طراحی یک سیستم پشتیبان تصمیم برای کاهش صدمات ناشی از زلزله بر شبکه حمل و نقل شهری به کمک بهینه‌سازی شبیه‌سازی

بهروز زارعی، عضو هیات علمی دانشگاه تهران
فرشید بابا اکبری، کارشناس ارشد مدیریت صنعتی(fb_farshid@yahoo.com)
هومن شیدانشیدی، کارشناس مهندسی کامپیوتر(shidanshidy@yahoo.com)

چکیده

تحلیل اثرات زلزله بر روی شبکه حمل و نقل شهری، به عنوان مهمترین شبکه زیر ساختی، یکی از موضوعات اساسی در مدیریت بحران به حساب می‌آید. بدین منظور در این مقاله یک مدل ریاضی، با استفاده از مفاهیم تئوری شبکه طراحی و از آن در شبیه‌سازی کامپیوتری شبکه حمل و نقل شهری در حالت عادی و زلزله، استفاده شده است. پارامترهای شبکه شهری نظیر ارتباطات کاربریها با روشهای آماری محاسبه گردیده است. از اطلاعات بدست آمده که مبتنی بر اهمیت خیابانها در دو وضعیت عادی و بحران می‌باشد، در چار چوب اولیه تصمیم‌گیری استفاده گردید. سپس از الگوریتم SA با توجه به کارایی آن در مسائل مشابه، برای بهینه‌سازی شبکه در حالت عادی و بحران استفاده گردید، که این امر به بهبود چارچوب تصمیم‌گیری منتهی شد. قابلیت استفاده از نتایج این بررسی، در اصلاح شبکه حمل و نقل شهری در مقاله مورد بحث قرار گرفته است. در نهایت یک سیستم پشتیبان تصمیم طراحی گردید که از آن می‌توان به مدیران و متخصصان در تصمیم‌گیریهای مربوط به مدیریت بحران شهری، در فازهای مختلف یاری نمود. این سیستم به صورت یک سیستم خبره طراحی شده است، تا با دریافت داده‌های واقعی تصمیمات دقیق تری را به صورت دینامیک، اتخاذ نماید. تمامی مراحل ذکر شده به صورت یک متدولوژی یکپارچه، بر روی داده های مربوط به یک شهر به طور آزمایش پیاده سازی شده که بخشی از نتایج آن، در قالب نمودارهایی ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: مدیریت بحران[1]، بهینه‌سازی شبیه‌سازی[2]، جستجو بر مبنای روشهای ابتکاری[3]، تئوری شبکه[4]، شبکه های زیر ساختی[5]

---

1 Crisis Management
2 Simulation Optimization
3 Heauristic Search
4 Network Theory
5 Infrastructure

۱- مقدمه

یکی از حوادث طبیعی که در بسیاری از کشورها و از جمله ایران اتفاق می‌افتد، زلزله است. در قرن اخیر بیش از هزار زلزله در هفتاد کشور جهان بوقوع پیوسته است، که باعث کشته شدن بیش از ۱/۵۳ میلیون نفر و خسارتهای مالی هنگفتی شده است. ۸۰ درصد این تلفات در ۶ کشور چین، ایران، پرو، شوروی سابق، گواتمالا و ترکیه بوده است. فلات ایران از نظر وقوع زلزله یکی از فعالترین مناطق جهان بوده و هر از چند گاهی زلزله‌ای مخرب با آسیبهای جانی و مالی سنگین در این کشور اتفاق می افتد. زلزله‌های سلماس (۱۳۰۹ ه ش)، درود (۱۳۲۲ ه ش)، بوئین زهرا (۱۳۴۱ ه ش)، طبس (۱۳۵۷ ه ش)، رودبار ومنجیل (۱۳۶۹ ه ش) و بم (۱۳۸۲ ه ش) نمونه هایی از این زلزله‌های مخرب در قرن اخیر هستند.[۱].

در کشورهای زلزله خیز سیستمهای تامین انرژی، آب و فاضلاب و حمل و نقل که از آنها به عنوان شبکه های زیر ساختی یاد می‌شود، یکی از نشانه توسعه می‌باشد. در دهه های اخیر گسترش روز افزون این سیستمها و وابستگی هر چه بیشتر مردم این کشورها به آنها، این سیستمها را به صورت شریانهای حیاتی در آورده است. شبکه های زیر ساختی باید دارای مشخصه‌های کیفی خاصی باشند تا بتوانند سرویس دهی قابل قبولی به ساکنین شهرها ارائه دهند. به عنوان نمونه شبکه حمل و نقل در شرایط عادی باید سریع و با حداقل ترافیک باشد. در بین شبکه‌های زیر ساختی، شبکه حمل و نقل دارای اهمیت خاصی می‌باشد.

تحقیقات زیادی در جهت بالا بردن کیفیت شبکه حمل و نقل نظیر (حداقل کردن میانگین زمان سفرهای شهری به ازای تمام کاربران) انجام شده است [۲]. که در میان آنها در سالهای اخیر بر تأثیر حوادث غیر مترقبه بر روی این شبکه‌ها تمرکز خاصی شده است [۳]. این شاخه زمانی بوجود آمد، که تحلیلهای آماری نشان دادند خسارات وارده در اغلب اوقات بیشتر به واسطه صدمه دیدن شبکه های زیر ساختی و پس از زمان وقوع حادثه بوده است، تا خسارات مستقیم در زمان حادثه. هدف اصلی این تحقیقات برآورد میزان و نوع این خسارتها و ارائه راهکارهایی برای مقاوم سازی شبکه های زیر ساختی می‌باشد.

توجه به این نکته ضروری است که تنها یک شبکه زیر ساختی از هر نوع، در یک شهر وجود دارد. به عبارت دیگر نمی‌توان دو شبکه، یکی برای حالت عادی و برای شرایط بحران داشت. بنابراین شبکه حمل و نقل باید در حالت عادی و بحرانی نیازهای کاربران را به بهترین نحو تامین نماید. این دو هدف الزاما در یک راستا نیستند و شبکه موجود باید به گونه ای اصلاح و یا شبکه جدید به گونه‌ای طراحی شود که نیازهای هر دو وضعیت را برآورده سازد. مثلا شبکه حمل و نقل باید در حالت عادی سریع و در هنگام بحران امن باشد. یعنی در حالت عادی کاربران شهری بتوانند سفرهای شهری خود را با سریعترین زمان و در هنگام بحران سفر های خود را با امن‌ترین روش انجام دهند. این در حالی است که سفرهای شهری در هنگام بحران کاملا متفاوت با سفرهای شهری در حالت عادی است.

در این مقاله اثرات بر روی شبکه حمل و نقل به عنوان یکی از مهمترین شبکه‌های زیر ساختی بررسی شده و هدف آن داشتن بهترین شبکه حمل و نقل در شرایط عادی و بحران توامان می‌باشد. بدین منظور در بخش دوم شبکه حمل و نقل شهری، به صورت ریاضی مدل شده و ا ز این مدل در طراحی یک نرم افزار شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده شده است. این نرم افزار شبکه حمل و نقل شهری را در شرایط عادی و هنگام بحران ناشی از زلزله، شبیه‌سازی می‌نماید و با اطلاعات خروجی آن می‌توان به آگاهی در مورد وضعیت فعلی سیستم ونقاط ضعف و قوت آن دست یافت. نرم افزار، در مورد اهمیت و حجم استفاده از هر خیابان در حالت عادی و پس از زلزله اطلاعاتی را ارائه می‌دهد. در بخش سوم، بهینه‌سازی شبکه موجود مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بهینه‌سازی در پاسخ به این سؤال می‌باشد که با یک بودجه مشخص چه تغییراتی و در کدام خیابانها بایستی داده شود تا شبکه موجود در حالت عادی بیشترین ارتقاء را در سرعت و در هنگام بحران بیشترین ارتقاء را در امنیت داشته باشد. به علت پیچیدگی محاسباتی مسأله، از روشهای ابتکاری و از الگوریتم SA برای بهینه‌سازی شبکه استفاده شده است. در بخش چهارم، طراحی و پیاده سازی یک سیستم پشتیبان تصمیم برای مسأله فوق تشریح می‌گردد. این سیستم با توجه به بخشهای قبل می‌تواند در تصمیم‌گیریهای مربوط به شهر سازی، اصلاح شبکه حمل و نقل شهری، مدیریت بحران و تصمیم‌گیریهای پس از وقوع زلزله مانند یافتن بهترین مسیرها برای امداد و نجات، ترتیب و اهمیت آوار برداری خیابانها و مسائلی از این قبیل استفاده شود. به عنوان یک کاربرد عملی[6]، شهر رشت مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل در مقاله ارائه شده است.

