

اعمال محدودیت زمانی نیمه نرم بر اساس تابع حیات بخش در فرایند مسیریابی تیم‌های پاسخ به بحران

علی نادى*: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران - راه و ترابری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛

Email: anadi@mail.kntu.ac.ir

علی ادريسی: استادیار، گروه مهندسی عمران - راه و ترابری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۱

تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۷

چکیده

پس از وقوع یک حادثه‌ی بزرگ مانند زلزله، عملیات بسیاری برای کاهش تلفات و خسارات صورت می‌گیرد. تلفات در زمان‌های اولیه‌ی بحران با گذر زمان به شدت افزایش می‌یابد. در نتیجه یکی از چالش‌های مهم پس از بحران و حوادث طبیعی، محدودیت زمانی است. از این رو مدل‌های بهینه‌سازی هوشمند به منظور مدیریت بحران می‌تواند کارآمد باشد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی و مسیریابی وسایل نقلیه ارائه شده است که در آن محدودیت زمانی وسایل نقلیه با استفاده از تابع حیات بخش بهبود یافته و به صورت ویژه‌ای مدل‌سازی شده است. این مدل با استفاده از روش بهینه‌سازی هوشمند شبیه‌سازی تبرید حل شده و نتایج آن بر روی یک شبکه‌ی حمل و نقل کوچک و یک شبکه‌ی حمل و نقل با ابعاد بزرگ که به صورت تصادفی تولید شده آزمایش شده است. نتایج حاصل به طور متوسط منجر به ۱۱٫۵ درصد افزایش درصد نجات‌یافتگان با استفاده از مدل پیشنهادی شده است.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی، مدیریت بحران، محدودیت زمانی، بهینه‌سازی، پاسخ به بحران

A New Semi-Soft Time window based on Survival Function in Emergency Response Routing Problem

Ali Nadi*¹, Ali Edrissi²

Abstract

Many Response operations are supposed to be occurred right after major disasters. Fatalities increase in the first periods of disasters. So time is a very critical factor in response operations. In these cases, artificial optimization methods can be used to manage response teams. These methods make these teams do their activities in a right time. In this paper, an improved vehicle routing problem is proposed based on special time window constraint. This constraint is called semi soft time window that uses survival function. Unless hard or soft time window, Semi soft time window models real time varying fatalities. The proposed model is solved with simulated annealing. The operation of this model is evaluated in two small and big randomly generated networks. The results are compared with both soft and hard time window. This led into this conclusion that the new approach can improve the percent of survived people more about 11.5 percent.

Keywords: Vehicle Routing, Emergency management, Semi-Soft Time window, Optimization, Emergency Response.

1 Master of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran; Email: anadi@mail.kntu.ac.ir

2 Assistant Professor, Civil Engineering Department, Faculty of Transportation, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

مقدمه

انسان همواره از بدو پیدایش خود در حال مقابله با حوادث طبیعی بوده است. امروزه حتی با وجود پیشرفت‌ها و تکامل بشر هنوز سالانه هزاران نفر جان خود را، به‌ویژه در زمین‌لرزه‌های بزرگ، از دست می‌دهند. این زمین‌لرزه‌ها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه بسیار ویران‌کننده است. انسان همواره آموخته که می‌تواند با برنامه‌ریزی و مدیریت دقیق میزان تلفات خود را در مواجهه با این نوع حوادث کاهش دهد، بنابراین مدیریت بحران در این کشورها از اهمیت بالایی برخوردار است. تقاضای زیاد، زمان محدود و نبود قطعیت در بحران حوادث طبیعی موجب می‌شود که پیش‌بینی وقوع و میزان آثار بحران بسیار پیچیده باشد. بنابراین مدیریت بحران چه قبل و چه بعد از حادثه نیازمند برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی فرایندهای مختلف است. پیش‌گیری^۱، آمادگی^۲، پاسخ^۳ و بازسازی^۴ چهار فازی است که معمولاً در مدیریت جامع بحران به آن اشاره می‌شود. پیش‌گیری مجموعه اقدامات استراتژیکی است که قبل از وقوع بحران به منظور کاهش و گاهی حذف بسیاری از آثار زمین‌لرزه صورت می‌گیرد. از جمله این اقدامات می‌توان به مقاوم‌سازی پل‌ها، ساختمان‌ها و افزایش قابلیت اعتماد شبکه‌ی حمل و نقل اشاره کرد. فاز آمادگی مجموعه فعالیت‌های تاکتیکی است که قبل از وقوع بحران برای کاهش پیامدهای ناشی از زلزله صورت می‌گیرد. برای مثال آموزش افراد جامعه می‌تواند یکی از اقدامات فاز آمادگی باشد. فاز مقابله یا پاسخ نیز به فعالیت‌هایی گفته می‌شود که به منظور نجات جان انسان‌ها در ساعات اولیه بعد از وقوع بحران با توجه به نوع و میزان خسارات انجام می‌گیرد. در نهایت فاز بازسازی در برگرفته‌ی اقدامات طولانی مدتی است که به بازسازی ناحیه‌ی آسیب‌دیده می‌پردازد. به طور کلی می‌توان پاسخ را مهم‌ترین فاز مدیریت جامع بحران دانست، زیرا فاز پاسخ به طور مستقیم با نجات جان انسان‌ها در ارتباط است و سرعت عمل و دقت در این فاز از اهمیت بالایی برخوردار است. کل فرایند پاسخ را نیز می‌توان به چهار فعالیت عمده تقسیم کرد: ۱. پیش‌بینی تقاضا؛ ۲. مکان‌یابی ایستگاه‌های پاسخ؛ ۳. جست‌وجو و نجات و نهایتاً؛ ۴. توزیع^۵ و پخش تجهیزات، دارو، غذا و پوشاک. از آنجا که میزان تلفات با افزایش زمان افزایش می‌یابد، یکی از چالش‌های بحث مدیریت پاسخ به بحران، محدودیت زمانی است. محدودیت زمانی به منزله‌ی یک قید در حل مسائل برنامه‌ریزی تیم‌های پاسخ نقش به‌سزایی دارد؛ بنابراین در این مقاله سعی شده با اعمال اصلاحاتی در نحوه‌ی به‌کارگیری قید پنجره زمانی، فرایند کاری تیم‌های پاسخ به بحران را به صورتی مدل‌سازی کنیم که به واقعیت نزدیک‌تر باشد و نتایج قابل قبول‌تری را ارائه دهد.

در ادامه‌ی این مقاله، در بخش ۲ مروری بر پیشینه‌ی فاز پاسخ به‌ویژه تیم‌های توزیع و کمک‌رسانی آورده شده است. در بخش ۳ این مقاله به تئوری و فرمول‌نویسی مسئله پرداخته شده است. سپس تحلیل و نتایج حاصل از مدل پیشنهادی در بخش ۴ ارائه شده است، در نهایت نیز در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای مطالعات آتی آورده شده است.

مروری بر پیشینه‌ی موضوع

از بین ۴ فعالیت فاز مدیریت بحران، حدود ۲۵ درصد از مطالعات به بحث پاسخ پرداخته که بعد از پیشگیری با ۴۸ درصد، بیشترین میزان مطالعات را به خود اختصاص داده است [۱]. این موضوع اهمیت فاز پاسخ را نشان می‌دهد، از این رو در ادامه به بررسی هر یک از عملیات فاز پاسخ می‌پردازیم.

