



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Design and Development of an Intelligent Web-Based Spatial Decision Support System for Optimal Allocation of Local Disaster Response Centers

A. Parvini, A.A. AleSheikh*

Geospatial Information Systems Department, Faculty of Surveying Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 28 April 2025
Reviewed: 19 June 2025
Revised: 02 October 2025
Accepted: 30 December 2025

KEYWORDS:

Spatial Decision-Support System
Distribution of Relief-Items
Web-based System
Disaster Management
Genetics and Tabu Algorithms

* Corresponding author:

alesheikh@kntu.ac.ir

(+9821) 88786212

Background and Objectives: Optimal management of humanitarian supply chains and distribution of relief items after natural disasters is a major challenge in the field of crisis management. Despite the importance of optimal allocation of local distribution centers in post-disaster situations, many existing decision-making tools lack spatial capabilities, flexibility in scenario building, and ease of access. Aiming to fill the gap in previous studies, this paper designs a web-based system that utilizes geographic information systems (GIS) and meta-heuristic algorithms to enable optimal allocation of distribution centers and management of relief items.

Methods: In this study, an intelligent web-based spatial decision support system has been developed that helps decision makers allocate relief distribution centers more efficiently in different post-crisis scenarios. This system consists of three main parts, including a database, a decision engine, and a web-based user interface, and can be fully implemented in a browser without the need to install additional software. Also, genetic and forbidden search algorithms have been integrated to optimize resource allocation and distribution of relief items in this system. Users can edit input data, define different scenarios, and visually view the results on a map. In this system, common uncertainties after disasters, including different rates of affected populations, as well as five different planning periods ranging from 8 to 72 hours (i.e. 8, 16, 24, 48, and 72 hours), have been considered. The system's high flexibility in defining and analyzing various scenarios makes it an effective tool for improving decision-making in planning relief aid distribution operations.

Findings: Results show that the proposed hybrid algorithm has been able to improve the optimal allocation of distribution centers and the effective distribution of items and reduce the amount of unmet demand. However, depending on the number of iterations of the algorithm, different scenarios, and some input parameters, the results have sometimes been unstable, which can be investigated and analyzed more precisely in future studies.

Conclusion: This study presents a comprehensive, web-based decision support system for the optimal management of relief distribution, which can significantly increase the efficiency of crisis operations. The combined use of meta-heuristic algorithms and geographic data in this system enables rapid response and accurate decision-making. Future development and improvements of this system can include support for different types of items and diverse disaster situations to play a more effective role in reducing human and financial losses.



NUMBER OF REFERENCES
34



NUMBER OF FIGURES
13



NUMBER OF TABLES
6

مقاله پژوهشی

طراحی و توسعه سیستم هوشمند پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی مبتنی بر وب برای بهینه‌سازی تخصیص مراکز توزیع محلی پاسخ به بلایا

امیر پروینی، علی اصغر آل شیخ*

گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده

هدف: مدیریت بهینه زنجیره تأمین بشردوستانه و توزیع اقلام امدادی پس از بلایای طبیعی از چالش‌های مهم در حوزه مدیریت بحران است. با وجود اهمیت تخصیص بهینه مراکز توزیع محلی در شرایط پس از بحران، از جمله زلزله، بسیاری از ابزارهای تصمیم‌گیری موجود فاقد قابلیت‌های مکانی، انعطاف‌پذیری در سناریوسازی و سهولت دسترسی هستند. این مقاله باهدف پر کردن خلأ موجود در مطالعات پیشین، سامانه‌ای مبتنی بر وب طراحی کرده است که با بهره‌گیری از قابلیت‌های سیستم اطلاعات مکانی (GIS) و الگوریتم‌های فرا ابتکاری، امکان تخصیص بهینه مراکز توزیع و مدیریت اقلام امدادی را فراهم می‌آورد.

روش: در این مطالعه، یک سامانه هوشمند پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی مبتنی بر وب توسعه داده شده است که به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا مراکز توزیع کمک‌های امدادی را به صورت کارآمدتری در سناریوهای مختلف پس از بحران تخصیص دهند. این سامانه از سه بخش اصلی شامل پایگاه داده، موتور تصمیم‌گیری و رابط کاربری تحت وب تشکیل شده و امکان اجرای کامل آن در مرورگر، بدون نیاز به نصب نرم‌افزار اضافی، فراهم شده است. همچنین از ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و جستجوی ممنوعه برای بهینه‌سازی تخصیص منابع و توزیع اقلام امدادی در این سامانه استفاده شده است. در این سامانه کاربران می‌توانند داده‌های ورودی را ویرایش کرده، سناریوهای مختلف را تعریف کرده و نتایج را به صورت بصری بر روی نقشه مشاهده کنند. در این سامانه، عدم قطعیت‌های رایج پس از وقوع بلایای طبیعی، از جمله نرخ‌های متفاوت جمعیت آسیب‌دیده و همچنین پنج دوره زمانی برنامه‌ریزی مختلف در بازه ۸ تا ۷۲ ساعت (۸، ۱۶، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) در نظر گرفته شده‌اند. انعطاف‌پذیری بالای سامانه در تعریف و تحلیل سناریوهای متنوع، آن را به ابزاری مؤثر برای بهبود تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی عملیات توزیع کمک‌های امدادی تبدیل می‌کند.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ترکیبی پیشنهادی توانسته است تخصیص بهینه مراکز توزیع اقلام را بهبود بخشد و میزان تقاضای برآورده نشده را کاهش دهد. هرچند، بسته به تعداد تکرار الگوریتم در سناریوهای مختلف و تغییر پارامترهای ورودی، نتایج گاهی ناپایدارند که می‌توانند در مطالعات آتی مورد بررسی و تحلیل دقیق‌تری قرار گیرند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه سامانه‌ای جامع و مبتنی بر وب برای پشتیبانی تصمیم‌گیری در مدیریت بهینه توزیع اقلام امدادی ارائه داده است که می‌تواند کارایی عملیات بحران را به طور قابل توجهی افزایش دهد. استفاده ترکیبی از الگوریتم‌های فرا ابتکاری و داده‌های مکانی در این سامانه، امکان پاسخگویی سریع و تصمیم‌گیری دقیق را فراهم می‌سازد. توسعه و بهبودهای آتی این سامانه می‌تواند شامل پشتیبانی از انواع مختلف اقلام و شرایط بحرانی متنوع باشد تا نقش مؤثرتری در کاهش خسارات انسانی و مالی ایفا کند.

تاریخ دریافت: ۰۸ اردیبهشت ۱۴۰۴
تاریخ داوری: ۲۹ خرداد ۱۴۰۴
تاریخ اصلاح: ۱۰ مهر ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۰۹ دی ۱۴۰۴

واژگان کلیدی:

سامانه پشتیبان تصمیم‌گیر مکانی
توزیع اقلام امدادی
سامانه تحت وب
مدیریت بحران
الگوریتم‌های ژنتیک و جستجوی ممنوعه

* نویسنده مسئول

alesheikh@kntu.ac.ir

© ۲۱-۸۸۷۸۶۲۱۲

مقدمه

همواره بر این نکته تأکید می‌شود که سرعت و دقت در تصمیم‌گیری که مبتنی بر اطلاعات موثق و به‌روز باشد، نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت واکنش به بحران‌ها ایفا می‌کنند [۱]. مدیریت مؤثر بلایای طبیعی نیازمند هماهنگی دقیق و هدفمند بین فرآیندهای تصمیم‌گیری در حوزه لجستیک بشردوستانه و استفاده بهینه از داده‌ها و اطلاعات مکانی است. ضرورت این کارایی در پاسخگویی به بحران‌ها، با توجه به تجربیات ناگوار گذشته مانند طوفان کاترینا، بیش‌ازپیش نمایان شده است [۲].

در محیط‌های شهری امروزی، بلایای طبیعی مانند زلزله می‌توانند منجر به اختلال در نظم زندگی روزمره و آسیب‌های زیرساختی شهری شده و نیازهای گسترده و غیرقابل‌پیش‌بینی را به وجود بیاورند. چنین وقایعی معمولاً با ناپایداری مکانی، محدودیت منابع، فشار زمانی و دشواری دسترسی به مناطق آسیب‌دیده همراه هستند که برنامه‌ریزی امدادرسانی را پیچیده‌تر کرده و اهمیت رویکردهای تحلیلی و سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری را برجسته‌تر می‌سازد. در حوزه مدیریت بحران،

سیستم پیشنهادی این مقاله، به تخصیص بهینه مراکز توزیع محلی با بهره‌گیری از ترکیب الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک (همراه با مکانیسم تنظیم پویای پارامترها با استفاده از الگوریتم یادگیری تقویتی) و جستجوی ممنوعه می‌پردازد. این سیستم به کاربران امکان می‌دهد با تنظیم پارامترهای مربوط به عدم قطعیت، سناریوهای مختلفی را شبیه‌سازی کرده و نتایج را بر روی نقشه مشاهده کنند. علاوه بر آن، کاربران قادر به افزودن مراکز بر روی نقشه تعاملی و ذخیره اطلاعات مکانی و توصیفی آن‌ها در پایگاه داده سیستم می‌باشند تا برای بهینه‌سازی مدل لجستیک طراحی‌شده از آن‌ها استفاده شود. انعطاف‌پذیری این سیستم قابلیت تعریف سناریوهای عدم قطعیت و حتی تنظیم پارامترهای مدل بهینه‌سازی با تعریف پیکربندی‌های مختلف را برای کاربر فراهم می‌کند. همچنین کاربر می‌تواند مدل را برای مناطق مختلف شهر تحت تأثیر بلایای طبیعی اجرا نموده و از گزارش‌های سیستم برای برنامه‌ریزی توزیع کمک‌های امدادی استفاده کند. گزارش‌های دریافتی از این سیستم نقش مهمی در برنامه‌ریزی توزیع اقلام امدادی ایفا می‌کند. به‌عنوان مثال، کاربر می‌تواند مشاهده کند چه مقدار کالا از کدام مراکز توزیع محلی به کدام نقاط تقاضا باید ارسال شود. همچنین، میزان تقاضای برآورده نشده و کالای اضافی ذخیره‌شده در مراکز توزیع نیز قابل‌بررسی است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که ادغام ابزارهای توسعه وب، مدل‌سازی ریاضی چندهدفه و جستجوی ابتکاری می‌تواند راهکاری عملی برای بهبود کارایی توزیع اقلام امدادی در شرایط واقعی فراهم آورد.