[6] Case Study

۲- مدل سازی و شبیه‌سازی شبکه ارتباطی

ساماندهی شبکه ارتباطی درون شهری، از ضرورت‌های حیاتی شهر محسوب می‌شود. سفرهای روزانه درون شهری، با اهداف مختلف از طریق این شبکه ارتباطی صورت می‌پذیرد. تخلیه جمعیت در ساعات مختلف شبانه روز در شبکه، تعداد وسائل نقلیه و مکانهای استقرار کاربریها، از عوامل مهمی هستند که در میزان ترافیک شهری وطراحی شبکه حمل و نقل تأثیر مستقیم دارند.

مدلها و روشهای طراحی و ارزیابی شبکه، مبتنی بر بررسی حجم رفت و آمد می‌باشد. روشهای مختلفی که امروزه مورد استفاده متخصصین قرار می‌گیرد، با همه قابلیتهای موجود، که امکان بررسی و آزمون عوامل گوناگون و تغییرات در شبکه را می‌دهد، هنوز نتوانسته اند که تأثیر بحران‌هایی مانند زلزله را بر روی شبکه حمل و نقل تحلیل و ارزیابی نمایند.

اصولا پیچیدگی و گستردگی شبکه حمل و نقل شهری و ارتباطات کاربران و نیازهای گوناگون آنها، مدلسازی قطعی این شبکه را غیر ممکن نموده است، لذا باید با دیدگاه انتزاعی، یک مدل طراحی گردد که با تقریب بالایی رفتار شبکه را تحلیل نماید. چنین مدلی می‌تواند شامل دو بخش استاتیک و دینامیک شود. مدل استاتیک روابط بین خیابانها، محل استقرار کاربریها و مشخصات اصلی هر خیابان را نشان می‌دهد و مدل دینامیک، سفرهای شهری و جریان بین کاربریها و حجم ترافیک خیابانها را در بر می‌گیرد.

۲-۱- مدل استاتیک

با ساده سازی ساختار خیابانهای یک شهر، می‌توان آن را با یک گراف وزندار[7] نشان داد که در آن هر گره، محل تقاطع دو یا چند خیابان در شبکه واقعی و هر یال یک خیابان را نشان می‌دهد. به هر یک از یالها دو وزن اختصاص داده می‌شود: الف) سرعت ب) امنیت [8]. عدد اول، سرعت حرکت در یک خیابان را در زمان عادی و عدد دوم، میزان امنیت این خیابان را پس از زلزله نشان می‌دهد. این مقادیر به روشهای آماری و تحلیل های احتمالی[9] به دست می‌آید. در ادامه ایده‌های اصلی محاسبه این دو پارامتر ذکر می‌شود. این تحلیلها به صورت دقیق در مورد مطالعه موردی پیاده سازی شده و ضرایب دقیقاً محاسبه گردیده است.

در محاسبه عدد مربوط به سرعت هر یال می‌توان با داشتن طول خیابان و سرعت متوسط حرکت در آن خیابان (با توجه به حجم ترافیک در ساعات مختلف و آمارگیری از آنها)، زمان متوسط گذر از آن خیابان را به دست آورد. از عوامل دیگر نظیر میزان اهمیت خیابان، دوره تناوب استفاده از آن می‌توان برای اصلاح این ضریب استفاده نمود. برای محاسبه عدد امنیت هر یال باید به عوامل مؤثر در میزان امنیت یک خیابان شامل : نوع معبر، عرض معبر، نسبت عرض به ارتفاع جدارهای معبر، درجه قابلیت کنترل معبر به هنگام بحران، محدوده عملکرد معابر، جنس مصالح کف معبر، درصد گره‌های ترافیکی، شدت ترافیک استفاده کنندگان از معابر، تعداد پلها، تونلها، زیرگذرها و روگذرهای خیابان، آسیب پذیری شبکه (مشتمل بر عمر متوسط بناهای جداره معابر و تأسیسات زیرساختی مانند گاز،آب وبرق)، طول خیابان، فضاهای باز اطراف آن توجه داشت. این عوامل با میزان تأثیر متفاوت در امنیت یک خیابان پس از وقوع بحران دخیل می‌باشند. با انتخاب بعضی از این پارامترها و اختصاص ضرایب به آنها می‌توان میزان امنیت یک خیابان را با یک عدد نمایش داد. در انتخاب پارامترها، دادن ضرایب و برآورد مقدار آنها می‌توان از نظر کارشناسان، پرسشنامه‌های آماری و تحلیل عوامل فرهنگی، اجتماعی و جغرافیایی استفاده نمود[۱ و ۴].

خیابانها و شبکه ارتباطی یک شهر که در مدل مزبور با یک گراف وزندار نمایش داده شده است، تنها بستری برای استفاده و حرکت ساکنین آن شهر می‌باشد. از آنجا که مدلسازی رفتار کلیه ساکنان یک شهر، امری غیر ممکن و دارای خطای فراوان می‌باشد، به جای آن کاربریها مد نظر قرار گرفته است. در تقسیم بندی اولیه، کاربریها به دسته‌های اصلی نظیر مسکونی، تجاری، اداری، آموزشی، تفریحی، فرهنگی، درمانی تقسیم می‌شوند، هر دسته خود به دسته‌های کوچکتر و در نهایت به کاربریهای شهری منتهی می‌شود. مثلاً کاربری آموزشی به مهدکودک، دبستان، راهنمائی، دبیرستان، دانشگاه می‌تواند تقسیم شود. بنابراین به جای بررسی رفتار کلیه ساکنین و سفرهای هر کدام به

---

7 Weighted Graph
8 Speed Weight and Safety Weight
9 Statistical and Stochastic Analysis

ارتباطات کاربران و اهمیت و حجم سفرهای بین دو دسته کاربری توجه می‌شود که این امر امکان مدلسازی ارتباط بین کاربریها را امکان پـذیرتر می‌نماید.

