



ORIGINAL RESEARCH PAPER

A Geo-AI Approach in the Post-Earthquake Rescue

N. Bahrami¹, M. Argany^{*1}, A.D. Boloorani¹, A.R. Vafaeinejad²¹ Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran² Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 14 March 2025
 Reviewed: 21 April 2025
 Revised: 01 June 2025
 Accepted: 10 June 2025

KEYWORDS:

Geo-AI
 Natural Hazards
 Artificial Intelligence
 Post-Earthquake
 Rescue

* Corresponding author

✉ argany@ut.ac.ir

☎ (+9821) 61113538

Background and Objectives: Earthquakes, among the most unpredictable and devastating natural disasters, result in significant human casualties and financial losses worldwide each year. Their sudden occurrence and destructive potential categorize them as critical crises that demand efficient and innovative management strategies. Contemporary crisis management practices emphasize three key phases: preparedness (before the event), response (during the event), and recovery (after the event). Among these, rescue operations, which are part of the response phase, play a vital role in saving lives and mitigating further damage. However, given the urgency and complexity of rescue efforts, enhancing their effectiveness through innovative methods is essential. This study introduces a novel approach that leverages spatial intelligence—specifically Geo-Artificial Intelligence (Geo-AI)—to optimize rescue operations in the aftermath of an earthquake.

Methods: This research proposes a Geo-AI-based framework to enhance rescue performance following an earthquake. The approach involves simulating a hypothetical earthquake scenario in Tehran using the Japan International Cooperation Agency (JICA) floating scenario model. A total of 48 rescuers are organized into six teams within the designated study area. These teams are tasked with conducting search and rescue missions facilitated by an augmented intelligent spatial information system. Unlike traditional or manually assigned rescue operations, the proposed model employs reinforcement learning—a subfield of artificial intelligence—to dynamically allocate resources and optimize operational decisions in real-time. The design incorporates a comprehensive set of variables known to influence post-earthquake rescue effectiveness, including team location, response time, victim survivability, and route accessibility. The aim is to minimize response times and maximize the number of successful rescues using spatially informed decision-making.

Findings: Due to the inherent unpredictability of earthquakes and the logistical constraints of studying rescue operations in real-world post-disaster settings, this research relies on simulation to replicate realistic conditions. The simulation environment provides detailed spatial and descriptive information regarding both the affected area and the status of rescue teams. Furthermore, it enables estimation of structural and human damage resulting from the hypothetical earthquake. Based on these simulated conditions, rescue operations are prioritized according to urgency and resource availability. All 48 rescuers are initially positioned at the nearest crisis management center and are subsequently deployed based on the optimized task allocation strategy generated by the Geo-AI model. The simulation results show that using the proposed model significantly improves the allocation efficiency of rescue teams.

Conclusion: The Geo-AI-driven rescue model presented in this study offers a promising new avenue for enhancing the quality and efficiency of post-earthquake search and rescue efforts. Simulation results demonstrate that variables such as survival time under rubble, task completion time, proximity of rescuers to affected sites, and travel speed are critical to the effectiveness of rescue missions. Implementation of the intelligent model led to a 2.642-fold improvement in task allocation efficiency compared to traditional methods. These findings highlight the transformative potential of integrating artificial intelligence and spatial data systems into disaster response frameworks.



NUMBER OF REFERENCES

31



NUMBER OF FIGURES

9



NUMBER OF TABLES

2

مقاله پژوهشی

راهکاری بر مبنای هوش مکانی برای نجات پس از زمین لرزه

ناهید بهرامی^۱، میثم ارگانی^{۱*}، علی درویشی بلورانی^۱، علیرضا وفایی نژاد^۲^۱ گروه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران^۲ گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: همه ساله زلزله به عنوان یک بحران و یکی از بلایای طبیعی که تقریباً غیر قابل پیش بینی به شمار می رود، خسارات جبران ناپذیر جانی و مالی را متحمل بشریت می نماید. از این رو بهتر است راهکارهایی نوین بر اساس روشهای جدید علمی و تجربیات گذشته، ارائه و پیاده سازی شود. مدیریت این گونه بحران های مخاطرات و بلایای طبیعی به سه مرحله پیش از وقوع، هنگام وقوع و پس از وقوع آن تقسیم می شود. نجات، جزو مراحل پس از وقوع حادثه است که می توان با مطالعه و بررسی پیش از وقوع حادثه به ارائه راهکاری جهت بهبود عملکرد نجات در رخداد آن در پس از وقوع زمین لرزه رسید. در این مقاله سعی می شود راهکاری با استفاده از هوش مکانی (Geo-AI) برای نجات پس از زمین لرزه ارائه شود.

روش ها: در این پژوهش با بهره گیری از هوش مکانی (Geo-AI) و شبیه سازی زمین لرزه ای فرضی راهکاری جهت ارتقا و تقویت نجات در وقوع زمین لرزه پیشنهاد می شود. در این روش زمین لرزه ای فرضی با استفاده از سناریو شناور جایکا در تهران شبیه سازی شده است و در آن ۴۸ امداد رسان در قالب ۶ تیم نجات در محدوده مطالعاتی در نظر گرفته می شود. تیم های مذکور با استفاده از یک سیستم اطلاعات مکانی هوشمند تقویتی، به گونه ای به فعالیت های جستجو و نجات اختصاص می یابند که در زمان کمتری، نجات بیشتر و کارآمدتری نسبت به حالت تجربی انجام شود. در مدل هوش مکانی ارائه شده از بخش یادگیری تقویتی هوش مصنوعی بهره گرفته می شود و به کمک مدل ایجاد شده به ارتقای عملیات جستجو و نجات در طی استفاده از مدل پیشنهادی برای بعد از رخداد زمین لرزه دست می یابد. در این مدل با استفاده از طراحی تابعی از جمیع پارامترهای موثر در نجات پس از زمین لرزه، در هوش مکانی تقویتی به بهبود عملکرد نجات در زمان رخداد زمین لرزه پرداخته می شود.

یافته ها: با توجه به ماهیت فعالیت های گروه های نجات و عدم امکان قرارگیری محققان در شرایط واقعی پس از زمین لرزه، شبیه سازی رخداد آن به منظور فراهم نمودن اطلاعات مکانی و توصیفی منطقه انجام فعالیت انجام می شود. در این شبیه سازی تعیین فعالیت های مورد نیاز نجات و تهیه اطلاعات موقعیتی و توصیفی تیم های نجات مدنظر قرار گرفته است. همچنین شبیه سازی رخداد زمین لرزه برای بدست آوردن برآورد تقریبی خسارات سازه ای و انسانی در یک بخشی از شهر تهران انجام شده است. بدیهی است که فعالیت ها دارای اولویت ها و اهمیت های مختلفی هستند. با توجه به مطالعات انجام شده و فرضیات مدنظر مدل پیشنهادی، در این پژوهش برای بررسی مدل ارائه شده ۴۸ امداد رسان مد نظر قرار گرفتند و ابتدا در نزدیکترین مرکز مدیریت بحران منطقه مطالعاتی مستقر شدند و سپس تخصیص هوشمند فعالیت های نجات به افراد نجاتگر صورت می گیرد.

نتیجه گیری: استفاده از مدل پیشنهادی در این مقاله جهت شبیه سازی های پژوهش حاضر و نیز پیاده سازی ساختار فعالیت های نجات و تیم های جستجو و نجات، راهکاری نوین در راستای بهبود کیفیت نجات پس از زمین لرزه خواهد بود. با بررسی های انجام شده، مشخص شد پارامترهایی نظیر مدت زمان زنده ماندن در زیر آوار، مدت زمان انجام فعالیت نجات، فاصله افراد تیم های نجات تا مکان فعالیت ها، سرعت افراد هنگام حرکت به سمت هدف بسیار اهمیت دارد. نتایج حاصله از اجرای مدل هوشمند پیشنهادی این پژوهش در مقایسه با عدم استفاده از مدل پیشنهادی، بهبود ۲/۴۲ برابری تخصیص صورت پذیرفته را نشان داده است.

* نویسنده مسئول

argany@ut.ac.ir

③ ۰۲۱-۶۱۱۱۳۵۳۸

واژگان کلیدی:

هوش مکانی

بلایای طبیعی

هوش مصنوعی

زمین لرزه

نجات

مقدمه

در سراسر تاریخ حیات بشر، جان و مال انسان‌ها همواره دستخوش حوادث طبیعی و سوانح پیش‌بینی نشده و گه‌گاه هولناک و مرگبار بوده است. آثار خسارات ناشی از برخی مخاطرات طبیعی مانند زمین‌لرزه، سیل و طوفان در تاریخ بشر جاودان مانده‌اند. کشور پهناور ما نیز از وقوع این حوادث مستثنی نبوده است و پیوسته در معرض حوادث طبیعی مانند زمین‌لرزه قرار داشته و محتمل زیان‌ها و خسارات زیادی ناشی از آن‌ها شده است [۱]. از این‌رو اقدامات پیشگیری، حذف و یا کاهش اثرات، بکارگیری و ارتقا امکانات و تجهیزات موجود جهت آمادگی و مقابله، پیش‌بینی و تأمین نیازهای اساسی و اضطراری آسیب دیدگان در هنگام رخدادهای طبیعی ضرورتی انکارناپذیر است [۲]. این مهم می‌تواند به ارائه خدمات جستجو و نجات و امدادرسانی فوری و از قبل سازمان‌یافته به آن‌ها و به علاوه، حفظ سلامت، ایمنی و بازگرداندن شرایط به حالت عادی، منجر شود.