مرور پیشینه تحقیق

در این بخش، مروری کوتاه بر ادبیات موجود درباره سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری در مدیریت بحران ارائه‌شده است. این بخش به دو زیرمجموعه تقسیم‌شده است. در بخش اول، زنجیره تأمین معرفی می‌شوند و بخش بعدی به سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیر مکانی برای تخصیص تسهیلات و توزیع اقلام امدادی اختصاص دارد.

زنجیره تأمین

توزیع بهینه اقلام امدادی و تخصیص راهبردی منابع در شرایط پس از بحران، از عوامل تعیین‌کننده در کاهش مخاطرات انسانی و تسهیل فرایند باز توانی و بازسازی محسوب می‌شود. در این راستا، استقرار و به‌کارگیری زنجیره‌های تأمین انسانی کارآمد نقشی حیاتی ایفا می‌کند؛ چراکه این زنجیره‌ها بستر لازم را برای انتقال به‌موقع، کارآمد و عادلانه منابع حیاتی به جوامع آسیب‌دیده فراهم می‌سازند. به‌کارگیری رویکردهای مدیریت یکپارچه زنجیره تأمین و استفاده از فناوری‌های نوین در ردیابی و تخصیص منابع، می‌تواند به شکل چشمگیری در افزایش تاب‌آوری سامانه‌های امدادرسانی و به حداقل رساندن خسارات انسانی مؤثر واقع شود. در سال‌های اخیر بهینه‌سازی زنجیره‌های تأمین انسانی به دلیل افزایش فراوانی و شدت بلایای طبیعی و همچنین بحران‌های ناشی از درگیری‌های انسانی و سیاسی، بیش‌ازپیش

پیامدهای مدیریت ضعیف واکنش به بحران شامل افزایش تلفات و رنج، تخریب زیرساخت‌ها و اختلال در خدمات ضروری است. این اثرات نامطلوب که اغلب با تأخیر یا تخصیص نادرست منابع امدادی تشدید می‌شوند، نیاز حیاتی به سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) را برجسته می‌کنند که می‌توانند سرعت، دقت و اثربخشی فعالیت‌های واکنش به بحران را افزایش دهند. سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری رایج در این حوزه بر بهینه‌سازی تخصیص منابع، مکان‌یابی تأسیسات و مدیریت زنجیره تأمین در شرایط عدم قطعیت و کمبود منابع متمرکز بوده‌اند. لذا تخصیص بهینه مراکز توزیع محلی و انتخاب کارآمد مسیرهای انتقال، از عوامل کلیدی در توزیع به‌موقع اقلام امدادی محسوب می‌شوند و نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش خسارات انسانی و ارتقای کارایی عملیات خدمت‌رسانی ایفا می‌کنند [۳].

یکی از مهم‌ترین چالش‌های لجستیکی پس از بلایای طبیعی، تخصیص تسهیلات امدادی برای توزیع سریع و کارآمد کمک‌های امدادی است. طراحی و اجرای مراکز واکنش موقت به بحران (TDR) که به‌عنوان تأسیسات محلی برای ارائه کمک‌های ضروری به قربانیان در بلافاصله پس از فاجعه عمل می‌کنند، بسیار مهم است. مراکز TDR به‌عنوان گره‌های حیاتی در شبکه لجستیک بشردوستانه عمل می‌کنند و شکاف بین مراکز امدادی و جمعیت‌های آسیب‌دیده را در طول دوره عملیات امداد در مقیاس بزرگ‌تر، پر می‌کنند [۴]. پس از وقوع بلایای طبیعی، قربانیان به دلیل عدم دسترسی به اقلام ضروری مانند آب آشامیدنی، مواد غذایی، کیت‌های پزشکی و چادرهای امدادی با مشکلات جدی مواجه می‌شوند. این چالش عمدتاً ناشی از دشواری دسترسی گروه‌های امدادی به مناطق آسیب‌دیده در زمان مناسب است؛ به‌ویژه در شرایط آشفته و ناپایداری که معمولاً پس از یک فاجعه بزرگ حاکم می‌شود [۵]. در چنین شرایطی، بهره‌گیری از ظرفیت مراکز محلی نظیر مدارس، مساجد و دانشگاه‌ها مستقیماً بر توانایی تأمین نیازهای اولیه تأثیر می‌گذارد و در نتیجه تلفات و رنج ثانویه در بین بازماندگان را کاهش می‌دهد.

طراحی سامانه‌ای کارآمد برای مدیریت زنجیره تأمین در شرایط بحرانی و چالش‌برانگیز، مستلزم در نظر گرفتن معیارهای متعدد و متنوعی است. این امر شامل حداقل سازی فواصل حمل‌ونقل، تأمین تقاضای آسیب‌دیدگان و مدیریت بهینه موجودی در مراکز توزیع است. علاوه بر این، ماهیت پویا و متغیر میدان عملیات، مانند اختلال احتمالی در شبکه‌های ارتباطی و نوسانات تقاضا در بازه‌های زمانی مختلف، ضرورت طراحی سامانه‌هایی منعطف و مبتنی بر وب را دوچندان می‌کند تا امکان مدیریت کارآمد و واکنش سریع در مواجهه با این چالش‌ها فراهم شود. مطالعات گسترده‌ای در زمینه بهینه‌سازی لجستیک بشردوستانه انجام‌شده است، اما همچنان نیاز به یک سیستم جامع مبتنی بر وب احساس می‌شود که بتواند داده‌های مکانی، مدل‌های ریاضی چندهدفه و الگوریتم‌های جستجوی ترکیبی را برای تخصیص بهینه مراکز توزیع محلی ادغام کند [۶].

می سازد [۱۶]. علاوه بر این، مدل های بهینه سازی برای تحلیل مدیریت بحران درون سازمان ها که تمام اجزای داخلی اصلی را در نظر بگیرد، وجود ندارد که نشان دهنده نیاز مبرم به ایجاد یک چارچوب قابل اعتماد برای مدیریت بحران درون سازمان ها است که شامل اجزای مختلفی مانند شعب منطقه ای و واحدهای عملیاتی می شود.

فوریت عملیات بشردوستانه مستلزم آمادگی و واکنش سریع است و این ضرورت، اهمیت تحلیل و ارزیابی نظام مند رویه های لجستیکی به کاررفته در توزیع کمک های اضطراری در مواجهه با بلایای طبیعی و بحران های بزرگ بین المللی را دوجندان می کند [۱۷]. با توجه به چالش ها و فرصت های موجود در حوزه لجستیک انسانی، طراحی و پیاده سازی سامانه های پشتیبانی تصمیم گیری فضایی به عنوان یکی از محورهای کلیدی و نوظهور در تحقیقات این حوزه مطرح شده است. در این میان، سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به عنوان ابزاری قدرتمند و کارآمد نقش بسزایی در مدیریت و بهینه سازی عملیات امداد رسانی ایفا می کند. به طور خاص، این سیستم می تواند در جمع آوری، پردازش و تحلیل داده ها مرتبط با خرابی ها و اختلالات شبکه حمل و نقل پیش از آغاز عملیات امدادی در مرحله پاسخ به فاجعه مورد استفاده قرار گیرد [۷]. علاوه بر این، در فرآیند برنامه ریزی پیش از وقوع بحران، پلتفرم های مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی بستر مؤثری برای پشتیبانی از تصمیم گیری های راهبردی فراهم می کنند. این پلتفرم ها به ذی نفعان و سازمان های مسئول مدیریت بحران امکان می دهند تا با شبیه سازی سناریوهای مختلف، نسبت به برآورد دقیق منابع مورد نیاز، آماده سازی تجهیزات و امکانات و همچنین تعیین مکان های بهینه برای استقرار تأسیسات و منابع امدادی اقدام کنند [۱۸]. چنین رویکردی، ضمن ارتقای کارایی زنجیره های تأمین انسانی، می تواند به کاهش زمان واکنش، افزایش دقت در تخصیص منابع و به حداقل رساندن پیامدهای انسانی و اقتصادی بلایای طبیعی کمک شایانی نماید. در این مقاله زنجیره تأمین دوسطحی در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، کالاهای امدادی از پایگاه های امداد به مراکز توزیع محلی در محلات مختلف منطقه ارسال و در آنجا ذخیره می شوند و سپس از این مراکز به نقاط تقاضا ارسال می شوند.

سیستم پشتیبانی تصمیم گیر برای تخصیص تسهیلات و توزیع اقلام امدادی

در مدیریت عملیات بلایای طبیعی، برنامه ریزی و پاسخ مؤثر به بحران ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. سامانه های پشتیبانی تصمیم گیر (DSS) ابزارهای حیاتی برای کمک به تصمیم گیرندگان در شرایط پرفشار و پر از عدم قطعیت پس از بلایا به شمار می روند [۱۹-۲۱]. این سامانه ها با کاهش بار شناختی و ارائه اطلاعات سازمان یافته، فرآیند حل مسئله و تصمیم گیری را بهبود می بخشند. سالوادور و همکاران در سال ۲۰۱۹ تأکید می کنند که زنجیره تأمین بشردوستانه (HSC) نقش مهمی در پاسخ های مؤثر و سریع به بلایای طبیعی و انسان ساخت دارد، اما

مورد توجه محققان و سیاست گذاران قرار گرفته اند. این زنجیره ها به عنوان یک مؤلفه کلیدی در مدیریت بحران و امداد بشردوستانه نقش بسزایی در کاهش پیامدهای انسانی و اجتماعی فجایع طبیعی ایفا می کنند و کارایی آن ها ارتباط مستقیمی با سرعت، دقت و عدالت در تخصیص منابع دارد [۷].

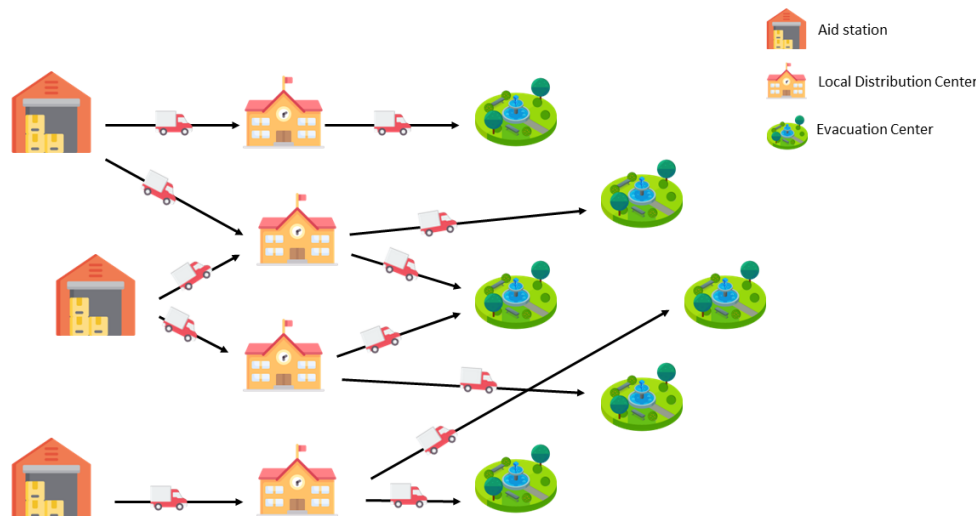
برنامه ریزی یک جنبه حیاتی از زنجیره تأمین است که تأثیرگذاری عملیات امدادی را تعیین می کند و بر اهمیت توزیع به موقع و کافی منابع در بازه های زمانی مشخص برای کاهش تلفات انسانی تأکید می کند [۸]. زنجیره تأمین شامل فعالیت هایی مانند برنامه ریزی، اجرا و مدیریت است که همگی به منظور کاهش آسیب ها و تلفات در طول بلایای طبیعی طراحی شده اند [۹].

