

# مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات در شریط بحران با استفاده از الگوریتم گروه ذرات

علی ادریسی: استادیار، گروه مهندسی عمران-راه و ترابری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
علی نادی\*: کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران-راه و ترابری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛

Email: anadi@mail.kntu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۵

## چکیده

در این مقاله به برنامه‌ریزی زمانی و مسیریابی بهینه برای گروه‌های ارزیابی خسارات پرداخته شده است. گروه‌های ارزیابی خسارات بعد از رخداد حادثه به محل‌های حادثه دیده ارسال می‌شوند و تقاضای مورد نیاز برای کمک‌رسانی را برآورد می‌کنند. در فرایند ارزیابی خسارات، اطلاعات مربوط به تقاضا باید در زمان کوتاهی به سازمان‌های کمک‌رسانی ارائه شود. در این مقاله برای حل این مسئله به جای «زمان رسیدن»، از «بیشینه زمان اتمام کار» به منزله‌ی تابع هدف برای هر وسیله‌ی نقلیه استفاده شده است. این مسئله با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی پیوسته‌ی گروه ذرات حل شده و نتایج حاصل از آن با تابع هدف «زمان رسیدن» که در مطالعات گذشته از آن استفاده شده مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی، کل زمان فرایند ارزیابی خسارات را نسبت به مدل پیشین بهبود می‌بخشد. این بهبود برای شبکه‌ی با ابعاد کوچک ۱۰ درصد و برای شبکه‌ی با ابعاد واقعی (بزرگ) ۱۶٫۹ درصد است. **واژه‌های کلیدی:** مسیریابی وسایل نقلیه، الگوریتم ازدحام ذرات، بهینه‌سازی، گروه‌های ارزیابی خسارات

۲۵

شماره دهم

پاییزه زمستان  
۱۳۹۵

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات در شریط بحران با استفاده از الگوریتم گروه ذرات

## Disaster Damage Assessment Team Routing Using Particle Swarm Optimization

Ali Edrissi<sup>1</sup>, Ali Nadi<sup>\*2</sup>

### Abstract

This paper proposes a scheduling based vehicle routing methodology for disaster damages and relief assessment teams. Relief assessment teams are dispatched in disaster area in order to assess the relief demand. In this process, time is very sensitive so these teams are supposed to collect the information of relief demand as soon as possible. In this paper, a maximum completion time is proposed as objective function. This objective function is used instead of the usual sum of arrival time to show its better performance. This problem is solved using particle swarm optimization, which is a Meta heuristic optimization algorithm. The result of the proposed model is compared to the sum of arrival time. These results show that the proposed model leads to a less completion time during the assessment process rather than the sum of arrival time. This model is solved in two randomly generated networks for evaluating its performance. The results show 10 percent improvement in small network and 16.9 percent in a big (real size) network.

**Keywords:** Disaster management, assessment routing problem, optimization, Particle swarm Optimization

<sup>1</sup> Assistant Professor, Faculty of Transportation in Civil Engineering Department, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

<sup>2</sup> Master of science in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran; Email: anadi@mail.kntu.ac.ir

سالانه چندین بار زمین‌لرزه‌های بزرگ قسمتی از کره‌ی زمین را به لرزه می‌اندازد. این زمین‌لرزه‌ها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه بسیار ویران‌کننده است؛ از این رو برنامه‌ریزی دقیق و نظام‌مند پیش از وقوع حادثه و همچنین پاسخ به بحران به صورت حرفه‌ای و کارآمد می‌تواند زندگی تعداد زیادی را نجات دهد. از این رو این موضوع از اهمیت بسیار بالایی در جوامع پیشرفته و در حال توسعه برخوردار است. شرایط بحران در حوادث طبیعی دارای سه ویژگی مهم است که مدیریت آن را بسیار پیچیده کرده است: تقاضای زیاد، زمان محدود و عدم قطعیت. اینها موجب می‌شوند که پیش‌بینی وقوع و میزان پیامدهای بحران بسیار پیچیده باشد. بنابراین مدیریت بحران چه قبل و چه بعد از حادثه نیازمند برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی فرایندهای مختلف است. در یک سیستم (نظام) مدیریت بحران جامع معمولاً چهار فاز کلی در نظر گرفته می‌شود [۱] که عبارتند از پیشگیری<sup>۱</sup>، آمادگی<sup>۲</sup>، پاسخ<sup>۳</sup> و بازسازی<sup>۴</sup>. پیشگیری مجموعه اقداماتی را هبندی است که قبل از وقوع بحران به منظور کاهش و گاهی حذف بسیاری از پیامدهای زمین‌لرزه صورت می‌گیرد. از جمله این اقدامات می‌توان به مقاوم‌سازی پل‌ها، ساختمان‌ها و افزایش قابلیت اعتماد شبکه‌ی حمل‌ونقل اشاره کرد. فاز آمادگی مجموعه فعالیت‌های راهکنشی است که قبل از وقوع بحران برای کاهش پیامدهای ناشی از زلزله صورت می‌گیرد، مانند آموزش افراد جامعه. فاز مقابله یا پاسخ نیز شامل فعالیت‌هایی 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 دربرگیرنده‌ی اقدامات طولانی‌مدتی است که به بازسازی ناحیه‌ی آسیب‌دیده می‌پردازد. به طور کلی می‌توان پاسخ را مهم‌ترین فاز مدیریت جامع بحران دانست، زیرا فاز پاسخ به‌طور 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: پیش‌بینی تقاضا، مکان‌یابی ایستگاه‌های پاسخ، جست‌وجو و نجات و نهایتاً توزیع<sup>۵</sup> و پخش تجهیزات، دارو، غذا و پوشاک. واضح است که سطح عملکرد فعالیت‌های مکان‌یابی، جست‌وجو و نجات و پخش و توزیع وابسته به اطلاعاتی است که در مورد تقاضا از طریق پیش‌بینی تقاضا به دست می‌آید. از این رو پیش‌بینی و برآورد تقاضا را می‌توان مهم‌ترین بخش فاز پاسخ و به‌طورکلی مدیریت بحران دانست، زیرا عملکرد تمام بخش‌های دیگر به اطلاعات صحیح و دقیق در مورد تقاضا وابسته است. پیش‌بینی تقاضا عموماً بر اساس مقاومت و پایداری ساختمان‌ها، قابلیت اطمینان شبکه‌ی حمل و نقل و ... برآورد می‌شود. از آنجایی که اطلاعات تاریخی زیادی در زمینه‌ی مدیریت بحران یا موجود نیست یا اگر باشد کامل و صحیح نیست، بیشتر نمونه‌های پیش‌بینی استفاده شده در زمینه‌ی تقاضا بر اساس احتمالات است. و از آنجا که بحران‌هایی مانند زلزله بسیار تصادفی و آشوبی هستند، تقاضای پیش‌بینی شده معمولاً دقیق نیست. یکی از راهکارهای تعیین تقاضا به صورت دقیق، ارسال گروه‌هایی

آموزش دیده به مناطق آسیب‌دیده به منظور برآورد میزان خسارات و تقاضا است. از آنجا که زمان در عملیات پاسخ بسیار حساس است، این گروه‌ها باید در کمترین زمان ممکن تمام مناطق آسیب‌دیده را بررسی کنند و نرخ تقاضای کمک برای آن ناحیه‌ها را اعلام نمایند. در این مقاله به برنامه‌ریزی و مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات (URAT)<sup>۶</sup> پرداخته شده است، به طوری که تقاضای نواحی آسیب‌دیده در کوتاه‌ترین زمان ممکن برآورد شود.

