مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره نه، آذرماه ۱۴۰۳ (۱۳-۱)

طراحی یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی-زمانی جهت برنامه‌ریزی تخصیص وظایف امدادرسانان پس از زلزله

ناهید بهرامی[۱]

علیرضا وفایی‌نژاد [۲*]

a_vafaei@sbu.ac.ir

علی‌اصغر آل‌شیخ[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۲۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۲۹**

چکیده

زمینه و هدف: یکی از وقایعی که ایران، به دلیل وجود گسل‌های فراوان در گستره‌ی جغرافیایی خود، از آن بسیار متأثر است، زمین‌لرزه می‌باشد. در این زمینه، اولین و اساسی‌ترین اقدامی که پس از وقوع زمین‌لرزه بایستی بصورت جدی مدنظر قرار گیرد، امداد و نجات است. امدادرسانی مناسب و مدیریت صحیح و کارآمد نیروهای امداد و نجات، به میزان قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش خسارات زمین‌لرزه، به خصوص خسارات جانی می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از مدل‌سازی مکانی- زمانی فعالیت‌ها و افراد، سیستمی جهت کمک به مدیریت امداد و نجات پس از زمین‌لرزه، ارائه می‌شود که براساس آن، تخصیص بهینه امدادرسانان به فعالیت‌ها، صورت می‌پذیرد.

روش بررسی: با توجه به هدف پژوهش، الگوریتم مناقصه و مزایده‌گذاری اقتصادی که توانایی مدل‌سازی پویایی محیط و تغییرات زمان را داراست، انتخاب و مدلی با استفاده از آن و پارامترهای اثرگذار در بحث تخصیص افراد به فعالیت‌ها در امدادرسانی زمین‌لرزه نظیر تخصص افراد، زمان انجام فعالیت‌ها و فاصله افراد تا محل حادثه، طراحی می‌گردد.

یافته‌ها: یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی- زمانی به کمک الگوریتم مناقصه و مزایده‌گذاری اقتصادی جهت برنامه‌ریزی و بهبود تخصیص وظایف امدادرسانان در بحران زمین‌لرزه در یک محیط شهری برای گروه‌های امداد و نجات پیاده‌سازی و اجرا شد.

بحث و نتیجه‌گیری: قابلیت اجرایی الگوریتم مکانمند - زمانمند و پویای ارائه شده برای انجام تخصیص وظایف به افراد، با شبیه‌سازی و پیاده‌سازی فعالیت‌های گروه‌های امداد و نجات زمین‌لرزه در محیط سیستم‌های اطلاعات مکانی مورد تأیید قرار گرفت. این مدل ابزاری موثر در بهبود عملکرد تیم‌های امداد و نجات و ارائه بینشی در مورد اثربخشی تخصیص وظایف است. نتایج این مطالعه می‌تواند برای اطلاع رسانی راهبردهای واکنش به بلایا در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری، مدل‌سازی مکانی- زمانی، تخصیص وظایف، جستجو و نجات.

۱- دانشکده محیط‌زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۳- دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیر طوسی، تهران، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No.9, December, 2024

Developing a Spatio-Temporal Decision Support System to Plan the Task Allocation of Relief Workers in the Post-Earthquake

Nahid Bahrami[1]
Alireza Vafaeinejad[2*]
a_vafaei@sbu.ac.ir
Aliasghar Alesheikh[3]

Admission Date: November 19, 2024 Date Received: October 12, 2024

Abstract

Background and Objective: Iran is highly affected by earthquakes, due to frequent faults in its geographical scope. In this regard, the first and most important action after an earthquake is relief and rescue. Relief's appropriate, correct, and efficient management of relief workers will considerably reduce earthquake injuries, especially the loss of life. In this research, using spatio-temporal modeling of activities and relief workers, a system is being proposed for relief and rescue management after an earthquake for the optimization of task allocation to relief workers.

Material and Methodology: As part of the research purpose, a model based on auctions was developed using parameters affecting relief workers after an earthquake, namely, the expertise of relief workers, the timing of the activities, and the distance to the damaged area, because of the dynamics of the environment at the time.

Findings: In the urban environment, a spatio-temporal decision support system with an auction algorithm was implemented to plan and optimize task allocation for relief workers after the earthquake.

Discussion and Conclusion: By simulating and implementing the activities of relief and rescue teams after the earthquake in a spatial information system, the feasibility of the proposed spatio-temporal dynamic modeling for task allocation to relief workers is validated. In addition to improving the performance of relief and rescue teams, the model provided insight into the effectiveness of task allocation. The results of this study can be used to inform future disaster response strategies.

Keywords: Decision Support System, Spatio-Temporal modeling, Task allocation, Search & Rescue.

1- Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.
2- Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. *(*Corresponding Author*)
3- Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, Iran

مقدمه

کشور ایران به دلیل وجود گسل‌های فراوان در گستره جغرافیایی خود، در زمره‌ی کشورهای زلزله‌خیز جهان قرار دارد؛ و نیز به دلیل بافت قدیمی بسیاری از سازه‌های موجود در کشور و در نتیجه آن، آسیب‌پذیری بالای کشور از این رخداد، مدیریت بحران زلزله بسیار اهمیت می‌یابد (۱). مدیریت بحران شامل مراحلی از جمله طرح‌ریزی، پیشگیری، آمادگی، مقابله و بازسازی می‌باشد که هر یک شامل اقدامات و فعالیت‌هایی است. از این میان، فاز طرح‌ریزی، پیشگیری و آمادگی مربوط به آماده‌سازی‌های قبل از زلزله برای مواجهه بهتر با این بحران، فاز مقابله مربوط به زمان رخداد زمین‌لرزه است و فاز بازسازی پس از وقوع زلزله جهت بازسازی منطقه و مقاوم‌سازی سازه‌ها در مقابل زمین‌لرزه‌های آینده انجام می‌شود.