با توجه به مطالب ذکر شده اهمیت بحران زمین‌لرزه در ایران مشخص می‌شود و با عنایت به اینکه نمی‌توان از وقوع آن جلوگیری نمود؛ می‌بایست برای کاهش آثار و خسارات و تلفات ناشی از آن با استفاده از شاخه‌های مختلف علمی برنامه‌ریزی نمود، که این مهم در واقع برنامه‌ریزی توسط افراد متخصص است و در نهایت بسیار مفید خواهد بود که این برنامه‌ریزی‌ها توسط مسئولین مربوطه اجرایی گردد. جهت کاهش خسارات جانی پس از رخداد زمین‌لرزه می‌بایست برنامه‌هایی به جهت جستجو و نجات بهتر در زمان وقوع بحران داشت [۳]. در این مرحله که به مرحله مقابله در مراحل مدیریت بحران معروف است [۴]، با استفاده از تجربه و تخصص نجاتگران با سابقه و صاحب نظر و تخصص‌های علمی دیگر برنامه‌ای برای کارایی بهتر ارائه شود.

در پژوهش حاضر برای بهبود این مرحله از مدیریت بحران تلاش می‌شود و نیز به جهت برنامه‌ریزی بهتر از نظرات افراد خبره در امر جستجو و نجات بهره جسته و شرح وظایف نجاتگران بررسی می‌شود. پژوهش حاضر سعی دارد تا در فاز پس از اعلام هشدار زمین‌لرزه، امکان استفاده از روش‌های به‌روز در نجات به موقع جان انسان‌ها را مدنظر قرار داده و روشهایی را برای افزایش سرعت و کیفیت خدمات جستجو و نجات پس از زمین‌لرزه ارائه کند. بدین منظور ابتدا بایستی آسیب‌های شهری متأثر از زمین‌لرزه بررسی شده، سپس وظایف نجاتگران و اثرات آنها بررسی شود. از طرف دیگر برای ایجاد مدلی مناسب، ساختارهای هوش مصنوعی و امکان استفاده آنها لازم است مورد بررسی قرار گرفته و روش مناسبی جهت ایجاد مدلی هوشمند مکانی انتخاب شود. در نهایت سعی می‌شود با رویکردی ترکیبی به موارد یاد شده، روشی به‌روز برای کمک به عملیات جستجو و نجات پس از زمین‌لرزه ارائه شود.

با عنایت به موارد یاد شده، در پژوهش حاضر ابتدا یک زمین‌لرزه فرضی شبیه‌سازی شده و سپس میزان خسارات احتمالی آن شناسایی می‌شود. سپس ساختار تیم‌های جستجو و نجات بررسی و شناسایی شده، پس از آن تمامی فعالیت‌هایی که می‌بایست توسط این تیم‌ها در زمان رخداد

زمین‌لرزه انجام شود، بررسی و لیست می‌شوند. در گام بعدی اولویت‌بندی‌های اجرای هر کدام از فعالیت‌ها و زمان حدودی انجام آن‌ها مشخص می‌شود. پس از آن، با توجه به موارد شناسایی شده و چیدمان ساختار فعالیت‌ها، نجاتگران و محیط، و نیز رابطه‌های ریاضی میان آنها پرداخته خواهد شد، به‌گونه‌ای که قابل استفاده در بخش هوش مکانی پژوهش حاضر باشند. در نهایت با بهره‌گیری از یادگیری تقویتی به عنوان زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی ساختاری نوین برای کمک به عملیات جستجو و نجات پس از زمین‌لرزه ارائه و پیاده‌سازی می‌شود.

تاکنون پژوهش‌هایی در ارتباط با فعالیت‌های جستجو و نجات در بحران زمین‌لرزه و هوش مکانی صورت پذیرفته است که در ادامه به بیان و بررسی برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود. پژوهش‌های زیادی در رابطه با اسکان اضطراری بعد از زمین‌لرزه مانند گیوه‌چی و همکاران [۵]، نوجوان، امیدوار و صالحی [۶]، مسیریابی خودروهای امدادی [۷] و همچنین پژوهش‌هایی نیز در زمینه ارزیابی خسارات با استفاده از شبیه‌سازی زمین‌لرزه [۸] انجام شده است. تحقیقاتی نیز توسط جمعیت هلال احمر انجام شده که از جمله آن می‌توان به طرح جامع جستجو و نجات کشور [۹] اشاره نمود. اغلب این تحقیقات و مطالعات صورت گرفته به بخش‌هایی نظیر اسکان اضطراری یا مسیریابی پس از بحران پرداخته‌اند. پژوهش‌هایی جهت تخصیص وظایف توسط راسخ و همکاران [۱۰]، وفایی‌نژاد و همکاران [۱۱، ۱۲] و بهرامی و همکاران [۱۳] انجام شده است که در آنها از روش‌های بهینه‌سازی تئوری صف، مدلسازی مکانی-زمانی، و برنامه‌ریزی غیر خطی و الگوریتم‌های هوش جمعی نظیر ازدحام ذرات استفاده شده است.

در استفاده از یادگیری تقویتی در بلایای طبیعی، پژوهشی در سال ۲۰۲۰ Li Yan و همکاران یک سیستم اعزام تیم نجات مبتنی بر تحرک انسانی به نام MobiRescue را پیشنهاد کردند، که هدف آن به حداکثر رساندن تعداد کل درخواست‌های نجات برآورده شده، به حداقل رساندن تاخیر تیم‌های نجات به موقعیت‌های درخواست‌های نجات و همچنین تعداد تیم‌های نجات اعزام‌شده است. داده‌های تحرک انسانی در مقیاس شهر را برای طوفان فلورانس مطالعه کردند و دریافتند که شدت تأثیر بلایا در مناطق مختلف کاملاً متفاوت است و حرکت مردم به طور قابل توجهی تحت تأثیر فاجعه قرار گرفته است، به این معنی که مسیرهای رانندگی تیم‌های امداد باید به طور سازگار تنظیم شود. سپس، یک روش مبتنی بر ماشین بردار پشتیبانی (SVM) برای پیش‌بینی توزیع درخواست‌های نجات بالقوه در هر بخش جاده و یک روش اعزام تیم نجات مبتنی بر یادگیری تقویتی (RL) برای دستیابی به اهداف فوق‌الذکر توسعه دادند. آزمایش‌های مبتنی بر ردیابی عملکرد برتر MobiRescue را نسبت به سایر روش‌های مقایسه نشان داده است [۱۴].

و نیز، در سال ۲۰۲۲ Zhaojia Tang و همکاران در پژوهشی برای دستیابی به هدف برنامه‌ریزی و شناسایی مسیر گام کوچک توزیع شده برای ربات پس از زلزله برای بازرسی و ارزیابی خسارت ساختمان، یک روش برنامه‌ریزی مسیر گام کوچک توزیع شده با استفاده از یادگیری

زمان‌بندی به‌دست‌آمده را با نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم DRL بر اساس مدل تک شبکه‌ای و الگوریتم بهینه‌سازی کلنی مورچه‌ها (ACO) مقایسه می‌کند. آزمایش‌های شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دقت راه‌حل را نزدیک به ۱۰ درصد در مقایسه با الگوریتم ACO کاهش می‌دهد، اما نزدیک به ۸۰ درصد در زمان حل صرفه‌جویی می‌کند [۱۸]. در پژوهش‌های بررسی شده هیچ کدام به ایجاد هوش مکانی تیم‌های جستجو و نجات با استفاده از یادگیری تقویتی برای پس از زمین‌لرزه نپرداخته‌اند. همچنین بیشتر به ارائه راهکارهایی برای مسیریابی، مسیرهای جاده‌های، ربات‌ها و داخل ساختمان‌ها در حوادثی مانند سیل و زمین‌لرزه پرداخته‌اند.

تعاریف واژگان کلیدی

هوش مکانی

GeoAI ادغام هوش مصنوعی (AI) با Geospatial Data & Science Technology برای افزایش درک و حل مشکلات مکانی است. GeoAI با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی برای حل مشکلات مکانی از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی طراحی می‌شود و شامل روش‌هایی برای تشخیص الگوها، انجام پیش‌بینی، پیش‌بینی مکانی-زمانی و غیره است. هوش مصنوعی علمی است که هدف آن ایجاد هوش به صورت مصنوعی برای غیرجاندار است، این هوش می‌تواند از انسان یا جانداران دیگر و محیط طبیعی الهام گرفته شده باشد. در واقع هوش مصنوعی مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های محاسباتی برای اجرای وظایف خاص یا تصمیم‌گیری با تقلید از هوش جانداران است که با برنامه‌نویسی به زبان رایانه، طراحی و ایجاد می‌شود. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند با رویکردهای مختلفی طراحی شده و ماشین‌ها را قادر سازند تا رفتار هوشمندانه‌ای از خود نشان دهند.