تقاضا

عدم قطعیت در اطلاعات موجود از نواحی آسیب‌دیده یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در بحث پیش‌بینی است. سری زمانی و مدل‌های خود بازگشت به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی پویای پیش‌بینی تقاضای کمک به کار رفته است [۲]. در زمان بحران اطلاعات مربوط به تقاضا از منابع متفاوتی ارائه می‌شود، از این رو تقاضای متغیر با زمان را می‌توان بر اساس روش تجمع منابع^۶ تعیین نمود [۳]. همچنین سان و همکارانش در سال ۲۰۱۳ یک مدل فازی برای پیش‌بینی تقاضا در شرایط بحران پیشنهاد کردند. آن‌ها در مدل خود به حل مشکل اطلاعات ناقص و ناصحیح موجود برای تقاضا در شرایط آشوب بعد از زلزله پرداختند [۴]. با وجود مطالعات بسیار در زمینه‌ی پیش‌بینی تقاضای کمک، تعدادی از مطالعات بر روی بحث ارزیابی خسارات و تعیین دقیق تقاضا صورت گرفته است. مسئله‌ی مسیریابی تیم‌های ارزیابی خسارات توسط هانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ تعریف شد [۵]. آن‌ها برای حل این مسئله یک مدل تقریب‌سازی پیوسته ارائه نمودند. آن‌ها همچنین مدل پیشنهادی خود را با الگوریتم‌های گسسته مقایسه نمودند. هرچند نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که مدل آن‌ها در حالت پیوسته بهتر از حالت گسسته جواب می‌دهد، ولی در روند حل مسئله، مجموع زمان رسیدن به منزله‌ی تابع هدف آن‌ها استفاده شده است. مجموع زمان رسیدن شامل زمان سرویس‌دهی به ناحیه‌ها نیز می‌شود. اما با در نظر گرفتن آن به‌مثابه‌ی تابع هدف، زمان سرویس‌دهی به ناحیه‌ی آخر در لیست ناحیه‌های هر وسیله‌ی نقلیه در نظر گرفته نمی‌شود. البته این موضوع با ثابت فرض کردن زمان سرویس‌دهی هر ناحیه بین وسایل نقلیه، مشکلی ایجاد نمی‌کند. اما واضح است که چنین فرضی از واقعیت فاصله دارد.

مکان‌یابی

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که افراد تصمیم‌گیرنده در مدیریت بحران باید قبل از تصمیم‌گیری از فرایند مکان‌یابی اطلاع داشته باشند، زیرا این امر در ریسک، زمان و تعداد مراکز توزیع، در مسیریابی و برنامه‌ریزی تیم‌های پاسخ نقش بسزایی دارد [۶]. در زمینه‌ی مکان‌یابی، یک مدل پویا ارائه شده است که در آن با استفاده از اطلاعات جزئی در مورد ناحیه‌های آسیب‌دیده و منابع موجود، بهترین موقعیت برای تخصیص منابع به نواحی آسیب‌دیده تعیین می‌شود [۷]. همچنین بلاسیک و بیمون در سال ۲۰۰۸ یک مدل برای تخصیص مراکز توزیع کمک در شبکه‌ی حمل و نقل توسعه داده‌اند [۸]. مدل آن‌ها ترکیبی از به‌کارگیری روش‌های تخصیص تجهیزات^۷، کنترل موجودی^۸ و حداکثرسازی سطح پوش^۹ است. ارکات و همکارانش در سال ۹۳ به ارائه‌ی

جدول ۱: نمادهای به کار رفته شده در مدل سازی مسئلهی URAT

K	تعداد وسایل نقلیه	$A_{i,k}$	زمان رسیدن وسیلهی k ام به ناحیه i
I	تعداد ناحیه های آسیب دیده	V_k	سرعت وسیلهی k
$S_{i,k}$	زمان سرویس دهی ناحیهی i برای وسیلهی k ام	C_k	زمان اتمام کار وسیله k
$ST_{i,k}$	زمان شروع فعالیت در ناحیهی i برای وسیلهی k ام	$Cmax_k$	حداکثر زمان اتمام فعالیت
$FT_{i,k}$	زمان پایان فعالیت در ناحیهی i برای وسیلهی k ام	A_k	مجموع زمان های رسیدن به نواحی توسط وسیلهی k
P_i	جمعیت ناحیهی i	$X_{i,j,k}$	متغیر دو دویی مستقل جریان که اگر وسیلهی نقلیهی k از i به j سفر کرده باشد ۱ و در غیر این صورت ۰ است.
R_i	ضریب آسیب پذیری ناحیهی i	$Xo_{j,k}$	متغیر دو دویی مستقل جریان که اگر وسیلهی نقلیهی k از i ایستگاه به j سفر کرده باشد ۱ و در غیر این صورت ۰ است
$ST_{i,k}$	زمان شروع فعالیت در ناحیهی i برای وسیلهی k ام	$Cmax_k$	حداکثر زمان اتمام فعالیت

در ابعاد واقعی و بزرگ پیشنهاد داده اند [۱۶]. در اکثر مطالعات صورت گرفته در زمینه ی تیم های کمک رسانی، یا تغییرات تقاضا ثابت است یا اگر متغیر با زمان باشد این تغییرات به صورت خطی فرض شده است. همچنین پنجره ی زمانی به کار گرفته شده در این مسائل عموماً به صورت پنجره ی زمانی سخت در نظر گرفته شده است که در همه ی موارد گفته شده مدل و نتایج آن از واقعیت دور است. از این رو در این مقاله با استفاده از الگوریتم گسسته ی شبیه سازی تبرید^{۱۳} مسئله ی تیم های پاسخ به بحران (ERT) با تابع هدف حداکثر زمان اتمام فرایند^{۱۴} برای هر وسیله مدل سازی و حل شده است. در این حالت با مدل سازی عدم قطعیت زمان سرویس دهی ناحیه ها و همچنین اصلاح تابع حیات بخش و استفاده از آن به منزله ی پنجره ی زمانی، مدلی واقعی تر و دقیق تر برای برنامه ریزی تیم های امداد ارائه شده است.

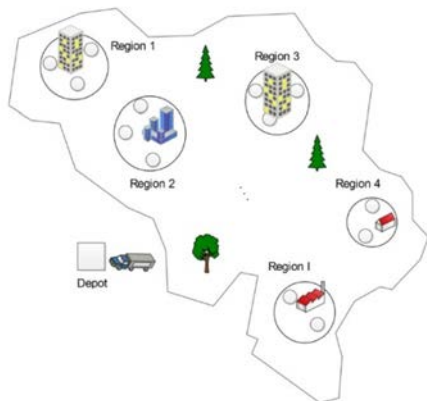
تئوری مسئله

نمادها

جدول ۱ تمامی نمادهایی که در رابطه نویسی مسئله URAT استفاده شده است را به همراه توضیح مختصری در مورد آن ها نمایش می دهد.