با توجه به بافت قدیمی بسیاری از سازه‌ها و جمعیت بالای موجود در مناطق زلزله‌خیز کشور، وقوع بحران زلزله هزینه‌ها و خسارات جانی و مالی فراوانی را به همراه خواهد داشت. از این رو، فاز مقابله با زمین‌لرزه اهمیت فراوانی می‌یابد؛ در این مرحله بیشتر به بحث امداد و نجات، یا به اصطلاح امدادرسانی پس از وقوع زمین‌لرزه پرداخته می‌شود. در این راستا، تخصیص وظایف امدادرسانان اهمیت ویژه‌ای می‌یابد که تاکنون در عمل، این نوع تخصیص وظایف در ایران به صورت سنتی و تجربی انجام پذیرفته است. از جمله پژوهش‌های مهمی که در این زمینه می‌تواند انجام گردد، مدیریت بهینه‌ی تیم‌های امداد و نجات خواهد بود که می‌تواند منجر به کاهش خسارات جانی و مالی پس از وقوع زلزله گردد.

مدیریت بهینه‌ی تیم‌های امداد و نجات می‌تواند با ایجاد یک سیستم پشتیبان، جهت تصمیم‌گیری مدیران به منظور مدیریت بهتر و کارآمدتر تیم‌های ارسالی به منطقه زلزله زده انجام گردد. در این سیستم مدیر قادر می‌گردد با توجه به اطلاعاتی که از منطقه و نیروهای تحت امر خود بدست می‌آورد، با توجه به توانایی‌های افراد، شرایط محیطی و ... به صورت صحیح افراد را به فعالیت‌ها اختصاص دهد. این سیستم با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی‌ای که در این پژوهش جهت تخصیص وظایف به افراد ایجاد می‌گردد، منجر به بهبود و کارایی آن نسبت به امداد و نجات به صورت سنتی و تجربی می‌شود.

از طرفی دیگر، در زمان وقوع یک زلزله و امدادرسانی بعد از آن، سرعت عمل و گذر زمان از اهمیت به‌سزایی برخوردار است؛ که این موضوع تأکیدی بر اهمیت فراوان به‌کارگیری زمان خواهد بود. با توجه به اینکه فرآیند امدادرسانی توسط افراد انجام می‌گیرد و فعالیت‌های فرد در مکان‌هایی مشخص رخ می‌دهد، می‌توان برای آن موقعیت جغرافیایی مشخص نمود. همچنین انجام تمام فعالیت‌های فرد با گذر زمان همراه است، در نتیجه می‌توان برای فعالیت‌های افراد زمان را هم در نظر گرفت. از آنجایی‌که تمامی فعالیت‌های بشر دارای دو جنبه مکان و زمان می‌باشد، بهتر است برای تخصیص افراد به فعالیت‌ها در فاز مقابله با بحران زلزله هر دو جنبه فعالیت‌های زندگی بشری مدنظر باشد. در نتیجه، لازم است مکان و زمان به صورت توأمان در سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای مدیران امداد ونجات مدنظر قرار گیرد.

جهت بهبود وضعیت امدادرسانی و به طور خاص امدادرسانی زلزله، بهتر است هر دو جنبه علمی و سنتی کار در نظر گرفته شود. این به‌دان معناست که واقعیت موجود در ایران و تجربیات سال‌های گذشته در امر امدادرسانی زلزله را در نظر گرفته و همچنین با بررسی تحقیقات انجام شده در ایران و دیگر جوامع، مدلی با انطباق بیشتر با واقعیت و وضعیت موجود کشور ارائه نمود. در این راستا علاوه بر مطالب ذکر شده سعی گردیده با بررسی‌ها و مطالعاتی پیرامون گروه‌های امداد و نجات در ایران، ساختار تیم‌های امداد و نجات پژوهش حاضر مشخص گردد تا سیستم ارائه شده انطباق بیشتری با واقیت جامعه داشته باشد. در نتیجه پژوهش کاربردی گردده، و در نهایت سیستمی جهت تصمیم‌گیری مدیران بحران ایجاد شده است که به بهبود تصمیم‌گیری و پشتیبانی از تصمیمات آنان در امر امداد و نجات زلزله و تخصیص وظایف به امدادرسانان منجر شود.

پیشینه و اهداف پژوهش

در زمان وقوع بحران پس از اعلام هشدار زلزله، فرآیند کاری در سه فاز انجام می‌گیرد که به شرح زیر می‌باشد (۲):

- پیش از عملیات: دریافت اطلاعات، فراخوان نیروها، وارسی منابع، توجیه نیروها
- عملیات: اعزام تیم، مدیریت صحنه، دست‌یابی به مصدوم، تثبیت مصدوم، انتقال مصدوم
- پس از عملیات: بازگشت، گزارش‌گیری، وارسی مجدد منابع، تحلیل مأموریت

این پژوهش در فاز عملیات پس از اعلام هشدار زلزله قرار می-گیرد. از مجموعه اقدامات مهم این فاز در مدیریت بحران زلزله بعد از ارزیابی انواع آسیب‌پذیری‌های شهری، امدادرسانی بر آسیب‌دیدگان از زلزله و نجات بموقع جان انسان‌ها است (۳). در همین راستا ابتدا بایستی آسیب‌های شهری متأثر از زلزله بررسی گردیده، سپس وظایف امدادرسانان بررسی شود. بدیهی است در امدادرسانی زلزله، به هر فرد فعالیتی محول می‌گردد؛ در واقع فعالیت‌ها به افراد تخصیص می‌یابند. در نتیجه برای بهبودی امدادرسانی زلزله می‌بایست این تخصیص با روشی انجام پذیرد که کارایی امدادرسانی بالا رفته و خسارات زلزله کاهش یابد. در واقع برنامه‌ریزی باید به گونه‌ای صورت پذیرد که فرآیند امدادرسانی در کمترین زمان و با کمترین هزینه جانی و مالی باشد.