برخلاف الگوریتم‌های سنتی که از مجموعه‌ای از قوانین از پیش تعیین‌شده پیروی می‌کنند، الگوریتم‌های هوش مصنوعی توانایی یادگیری و انطباق از داده‌ها را دارند و می‌توانند عملکرد خود را در طول زمان بهبود بخشند. این الگوریتم‌ها نیروی محرکه بسیاری از کاربردهای هوش مصنوعی از جمله سامانه‌های مدیریت و تصمیم‌گیری و بسیاری از موارد دیگر هستند. الگوریتم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی از تکنیک‌هایی مانند یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و شبکه‌های عصبی برای مدیریت داده‌های پیچیده و بدون ساختار و ارائه خروجی‌های احتمالی استفاده می‌کنند [۱۹]. به طور کلی الگوریتم‌های هوش مصنوعی را در سه نوع الگوریتم‌های یادگیری نظارت شده یا نظارتی، الگوریتم‌های یادگیری بدون نظارت و الگوریتم‌های تقویتی تقسیم‌بندی می‌کنند که تحت عنوان کلی یادگیری ماشین نیز قلمداد می‌شوند [۲۰] و شامل انواع الگوریتم‌های جستجو، بهینه‌سازی یا بهینه‌یابی، الگوریتم‌های فرا ابتکاری و الگوریتم‌های جستجوی محلی در هوش مصنوعی نیز می‌شوند.

تقویتی اصلاح شده (MRL) پیشنهاد شده است. فاصله محدود و ۱۲ جهت برای حرکت ربات به صورت شبکه‌ای اصلاح شده است. گام متحرک کوچک تضمین می‌کند که برنامه‌ریزی مسیر در یک منطقه امن همسایه بهینه است. MRL جهت را به روز می‌کند و مسیر را برای جلوگیری از اختلالات ناشناخته تنظیم می‌کند. پس از یافتن بهترین زاویه بازرسی، دوربین روی ربات می‌تواند تصویر را به وضوح ثبت کند و در نتیجه قابلیت تشخیص را بهبود بخشد [۱۵].

همچنین، با توجه به اینکه سیل شهری یک بلای طبیعی مخرب و پرهزینه است که به برنامه ریزی مسیر نجات موثر برای کاهش تلفات جانی و مالی نیاز دارد. عدم قطعیت و پیچیدگی ذاتی خطرات مرتبط با سیل شهری، توانایی برنامه ریزی مسیرهای نجات بهینه را که هم به موقع بودن و هم ایمنی را در اولویت قرار می‌دهد، محدود می‌کند. در پژوهشی Xiaoyan Li و همکاران سال ۲۰۲۳ یک روش ارزیابی نوآورانه برای مقادیر ریسک خروجی و احتمال نشان‌دهنده ایمنی و به موقع بودن در هر منطقه قابل عبور در حالی که سناریوهای سیل در دنیای واقعی را شبیه‌سازی می‌کند، ارائه دادند. علاوه بر این، این مقاله یک الگوریتم برنامه‌ریزی مسیر پیشگام را بر اساس یادگیری تقویتی عمیق توسعه داده است، که بهره‌برداری از پاداش تصادفی بهبود یافته و مکانیسم‌های کاوش پاداش نااهنگ را برای عملکرد در یک سناریوی برنامه‌ریزی مسیر نجات با عدم قطعیت و پیچیدگی ترکیب کرده است. با توجه به یافته‌ها، الگوریتم پیشنهادی در همگرایی به مسیر بهینه، نمونه‌برداری کامل و راندمان اجرا بهتر عمل کرده است [۱۶].

در سال ۲۰۲۴ Juil Jeon و همکاران در مطالعه‌ای نقاط قوت و ضعف انواع مختلف داده‌های سیگنال بی سیم را تجزیه و تحلیل کردند و یک روش مبتنی بر یادگیری عمیق جدید را برای تخمین مکان پیشنهاد کرده‌اند که به طور جامع این منابع داده را یکپارچه می‌کند. هسته اصلی این پژوهش معرفی یک تکنیک تبدیل "تصویر نقشه تطبیقی" است که به طور موثر سیگنال‌های LTE، WiFi و BLE را ادغام کند. این تصاویر نقشه تطبیقی تولید شده برای یک مدل یادگیری عمیق اعمال شده و تخمین موقعیت مکانی بسیار دقیق و پایدار را حتی در موقعیت‌های نجات اضطراری چالش برانگیز ممکن می‌سازد. در آزمایش‌های دنیای واقعی، با استفاده از داده‌های چند منبع، به نرخ موفقیت موقعیت‌یابی ۸۵،۲۷ درصدی دست یافته است که با استانداردهای FCC E911 ایالات متحده برای دقت و قابلیت اطمینان مکان در شرایط و محیط‌های مختلف مطابقت دارد. این باعث می‌شود رویکرد پیشنهادی به‌ویژه برای کاربردهای اضطراری مناسب باشد، جایی که هم دقت و هم سرعت بسیار مهم هستند [۱۷].

در سال ۲۰۲۵ در پژوهشی Jin Zhang و همکاران از یادگیری تقویت عمیق (DRL) برای رسیدگی به مشکل مسیریابی پویا در تدارکات اضطراری استفاده کردند. این روش از چارچوب کنشگر-انتقادی، همراه با مکانیسم‌های توجه، شبکه‌های اشاره‌گر و شبکه‌های عصبی حافظه کوتاه‌مدت برای تعیین مسیر موثر امداد بلافاصله استفاده می‌کند، و طرح

ماشین دارد، بخشی از یادگیری تقویتی شبیه یادگیری تحت نظارت است که توسعه‌دهندگان باید اهداف مشخصی را به الگوریتم‌ها بدهند و توابع پاداش و مجازات را تعریف کنند. اما در یادگیری تقویتی زمانی که این پارامترها تنظیم شوند، الگوریتم به تنهایی عمل می‌کند که این مورد شبیه یادگیری بدون نظارت عمل می‌کند. همین موضوع باعث می‌شود گاهی از الگوریتم‌های RL به‌عنوان شاخه‌ای از یادگیری نیمه نظارتی یاد شود [۲۵]. یادگیری تقویتی به طور کلی اجزایی دارد که از آن به عنوان اجزای اصلی یادگیری تقویتی یاد می‌شود که در ادامه به آن نیز اشاره می‌شود [۲۶]:

اجزای اصلی یادگیری تقویتی

عامل: موجودی که با محیط در تعامل است و از آن می‌آموزد. اقدامات عامل بر وضعیت محیط تأثیر می‌گذارد و بازخوردی را در قالب پاداش یا مجازات دریافت می‌کند.

محیط: سیستم یا دنیای بیرونی که عامل در آن فعالیت می‌کند. بر اساس اقدامات عامل بازخوردی را به او ارائه می‌دهد و عامل بر این اساس وضعیت خود را تغییر می‌دهد.

حالت: وضعیت فعلی یا نمایش محیط در یک زمان معین. اطلاعات مرتبطی را که عامل برای تصمیم‌گیری به آن نیاز دارد، بیان می‌کند. اقدام: انتخاب‌هایی که در یک زمان خاص در اختیار عامل قرار می‌گیرد. اقدامات بر وضعیت محیط و پاداش‌های بعدی تأثیر می‌گذارد. پاداش: بازخورد یا سیگنال ارزیابی عامل بر اساس اقدامات آن. هدف عامل این است که پاداش تجمعی را به حداکثر برساند.

نجات در زمین‌لرزه

جستجو و نجات به عنوان بخش عمده مقابله با بحران و حوادث شامل جستجو افراد حادثه دیده، نجات از آوار، ارائه کمک‌های اولیه به مجروحین، تغذیه، انتقال آنها تا نزدیکترین مراکز درمانی، تأمین سرپناه و اسکان اضطراری، تخلیه شهروندان از محل حادثه، تأمین امکانات اولیه زندگی و دریافت و توزیع کمک‌های مردمی و سازمان‌های غیر دولتی داخلی، خارجی و بین‌المللی است [۱] و بلافاصله بعد از بروز سانحه انجام می‌شود و شامل رفع نیازهای اولیه اسکان، آب، غذا و درمان اضطراری است. برخی مراجع این مرحله را به دو بخش تقسیم می‌کنند [۲۷]:

- دوره اضطرار: جستجو و نجات و درمان اضطراری که حدود ۷۲ ساعت اول بعد از وقوع سانحه است.
- دوره امداد: اسکان، آب، غذا

عملیات جستجو و نجات به ترتیب شامل مراحل جستجو، دسترسی، رهاسازی و تثبیت و در نهایت انتقال می‌باشد. هر کدام از این مراحل معیارهایی برای اجرا دارند که باید جهت دقت در اجرای بهتر امدادسانی مد نظر قرار گیرد. در ادامه معیارهای مذکور بیان می‌گردد [۲]:

بخش هوش مصنوعی پژوهش حاضر در بخش الگوریتم‌های تقویتی ماشین لرنینگ هوش مصنوعی وارد می‌شود بنابراین در ادامه به توضیح بیشتر این بخش پرداخته می‌شود. به طور کلی یادگیری تقویتی تکنیکی در یادگیری ماشین است که در آن عامل کامپیوتری یاد می‌گیرد که یک کار را از طریق تعاملات تکراری و توسط آزمون و خطا با محیط انجام دهد. چیزی که این رویکرد را مهم می‌سازد این است که به یک عامل قدرت می‌دهد تا از طریق یک سیستم بازخورد که معمولاً شامل پاداش و مجازات است یاد بگیرد در پیچیدگی‌های محیطی که برای آن ایجاد شده است اقدامات صحیحی انجام دهد و رفتارهایش را بهینه کند [۲۱]. چندین روش تصمیم‌گیری در یادگیری تقویتی وجود دارد که تفاوت آن‌ها عمدتاً به دلیل استراتژی‌های مختلفی است که برای کشف محیط خود استفاده می‌کنند. از پرکاربردترین رویکردهای تصمیم‌گیری در یادگیری تقویتی روش‌های ارزش محور، سیاست محور و مدل محور است [۲۲]. در هر یک از روش‌ها می‌توان از الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم‌های بهینه‌سازی بهره برد و به بهبود فرآیند تصمیم‌گیری در یادگیری تقویتی دست یافت.