اگر تعداد کاربریهای در نظر گرفته شده در شهر n باشد، می‌توان در دو ماتریس n*n میزان ارتباط کاربریها را در حالت عـادی و پـس از زلزله، نگهداری نمود که خانه (i,j) در این ماتریس‌ها نشان دهنده میزان ارتباط بین کاربری i و کاربری j می‌باشد. برای بـه دسـت آوردن ایـن عدد می‌توان از روشهای آماری، پرسشنامه و روش دلفی[10] استفاده نمود [۱ و ۴]. با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند میزان ارتباط بین دو کاربری دوره تناوب تکرار این ارتباط (روزانه، هفتگی، ماهانه) سرعت قابل قبول و اختصاص ضرایب اهمیت به این پارامترها و برآورد آنها، جریان حرکـت بین کاربریها تعیین می‌شود. البته باید در نظر گرفته شود که ارتباط بین کاربریها در زمان عادی، آغاز بحران، حین بحران و پس از بحـران تغییـر می‌نماید. مثلاً در حالت عادی بین کاربری دبستان و کاربری مسکونی ارتباط زیادی وجود دارد اما بین بیمارستان و مسکونی ارتباط کم است، اما پس از زلزله ارتباط بین مسکونی و دبستان بسیار کم و بین بیمارستان و مسکونی زیاد می‌گردد. همچنین میزان ارتباط بین کاربریهـا در سـاعات مختلف شبانه روز متفاوت است. در این ماتریس‌ها با تلفیق ارتباط بین کاربریها و اصلاح ضرایب ارتباط می‌توان به دو مـاتریس ارتبـاط در زمـان عادی و ارتباط پس از زلزله، دست یافت.

بعلاوه در مدل استاتیک محل استقرار کاربریها در شهر بایستی تعیین شود. در جهت ساده سازی مدل، فرض بر آن است کـه کاربریهـا بـه یکی از گره‌ها در گراف شهر مرتبط گردند یعنی مجموعه کاربریهایی که دسترسی آنها به گراف خیابانهای شهر از طریق یک گره مجاور است، به آن گره اختصاص داده می‌شود.

۲-۲- مدل دینامیک

هر سفر شهری دارای یک مبدأ و یک مقصد است. مکانیزمی که یک فرد برای انتخاب یک مسیر بین این دو نقطه انتخاب می‌نماید، بسیار پیچیده و تا حدی غیر قانونمند است. مدلسازی این مکانیزمها و بررسی آنها خود موضوع تحقیقات بسیاری در مهندسی ترافیک بـوده اسـت [۲]. این مکانیزم در حالت عادی در جهت تحقق حداقل زمان در رسیدن به مقصد، و در هنگام بحران در جهت تأمین حـداکثر امنیـت در رسـیدن بـه مقصد می‌باشد.

در طراحی مدل دینامیک با توجه به مدل استاتیک طراحی شده، این مکانیزم، یافتن کوتاه ترین مسیر بین دو گره گراف در نظر گرفته شـد. البته امکان اصلاح این مکانیزم با هر روش دیگر فراهم شده است. بنابراین همانطور که قبلاً ذکر گردید اگر وزن سـرعت را زمـان گـذر از یـک خیابان و وزن امنیت را میزان امنیت یک خیابان در نظر بگیریم (عدد کوچکتر نشاندهنده امنیت بیشتر است.) می‌توان با الگوریتمهای مربوط بـه یافتن کوتاه ترین مسیر[11] در گراف مانند دیکسترا[12] یا فلوید[13] مسیر یک سفر شهری را در حالت عادی و بحران بدست آورد.

از آنجا که در این مدل سفرهای شهری به سفرهای بین کاربری تبدیل می‌شود بنابراین اگر به ازای هر زوج دسته کاربری، تمام نمونه‌های آنها را درسطح شهر بدست آورده شود و به ازای هر دو نمونه، کوتاه ترین مسیر پیدا شود و پارامتر " استفاده از خیابان " را به ازاء تمام خیابانهای واقع در این مسیر با میزان ارتباط دو دسته کاربری جمع گردد، در نهایت میزان استفاده از هر خیابان در حالت عادی و بحران بدست می‌آید. ایـن عدد بیانگر میزان اهمیت یک خیابان است. هر قدر این عدد در مورد یک خیابان در یکی از دو وضعیت عادی و بحران بیشتر باشد، نـشان‌دهنـده اهمیت بیشتر آن خیابان در آن وضعیت است. بنابراین عملکرد مدل دینامیک به صورت زیر خواهد بود:

1) For pass ∈ {Normal analysis, Crisis analysis} کل الگوریتم دو بار اجراء می‌شود،// در گذر اول، تحلیل زمان عادی شبکه ودر گذر دوم، تحلیل زمان زلزله صورت می‌گیرد.
2) For every U1 ∈ USERS
3) Find every nodes that have an instance of U1 and put them in SOURCE - LIST

[10] Delphi Method
[11] Shortest Path
[12] Dijkstra Algorithm
[13] Floyd Algorithm

4) For every U2 ∈ USERS
5) Find every nodes that have an instance of U2 and put them in DESTINATION - LIST
6) For every SOURCE - NODE ∈ SOURCE - LIST
7) For every DESTINATION - NODE ∈ DESTINATION - LIST
8) Find the PATH between SOURCE_NODE and DESTINATION - NODE According to USERS DECISION MECHANISM
9) For every STREET in PATH
10. a) In normal analysis:
STREET.SPEED - COUNTER+ =NORMAL - WEIGHT (U1, U2)
10. b) In crisis analysis:
STREET.SAFETY - COUNTER+ =CRISIS - WEIGHT (U1, U2)
11) End of For 9
12) End of For 7
13) End of For 6
14) End of For 4
15) End of For 2
16) End of For 1

USERS: لیستی از تمام دسته‌های کاربری است.

U2 و U1: یک نوع خاص کاربری.

SOURCE - LIST: لیستی از تمام گره های گراف می‌باشد که حاوی نمونه ای از کاربری از نوع U1 می‌باشند.

DESTINATION - LIST : لیستی از تمام گره های گراف می‌باشد که حاوی نمونه ای از کاربری از نوع U2 می‌باشند.

SOURCE - NODE: یک گره گراف متعلق به لیست مبداء است که به عنوان مبداء یک سفر شهری استفاده می‌شود.

DESTINATION - NODE: یک گره گراف متعلق به لیست مقصد است که به عنوان مقصد یک سفر شهری استفاده می‌شود.

PATH: یک مسیر مشتمل بر چند یال (خیابان) بین دو گره مبدأ و مقصد در گراف

STREET: یک یال متعلق به یک مسیر در گراف

USERS DECISION MECHANISM: مکانیزم انتخاب مسیر توسط کاربران، ما آن را کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره گراف درنظر گرفتیم که در حالت عادی بر مبنای وزن سرعت و در وضعیت بحران بر مبنای وزن امنیت محاسبه می‌شود.

SPEED - COUNTER: متغیری است با مقدار اولیه صفر که میزان استفاده از یک خیابان را در حالت عادی نگهداری می‌نماید.

SAFETY - COUNTER: متغیری است با مقدار اولیه صفر که میزان استفاده از یک خیابان را در هنگام بحران نگهداری می‌نماید.

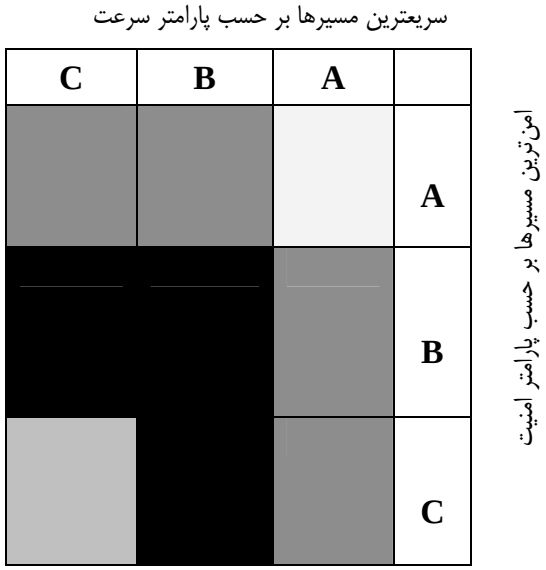
NORMAL - WEIGHT (U1, U2): وزن بین کاربریهای نوع U1 و U2 در حالت عادی که از ماتریس مربوطه بدست می‌آید.

