تغییر پارادایم با استفاده از تاب‌آوری شبکه حمل و نقل بعنوان شاخص ارزیابی عملکرد در مواجهه با زلزله

امیرپوریا چاوشی
دانشجوی دکتری، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
a.chavoshy@iiees.ac.ir

کامبد امینی‌حسینی
دانشیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
kambodamini@yahoo.com

محمود حسینی
دانشیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
hosseini@iiees.ac.ir

کلید واژه‌ها: *تاب‌آوری، شبکه حمل و نقل، زلزله، شبیه سازی، Aimsun ،Resiliency*

چکیده

در ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل بهنگام و پس از وقوع زلزله، تاب‌آوری Δ در ساده‌ترین شکل خود Δ را می‌توان بعنوان نسبت یک پارامتر ارزیابی عملکرد(مانند سرعت متوسط شبکه) بعد و قبل از زلزله تعریف نمود. در طول سالهای شکل‌گیری این مفهوم و معرفی آن به مهندسی حمل و نقل در دهه گذشته، با دربر گرفتن سایر پارامترهای موثر، تاب‌آوری به شاخص ترکیبی مفیدی بدل گشته است که علیرغم تحلیل دشوار آن، روز به روز به کاربرد آن بعنوان جایگزین ساده‌سازیهای سنتی در مدلسازی افزوده می‌شود. بعنوان نمونه، اگرچه "سرعت متوسط" در زلزله‌های غیر شدید، می‌تواند بعنوان پارامتر ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل در نظر گرفته شود، در زلزله های شدید در مقایسه با پارامترهایی چون "دسترسی" مورد توجه نیست. همچنین برای سطوح مختلف شدت زلزله ها که با دانش مهندسی زلزله تعریف می‌شوند گروه پارامترهای متفاوتی مورد توجه خواهند بود. هنگامی که متغیرهای دیگری چون زمان زلزله نیز بحساب آیند، انتخاب پارامترها به امری پیچیده مبدل می‌شود چرا که رفتار شبکه و ماتریسهای تقاضا در ساعتهای مختلف بسیار متفاوت می‌باشد.

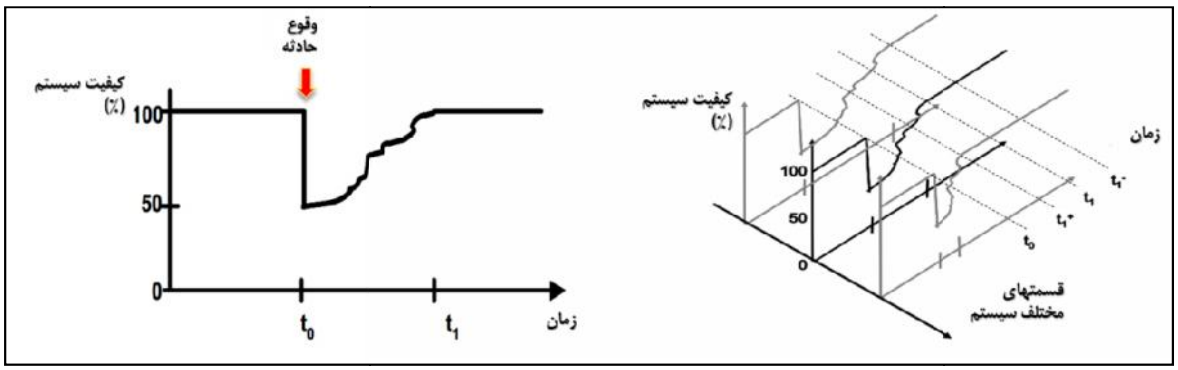
در حال حاضر شبیه‌سازی برای اندازه‌گیری پارامترهای لازم به گستردگی مورد استفاده است اما بعکس تحلیلهای روزمره ترافیکی، در وقایعی مانند زلزله، بدلیل تغییرات گسترده در ساختار فیزیکی شبکه (از دست رفتن خطوط عبور یا کل یک لینک)، تغییر تقاضا و تقاضای افزوده اضطراری (اورژانس و امداد)، تغییر مودهای گسترده(عمدتا از تمام مودها به موتور سیکلت و پیاده در زلزله های شدید) و امثال آن، تحلیل ماتریس n بعدی از متغیرها نیازمند رویکردهای جدیدی در مدلسازی می‌باشد. یک راه (road) به تنهایی شامل اجزای گوناگونی(مانند روسازی، پلها، شیروانیهای خاکبرداری و خاکریزی، رمپها و ...) بوده که بهنگام زلزله نیازمند تحلیل جداگانه تاب آوری خواهند بود، و با درنظر گرفتن اینکه شبکه حمل و نقل دربرگیرنده تعداد قابل توجهی راه بوده که خصوصیات متفاوتی دارند، استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی برای مقاصد یاد شده ضروری می‌نماید.