انواع رویکردهای یادگیری تقویتی

هدف انواع رویکردهای یادگیری تقویتی به حداکثر رساندن پاداش در طول زمان است.

○ ارزش محور

در این روش، تمرکز بر یادگیری تابع هدف و رسیدن به مقدار بهینه است. تابع هدف، ارزش پاداش‌های تجمعی مورد انتظار را برای قرار گرفتن در یک وضعیت معین با پیروی از سیاست مسئله را تخمین می‌زند.

○ سیاست محور

روش‌های یادگیری تقویتی سیاست محور به‌طور مستقیم خط مشی مدل را بهینه می‌کنند؛ درحالی‌که تکنیک‌های مبتنی بر ارزش به دنبال یافتن تابع ارزش بهینه هستند که به نوبه خود بهترین خط مشی را هم ارائه خواهد داد.

○ مدل محور

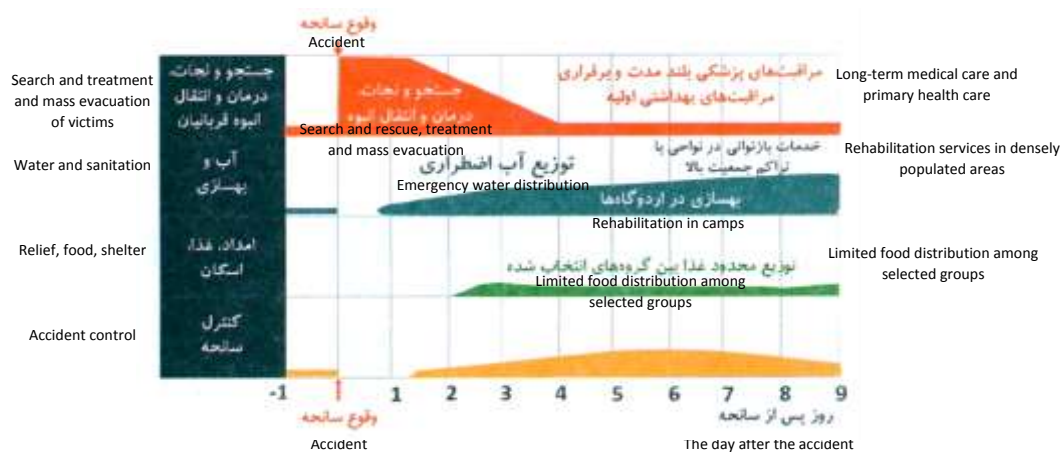
در یادگیری تقویتی مدل محور عامل بدون آگاهی و تصادفی به محیط واکنش نشان نمی‌دهد، با ایجاد نسخه کوچکی از خود تلاش دارد رویدادهای آینده را پیش‌بینی کند. این مدل حرکات مختلف را امتحان می‌کند تا ببیند در آینده چه اتفاقی می‌افتد. در این شیوه، عامل می‌تواند سناریوهایی را در مدل خود اجرا کند، بدون آن‌که نتیجه منفی بگیرد (مانند عملکرد الگوریتم‌های هوش جمعی بهینه‌سازی) [۲۲، ۲۳].

به طور کلی یادگیری تقویتی تکنیکی در یادگیری ماشین و توسعه هوش مصنوعی است که در آن عامل با انجام اقداماتی در محیط و دریافت پاداش (بازخورد مثبت) یا جریمه (بازخورد منفی) اعمال خود را با هدف به حداکثر رساندن پاداش و در واقع بهینه نمودن عملکرد یاد می‌گیرد انجام دهد [۲۴]. یادگیری تقویتی شباهت‌هایی نیز با انواع دیگر یادگیری



شکل ۱: تغییر اولویت‌ها در سوانح [۲۷]

Fig. 1: Changing priorities in disasters [27]



شکل ۲: تغییر نیازها و اولویت‌ها به دنبال زلزله [۲۷]

Fig. 2: Changing needs and priorities following the earthquake [27]

این‌گونه مصدومان کسانی هستند که هنگام رویداد، در داخل ساختمان بوده‌اند و کسانی که شخصاً خود را بیرون کشیده‌اند.

○ سرپرستی منطقه آسیب دیده گزارش خواهد داد که رسیدگی به این مصدومان صورت گرفته است.

○ فرمانده می‌بایست ترتیبی اتخاذ نماید که با بررسی کلیه نقاط محل مأموریت، اطمینان حاصل شود که مصدومان سطحی مورد رسیدگی قرار گرفته‌اند.

○ مرحله دوم: نجات فوری و کاوش در ساختمان‌هایی با آسیب کم

○ نجات اشخاصی که به طور سطحی به دام افتاده‌اند و آوار زیادی بر روی آنها قرار ندارد.

○ کاوش ساختمان‌ها برای حصول از این‌که اشخاص به‌دام افتاده بدون رسیدگی در آن مکان‌ها باقی نمانده باشند. برای نجات به‌دام افتادگان باید یک آزمایش سریع و دقیق از ساختمان‌های آسیب دیده به عمل آید تا بهترین و مؤثرترین را دسترسی به به‌دام افتادگان مشخص شود.

○ معیارهای جستجو: (۱) کسب اطلاعات (از افراد مطلع محلی)، (۲) دریافت عکس‌العمل‌های زیر آوار، (۳) ایجاد صدا به وسیله اجسام و وسایل منتقل کننده صدا، (۴) رؤیت سوزده (هدف جستجو)

○ معیارهای دسترسی: (۱) سریع‌ترین روش، (۲) ایمن‌ترین مسیر، (۳) کوتاه‌ترین مسافت

○ معیارهای کمک: (۱) زنده ماندن و زنده نگه‌داشتن، (۲) آسیب دیدن کمتر، (۳) تقویت توان روحی‌روانی

○ معیارهای رهاسازی و تثبیت: (۱) حداقل زمان، (۲) حداقل تجهیزات، (۳) حداقل نیروی انسانی، (۴) تثبیت وضعیت مصدوم

○ معیارهای انتقال: (۱) سرعت در انتقال، (۲) جلوگیری از وخامت حال مصدوم، (۳) با وسائل ابتدایی و قابل دسترسی، (۴) مناسب‌ترین و ایمن‌ترین روش حمل

می‌توان عملیات نجات را در مراحل زیر خلاصه نمود [۲۸]:

○ مرحله اول: رسیدگی به مصدومان سطحی

$r = 1/Distance$ معکوس طول مسیر پیموده‌شده توسط نجاتگر است. هر چه فاصله کوتاه‌تر باشد، مقدار پاداش بیشتر می‌شود [۱۹، ۲۱].

دیاگرام نحوه انجام تحقیق

پژوهش حاضر به صورت خلاصه مطابق دیاگرام زیر (شکل ۳) پیش رفته است.

پیاده‌سازی

یافته‌ها

با توجه به ماهیت فعالیت‌های گروه‌های جستجو و نجات و عدم امکان قرارگیری محققان در شرایط واقعی پس از زلزله، 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 مدنظر قرار گرفته است. شبیه‌سازی رخداد زمین‌لرزه برای بدست آوردن برآورد تقریبی از خسارات سازه‌ای و انسانی در یک قسمت کوچک از شهر تهران انجام شد. در این برآوردها، برای منطقه مطالعاتی یک سناریو دلخواه تعریف شد و با شبیه‌سازی و پیاده‌سازی آن سناریو میزان خسارات سازه‌ای و انسانی در منطقه مطالعاتی محاسبه شده است.

سناریوی انتخاب شده جهت شبیه‌سازی زلزله در این پژوهش بزرگای گشتاوری ۶ را دارا می‌باشد و در آن از داده‌های شتاب‌نگاری منطقه‌ای مورد مطالعه استفاده شد و همچنین در کنار آن اطلاعات ساختمان‌های همان منطقه نظیر تعداد طبقات، سال ساخت و نوع سازه و نیز اطلاعات جمعیتی منطقه مورد مطالعه و مکان قرارگیری افراد مدنظر قرار گرفت. در ادامه فعالیت‌های مورد نیاز و اطلاعات توصیفی آن‌ها جهت تخصیص وظایف طبق الگوریتم پیشنهادی، تعیین شده است. بدیهی است که فعالیت‌ها دارای اولویت‌ها و اهمیت‌های مختلفی هستند.

فعالیت‌های بررسی شده شامل تجسس و زنده‌یابی، ارزیابی اولیه منطقه، آواربرداری سبک، آواربرداری سنگین، ثبت تعداد فوتی‌ها و مشخصات آنها، کمک‌های اولیه، قطع آب و برق و گاز، نشانه‌گذاری، شمعک‌زنی (امن‌سازی منطقه)، هوارسانی در آوار، بازسازی شبکه‌ی راه‌ها [۳۰]، که با توجه به مطالعات انجام شده و فرضیات مدنظر الگوریتم پیشنهادی، برخی از این فعالیت‌ها مانند آواربرداری سنگین و ثبت تعداد و مشخصات فوتی‌ها در مرحله ابتدایی تخصیص افراد تیم‌های جستجو و نجات به فعالیت‌ها قرار ندارد و ارزیابی اولیه منطقه انجام شده فرض می‌گردد. در این پژوهش برای بررسی مدل ارائه شده ۴۸ امدادرسان مدنظر قرارگرفتند و در نزدیکترین مرکز مدیریت بحران منطقه مطالعاتی مستقر گشتند. شکل ۲ محدوده مطالعاتی و شکل ۳ موقعیت اولیه نجاتگران را نسبت به محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد.