## پیشینه‌ی پژوهش

علی‌رغم اهمیت ارزیابی خسارات که در بخش قبل در مورد آن توضیح داده شده است، از بین ۴ فعالیت فاز پاسخ، این فعالیت کمتر از فعالیت‌های دیگر در مطالعات مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. بنابراین در این بخش مروری بر مطالعات مهمی که در هر یک از فعالیت‌های فاز پاسخ موجود است ارائه شده است تا اهمیت ارزیابی خسارات بیشتر مشخص شود.

یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در بحث پیش‌بینی، عدم قطعیت در اطلاعات موجود از نواحی آسیب‌دیده است. سری زمانی و مدل‌های خودبازگشت به‌طور 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 تجمیع منابع<sup>۷</sup> تعیین نمود [۳]. اوتشی و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۹ از همین روش برای مسیریابی گروه‌های امداد و توزیع آن‌ها در شبکه استفاده کردند [۴]. همچنین سان و همکارانش در سال ۲۰۱۳ یک مدل فازی برای پیش‌بینی تقاضا در شرایط بحران پیشنهاد کرده‌اند که در آن به حل مشکل اطلاعات ناقص و ناصحیح موجود برای تقاضا در شرایط آشوب بعد از زلزله پرداخته شده است [۴].

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 [۵]. همچنین یک مدل برای تخصیص مراکز توزیع کمک در شبکه‌ی حمل‌ونقل توسط بلاسیک و بیمون در سال ۲۰۰۸ توسعه داده شده است [۶]. مدل آن‌ها ترکیبی از به‌کارگیری روش‌های تخصیص تجهیزات<sup>۸</sup>، کنترل موجودی<sup>۹</sup> و حداکثرسازی سطح پوش<sup>۱۰</sup> است. ویدنر و هورنر در سال ۲۰۱۵ یک مدل عامل مبنای مکان‌یابی گروه‌های نجات ارائه کردند. آن‌ها این مدل را تحت شرایط تقاضای پویا ارائه کردند [۷]. پس از پیش‌بینی تقاضا تعیین مکان‌های مناسب برای تخصیص منابع و تجهیزات عملیات جست‌وجو و نجات<sup>۱۱</sup> (USAR) آغاز می‌شود. مهم‌ترین هدف این عملیات کاهش تلفات است؛ از این رو مدل‌های بهینه‌سازی پویا به منظور حداقل کردن تلفات و بهینه کردن این عملیات به کار برده شده است [۵]. طیف گسترده‌ای از تحقیقات که در زمینه‌ی عملیات جست‌وجو و نجات است بر روی علم رباتیک متمرکز است. همچنین بخشی از تحقیقات به منظور ایجاد یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای این عملیات صورت گرفته است [۸]. همچنین چن و هوکس برای مسیریابی

گروه‌های USAR یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای ارائه کردند [۹]. تابع هدفی که آن‌ها برای مدل خود استفاده کردند، تعداد کل نجات‌یافتگان در این عملیات است. یکی دیگر از کارهایی که در فاز پاسخ به آن بسیار پرداخته شده است، بحث توزیع و پخش در شرایط بحران است. یک مقاله‌ی مروری کامل در مورد مسائل مسیریابی به‌منظور تحویل کالا و سرویس‌دهی به مناطق آسیب‌دیده توسط توره و همکارانش ارائه گردیده است [۱۰]. در بحث توزیع توابع هدف متفاوتی در مقالات مختلف در نظر گرفته شده است. وراس و همکارانش در سال ۲۰۱۳ تابع هدف را هزینه‌ی اجتماعی در نظر گرفتند. هزینه‌ی اجتماعی مجموع هزینه‌ی لجستیک و هزینه‌ی محرومیت ناحیه‌ی آسیب‌دیده معرفی شده است. آن‌ها با تبدیل معیار محرومیت جامعه با توجه به دسترسی به مواد غذایی، بهداشت و ... به هزینه‌ی ریالی و جمع آن با تابع هزینه‌ی لجستیک توانستند مدلی جدید برای توزیع بهینه‌ی کمک ارائه دهند [۱۱]. هزینه‌ی کل تحویل کالا با در نظر داشتن ایمنی در تقاضا نیز توسط بارباراسوگلو و آردا در نظر گرفته شده است [۱۲] و همچنین اوزدومار و همکارانش در سال ۲۰۰۴ یک روش مسیریابی وسایل نقلیه‌ی چند کالایی را به‌منظور مدل کردن مسئله‌ی دریافت و تحویل ارائه کرده‌اند [۱۳]. یک مسئله‌ی بهینه‌سازی مبتنی بر کلونی مورچگان نیز توسط یی و کومار در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است که در آن مجموع تقاضای بررسی‌نشده بر روی همه‌ی کالاها و همچنین تعداد انسان‌هایی که در ناحیه نجات داده نشده‌اند حداقل می‌شود [۱۴]. شو همچنین در سال ۲۰۱۴ یک مدل مفهومی ارائه کرد که در آن رابطه‌ی بین ادراک و حالات روحی بازماندگان را در توزیع کمک و تقاضای کمک بیان می‌کند [۱۵]. در حالی که موارد فوق در مطالعات بسیار مورد توجه قرار گرفته شده است، اما هنوز تعداد کمی از مطالعات بر روی بحث ارزیابی خسارات و تعیین دقیق تقاضا صورت گرفته است. از آنجا که دقت و صحت اطلاعات مربوط به تقاضا بر روی عملکرد فعالیت‌های دیگر مانند جستجو و نجات اثر می‌گذارد از این رو مطالعه‌ی بیشتر در این موضوع از اهمیت بالایی برخوردار است. مسئله‌ی مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات توسط هوانگ و همکارانش تعریف شد [۱۶]. آن‌ها برای حل این مسئله یک مدل تقریب‌سازی پیوسته ارائه نمودند. آن‌ها همچنین مدل پیشنهادی خود را با الگوریتم‌های گسسته نیز 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 آن‌ها مجموع زمان رسیدن را به‌منزله‌ی تابع هدف خود در نظر گرفته‌اند.