CRISIS - WEIGHT (U1, U2): وزن بین کاربریهای نوع U1 و U2 در هنگام بحران که از ماتریس مربوطه بدست می‌آید.

برای اجرای مدل دینامیکی نرم افزاری طراحی شده است. نرم افزار طراحی شده با رعایت اصول مهندسی نرم افزار و با استفاده از ساختار های داده و الگوریتمهای پیشرفته، در جهت تحقق کارآئی بالا، پیاده سازی شده است. این امر امکان تغییرات آسان و سریع در نرم افزار را بوجود می آورد، همچنین استفاده از آن را برای حل مسائل بزرگ و واقعی تضمین می‌نماید. در این نرم افزار ابتدا با الگوریتم فلوید، کوتاه‌ترین مسیرها در گراف محاسبه شده و ذخیره می‌شوند. در مرحله ۸ تنها این مسیرها بازیابی می‌شود و احتیاجی به محاسبه مجدد نیست، این امر کارآئی الگوریتم را بهبود خواهد داد. پس از اجرای الگوریتم به ازای هر یال دو متغیر SAFETY-COUNTER و SPEED - COUNTER به عنوان خروجی مدل دینامیکی بدست می‌آید که اولی میزان و حجم استفاده از خیابان را در حالت عادی و دومی میزان و حجم استفاده از خیابان را در زمان زلزله نشان می‌دهد. این اعداد نمایانگر میزان اهمیت این خیابان در شبکه در حالت عادی و هنگام زلزله می‌باشند. باید دقت نمود

خیابانهای با استفاده زیاد بهترین خیابانها نیستند، بلکه اغلب به علت وجود کاربریهای مهم در یکی از دو گره جانبی آن، کـاربران بـه ناچـار از آن استفاده نموده اند، این امر در تحلیلهای نرم افزاری اثبات گردیده و نتایج آن در همین مقاله ذکر خواهد شد.

برای تصمیم‌گیری‌های کلان در مورد شبکه شهری، باید خیابانها از لحاظ میزان امنیت تقسیم بندی شوند. از نتایج بدسـت آمـده از مـدل دینامیکی با استفاده از نمودار پارتو، خیابانها دسته بندی شده‌اند. برای این کار میزان اهمیت خیابانها بر مقدار ماکزیمم تقسیم شد تا میزان اهمیت، نرمال (بین ۱ و ۰) شود. اگر تمام خیابانها در دسته‌های A ، B و C در زمان عادی و زمان بحران تقسیم شود، می‌توان با چـارچوب اولیـه ارائـه شده در نمودار ۱، در مورد آنها تصمیم‌گیری نمود. در این چارچوب تمامی خیابانهای شهر بر حسب پارامترهای سرعت و امنیت طبقه بنـدی شـده اند. این چارچوب هرگونه تغییر و اصلاح را در شبکه شهری ممکن می‌سازد و براساس این چارچوب تصمیم‌گیری در مورد مـسیرهای AA وCC به سادگی می‌تواند انجام پذیرد زیرا که به ترتیب خیابانهای بسیار خوب و مهم و نیز خیابانهای بسیار بد و غیر مهم را شامل شـده کـه در هـر دو حالت نیاز به انجام کاری در مورد آنها نیست. برای مسیرهای AB وAC وBA وCA بایستی یک برنامه اصلاح تعبیه گردد. و مـسیرهای BB وBC و CB به بررسی بیشتری نیازمند هستند [۵].



نمودار ۱. چارچوب اولیه تصمیم‌گیری در مورد شبکه شهری

۳- بهینه‌سازی مدل دینامیک شبکه ارتباطی شهری

در بخش قبل یک چار چوب اولیه برای بهبود شبکه حمل و نقل معرفی شد، برای بهبود چارچوب پیشنهاد شده بایستی به موارد ذیل توجه بیشتری گردد:

الف) در اغلب موارد مسأله به این صورت است که یک بودجه محدود برای اصلاحات وجود دارد. همچنین هزینه بهبود خیابان‌ها یکسان نیـستند. این در حالی است که امکان بهبود در خیابانهای مختلف متفاوت است، برای نمونه، در یک خیابان با تغییرات لازم می‌توان امنیت را به طور قابـل توجهی بهبود داد، اما در برخی دیگر از خیابان‌ها حتی با صرف هزینه‌های زیاد هم، نمی‌توان بهبود قابل ملاحظه ای در آن‌ها ایجاد نمود.

ب) چارچوب اولیه تصمیم‌گیری مطرح شده بر مفروضات اولیه‌ای استوارند که در کلیه حالتها صحیح نیستند. به عنوان نمونه، استفاده کم از یک خیابان دلیل کم اهمیت بودن بهبود آن نیست. شاید با بهبود این خیابان، کاربران از آن استفاده زیادی نمایند، شاید هم این بهبود، هزینه ای اضافی باشد و دلیل عدم استفاده از این خیابان، ضعف آن از لحاظ سرعت و یا امنیت نبوده است، بلکه کاربری مهمی در اطراف آن وجود نداشته است. از این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که هر گونه تغییری در یک خیابان، شبکه شهری جدیدی را می‌سازد که پیش بینی قطعی وضعیت آن از روی حالت قبل، بواسطه وجود عوامل فراوان، امری غیر ممکن است و تنها با تحلیل مجدد شبکه، می‌توان به نتایج دقیق دست یافت. بنابراین اگرچه چارچوب قبلی می‌تواند در تصمیم‌گیری ابتدائی موثر باشد اما برای برآورد بهتر باید از روشهای بهینه‌سازی شبیه‌سازی بهره برد. بدین صورت که به ازاء هر تغییر در یک خیابان، کل سیستم مجددا شبیه‌سازی می‌شود تا نتایج تغییر دقیقا ارزیابی شود. این نتایج در تصمیم‌گیری بهینه برای انتخاب خیابانهای دیگر برای بهبود مؤثر واقع می‌گردد. فرض کنید تصمیم‌گیری در مورد خیابانها تنها پاسخ به دو سؤال زیر محدود گردد:

آیا اصلاحاتی در یک خیابان برای ارتقاء امنیت آن خیابان انجام گیرد؟

آیا اصلاحاتی در یک خیابان برای ارتقاء سرعت آن خیابان انجام گیرد؟

برای سادگی فرض شود که به این سؤالات جواب قطعی " آری" یا " خیر" داده شود، و در صورت انتخاب یک خیابان کل تغییرات در نظر گرفته شده با هزینه برآورد شده برای این تغییرات بایستی اعمال می‌شود. بنابراین به ازای هر خیابان ۴ انتخاب وجود دارد.

۱) تغییرات تنها در جهت بهبود سرعت انجام شود.

۲) تغییرات تنها در جهت بهبود امنیت انجام شود.

۳) هر دو دسته تغییرات اعمال شود.

۴) هیچ تغییری در خیابان داده نشود.

برای اتخاذ این تصمیمات بایستی به ازاء هر خیابان، پارامترهای زیر تخمین و به عنوان ورودی به سیستم شبیه‌سازی داده شود:

هزینه ارتقاء سرعت یک خیابان

هزینه ارتقاء امنیت یک خیابان

میزان بهبود سرعت(به صورت ریاضی، در صورت انجام تغییرات مربوط به بهبود سرعت در این خیابان، به اندازه این پارامتر از وزن سرعت این یال در گراف کاسته می‌شود)

و میزان بهبود امنیت.