همیشه می‌بایست خطر آتش‌سوزی و مسمومیت از گاز را که در نتیجه واژگونی اجاق‌ها یا شکستن بخاری‌ها و ... ممکن است پیش آید را در نظر داشت.

○ مرحله سوم: اکتشاف عمیق‌تر و جابه‌جایی محدود آوارها

چنانچه محل مصدومان پیدا شد، نجات آنها مستلزم جابه‌جا کردن آوار در محل‌های انتخاب شده است. انتخاب محل برای جابه‌جا کردن آوار به عوامل زیر بستگی دارد:

○ محل مصدومان

○ اطلاعاتی که با توجه به نقشه ساختمان به دست می‌آید.

○ بررسی دقیق وضع خرابی ساختمان‌ها که شامل موارد زیر می‌شود:

- پاک کردن آوار، تا زمانیکه مصدومان شناسایی شده و از زیر آوار بیرون کشیده شوند.

- ایجاد یک راه گریه‌رو و اتصال حفره‌ها به یکدیگر

روش‌شناسی

با بررسی‌های انجام شده، مشخص شد پارامترهایی به نام مدت زمان زنده ماندن در زیر آوار، مدت زمان، فاصله افراد تا مکان فعالیت‌ها، سرعت افراد هنگام حرکت به سمت هدف، و نیز احتمال موفقیت یک امدادرسان در انجام وظیفه محوله بسیار اهمیت دارد [۲۹]. در نهایت تابعی متشکل از آنها برای استفاده از یادگیری تقویتی (رابطه ۳) ایجاد شد که یک رابطه غیرخطی پیوسته می‌باشد. در این پژوهش ب استفاده از یادگیری تقویتی در مسئله‌ای مکانی تحت عنوان راهکاری هوشمند مکانی به تخصیص بهینه افراد به فعالیت‌ها منجر می‌شود.

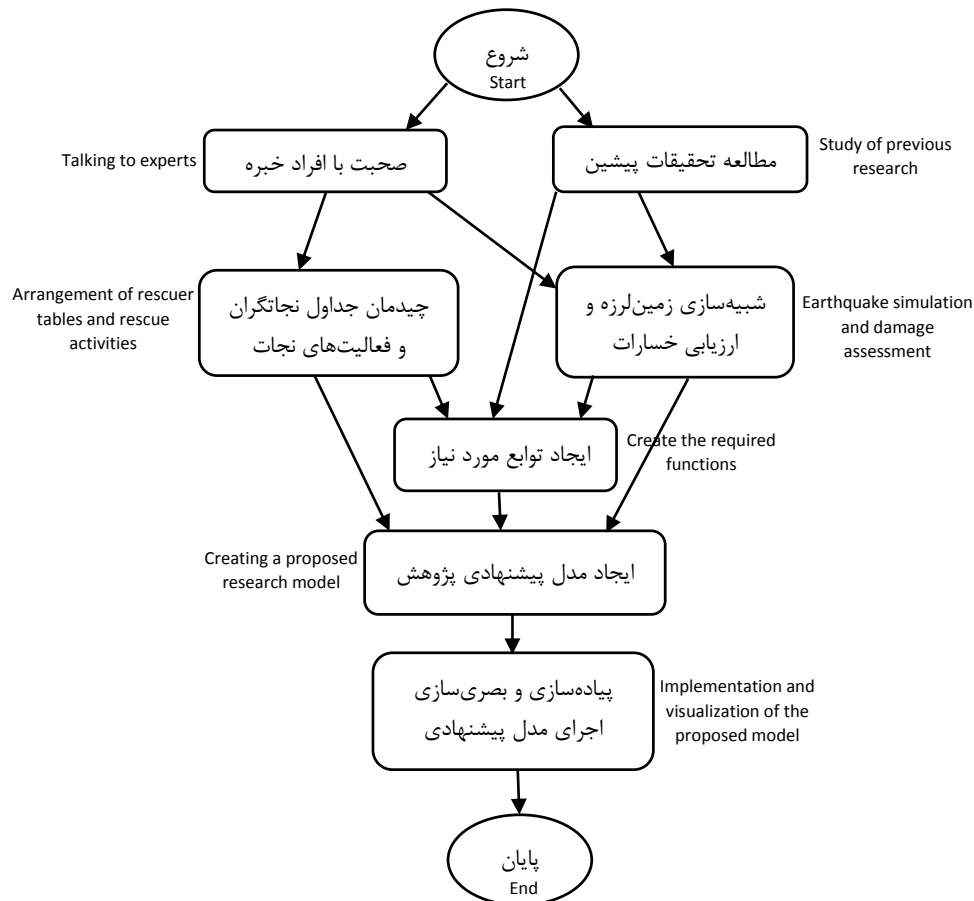
$$F = 1 / \left(\frac{MaxInjured_i}{MaxInjured} * (1 - e^{1/Area * T * Distance}) \right) \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه بالا $(MaxInjured_i / MaxInjured)$ عداد مجروحان هر سازه مسونی به کل مجروحان محدوده مطالعاتی است. $Area$ مساحت هر واحد مسکونی که در این پژوهش همان مساحت ناحیه‌ای که فعالیت در آن قرار دارد می‌باشد. $Distance$ فاصله نجاتگر تا محل فعالیت و T هم مدت زمان انجام فعالیت می‌باشد. اگر امدادگری به منطقه‌ای که تخمین زده می‌شود ۲ نفر زیر آوار هستند اعزام شود، مدت زمان انجام فعالیت‌ها در عدد ۲ ضرب خواهد شد. در مدل پیشنهادی این پژوهش تابع ارزش فوق (رابطه ۱) با استفاده از تابع زیر (رابطه ۲) به صورت تقویتی به تخصیص بهینه دست می‌یابد [۱۹، ۲۰].

$$F = F_{i-1} + \alpha[r + \gamma * maxF_i - F_{i-1}] \quad \text{رابطه ۲}$$

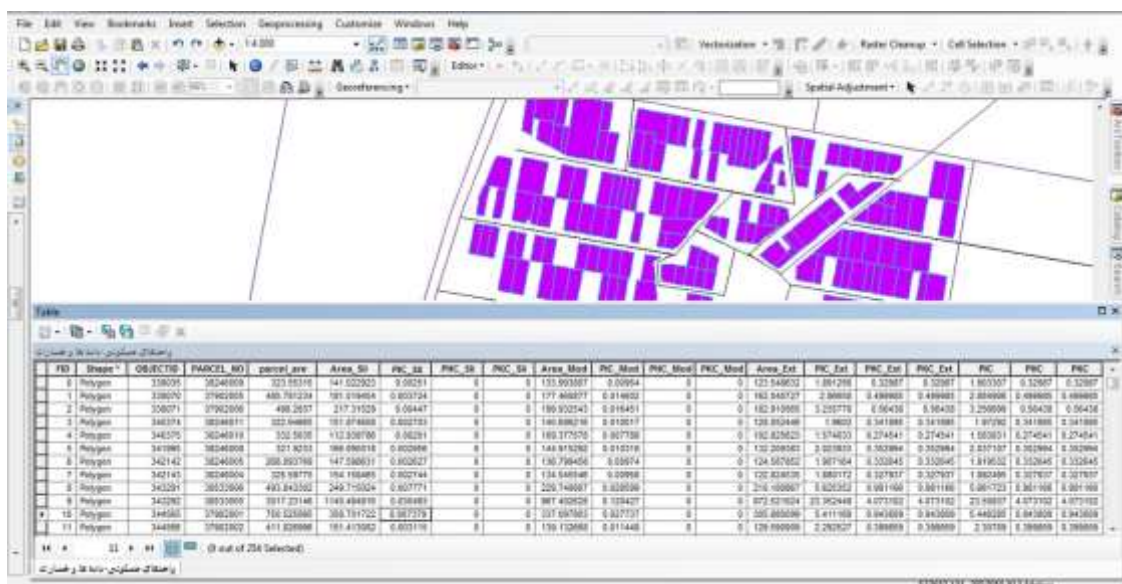
$$r = 1/Distance \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه بالا (رابطه ۲) α نرخ یادگیری و r پاداش دریافت‌شده، γ ضریب کاهش ارزش پاداش آینده و $maxF_i$ بهترین ارزش قابل‌دستیابی در حالت بعدی است. r مقدار پاداش است که به صورت