مدل سازی مسئله

یک شهر فرضی مطابق تصویر ۱ با n نقطه ی آسیب دیده در نظر بگیرید. همچنین فرض کنید این شهر بر اساس پراکندگی تقاضا به I منطقه ی آسیب دیده تقسیم شده است. همچنین یک ایستگاه در خارج از مناطق آسیب دیده در نظر گرفته شده است.



تصویر ۱: شهر فرضی با I ناحیه ی آسیب دیده

یک مدل ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مکان یابی و مسیریابی برای تسهیلات اورژانس ارائه کردند [۹]. آن ها این الگوریتم را با فرض خرابی مسیرهای حمل و نقل توسعه داده و نتایج آن را با الگوریتم حل دقیق محدودیت اپسیلون اعتبارسنجی کردند.

جستجو و نجات

پس از پیش بینی تقاضا، تعیین مکان های مناسب برای تخصیص منابع و تجهیزات عملیات جستجو و نجات^{۱۵} (USAR) آغاز می شود. مهم ترین هدف این عملیات کاهش تلفات است؛ از این رو مدل های بهینه سازی پویا به منظور حداقل کردن تلفات و بهینه کردن این عملیات به کار برده شده است [۹]. طیف گسترده ای از تحقیقات که در زمینه ی عملیات جستجو و نجات است بر علم روباتیک متمرکز است؛ همچنین بخشی از تحقیقات به منظور ایجاد یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری برای این عملیات صورت گرفته است [۱۰]. همچنین چن و هوکس در سال ۲۰۱۲ برای مسیریابی تیم های USAR یک مدل برنامه ریزی تصادفی چند مرحله ای را ارائه کردند [۱۱]. تابع هدفی که آن ها برای مدل خود استفاده کردند، تعداد کل نجات یافتگان در این عملیات است.

توزیع و پخش کمک

یکی دیگر از کارهایی که در فاز پاسخ به آن بسیار پرداخته شده است، بحث توزیع و پخش در شرایط بحران است. توره و همکارانش در سال ۲۰۱۲ یک مقاله ی مروری کامل در مورد مسائل مسیریابی به منظور تحویل کالا و سرویس دهی به مناطق آسیب دیده ارائه کرده اند [۱۲]. در بحث توزیع، توابع هدف متفاوتی در مقالات مختلف در نظر گرفته شده است. هزینه ی کل تحویل کالا با در نظر داشتن ایمنی در تقاضا توسط بارباراسوگلو و اردا در نظر گرفته شده است [۱۳]. همچنین اوزدآمار و همکارانش در سال ۲۰۰۴ یک روش مسیریابی وسایل نقلیه ی چند کالایی را به منظور مدل کردن مسئله ی دریافت و تحویل^{۱۶} ارائه کرده اند [۱۴]. بی و کومار نیز یک مسئله ی بهینه سازی مبتنی بر کلونی مورچگان در سال ۲۰۱۳ ارائه کردند که در آن مجموع تقاضای بررسی نشده بر روی همه ی کالاها و همچنین تعداد انسان هایی که در ناحیه ها نجات داده نشده اند، حداقل می شود [۱۵]. احمدی و همکارانش در سال ۱۳۹۲ نیز با ارائه ی یک الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر، راهکاری مناسب برای مسئله ی امداد رسانی پس از زلزله

هر یک از این نواحی دارای یک ضریب آسیب‌پذیری است که بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته قبل از وقوع حادثه موجود است.

هر ناحیه‌ی آسیب‌دیده دارای جمعیت P_i است. اگر ضریب آسیب‌پذیری هر ناحیه را با R_i نشان دهیم تقاضای کمک برای هر ناحیه برابر $D_i = R_i \times P_i$ خواهد بود [۱۷]. ضریب R_i یک متغیر مستقل بین صفر و یک است.

همچنین برای هر وسیله‌ی نقلیه‌ی k در ناحیه‌ی i یک زمان سرویس‌دهی در نظر گرفته شده است. این زمان وابسته به ویژگی‌های محیطی ناحیه‌ی i و فاکتور عملکرد^{۱۴} (PF) تیم امداد k دارد و متناسب است با D_i یا همان تقاضای آن ناحیه. بنابراین ناحیه‌ی i برای هر وسیله‌ی نقلیه یک زمان سرویس $S_{i,k}$ متفاوت دارد. فاکتور عملکرد بیانگر این حقیقت است که تیم‌های امداد کارایی، دقت و سرعت عمل متفاوتی دارند و این فاکتور می‌تواند به عواملی چون تجربه، میانگین سنی اعضای تیم پاسخ و... وابسته باشد. از دیگر پارامترهایی که در مدل‌سازی این مسئله دخیل است، سرعت وسایل نقلیه‌ی V_k است. سرعت وسایل نقلیه در واقع برای محاسبات مربوط به زمان سفر مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر ناحیه بر روی افق زمانی دارای سه مشخصه‌ی زمانی، زمان شروع^{۱۵}، زمان سرویس^{۱۶} و زمان پایان است. زمان شروع زمانی است که تیم پاسخ به ناحیه‌ی مورد نظر رسیده است. زمان سرویس مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تیم پاسخ آن ناحیه را بررسی کند و متناسب با تقاضای آن ناحیه است و زمان پایان زمانی است که کار تیم در ناحیه‌ی مورد نظر تمام شده است و می‌خواهد به سمت ناحیه‌ی بعدی حرکت کند. روابط ۱ و ۲ بیانگر زمان شروع و زمان خروج است.

$$ST_{i,k} = \sum_{i=2} \sum_j T_{i,j,k} + T_{0,i,k} \quad (Vi, j, k) \quad \text{رابطه ۱}$$

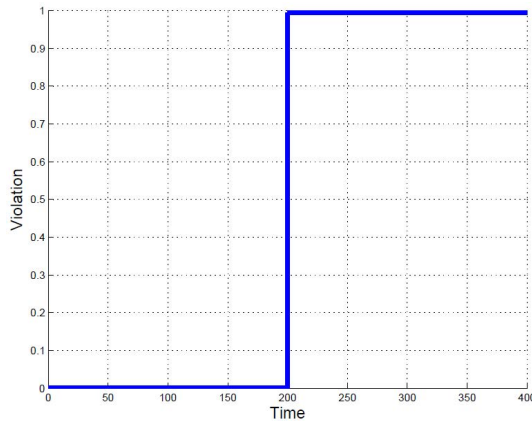
$$FT_{i,k} = \sum_i (ST_{i,k} + S_{i,k}) \quad (Vi, j, k) \quad \text{رابطه ۲}$$

بر اساس مدل فوق یک برنامه‌ی زمان‌بندی بهینه و مسیریابی وسایل نقلیه برای یافتن لیست بهینه‌ی مسیرهای هر تیم در بخش بعدی ارائه شده است، به طوری که حداکثر زمان اتمام کار تیم‌ها حداقل شود.