$$z^{IP} = \sum_{i=1}^N a_i \quad \text{رابطه‌ی ۱:}$$

$$\sum_{j \in \{0, \dots, N\}} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad \text{رابطه‌ی ۲:}$$

$$\sum_{j \in \{0, \dots, N\}} X_{ij} \leq 1 \quad \text{رابطه‌ی ۳:}$$

$$\sum_{j \in \{0, \dots, N\}} X_{ij} - \sum_{j \in \{0, \dots, N\}} X_{ji} = 0, \quad \forall i \in \{0, \dots, N\} \quad \text{رابطه‌ی ۴:}$$

رابطه‌ی ۵:

$$t_{ij} + a_i \leq a_j + M(1 - X_{ij}), \quad \forall i, j \in \{1, \dots, N\}$$

$$a_i \geq t_{0i} x_{0i}, \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad \text{رابطه‌ی ۶:}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in \{0, \dots, N\} \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

$$a_i \rightarrow \text{Integer}, \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad \text{رابطه‌ی ۸:}$$

که در آن  $a_i$  مجموع زمان رسیدن،  $X_{ij}$  معرف مسیره‌های بین نقاط،  $N$  تعداد رأس‌ها و  $M$  یک عدد به قدر کافی بزرگ است.

مجموع زمان رسیدن شامل زمان سرویس‌دهی به ناحیه‌ها نیز می‌شود [۱۷]، اما در این حالت زمان سرویس‌دهی به ناحیه‌ی آخر در فهرست ناحیه‌های هر وسیله‌ی نقلیه در نظر گرفته نمی‌شود. البته با ثابت فرض شدن زمان سرویس‌دهی هر ناحیه بین وسایل، مشکلی ایجاد نمی‌شود. اما واضح است که چنین فرضی از واقعیت فاصله دارد. زمان سرویس‌دهی ناحیه‌ها در واقعیت می‌تواند بسته به عواملی مانند ویژگی‌های محیطی و توانایی و تجربه‌ی گروه‌ها برای هر گروه متفاوت باشد. با در نظر گرفتن تفاوت در زمان سرویس‌دهی ناحیه‌ها برای گروه‌های مختلف، اگر مجموع زمان رسیدن به منزله‌ی تابع هدف انتخاب شود، زمان سرویس‌دهی آخرین ناحیه‌ای که هر گروه بازدید می‌کند در تابع هدف در نظر گرفته نمی‌شود. از آنجا که زمان سرویس‌دهی ناحیه‌ی آخر بسته به اینکه این ناحیه توسط کدام گروه بازدید می‌شود متغیر است، بنابراین می‌تواند اولویت بازدید شدنش توسط وسیله‌های نقلیه دیگر متفاوت باشد. در این حالت ممکن است مسیر بهینه‌ای که کمترین مجموع زمان رسیدن را دارد لزوماً کمترین زمان خاتمه‌ی فرایند را نداشته باشد. از این‌رو در این مقاله برای بهبود روش هوانگ یک تابع هدف جدید برای مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات ارائه شده است. مسئله‌ی گروه‌های ارزیابی خسارات شهری (URAT) با استفاده از الگوریتم پیوسته‌ی گروه ذرات<sup>۱۲</sup> و با تابع هدف پیشنهادی حداکثر زمان اتمام فرایند<sup>۱۳</sup> برای هر وسیله مدل‌سازی و حل شده است. تابع هدف پیشنهادی از نوع حداقل - حداکثر است. این تابع حداکثر زمانی است که طول می‌کشد تا همه‌ی ناحیه‌ها توسط وسایل نقلیه بازدید و عملیات امداد و نجات به طور کامل در آن‌ها صورت گیرد. این تابع بر خلاف تابع مجموع زمان رسیدن، زمان انجام فعالیت برای همه‌ی ناحیه‌ها از جمله ناحیه‌ی آخر در فهرست بازدید وسیله‌ی نقلیه را در محاسبات در نظر می‌گیرد. یکی دیگر از مصادیق نوآوری در این مقاله مدل‌سازی عدم قطعیت در زمان سرویس‌دهی همه‌ی ناحیه‌ها و تعریف فاکتور عملکرد است که مسئله‌ی مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات را بهبود داده و به واقعیت نزدیک‌تر شده است.

## روش تحقیق و ابزارها

حل یک مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه به‌منزله‌ی یک مسئله‌ی بهینه‌سازی با استفاده از روش‌های مختلف برنامه‌ریزی عدد صحیح و روش‌های ابتکاری میسر است. از آنجا که این مسئله از نوع حل‌نشده‌ی در زمان چند جمله‌ای (NP-Hard) است، می‌توان از روش‌های بهینه‌سازی هوشمند برای حل تقریبی آن

بهره برد. در این مقاله از ابزار بهینه‌سازی هوشمند گروه ذرات برای حل این مسئله استفاده شده است. برای ایجاد داده‌های مسئله از روش تولید اعداد تصادفی برای تولید شبکه‌های مورد آزمایش استفاده شده است تا عدم قطعیت در نوع شبکه در مدل لحاظ شود. در نهایت از ابزار آنالیز حساسیت برای سنجش کارایی مدل استفاده شده است.

## تئوری و محاسبات

جدول ۱ تمامی نمادهایی که در رابطه نویسی مسئله ی URAT استفاده شده است را به همراه توضیح آن‌ها نمایش می‌دهد.

## مدل سازی مسئله

یک شهر فرضی با  $n$  ناحیه ی آسیب دیده در نظر بگیرید. هر یک از این نواحی دارای یک ضریب آسیب پذیری هستند که بر اساس پیش بینی های صورت گرفته قبل از وقوع حادثه موجود است. البته این ضرایب عموماً درست و قابل اعتماد نیستند، چرا که بحران یک پدیده ی تصادفی است و این ضرایب ممکن است در شرایط کنونی دقت کافی را نداشته باشند، اما این ضرایب را می‌توان به منزله ی پاسخ اولیه برای مسئله ی URAT در نظر گرفت. هر ناحیه ی آسیب دیده دارای جمعیت  $P_i$  است. اگر ضریب آسیب پذیری هر ناحیه را با  $R_i$  نشان دهیم تقاضای کمک برای هر ناحیه برابر  $D_i = R_i \times P_i$  خواهد بود [۱۸]. ضریب  $R_i$  یک متغیر مستقل بین صفر و یک است. همچنین برای هر وسیله ی نقلیه ی  $k$  در ناحیه ی  $i$  یک زمان سرویس دهی در نظر گرفته شده است. این زمان به ویژگی های محیطی ناحیه ی  $i$  و فاکتور عملکرد<sup>۱۴</sup> (PF) گروه ارزیابی کننده ی  $k$  بستگی دارد و متناسب است با  $D_i$  یا همان تقاضای آن ناحیه. بنابراین ناحیه ی برای هر وسیله ی نقلیه یک زمان سرویس  $s_{i,k}$  متفاوت دارد. عامل