هدف این تحقیق معرفی شاخص تاب‌آوری و ضرورت تغییر پارادایم به استفاده از آن در تحلیلهای عملکرد شبکه حمل و نقل در مواجهه با زلزله است. به این منظور قسمت عمده ای از این مطالعه به مروری بر مطالعات پیشین اختصاص یافته و پی‌آیند آن محدودیتها و ناکاراییهای مدلسازی سنتی برپایه مفروضات ساده سازی شده به بحث گذاشته شده است. قسمت سوم مقاله به ملزومات مدلسازی پرداخته و در ادامه شاخص تاب‌آوری و اجزای آن بررسی خواهد شد. بخش پایانی به تحقیق ضرورت جایگزینی این شاخص در تحلیلها و مدلسازی تعلق دارد.

دراین مطالعه نتیجه‌گیری می‌شود که بعنوان دستاورد یک زنجیره وقایع، و برپایه شکوفایی نرم افزارها و تکنیکهای شبیه سازی، شاخصهای پیچیده‌تری را باید در ارزیابی عملکرد شبکه راهها بکار گرفت، که از آن میان تاب‌آوری به گستردگی مورد توجه قرار گرفته است.

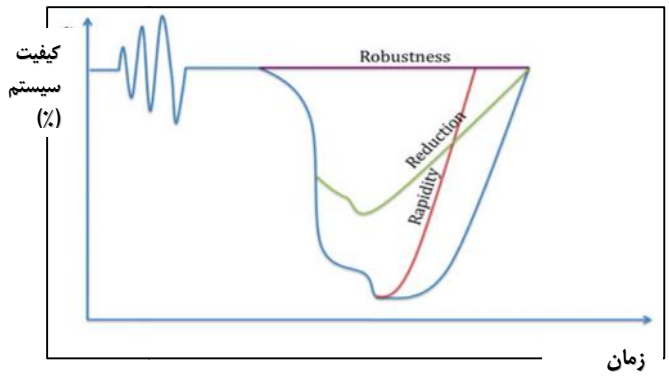
۱- مقدمه

تاب‌آوری[1] عبارتست از توانایی سیستم برای تحمل و ایستادگی در برابر خطرات بوجود آمده، طوریکه بتوانند در برابر آنها تحمل و ایستادگی نمایند و سریعا به حالت اولیه برگردند. در نمایش شماتیک، در زمان وقوع یک حادثه برای یک سیستم t_0، افت ناگهانی در کیفیت آن پدید آمده و با انجام عملیات احیاء[2]، به تدریج تا زمان t_1 به سطح اولیه باز میگردد (شکل ۱ چپ). در این تصویر ساده سازی شده، تاب‌آوری را میتوان معادل معکوس سطح کاهش کیفیت دانست که هرچه بیشتر باشد سیستم با مجموع خرابی کمتری در مجموع زمانی مواجه خواهد بود. همچنین در مورد سیستمهای ترکیبی (شکل راست)، قسمتهای مختلف سیستم نمودار متفاوت و در نتیجه زمانهای بازگشت به حالت اولیه متفاوتی خواهند داشت. بعنوان نمونه یک راه آسیب دیده از زلزله میتواند شامل قسمتهایی همچون پل آسیب دیده، شیروانی کنار جاده آسیب دیده(منجر به مسدود شدن خطوط عبور) و یا امثال آن باشد.



شکل ۱: نمایش ساده شده افت کیفیت سیستم بهنگام وقوع حادثه(چاوشی،۱۳۹۳)

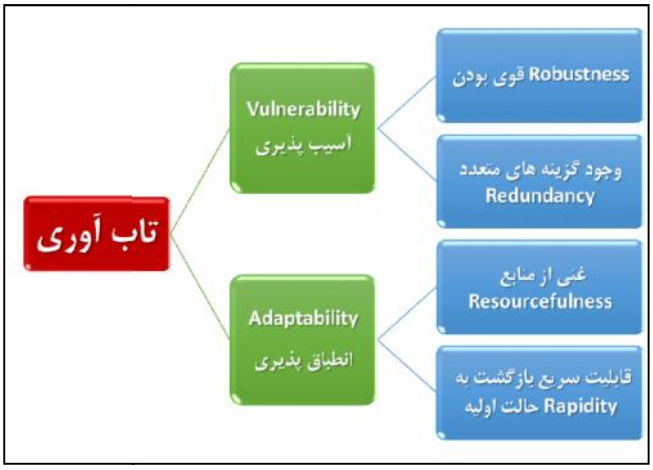
برخی المانهای اصلی تاب‌آوری در شکل ۲ نمایش داده شده اند. چنانچه مشخص است هرچه سرعت عمل سیستم در فرآیند احیاء بیشتر باشد (Rapidity)، و هر چه سیستم قویتر[3] بوده و خرابی کمتری را در لحظه وقوع حادثه تجربه نماید (Robustness)، سطح یاد شده کاهش خواهد یافت.