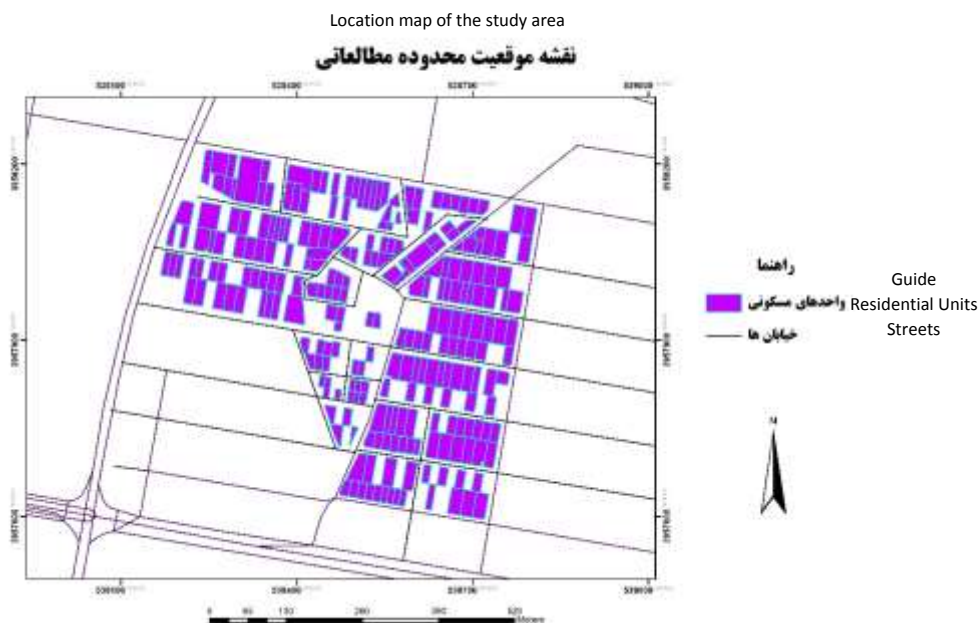
شکل ۳: دیاگرام اجرای پژوهش

Fig. 3: Diagram of the research implementation



شکل ۴: اطلاعات آسیب‌پذیری در محدوده مطالعاتی

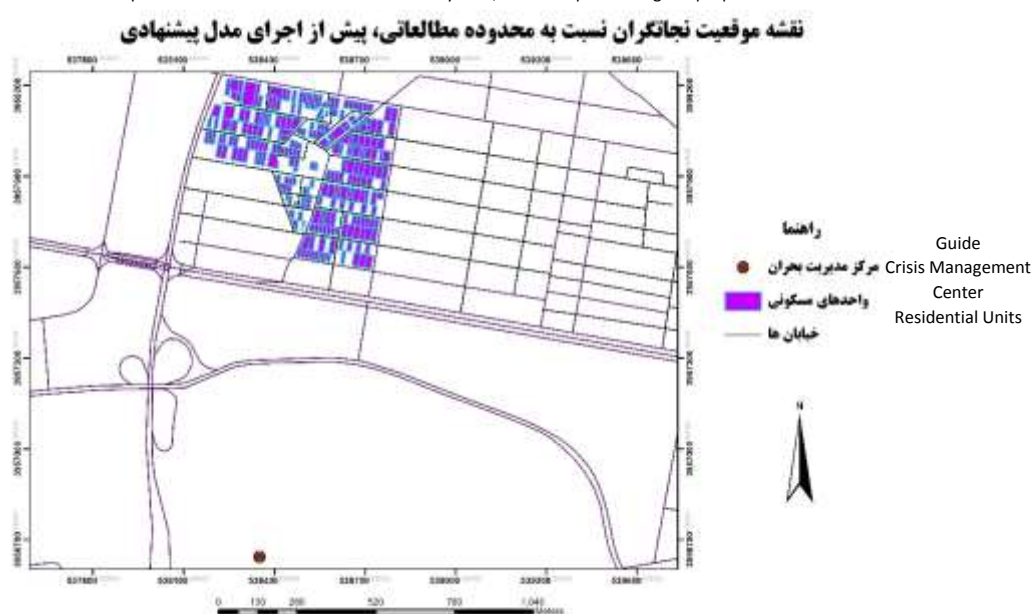
Fig. 4: vulnerability information in the study area



شکل ۵: موقعیت محدوده مطالعاتی

Fig. 5: Location of the study area

Map of rescuers' location relative to the study area, before implementing the proposed model.



شکل ۶: موقعیت نجاتگران پیش از شروع جستجو و نجات نسبت به محدوده مطالعاتی

Fig. 6: Rescuers' location before the start of search and rescue relative to the study area

اثرگذار قابل اندازه‌گیری در نجات پس از زمین‌لرزه در پژوهش حاضر و فرمول‌های ۱، ۲ و ۳ ارزش هر تخصیص و جمع تخصیص‌های انجام شده محاسبه می‌شود و با استفاده از رویکرد یادگیری تقویتی در نهایت به یک چیدمان بهینه برای تخصیص نجاتگران به واحدهای مسکونی و انجام فعالیت ضروری آن واحد مسکونی انجام می‌شود که نتایج حاصله

جدول ۱ اطلاعات فعالیت‌هایی را که هر نجاتگر می‌تواند در زمین‌لرزه فرضی شبیه‌سازی شده‌ی این پژوهش انجام دهد را برای نجاتگر شماره ۱۰ از میان ۴۸ نجاتگر نشان می‌دهد. مدل پیشنهادی این پژوهش به این گونه عمل می‌کند که ابتدا برای هر نجاتگر یکی از فعالیت‌های بیان شده در جدول شماره ۱ در نظر گرفته می‌شود و بر اساس پارامترهای

محل‌های مشخص شده اعزام شده اند. همچنین نقاط سرخابی‌رنگ نجاتگرانی هستند که به فعالیت قطع آب و برق و گاز در واحدهای مسکونی تخصیص یافته به خود پرداخته اند. افراد به فعالیت‌های اولویت‌دار ابتدا تخصیص یافته و مکان‌های مسکونی‌ای که میزان خسارت بیشتر دارند در اولویت امداد رسانی هستند. در شکل زیر یک مورد از بین تخصیص‌های انجام شده با جزئیات بیشتر نمایش داده شده است که نشان می‌دهد نجاتگر شماره ۴ به فعالیت نشانه‌گذاری در محل مسکونی شماره ۲۰ از ۲۵۴ واحد مسکونی تخصیص یافته است.

در بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی نیز، اثر مثبت روش انتخابی در نتایج حاصله از اجرای الگوریتم پیشنهادی نمایان شد. در نهایت بهبود ۲/۶۴۲ برابری نتایج، نسبت به حالتی که از این الگوریتم استفاده نشود، حاصل شد. در جدول زیر محاسبه تابع ارزش در دو حالت اجرای الگوریتم پیشنهادی و اجرا نشدن آن، قرار داده شده است. ارزش محاسبه شده برای تخصیص صورت پذیرفته در حالت استفاده از هوش مکانی یادگیری تقویتی پیشنهادی پژوهش حاضر بهبود در نجات پس از زمین-لرزه برای کل تیم نجات نشان می‌دهد.

به صورت نقشه‌های مصور و جدول اطلاعاتی در ادامه مقاله بیان و نمایش داده می‌شود.

در این پیاده‌سازی جداول اطلاعاتی وارد الگوریتم یادگیری تقویتی ارائه شده در بخش روش شناسی شده و با نرخ یادگیری (α) ۰٫۱ و ضریب کاهش یا تعدیل (γ) ۰٫۹۵ که طبق مطالعات انجام شده مقادیر مناسبی جهت پژوهش حاضر که سعی شده پیچیدگی و حجم داده‌ها در سطح متوسط باشد و مسئله تقریباً غیر اپیزودیک می‌باشد [۳۱، ۱۹]، است و همگرایی مطلوبی را ایجاد می‌کند. در ادامه نقشه‌های ایجاد شده از محاسبات تخصیص هوش مکانی پژوهش حاضر نمایش داده می‌شود. در محدوده مطالعاتی تصویر بالا، نقاطی که به رنگ آبی هستند مربوط به نجاتگرانی است که مشغول به فعالیت نشانه‌گذاری شده اند و این فعالیت در این واحدهای مسکونی به آن‌ها تخصیص یافته است. نقاط به رنگ صورتی نجاتگرانی هستند که مشغول کمک‌های اولیه در واحدهای مسکونی تخصیص یافته هستند. نقاط بنفش رنگ نجاتگرانی هستند که آواربرداری در واحدهای مسکونی اختصاص یافته به خود را انجام می‌دهند. نقاط سبز نجاتگرانی هستند که برای جستجو و زنده‌یابی به

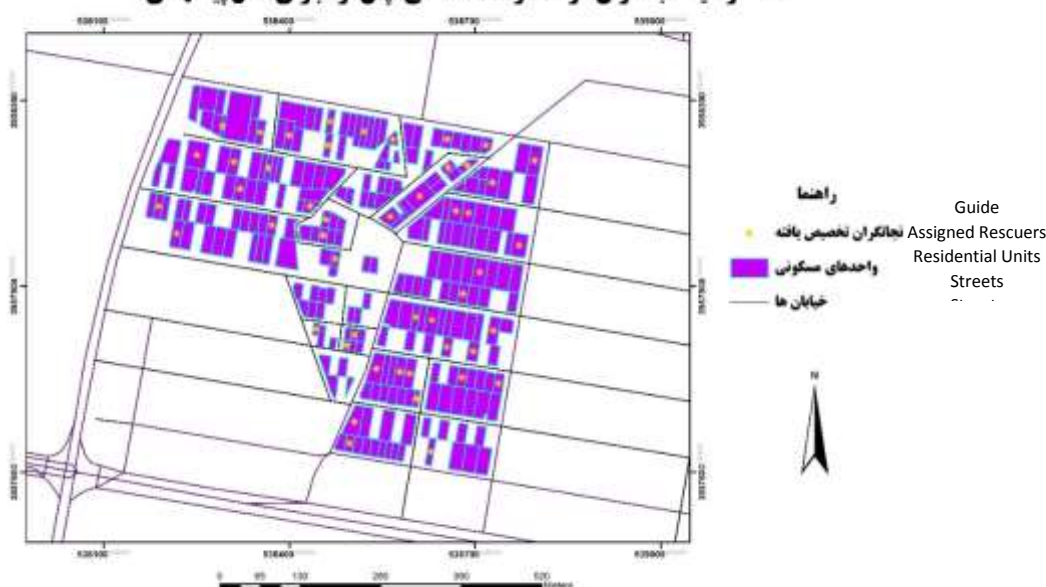
جدول ۱: جدول اطلاعات نجاتگر

Table 1: Table of Rescue Information

نام نجاتگر The name of the savior	فعالیت ۱ Activity 1	فعالیت ۲ Activity 2	فعالیت ۳ Activity 3	فعالیت ۴ Activity 4	فعالیت ۵ Activity 5
نجاتگر ۱۰ Savior 10	نشانه‌گذاری Markup	قطع آب، برق، گاز Water, electricity, gas outages	آوار برداری Debris removal	جستجو و زنده‌یابی Search and survival	کمک‌های اولیه First aid

Map of rescuers' location in the study area, after implementing the proposed model.