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

$k$	تعداد وسایل نقلیه	$A_{i,k}$	زمان رسیدن وسیله ی $k$ ام به ناحیه ی $i$
$i$	تعداد ناحیه های آسیب دیده	$V_k$	سرعت وسیله ی $k$
$S_{i,k}$	زمان سرویس دهی ناحیه ی $i$ برای وسیله ی $k$ ام	$C_k$	زمان اتمام کار وسیله ی $k$
$ST_{i,k}$	زمان شروع فعالیت در ناحیه ی $i$ برای وسیله ی $k$ ام	$c \max$	حداکثر زمان اتمام فعالیت
$FT_{i,k}$	زمان پایان فعالیت در ناحیه ی $i$ برای وسیله ی $k$ ام	$A_k$	مجموع زمان های رسیدن به نواحی توسط وسیله ی $k$
$P_i$	جمعیت ناحیه ی $i$	$X_{i,j,k}$	متغیر دو دویی مستقل جریان که اگر وسیله ی نقلیه ی $k$ از $i$ به $j$ سفر کرده باشد ۱ و در غیر این صورت ۰ است.
$R_i$	ضریب آسیب پذیری ناحیه ی $i$	$X_{j,k}$	متغیر دو دویی مستقل جریان که اگر وسیله ی نقلیه ی $k$ از ایستگاه به $j$ سفر کرده باشد ۱ و در غیر این صورت ۰ است.
$D_i$	تقاضای کمک	$C_1$	ضریب یادگیری شخصی الگوریتم ازدحام ذرات
$T O_{i,k}$	زمان سفر وسیله ی $k$ ام از ایستگاه تا ناحیه ی $i$	$C_2$	ضریب یادگیری عمومی الگوریتم ازدحام ذرات
$T_{i,j,k}$	زمان سفر وسیله ی $k$ ام از ناحیه ی $i$ به $j$	$w$	ضریب اینرسی الگوریتم ازدحام ذرات

عملکرد بیانگر این حقیقت است که گروه های ارزیابی خسارات دارای کارایی، دقت و سرعت عمل متفاوتی هستند و این عامل می‌تواند به عواملی چون تجربه، میانگین سنی گروه ارزیابی کننده و ... وابسته باشد. از دیگر عواملی که در مدل سازی این مسئله دخیل است سرعت وسایل نقلیه ی  $V_k$  است. سرعت وسایل نقلیه در واقع برای محاسبات مربوط به زمان سفر مورد استفاده قرار گرفته می‌شود. هر ناحیه بر روی افق زمانی دارای سه مشخصه ی زمانی، زمان شروع<sup>۱۵</sup>، زمان سرویس<sup>۱۶</sup> و زمان پایان است. زمان شروع زمانی است که گروه ارزیابی خسارات به ناحیه ی مورد نظر رسیده است. زمان سرویس مدت زمانی است که طول می‌کشد تا گروه ارزیابی خسارات آن ناحیه را بررسی کند و زمان پایان زمانی است که کار گروه در ناحیه ی مورد نظر تمام شده است و می‌خواهد به سمت ناحیه ی بعدی حرکت کند. روابط ۹ و ۱۰ بیانگر زمان شروع و زمان خروج است.

$$\text{رابطه ی ۹: } ST_{i,k} = FT_{i,k} + T_{i,j,k} \quad \forall (i,j,k)$$

$$\text{رابطه ی ۱۰: } FT_{i,k} = ST_{i,k} + S_{i,k} \quad \forall (i,j,k)$$

بر اساس نمونه ی فوق یک برنامه ی زمان بندی بهینه و مسیریابی وسایل نقلیه برای یافتن فهرست بهینه ی مسیرهای هر گروه در بخش بعدی ارائه شده است، به طوری که حداکثر زمان اتمام کار گروه ها حداقل شود.

## رابطه نویسی مسئله

چه از دید برنامه ریزی و چه از دید مسیریابی وسایل نقلیه، این مسئله یک مسئله ی مقید محسوب نمی‌شود، زیرا گروه های ارزیابی ناحیه ها را فقط به منظور برآورد خسارات و تعیین ضریب آسیب پذیری بررسی می‌کنند و در عملیات نجات شرکت نمی‌کنند، بنابراین نیازی نیست که این گروه ها تجهیزات خاصی با خود حمل کنند، از این رو این مسئله دارای قید ظرفیت نیست. همچنین کل

رابطه ی ۱۹:  $(\forall i, j) X_{i,j} \in \{0,1\}$

رابطه ی ۲۰:  $(\forall i) FT_{i,k} \geq 0 \quad T_{i,j,k} \geq 0$

در روابط فوق رابطه ی ۱۳ بیانگر این است که همه ی ناحیه ها باید بررسی شوند. رابطه ی ۱۴ قیدی است که تعداد گروه ها را به k گروه محدود می کند. رابطه ی ۱۵ نیز بیانگر این است که هر ناحیه باید فقط یک بار بازدید شود. رابطه ی ۱۶ بیان می کند که هر گروه تنها می تواند دارای یک مسیر باشد و در نهایت توسط روش M (یک عدد بزرگ است) روابط ۱۷ و ۱۸ از به دام افتادن الگوریتم در زیر مسیرهای غیر قابل قبول جلوگیری می کند.

در این مقاله برای حل مسئله ی فوق از الگوریتم فرایابنده ی پیوسته ی گروه ذرات (PSO) استفاده شده است. این الگوریتم یک الگوریتم بهینه سازی هوشمند مبتنی بر جمعیت و هوش ازدحامی است.

### الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات

الگوریتم PSO یکی از الگوریتم های فرایابنده ی مبتنی بر جمعیت است که از رفتار اجتماعی حیواناتی مانند پرندگان و ماهی ها الهام گرفته شده است. این الگوریتم اولین بار توسط کندی و ابرهارت در سال ۱۹۹۵ معرفی شد [۱۹]. این الگوریتم می تواند تمام فضای جواب را به خوبی جستجو کند و از تنوع خوبی در تولید جواب برخوردار است. مهم ترین ویژگی این الگوریتم این است که موفقیت یک ذره از جمعیت در یافتن جواب در رفتار ذرات دیگر اثر می گذارد. در هر مرحله از تکرار در الگوریتم PSO هر ذره به سمت بهترین موقعیتی که در فضای جستجو تجربه کرده است و همچنین بهترین موقعیتی که کل ذرات تجربه کرده اند حرکت می کند. این موقعیت ها به ترتیب با  $P_i$  و  $P_g$  نشان داده می شوند. بدین ترتیب در هر مرحله از تکرار سرعت حرکت ذرات به صورت رابطه ی ۲۱ به روزرسانی می شود.