شکل ۲: برخی المانهای اصلی تاب‌آوری(چاوشی،۱۳۹۳)

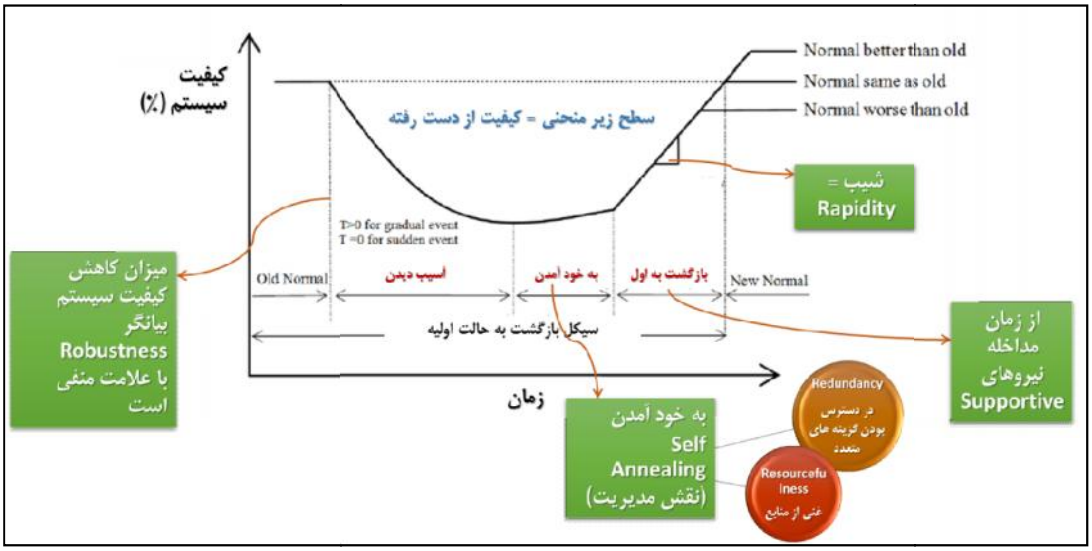
مولفه های اصلی تاب‌آوری در چارت ۱ آورده شده اند. هریک از این عوامل یا با کاهش افت کیفیت در زمان وقوع رخداد و یا با افزایش شیب خط احیاء، به کاهش سطح زیر منحنی افت کیفیت و در نتیجه افزایش تاب‌آوری می‌انجامند.

[1] Resiliency
[2] Recovery
[3] چقرمگی نیز ترجمه شده است



چارت ۱: المانهای اصلی تاب‌آوری

شکل ۳ کلیه مولفه های یاد شده را نمایش میدهد. چنانچه مشخص است، سیستم از حالت طبیعی اولیه خود (old normal) با وقوع یک رخداد براساس میزان چغرمگی[۴] خود سطحی از کاهش کیفیت را تجربه خواهد کرد. زمان افت کیفیت برای وقایع ناگهانی[۵] برابر صفر و برای وقایع تدریجی[۶] بزرگتر از صفر خواهد بودکه منجر به در نظر گرفتن زمانی برای آسیب دیدن در نمودار میشود. پس از آن سیستم براساس توان خود در دسترسی به گزینه های متعدد و جایگزین[۷] مانند زمانی که برای شبکه برق معابر اصلی گزینه پشتیبان بهنگام وقوع زلزله و قطع برق در نظر گرفته شده باشد، و نیز براساس میزان غنی بودن از منابع[۸] مانند پیش بینی پایگاهها و ملزومات اولیه امداد رسانی متعدد، میزان اندکی بهبود کیفیت را تجربه خواهد کرد که با نام "به خود آمدن"[۹] شناخته می‌شود. از زمان مداخله نیروهای کمکی[۱۰]، فرآیند احیاء[۱۱] آغاز میشود که بسته به نوع برنامه ریزی و درجه موفقیت آن میتواند سیستم را حتی به سطح کیفیتی بالاتر از سطح اولیه برساند.



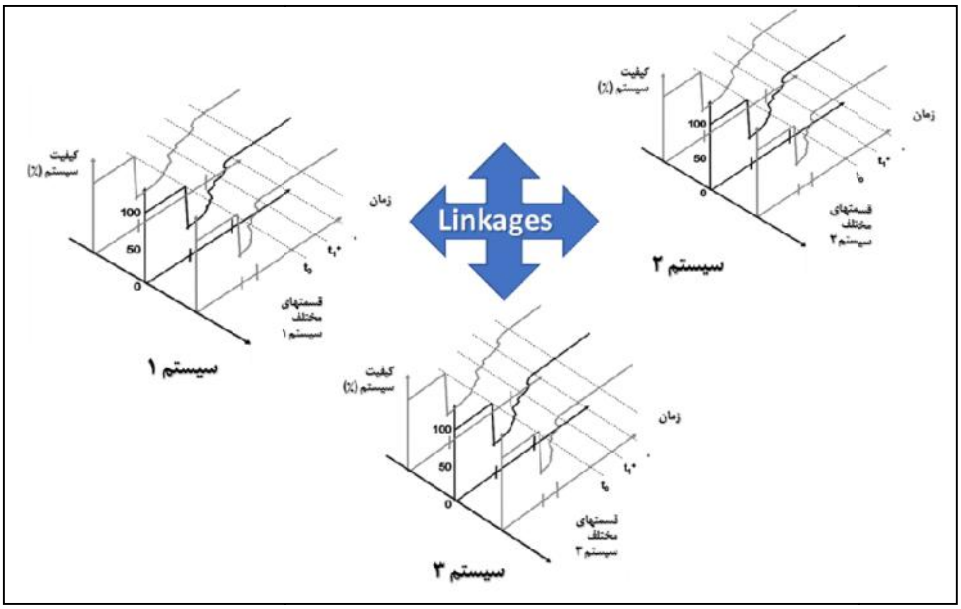
شکل ۳: نمایش مولفه های تاب‌آوری(چاوشی،۱۳۹۳)