رابطه نویسی مسئله

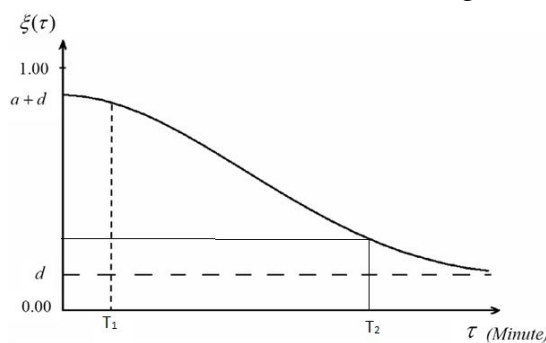
مسئله‌ی مسیریابی تیم‌های پاسخ یک مسئله‌ی کاملاً مقید است؛ به این معنی است که در حل این مسئله هم باید قیدهای مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه در نظر گرفته شود و هم قیدهای مربوط به محدودیت زمانی. قید محدودیت زمانی یا پنجره‌ی زمانی به این معنی است که ناحیه‌ها باید قبل از زمان مشخص TW_1 توسط تیم‌ها بررسی شوند. در این صورت بیشترین نجات برای آن ناحیه حاصل خواهد شد. در صورتی که ناحیه‌ای بعد از زمان TW_1 که هنوز امداد رسانی نشده است، تلفات آن رفته‌رفته زیاد می‌شود و در زمان TW_2 تلفات آن به حداکثر می‌رسد. بنابراین اولویت بازرسی ناحیه‌ها بعد از TW_1 رفته‌رفته کم شده و در TW_2

نزدیک به صفر می‌رسد. تعریف فوق از محدوده‌ی زمانی را پنجره‌ی زمانی نرم ۱۷ می‌نامند. نوعی دیگر از پنجره‌ی زمانی نیز در مدل‌سازی مسیریابی تیم‌های پاسخ استفاده می‌شود که به آن پنجره‌ی زمانی سخت گفته می‌شود. در این حالت یک ناحیه فقط اجازه دارد قبل از زمان TW امداد رسانی شود و بعد از آن نیازی به بررسی آن ناحیه نیست. در واقع فرض می‌شود بعد از این زمان دیگر کسی برای نجات وجود ندارد و همه‌ی تقاضاها به تلفات تبدیل شده است [۱۸]. تصویر ۲ مفهوم پنجره‌ی زمانی سخت را که در اغلب مطالعات به کار می‌رود نشان می‌دهد.



تصویر ۲: پنجره‌ی زمانی سخت

همان‌طور که از تعاریف مشخص است، پنجره‌ی زمانی نرم انعطاف بیشتری دارد و به نظر می‌رسد که به واقعیت نزدیک‌تر باشد، در حالی که پنجره‌ی زمانی سخت بسیار سختگیرانه است و فضای جستجوی مسئله را بسیار محدود می‌کند. علت استفاده‌ی کم از پنجره‌ی زمانی نرم در مدل‌سازی تیم‌های پاسخ این است که در این تابع کاهش اولویت یا به عبارتی افزایش تخطی از زمان TW_1 به صورت خطی است و میزان افزایش تلفات را در بعضی مواقع بیشتر از حد نشان می‌دهد. در این مقاله با مدل کردن افق زمانی به صورت نمایی و استفاده از تابع حیات بخش به‌منزله‌ی پنجره‌ی زمانی نیمه‌نرم، مدل را به واقعیت نزدیک‌تر می‌کنیم و میزان افزایش تلفات را نیز به درستی دریافت خواهیم کرد. تابع حیات بخش نشان می‌دهد که درصد قابلیت نجات نسبت به زمان به صورت نمایی کاهش می‌یابد [۱۷]. تصویر ۳ بیانگر شکل تابع حیات بخش است.



تصویر ۳: تابع حیات [۱۵]

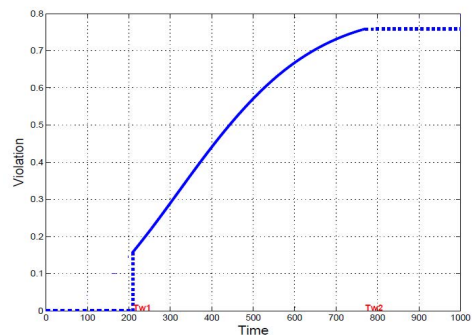
معادله‌ی تابع حیات بخش در رابطه‌ی ۳ آورده شده است. در این مقاله از این تابع در تعریف پنجره‌ی زمانی نرم استفاده شده است. همچنین زمان و نحوه‌ی کاهش تقاضا با استفاده از این رابطه شبیه‌سازی شده است.

$$\xi(t) = ae^{bt^c} + d \quad a, c, d > 0, \quad b < 0, a + d < 1, d \ll a$$

رابطه‌ی ۳:

همان‌طور که از تصویر ۳ مشخص است تا زمان T_1 تعداد نجات‌یافتگان با گذر زمان تغییرات کمی دارد، اما از این زمان به بعد تقاضای نجات به شدت کاهش یافته و تعداد تلفات افزایش می‌یابد. بنابراین تا جایی که امکان دارد باید هر ناحیه در زمانی کمتر از T_1 امداد رسانی شود و از این زمان به بعد اولویت این ناحیه به دلیل کم شدن تعداد تقاضای نجات کمتر شده و در T_2 و بعد از آن این تقاضا به حدی کم می‌شود که اولویت آن تقریباً ناچیز می‌شود. این مسئله با فرض $a=0.8$ و b در بازه‌ی $[-0.000001, 0.000001]$ برای هر ناحیه در نظر گرفته شده است. در واقع هر ناحیه ویژگی‌های فیزیکی ویژه‌ی خود را دارد و تاب‌آوری متفاوتی می‌تواند نسبت به باقی ناحیه‌ها داشته باشد. برای مثال در شهر تهران مناطق شمالی شهر نسبت به مناطق جنوبی تاب‌آوری بیشتری دارد و بنابراین تلفات آن مناطق نسبت به مناطق جنوبی نسبت به زمان، کمتر افزایش می‌یابد. از این رو در مدل‌سازی مسئله برای هر ناحیه پنجره‌ی زمانی متفاوت و تصادفی در نظر گرفته شده تا عدم قطعیت در این زمینه لحاظ شده باشد. البته برای همه‌ی ناحیه‌ها c برابر ۲ و d برابر ۰ فرض شده است.

برای یافتن T_1 و T_2 لازم است که تابع حیات بخش کمی اصلاح شود. برای این منظور کافی است به این نکته توجه شود که T_1 و T_2 نقطه‌هایی هستند که در آن شیب کاهش نجات‌یافتگان افزایش یابد. بنابراین این نقاط به ترتیب اولین و دومین نقطه‌ی عطف نمودار مشتق دوم تابع حیات هستند. همچنین این پنجره‌های زمانی به صورت دوگان مسئله تبدیل شده و نمودار تخطی آن‌ها به صورت تصویر ۴ نمایش داده شده است.



تصویر ۴: تابع تخطی برگرفته‌شده از اصلاح نمودار تابع حیات بخش

هدف در فرمول‌نویسی این مسئله کمینه کردن حداکثر زمان اتمام فعالیت تیم‌ها است. زمان اتمام فعالیت هر تیم در واقع زمان اتمام فعالیت $FT_{i,k}$ آخرین ناحیه در لیست ناحیه‌های مربوط به

وسیله‌ی k است. نحوه‌ی محاسبه‌ی تابع هدف در رابطه‌ی ۴ آورده شده است که در آن C_k زمان اتمام فعالیت تیم k است.