اگر فرض شود که شهر مورد بررسی دارای n خیابان باشد، تعداد کل حالات ممکن در فضای جستجو 4^n حالت است. این مساله از نوع NP-hard بوده و دارای پیچیدگی نمایی[14] است، زیرا نمی‌توان به بررسی تمام حالات انتخاب شده پرداخت. استفاده از روشهای جستجوی ابتکاری برای حل این مسأله گزینه مناسبی است. الگوریتم Simulated Annealing به عنوان یک الگوریتم قوی در بهینه‌سازی مدل دینامیک شبکه ارتباطی شهری مورد توجه قرار گرفت. کارائی این الگوریتم و مقایسه آن با سایر روشها در مقالات مختلفی در دهه اخیر مورد بررسی قرار گرفته است [۶ و ۷ و ۸]. این الگوریتم از مدلهای فیزیکی ذوب و سرمایش آهسته فلزات در رسیدن به ساختار بلوری با کمترین تراز انرژی ، الهام گرفته است، این الگوریتم یک روش جستجوی تصادفی ابتکاری با بازدهی بالا در مسائل بهینه‌سازی گسسته می‌باشد.

در صورت بهبود یک یال، چنانچه باعث شود که کاربریها در رسیدن به مقصد خود مسیر قبلی را تغییر و از این خیابان استفاده کنند، میزان استفاده از آن افزایش یافته و یا در مواردی بدون تغییر می‌ماند. بنابراین، اگر مجموع استفاده از خیابان i را $S(i)$ فرض نمائیم (SAFETY - COUNTER و SPEED - COUNTER مربوط به این خیابان)، در این صورت هم برای حالت عادی و هم برای حالت بحران $S(i)$ برابر است:

$$\sum_{i=1} S(i) \approx K \quad \text{(مقدار ثابت)}$$

[14] Exponential Complexity

به صورت شهودی یعنی آنکه، با بهبود یک یال اگرچه احتمالاً میزان استفاده از آن افزایش می‌یابد، اما از مجموع استفاده از کل یالها چیزی کم نمی‌شود. زیرا مجموع استفاده از خیابانها به تعداد و حجم سفرهای شهری بین کاربریها (متناسب با وزن ارتباط کاربریها) بستگی دارد نه به ساختار خیابانها. تنها هنگامی که در یک شبکه کوتاه‌ترین مسیر بین گره‌ها نسبت به حالت قبل، تعداد یالهای کمتری را در بر گیرد، این ثابت کمی تغییر می‌نماید، اما به علت ماهیت توپولوژی گراف شهر این امر به ندرت اتفاق می‌افتد و تأثیر آن هم محدود است. این قانون در آزمایشهای انجام شده بر روی گرافهای نمونه شبکه شهری برقرار بوده است. بنابراین با بهبود یالها، جریانها از یک خیابان به خیابانهای دیگر منتقل می‌شود.

هدف مسأله بیشترین استفاده از بودجه محدود برای تأمین تلفیقی از بالاترین سرعت متوسط در کل سفرهای شهری کاربران در حالت عادی و بالاترین امنیت متوسط در کل سفرهای شهری کاربران در هنگام زلزله می‌باشد. بنابراین، تابع هدف به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$W1*\sum_{i=1}^{n} SPEED_COUNTER(i)*SPEED(i)+W2*\sum_{i=1}^{n} SAFETY_COUNTER(i)*SAFETY(i)$$

W1: ضریب اهمیت شبکه در حالت عادی

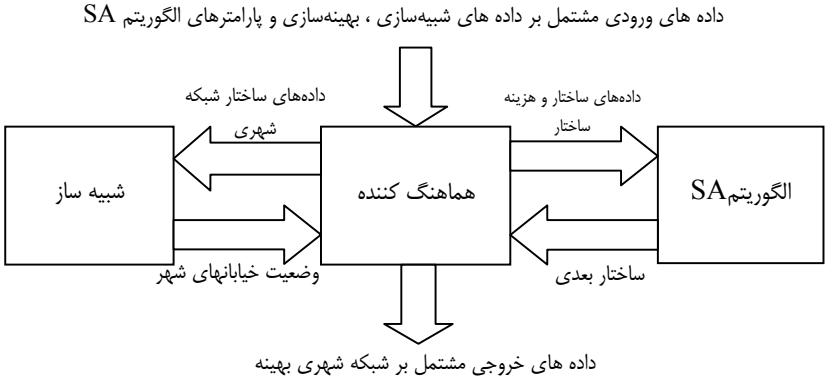
W2: ضریب اهمیت شبکه در حالت بحران

SPEED(i): وزن خیابان i ام در حالت عادی در گراف شبکه شهری

SAFETY(i): وزن خیابان i ام در حالت بحران در گراف شبکه شهری

باید دقت نمود که فرض بر آن است که کل بودجه اختصاص داده شده برای بهینه‌سازی شبکه حمل ونقل شهری ثابت در نظر گرفته می‌شود، و هدف بدست آوردن بهترین شبکه بهبود یافته، با آن بودجه است. لذا خود بودجه در تابع هدف نیامده است.

فضای جستجو، تمام n ۴ ساختار شبکه ممکن، تابع هدف، تابع بدست آمده. تابع تغییر ساختار، یک تابع تصادفی که هر بار تنها وضعیت یک خیابان تصادفی در شهر را، با یکی از ۴ حالت ممکن برای آن خیابان به صورت تصادفی تغییر می‌دهد و در صورتی که بودجه اصلاح ساختار جدید بیشتر از بودجه تعیین شده نباشد، آنرا برای شبیه‌سازی و محاسبه تابع هدف انتخاب می‌نماید. مکانیزم کم کردن دما به صورت هندسی با پارامتر ۹۹ درصد و شرط توقف، عدم بهبود در تعداد مشخصی تکرار می‌باشد. بنابراین الگوریتم، شبکه بهینه را به صورت جستجوی ابتکاری، در زمان معقول پیدا می‌کند. معماری نرم افزار بهینه‌سازی شبیه‌سازی در نمودار ۲، نشان داده شده است.



نمودار۲. معماری نرم افزار بهینه‌سازی شبیه‌سازی

در نرم افزار طراحی شده برای بهینه‌سازی شبیه‌سازی، تلفیق ماژولهای SA و شبیه‌سازی مشاهده می‌گردد که در آن اصول مهندسی نرم افزار، طراحی دقیق معماری و استفاده از ساختارهای داده و الگوریتمهای پیشرفته درجهت تأمین سرعت بالای بهینه‌سازی شبیه‌سازی مد نظر قرار

گرفته است. در نرم‌افزار، پارامترهای الگوریتم SA مانند دمای اولیه، تعداد تکرار در هر دما و بودجه کل و همچنین مشخصات شبکه شهر شامل ماتریس مجاورت شبکه خیابانهای شهر، پارامترهای سرعت و امنیت یالها در زمان‌های عادی و بحران، ماتریس ارتباط کاربریها در زمان‌های عادی و بحران، لیست کاربریها و گره های استقرار آنها در گراف شهر، هزینه ارتقاء سرعت در خیابانها، هزینه ارتقاء امنیت در خیابانها، میزان بهبود سرعت و امنیت در نظر گرفته شده و شبکه شهری بهبود یافته را به عنوان خروجی تولید می‌نماید.

با وجود کارآئی الگوریتم و نرم افزار هنوز هم زمان محاسبات برای یک شهر زیاد است و برای کاربردهای واقعی احتیاج به کامپیوترهای بزرگ[15] و یا سیستمهای توزیع شده[16] قدرتمند وجود دارد. در حال حاضر تحقیق بر روی این روشها و ایده های دیگر، با هدف سریع تر کردن پردازش ادامه دارد.