از پژوهش‌هایی که تاکنون در ارتباط با فعالیت‌های امداد و نجات در بحران زلزله در کشور صورت پذیرفته است، می‌توان به اسکان اضطراری بعد از زمین‌لرزه (۴ و ۵)، مکان گزینی مراکز امداد و نجات با روش‌های بهینه‌سازی و MCDA (۶، ۷)، مسیریابی بهینه تیم‌های امدادی (۸)، ارزیابی خسارات جاده‌ای با اسفاده از داده‌های شهروند محور (۹)، ارزیابی خسارات با استفاده از شبیه‌سازی زلزله (۱۰)، طرح جامع امداد و نجات سازمان هلال احمر کشور (۲) اشاره نمود. اغلب تحقیقات صورت گرفته تک بعدی است، یعنی یا مشخصه مکانی را برای امداد و نجات در اولویت قرار داده و یا بر بعد زمانی تاکید داشته‌اند. در صورتی‌که تمامی فعالیت‌های بشری، از جمله فعالیت‌های امداد و نجات بعد از بحران‌ها، دارای دو بعد می-باشند (به این معنا که در مکانی مشخص و در زمانی خاص انجام می‌پذیرند).

از جمله پژوهش‌های دیگر که در زمینه امداد و نجات و مدیریت بحران می‌توان به طراحی و شبیه‌سازی مدل صف عملیات امداد و نجات زلزله به کمک سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) (۱۱)، ارائه مدلی مکان‌محور جهت مدیریت تیم‌های امداد و نجات در زلزله (۱۲)، ارزیابی چند معیاره مبتنی بر GIS در شهر ونکوور کانادا (۱۳)، بررسی سازگاری فضای شهری برای پاسخ به زلزله با استفاده از الگوریتم GROA (۱۴)، روش نوین برای مدلسازی و برنامه‌ریزی فعالیت‌های گروهی بشری در فضا- زمان (۱۵)، مدل احتمالی مکانی - زمانی خطر برای برنامه‌ریزی تخلیه در بلایای طبیعی (۱۶)، مدل مکانی- زمانی پویا با استفاده از مدل‌های DNB[1] و ACO[2] برای پیگیری و پیش‌بینی پویای حرکت افراد زمان تخلیه و پاسخ به خطرات ثانویه هنگام تخلیه (۱۷)، توسعه مدل مکانی- زمانی مدیریت ریسک برای تیم‌های زنده‌یاب در زلزله (۱۸) و استفاده از GIS جهت توسعه یک الگوریتم تخصیص وظایف مکانی- زمانی کارامد برای گروه‌های بشری در یک محیط کاملاً پویا (۱۹)، استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان جهت بهینه‌سازی امدادرسانی (۲۰)، ایجاد سیستم توصیه‌گر بافت آگاه برای ساماندهی تیم‌های امدادی(۲۱) اشاره نمود.

همچنین می‌توان به ترکیب الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت و الگوریتم ژنتیک جهت تخصیص منابع (۲۲)، الگوریتم شبیه-سازی بازپخت برای تخصیص خطوط حمل و نقلی (۲۳)، الگوریتم پرندگان در شناسایی محدوده های سیلابی (۲۴) و ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، جهت تخصیص مکان (۲۵) اشاره نمود. و نیز Dong-Hyun Lee و همکارانشان از یک الگوریتم مزایده محور غیر متمرکز جهت تخصیص وظایف روبات‌ها (۲۶) و Han-Lim Choi و همکارانشان از یک مزایده غیر متمرکز مبتنی بر جمعیت به منظور تخصیص وظایف (۲۷) و همچنین وفائی‌نژاد و همکاران با ترکیبی از الگوریتم مزایده محور به تخصیص وظایف افراد در

1- Dynamic Bayesian network
2- Ant Colony Optimization

امدادرسانی زلزله (۱۹)؛ راسخ و وفائی‌نژاد نیز از ترکیب الگوریتم مزایده محور و تئوری صف به تخصیص بهینه وظایف به افراد در گروه‌های امداد و نجات (۲۸) پرداختند. در سال ۲۰۲۳ در پژوهشی Lazima Faiah Bari و همکارانش برای بررسی امکان سنجی استفاده از هوش مصنوعی در ریسک بلایا و مدیریت سلامت اضطراری در آن پرداخته و از هوش مصنوعی برای اطلاع رسانی به مقامات مراقبت های بهداشتی در مورد خطرات بهداشت محیطی و مدیریت فوریت‌های پزشکی استفاده کرده‌اند(۲۹). در سال ۲۰۲۴ Saptadeep Biswas و همکارانش با استفاده از درخت تصمیم‌گیری و رگرسیون خطی با پیش‌بینی میزان آسیب‌ها به پیش‌بینی میزان تقاضای کمک پرداخته است(۳۰).

در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها به عنوان فرآیند اصلی چرخه امداد و نجات، بکار بردن یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری که تلفیقی از منابع فکری افراد و یک سیستم پشتیان مبتنی بر رایانه برای بهبود کیفیت تصمیم گیری در مدیریت برخورد با مسائل نیمه ساخت یافته است، یک ضرورت تلقی می‌شود. یک ویژگی اصلی سیستم پشتیبانی تصمیم، داشتن یک مدل است و ایده اصلی آن، این است که یک تحلیل DSS باید به جای سیستم واقعی بر روی یک مدل از واقعیت اجرا شود و مدل واقعیت ساده شده یا خلاصه‌ای از واقعیت خواهد بود (۳۱). در نتیجه، برای ایجاد سیستم پشتیبانی مدیریت تیم‌های امدادرسان در این پژوهش، لازم است تخصیص وظایف امدادرسانان مدل گردد.

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده در مورد انواع الگوریتم‌های قابل استفاده جهت تخصیص مانند روش بازپخت، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جامعه مورچگان، تئوری صف، PSO، نظریه بازی‌ها، مدل‌های زمانبند، برنامه‌ریزی خطی و غیر خطی، الگوریتم تاگوچی، الگوریتم چکه آب‌های هوشمند، الگوریتم فاخته، Auction، جستجوی ممنوعه و با توجه به اهداف مدنظر پژوهش، ترکیبی از الگوریتم Auction و برنامه‌ریزی غیرخطی جهت نیل به هدف اصلی آن که تخصیص بهینه وظایف به امدادرسانان و ارائه مدلی جهت مدیریت بهتر افراد در سیستمی مکانی- زمانی می‌باشد، مناسب تشخیص داده شد.