مسئله‌ی مسیریابی تیم‌های پاسخ به بحران به صورت زیر رابطه‌نویسی شده است:

$$Cmax_k = \max C_k \quad \text{رابطه‌ی ۴:}$$

تابع هدف:

$$\text{Min } Cmax \quad \text{رابطه‌ی ۵:}$$

قیدها

$$\sum_{j \in I} \sum_{k \in K} X_{i,j,k} = 1 \quad (\forall i) \quad \text{رابطه‌ی ۶:}$$

$$\sum_{j \in I} \sum_{k \in K} X_{0,j,k} \leq K \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

$$\sum_{j \in I_k} D_i \leq C_k \quad \text{رابطه‌ی ۸:}$$

$$ST_{i,k} \leq Tw_2^i \quad \text{رابطه‌ی ۹:}$$

$$\sum_{j \in I} X_{i,j,k} - \sum_{j \in I} X_{j,i,k} = 0 \quad (\forall i) \quad \text{رابطه‌ی ۱۰:}$$

$$\sum_{j \in I} X_{0,j,k} = 1 \quad (\forall k) \quad \text{رابطه‌ی ۱۱:}$$

$$FT_{i,k} + T_{i,j,k} \leq FT_{j,k} + M(1 - X_{i,j,k}) \quad (\forall i, j) \quad \text{رابطه‌ی ۱۲:}$$

$$FT_{i,k} \geq (To_{i,k} X_{0,j,k}) \quad (\forall i, k) \quad \text{رابطه‌ی ۱۳:}$$

$$X_{i,j} \in \{0,1\} \quad (\forall i, j) \quad \text{رابطه‌ی ۱۴:}$$

$$FT_{i,k} \geq 0, T_{i,j,k} \geq 0 \quad (\forall i) \quad \text{رابطه‌ی ۱۵:}$$

در روابط بالا رابطه‌ی ۶ بیانگر این است که همه‌ی ناحیه‌ها باید بررسی شوند. رابطه‌ی ۷ قیدی است که تعداد تیم‌ها را به k تیم محدود می‌کند. رابطه‌ی ۸ مجموع تقاضاهای ناحیه‌های یک وسیله‌ی نقلیه را به ظرفیت آن وسیله‌ی نقلیه C_k محدود می‌کند. همچنین رابطه‌ی ۹ محدوده‌ی زمانی هر ناحیه را تعیین کرده و رابطه‌ی ۱۰ نیز بیانگر این است که هر ناحیه باید فقط یک بار بازدید شود. رابطه‌ی ۱۱ بیان می‌کند که هر تیم تنها می‌تواند دارای یک مسیر باشد و در نهایت با روش M (یک عدد بزرگ است) روابط ۱۲ و ۱۳ از گیر کردن الگوریتم در زیر مسیرهای غیر قابل قبول جلوگیری می‌کند.

در این مقاله برای حل مسئله‌ی فوق از الگوریتم فرایانده‌ی شبیه‌سازی تبرد استفاده شده است. این الگوریتم یک الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند مبتنی بر جواب منفرد است که به دلیل سرعت بالا در یافتن جواب بهینه و سادگی در پیاده‌سازی از محبوبیت بالایی در مسیریابی وسایل نقلیه و مسائل پیچیده دیگر برخوردار است. این الگوریتم از سال ۱۹۹۳ تاکنون در مقالات بسیاری برای حل مسئله‌ی مسیریابی بهبود داده شده است و در حل مسائل محک^{۱۸} نتایج قابل قبولی ارائه داده است [۱۹].

الگوریتم بهینه‌سازی شبیه‌سازی تبرید

الگوریتم شبیه‌سازی تبرید در مرحله‌ی اول یک پاسخ تصادفی در فضای جستجو ایجاد کرده و سپس در هر مرحله با جستجو و حرکت در همسایگی آن جواب تابع هدف را بررسی می‌کند. اگر همسایه‌ی جدید تابع هدف را نسبت به موقعیت فعلی بهبود بخشد، به مثابه‌ی جواب جایگزین انتخاب می‌شود و در غیر این صورت این همسایه را با احتمال بخصوصی پذیرفته و یا رد می‌کند. این احتمال به اختلاف بین هزینه‌ی جواب فعلی و جواب جدید و همچنین دمای در حال حاضر وابسته است. این دما یک پارامتر کنترلی است که به تدریج در هر مرحله کاهش می‌یابد؛ بنابراین شانس انتخاب پاسخ‌های با هزینه‌ی بیشتر به تدریج کمتر می‌شود و جستجو آهسته آهسته سختگیرانه‌تر می‌گردد. در واقع این عمل موجب می‌شود که الگوریتم، دارای پراکندگی در جستجو باشد و اکثر فضای جستجو را بررسی کند. این احتمال معمولاً از تابع توزیع بولتزمن استفاده می‌کند که در رابطه‌ی ۱۶ آورده شده است.

$$P(\Delta f, T) = e^{-\frac{f(x') - f(s)}{T}} \quad \text{رابطه‌ی ۱۶}$$

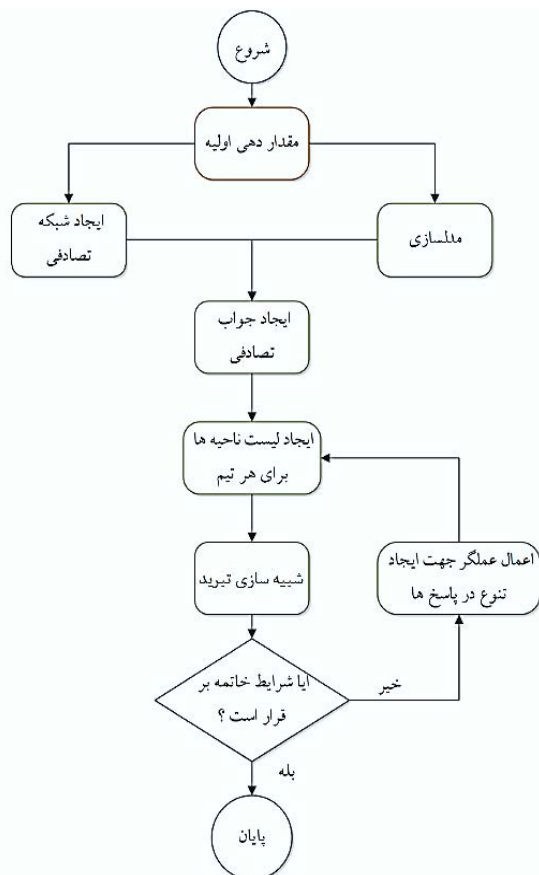
معمولاً برای جلوگیری از گیر کردن الگوریتم در نقطه‌ی بهینه‌ی محلی، سعی می‌شود به نحوی تنوع^{۱۶} بیشتری در جواب‌ها ایجاد شود. برای ایجاد این تنوع بسته به الگوریتم مورد استفاده از عملگرهایی مانند جهش^۲، انتقال^۱، جابه‌جایی^۳، معکوس‌سازی^{۲۳} و ... استفاده می‌شود. در این مقاله از اثر ترکیبی سه عملگر انتقال، جابه‌جایی و معکوس‌سازی برای ایجاد تنوع هر چه بیشتر در جواب‌ها استفاده شده است.