[4] robustness
[5] Sudden event
[6] Gradual event
[7] redundancy
[8] resourcefulness
[9] Self-annealing
[10] supportive
[11] Recovery

تاب‌آوری مستقیما با جان انسانها و نیز خسارات مالی سر و کار دارد. هرچه تاب آوری بیشتر باشد، تلفات انسانی و ضررهای اقتصادی کمتر میشود. بنابراین "تخمین خسارت"[12] نقشی کلیدی در این بررسیها ایفا میکند. بهمین دلیل "ارتقا تاب‌آوری" را میتوان "کاهش مرگ و میر و ضررهای اقتصادی در اثر مداخله هدفمند" تعریف کرد. مداخله هدفمند در حمل و نقل شهری عبارت خواهد بود از:

- توانایی عملکرد شبکه حمل و نقل، «حین» و «پس» از وقوع زلزله (Robustness)
- بازگشت سریع به حالت بهره برداری (Rapidity)

همچنین باید در نظر داشت که شبکه حمل و نقل یک سیستم ترکیبی[13] از مجموعه ای زیرسیستم است (بعنوان نمونه از چندین بزرگراه و خیابان شریانی و ... تشکیل شده که هریک المانهای جداگانه روسازی، پلها، شیروانیها و ... را در بر میگیرند) که در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ۴ نشان میدهد که در محاسبه تاب‌آوری چنین سیستم مختلطی باید عوامل متعددی را درنظر داشت.



شکل ۴: تاب‌آوری در سیستمهای ترکیبی(چاوشی،۱۳۹۳)

۲- روشهای تحلیل کنونی شبکه‌های حمل و نقل و تعریف مساله

با گسترش روزافزون استفاده از تواناییهای مدلسازی و شبیه سازی، امروزه اغلب تحلیلهای ترافیکی و بررسی خصوصیات جریان ترافیک بکمک این نرم افزارها انجام می‌پذیرند. با این وجود، برای اخذ نتایج صحیح، نیاز به ورود دقیق خصوصیات اجزای شبکه و ترافیک به نرم افزار است که بدلیل محدودیتهای موجود عموما توام با فرضیات و ساده سازی است. از این رو تکیه بر نتایج این نرم افزارها نیاز به قضاوت مهندسی صحیح دارد و گاهی در شبکه های کوچک، مشاهده جریان که امروزه بکمک دوربینهای نظارت تصویری با سهولت بیشتری در دسترس است، گزینه مطلوبتری می‌نماید. با این وصف در حالتهای پیچیده‌تر مانند تحلیل شبکه بهنگام رخدادهای ترافیکی[14] نظیر بسته شدن خطوط حرکت، و مدیریت جریان، استفاده از شبیه سازی ضروریست. در هنگام زلزله، طیف وسیعی از احتمالات، از بسته شدن یک یا چند خط عبور از یک کمان شبکه، تا حذف کامل برخی کمانها براساس سناریوهای مختلف محتمل از شدت زلزله نیازمند بررسی هستند. چه مولفه‌هایی در این ارزیابی باید درنظر گرفته شوند تا عملکرد شبکه حمل و نقل در زمان زلزله و پس از آن قابل تخمین باشد؟ روش تحلیل چگونه است و چه خصوصیاتی از جریان ترافیک در شرایط زلزله مدنظر تحلیلگران هستند؟

۳- مروری بر مطالعات پیشین

برای ارتقاء سیستماتیک تاب آوری، نخست باید بتوان آنرا بصورت کمی (Quantitive) اندازه گیری کرد. تنها قسمت کوچکی از مطالعات موجود به اندازه گیری کمی تاب آوری اختصاص دارد. بسیاری از این مطالعات به بررسی تاب آوری بهنگام بروز آسیب در حالت کلی(disaster)

[12] Loss estimation
[13] Complex
[14] Incident management

پرداخته اند، و تنها بخش کمی از این قسمت کوچک به بررسی تاب آوری در زلزله پرداخته اند. از آن میان، تعداد بسیار کمی از این بخش کوچک، شبکه حمل و نقل را بررسی کرده اند که تائیدی بر نوپا بودن چنین نگرشی در تحلیلهای سیستمی شبکه راهها بهنگام وقوع زلزله می باشد.