رابطه ی ۲۱:

$$v_i(t+1) = wv(t) + r_1c_1(P_i - x_i(t)) + r_2c_2(P_g - x_i(t))$$

در این رابطه w ضریب اینرسی<sup>۱۷</sup> و  $r_1$  و  $r_2$  نیز دو متغیر تصادفی در بازه ی [۰,۱] است. پارامتر  $c_1$  عامل یادگیری شخصی<sup>۱۸</sup> است که

ناحیه ها باید در این مسئله تا جایی که ممکن است سریع بازدید و ارزیابی شوند. بنابراین قید پنجره ی زمانی نیز برای این مسئله کاربردی ندارد. البته مسئله ی مسیریابی وسایل نقلیه به خودی خود یک مسئله ی مقید است ولی به جز قیدهای مربوط به ماهیت مسئله ی مسیریابی، قیدهای دیگری در این مسئله وجود ندارد. همان طور که گفته شد، در این مقاله تابع هدفی که برای حل مسیریابی گروه های ارزیابی خسارات در نظر گرفته شده است، حداکثر زمان اتمام فعالیت گروه های ارزیابی خسارات  $C_k$  است. تصویر ۱ یک پاسخ از فضای جستجو را نشان می دهد که وضعیت گروه های ارزیابی خسارات بر روی محور زمان مشخص شده است. هدف در رابطه نویسی این مسئله کمینه کردن تابع هدف یا همان حداکثر زمان اتمام فعالیت گروه ها است. زمان اتمام فعالیت هر گروه در واقع زمان اتمام فعالیت  $FT_{i,k}$  آخرین ناحیه در فهرست ناحیه های مربوط به وسیله ی k است. نحوه ی محاسبه ی تابع هدف در رابطه ی ۳ آورده شده است.

رابطه ی ۱۱:

$$C_{\max} = \max C_k$$

مسئله ی مسیریابی گروه های ارزیابی خسارات به صورت زیر

رابطه نویسی شده است.

تابع هدف:

$$\min C_{\max}$$

رابطه ی ۱۲:

قیدها:

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

رابطه ی ۱۳:

$$\sum_{j \in I} \sum_{k \in K} X_{0,j,k} \leq K \quad (\forall i)$$

رابطه ی ۱۴:

$$\sum_{j \in I} \sum_{k \in K} X_{0,j,k} \leq K \quad (\forall i)$$

رابطه ی ۱۵:

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

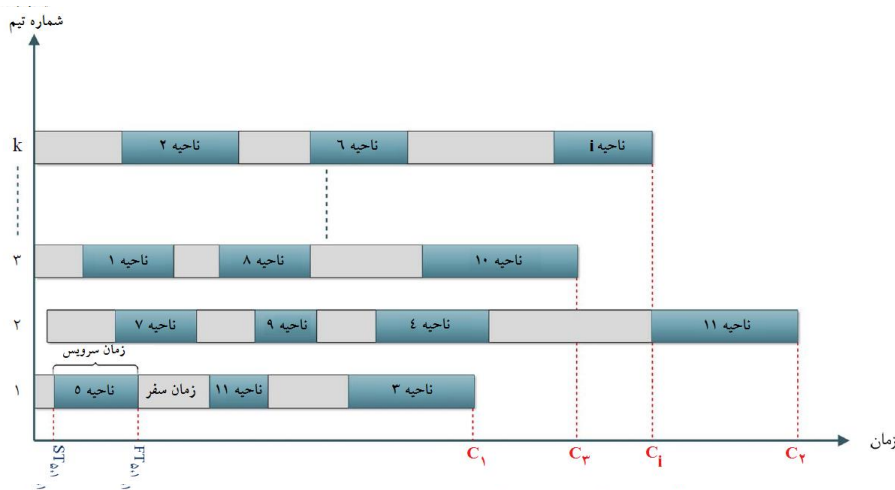
رابطه ی ۱۶:

رابطه ی ۱۷:

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

$$FT_{i,k} \geq (T_{0,i,k}, X_{0,j,k}) \quad (\forall i, j)$$

رابطه ی ۱۸:



تصویر ۱: وضعیت گروه ها در افق زمانی

یک ذره را تشویق به حرکت به سمت بهترین تجربه می‌کند و  $c_2$  عامل یادگیری اجتماعی<sup>۱۹</sup> است که تمایل ذره را برای حرکت به سمت بهترین تجربه‌ی کل اجتماع ذرات تعیین می‌کند. این دو عامل در بازه‌ی [۰-۲] است. همچنین در رابطه‌ی فوق موقعیت کنونی ذره‌ی  $i$  با  $x_i(t)$  و سرعت کنونی آن با  $v(t)$  نشان داده شده است.

الگوریتم PSO یک الگوریتم پیوسته است، در حالی که ماهیت مسئله‌ی مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات به صورت گسسته است. برای حل این مشکل تغییراتی در نحوه‌ی مدل‌سازی مسئله باید انجام شود تا الگوریتم بهینه‌سازی بتواند در فضای جواب مسئله جستجو کند. برای این کار باید هر عدد در فضای جستجوی پیوسته را به یک عدد در فضای جستجوی مسئله که به صورت عدد صحیح است نگاشت کنیم. در این مقاله از نگاشت جزء صحیح استفاده شده است. برای این کار یک متغیر تصادفی  $\bar{x}$  در نظر گرفته شده است که در بازه‌ی استاندارد [۰-۱] می‌تواند مقدار داشته باشد. در واقع  $\bar{x}$  متغیری است که الگوریتم PSO با آن کار می‌کند. روابط ۱۴ تا ۱۷ نحوه‌ی نگاشت این متغیر به فضای جستجوی مسئله را بیان می‌کند.