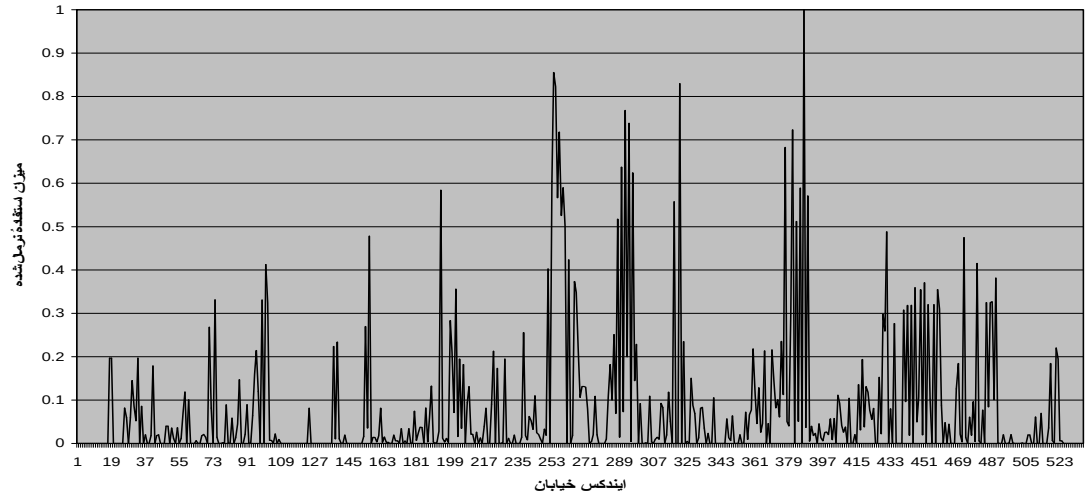
۴- بررسی یک نمونه واقعی

تمام مراحل ذکر شده در این مقاله به عنوان نمونه بر روی شبکه شهری شهر رشت، انجام شد. دلایلی که شهر رشت برای این تحقیق انتخاب گردید، عبارتند از :

۱) شهر رشت در ۵۵ کیلو متری مرکز زلزله منجیل و رودبار قرار گرفته است و همچنان مورد تهدید زلزله قرار دارد.

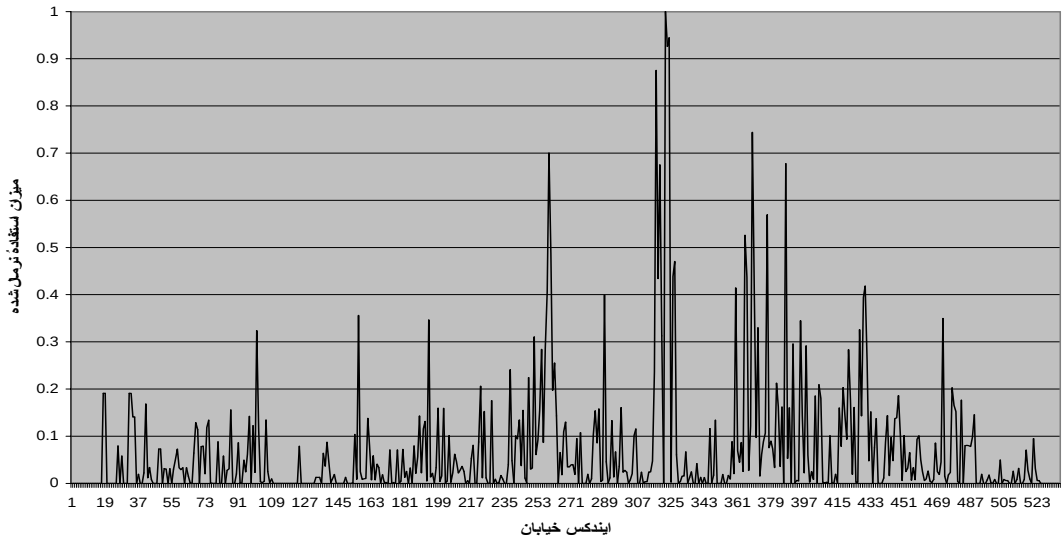
۲) در پروژه های انجام شده توسط محققین ایرانی وخارجی که پس از زلزله رودبار و منجیل صورت گرفت، بسیاری از داده های آماری و احتمالی شهر رشت استخراج شده بود، که از آنها در محاسبه پارامترهای ورودی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی در این تحقیق استفاده گردید.

شبیه‌سازی بخشی از شبکه حمل و نقل شهر رشت نیازمند زمان محاسباتی در حدود ۳۰ دقیقه بر روی یک کامپیوتر شخصی مدرن می‌باشد. تخمینها نشان می‌دهد که برای بهینه‌سازی شبیه‌سازی شهر رشت با توجه به امکانات موجود، به چند ماه زمان محاسبات نیاز است که بدین معناست که برای دستیابی به زمانهای معقول باید از کامپیوترهای قوی‌تر استفاده نمود. در اینجا با توجه به محدودیتها، بررسی تنها بر روی بخش مرکزی شهر رشت متمرکز گشته است. دو نمودار ۳ و ۴ میزان اهمیت خیابان‌ها را در حالت عادی و بحران نشان می‌دهد این میزان اهمیت از تقسیم میزان استفاده از یک خیابان بر مقدار ماکزیمم استفاده شده از خیابانهای کل شهری بدست می‌آید. این نمودارها وضعیت استفاده خیابانها را در حالت عادی و بحران بازگو می‌کند.



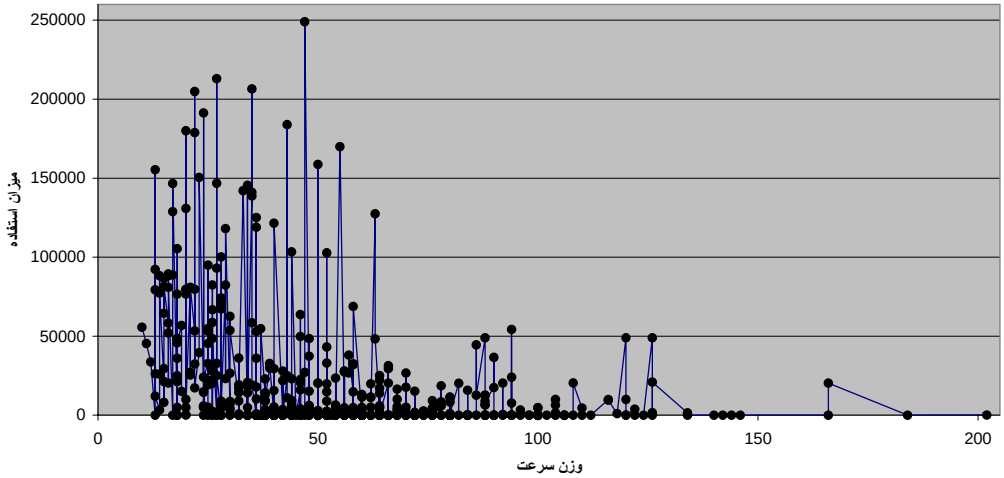
نمودار۳. میزان اهمیت خیابانها در حالت عادی