برای اندازه گیری کمی، اولین گام شناخت پارامترهای تاثیرگذار است. از ۴ پارامتری که در مطالعات تاب آوری مورد نظر هستند، دو پارامتر Robustness و Rapidity مورد توجه اصلی مطالعات یاد شده بوده اند و عموما بصورت مجزا برای شبکه های کوچک مورد تحقیق قرار گرفته اند. در ادامه دستاوردهای برخی از این مطالعات به اختصار خواهد آمد که براساس رویکرد در سه گروه طبقه بندی شده اند: بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل بهنگام زلزله در حالت کلی، تعاریف و مفاهیم تاب‌آوری، و اندازه گیری تاب‌آوری.

۳-۱- بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل بهنگام زلزله در حالت کلی

شریعت و شورشی (۱۳۸۵) با بررسی رفتارهای انسانی در هنگام زلزله و با در نظر گرفتن اینکه سطح سرویس راههای ایران در حالت عادی عموما نامناسب می باشد، به این نتیجه رسیده است که رفتار رانندگان بهنگام زلزله منجر به سطح سرویس F می شود و نیازمند بررسی ویژه است. در مطالعه خاکی، شریعت، و حسینی (۱۳۸۲) ضمن مروری بر آخرین دستآوردها ، روشی معرفی شده است که بر مبنای آن می توان اهمیت و نقش اجزاء شبکه حمل ونقل شهری بویژه پلها ، و نحوه اولویت بندی آنها را برای مقاوم سازی با توجه به کارائی و نقششان در مسئله امداد رسانی تعیین نمود.در این روش علاوه بر برآورد شبکه حمل ونقل در دسترس به تقاضای بعد از زلزله نیز توجه می گردد. امینی حسینی و حسینیون (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای ضمن بررسی وضع موجود قوانین و مقررات ۳۰ سال اخیر در ایران، پیشنهاداتی را در جهت بهبود این شرایط برای ارتقاء شاخصهای کنونی مواجهه با زلزله ارائه داده اند. در مطالعه حسینی (۱۳۸۱) تعیین شبکه اضطراری و وزن دهی آنها از ضروریات این دسته از مطالعات برشمرده شده است که شامل شناسایی کوتاهترین مسیرها از مراکز امدادی به مراکز جمعیتی و توانایی امداد رسانی در ساعات اولیه می‌باشد.قسمتی از این مطالعه نیز به بررسی مخاطرات موجود که منجر به انسداد مسیرها میشود (مانند شیروانیها و خاکریزها، دیوارهای حائل، دکلهای برق و مخابرات ، خودروهای رها شده و ...) اختصاص دارد. حسینی و مشیروزیری (۲۰۰۸) در مطالعه دیگری، مشخصات سیستم شامل مقاومت لرزه ای به سطوح گوناگون خطر، سن اجزاء شبکه، اهمیت هر جزء از شبکه در نگرش کلی به سیستم، قابلیت تعمیر هر جزء و امثال آنرا بررسی کرده اند. حسینی و ایزدخواه (۲۰۱۰) به نقش مدیران تصمیم‌گیر در کیفیت فرآیندهای لازم بهنگام بروز زلزله پرداخته و آموزش مدیران را در تمامی سطوح برای ارتقاء کیفیت تصمیمات کلان اخذ شده، حیاتی میدانند. حسینی و یعقوبی (۲۰۰۲) با توجه به اهمیت شبکه راهها در زمان بحران، شرایط شبکه را در بحرانهای زلزله، طوفان، سیل، رانش زمین، و سوانح حاصل فعالیتهای بشری مانند بمباران مورد ارزیابی قرار داده اند. شریعت، حسینی، و گلرو(۲۰۰۴) بکمک نرم افزار HAZUS و Risk@ سطح سرویس شبکه برای زمانی که سفرهای امداد و نجات آغاز میشود را محاسبه نموده اند. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده، المانهای مختلف شبکه از دید بروز رسانی اولویت بندی شده اند. حسینی و یعقوبی (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای که بیشتر به حمل و نقل بین شهری بار اختصاص دارد، مفهوم جدیدی تحت عنوان «مساحت تحت پوشش شبکه راه» ارائه داده اند. حسینی، چاوشی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی نقش تجهیزات کنترل ترافیک در مدیریت اضطراری زلزله در تهران پرداخته و پایایی سیستم نظارت تصویری بهنگام بروز زلزله را بمنظور استفاده برای شناسایی مسیرهای اضطراری مورد بررسی قرار داده اند. امینی حسینی، جعفری و همکاران (2009) نیز به بررسی نقشEOC ها[15] در بروز بحرانها پرداخته اند