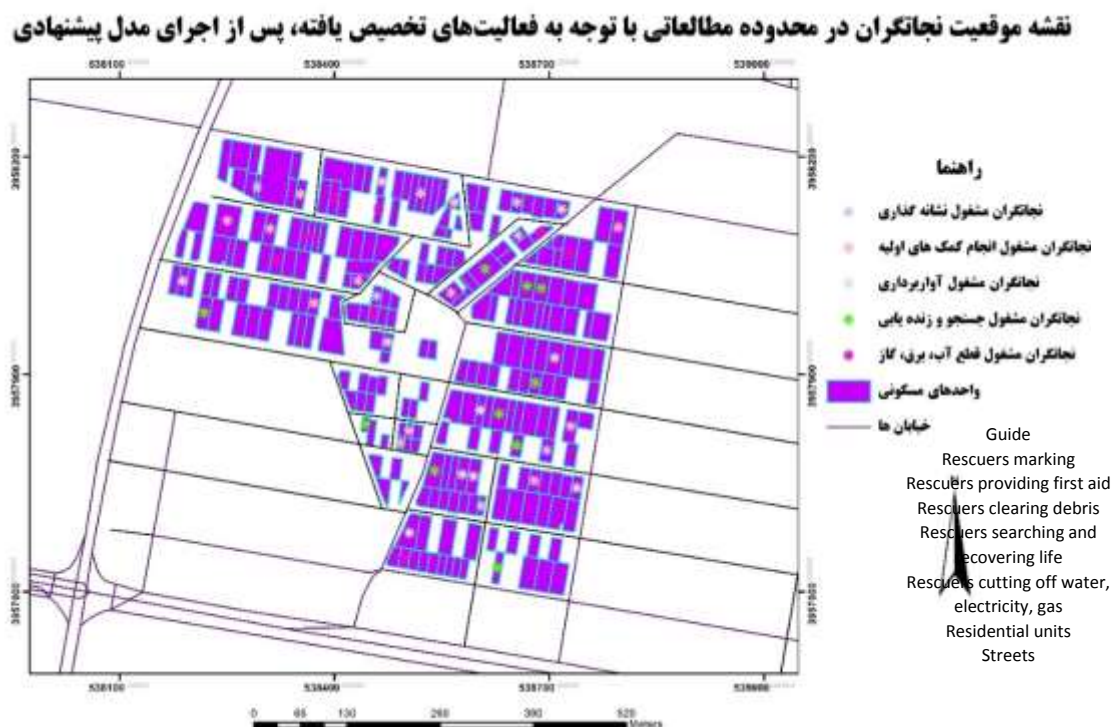
نقشه موقعیت نجاتگران در محدوده مطالعاتی، پس از اجرای مدل پیشنهادی



شکل ۷: تخصیص انجام شده با استفاده از هوش مکانی در زمین‌لرزه فرضی شبیه‌سازی شده

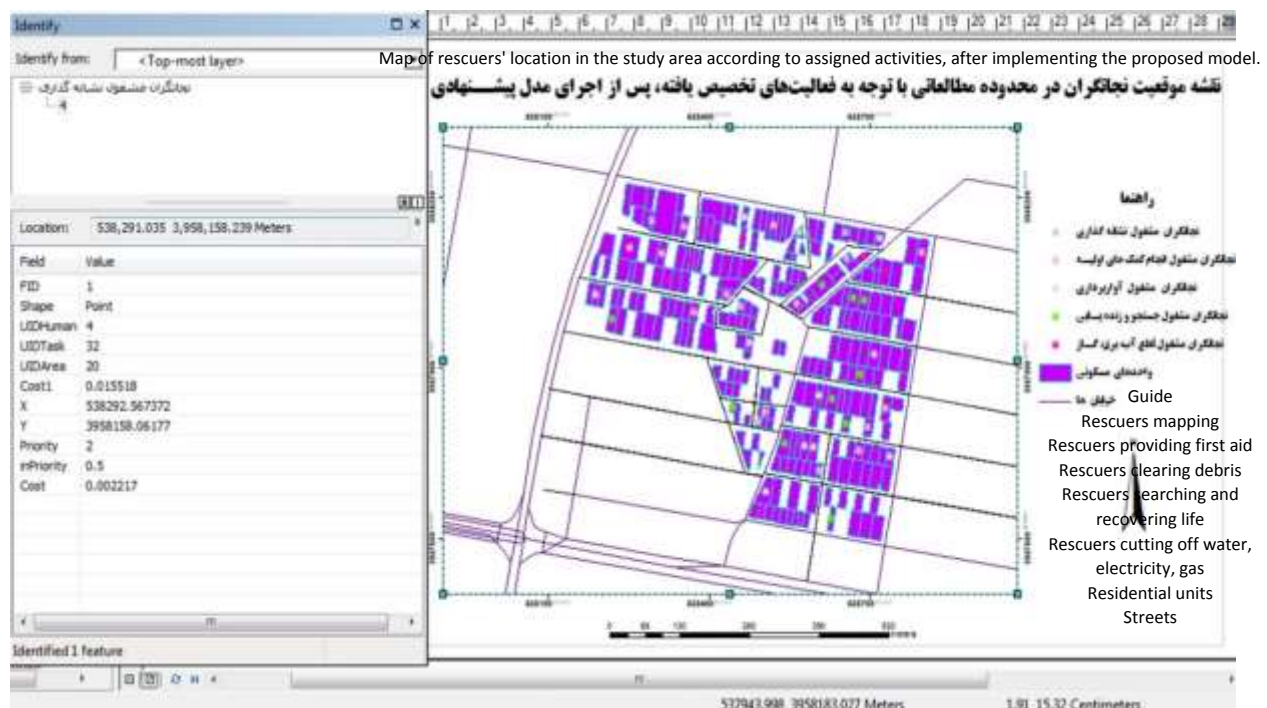
Fig. 7: Allocated using Geo-AI in a simulated earthquake

Map of rescuers' location in the study area according to assigned activities, after implementing the proposed model.



شکل ۸: تخصیص انجام شده تیم‌های جستجو و نجات به همراه فعالیت‌های اختصاص یافته با هوش مکانی

Fig. 8: Allocation of search and rescue teams with assigned activities using Geo-AI



شکل ۹: اطلاعات توصیفی تخصیص انجام شده برای یکی از نجاتگران

Fig. 9: Descriptive information of allocated for one of the rescuers

جدول ۲: مقایسه نتایج اجرای مدل پیشنهادی و اعتبارسنجی آن

Table 2: Comparison of the results of the proposed method and its validation

ارزش محاسبه شده برای تیم نجات Calculated value for the rescue team	مدل استفاده شده Model used
۱/۶۲۸۶۵۰۹ 1.6286509	استفاده از روابط و جميع پارامترها و اولویت‌بندی‌ها بدون استفاده از الگوریتم پیشنهادی و به صورت تصادفی Using relationships and all parameters and prioritizations without using the proposed algorithm and randomly
۴/۳۰۲۸۴۵۶ 4.3028456	استفاده از روابط و جميع پارامترها و اولویت‌بندی‌ها با استفاده از الگوریتم پیشنهادی Using relationships and all parameters and prioritizations using the proposed algorithm

نتیجه‌گیری

هوش مکانی راهکاری نوین در مسائل مکانی می‌باشد که با بهره‌گیری مناسب از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می‌توان به بهبود حل مسائل مکانی پرداخت و به آن‌ها سرعت بخشید در حالیکه دقت مناسبی هم حفظ شود. در پژوهش حاضر که پیرامون انجام جستجو و نجات پس از رخداد زمین‌لرزه می‌باشد، پارامترهای مهم توسط مطالعه تحقیقات پیشین و صحبت با افراد خبره، شناسایی و ارزیابی شد. ابتدا یک زمین‌لرزه شبیه‌سازی شده و از نتایج آن که ارزیابی خسارات سازه‌ای و انسانی ۲۵۴ واحد مسکونی در بخشی از شهر تهران بوده است، به عنوان پارامترهای کلیدی برای تخصیص فعالیت‌های جستجو و نجات برای نجاتگران استفاده می‌شود. انواع فعالیت‌ها، نکات مهم در جستجو و نجات در آوار و زمین‌لرزه، مورد بررسی و اولویت‌بندی و مقداردهی قرار گرفت.