یک مرور جامع ادبیات نشان می دهد که تحقیقات زیادی در زمینه بهینه سازی جنبه های مختلف لجستیک انسانی، از جمله طراحی شبکه، مدیریت موجودی و برنامه ریزی حمل و نقل وجود دارد. با این حال، عدم قطعیت ها و پیچیدگی های ذاتی سناریوهای مختلف، توسعه سامانه های پشتیبانی تصمیم گیری تخصصی را که قادر به مقابله با چالش های منحصر به فرد توزیع کمک های انسانی و تخصیص تسهیلات هستند، ضروری می سازد [۱۰]. این چالش ها با این واقعیت که سازمان های بشردوستانه اغلب در محیط هایی با زیرساخت های آسیب دیده، منابع محدود و تعدادی از ذینفعان با نیازها و اولویت های متنوع فعالیت می کنند، تشدید می شوند [۱۱، ۱۲]. علاوه بر این، هماهنگی میان بازیگران مختلف، از جمله نهادهای دولتی، سازمان های غیردولتی و سازمان های کمک رسان بین المللی، برای اطمینان از تحویل کارآمد و مؤثر کمک ها ضروری است [۱۳]. هم چنین کارایی زنجیره های تأمین به شدت به ادغام بی نقص اطلاعات در تمام مراحل عملیات، از ارزیابی اولیه نیازها تا توزیع نهایی، وابسته است که این نیازمند ایجاد شبکه های ارتباطی قوی و سامانه های مدیریت داده است که بتوانند تبادل به موقع و دقیق اطلاعات را بین تمامی ذینفعان تسهیل کنند. بسیاری از مطالعات بر روی مدل های بهینه سازی ریاضی که برای سناریوهای مختلف طراحی شده اند، تمرکز دارند. این مدل ها هدفشان بهبود تصمیم گیری و ساده سازی فرآیندها در لجستیک انسانی است، اما عملکرد آن ها شامل مجموعه ای از فعالیت ها مانند آمادگی، برنامه ریزی، تأمین، حمل و نقل، انبارداری، ردیابی و پیگیری، گمرک و ترخیص کالا می شود [۱۴، ۱۵].

توسعه مدل هایی برای پاسخ سریع به رویدادهای مشابه می تواند با ارائه دستورالعمل های پایه ای برای فرآیند توزیع در زنجیره تأمین، از این فرایند حمایت کند. کارایی در لجستیک، به دلیل تضمین جریان صحیح کالاها از منبع به جمعیت های آسیب دیده، یک عامل کلیدی موفقیت به شمار می آید. عملیات اضطراری نیازمند مدیریت کارآمد است تا تأمین کمک های امدادی به موقع و مؤثر انجام شود؛ با این حال، مدیریت لجستیک انسانی به دلیل خطرات و عدم قطعیت های ناشی از بلایای طبیعی، پیچیده تر است و این امر برنامه ریزی و کاهش ریسک را دشوار

برنامه‌ریزی و دستیابی به اهداف پایداری می‌شوند [۲۲].

چالش‌هایی مانند ادغام ابعاد پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) و کمبود سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیر مانع از



شکل ۱: زنجیره تأمین بشردوستانه

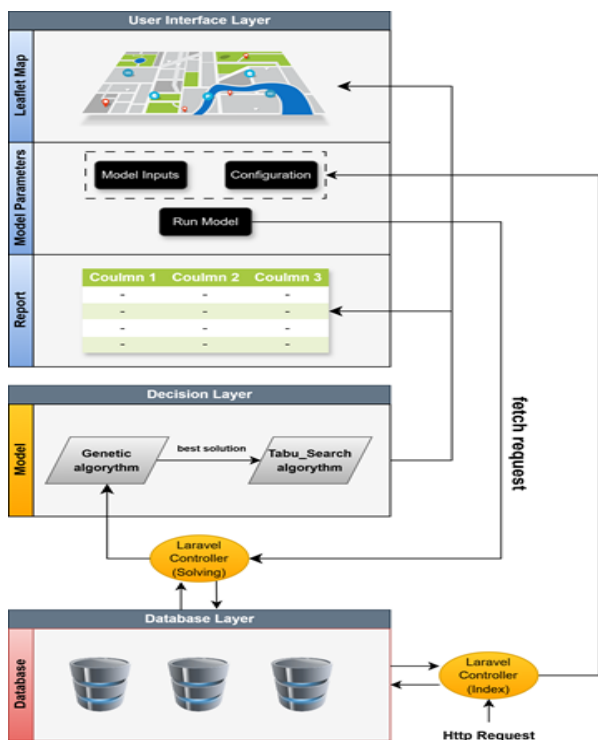
Fig. 1: Humanitarian logistics

سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیر برنامه‌ریزی جامع چندهدفه (multi-objective Master Planning DSS) برای مدیریت زنجیره‌های تأمین بشردوستانه پایدار (SHSCs) پیشنهاد کردند. این سیستم شامل تعریف مجموعه‌ای از معیارها برای اندازه‌گیری عملکرد یک SHSC، یک الگوریتم برای حل مسئله چندهدفه و یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی جامع برای حمایت از برنامه‌ریزی تاکتیکی SHSC است. همچنین این سیستم به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا سطوح عملکرد قابل‌قبول در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پایداری، علاوه بر اثربخشی، به دست آورند [۲۸]. معیارهای کلیدی عملکرد پایداری که در مدل آن‌ها در نظر گرفته شده است، شامل اثربخشی (نرخ تحقق نیازها)، کارایی (هزینه عملیات)، توانمندسازی محلی (نرخ تأمین محلی) و کاهش آلودگی (ردپای کربن) است [۲۸، ۲۲]. صاحب‌جمع نیا و همکاران در سال ۲۰۱۷ یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیر هیبریدی (HDSS) را برای مدیریت زنجیره‌های امداد بشردوستانه در مواجهه با بلایای طبیعی بزرگ و بدون اطلاع قبلی مانند زلزله توسعه دادند. این سیستم از یک شبیه‌ساز، یک موتور استنتاج مبتنی بر قانون و یک سیستم مبتنی بر دانش (KBS) تشکیل شده است [۲۹]. جانا و همکاران در سال ۲۰۲۲ یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیر سلسله‌مراتبی برای تخصیص منابع و وظایف در مدیریت بحران، به‌ویژه در سناریوهای سیل در هند، ارائه کردند [۳۰]. فلورز و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک مدل برنامه تصادفی چند سناریویی (SMSP) را به‌عنوان هسته یک مدل هوش مصنوعی برای طراحی HSC مقاوم پیشنهاد کردند. این مدل برای حل مسئله مکان‌یابی تسهیلات، ظرفیت‌سازی انبارها و روش‌های تحویل اقلام به ذی‌نفعان طراحی شده است [۱۲]. ماهر جان و همکاران در سال ۲۰۱۹ مفهوم ترتیب استقرار مراکز لجستیکی موقت (TLHS) را در شرایط محدودیت منابع معرفی کردند. آن‌ها یک روش سه مرحله‌ای توسعه

طی تحقیقاتی در سال ۲۰۰۹، کاندوتی و همکاران چارچوبی برای سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیر (DSS) جهت تخصیص بهینه منابع اضطراری در مدیریت بحران را معرفی کردند [۲۳]. با توجه به ماهیت مکانی داده‌های مرتبط با بلایای طبیعی و نیازهای توزیع امداد، سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیر مکانی (SDSS) اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده‌اند. همچنین سیستم اطلاعات مکانی به‌عنوان ابزاری کارآمد برای مدیریت و استفاده از داده‌های مکانی، امکان بررسی تفاوت‌های مکانی را فراهم می‌کند. سو و همکاران در سال ۲۰۰۱ چارچوبی برای SDSS جهت برنامه‌ریزی تقاضای آبیاری کشاورزی پیشنهاد کردند که با ادغام داده‌ها و مدل‌های مرتبط، ابزاری کارآمد برای برنامه‌ریزی بهتر تقاضا از طریق سناریوسازی و آشکارسازی تأثیرات آن سناریوها ارائه می‌دهد [۲۴]. لاهمار و همکاران نیز در سال ۲۰۲۰ یک مدل بهداشت مکانی چندمعیاره مبتنی بر GIS برای مدیریت بحران توسعه دادند که با زبان برنامه‌نویسی پایتون (Python) پیاده‌سازی شده و به تعیین کوتاه‌ترین مسیر دسترسی به امکانات پزشکی اضطراری کمک می‌کند [۲۵]. العباد و همکاران در سال ۲۰۲۴ یک موتور مسیریابی تحت وب برای مدیریت سیلاب ارائه کردند که با ادغام داده‌های مکانی و غیرمکانی و استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی مانند پایتون و جاوا اسکریپت (JavaScript)، نیاز به نرم‌افزارهای پیچیده و تحلیلگران متخصص را برطرف می‌کند و به‌عنوان ابزاری کاربرپسند برای مسیریابی عمل می‌کند [۲۶].

تخصیص تسهیلات و توزیع اقلام امدادی یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت عملیات بلایای طبیعی است. مراکز توزیع موقت (TLHS) به دلیل توانایی آن‌ها در پشتیبانی از عملیات اضطراری بلافاصله پس از وقوع فاجعه، اهمیت زیادی دارند [۲۷، ۲۰]. محققان بسیاری به این موضوع در محیط‌های صنعتی و بشردوستانه پرداخته‌اند. سالوادور و همکاران در

انجام شده است که مزایای متعددی در طراحی و مدیریت پایگاه داده به همراه دارد. موتور تصمیم‌گیری با زبان پایتون برنامه‌نویسی شده، درحالی‌که رابط کاربری با جاوا اسکریپت، HTML و CSS توسعه‌یافته است. شکل ۲، نمای کلی معماری سیستم و چگونگی عملکرد آن را نمایش می‌دهد. در ادامه، جزئیات بیشتری از هر یک از این اجزا ارائه خواهد شد تا درک بهتری از ساختار و کارکرد این سیستم حاصل شود.