مطالعات خارجی بسیاری تعامل شبکه حمل و نقل و زلزله را مورد ارزیابی قرارداده اند. برخی از پر اهمیت ترین آنها عبارتند از مطالعات چانگ (Chang et al., 1996-2003) که معیار در دسترس بودن (accessibility) را برای ارزیابی تراکم راهها و تغییر مسیرها پیشنهاد داده است. با درنظر گرفتن این شاخص، مبنای مناسبی برای ارزیابی گزینه های مختلف بازسازی راهها و اولویت بندی آنها از دید شبکه بدست می آیدلیتمن(Littman et al., 2006) پس از بررسی گسترده عواقب طوفانهای کاترینا و ریتا و آسیبهای اقتصادی و اجتماعی وارد آمده، جابجایی را بعنوان اصلی ترین نیاز جوامع بهنگام وقوع سوانح معرفی کرده است. در این مطالعه مشخص شده که میزان سرویسهای امدادی پس از بحران به افرادی که در ترافیک گرفتار شده بودند و درصد قابل توجهی از مردم را تشکیل میدادند، نسبت به مردم در خانه ها، بسیار کمتر بوده و این عامل بعنوان عدم گرایش مردم به تخلیه اضطراری معرفی شده است. همچنین این مطالعه نشان میدهد که سوانح مختلف، مشکلات مختلف حمل و نقلی دارند. آژانس مدیریت اضطراری فدرال FEMA (1991) در گزارشی با بررسی مستندات مختلف در کالیفرنیا چنین نتیجه گیری کرده است که اجزای شریانهای حیاتی در ارتباط تنگاتنگ با یکدیگرند و عموما خرابیهای همزمان زیادی میان آنها اتفاق می افتد. بعنوان مثال خرابی یک پل همزمان علاوه بر راه بالا و انسداد راه پایین منجر به خرابی تاسیسات حیاتی مانند فیبر نوری و امثال آن میشود. کامفورت(Comfort et al., 2008)، با آنالیز واریانس داده های درخواستهای کمکهای ایالتی در هنگام سوانح، مدلی از ارتقا انطباق پذیری با شرایط را بسط داده و نتیجه گرفته که اولین گام و مهمترین آن در این راه، داشتن ساختار منسجم و مناسب بخشها و نهادهای درگیر است.

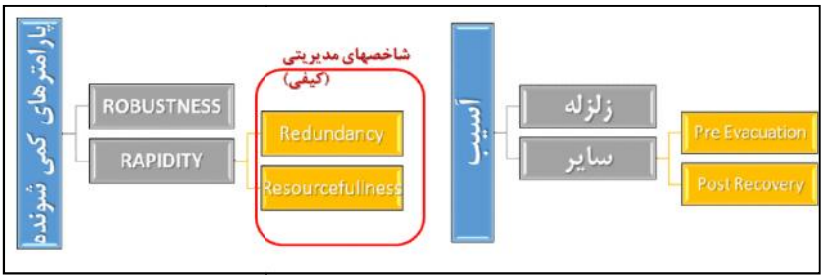
[15] Emergency Operation Center

۳-۲- تعاریف و مفاهیم تاب‌آوری

ایپ و همکاران(Ip et al., 2010) با تعریف تاب‌آوری توسط سه پارامتر: منابع توزیع شده[۱۶]، منابع متعدد[۱۷]، و خطوط دسترسی قابل اطمینان، شهر را به صورت شبکه ای از گره[۱۸] و کمان[۱۹] در نظر گرفته و به این نتیجه رسیده اند که هر چه بین دو شهر گره و کمان بیشتری وجود داشته باشد ، پایداری شهر در برابر زلزله بیشتر خواهد بود. میانگین وزنی کمانهای پایدار بین دو گره بعنوان تاب‌آوری گره‌ها و میانگین وزنی کل کمانهای پایدار ، تاب‌آوری کل شبکه خواهد بود. هسلیپ (Heslip et al., 2010) با مدنظر قراردادن حفظ سطح سرویس شبکه راهها و انتخاب تعدادی از پارامترهای مؤثر در تاب‌آوری، و با استفاده از الگوریتم فازی ، به محاسبه تاب‌آوری پرداخته است. تادینی(Tadini et al., 2000) به این نتیجه رسید که توپولوژی حلقه[۲۰] باعث افزایش تعدد منابع شبکه می شود و بنابراین بر مبنای لوپهای شبکه و روش بهینه سازی Heuristic، الگوریتمی برای محاسبه تاب‌آوری ارائه کرد. تیرنی و برونو (Tierney et al., 2007) نیز به معرفی چارچوبی برای محاسبه تاب‌آوری پرداخته اند. بارود (Barud et al., ۲۰۱۴) آسیب پذیری[۲۱] و قابلیت برگشت به حالت اولیه[۲۲] را بعنوان پارامترهای تصادفی برای محاسبه تصادفی[۲۳] در نظر گرفته که شامل زمان کل بازگشت به حالت اولیه سیستم ، زمان خدمت دهی سیستم در حالت کاملاً تاب‌آور و زمان خدمت دهی سیستم در حالت درصدی از تاب‌آوری می‌شود. مرحله نهایی محاسبات، بهینه سازی بر مبنای روش امتیاز دهی کوپلند[۲۴] خواهد بود.

۴- مدل چند بعدی مولفه‌های تاثیرگذار

تعداد قابل توجهی از مطالعات پیشین، به محاسبه شاخصهای مدیریتی و عموما کیفی اختصاص یافته‌اند. همچنین در تحلیل عملکرد شبکه بهنگام بلایای غیر زلزله مانند سیل و طوفان، با توجه به اهمیت کاهش تلفات انسانی، پیش تخلیه و تخلیه اضطراری نیز بسیار مورد توجه بوده‌اند (چارت ۲).