الگوریتم Auction بر اساس روش‌های مناقصه و مزایده‌گذاری اقتصادی پایه‌ریزی گردیده و توسعه یافته است. این روش افراد را به صورت اقتصادی مدل نموده و هدف نهایی آن بدست آوردن حداکثر سود ممکن است. در این روش افراد گروه به عنوان عناصری اقتصادی تمایل دارند که بیشترین سود ممکن را عاید خود و گروهی که در آن فعالیت دارند، نمایند (۱۵). در این راستا، برای انجام هر کار یا فعالیت، پاداشی در نظر گرفته می شود. این پاداش تابع پارامترهای متعددی از قبیل اهمیت، اولویت، احتمال کاوش خواهد بود. از طرف دیگر هر فرد برای انجام فعالیت مورد نظر متحمل هزینه‌ای خواهد شد که این هزینه یا قیمت، تابع پارامترهای مختلفی مانند فاصله مکانی و زمانی فرد تا محل انجام فعالیت، تخصص فرد، مدت زمان انجام هر فعالیت است.

بنابراین با توجه به هزینه‌ای که هر فرد برای انجام فعالیتی خاص باید بپردازد و پاداش و سودی که از انجام آن فعالیت عاید او می‌گردد، سود حاصله از انجام یک فعالیت با استفاده از مقادیر پاداش و هزینه هر فرد، محاسبه می‌گردد. در این صورت با برگزاری مزایده بین افراد گروه، وظایف به نحوی به افراد تخصیص داده خواهند شد که بیشترین سود عاید گروه گردد (۱۵). تخصیص وظایف به نحوی که به آن اشاره شد، هم فعالیت‌هایی که بوسیله یک نفر قابل انجام است و هم فعالیت-هایی که بوسیله چند نفر باید انجام شود را در برخواهد گرفت. همچنین این نوع تخصیص وظایف افراد تک کاره و افراد چند کاره را مدیریت خواهد نمود.

از طرفی دیگر جهت ایجاد مدلی مناسب، می‌بایست شرایط طبیعی را به مدل اعمال نمود. یکی از این شرایط، که در نظر گرفتن آن در امر امدادرسانی بسیار مهم و ضروری می‌باشد، زمان است. در فرآیند زنده‌یابی، آواربرداری و در کل امدادرسانی زلزله زمان و گذر آن بسیار مهم می‌باشد. در تخصیص وظایف با استفاده از الگوریتم مذکور، تخصیص فعالیت‌ها به صورت لحظه-ای و آنی را مدیریت می‌کند و تخصیص در طول زمان را در نظر

نمی‌گیرد. در این نوع تخصیص پایگاه‌داده‌ای برای فعالیت‌ها و افراد در نظر گرفته می‌شود که همان جداول مربوط به آن‌ها می‌باشد. پایگاه‌داده مذکور، پایگاه‌داده مکانی- زمانی می‌باشد. و نیز مدل ارائه شده در این پژوهش، با توجه به انواع مدل‌سازی مکانی- زمانی از نوع Snapshot خواهد بود که در این نوع مدل‌سازی، تخصیص وظایف به صورت آنی و در لحظه انجام می‌گردد.

در نتیجه مدلی مکانی- زمانی که مکان و زمان را به صورت توأمان در نظر می‌گیرد، به نحوی که گروه‌ها و تیم‌های امدادرسان بتوانند با توجه به زمان موجود و با حداکثر کارایی سرویس‌های لازم را ارائه دهند و با اتلاف حداقل منابع به هدف‌های مطلوب خود دست یابند، ارائه می‌گردد. در این راستا موقعیت مکانی امدادگران، مجروحین و میزان آوار، زمان وقوع حادثه، وضعیت جوی و ... نیز بررسی گردیده است و در نهایت یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی- زمانی ایجاد می‌گردد که به هدف اصلی این پژوهش مبنی بر ارائه مدلی مکانی- زمانی با استفاده از یک مدل تخصیص وظایف برای بهبود و بهینه‌کردن تصمیمات در رابطه با فعالیت‌های امدادرسانانی در بحران زلزله دست یابد.

روش بررسی

با بررسی‌های انجام شده مشخص گردید پارامتری به نام مدت زمان زنده ماندن در زیر آوار، مدت زمان فعالیت، فاصله افراد تا مکان فعالیت‌ها، سرعت افراد هنگام حرکت در انجام وظیفه محوله بسیار اهمیت دارد. و نیز با مطالعات انجام شده رابطه‌ای برای احتمال کاوش (POD) (۳۲) وجود دارد که برای استفاده در این تحقیق به شکل زیر ویژه‌سازی شده است؛ لذا تابع Cost به شکل زیر تعیین گردیده است:

$$Cost = 1 - e^{-\text{Search speed} \times \text{Search time} \times N \times \text{Spacing} / \text{Area Assigned}} \quad (۱)$$

در رابطه‌ی بالا، Area Assigned، مساحت تخصیص یافته به فعالیت می‌باشد. N، تعداد تکرار انجام یک فعالیت است. Spacing، فاصله امدادرسان تا محل فعالیت می‌باشد و نیز اگر فرد تخصص اصلی خودش را انجام ندهد، قیمت انجام کار او بالاتر خواهد رفت. بدیهی است قیمت نهایی فعالیتی که به برای انجام آن به چند نفر احتیاج است، از حاصل جمع قیمت‌های تک تک افرادی که آن فعالیت را انجام می دهند، بدست خواهد آمد. و نیز بر اساس اولویت تخصیص فعالیت‌ها به افراد، پاداش تعلق می‌گیرد، همچنین پاداش فعالیت‌های چند نفره همانند قیمت نهایی فعالیت‌های چند نفره محاسبه می‌گردد.