در تصویر ۵ روند حل مسئله‌ی مسیریابی تیم‌های پاسخ نمایش داده شده است. در مرحله‌ی اول پارامترهای الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مانند ثابت دما و تعداد تکرار تعیین می‌شود. در مرحله‌ی بعد، طراحی شبکه و مدل‌سازی مسئله صورت می‌گیرد. به این صورت که موقعیت ناحیه‌ها و مراکز امداد رسانی تعیین می‌شود و تعداد، سرعت و ضریب عملکرد وسایل نقلیه مقداردهی می‌شود. زمان سفر و پنجره‌ی زمانی نیز با استفاده از رابطه‌ی ۳ برای هر ناحیه محاسبه می‌شود. در مرحله‌ی بعد یک جواب تصادفی برای مسئله ایجاد می‌شود و با توجه به آن برای هر وسیله‌ی نقلیه فهرستی از ناحیه‌هایی که باید بررسی شود تشکیل می‌شود. سپس تابع هزینه که حداکثر زمان اتمام فعالیت تیم‌ها است تعیین می‌گردد. حال با استفاده از عملگرهای انتقال، جابه‌جایی و معکوس‌سازی یک جواب در همسایگی پاسخ قبلی ایجاد می‌شود و پس از تشکیل فهرست هر وسیله و محاسبه‌ی حداکثر زمان اتمام فعالیت تیم‌ها مقدار آن با مقدار قبلی مقایسه می‌شود. در صورتی که این مقدار از مقدار جواب قبلی کمتر بود، این مسیر جایگزین مسیر قبلی می‌شود و در غیر این صورت با احتمالی که از رابطه‌ی ۱۶ محاسبه می‌شود، ممکن است جایگزین شود یا نشود. این فرایند تا برقراری شرایط خاتمه ادامه می‌یابد و به جواب بهینه همگرا می‌شود. نکته‌ی مهم این است که با توجه به این که هر ناحیه دارای پنجره‌ی زمانی است، در صورتی که پاسخ مسئله به نحوی باشد که اگر تیم i در زمانی خارج از پنجره‌ی زمانی نرم تعریف شده و یا در طول آن به

ناحیه‌ی زرسید عددی با استفاده از تابع تخطی محاسبه شده و به عنوان جریمه به زمان اتمام فعالیت آن تیم اضافه می‌شود. بدین صورت احتمال پذیرفته شدن این جواب کمتر می‌شود. مقدار این جریمه بسته به اینکه وسیله‌ی نقلیه آنچه زمانی به ناحیه‌ی زبرسد با استفاده از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود.

حل عددی مسیریابی تیم‌های پاسخ به بحران

این مسئله ۵۰ مرتبه بر روی دو شبکه، یکی با ابعاد کوچک و دیگری با ابعاد واقعی‌تر، حل شده است. این دو شبکه هر بار به صورت تصادفی ایجاد شده است و به ترتیب دارای ۱۵ و ۵۰ ناحیه‌ی آسیب‌دیده است. تعداد تیم‌ها نیز برای شبکه‌ی کوچک ۵ و برای شبکه‌ی بزرگ‌تر ۱۰ در نظر گرفته شده است. محل ایستگاه در هر دو شبکه به صورت تصادفی و در محدوده‌ای خارج از نواحی آسیب‌دیده در نظر گرفته شده است. تقاضای ناحیه‌ها نیز به صورت اعداد تصادفی با توزیع نرمال و در بازه‌ی ۱۰۰-۱۰ تعیین شده است. زمان سرویس برای هر ناحیه و هر وسیله‌ی نقلیه متناسب با تقاضا در نظر گرفته شده است. در این مطالعه فرض شده که به ازای هر واحد تقاضا از ۰٫۷۵ تا ۱٫۳۵ واحد زمانی هر وسیله‌ی نقلیه می‌تواند به یک ناحیه خدمات‌رسانی کند. همان‌طور که بیان شد این ضرایب PF یا همان فاکتور عملکرد تیم‌ها است. همچنین سرعت وسایل نقلیه نیز به صورت تصادفی در بازه‌ی ۳۰ - ۲۰ کیلومتر بر



تصویر ۵: رویه‌ی حل مسئله‌ی مسیریابی تیم‌های ارزیابی خسارات با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

ساعت تعیین شده است. از این سرعت برای محاسبه‌ی زمان سفر هر یک از تیم‌ها در شبکه استفاده شده است. جدول ۲ مشخصات شبکه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات دو شبکه در ابعاد کوچک و واقعی به کار رفته در این مسئله

تعداد تیم‌ها	تعداد ناحیه‌ها	ابعاد شبکه
۵	۱۵	کوچک
۱۰	۵۰	واقعی

با توجه به اینکه همه‌ی ویژگی‌های مدل از جمله موقعیت ناحیه‌ها، مسیرهای ارتباطی، سرعت، فاکتور عملکرد، زمان سرویس‌دهی و حتی ضرایب تابع حیات برای ناحیه‌ها به صورت تصادفی ایجاد شده، می‌توان عدم قطعیت را در همه‌ی ابعاد مسئله لحاظ کرد. همچنین با توجه به اینکه همه‌ی این حالات ۵۰ بار و هربار در دو شبکه با ابعاد کوچک و بزرگ شبیه‌سازی و مدل‌سازی شده است، می‌توان گفت که این ۱۰۰ مدل آزمایشی با وجود همه‌ی عدم قطعیت‌ها در همه‌ی ابعاد، طیف گسترده‌ای از حالات مختلف و ملاحظات را در بر می‌گیرد و می‌توان از کاربرد آن در شرایط واقعی نیز اطمینان حاصل کرد.

این مسئله برای هر شبکه به صورت جداگانه با استفاده از پنجره‌ی زمانی نیمه‌نرم، پنجره‌ی زمانی سخت و پنجره‌ی زمانی نرم با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید حل شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در ۸۶ درصد شبکه‌های مورد آزمایش، درصد نجات‌یافتگان با اعمال پنجره‌ی زمانی نیمه‌نرم افزایش می‌یابد.

در جدول ۳ میانگین جواب‌های به دست آمده با هر سه رویکرد پنجره‌ی زمانی به تفکیک هر شبکه نشان داده شده است. در این جدول همچنین مسیر بهینه‌ی همه‌ی تیم‌ها به همراه تعداد نجات‌یافتگان نهایی برای هر سه رویکرد آورده شده است. در ستون مربوط به مسیر بهینه شماره‌ی ناحیه‌ها برای هر وسیله با علامت (-) از یکدیگر جدا شده است.