چارت۲:محدوده مطالعات پیشین

با این وجود در هنگام زلزله مولفه های تاثیرگذار در عملکرد شبکه حمل و نقل بسیار متعدد بوده که آنها را میتوان به ۴ دسته تقسیم نمود:

- مولفه های زمانی: شامل محدوده راهکارها (کوتاه مدت، میان مدت و ...)، زمان تحلیل، و زمان وقوع.
- ترکیب مودها: شامل سواری، موتور، عابرپیاده و ...
- خصوصیات زلزله: گسلهای موثر در سناریوی تحلیل، اثرات ساختگاه، اولویت بندی و ...
- شاخصهای ترافیکی: شامل عرضه (سطوح سرویس، المانهای کنونی و جدید و ...)، تقاضا (تغییر ماتریسهای مبدا و مقصد و ...)، و لایه های سیستم.

مولفه های زمانی و خصوصیات زلزله، مولفه های تعیین کننده شرایط شبیه سازی خواهند بود. بعنوان مثال چنانچه زلزله شدید در شب اتفاق بیافتد با توجه به اینکه اغلب انسانها در منزل هستند، ماتریس مبدا و مقصد عموما دربرگیرنده سفرهای مبدا خانه بوده که به قصد تخلیه و احیانا کمک به بستگان و آشنایان خواهد بود. اگر شرایط زمانی ثابت نگه داشته شود، با کاهش شدت زلزله در سناریوی تحلیل، مقاصد سفر، از تخلیه به امداد رسانی و نگهداشت شرایط زندگی تغییر می یابد. با ثابت نگهداشتن سناریوی زلزله در شدت بالا و تغییر زمان وقوع به غیراوج صبح،

[16] distributed
[17] redundant
[18] node
[19] link
[20] loop
[21] Vulnerability
[22] recoverability
[23] stochastic
[24] Copeland

قسمت بزرگی از سفرها توسط والدین بمنظور کمک به دانش آموزانشان صورت میگیرد. همین نمونه ها نشان میدهد که بدلیل تعامل این مولفه ها با یکدیگر، تحلیل شبکه امری بسیار پیچیده است و با اندازه گیری خصوصیات جریان در قبل و بعد از زلزله (مانند سرعت متوسط شبکه) به ساده‌انگاری مبدل می‌شود. همچنین هدف تحلیلگران و تعیین مقطع زمانی که نتایج تحلیل در آن لازم است بسیار حائز اهمیت است. بعنوان مثال ممکن است هدف تحلیلگر رسیدن به شبکه ای کارا برای تخلیه شهر پس از وقوع زلزله باشد که در آنصورت مولفه های متفاوتی از خصوصیات عملکرد راهها مدنظر قرار میگیرد. لذا تحلیلهای عملکرد شبکه در زمان زلزله باید با در نظر گرفتن ترکیبی متغیر از مولفه‌ها (متغیر از هر سناریو به سناریوی دیگر) باشد که با ۱- محاسبه و۲- مقایسه کمیت آنها بعد از زلزله و در شرایط عادی، معیاری کمی از تاب‌آوری بدست خواهد آمد.

۵- نتیجه‌گیری

با کمک پیشرفتهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و دانش شبیه‌سازی، امروزه بسیاری از تحلیلهای ترافیکی که بمنظور ارتقاء خصوصیات جریان ترافیک و یا پیش بینی شرایط آینده راهها انجام میشوند به این دستاوردها وابسته شده‌اند. در این مطالعه نشان داده شد که در هنگام زلزله و پس از آن، مولفه های متعددی را برای تحلیل عملکرد شبکه باید درنظر داشت و مدلسازی برپایه پارامترهای ساده اندازه‌گیری خصوصیات جریان ترافیک، جای خود را به شبیه سازی بر پایه پارامترهای ترکیبی خواهد داد که بر اساس شرایط هر تحلیل ترکیب متفاوتی را به خود اختصاص میدهد. مقایسه چنین ترکیبی از پارامترها در شرایط زلزله و شرایط عادی به تعریف شاخص جدیدی به نام تاب‌آوری منجر شده و در دهه جاری بطور روزافزون در تحلیلهای عملکرد، جایگزین ساده‌سازیهای کنونی در مدلسازی شده است.

باید درنظر داشت بسیاری از مفروضات کنونی مدلسازی که بدلیل محدودیتهای موجود به ساده سازی شرایط ختم می‌شوند، در تحلیلهای پیچیده مانند شرایط شبکه در زمان زلزله، بدلیل پیچیدگی مدل و تاثیر تعاملی مولفه ها بر یکدیگر، جایگاهی ندارند و به نتایج نادرست ختم خواهند شد. همچنین بر تفاوتهای تحلیلهای شبکه در زمان زلزله و در زمان سایر بلایا مانند طوفان تاکید می شود چرا که با توجه به سناریوهای شدت زلزله، این تحلیلها تنها بر تخلیه اضطراری متمرکز نیستند و عملیات امداد و نجات در همه سناریوها، تامین دسترسی در زلزله های با شدت متوسط و روانی جریان ترافیک (تامین سطوح سرویس مناسب) در زلزله های خفیف و امثال آن از اهداف این تحلیلها بشمار می‌روند.