شکل ۲: معماری سیستم
Fig. 2: System architecture

پایگاه داده

در این مطالعه، پایگاه داده سیستم با استفاده از ابزار Migration در لاراول ایجاد گردیده است. این پایگاه داده شامل هفت جدول است که شامل اطلاعات گره‌ها، فواصل بین گره‌ها و پیکربندی مدل می‌شود. جزئیات اطلاعات جداول پایگاه داده در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱: جداول پایگاه داده
Table 1: Database tables

نام جدول (Tables name)	موارد تعریفی (Tables definition)
cmds	اطلاعات مراکز پایگاه امداد
ldcs	اطلاعات مراکز توزیع محلی
ecs	اطلاعات مراکز تخلیه
cmd_to_ldc_distances	اطلاعات فواصل بین مراکز پایگاه امداد و مراکز توزیع محلی
ldc_to_ec_distances	اطلاعات فواصل بین مراکز توزیع محلی و مراکز تخلیه
scenarios	اطلاعات سناریوها
configuration	اطلاعات پیکربندی مدل

دادند که شامل یک مدل بهینه‌سازی برای تعیین تعداد و مکان فضایی TLHs (باهداف کمینه کردن تقاضای برآورده نشده کل)، یک سیستم رتبه‌بندی عامل فازی تحت تصمیم‌گیری گروهی برای محاسبه وزن اهمیت ویژگی‌های ذهنی و یک رویکرد تصمیم‌گیری گروهی چند صفتی فازی برای تعیین ترتیب استقرار TLHs انتخابی است [۲۷]. این روش در زمینه زلزله نپال در سال ۲۰۱۵ مورد استفاده قرار گرفت و به دلیل ماهیت کیفی و مبهم عوامل پس از فاجعه، قابلیت ادغام نظرات چندین تصمیم‌گیرنده را دارد. پاسکوال و همکاران در سال ۲۰۲۰ یک مدل عددی برای پیش‌مکان‌یابی موجودی کمک‌های بشردوستانه پیشنهاد دادند. هدف این مدل کاهش زمان پاسخ اضطراری و هزینه‌های تدارکات برای رویدادهای لرزه‌ای است [۳۱]. این DSS تعداد بهینه انبارها، مکان‌های آن‌ها و مقادیر بهینه کالاهای ضروری (کیت‌های بهداشتی، تخت‌خواب، پتو و چادر کمپ) را برای تخصیص از پیش در منطقه مشخص می‌کند و به‌طور نوآورانه‌ای اندازه انبارها و تخریب احتمالی آن‌ها را بر اساس ویژگی‌های زلزله در نظر می‌گیرد و با استفاده از داده‌های دو زلزله بزرگ در ایتالیا اعتبارسنجی شده است. شوتر و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک سیستم پشتیبانی تصمیم گیر موقت (ad hoc DSS) را برای لجستیک امدادرسانی بشردوستانه ارائه کردند. این سیستم از تکنیک‌های سناریو و یک مدل بهینه‌سازی برای محاسبه گزینه‌های تصمیم‌گیری امیدوارکننده استفاده می‌کند. این DSS اطلاعات جدید را به‌طور مداوم ادغام می‌کند تا توصیه‌های تصمیم‌گیری قوی و انعطاف‌پذیر را ارائه دهد [۳۲]. آن‌ها رویکرد خود را برای مسئله مکان‌یابی تسهیلات در هائیتی، برای بیمارستان‌های چادری موقت پس از زلزله ۲۰۱۰، نشان دادند که زمان حمل‌ونقل را بهینه‌سازی کرده و به سطح خدمات ۱۰۰ درصدی دست می‌یابد. چاودور و همکاران در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ یک ابزار پشتیبانی تصمیم گیر مبتنی بر سناریو برای تخصیص تسهیلات پاسخ موقت به بلایا (TDR) برای توزیع اقلام امدادی تحت عدم قطعیت تقاضا توسعه دادند. این سیستم شامل یک پایگاه داده، یک موتور تصمیم گیر (با استفاده از چارچوب برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای) و یک رابط کاربری است [۴، ۲۰]. این مطالعات نشان می‌دهند که توسعه SDSS ها و DSS های تخصصی برای مکان‌یابی تسهیلات و توزیع اقلام امدادی در مدیریت بحران از اهمیت حیاتی برخوردار است. این سامانه‌ها با ادغام قابلیت‌های مکانی، تحلیلی و بهینه‌سازی و همچنین در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها و ترجیحات تصمیم‌گیرندگان، به بهبود قابل توجهی در اثربخشی و کارایی عملیات امدادرسانی کمک می‌کنند.

روش تحقیق

در این مطالعه یک سیستم هوشمند پشتیبان تصمیم‌گیری مکانی مبتنی بر وب طراحی و توسعه‌یافته است که شامل سه عنصر اصلی پایگاه داده، موتور پردازش تصمیمات و رابط کاربری است. پیاده‌سازی این سیستم با استفاده از چارچوب برنامه‌نویسی لاراول (Laravel)

$$r_{wf}x_{ijw} = r_{fw}x_{ijf}, \quad (4)$$

$$\forall i, j, w, f; w > f; w, f \in k$$

$$\sum_{j=1}^{n_{LDC}} \sum_{k=1}^{n_C} inv_{jk} \leq C_{zj}, \quad \forall j, k \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{n_N} y_{ij} \leq \alpha, \quad \forall i \quad (6)$$

$$z_n \leq n_n, \quad \forall n \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^{n_N} z_n \leq N_T \quad (8)$$

اندیس‌ها و مجموعه‌ها

مجموعه محله‌ها	$N = 1, \dots, n_N$
مجموعه پایگاه‌های امدادی	$I = 1, 2, 3, \dots, n_{CMD}$
مجموعه مراکز توزیع محلی	$J = 1, 2, 3, \dots, n_{LDC}$
مجموعه مراکز تخلیه	$E = 1, 2, 3, \dots, n_{EC}$
مجموعه کالاها (w: آب، f: غذا، m: کیت پزشکی S: چادر امدادی)	$w, f, m, s = 1, \dots, n_C$

پارامترها

تقاضای کالای k در مرکز تخلیه e	d_{ek}
هزینه (فاصله) بین پایگاه امداد i و مرکز توزیع محلی j	c_{ij}
هزینه (فاصله) بین مرکز توزیع محلی j و مرکز تخلیه e	c_{je}
تعداد کالای k	b_k
ظرفیت هر مرکز توزیع محلی	C
نسبت عرضه بین کالای w و f	R_{wf}
بیشترین تعداد مراکز توزیع محلی که می‌تواند در محله n استفاده شود.	n_n
مجموع تعداد مراکز توزیع محلی ممکن	N_T
حداکثر تعداد مراکز تخلیه که یک مرکز توزیع محلی می‌تواند به آن کالا ارسال کند.	α
ضریب مجموع فواصل	β
ضریب مجموع تقاضای برآورده نشده	γ
ضریب مجموع تعداد مراکز محلی استفاده‌شده	λ
ضریب مجموع کالاهای اضافی در مراکز توزیع محلی	ω
پنالتی تقاضای برآورده نشده	pu
پنالتی کالاهای اضافی	pa

متغیرهای تصمیم

تعداد مراکز توزیع استفاده‌شده در هر محله	z_n
برابر یک است اگر پایگاه امداد i به مرکز تخلیه j کالا ارسال کند در غیر این صورت صفر است	y_{ij}
برابر یک است اگر مرکز توزیع محلی j به مرکز تخلیه e کالا ارسال کند در غیر این صورت صفر است	y_{je}
مقدار کالای ارسالی از پایگاه امداد i به مرکز توزیع محلی j	x_{ijk}
مقدار کالای ارسالی از مرکز توزیع محلی j به مرکز تخلیه e	x_{jek}

در این مدل پیشنهادی، کاربر می‌تواند با انتخاب استان، شهر و منطقه موردنظر، اطلاعات مربوط به گره‌ها را از پایگاه داده دریافت کند. این مدل به‌گونه‌ای طراحی شده است که قابلیت گسترش برای مناطق، شهرها و حتی کشورهای دیگر را داشته باشد.

این سیستم با واکنشی اطلاعات از جداول پایگاه داده و ارسال آن به مدل، به کاربران کمک می‌کند تا به راحتی به داده‌های موردنیاز خود دسترسی داشته باشند. در پایگاه داده سیستم، داده‌هایی در مورد نیازهای اساسی افراد آسیب‌دیده مانند آب، غذا، کیت پزشکی و چادر امدادی در بازه‌های زمانی مختلف ثبت شده است. این اطلاعات بر اساس مطالعات قبلی تنظیم شده و شامل پیکربندی‌های مختلفی است که کاربران قادرند پیکربندی‌های سفارشی را به سیستم اضافه نمایند و از آن برای برنامه‌ریزی و مدیریت بحران‌ها استفاده کنند [۳۳].