اعتبارسنجی

تصویر ۶ نمودار هزینه بر حسب تعداد تکرار برآورد هزینه برای یکی از ۱۰۰ سناریو را برای پنجره‌ی زمانی نیمه‌نرم نشان می‌دهد. این تصویر در واقع نحوه‌ی عملکرد الگوریتم را در هر تکرار نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر ۶ مشخص است الگوریتم در هر تکرار جواب‌هایی را ارائه داده که حداکثر زمان اتمام فعالیت تیم‌ها (هزینه) در آن نسبت به پاسخ قبلی کمتر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بعد از تعداد مشخصی تکرار، الگوریتم به یک ثبات رسیده و به جواب بهینه همگرا می‌شود. بدین معنا که الگوریتم فرصت کافی برای جستجو را داشته و از آنجا که بهبودی در نتیجه حاصل نشده است، می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم به پاسخ بهینه و درست دست یافته است.

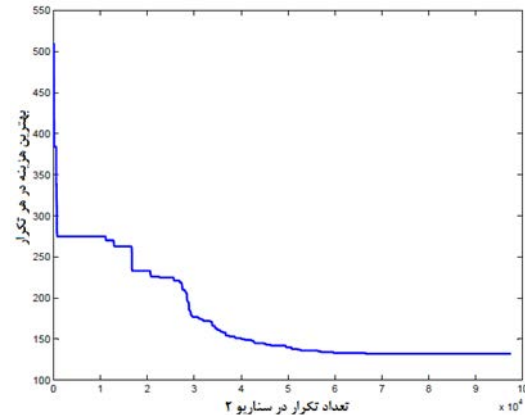
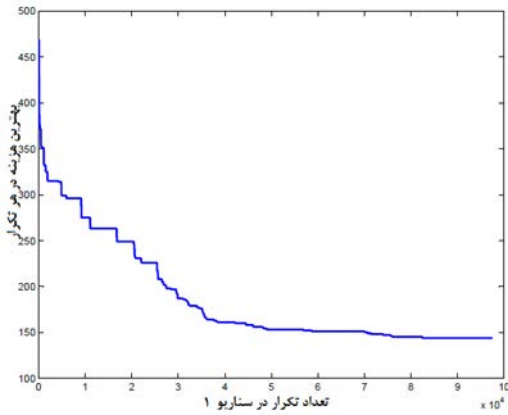
به عبارت دیگر اگر بعد از فرا رسیدن شرایط خاتمه تغییرات در نمودار همچنان سیر نزولی داشت، مشخص می‌شود که الگوریتم هنوز پاسخ بهینه را پیدا نکرده است. برای مثال تصویر ۷ روند بهینه‌سازی الگوریتم را برای یکی از سناریوها با پنجره‌ی زمانی سخت نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشخص است به علت اینکه بسیاری از پاسخ‌ها در فضای پاسخ‌های ناشدنی قرار گرفته، فرایند بهینه‌سازی سخت‌تر شده و الگوریتم علیرغم همگرایی بسیار خوب به سمت پاسخ بهینه همچنان در حال بهبود آن است.

همان‌طور که گفته شد ۸۶ درصد از سناریوها نشان دادند که پنجره‌ی زمانی نیمه‌نرم موجب افزایش درصد نجات‌یافتگان شده است. از ۱۴ درصد باقی‌مانده ۶ درصد بیانگر کاهش درصد نجات‌یافتگان و ۸ درصد نتایجی مشابه را نشان می‌دهد. علت کاهش درصد نجات‌یافتگان، به دام افتادن الگوریتم در نقطه‌ی بهینه‌ی محلی است. با این وجود تطابق و بهبود نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با دو رویکرد گذشته مجموعاً در ۹۴ درصد مواقع نشان می‌دهد که نتایج از اعتبار خوبی برخوردار است. تصویر ۸ بیانگر مقایسه و اعتبارسنجی نتایج مدل پیشنهادی در مقایسه با دو روش موجود دیگر است.

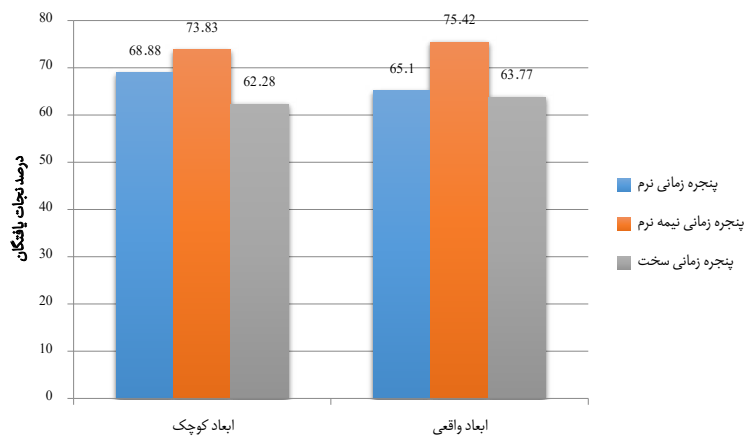
جدول ۳: جواب به دست آمده با هر دو رویکرد به تفکیک هر شبکه

شبکه	رویکرد	میانگین درصد نجات یافتگان	مسیر
کوچک	پنجره‌ی زمانی نرم	۸۸/۶۸	۵-۸-۱۳-۱۱/۱۲-۴/۶-۱-۱۴/۱۰-۹-۷/۳-۲-۱۵
	پنجره‌ی زمانی نیمه‌نرم	۸۳/۷۳	۱۰-۷-۹/۶-۱۱-۱/۱۳-۱۲-۱۵/۵-۸-۴/۳-۲-۱۴
	پنجره‌ی زمانی سخت	۳/۶۲	۱۰-۲-۱/۶-۱۵-۱۴/۱۳-۷-۹/۱۲-۴-۱۱/۳-۵-۸
ابعاد واقعی	پنجره‌ی زمانی نرم	۱/۶۵	-۳۴-۵/۲-۲۸-۴۲-۲۱/۶-۳-۴۷-۱۰-۱۹-۹-۲۵/۱۸-۳۲-۵۰-۴۵-۱۷-۲۳-۴۴-۱۶-۳۷/۴۶-۱۱-۳۱-۱۲-۲۵-۴۰/۶-۳۸-۴۷-۱۴-۳۳-۱۴-۴۸-۳۸-۴/۷-۴۳-۲۷-۲۴-۱۳-۳۱-۱۱-۳۷-۴۶-۳۶-۲۹-۲۰-۱-۴۱-۳۰/۳۹-۲۶-۴۹/۱۲-۳۵-۲۲-۴۰/۸
	پنجره‌ی زمانی نیمه‌نرم	۴۲/۷۵	-۴۸-۱۹-۹/۷-۲۶-۳۰-۳۵/۳۲-۱۰-۴۵-۴۲-۲۳-۲۱/۳-۳۶-۴۴-۳۴-۲۰-۲۷/۳۹-۲-۴۱-۴-۵-۲۲/۸-۱۶-۲۹-۱۷-۱/۲۸-۱۲-۲۵-۴۰/۶-۳۸-۴۷-۱۴-۳۱-۱۳-۵۰-۳۷/۴۶-۲۴-۴۳-۴۹/۱۸-۱۵-۳۳-۱۱
	پنجره‌ی زمانی سخت	۷۷/۶۳	-۱۳-۴۴-۱۹-۲۹-۱/۳۹-۲۸-۱۲-۳۵/۳۶-۳۲-۴۲-۲۰-۲۴/۶-۷-۴۳-۴۱-۳۰-۴-۲۲/۱۸-۱۵-۴۷-۴۸-۳۸-۲۳-۴۰/۵۰-۱۰-۴۵-۱۷-۲۷/۲-۹-۲۵-۲۱/۴۶-۳-۸-۳۱-۵-۳۴/۱۶-۳۳-۱۴-۱۱-۳۷/۲۶-۴۹