[15] Super Computer
[16] Distributed System

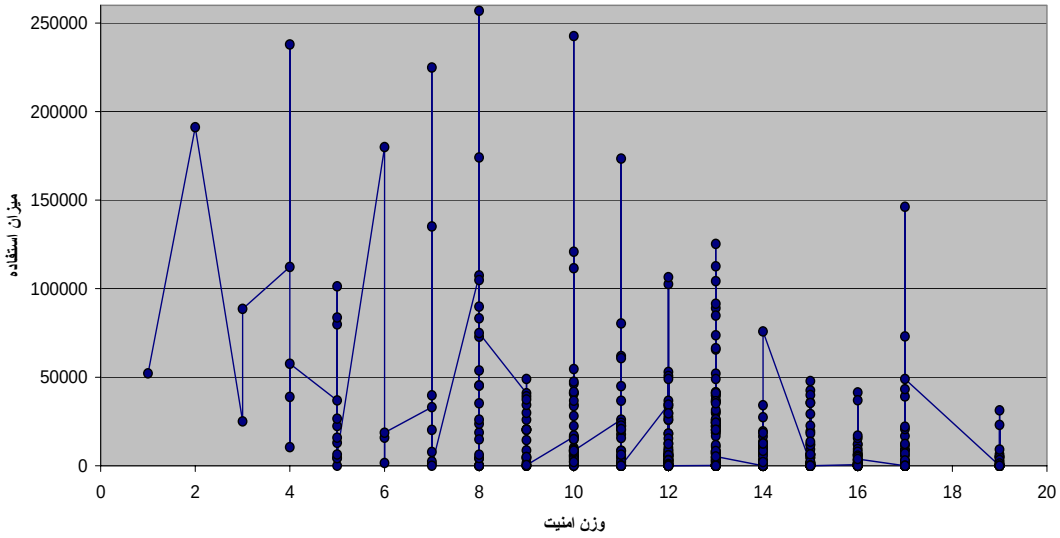


نمودار۴. میزان اهمیت خیابانها در زمان زلزله

با توجه به شکلهای فوق مشخص است که تعداد خیابانهای پر اهمیت، کم است. به عبارت دقیقتر قوانین پارتو بر این سیستم حکمفرما است. همچنین می‌توان دریافت که هیچ ارتباط معناداری میان مهم بودن یک خیابان برای حالت عادی و حالت بحران وجود ندارد. در دو نمودار ۵ و ۶ ارتباط میزان استفاده از یک خیابان و وزن آن (سرعت و امنیت) نشان داده شده است.



نمودار۵. ارتباط بین سرعت و میزان استفاده از خیابان

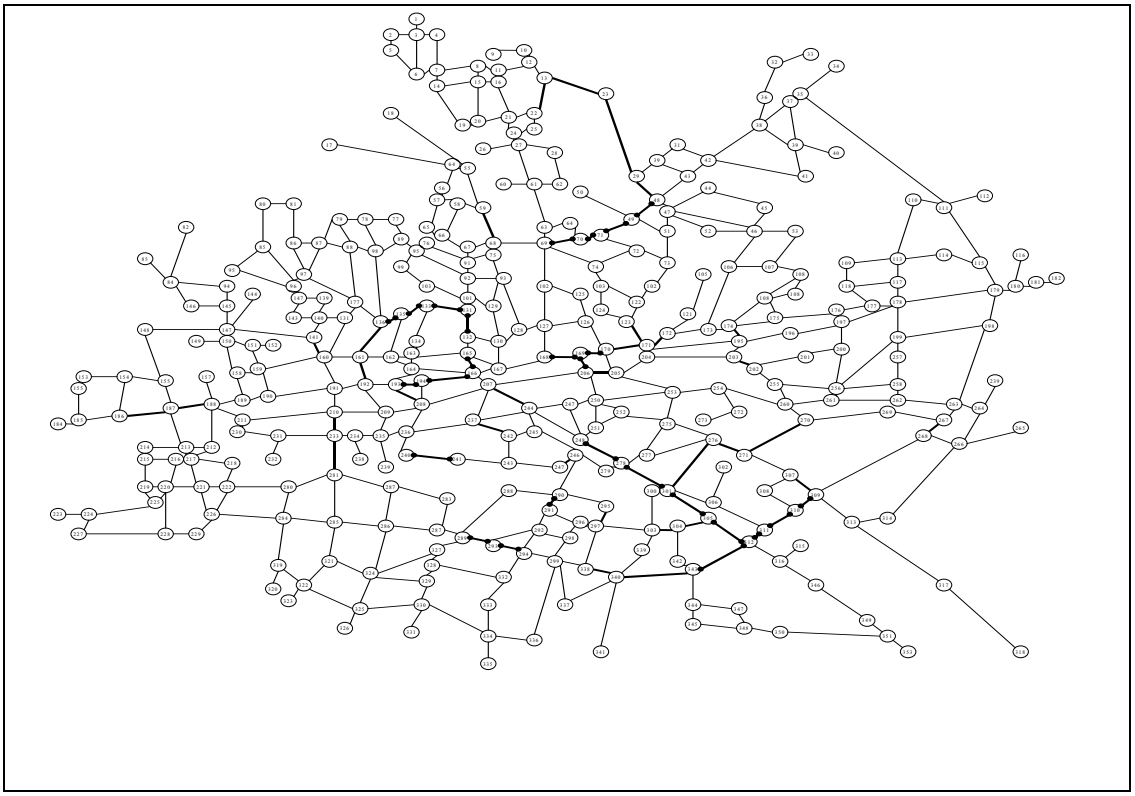


نمودار۶. ارتباط بین امنیت و میزان استفاده از خیابان

در هر دو شکل مشخص است که ارتباط روشنی بین وزن‌های سرعت و امنیت و میزان استفاده وجود ندارد و در بسیاری از موارد کاربران مجبور به استفاده از خیابانهایی هستند که فاقد سرعت و امنیت قابل قبولی هستند.

در بهینه‌سازی شبیه‌سازی شبکه ارتباطی بخش مرکزی شهر رشت نتایج زیر بدست آمده است. با تغییرات در پارامترهای الگوریتم و تحلیل نتایج می‌توان به بهترین مقادیر برای آنها، در مورد این نوع مسأله پی برد. همچنین می‌توان تحلیلهای آماری گسترده ای را بر روی پاسخهای سیستم انجام داد. این دو حیطه تحقیق در پژوهشهای دیگری [۵،۹،۱۰] قبلاً بررسی شده اند.

در نمودار۸ ، نقشه بخش مرکزی شهر رشت و خیابانهایی که (طبق چار چوب نهایی تصمیم‌گیری بر مبنای بهینه‌سازی شبیه‌سازی) باید تغییر کنند، مشخص شده است.



نمودار ۷. اصلاح شبکه شهری بر اساس چارچوب نهایی تصمیم گیری

۵- قابلیت‌های مدل توسعه یافته

سیستم به گونه‌ای طراحی شده که برای هر شهری قابل استفاده باشد، تنها لازم است با تحلیلهای آماری و احتمالی ذکر شده در بخشهای قبل، پارامتر های شهر استخراج و پس از اجرای آن به عنوان سیستم پشتیبان مورد استفاده قرار گیرد. این تصمیمات می‌تواند مراحل مختلف یک بحران را در بر گیرد. در ادامه، نمونه‌هایی از مسائلی که این سیستم می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان یاری نماید، ذکر می‌گردد.

۵-۱- در زمان پیش از بحران (حالت عادی)

مهمترین بخش از اقدامات مدیریت بحران باید به پیش گیری وقوع بحران معطوف گردد لذا در این مرحله با مطرح نمودن سوالات زیر می توان اثرات زلزله را پیش بینی و کاهش داد.

۱- چه تغییراتی در خیابانهای شهری بوجود آید تا شبکه شهر در حالت عادی سریعتر و با ترافیک کمترمواجه شود. ۲- چه تغییراتی در خیابانهای شهر بوجود آید که شبکه شهری در حالت بحران امن‌تر شود. ۳- پیش بینی وضعیت شبکه شهر قبل از طراحی ۴- پیش بینی تأثیر ایجاد یک یا چند خیابان یا بزرگراه جدید در ترافیک و امنیت شهر ۵- اولویت بندی مناطق مختلف شهر ۶- شناسایی عملکرد رفتار مردم در هر کدام از فازهای پس از بحران و رفع نقاط ضعف موجود.