موتور تصمیم‌گیری

در این مقاله، یک رویکرد برنامه‌ریزی دومرحله‌ای برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین بشردوستانه ارائه می‌شود. موتور تصمیم‌گیری بر اساس تخصیص مراکز توزیع محلی به پایگاه‌های مدیریت بحران در مرحله اول و اختصاص مراکز تخلیه برای توزیع کالاها در مرحله دوم طراحی شده است. با توجه به اهمیت عدم قطعیت تقاضا در این زمینه، تقاضای مراکز تخلیه بر اساس جمعیت مناطق اطراف که بر اساس فاصله تعیین می‌شود، محاسبه می‌گردد. هدف اصلی این مدل، بهینه‌سازی زنجیره تأمین از طریق به حداقل رساندن تعداد مراکز توزیع، کاهش مسافت طی شده برای دسترسی به منابع، کاهش تقاضای برآورده نشده و کالاهای اضافی باقیمانده در مراکز توزیع محلی است. این روش، یک راهکار جامع برای مدیریت مؤثر منابع در شرایط بحرانی ارائه می‌دهد. این مدل، با تلفیق هوشمندانه الگوریتم‌های ژنتیک و جستجوی ممنوعه، به حل این مسئله که از نوع مسائل NP-Hard است می‌پردازد. جواب حاصل از نسل نهایی الگوریتم ژنتیک، به عنوان ورودی در الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده می‌شود. سپس، با اجرای جستجوی محلی، بهینه‌سازی بیشتری صورت می‌گیرد تا به بهترین جواب ممکن حاصل شود. روابط ریاضی، پارامترها و متغیرها در این مدل به شرح زیر است:

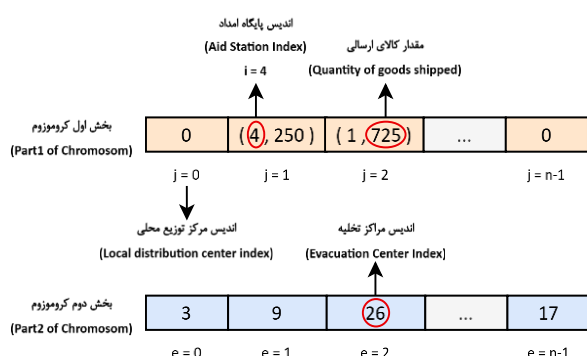
تابع هدف و محدودیت‌ها

$$\min f = \lambda \left(\sum_{n=1}^{n_N} z_n \right) + \gamma \left(\sum_{k=1}^{n_C} \sum_{e=1}^{n_{EC}} u_{ek} \right) + \beta \left(\sum_{i=1}^{n_{CMD}} \sum_{j=1}^{n_{LDC}} y_{ij} c_{ij} + \sum_{j=1}^{n_{LDC}} \sum_{e=1}^{n_{EC}} y_{je} c_{je} \right) + pu + pa \quad (1)$$

$$u_{ek} = d_{ek} - \sum_{j=1}^{n_{LDC}} x_{jek}, \quad \forall e, k \quad (2)$$

$$surp_{jk} = inv_{jk} - \sum_{e=1}^{n_{EC}} x_{jek}, \quad \forall j, k \quad (3)$$

دوم، مقدار کالای ارسالی را نشان می‌دهد که مقادیر اولیه آن‌ها ۶۰۰۰۰ واحد در نظر گرفته شده است. این مقدار مطابق با حداکثر ظرفیت واحد کالای امدادی مدارس به صورت فرضی در نظر گرفته شده است. بدین معنا که از حداکثر ظرفیت مدارس در مرحله ابتدایی اجرای الگوریتم استفاده می‌شود و در تکرارهای بعدی این مقدار تغییر می‌کند. تعداد ژن‌ها در بخش دوم کروموزوم برابر با تعداد مراکز تخلیه در منطقه مورد مطالعه است. در این بخش، هر ژن به صورت غیر تکراری، اندیس یکی از مراکز تخلیه را به خود تخصیص می‌دهد. نمونه‌ای از ساختار کامل این کروموزوم در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمایش کروموزوم

Fig. 3: Chromosome representation

عملگرهای استفاده شده در این الگوریتم عبارت‌اند از عملگر انتخاب رتبه‌بندی تقسیم شده (Split Rank Selection)، عملگر ترکیب دونقطه‌ای (Two-Point Crossover) برای بخش اول و عملگر ترکیب متقاطع (Order Crossover) برای بخش دوم کروموزوم و عملگر جهش جابجایی (Swap Mutation). همچنین از یادگیری تقویتی (Reinforcement Learning) برای تنظیم پویا و بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک استفاده شد. جزئیات پارامترهای یادگیری تقویتی در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲: تنظیم پارامترهای یادگیری تقویتی الگوریتم ژنتیک

Table 2: Setting the reinforcement learning parameters of the genetic algorithm

پارامترها (Parameters)	نرخ (Ratio)
نرخ یادگیری (α) (Learning ratio)	0.7
نرخ پاداش (γ) (Reward ratio)	0.1
نرخ اکتشاف (ϵ) (Exploration ratio)	0.3

نرخ یادگیری (α) مشخص می‌کند که چه میزان از اطلاعات جدید در بهروزرسانی مقادیر ماتریس کیفیت (Q) نسبت به مقادیر گذشته لحاظ شود؛ مقدار بالاتر آن منجر به انطباق سریع‌تر با تغییرات محیط می‌شود، درحالی‌که مقادیر پایین‌تر پایداری بیشتری ایجاد می‌کنند. نرخ پاداش

$surp_{jk}$ مقدار کالای اضافی باقی‌مانده k در مرکز توزیع محلی j
 u_{ek} مقدار تقاضای برآورده نشده کالای k در مرکز تخلیه e

هدف اصلی در فرمول‌بندی مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح که در رابطه ۱ ارائه شده است، به حداقل رساندن چهار مؤلفه اساسی شامل مجموع فواصل، مجموع تعداد مراکز توزیع، مجموع تقاضای برآورده نشده و مجموع کالاهای اضافی باقی‌مانده در مراکز توزیع محلی است. روابط ۲ و ۳ به ترتیب به محاسبه مقادیر تقاضای برآورده نشده و کالاهای اضافی می‌پردازند. نسبت‌های تأمین میان انواع مختلف کالاهای، مطابق با رابطه ۴ تعریف می‌شوند و تضمین می‌کنند که کلیه کالاهای مراکز توزیع بر اساس یک نسبت تأمین خاص (متعادل) تأمین شوند. این نسبت‌ها بر مبنای استانداردها و فرضیات مطرح شده در مقاله کاودور و همکاران تنظیم شده‌اند [۳۳]. علاوه بر این، رابطه ۵ محدودیت‌های ظرفیتی مراکز توزیع محلی را نشان می‌دهد. رابطه ۶ تعداد مراکز تخلیه را که یک مرکز توزیع محلی می‌تواند به آن‌ها کالا ارسال کند، محدود می‌کند تا سطح خدمات مراکز توزیع در شرایط هرج و مرج پس از یک فاجعه، کنترل شود. درنهایت، رابطه ۷ به محدود کردن تعداد مراکز توزیع محلی تخصیص یافته در یک محله می‌پردازد و رابطه ۸ نیز تعداد کل تأسیسات را محدود می‌کند.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از روش‌های رایج، به طور گسترده توسط پژوهشگران برای حل مسائل NP-Hard در حوزه زنجیره تأمین بشردوستانه به کار گرفته شده است. روند اجرای این الگوریتم به شرح زیر است:

۱. تولید جمعیت اولیه
۲. محاسبه تابع برازندگی جواب‌ها
۳. انتخاب والدین
۴. ترکیب جفت والدین
۵. جهش بر روی فرزندان
۶. تکرار مراحل فوق تا شرط پایان الگوریتم

کروموزوم طراحی شده برای حل مسئله از دو بخش اصلی تشکیل شده است. تعداد ژن‌ها در بخش اول کروموزوم متناسب با تعداد مراکز توزیع محلی در منطقه مورد مطالعه است. هر ژن در این بخش می‌تواند یکی از دو حالات زیر را داشته باشد:

- مقدار صفر: در این حالت، مقدار ژن برابر با صفر است که نشان‌دهنده عدم انتخاب مرکز توزیع مربوطه برای توزیع کالا است. به عنوان مثال، اگر مقدار ژن با اندیس سوم از بخش اول کروموزوم صفر باشد، نشان‌دهنده این است که مرکز توزیع محلی با اندیس سه برای توزیع کالا انتخاب نشده است.

- آرایه دو عنصری: در این حالت، هر ژن شامل یک آرایه دو عنصری است. عنصر اول این آرایه، اندیس پایگاه امدادی را مشخص می‌کند که کالاهای امدادی را به مرکز توزیع مربوطه ارسال می‌کند و درایه

با شهر بر اساس انتخاب کاربر پالایه شده و تنها شهرهای مربوط به آن استان نمایش داده می‌شوند. همچنین، کاربر می‌تواند منطقه موردنظر را برای برنامه‌ریزی از منوی District یا ناحیه مشخص کند. در ادامه، کاربر می‌تواند پارامترهای ورودی مدل شامل نرخ جمعیت آسیب‌دیده (APR)، دوره زمانی برنامه‌ریزی (PP) و پیکربندی سیستم (Configuration) را از بخش Parameters تنظیم کند. بخش Tasks به کاربر این امکان را می‌دهد که با استفاده از دکمه Update Data به داده‌های مربوط به گره‌ها یا سایر جداول موجود در پایگاه داده دسترسی یابد و آن‌ها را ویرایش کند. علاوه بر این، دکمه Create Inputs به کاربر اجازه می‌دهد ورودی‌های مدل را تعریف کرده و آن‌ها را در جدول پایگاه داده با عنوان ذخیره کند تا در آینده قابل استفاده باشند. لازم به ذکر است که تمامی منوهای ذکرشده به صورت مستقیم با پایگاه داده مرتبط هستند و هرگونه تغییر در داده‌های پایگاه داده، زیرمنوها را نیز به‌روزرسانی می‌کند. پس از انجام تنظیمات نهایی ورودی‌ها و پارامترها، کاربر با کلیک بر روی دکمه Solve Model مدل را اجرا کرده و منتظر دریافت پاسخ از سرور می‌ماند. طراحی این بخش‌ها در شکل ۴ نمایش داده شده است.

در فرایند حل مدل، سیستم پاسخ را از طریق سرور ارسال می‌کند و گزارش‌ها حاصل در قالب جدول‌هایی در بخش گزارش‌های مدل به کاربر ارائه می‌گردد. این گزارش‌ها شامل نمایش بصری نقاط مرتبط با مدل در نقشه است که شامل پایگاه‌های امداد، مراکز توزیع محلی انتخاب‌شده و مراکز تخلیه است. این نمایش بصری به کاربران کمک می‌کند تا محدوده مکانی استقرار پایگاه‌ها و مراکز توزیع را بهتر درک کنند. هنگامی که کاربر نشانگر ماوس را بر روی این نقاط حرکت می‌دهد، اطلاعات مفیدی مانند نام مراکز، میزان موجودی کالا و جزئیات ارسال کالا از سطوح بالاتر به پایین‌تر زنجیره را مشاهده می‌کند. با کلیک بر روی هر نقطه، کاربر می‌تواند مقادیر و مقاصد ارسال کالا از آن نقطه را ببیند. به‌طور خاص، با کلیک بر روی مراکز تخلیه، کاربر می‌تواند جزئیات دریافت آب، غذا، کیت‌های پزشکی و چادرهای امدادی از مراکز توزیع محلی را مشاهده نماید. این اطلاعات در جدول‌هایی در قسمت پایین نقشه، پس از کلیک بر روی نقاط، در دسترس کاربر قرار می‌گیرد. شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نمونه‌هایی از این گزارش‌ها را به تصویر می‌کشند.