تصویر ۷: هزینه بر حسب تعداد تکرار برآورد هزینه با رویکرد پنجره‌ی زمانی سخت

تصویر ۶: هزینه بر حسب تعداد تکرار برآورد هزینه با رویکرد پنجره‌ی زمانی نرم



تصویر ۸: مقایسه‌ی درصد نجات یافتگان در دو رویکرد

آسیب دیده می‌تواند در روند برنامه‌ریزی اثر گذارد و تعداد تلفات را کاهش دهد. از این رو در این مقاله به ارائه‌ی یک تابع تخطی نیمه نرم بر اساس تابع حیات پرداخته شده است. تابع حیات، درصد تقاضای نجات یافته در زمان را نشان می‌دهد. شکل این تابع S مانند است و منطبق بر تابع توزیع نرمال است. بنابراین حالت تغییر تقاضا را به صورت واقعی تر مدل می‌کند. در این مقاله مسئله‌ی مسیریابی تیم‌های پاسخ با استفاده از الگوریتم فرایابنده شبیه‌سازی تبرید برای پنجره‌ی زمانی سخت، نرم و نیمه نرم ارائه شده است. نتایج حاصل از حل این مسئله به طور میانگین، ۱۱/۵ درصد افزایش نجات یافتگان را به همراه داشته است.

پی‌نوشت

1. Mitigation
2. Preperdness
3. Response
4. Recovery
5. Logistic
6. Urban Relief Assessment Team
7. Data Fusion
8. Resource Allocation
9. Inventory Control
10. Network Coverage
11. Urban Search and Rescue

تصویر ۸ نشان می‌دهد که استفاده از پنجره‌ی زمانی نیمه نرم نه تنها مسئله‌ی مسیریابی تیم‌های پاسخ به بحران را به واقعیت نزدیک تر می‌کند، بلکه به طور میانگین درصد نجات یافتگان حدود ۱۱/۵ درصد افزایش می‌یابد. زیرا پنجره‌ی زمانی نیمه نرم این امکان را به الگوریتم جستجو می‌دهد که اولویت ناحیه‌ها را به صورت واقعی تری نسبت به زمان کاهش دهد. در این صورت ناحیه‌ای که دارای تقاضای کمک قابل ملاحظه‌ای است با احتمال کمتری در اولویت‌های پایین قرار می‌گیرد.

تمام کد نویسی‌های مربوط به مسئله‌ی مسیریابی تیم‌های پاسخ در محیط متلب ۲۰۱۲، با یک رایانه با پردازنده‌ی ۷ هسته‌ای و سرعت ۲/۲ گیگاهرتز و حافظه‌ی جانبی ۴ گیگابایت انجام شده است.

نتیجه‌گیری

مسیریابی و برنامه‌ریزی تیم‌های پاسخ به بحران یکی از مهم‌ترین فازهای مدیریت بحران است. این مسئله در مطالعات پیشین بسیار مورد بررسی قرار گرفته است. برای مسئله‌ی مسیریابی تیم‌های پاسخ، باید قیود مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه و محدودیت زمانی در نظر گرفته شود. از آنجا که زمان در مدیریت بحران بسیار حساس است و تلفات با افزایش زمان افزایش می‌یابد، انتخاب درست محدودیت زمانی برای ناحیه‌ی

Systems with Applications, 11 (2), 109 - 124.

11. Chen, L., & Miller-Hooks, E. (2012). Optimal team deployment in urban search and rescue. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46 (8), 984 - 999.
12. De la Torre, L. E., Dolinskaya, I. S., & Smilowitz, K. R. (2012). Disaster relief routing: Integrating research and practice. *Socio-economic planning sciences*, 46 (1), 88 - 97.
13. Barbaroso&gcaron, G. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*, 55 (1), 43 - 53.
14. Özdamar, L., Ekinci, E., & Küçükyazici, B. (2004). Emergency logistics planning in natural disasters. *Annals of operations research*, 129 (1-4), 217 - 245.
15. Yi, W., & Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (6), 660 - 672.
۱۶. احمدی، مرتضی؛ سیفی، عباس؛ قرهی، علیرضا (۱۳۹۲). مدل لجستیک امداد رسانی برای کاهش تلفات پس از زلزله در ابعاد بسیار بزرگ و واقعی. *دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۴ (۲)، ۵۱ - ۶۴.
17. Edrissi, A., Poorzahedy, H., Nassiri, H., & Nourinejad, M. (2013). A multi-agent optimization formulation of earthquake disaster prevention and management. *European Journal of Operational Research*, 229 (1), 261 - 275.
۱۸. جمالی، حسین؛ بشیری، مهدی؛ توکلی مقدم، رضا (۱۳۹۴). بررسی و حل مسئله امداد رسانی دو سطحی نقاط آسیب دیده از بحران. *دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۴ (۲)، ۵ - ۲۲.
19. Osman, I. H. (1993). Meta strategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of operations research*, 4.

12. Simulated Annealing
13. Maximum Completion Time
14. Performance Factor
15. Start Time
16. Service Time
17. Semi Soft Time Windows
18. Bench Mark
19. Diversification
20. Mutation
21. Insertion
22. Swap
23. Inversion

منابع

1. Altay, N., & Green III, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175 (1), 475 - 493.
2. Aviv, Y. (2003). A time-series framework for supply-chain inventory management. *Operations Research*, 51 (2), 210 - 227.
3. Sheu, J. B. (2007). An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (6), 687 - 709.
4. Sun, B., Ma, W., & Zhao, H. (2013). A fuzzy rough set approach to emergency material demand prediction over two universes. *Applied Mathematical Modelling*, 37 (10), 7062 - 7070.
5. Huang, M., Smilowitz, K. R., & Balcik, B. (2013). A continuous approximation approach for assessment routing in disaster relief. *Transportation Research Part B: Methodological*, 50, 20 - 41.
6. Mahmoudabadi, Abass, Seyedhosseini, Seyed Mohammad. (2012). Developing a Bi-level objective Model of Risk-Cost Trade off for solving locating - routing problem in transportation of hazardous material. *International journal of transportation Engineering*, 1 (3), 173 - 182.
7. Fiedrich, F., Gehbauer, F., & Rickers, U. (2000). Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety Science*, 35 (1), 41 - 57.
8. Balcik, B., Beamon, B. M., & Smilowitz, K. (2008). Last mile distribution in humanitarian relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12 (2), 51 - 63.
۹. ارکات، جمال؛ زمانی، شکوفه؛ قدس، پرک (۱۳۹۴). مکان یابی و مسیریابی تسهیلات اورژانسی با فرض خرابی مسیرهای ارتباطی در زمان بحران. *دو فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران*، ۴ (۸)، ۹۵ - ۱۰۶.
10. Blitch, J. G. (1996). Artificial intelligence technologies for robot assisted urban search and rescue. *Expert*