با توجه به ماهیت فعالیت‌های گروه‌های امدادرسانی و عدم امکان قرارگیری محققان در شرایط واقعی پس از زمین‌لرزه، شبیه‌سازی رخداد زمین‌لرزه به منظور فراهم نمودن اطلاعات مکانی و توصیفی منطقه انجام فعالیت، تعیین فعالیت‌های مورد نیاز و تهیه اطلاعات موقعیتی و توصیفی نیروی انسانی و نیز برآورد تقریبی از خسارات سازه‌ای و انسانی در محدوده کوچکی از منطقه ۳ تهران انجام گردیده است. با توجه به انواع وظایف گروه‌های امداد و نجات در زلزله که بررسی گردیده است، آسیب‌های سازه‌ای و تلفات انسانی و فعالیت‌های مورد نیاز و اطلاعات توصیفی آن‌ها که دارای اولویت‌ها و اهمیت‌های متفاوتی هستند، در تخصیص وظایف مورد استفاده قرار می‌گیرند. فعالیت‌ها شامل تجسس و زنده‌یابی، ارزیابی اولیه منطقه، آواربرداری، ارزیابی ساختمان‌ها، کمک‌های اولیه، قطع آب و برق و گاز، نشانه‌گذاری می‌باشد (۳ و ۳۲). علاوه بر موارد فوق، دانستن مدت زمان تقریبی انجام هر فعالیت نیز جهت تخصیص مناسب‌تر فعالیت‌ها به افراد کمک می‌کند.

هر فرد عضو گروه‌ها، دارای اطلاعات توصیفی مختلفی مانند کد منحصر بفرد، تخصص‌های اصلی و فرعی و اولویت انجام فعالیت‌ها بوده و نیز علاوه بر موارد فوق در هر لحظه دارای موقعیت مکانی و زمانی متغیری است. در این پژوهش فرض شده است که ارتباط لحظه‌ای بین افراد گروه‌ها و مدیر برقرار بوده و اطلاعات موقعیتی افراد توسط سیستم تعیین موقعیت جهانی (Global Positioning System) همراه امدادگران، در هر لحظه برای مدیر ارسال می‌گردد. به عبارت دیگر، نحوه به هنگام‌رسانی اطلاعات افراد حل شده فرض گردیده است. در این قسمت فقط اولویت انجام فعالیت‌ها توسط افراد مشخص

گردیده و این‌که چه فردی به چه فعالیتی (در چه مکان و زمانی) تخصیص داده شود با استفاده از مدل پیشنهادی و با توجه به توابع هزینه و حداکثر سود حاصله برای گروه مشخص خواهد شد.

شکل۱- جدول شبیه‌سازی اولویت فعالیت‌های گروه‌های امدادرسان در سطوح تخریب مختلف به همراه مدت زمان انجام آن

Figure 1. Table of Simulated Priority of Relief Teams Activities at Different levels of Destruction Area Along with Their Duration

شکل ۲- جدول شبیه‌سازی افراد و اطلاعات توصیفی آنان

Figure 2. Table of Simulated of the Relief workers and Their Descriptive Information

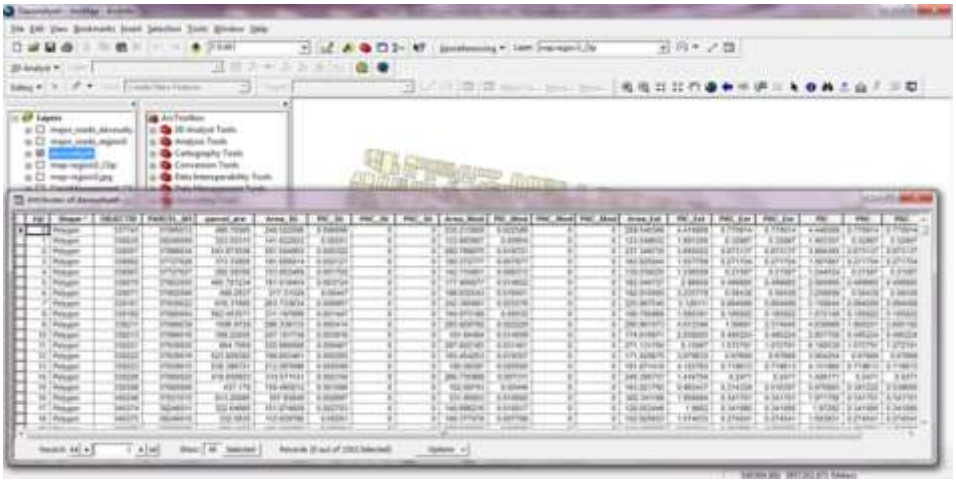
جهت شبیه‌سازی زلزله و اجرای مدل پیشنهادی این پژوهش، قسمتی از منطقه سه تهران، به عنوان محدوده‌ی مطالعاتی انتخاب شد.

شکل ۳- نقشه محدوده مطالعاتی

Figure 3. Map of the Study Area

یافته‌ها

پس از انتخاب روشی برای تخصیص وظایف امداد رسانان، جهت اجرای مدل ایجاد شده ابتدا شبیه‌سازی زلزله صورت پذیرفته است و در آن آسیب‌ها به سه دسته‌ی آسیب کم، آسیب متوسط و آسیب شدید، تقسیم‌بندی شده است. اطلاعات بدست آمده یکی از ورودی‌های اساسی الگوریتم تخصیص وظایف پیشنهادی پژوهش می‌باشد. میزان آسیب‌پذیری‌های سازه‌ای و نیز تعداد افراد آسیب‌دیده و نوع آسیب آن‌ها در تعیین فعالیت‌های مربوط به هر مکان اثر می‌گذارد. در ادامه لیست فعالیت‌های گروه‌ها و اطلاعات توصیفی آن‌ها، اطلاعات مکانی و توصیفی نیروهای امدادگر نیز به عنوان داده‌های از قبل آماده شده و مورد نیاز تخصیص وظایف که در قسمت قبل شرح داده شد وارد محیط ArcGIS گردید.