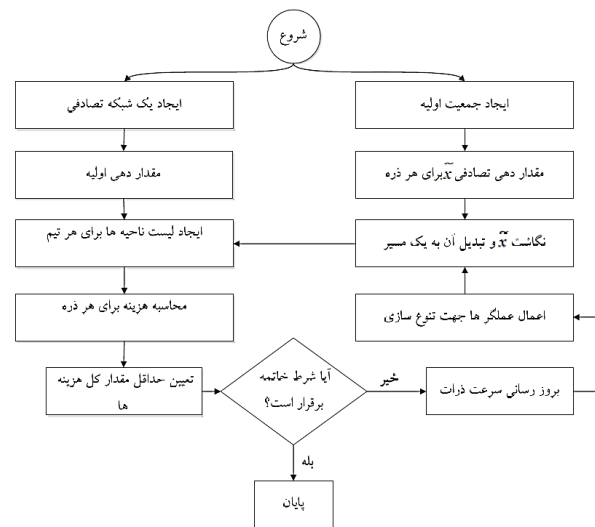
رابطه‌ی ۲۲:  $nodes \in \{1, 2, \dots, I\}$

رابطه‌ی ۲۳:  $\bar{x} \in [0, 1]$

رابطه‌ی ۲۴:  $x = 1 + I\bar{x}$

رابطه‌ی ۲۵:  $nodes = \min([x], I)$

معمولاً برای جلوگیری از به دام افتادن الگوریتم در نقطه‌ی بهینه‌ی محلی، سعی می‌شود به نحوی تنوع<sup>۲۰</sup> بیشتری در جواب‌ها ایجاد شود. برای ایجاد این تنوع بسته به الگوریتم مورد استفاده از عملگرهایی مانند جهش<sup>۲۱</sup>، انتقال<sup>۲۲</sup>، جابجایی<sup>۲۳</sup>، معکوس‌سازی<sup>۲۴</sup> و... استفاده می‌شود. در این مقاله از اثر ترکیبی سه عملگر انتقال، جابجایی و معکوس‌سازی برای ایجاد تنوع هر چه بیشتر در جواب‌ها استفاده شده است. در تصویر ۲ روند حل مسئله‌ی مسیریابی گروه‌های ارزیابی نمایش داده شده است.



تصویر ۲: رویه‌ی حل مسئله‌ی مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

در ادامه شبه کد مربوط به الگوریتم پیشنهادی در تصویر ۳ آمده است.

### حل عددی مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات

این مسئله ۵۰ مرتبه بر روی دو شبکه یکی با ابعاد کوچک و دیگری با ابعاد واقعی‌تر حل شده است. این دو شبکه به صورت تصادفی ایجاد شده است و به ترتیب دارای ۱۵ و ۵۰ ناحیه‌ی آسیب‌دیده است. تعداد گروه‌ها نیز ۳ برای شبکه‌ی کوچک و ۶ برای شبکه‌ی بزرگ‌تر 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 به صورت اعداد تصادفی با توزیع نرمال و در بازه‌ی بین [۰-۱۰۰] در نظر گرفته 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 ۰.۱ تا ۰.۵ واحد زمانی برای هر وسیله‌ی نقلیه زمان می‌برد تا ضریب آسیب‌پذیری و تقاضای یک ناحیه را برآورد کند. این ضرایب، PF یا همان عامل عملکرد گروه‌ها است. سرعت وسایل نقلیه نیز به صورت تصادفی در بازه‌ی [۲۰-۳۰] کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شده است. از این سرعت برای محاسبه‌ی زمان سفر هر یک از گروه‌ها در شبکه استفاده شده است. جدول ۲ مشخصات شبکه‌ها را نشان می‌دهد. این مسئله برای هر شبکه به صورت جداگانه یک بار با فرض «مجموع زمان رسیدن» و یک بار با فرض «حداکثر زمان اتمام کار» به منزله‌ی تابع هزینه حل شده است. تعداد تکرار الگوریتم برای هر شبکه تنظیم و برای هر کدام از توابع هزینه‌ی ثابت در نظر گرفته شده است تا الگوریتم برای هر دو حالت به میزان کافی و به یک اندازه فرصت برای جستجو در فضای جواب داشته باشد. در تصویر ۴ تا ۷ نمودار هزینه بر حسب تعداد تکرار برآورد هزینه برای هر شبکه و هر رویکرد آورده شده است.

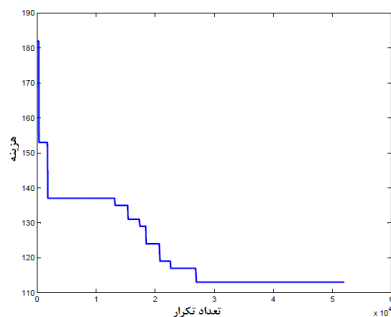
جدول ۲: مشخصات دو شبکه در ابعاد کوچک و واقعی به کار رفته در این مسئله

ابعاد شبکه	تعداد ناحیه‌ها	تعداد گروه‌ها
کوچک	۱۵	۳
واقعی	۵۰	۶

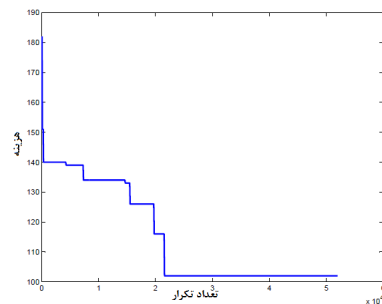
```

Function CreateModel{
Initialize I, J and k; // // وسایل نقلیه
Service time ← random variable;
V ← random vi // // وسایل نقلیه
Travel Time ← tij
Create random network ()
Main () {
Initialize P // // تنظیم ذره‌ها
Klist ← Initialize random solution // // تنظیم فهرست بازدید برای هر وسیله‌ی نقلیه
Costfunc ← Pcost // // محاسبه هزینه‌ی هر ذره
For it = itmax {
Pnewposition ← move particles
Operators ()
If Pnewcost < Pcost // // به‌روزرسانی بهترین هزینه‌ی شخصی
PPos ← Pnewpos
If Posttest < Pglobalbest // // به‌روزرسانی بهترین هزینه‌ی کل
Pglobalbest ← Pnewpos
}
}
    
```

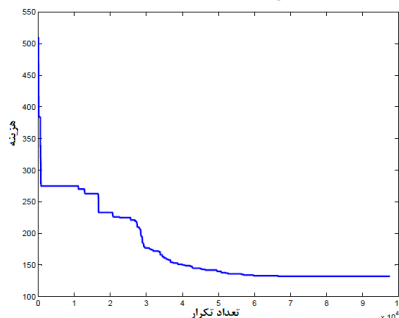
تصویر ۳: شبه کد مربوط به الگوریتم پیشنهادی



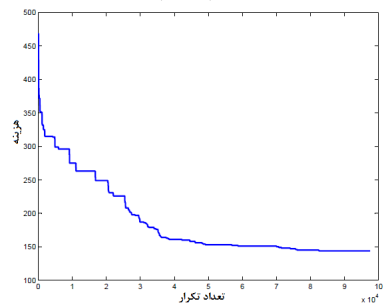
تصویر ۵: هزینه بر حسب تعداد تکرار برآورد هزینه برای شبکه‌ی کوچک برای حالت «مجموع زمان رسیدن»