در ادامه با استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به ایجاد هوشی مکانی برای بهبود عملکرد جستجو و نجات پس از زمین‌لرزه پرداخته شد. در نهایت با تبیین روابط ریاضی متشکل از پارامترهای پژوهش حاضر و یادگیری تقویتی مدلی برای جستجو و نجات در زمین‌لرزه آماده و پیاده‌سازی شد. نقشه‌ها و فیلدهای تخصیص یافته نیز نمایش و توضیح داده شد و جهت ارزیابی مدل پیشنهادی همانطور که در قسمت یافته‌ها در جدول شماره ۲ بیان شد اجرای الگوریتم پیشنهادی با حالت تصادفی و دون استفاده از مدل پیشنهادی مقایسه شد و مشخص شد مدل پیشنهادی این پژوهش موجب بهبود ۲/۶۴ برابری نتایج حاصله از تخصیص نجاتگران نسبت به حالتی است که از این مدل استفاده نشود.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله نویسندگان به سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

[2] Mezyabadi, Shahryar. 2012. Search and rescue in collapsed buildings (rubble removal). Tehran: Nakhli [In Persian].

[3] 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 8 (3), 179-18.

[4] N. Bahrami, M. Argany, N. Neysani Samani, A.R. 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 11 (2), 153-162.

[5] Giwehchi, Saeed et al. 2013. Locating temporary housing after an earthquake using GIS and AHP technique, case study: Region Six of Shiraz. Urban and regional studies and research. Year 5. Issue 17 [In Persian].

[6] Najavan, Mehdi. Babak Omidar. Ismail Salehi. 2013. Locating temporary housing using fuzzy algorithms; Case study: District One of Tehran Municipality. Issue 31 [In Persian].

[7] Elnaz Ali Asl Khiabani Abolghasem Sadeghi Niaraki Mustafa Ghodousi, Routing of relief after an earthquake (Case study: Part of District One of Tehran) Routing of relief after an earthquake (Case study: Part of District One of Tehran), Source: Journal of Rescue and Relief, Volume 9 Winter 2017 (2018) Issue 4 (36) [In Persian].

[8] Tehran City Crisis Prevention and Management Organization, Deputy for Prevention and Risk Reduction. 2008. Rapid Earthquake Damage and Casualty Estimation System in Tehran City [In Persian].

[9] Comprehensive National Rescue and Relief Plan. 2003

[10] Rasekh, A., Vafaeinezhad, A. R. (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 PP. 275-285. Springer

[11] Vafaeinejad, Alireza et al. 2009. A New Method for Modeling and Planning Human Group Activities in Space-Time. Tehran: Amir Kabir, Civil Engineering. Year 41. Number 1.

[12] 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

[1] Hosseini, Maziar. 2008. Crisis Management. Tehran: Shahr Publishing House [In Persian].

[25] Minal Shahakar, S. A. Mahajan, Lalit Patil, 2024, Optimizing System Resources and Adaptive Load Balancing Framework Leveraging ACO and Reinforcement Learning Algorithms, J. Electrical Systems 20-1s (2024): 244 – 256

[26] Cláudio Alves, Israel Mendonç, Vanessa de Almeida Guimarães, Pedro Henrique González, 2024, ACO with Reinforcement Learning applied to Rescues Operations on Urban Forests, 2024 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) | 979-8-3503-0836-5/24/\$31.00  2024 IEEE | DOI: 10.1109/CEC60901.2024.10612050

[27] Izadi, Arman. 2010. A Review of Disaster Management Fundamentals. Tehran: Rescue and Relief Organization.

[28] N Bahrami, M Argany, M Jelokhani Neyaraki, A Vafaeinezhad, Providing a spatial approach in the rescue and relief management after the earthquake, Environmental Management Hazards 6 (2), 117-129.

[29] Vafaeinezhad, A.R. Alesheikh, A.A. Hamrah, M. Reza Nourjou, R. Shad, R. (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. pp 66-78. 2009.

[30] Sharifi Sadeh, Mehrab. 2010. Disaster Assessment. Scientific Quarterly Journal of Rescue and Relief. Year 2. Issue 4 [In Persian].

[31] Watkins, C.J.C.H. and Dayan, P. (1992) Q-Learning. Machine Learning, 8, 279-292. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00992698>

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

ناهید بهرامی دانشجوی دکتری دانشگاه تهران می‌باشد. در رشته مهندسی عمران- نقشه‌برداری و GIS تحصیلات خود را گذرانده است. فعالیت‌های پژوهشی وی در حوزه GIS و هوش مصنوعی و بافت آگاهی در بلایای طبیعی می‌باشد و مقالات داخلی و خارجی در این حوزه ارائه نموده است.

Bahrami, N., Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran.

nd.bahrami@ut.ac.ir



میثم ارگانی دانشیار گروه GIS و سنجش از دور دانشگاه تهران می‌باشد. زمینه تخصصی ایشان بهینه‌سازی و شهرهای هوشمند می‌باشد. در حال حاضر ایشان مقالات علمی بسیاری در مجلات و کنفرانس‌های علمی ارائه نموده‌اند و همچنین در کمیته علمی و داوری مجلات و کنفرانس علمی ملی و بین‌المللی فعالیت دارند.

Environmental Science & Technology. March 2010, Volume 7, Issue 2, pp 243–250.

[13] N Bahrami, M Argany, NN Samani, AR Vafaeinejad, 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.

[14] Li Yan, Shohaib Mahmud, Haiying Shen, Natasha Zhang Foutz and Joshua Anton, 2020, MobiRescue: Reinforcement Learning based Rescue Team Dispatching in a Flooding Disaster, 2020 IEEE 40th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)|978-1-7281-7002-2/20/\$31.00 2020IEEE| DOI: 10.1109/ICDCS47774.2020.00033

[15] Zhaojia Tang, Ping Wang, Yong Wang, Changgeng Wang, Yu Han, 2022. Distributed Small-Step Path Planning and Detection Method for Post-earthquake Robot to Inspect and Evaluate Building Damage. Published in Frontiers in Neurorobotics 15 August 2022, Engineering, Environmental Science.

[16] Xiaoyan Li, Xuedong Liang, Xia Wang, Rong Wang, Lingli Shu, Wentao Xu, 2023, Deep reinforcement learning for optimal rescue path planning in uncertain and complex urban pluvial flood scenarios, Applied Soft Computing 144 (2023) 110543

[17] Juil Jeon, Myungin Ji, Jungho Lee, Kyeong-Soo Han and Youngsu Cho, 2024, Deep Learning-Based Emergency Rescue Positioning Technology Using Matching-Map Images, Remote Sens. 2024, 16, 4014. <https://doi.org/10.3390/rs16214014>

[18] Jin Zhang, Hao Xu, Ding Liu and Qi Yu, 2025, Advancing Dynamic Emergency Route Optimization with a Composite Network Deep Reinforcement Learning Model, Systems 2025, 13, 127. <https://doi.org/10.3390/systems13020127>

[19] Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement Learning: An Introduction (2nd ed.). MIT Press. [ISBN: 978-0262039246].

[20] Arulkumaran, K., Deisenroth, M. P., Brundage, M., & Bharath, A. A. (2017). A Brief Survey of Deep Reinforcement Learning. IEEE Signal Processing Magazine. DOI: 10.1109/MSP.2017.2743240

[21] Schulman, J., et al. (2017). Proximal Policy Optimization Algorithms. arXiv preprint arXiv:1707.06347.

[22] Mnih, V., et al. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. Nature. DOI: 10.1038/nature14236

[23] Lillicrap, T. P., et al. (2015). Continuous control with deep reinforcement learning. arXiv:1509.02971.

[24] Jalumuru Nalini, P. M. Khilar, 2021. Reinforced Ant Colony Optimization for Fault Tolerant Task Allocation in Cloud Environments, Wireless Personal Communications (2021) 121:2441–2459. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08830-4>



علیرضا وفایی نژاد دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری در دانشگاه شهید بهشتی می باشند. ایشان مدرک دکتری خود را در رشته مهندسی نقشه برداری-GIS دریافت نمودند. فعالیت های پژوهشی اخیر وی در حوزه هوش مصنوعی و کاربردهای GIS در محیط زیست می باشد. در حال حاضر ایشان مقاله علمی بسیاری در مجلات و کنفرانس های علمی ارائه نموده اند و همچنین در کمیته علمی و داوری مجلات و کنفرانس علمی ملی و بین المللی فعالیت دارند.

Vafaeinejad, A.R. Associate Professor at the Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

a_vafaei@sbu.ac.ir

Argany, M., Associate Professor at Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran.

argany@ut.ac.ir



علی درویشی بلورانی دانشیار گروه GIS و سنجش از دور دانشگاه تهران می باشد. زمینه تخصصی ایشان سنجش از دور در بحران گرد و غبار می باشد. در حال حاضر ایشان مقالات علمی بسیاری در مجلات و کنفرانس های علمی ارائه نموده اند و همچنین در کمیته علمی و داوری مجلات و کنفرانس علمی ملی و بین المللی فعالیت دارند.

Boloorani, A.D., Associate Professor at Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran.

ali.darvishi@ut.ac.ir

Citation (Vancouver): Bahrami N, Argany M, Boloorani A.D, Vafaeinejad A.R. [A Geo-AI Approach in the Post-Earthquake Rescue]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2025; 3(1): 187-200

<https://doi.org/10.22061/jrsg.2025.11338.1086>



COPYRIGHTS

© 2025 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)