۱و ۲ و حتی قسمت هایی از معابر اصلی درجه ۲ (بلوارها و بزرگراه ها) خواهد شد [۱۶-۱۸].

۳- جمع بندی و نتیجه گیری

با بررسی اجزاء ۴ شبکه های زیرساختی آب، گاز، مخابرات و حمل و نقل و بررسی جزئیات اجزاء می توان شبکه های مذکور برای سه زیر ساخت گاز، برق و آب را به سه بخش اصلی تولید و انتقال و توزیع تقسیم نمود و با توجه به جزئیات اجزاء اشاره شده گستردگی، احتمال آسیب با توجه به تمهیدات درنظر گرفته شده بر اساس اهمیت زیرساخت، هزینه بازسازی در صورت آسیب و زمان مورد نیاز جهت تعمیر و بازسازی را به صورت جدول شماره دسته بندی نمود.

جدول ۷: بررسی وضعیت اجزاء زیرساخت ها و احتمال آسیب در زلزله.

بررسی اجزاء زیرساخت ها			
شبکه گاز، برق و آب (تولید)/ شبکه حمل و نقل(تقاطع های غیرهمسطح)			
گستردگی اجزاء	احتمال آسیب	هزینه بازسازی در صورت آسیب	زمان مورد نیاز جهت تعمیر و بازسازی
کم	خیلی کم	بسیار زیاد	چندین ماه
شبکه گاز، برق و آب (انتقال)			
گستردگی اجزاء	احتمال آسیب	هزینه بازسازی در صورت آسیب	زمان مورد نیاز جهت تعمیر و بازسازی
متوسط	کم	متوسط	چند هفته
شبکه گاز، برق و آب (توزیع) / شبکه مخابرات / شبکه حمل و نقل(راه ها و تقاطع های همسطح و چراغ های راهنمایی رانندگی)			
گستردگی اجزاء	احتمال آسیب	هزینه بازسازی در صورت آسیب	زمان مورد نیاز جهت تعمیر و بازسازی
زیاد	زیاد	کم	چند روز*

*بستگی به تعداد و میزان آسیب دیدگی دارد و به هفته و چندین ماه نیز ممکن است برسد.

همانطور که در جدول شماره ۷ مشخص است گستردگی اجزاء تولید کم و به صورت متمرکز است، همچنین هزینه و ارزش تجهیزات تولید بسیار باالست اما به علت اهمیت این زیرساخت ها، معموال قبل از ساخت به گونه ای طراحی شده اند که در مقابل زلزله های بزرگ مقاوم باشند یا از گسل های اصلی فاصله داشته باشند، لذا احتمال آسیب این زیرساخت ها خیلی کم می باشد ولی در صورت بروز حادثه هزینه بازسازی بسیار باال بوده و چندین ماه زمان نیاز خواهد داشت و خسارات حاصل از آن نیز به شدت باال خواهد بود ، در ساختار زیرساخت ها، هرچه به سمت شبکه توزیع پیش می رویم به گستردگی و احتمال آسیب شبکه اضافه شده و از هزینه بازسازی در صورت آسیب و زمان مورد نیاز جهت تعمیر کاسته می شود، در شبکه توزیع گستردگی بسیار زیاد است، هزینه بازسازی اجزاء توزیع به نسبت پایین تر از اجزاء تولید و انتقال بوده و زمان بازسازی در صورت کم بودن تعداد پایین است. اندرکنش زیرساخت ها نیز مطلب مهم دیگری است که می بایست در پژوهش های دیگری به صورت مفصل به آن پرداخته شود و تاثیر اجزاء زیرساخت ها بر هم محاسبه گردد. با توجه به جمیع مطالب بیان شده می توان به این نتیجه رسید که برای کاهش هزینه و زمان مورد نیاز جهت بازسازی و تعمیرات پس از آسیب دیدگی پنج زیرساخت بررسی شده، می بایست بر اساس اهمیت اجزاء و همچنین بر اساس احتمال آسیب برنامه ریزی الزم را انجام داد و تا حد کافی نسبت به حذف خطرات ممکن و جلوگیری از آسیب اقدام نمود و همچنین مطابق بررسی زیرساخت حمل و نقل و بررسی تناسب ارتفاع ساختمان های ساخته شده در معابر کوچک، می توان به این نتیجه رسید که طراحی توسعه شهری و شهرسازی بر اساس اصول می تواند سبب توسعه پایدار شهرها شود.

۴- مراجع

۱- صادقیان، ع.، و امیدوار، ب.، ۱۳۹۲، **ارزیابی ریسک آتش سوزی شبکه گاز در کاربری های مختلف شهری پس از زلزله با درنظر گرفتن اندرکنش آن با شبکه برق)مطالعه موردی منطقه20 تهران**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۲- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور - وزارت نیرو - شرکت توانیر.، ۱۳۸۸، **مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال سیستم های کنترل و اتوماسیون در پست های فشار قوی(نشریه۲-۵۰۳)**، http://tec.mporg.ir

۳- اسکندری، م.، امیدوار، ب.، و توکلی ثانی، م.، ۱۳۹۳، **تحلیل خسارت شریان های حیاتی با درنظر گرفتن اثرات وابستگی در اثر حمالت هدفمند**، دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، ۱۹، (مطالعه موردی شبکه آب و برق در یک منطقه شهری).