تصویر ۴: هزینه بر حسب تعداد تکرار برآورد هزینه برای شبکه‌ی کوچک برای حالت «حداکثر زمان اتمام کار»



تصویر ۷: هزینه بر حسب تعداد تکرار برآورد هزینه برای شبکه با ابعاد واقعی برای حالت «حداکثر زمان اتمام کار»



تصویر ۶: هزینه بر حسب تعداد تکرار برآورد هزینه برای شبکه با ابعاد واقعی برای حالت «مجموع زمان رسیدن»

### بحث و نتایج

در جدول ۴ نشان داده شده است که استفاده از «حداکثر زمان اتمام کار» در مقایسه با «مجموع زمان رسیدن» در ۷۳ درصد مدل‌های ایجاد شده زمان اتمام فرایند را کاهش می‌دهد. روش پیشنهادی در ۱۶ درصد مدل‌های ایجاد شده جوابی نزدیک به روش هوانگ داده و در ۱۱ درصد موارد افزایش زمان اتمام فرایند

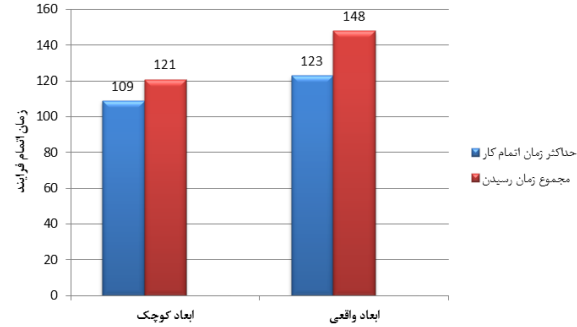
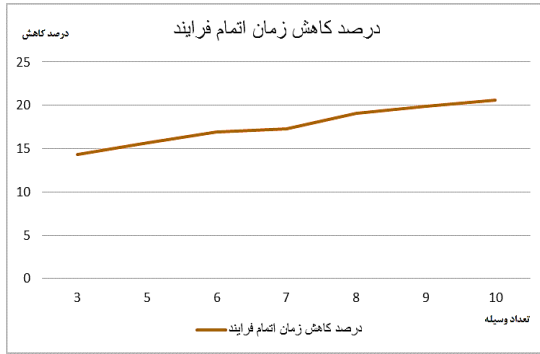
در جدول ۳ جواب به دست آمده با هر دو رویکرد به تفکیک هر شبکه نشان داده است. در این جدول مسیر بهینه‌ی همه‌ی گروه‌ها به همراه زمان اتمام کل فرایند برای هر تابع هزینه آورده شده است.

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

ابعاد شبکه	رویکرد	زمان اتمام فرایند (دقیقه)	مسیر	گروه
کوچک	حداکثر زمان اتمام کار	۱۱۳	۶-۸-۱۰-۲	گروه ۱
			۹-۴-۷-۱۲	گروه ۲
			۱۳-۱۴-۱۱-۱۵-۵-۱-۳	گروه ۳
	مجموع زمان رسیدن	۱۲۸	۶-۸-۱۰-۱۲	گروه ۱
			۹-۴-۷-۲-۳	گروه ۲
			۱۳-۱۴-۱۱-۵-۱۵-۱	گروه ۳
واقعی	حداکثر زمان اتمام کار	۱۴۸	۷-۳۹-۳۶-۶-۲۲-۸-۲۰-۳۷-۴۸	گروه ۱
			۱۱-۲۱-۲۶-۵۰-۱۳-۳۴	گروه ۲
			۲۸-۳۲-۱۵-۴۱-۳۸-۲-۳۳	گروه ۳
			۱-۴۵-۱۸-۱۰-۴۴-۴۰-۱۴-۱۷-۴۳	گروه ۴
			۲۴-۵-۹-۲۳-۴-۳-۴۲-۲۵-۳۰-۳۵	گروه ۵
			۲۹-۴۷-۱۹-۲۷-۳۱-۴۶-۴۹-۱۲-۱۶	گروه ۶
	مجموع زمان رسیدن	۱۴۴	۷-۳۹-۳۶-۶-۲۲-۸-۲۰-۳۷	گروه ۱
			۱۱-۲۱-۲۶-۵۰-۱۳-۳۴-۴۳	گروه ۲
			۲۸-۳۲-۱۵-۳۸-۴۱-۲-۳۳-۳۵-۳۰	گروه ۳
			۱-۴۵-۱۸-۱۰-۴۴-۴۰-۱۴-۱۷-۴۸	گروه ۴
			۲۴-۵-۹-۲۳-۴-۳-۴۲-۲۵-۱۶	گروه ۵
			۲۹-۴۷-۱۹-۲۷-۳۱-۴۶-۴۹-۱۲	گروه ۶

جدول ۴: درصد‌های بهبود روش پیشنهادی در مقایسه با روش هوانگ

میانگین خطا الگوریتم	زمان اتمام فرایند		تعداد نمونه‌های مشابه (با تقریب ۱ درصد)	نمونه‌ها با زمان اتمام فرایند کمتر		تعداد آزمون	روش
	ابعاد کوچک	ابعاد بزرگ		درصد	تعداد		
۳٪	۱۲۳	۱۰۹	۸ (۱۶ درصد)	۷۳	۳۶	۵۰	روش پیشنهادی
۵٪	۱۴۸	۱۲۱	۸ (۱۶ درصد)	۱۱	۵	۵۰	روش هوانگ



تصویر ۹: آنالیز حساسیت بر روی تعداد وسایل نقلیه

شده است. با توجه به تصویر ۹ افزایش تعداد وسایل نقلیه درصد کاهش زمان اتمام فرایند به صورت ملایم افزایش می‌یابد. تصویر ۹ نشان می‌دهد که، با فرض ثابت بودن تعداد وسایل نقلیه، با افزایش تعداد رأس‌های شبکه یا به عبارتی با بزرگ‌تر شدن شبکه، درصد کاهش زمان اتمام فرایند در روش پیشنهادی افزایش می‌یابد. این آنالیز حساسیت با ۶ وسیله‌ی نقلیه و ۷ شبکه با ابعاد ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ اعمال شده است. نتایج نشان می‌دهد که درصد اتمام فرایند در روش پیشنهادی به تدریج افزایش می‌یابد. این به آن معناست که مدل پیشنهادی در شبکه‌های با ابعاد بزرگ‌تر عملکرد بهتری دارد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یکی از بخش‌های بسیار مهم در عملیات پاسخ به بحران وجود اطلاعات تقاضای کمک‌رسانی صحیح و دقیق است. این اطلاعات در اکثر مواقع توسط افرادی به دست می‌آید که تجربه و دانش کامل و درستی ندارند و ممکن است تحت تأثیر شوک حاصل از حادثه اطلاعات نادرست و یا ناقصی در اختیار مدیران بحران قرار دهند. در حالی که با ارسال گروه‌های ارزیابی خسارات به ناحیه که از قبل آموزش دیده‌اند می‌توان اطلاعات کامل و دقیقی از میزان خسارات، تلفات و تقاضای کمک به دست آورد. از آنجا که در عملیات پاسخ به بحران زمان بسیار اهمیت دارد، در این مقاله یک برنامه‌ی زمان‌بندی و مسیریابی برای گروه‌های ارزیابی خسارات ارائه شده است. به منظور واقعی‌تر کردن مدل در این مقاله برای هر گروه یک ویژگی عملکرد (PF) تعریف شده است. این عامل به عواملی مانند تجربه، سن و ویژگی‌های شخصیتی اعضای گروه وابسته است. با تعریف ویژگی عملکرد برای گروه‌های ارزیابی خسارات «مجموع زمان رسیدن» که در مطالعات پیشین به‌منزله‌ی تابع هزینه استفاده شده است دیگر مناسب نیست، از این رو در این مقاله تابع