شکل ۴- جدول اطلاعات آسیب‌پذیری سازه‌ای و جمعیتی محدوده‌ی مطالعاتی

Figure 4. Table of Vulnerability Information for Buildings and Population at the Study Area

در این قسمت توجه به این نکته مناسب به نظر می‌رسد که نوع مدیریت نیروها و برنامه‌ریزی تخصیص کار در چنین سیستمی به صورت مرکزی و متمرکز(Centralized) است. اطلاعات مکانی و موقعیتی امدادگر با استفاده از GPS به صورت آنی به مرکز فرماندهی و برای مدیر ارسال خواهد شد. به عبارت دیگر در این شبیه سازی فرض شده است که در هر لحظه اطلاعات بروز شده در اختیار مدیر گروه ها قرار داشته و مدیر با استفاده از داده های یکپارچه، مرکزی و بروز، اقدام به تحلیل و انجام تصمیم گیری نموده و در نهایت دستورات لازم را براساس الگوریتم تخصیص کار برای امدادگران ارسال کرده و آن ها را مدیریت خواهد نمود.

با توجه به اینکه در ابتدای امداد و نجات و براساس پیش بینی-های اولیه، در مناطق آسیب‌دیده ۶ نوع فعالیت وجود داشته که افراد برای انجام آن ها توزیع می شوند. اما به دلیل پویایی محیط و با گذشت زمان، ممکن است در نقاط آسیب دیده فعالیت های جدیدی ایجاد شوند یا تغییراتی در فعالیت های پیش بینی شده بوقوع بپیوندند. یکی از روش های شناسایی فعالیت های واقعی مورد نیاز می تواند استفاده از نیروهای نشانه گذار باشد که با شناسایی فعالیت های واقعی مورد نیاز، آن ها را به مرکز کنترل اعلام می‌کنند. بنابراین علاوه بر ایجاد جدول وظایف که ایجاد گردیده و برنامه‌ریزی‌های اولیه که براساس آن انجام می شوند، جدولی دیگر با نام جدول وظایف توزیع شده نیز ایجاد می‌شود که هدف از آن وارد نمودن، ذخیره سازی، بازیافت، ویرایش و به روز رسانی فعالیت هایی است که در نقاط آسیب دیده شناسایی شده و واقعاً وجود دارند.

انجام فعالیت ها توسط نیروها انجام می شود و یک نیرو ممکن است در زمان های مختلف چند کار را در چند محل انجام داده و در زمان های مختلف در مکان های متفاوتی حضور یابد و یا ممکن است گاهی یک کار توسط چند نفر انجام شود. این قبیل اطلاعات درباره افراد و فعالیت ها، در جدولی که واسطه بین دو جدول اطلاعات افراد گروه ها و جدول فعالیت های توزیع شده بوده و جدول "لیست فعالیت‌ها" نام دارد ذخیره شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. این جدول در واقع خروجی اصلی الگوریتم تخصیص وظایف به افراد خواهد بود که طی آن مشخص می شود که هر شخص چه فعالیتی را انجام دهد.

تعداد امدادگران در این پژوهش با در نظر گرفتن مطالعات انجام شده، ۱۴۴ نفر در نظر گرفته شده که شامل ۱۸ تیم عملیاتی ۸ نفره می‌باشد که به سه دسته تقسیم شده و یک گروهان نجات را تشکیل می‌دهند. این افراد از نزدیکترین مرکز مدیریت بحرن به محدوده‌ی مطالعاتی رخداد زمین‌لرزه، به محل اعزام می-گردند. با توجه به مدل طراحی شده در این پژوهش و مطالعات انجام شده که توضیح داده شد، تخصیص افراد به فعالیت‌ها انجام شده و در نهایت خروجی مدل پیشنهادی در تصاویر ذیل به نمایش در آمده است.

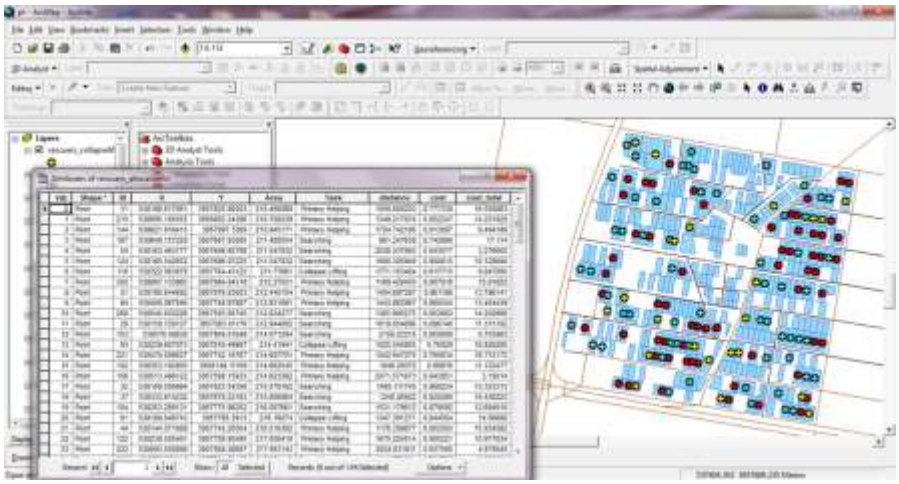
شکل ۵- نقشه موقعیت افراد نسبت به منطقه مطالاتی رخداد زلزله، پیش از اجرای مدل تخصیص وظایف

Figure 5. Map of the Relief workers Positions before tasks allocation at Study Area

شکل ۶- نقشه موقعیت افراد نسبت به منطقه مطالعاتی رخداد زلزله، پس از اجرای مدل تخصیص وظایف

Figure 6. Map of the Relief workers Locations after the Earthquake at the Study Area by Implementation of the Tasks allocation Model