۶- مراجع

چاوشی ا پ (۱۳۹۳) پژوهش رساله دکتری مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

حسینی م (۱۳۸۱) شبکه حمل و نقل تهران تا چه حد در برابر زلزله آماده است؟، اولین سمینار ساخت و ساز در پایتخت، تهران، ایران

خاکی عم، شریعت ا و حسینی م (۱۳۸۲) آخرین دست آوردها در زمینه ارزیابی و تقویت عملکرد اجزاء آسیب پذیر حمل و نقل شهری در برابر زلزله، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

شریعت مهیمنی ا و شورشی ع (۱۳۸۵) بررسی رفتارهای انسانی و تاثیر آن در عملکرد شبکه حمل و نقل بعد از زلزله، دومین سمینار ساخت و ساز در پایتخت، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، ایران

Amini Hosseini K and Hosseinioon S (2011) Evaluation of Recent Developments in Laws and Regulations for Earthquake Risk Mitigation and Management in Iran, Policy Studies Organization, DOI: 10.1515/1944-4079.1066

Amini Hosseini K, Jafari MK, Hosseini M, Mansouri B and Hosseinioon S (2009) Development of urban planning guidelines for improving emergency response capacities in seismic areas of Iran, *Disasters*, 2009, 33(4): 645–664

Baroud H, Ramirez-Marquez JE, Barker K and Rocco C (2014) Stochastic Measures of Network Resilience: Applications to Waterway Commodity Flows, Risk Analysis 2014, Society for Risk Analysis, DOI: 10.1111/risa.12175

Behruz H, Lavasani Rad A, Hosseini M and Chavoshy AP (2013) Fragility evaluation of Tehran traffic control cameras during earthquakes and the introduction of dynamic emergency paths toward a sustainable city, WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol. 179, WIT Press, England

Chang SE (1996) Economic impact of lifeline disruption in the January 17, 1995 Hanshin-Awaji earthquake, *Eleventh world conference on earthquake engineering*, Elsevier

Chang SE (2003) Transportation planning for disasters: an accessibility approach, *Environment and Planning*, Vol. 35, pages 1051-1072

Chang SE and Nojima N (1997) Highway System Performance Measures and Economic Impact, *Proc. of the 7th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems*, Seattle, Washington, USA

Chang SE and Nojima N (1999) Measuring Post-Disaster Transportation System Performance: The 1995 Kobe Earthquake in Comparative Perspective, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(6): 475–494

Chang SE, Shinozuka M and Moore II JE (2000) Probabilistic Earthquake Scenarios: Extending Risk Analysis Methodologies to Spatially Distributed Systems, *Earthquake Spectra*, 16(3): 557-572

Comfort LK, Hauskrecht M and Lin J (2008) Dynamic Networks: Modeling Change in Environments Exposed to Risk, *Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference – Washington*, DC, USA

Federal Emergency Management Agency, FEMA (1991) Collocation Impacts on the Vulnerability of Lifelines during Earthquakes with Applications to the Cajon Pass, California, Earthquake Hazard Reduction Series 59

Heaslip K, Louisell W and Collura J (2010) A Methodology to Determine Priorities after Major Disasters, 2009 ITS America Annual Meeting

Hosseini M and Izadkhah Y (2010) Training emergency managers for earthquake response: challenges and opportunities, *Disaster Prevention and Management*, 19(2): 185-198, DOI 10.1108/09653561011037995

Hosseini M and Moshirvaziri H (2008) A Procedure for Risk Mitigation of Water Supply System in Large and Populate Cities, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China

Hosseini M and Yaghoubi F (2002) On Risk Management for Roads Subjected to Natural and Man-made Hazards, *IABSE SYMPOSIUM*, Melbourne, Australia

Hosseini M, Yaghoubi F (2008) A Risk Management Model for Inter-City Road Systems, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China

Ip WH and Wang D (2011) Resilience and Friability of Transportation Networks: Evaluation, Analysis and Optimization, *IEEE SYSTEMS JOURNAL*, Vol. 5, No. 2

Litman T (2006) Lessons From Katrina and Rita: What Major Disasters Can Teach Transportation Planners, *Journal of Transportation Engineering © ASCE*

Shariat Mohaymani A, Hosseini M and Golroo A (2004) Prioritizing the Retrofit of Vulnerable Components of Urban Trhansportation System Based on the Optimized Rescue and Relief Travels, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 2380

Tierney K and Bruneau M (2007) Conceptualizing and Measuring Resilience A Key to Disaster Loss Reduction, TR NEWS 250

Todini E (2000) Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach, Urban Water 2 2000, 115-122, ELSEVIER