تصویر ۸: مقایسه‌ی زمان اتمام فرایند در دو رویکرد

را نسبت به روش هوانگ ارائه می‌کند. روش پیشنهادی در مدل با ابعاد کوچک به‌طور میانگین ۱۰ درصد و در مدل با ابعاد واقعی ۱۶٫۹ درصد زمان اتمام فرایند را کاهش می‌دهد. دلیل این بهبود در نظر گرفتن فاکتور عملکرد گروه‌ها است که علاوه بر واقعی‌تر کردن مدل، با در نظر گرفتن «حداکثر زمان اتمام کار» به‌منزله‌ی تابع هزینه تأثیر زمان سرویس ناحیه‌ی آخر در لیست گروه‌ها را نیز در مدل اضافه می‌کند. این جمله به این معناست که ممکن است گروه k به ناحیه‌ی i زودتر برسد ولی به دلیل عملکرد پایین‌تر این گروه، گروه k زمان کمتری را برای ارزیابی آن ناحیه نیاز داشته باشد؛ بنابراین ممکن است اولویت گروه‌ها با این رویکرد کمی تغییر کند و حالت بهینه‌تری برای گروه‌ها ایجاد شود.

تمام کد نویسی‌های مربوط به مسئله‌ی مسیریابی گروه‌های ارزیابی خسارات در محیط Matlab ۲۰۱۲ و با یک رایانه با پردازنده‌ی ۷ هسته‌ای و سرعت ۲٫۲ گیگاهرتز و حافظه‌ی جانبی ۴ گیگابایت انجام شده است.

### آنالیز حساسیت

در این بخش به تحلیل حساسیت بر عوامل تأثیرگذار مدل پیشنهادی پرداخته شده است. عواملی که می‌تواند بر مدل تأثیرگذار باشد عبارتند از:

۱. تعداد وسایل نقلیه
  ۲. تعداد رأس‌های شبکه (ابعاد شبکه)
- تصویر ۹ نشان می‌دهد که با افزایش تعداد وسایل ارزیابی خسارات، با فرض ثابت ماندن تعداد رأس‌های شبکه، درصد کاهش زمان اتمام فرایند ارزیابی در تابع هدف پیشنهادی نسبت به تابع هدف مجموع زمان رسیدن افزایش می‌یابد. نمودار زیر برای یک شبکه با ۵۰ رأس و تعداد وسایل نقلیه از ۳ تا ۱۰ وسیله ترسیم



over two universes. *Applied Mathematical Modelling*, 37(10), 7062-7070.

6. Fiedrich, F., Gehbauer, F., & Rickers, U. (2000). Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety Science*, 35(1), 41-57.
7. Balcik, B., Beamon, B. M., & Smilowitz, K. (2008). Last mile distribution in humanitarian relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51-63.
8. Widener, M. J., Horner, M. W., & Ma, K. (2015). Positioning Disaster Relief Teams Given Dynamic Service Demand: A Hybrid Agent-Based and Spatial Optimization Approach. *Transactions in GIS*, 19(2), 279-295.
9. Blitch, J. G. (1996). Artificial intelligence technologies for robot assisted urban search and rescue. *Expert Systems with Applications*, 11(2), 109-124.
10. Chen, L., & Miller-Hooks, E. (2012). Optimal team deployment in urban search and rescue. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(8), 984-999.
11. 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.
12. Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N., & Aros-Vera, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 31(5), 262-280.
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.
16. Sheu, J. B. (2014). Post-disaster relief-service centralized logistics distribution with survivor resilience maximization. *Transportation research part B: methodological*, 68, 288-314.
17. 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.

هزینه‌ی «حداکثر زمان اتمام کار» برای حل مسئله در نظر گرفته شده است. این مدل با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات بر روی دو شبکه با ابعاد کوچک و ابعاد واقعی پیاده‌سازی شده است و نتایج نشان می‌دهد که این مدل نسبت به رویکردهای پیشین علاوه بر واقعی‌تر شدن منجر به کاهش زمان کل انجام فرایند می‌شود. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده، با استفاده از روش‌های آماری، عوامل مؤثر در تعیین ویژگی عملکرد گروه‌ها تعیین شود. همچنین هماهنگ‌سازی گروه‌های ارزیابی خسارات با سایر گروه‌های فاز پاسخ در مدیریت بحران می‌تواند عملکرد این فاز را بهبود بخشد و منجر به کاهش تلفات شود.

## 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
12. Particle Swarm Optimization
13. Maximum Completion Time
14. Performance Factor
15. Start Time
16. Service Time
17. Inertia Coefficient
18. Persolan Learning Coefficient
19. Social Learning Coefficient
20. Diversification
21. Mutation
22. Insertion
23. Swap
24. Inversion

## منابع

1. Waugh, W. L., & Hy, R. J. (Eds.). (1990). Handbook of emergency management: programs and policies dealing with major hazards and disasters. *Greenwood Publishing Group*, 76-83.
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. Jotshi, A., Gong, Q., & Batta, R. (2009). Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(1), 1-24.
5. Sun, B., Ma, W., & Zhao, H. (2013). A fuzzy rough set approach to emergency material demand prediction

18. Campbell, A. M., Vandenbussche, D., & Hermann, W. (2008). Routing for relief efforts. *Transportation Science*, 42(2), 127-145.
19. 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.
20. Eberhart, R. C., & Kennedy, J. (1995, October). A new optimizer using particle swarm theory. In *Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science*, Vol. 1, 39-43.

۳۴

شماره دهم

پاییز و زمستان  
۱۳۹۵

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



مسئولیت گروه‌های ارزیابی خسارات در شرایط بحران با  
استفاده از الگوریتم گروه ذرات