در محدوده مطالعاتی تصویر بالا؛ نقاط قرمزرنگ مربوط به امدادرسانانی است که به فعالیت کمک‌های اولیه اختصاص یافته‌اند؛ نقاط آبی‌رنگ، امدادرسانانی که مشغول به فعالیت جستجو و زنده‌یابی هستند و نقاط زردرنگ، امدادرسانان اختصاص یافته به فعالیت آواربرداری می‌باشد. تخصیص افراد با توجه به اینکه فعالیت‌های اولویت‌دار ابتدا تخصیص می‌یابند و مکان‌های مسکونی‌ای که میزان خسارت بیشتر دارند در اولویت امدادرسانی هستند، و با محاسبه تابع هزینه الگوریتم پیشنهادی، انجام گردیده است. همچنین فیلدهای جدول توصیفات افراد امدادرسان شامل کد اختصاصی فرد، کد منحصر به فرد هر سازه مسکونی، مختصات هر فرد، نوع فعالیت اختصاص داده شده به هر فرد امدادرسان، میزان مساحت خسارت شدید هر سازه، فاصله هر فرد از مرکز ارسال نیروها به محل فعالیت تخصیص یافته و احتمال کاوش برای هر فرد می‌باشد. به عنوان مثال سطر بیست و یکم این جدول نشان می‌دهد که فردی با کد اختصاصی۲۰، با طی کردن فاصله ۱۳۴۷/۳۹متر از مرکز مدیریت بحران (مرکز توزیع امدادرسانان) تا محل مسکونی با کد اختصاصی ۶۱ به مساحت ۲۱۶/۱۶ متر مربع، با احتمال کاوش ۸۴۴/.، برای فعالیت آواربرداری تخصیص داده شده است.



شکل ۷- نقشه موقعیت افراد نسبت به منطقه مطالعاتی رخداد زلزله، پس از اجرای مدل تخصیص وظایف به همراه جدول توصیفات افراد امدادرسان

Figure 7. Map of the Relief workers Positions after the Earthquake at the Study Area by Implementation of the Tasks allocation Model with Table of the Descriptive Information for Tasks allocation

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر برای انجام تقسیم و تخصیص وظایف به افراد، روشی الهام گرفته از روش مناقصه‌گذاری اقتصادی و با ترکیب برنامه‌ریزی غیرخطی ارائه گردید. این روش با توجه به پویایی و مکانمند - زمانمند بودن فعالیت‌ها پیشنهاد شد که توان عمل در محیط‌های کاملاً پویا و متغیر را دارا باشد. با اطلاعات جمع-آوری شده از امدادرسانی در زلزله، ۱۸ گروه امداد و نجات مد نظر قرار گرفتند. در نهایت برای بررسی نحوه‌ی عمل و کارایی مدل ارائه شده جهت بهبود وضعیت امدادرسانی زلزله، خصوصاً در یک محیط شهری، مساحت محدودی از شهر تهران در نظر گرفته شد و زلزله‌ای فرضی بر اساس نوع سازه‌های موجود در شهر و اطلاعات جمعیتی آن محدوده با استفاده از محیط نرم-افزاری مناسب، شبیه‌سازی گردید و با استفاده از جداول توصیفی طراحی شده برای فعالیت‌ها، افراد و دیگر اطلاعات لازم جهت اجرای صحیح و کامل مدل پیشنهادی، مدل ارائه شده اجرایی گردید. در پایان هدف اصلی پژوهش که ارائه مدلی مکانی- زمانی با استفاده از یک مدل تخصیص وظایف برای بهبود و بهینه‌کردن تصمیمات در رابطه با فعالیت‌های امدادرسانانی در بحران زلزله بود؛ تحقق یافت. لازم بذکر است، مدل ارائه شده در این پژوهش قابل ارتقا یا تغییر با استفاده از روش‌های دیگر بهینه سازی، همانند روش بازپخت نیز می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از اعضای محترم سازمان هلال احمر بدلیل همکاری‌هایی که در انجام هرچه بهتر این تحقیق مبذول نمودند، اعلام می‌دارند.

References

1. Hosseini, M. 2008: Crisis Management, City INS, Tehran.
2. Relief & Rescue Organization of the Red Crescent, 2003: Comprehensive plan for relief and rescue. Tehran.
3. Mazidabadi, Sh., 2003: Collapsed Structure Search and Rescue, Nakhl INS, Tehran.
4. Giwehchi, S. et al. 2013: Location allocation for Temporary accommodation in the post-earthquake using to GIS and AHP technique. Case study: Shiraz, Urban

and Regional Studies and Research. Volume 5, Issue 17.

5. Nojavan, M. Omidvar, B. Salehi, E., 2013: Location allocation for Temporary accommodation using to fuzzy algorithms; Case study: Tehran., Volume 31.
6. Bahram Saeidian, Mohammad Saadi Mesgari, Biswajeet Pradhan, Mostafa Ghodousi, 2018: Optimized Location-Allocation of Earthquake Relief Centers Using PSO and ACO, Complemented by GIS, Clustering, and TOPSIS. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2018, Volume 7, Issue 8.
7. Rahim Dabbagh, Hassan Ahmadi Chokalaei, 2020: Optimal Site Selection of Relief Centers Using Geospatial Information System and Multi -Criteria Decision -Making Methods in Urmia. Sci J Rescue Relief, Volume 12; Issue 1.
8. jahangir E, musavi B S, jelookhani niyaraki M R., 2023: Optimizing rescue and relief bases with the approach of improving service coverage on the country's main roads. JGST, Volume 12 Issue 2.
9. Iran Sarah Farhadpour, Farhad Hosseinali., 2020: Developing a spatial solution for earthquake crisis management using volunteered geographic information and genetic algorithm: A case study of an earthquake, Tehran. Earth Observation and Geomatics Engineering, Volume 4, Issue 2, Pages 109-118.
10. Aghamohammadi, H. Mesgari, M. S. Molaei, D. Aghamohammadi, H., 2013: Development a Heuristic Method to Locate and Allocate the Medical Centers to Minimize the Earthquake Relief Operation Time. Iranian J Publ Health, Vol. 42, No.1, Jan 2013, Pages 63-71.
11. Rasekh, Abolfazl. Vafaeinezhad, A. R., 2014: Design and Simulation of Earthquake Relief & Rescue Operation Queuing Model with the Aid of Geographic Information System (GIS), Emejency Management, Volume 3, Issue 2, Serial Number 2, March 2015, Pages 25-36.
12. Nahid Bahrami, Meysam Argany, Mohammadreza Jelokhani Neyaraki, Alireza Vafaeinezhad., 2019: Providing a Spatial Approach in the Rescue and Relief Management after the Earthquake. Environment Hazards Management, Volume 6, Issue 2, Pages 117-129.
13. Blake Byron Walker, Nadine Schuurman, David Swanlund & John J. Clague., 2021: GIS-based multicriteria evaluation for earthquake response: a case study of expert opinion in Vancouver, Canada. Natural Hazards, Volume 105, pages 2075–2091.
14. Reza Aghataher, Hamidreza Rabieifar, Najmeh Neysani Samany, Hani Rezayan., 2013: The suitability mapping of an urban spatial structure for earthquake disaster response using a gradient rain optimization algorithm (GROA). Heliyon, Volume 9, Issue 10.
15. Vafaeinezhad, A. R., Alesheikh. A.A., Malek, M.R., Shad, R., Neshat, M., 2009: New Approach for Modeling and Planning Team Activities in Space-Time. Amirkabir Journal of Civil Engineering. Volume 41, Issue

1, Serial Number 1, March 2009, Pages 35-43.