۴- حق مرام، ر.، و رحمانی، ه.، ۱۳۹۴، **شناسایی تهدیدات تروریستی در یک شبکه برق و بهره گیری از منابع تجدیدپذیر به همراه خازن گذاری به منظور تقویت سطح پدافند غیرعامل**، فصلنامه علمی - ترویجی پدافند غیرعامل، ۲۱، ۷۹-۸۶.

۵- پالیزوان، م.، و دشتی، ر.، ۱۳۹۷، **مقاوم سازی زیرساخت های شبکه برق با استفاده از روش های پدافند غیرعامل**، فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل، ۳۶، ۵۷-۶۷.

۶- همشهری، ن. م.، ۱۳۹۵، **انفجار گاز در شهران؛ حادثهای که زود مهار شد**، تهران: سایت همشهری آنالین. بازیابی از https://www.hamshahrionline.ir/news/337360/

۷- بختیاری، س.، ۱۳۸۶، **بررسی حوادث حریق ناشی از زلزله درجهان و تهیه راهنمای حفاظت ساختمانها در برابر آتش با در نظر گرفتن خطرات و تخریب های احتمالی ناشی از زلزله**، پژوهشکده سوانح طبیعی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی.

۸- سازمان مدیریت بحران کشور، ۱۳۸۴، **گزارش شناسایی زلزله۵ دیماه۱۳۸۲ بم**، سازمان مدیریت بحران کشور.

۹- رودباری، س.، نکوئی، م.، و طاهرخانی، ر.، ۱۳۹۶، **ارزیابی آسیب پذیری اجزای سامانه آبرسانی**، فصلنامه علمی تخصصی مهندسی و مدیریت ساخت، ص.. ۳۳

۱۰- رهنما, ر., راستی, ر., حسنی, ن., و قیاسوند, م.، ۱۳۹۴، **بررسی آسیب پذیری لرزه ای شبکه آبرسانی منطقه ۱۱ تهران جهت مقاوم سازی**، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ی پنجم، شماره چهارم.

۱۱- احمدیان، ر؛ امیدوار، ب؛ مهردادی، ن. ۱۳۹۲، **ارزیابی خسارت شبکه های فاضالب در اثر زلزله های گذشته و معرفی شبکه فاضالب مناسب برای مناطق زلزله خیز**، سومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، http://www.civilica.com/Paper-ESPME03-ESPME03_532.html

12- K.Anchan.، و G، Tsirtsis.، A، Casati.، S، Tatesh.، M، Dolan.، T، Doumi, 2013, **LTE for public safety networks**، IEEE Communications Magazine, 106-112

۱۳- زرقانی، س.، امینی، م.، و رمضانی، م.، ۱۳۹۶، **تحلیل اصول و ملاحظات امنیتی در زیرساخت حمل ونقل شهری در کلانشهرهای ایران**، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی.doi:10.18869/acadpub.geores.32.3.88

۱۴- ممدوحی، ا.، مسعودی، م.، ماهپور، ع.، نوروزعلیائی، م.، و پوریاری، م.، ۱۳۹۲، **برآورد ظرفیت راه در زمان وقوع بحران با استفاده از شبیه سازی گلوگاه ترافیک**. فصلنامه مهندسی حمل و نقل،۴، ۳، ۲۶۳-۲۷۳.

۱۵- سالکی ملکی، م. ع.، ولی بیگی، م.، قاسمی، م.، ۱۳۹۲، **کارایی فضایی شبکه ارتباطی به منظور امدادرسانی بعد از وقوع زلزله (مطالعه موردی: شهرک باغمیشه تبریز)**. فصلنامه امداد و نجات،۳، ۷۵-۸۵.

۱۶- نورائی، ه.، رضایی، ن.، عباسپور، ر. ع.، ۱۳۹۰، **ارزیابی و تحلیل مکانی کارایی شبکه های ارتباطی محلی پس از زمین لرزه از منظر پدافند غیرعامل**، مجله علوم و فناوریهای پدافند غیرعامل، ۳،۱۵۱-۱۶۰.

۱۷- مهدوی نژاد، م. ج.، جوانرودی، ک.، ۱۳۹۱، **بررسی آسیب پذیری ناشی از زلزله در شبکه های ارتباطی تهران بزرگ)مطالعه موردی: خیابان ولیعصر شمالی-میدان ولیعصر تا چهارراه پارک وی**، دوفصلنامه مدیریت بحران، ۱، ۱۳-۲۱.

۱۸- شیعه، ا.، حبیبی، ک.، ترابی، ک.، ۱۳۸۹، **بررسی آسیب پذیری شبکه های ارتباطی شهرها در مقابل زلزله با استفاده از روش،GIS ،(IHWP مطالعهٔ موردی منطقهٔ شش شهرداری تهران)**، فصلنامه باغ نظر، ۱۳، ۳-۴۸.