(۷) نشان‌دهنده اهمیت پاداش‌های آینده نسبت به پاداش‌های فوری است و در تعیین سیاست بهینه نقش حیاتی دارد. همچنین نرخ اکتشاف (۴) میزان تمایل عامل به جستجوی اعمال جدید در برابر بهره‌برداری از تجربیات گذشته را تنظیم می‌کند؛ به گونه‌ای که تعادل میان کشف فرصت‌های جدید و استفاده از دانش موجود برقرار شود. انتخاب متعادل این پارامترها تضمین‌کننده کارایی بالاتر الگوریتم و جلوگیری از گیر افتادن در راه‌حل‌های محلی خواهد بود [۳۴].

الگوریتم جستجوی ممنوعه

به‌منظور بهبود تابع برازندگی بهترین پاسخ حاصل از آخرین نسل تولیدشده توسط الگوریتم ژنتیک، از الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده گردید. در این رویکرد، چهار نوع حرکت برای جستجوی محلی تعریف شد. این حرکات شامل موارد زیر است:

- حرکت نوع اول: انجام یک جابجایی ژن در بخش اول کروموزوم
- حرکت نوع دوم: انجام یک جابجایی ژن در بخش دوم کروموزوم
- حرکت نوع سوم: حذف یا افزودن یک مرکز توزیع محلی. در این نوع حرکت، اگر مقدار ژن انتخابی صفر باشد، یک آرایه دوبعدی متناسب با ساختار جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک به آن ژن اختصاص می‌یابد؛ در غیر این صورت، مقدار آن صفر می‌شود.
- حرکت نوع چهارم: افزایش یا کاهش موجودی کالا در مرکز توزیع محلی انتخاب‌شده.

در هر تکرار، این حرکات به صورت تصادفی انجام می‌گیرند و هم‌زمان، مقدار برازندگی هر حرکت محاسبه و در لیست‌های مجزایی ذخیره می‌شود تا در لیست ممنوعه مورد استفاده قرار گیرد. تعداد تکرار الگوریتم ۴۰۰۰ و طول لیست ممنوعه ۱۲ در نظر گرفته شده است.

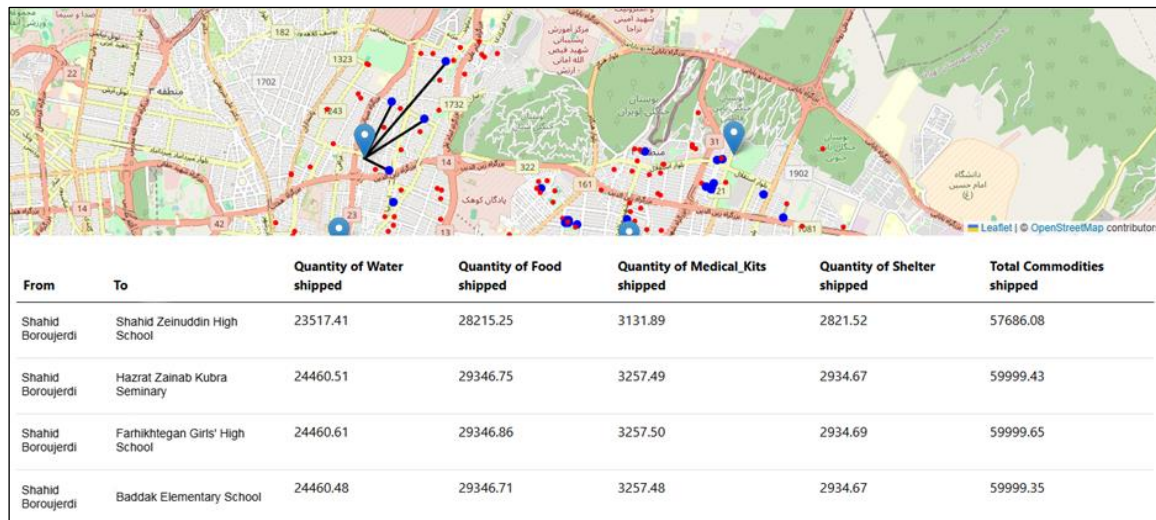
رابط کاربری

رابط کاربری سیستم طراحی شده در این پژوهش از سه مؤلفه اصلی شامل نقشه‌نمایشی، ورودی‌های مدل و بخش جدول گزارش‌ها تشکیل شده است. در بخش ناحیه تحت تأثیر (Affected Area) کاربر قادر است استان موردنظر را که تحت تأثیر بلایای طبیعی قرار گرفته است، از طریق یک منو انتخاب کند. پس از انتخاب استان، منوی City

Model Inputs		
Affected Area	Parameters	Tasks
Region تهران	APR 0.75	Update Data
City تهران	PP(Hours) 16	Create Inputs
District 4	Configuration MC1-Standard	Solve Model

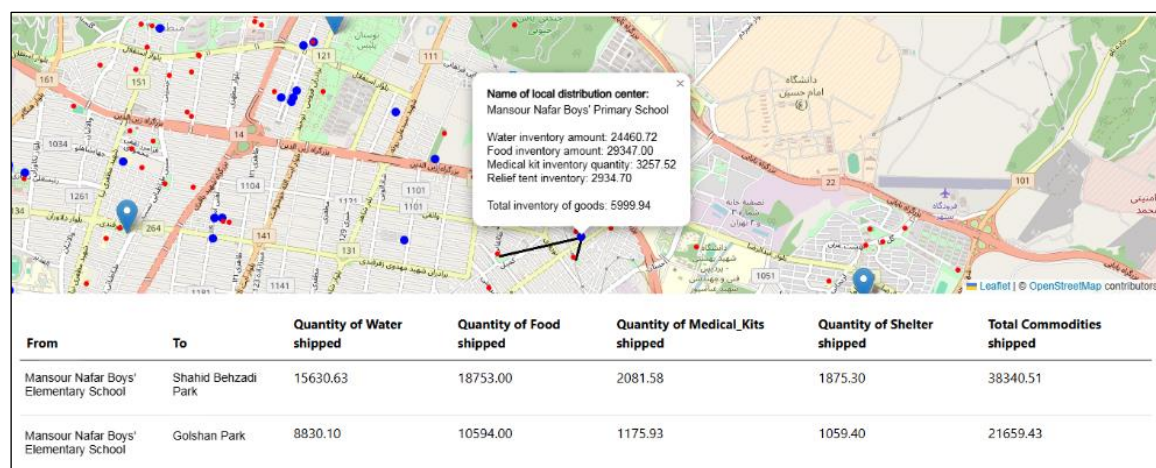
شکل ۴: رابط کاربری تنظیم ورودی‌های مدل

Fig. 4: Model Inputs Setting Interface



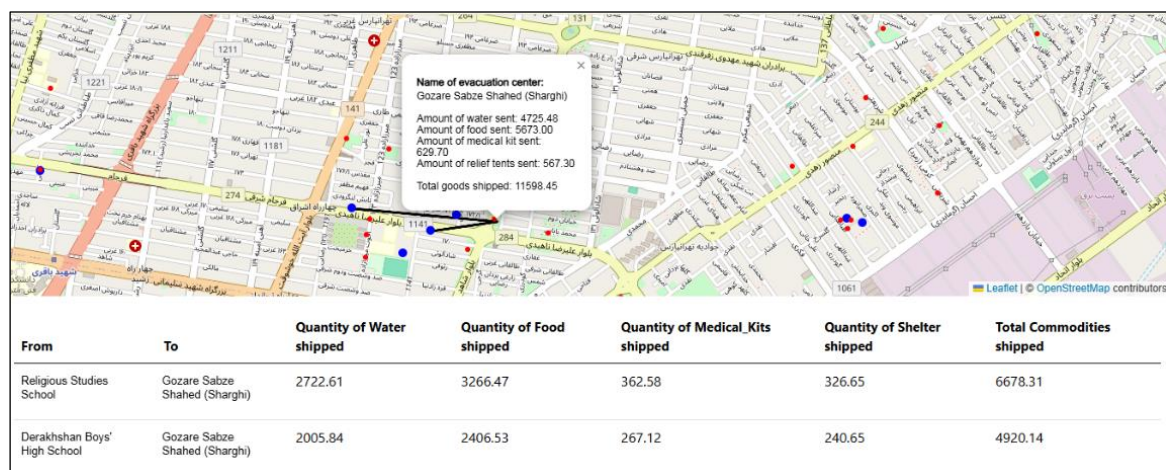
شکل ۵: نمایش بصری و جدول گزارش‌های مربوط به پایگاه امداد کلیک شده

Fig. 5: Visual display and report table for the clicked aid station



شکل ۶: نمایش بصری و جدول گزارش‌های مربوط به مرکز توزیع محلی انتخاب‌شده از روی نقشه

Fig. 6: Visual display and report table for a local distribution center selected from the map



شکل ۷: نمایش بصری و جدول گزارش‌های مربوط به مرکز تخلیه انتخاب‌شده از روی نقشه

Fig. 7: Visual display and report table for the evacuation center selected from the map

بخش Model Reports، شامل پنج دسته گزارش است که سیستم به کاربر ارائه می‌دهد. اولین دسته اطلاعات راه‌حل (Solution Information) نام دارد و در شکل ۸ خلاصه‌ای از جزئیات مرتبط با مدل اجرایی را ارائه می‌دهد.

بخش Model Reports، شامل پنج دسته گزارش است که سیستم به کاربر ارائه می‌دهد. اولین دسته اطلاعات راه‌حل (Solution

Model Reports	
Solution Information	Inventory Decisions Service Decisions Additional inventory Unmet demand
Solution Information	
Solution Status :	Optimal solution found
Iterations :	1000
Solution Time (sec) :	827.2141172885895
Total Distance :	707699.22094056
Total LDC Used :	44
Total Unmet Demand Amount :	0
Total Additional Inventory :	2919.4875936857975

شکل ۸: جدول گزارش کلی از حل مدل
Fig. 8: General report table of model solution

تخصیص یافته را مشاهده کنند. دسته‌های چهارم و پنجم، به ترتیب موجودی مازاد (Additional Inventory) و تقاضای برآورده نشده (Unmet Demand) هستند که در شکل ۱۱ نشان داده شده است. این بخش‌ها، بر اساس نتایج مدل، اطلاعات مربوط به کالاهای اضافی ارسالی یا تقاضاهای برآورده نشده را ارائه می‌دهند. هدف از این گزارش‌ها، مدیریت بهینه ارسال کالاها و اطمینان از برآورده شدن تقاضاها در مراکز توزیع محلی است. این گزارش‌ها، با ارائه جزئیات دقیق در مورد کالاهای ارسالی و دریافتی، نقش مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع ایفا می‌کنند. کاربران می‌توانند از این اطلاعات برای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در زمینه ذخیره‌سازی و توزیع کالاها استفاده کنند.