۵-۲- آسیب پذیری (لحظات اولیه پس از بحران)

در صورت وجود سنسورهای جمع آوری اطلاعات در سطح شهر، سیستم به صورت خودکار صدمات واقعی شبکه حمل و نقل را جمع آوری نموده، داده های خود را اصلاح می‌نماید. این امر سبب می‌شود سیستم خبره تصمیم‌گیری، تصمیمات دقیق تری را در فازهای بعدی اتخاذ نماید. در صورت وجود یک سیستم کنترل اتوماتیک ترافیک در شبکه شهر سیستم می‌تواند تصمیمات لازم را برای کنترل خیابانها و تقاطع ها، بدون کنترل مدیریت، تا قبل از فاز کنترل منطقه ، اتخاذ نماید. همچنین سیستم می‌تواند با دادن پیغامهای مناسب به مدیران بحران و نیز بر روی تابلو های راهنما، مردم را در یافتن مسیرهای مناسب و امن راهنمایی نماید.

۵-۳- گریز و پناه گیری

از خصوصیات این مرحله پناه گیری و حرکت و جابجایی افراد در شبکه حمل و نقل برای کمک یا اطلاع یافتن از وضع بستگان است. این نابسامانی اولیه، پس از چند ساعت یا حداکثر یک روز تقریباً از بین می رود. سفر های شهری در این مدت با هر زمان دیگر کاملاً متفاوت است. سیستم با آگاهی از این رفتارها می‌تواند با یافتن امن ترین مسیرها، تصمیمات مربوط به کنترل حمل و نقل در این فاز را اتخاذ نماید و از طریق شبکه های رادیویی اتوماتیک و سیستم اتوماتیک کنترل ترافیک، تابلوهای راهنما، آنها را اعلام و اعمال نماید.

۵-۴- کنترل منطقه

این مرحله شروع امداد رسانی سازمان یافته است، نیروهای امداد، کنترل شهر را بدست می‌گیرند. در این مرحله سیستم طراحی شده می‌تواند در یافتن امن ترین مسیرها برای ارتباط بین کاربریهای سرویس دهنده (مانند آتش نشانی) وکاربریهای سرویس گیرنده (مانند منازل دچار حریق) در صورت مسدود شدن چند خیابان مؤثر واقع شود. به علاوه سیستم پیشنهاد شده در کمک به کنترل منطقه و اولویت بندی مناطق آسیب دیده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۵- امداد رسانی و تخلیه مجروحان

در این مرحله سیستم پیشنهاد شده در حوزه های ذیل به مدیران بحران و امداد گران یاری می‌رساند. در این مرحله سیستم می‌تواند در اولویت بندی آوار برداری خیابانها و مناطق آسیب دیده و نیز ترتیب امداد و نجات و اولویت مراحل آن مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۶- اسکان موقت بازماندگان

در این مرحله اسکان موقت و نیز استقرار موقت کاربریهای حساس و مهم در سطح شهر که دچار تخریب شده اند صورت می‌گیرد. این اقدامات در بازگرداندن شرایط عادی زندگی اهمیت بسزایی دارد. سیستم مذکور می‌تواند در یافتن بهترین نقاط شهر جهت اسکان موقت بازماندگان و استقرا کاربریهای مهم مدیریت شهری را یاری نماید.

۵-۷- باز سازی شهر

این مرحله عملیات پاکسازی، تعمیر، بهسازی و بازسازی شهر را در برمی‌گیرد و ترمیم اولیه زیر ساختهای شهری از جمله راهها صورت می پذیرد که کم و کیف بازسازی و سرعت آن نیاز به ارتباط تنگاتنگی بین مدیریت بحران و ویژگیهای کالبدی شهر دارد. این سیستم می‌تواند با برقرار نمودن این ارتباطات کیفیت عملیات بازسازی را ارتقاء و سرعت آن را افزایش دهد. همچنین این سیستم در طراحی شبکه جدید حمل ونقل شهری به مدیران شهر سازی یاری می نماید.

۶- نتیجه گیری

خصوصیت بارز این تحقیق بکارگیری دو رویکرد مدیریت بحران و مدیریت ریسک در هنگام مواجه بـا بحرانهـایی نظیـر زلزلـه اسـت. در مدیریت ریسک مهمترین موضوعی که طرح می‌شود برآورد میزان دقیق برنامه‌های پیشگیری است چرا که با پیش بینی دقیق و برآوردهای لازم می‌توان تا حد زیادی از ویرانیهای ناشی از وقوع حوادث طبیعی جلوگیری کرد. به عبارت دیگر سیستم طراحی شده در این پژوهش مـی‌توانـد در تمامی مراحل مدیریت بحران مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه با بررسی خروجی های سیستم و مقایسه آنها با واقعیت، کـارآیی مـدل و سیـستم طراحی شده را تأیید نمود. همچنین در جهت بهبود نتایج این تحقیق در تحقیقات آتی، می‌توان بر روی مکانیزمهای دقیق تر انتخاب مسیر توسط کاربران، اصلاح مدل ریاضی و رفع خطاهای آن، افزایش کارآیی نـرم افـزار، بکـارگیری دیگـر الگوریتمهـا و یـا اسـتفاده از سـوپر کامپیوترهـا و سیستمهای توزیع شده، ارائه روشهایی برای کار بر روی مسائل بزرگ مانند ابر شهرها، قانونمندتر نمـودن روشـهای آمـاری و احتمـالی محاسـبه پارامترها کار نمود.

۷- مراجع

۱- بنیاد مسکن، برنامه ریزی و طراحی شبکه ارتباطی شهر رشت با هدف کاهش آسیب پذیری ناشی از زلزله، (از گزارشـهای طرح"بسیج توان فنی کشور جهت مقابله با آثار زلزله")، ۱۳۷۳.

۲- بانکز، ج، اچ، مهندسی ترابری، ترجمه: علی خدایی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۸۱.

۳- حسینی، محمود، مجموعه مقالات مهندسی زلزله شریانهای حیاتی، نیازها و رهیافتها، اولین همـایش ملـی مهندسـی زلزلـه شریانهای حیاتی، ۱۳۸۳.

۴- بنیاد مسکن، طراحی شهری ناحیه مرکزی شهر رشت با هدف کاهش آسیب پذیری ناشـی از زلزلـه، (از گزارشـهای طـرح" بسیج توان فنی کشور جهت مقابله با آثار زلزله")، ۱۳۷۳.

5- M, Modarres and B, Zarei, (2002) Application of network theory and AHP in urban transportation to minimize earthquake damages. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, pp. 1308 - 1316.

6- Van Laarhoven, p, et. al. (1992). Job shop scheduling by simulated annealing. *Operation Research*, Vol. 40, pp. 113 - 125.

7- Lai, K., Chan, W., (1997). Developing a simulated algorithm for the cutting stock problem, *Computers indo engng*, Vol. 32,pp. 118 - 127.

8- Tam, k. , (1993). A simulated annealing algorithm for allocating space to manufacturing cells, *International journal of production research*, 1993, Vol. 30, pp. 63 - 87.

۹- زارعی بهروز، زارعی عظیم، شیدانشیدی هومن، باباکبری فرشید ، تعیین ظرفیت انبارهای میانگیر در خطوط تولید با استفاده از Simulated Annealing، سومین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، ۱۳۸۲.

۱۰- زارعی بهروز، بهینه‌سازی شبکه های زیرساختی، پایان نامه کارشناسی ارشـد مـدیریت صـنعتی، دانـشکده علـوم انـسانی، دانشگاه تربیت مدرس،۱۳۷۲.