16. Jaziar Radianti, Ole-Christoffer Granmo, Parvaneh Sarshar, Morten Goodwin, Julie Dugdale, Jose J. Gonzalez, 2015: A spatio-temporal probabilistic model of hazard- and crowd dynamics for evacuation planning in disasters. Applied Intelligence. Volume 42. Issue 1. Pages 3–23.
17. Granmo, Ole-Christoffer; Jaziar Radianti, Morten Goodwin, Julie Dugdale, Parvaneh Sarshar, Sondre Glimsdal, and Jose J. Gonzalez, 2013: A Spatio-temporal Probabilistic Model of Hazard and Crowd Dynamics in Disasters for Evacuation Planning. International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems IEA/AIE 2013: Recent Trends in Applied Artificial Intelligence Pages 63-72.
18. Vafaeinezhad, A. R.; A. A. Alesheikh, J. Nouri, 2010: Developing a spatio-temporal model of risk management for earthquake life detection rescue team. International Journal of Environmental Science & Technology. March 2010, Volume 7, Issue 2, Pages 243–250.
19. Vafaeinezhad, Ali Reza; Ali Asghar Alesheikh, Majid Hamrah, Reza Nourjou, and Rouzbeh Shad, 2009: Using GIS to Develop an Efficient Spatio-temporal Task Allocation Algorithm to Human Groups in an Entirely Dynamic Environment Case Study: Earthquake Rescue Teams. Computational Science and Its Applications – ICCSA 2009. Volume 5592 of the series Lecture Notes in Computer Science. Pages 66-78.
20. N Bahrami, M Argany, N Neysani Samani, AR Vafaei Nejad. 2021: Designing a Context-aware Recommender System in the Optimization of the Relief and Rescue by Ant Colony Optimization Algorithm and Geospatial Information System. Journal of Geomatics Science and Technology Volume 11 Issue 2, Pages 153-162.
21. N Bahrami, M Argany, NN Samani, AR Vafaeinejad. 2019: Designing a context-aware recommender system in the optimization of the relief and rescue. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume 42, Pages 171-177.
22. Lei XuEmail, Xun-zhao Zhou, Qian-mu Li, Xiao-fei Zhang, 2016: Energy-efficient resource allocation for multiuser OFDMA system based on hybrid genetic simulated annealing. Soft Computing. July 2017, Volume 21, Issue 14, Pages 3969–3976.
23. Walha, Faiza; Sondes Chaabane, Abdelghani Bekrar, Taicir Moalla Loukil, 2015: A Simulated Annealing Metaheuristic for a Rail-Road PI-Hub Allocation Problem. Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing. Volume 594 of the series Studies in Computational Intelligence, Pages 307-314.
24. N Bahrami, M Kiavarz, M Argany. 2020: The Fusing of Satellite Images and Using Particle Swarm Optimization Algorithm to Improving Evaluation of Water Body, Focusing on Monitoring and Identifying Flood.

Journal of Environmental Studies Volume 46 Issue 2, Pages 431-446.

25. Zeinebou Zoubeir, Abdellatif Benabdelhafid, 2014: The Development of a Decision Support Model for the Problem of Berths Allocation in Containers Terminal Using a Hybrid of Genetic Algorithm and Simulated Annealing. Intelligent Information and Database Systems, Volume 8397 of the series Lecture Notes in Computer Science Pages 454-463.
26. Lee, Dong-Hyun; Sheir Afgen Zaheer, and Jong-Hwan Kim, 2015: A Resource-Oriented, Decentralized Auction Algorithm for Multirobot Task Allocation. IEEE Trans. on Automation Science and Engineering, Volume 12, Issue 4.
27. Choi, Han-Lim; Luc Brunet, and Jonathan P. How, Senior, 2009: Consensus-Based Decentralized Auctions for Robust Task Allocation. IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, Volume 25, Issue 4.
28. Rasekh, Abolfazl; Ali Reza Vafaeinezhad, 2012: Developing a GIS Based Decision Support System for Resource Allocation in Earthquake Search and Rescue Operation. Computational Science and Its Applications – ICCSA 2012, Volume 7334 of the series Lecture Notes in Computer Science Pages 275-285.
29. Lazima Faiah Bari, Iftekhar Ahmed, Rayhan Ahamed, Tawhid Ahmed Zihan, Sabrina Sharmin, Abir Hasan Pranto, and Rabiul Islam, 2023: Potential Use of Artificial Intelligence (AI) in Disaster Risk and Emergency Health Management: A Critical Appraisal on Environmental Health, Environ Health Insights. Volume 17.
30. Saptadeep Biswas, Dhruv Kumar, Mostafa Hajiaghaei-Keshteli, Uttam Kumar Bera., 2024: An AI-based framework for earthquake relief demand forecasting: A case study in Türkiye, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 102.
31. N Bahrami., 2019: Using Tabu Search Algorithm and Geospatial Information System for Managing of the Relief and Rescue Teams. Journal of Geomatics Science and Technology Volume 8, Issue 3, Pages 179-188.
32. Mohammadi Yeghaneh, Sh., Mamdooh, H., 2007: Helicopter in Search & Rescue, Iranian Crescent Institute of Applied Science and Technology, Tehran.