این اطلاعات شامل تعداد دفعات تکرار الگوریتم، مدت زمان حل مدل، مجموعه فواصل بین مراکز تخصیص یافته، تعداد مراکز توزیع محلی مورد استفاده، میزان تقاضای برآورده نشده و سطح موجودی اضافی کالاها است. دسته دوم، با عنوان تصمیم‌گیری موجودی (Inventory Decision)، اطلاعات مربوط به کالاهای ارسالی از پایگاه‌های امداد (CMD) به مراکز توزیع محلی (LDC) را مطابق شکل ۹ ارائه می‌دهد. این بخش، به کاربران امکان می‌دهد تا از میزان کالاهای موجود در مراکز توزیع محلی آگاهی یابند. دسته سوم، تصمیم‌گیری سرویس (Service Decision) نام دارد و جزئیات کالاهایی را که از مراکز توزیع محلی به مراکز تخلیه (EC) ارسال می‌شوند را مطابق شکل ۱۰ نشان می‌دهد. کاربران با کلیک بر روی سطرهای جداول، می‌توانند اتصالات مراکز

Solution Information		Inventory Decisions	Service Decisions	Additional inventory	Unmet demand	
Inventory Decisions						
CMD Search...		LDC Search...				
CMD Name	LDC Name	Quantity of Water Storage	Quantity of Food Storage	Quantity of Medical_Kits Storage	Quantity of Shelter Storage	Total Commodities Storage
Hakimieh	Miqdad Elementary School	24460.69	29346.96	3257.51	2934.70	59999.86
Hakimieh	Mansour Nafar Boys' High School	24460.72	29347.00	3257.52	2934.70	59999.94
Hakimieh	Bostane Omid Girls' Elementary School	24460.57	29346.82	3257.50	2934.68	59999.57
Shahid Ebadi	Saadi Girls' Government Model First Year High School	24460.56	29346.81	3257.50	2934.68	59999.55
Shahid Ebadi	Nabovvat Girls' First Year High School	24460.74	29347.02	3257.52	2934.70	59999.98
Shahid Ebadi	Ghaffari Boys' High School	24460.62	29346.88	3257.50	2934.69	59999.69
Shahid Ebadi	Ghaffari High School	24460.71	29346.98	3257.51	2934.70	59999.90
Shahid Ebadi	Shahid Aref Nasab Elementary School	24460.50	29346.73	3257.49	2934.67	59999.39
Shahid Ebadi	Religious Studies School	24460.71	29346.98	3257.51	2934.70	59999.90

شکل ۹: جدول گزارش مقدار کالاهای ارسالی از پایگاه امداد به مراکز توزیع محلی (مقدار موجودی مراکز توزیع محلی)
Fig. 9: Table reporting the amount of goods sent from the aid station to local distribution centers (local distribution center inventory amount)

Solution Information		Inventory Decisions	Service Decisions	Additional inventory	Unmet demand	
Service Decisions						
LDC Search...		EC Search...				
LDC Name	EC Name	Quantity of Water shipped	Quantity of Food shipped	Quantity of Medical_Kits shipped	Quantity of Shelter shipped	Total Commodities shipped
Farhang Educational Complex, Region 4	Ostad Khodabakhsh School	1245.25	1494.00	165.83	149.40	3054.48
Farhang Educational Complex, Region 4	Homaye Rahmat School	5334.82	6400.50	710.46	640.05	13085.82
Farhang Educational Complex, Region 4	Khajeh Nasir Park	17880.60	21452.43	2381.22	2145.24	43859.50
Shahid Zeinuddin High School	Rezvan School	776.40	931.50	103.40	93.15	1904.45
Shahid Zeinuddin High School	Pooya School	1999.15	2398.50	266.23	239.85	4903.73
Shahid Zeinuddin High School	Khajeh Nasir Park	11700.31	14037.57	1558.17	1403.76	28699.80
Shahid Zeinuddin High School	Narges Educational Complex	9014.30	10815.00	1200.47	1081.50	22111.27
Shahid Zeinuddin High School	Ferdowsi School	27.24	32.68	3.63	3.27	66.82
Maharat Amoz Elementary School	Hossein Hamed Park	9566.91	11478.00	1274.06	1147.80	23466.77
Maharat Amoz Elementary School	Khajeh Abdullah Ansari High	1861.62	2233.50	247.92	223.35	4566.39

شکل ۱۰: جدول گزارش مقدار کالاهای ارسالی از مراکز توزیع محلی به مراکز تخلیه
Fig. 10: Table reporting the quantity of goods shipped from local distribution centers to discharge centers

Solution Information Inventory Decisions Service Decisions **Additional inventory** Unmet demand

Additional inventory Info					
LDC Name	Amount of excess Water	Amount of excess Food	Amount of excess Medical_kit	Amount of excess Shelter	Total inventory amount
Jelveh Danesh2 Preschool and Elementary School	422.24	506.59	56.23	50.66	1035.72
Narges Art School	767.97	921.38	102.27	92.14	1883.77

شکل ۱۱: جدول گزارش موجودی مازاد مراکز توزیع محلی

Fig. 11: Local Distribution Centers Excess Inventory Report Table

نامحدود در نظر گرفته شده است، درحالی که ظرفیت مراکز توزیع محلی را به ۶۰۰۰۰ واحد محدود کرده ایم. تنظیمات پارامترهای الگوریتم‌ها در جدول ۴ نوشته شده است.

جدول ۴: پارامترهای الگوریتم
Table 4: Algorithm parameters

پارامترها (Parameters)	مقادیر (values)
تعداد جمعیت اولیه (Initial population)	250
تعداد تکرار ژنتیک (Genetic max iteration)	500
تعداد تکرار جستجوی ممنوعه (Tabu search max iteration)	4000
اندازه لیست ممنوعه (tabu list size)	12

نتایج حاصل از بهینه‌سازی در جدول ۵ خلاصه شده است که شامل چهار تابع هدف مختلف است: مجموع فواصل (OF1)، تعداد مراکز توزیع محلی فعال (OF2)، تقاضای برآورده نشده (OF3) و موجودی مازاد (OF4). کدها در محیط برنامه‌نویسی visual studio code و سیستم سخت‌افزاری با پردازنده Intel(R) Core(TM) i5-4210U CPU @ 1.70GHz 2.40GHz و مقدار رم 8.00GB (RAM) اجرا شدند.

جدول ۳: پیکربندی‌های مدل

Table 3: Model configurations

Configuration	ویژگی کلیدی	اثر روی مدل	NT	λ	γ	β
استاندارد (MC1) (Standard)	ضرایب به صورت متعادل تنظیم شده‌اند.	تعادل بین کمینه‌سازی فاصله، کاهش مراکز فعال، تأمین تقاضا و کاهش موجودی مازاد	100	1,000	1	2
بودجه کم (MC2) (Lower budge)	محدودیت روی تعداد مراکز توزیع محلی	کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی و مسافت جابجایی، ولی ممکن است بخشی از تقاضا پوشش داده نشود.	60	1,000	1	2
رضایت کم تقاضا (MC3) (Lower demand satisfaction)	کاهش جریمه تقاضای برآورده نشده	تمایل مدل به پوشش کمتر تقاضا برای کاهش هزینه‌ها، در نتیجه فاصله و موجودی مازاد بهینه‌تر می‌شود.	100	1,000	0.5	2

نتایج و بحث

در این مطالعه، به منظور ارزیابی کارایی سیستم، یک مطالعه موردی در منطقه ۴ شهر تهران ارائه می‌شود. این منطقه به عنوان منطقه‌ای تحت تأثیر بلایای طبیعی در نظر گرفته شده است، با نرخ‌های جمعیت متأثر ۷۵ درصد و ۹۵ درصد. سه پیکربندی مختلف برای این سناریو در نظر گرفته شده است: پیکربندی استاندارد (MC1-Standard)، پیکربندی با بودجه محدود (MC2-Lower Budge) و پیکربندی با رضایت تقاضای پایین (MC3-Lower Demand Satisfaction). در پیکربندی استاندارد، ضرایب به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که بهینه‌سازی توابع هدف به صورت متعادل انجام شود. پیکربندی بودجه کم، تعداد مراکز توزیع محلی را محدود می‌کند، درحالی که پیکربندی رضایت کم تقاضا، هزینه واحد تقاضای برآورده نشده را کاهش می‌دهد. جزئیات این پیکربندی‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

علاوه بر این، پنج دوره زمانی برنامه‌ریزی شامل ۸، ۱۶، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در نظر گرفته شده است. در طراحی سناریوهای شبیه‌سازی، توجه دقیق به نرخ جمعیت تحت تأثیر، بازه‌های زمانی برنامه‌ریزی و تنظیمات مدل ضروری است. به کارگیری مقادیر غیرواقعی برای این پارامترها می‌تواند خروجی‌هایی ایجاد کند که فاقد کارایی عملی باشند؛ برای مثال، بودجه‌هایی بسیار بیشتر یا کمتر از مقادیر متعارف که با شرایط واقعی هم‌خوانی ندارند. در این نمونه مثال، ظرفیت پایگاه‌های امداد،

جدول ۵: معیارهای عملکرد (PMs) برای پیکربندی‌های مختلف مدل (MCs) و دوره‌های برنامه‌ریزی (PPs) برای نرخ جمعیت تحت تأثیر ۷۵٪
 Table 5: Performance Measures (PMs) for Different Model Configurations (MCs) and Planning Periods (PPs) for a Population Rate Affected by 75%

Configuration	PP1 (8h)	PP2 (16h)	PP3 (24h)	PP4 (48h)	PP5 (72h)
MC1-OF1	683,700.68	681,095.50	978,225.36	937,754.36	885,068.36
MC1-OF2	24	26	68	97	97
MC1-OF3	2,994.09	1,637.78	0	1,947,381.70	5,765,291.64
MC1-OF4	2,362.85	227.92	3,129.95	0	0
Solution Time (sec)	626.66	617.33	717.23	770.08	657.76
MC2-OF1	690,169.79	7,870,086.24	763,076.92	379,950.14	326,032.59
MC2-OF2	24	46	60	60	60
MC2-OF3	0	0	348,817.21	4,167,381.70	7,985,291.64
MC2-OF4	1,941.56	2,001.00	0	0	0
Solution Time (sec)	647.12	688.61	684.81	414.93	318.74
MC3-OF1	553,110.01	690,747.38	846,135.64	826,390.77	799,666.27
MC3-OF2	21	43	65	95	97
MC3-OF3	145,056.22	118,573.28	804,90.62	2,067,381.70	5,765,291.64
MC3-OF4	444.18	0	0	0	0
Solution Time (sec)	497.44	616.26	692.24	588.28	583.29

را هبرد بهینه دارد. در دوره‌های برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت (PP1 و PP2)، پیکربندی بودجه کم (MC2) عملکرد بهتری ارائه می‌دهد؛ زیرا با فعال‌سازی مراکز توزیع کمتر، فاصله حمل‌ونقل و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و در عین حال، تقریباً تمام تقاضا را پوشش می‌دهد. در دوره‌های برنامه‌ریزی میان‌مدت (PP3 و PP4)، اگرچه MC2 همچنان در بهینه‌سازی مسافت و هزینه برتری دارد، اما برای حداکثر تأمین تقاضا، پیکربندی استاندارد (MC1) و تا حدی رضایت کم تقاضا (MC3) کارآمدترند، هرچند به بهای افزایش تعداد مراکز فعال و موجودی مازاد. در دوره برنامه‌ریزی بلندمدت (PP5)، انتخاب پیکربندی وابسته به اولویت‌های تصمیم‌گیرنده است: اگر پوشش کامل تقاضا اهمیت بیشتری دارد، MC1 بهترین گزینه است؛ اما اگر هدف اصلی کاهش مسافت جابه‌جایی و هزینه‌های توزیع باشد، MC2 مناسب‌تر است؛ و در حالتی که کنترل موجودی مازاد در اولویت باشد، MC3 عملکرد بهتری ارائه می‌دهد.

در ادامه، با اعمال تنظیمات مشابه جدول ۵، نرخ جمعیت تحت تأثیر را به ۹۵ درصد افزایش دادیم. نتایج حاصل در جدول ۶ نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه این افزایش بر تخصیص منابع است. تفسیر داده‌ها در جدول ۶ نیز مشابه تحلیل‌های ارائه‌شده در جدول ۴ است که نشان‌دهنده الگوها و نتایج مشابه در هر دو مورد است. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که انتخاب پیکربندی بهینه باید متناسب با دوره‌های برنامه‌ریزی و ترجیحات تصمیم‌گیرنده انجام شود: MC1 برای بهینه‌سازی متعادل، MC2 برای واکنش سریع با منابع محدود و MC3 برای شرایطی که مدیریت موجودی مازاد اهمیت بالاتری دارد، عملکرد بهینه‌تری ارائه می‌دهند.

نتایج جدول ۵ برای جمعیتی با ۷۵ درصد تأثیرپذیری محاسبه شده‌اند. با وجود اینکه انتظار می‌رود با افزایش دوره‌های برنامه‌ریزی، تقاضای برآورده نشده افزایش یابد، اما این موضوع به پیکربندی مدل و پارامترهای آن بستگی دارد. با در نظر گرفتن بازه‌های زمانی گسترده‌تر، مقادیر حاصل از ترکیب خطی توابع هدف به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این روند در نتایج پیکربندی اول مشهود است، جایی که با وجود تعداد ثابت مراکز توزیع محلی در بازه‌های زمانی مختلف، مجموع فواصل در دوره ۷۲ ساعته کمتر از ۴۸ ساعت است. این پدیده می‌تواند ناشی از ماهیت احتمالاتی الگوریتم ژنتیک باشد که در جستجوی راه‌حل‌های بهینه، نتایج متغیر و ناپایداری ارائه می‌دهد. باین‌حال، با تکرار بیشتر الگوریتم یا تنظیم دقیق‌تر پارامترها، می‌توان انتظار داشت که این تفاوت‌ها کاهش یافته و مقادیر به یکدیگر نزدیک شوند.

در پیکربندی MC1-OF2، الگوریتم برای بازه زمانی ۸ ساعته، ۲۴ مرکز توزیع را انتخاب می‌کند تا از افزایش بیش‌ازحد تقاضای برآورده نشده جلوگیری شود. در مقابل، پیکربندی سوم، علی‌رغم وجود تقاضای برآورده نشده قابل توجه، تمایلی به گسترش مراکز توزیع برای جبران آن نشان نمی‌دهد. نتایج حاصل، علاوه بر تقاضای برآورده نشده، حاکی از وجود موجودی مازاد نیز هستند. این امر ناشی از ذات الگوریتم حل مدل و تأثیر ضرایب توابع هدف در پیکربندی سیستم است. آزمایش‌ها نشان دادند که الگوریتم ژنتیک به کاررفته در مدل، نقش مؤثری در بهینه‌سازی توابع هدف FO2، FO3 و FO4 دارد، در حالی که الگوریتم جستجوی ممنوعه، بهینه‌سازی تابع هدف FO1 را بهبود می‌بخشد.

در ارزیابی سه پیکربندی مدل (MC1، MC2 و MC3) نتایج (جدول ۴) نشان می‌دهد که دوره‌های برنامه‌ریزی نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب

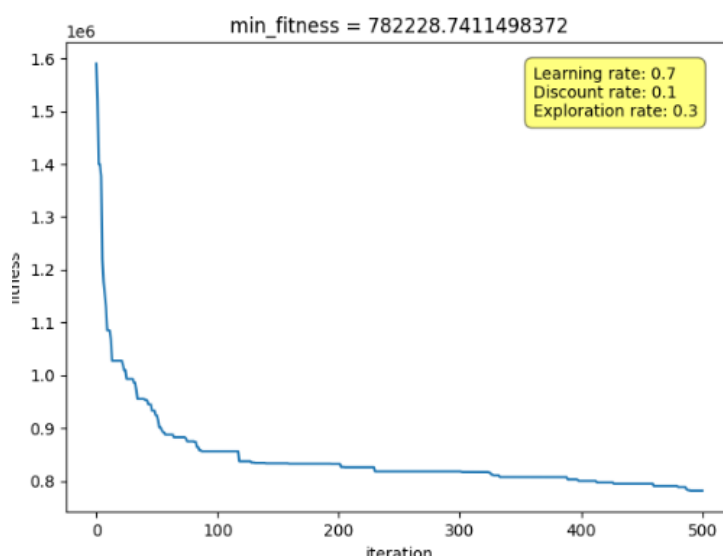
جدول ۶: معیارهای عملکرد (PMs) برای پیکربندی‌های مختلف مدل (MCs) و دوره‌های برنامه‌ریزی (PPs) برای نرخ جمعیت تحت تأثیر ۹۵٪

Table 6: Performance metrics (PMs) for different model configurations (MCs) and planning periods (PPs) for the 95% affected population rate

Configuration	PP1 (8h)	PP2 (16h)	PP3 (24h)	PP4 (48h)	PP5 (72h)
MC1-OF1	718,033.77	901,111.60	1,123,391.90	869,233.47	790,362.44
MC1-OF2	31	59	86	97	97
MC1-OF3	0	0	0	4,018,683.50	8,854,702.74
MC1-OF4	2,228.86	1,744.34	8,479.42	0	0
Solution Time (sec)	582.87	685.83	733.54	582.71	533.10
MC2-OF1	754,463.01	905,279.51	547,994.16	382,413.74	276,165.45
MC2-OF2	30	60	60	60	60
MC2-OF3	0	803.85	1,401,835.16	6,238,683.50	11,074,702.74
MC2-OF4	3158.11	0	0	0	0
Solution Time (sec)	562.73	669.79	516.23	393.10	338.03
MC3-OF1	690,982.99	8,320,93.18	1,021,458.54	790,246.94	669,417.09
MC3-OF2	29	57	82	97	97
MC3-OF3	65,147.06	32,867.67	113,044.46	4,018,683.5	8,854,702.74
MC3-OF4	832.62	0	0	0	0
Solution Time (sec)	589.64	717.50	696.95	666.96	489.63

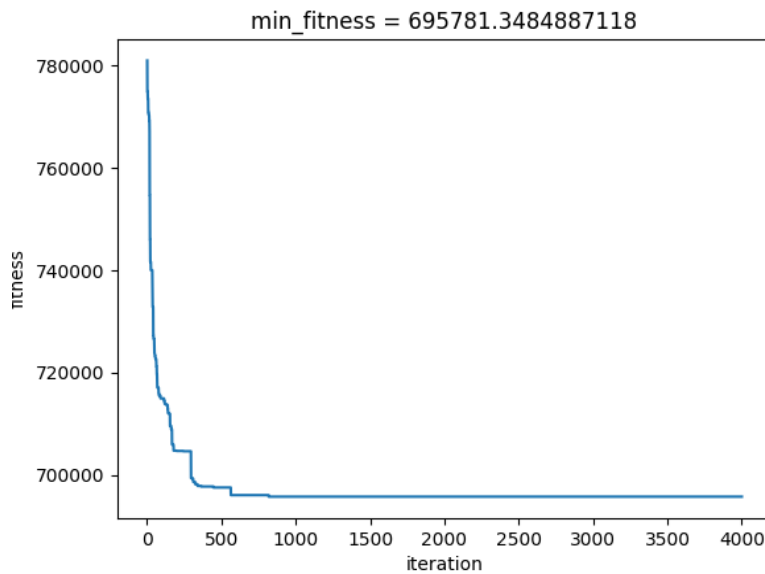
حداقل مقدار برازندگی ۷۸۲,۲۲۸ برسد. این روند نشان‌دهنده توانایی ژنتیک در جستجوی گسترده و تولید یک جواب اولیه مناسب است. در ادامه، الگوریتم جستجوی ممنوعه از همین جواب استفاده کرده و با جستجوی محلی دقیق‌تر، مقدار برازندگی را سریعاً کمینه و تثبیت کرده تا به حداقل مقدار برازندگی ۶۹۵,۷۸۱ برسد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که صحت همگرایی هر دو الگوریتم تأیید می‌شود و ترکیب آن‌ها نشان می‌دهد که ژنتیک در یافتن فضای جواب‌های خوب و جستجوی ممنوعه در بهبود و پالایش نهایی آن‌ها کارآمد است.

به‌منظور اطمینان از صحت عملکرد الگوریتم ترکیبی پیشنهادی، یک نمونه از پیکربندی سیستم (MC1-Standard) به‌صورت مستقل در فایل پایتون اجرا و نتایج آن در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. شکل ۱۲ روند همگرایی الگوریتم ژنتیک و شکل ۱۳ عملکرد الگوریتم جستجوی ممنوعه را در کمینه‌سازی تابع برازندگی نشان می‌دهد. با توجه به این‌که جواب نهایی الگوریتم ژنتیک به‌عنوان نقطه شروع به الگوریتم جستجوی ممنوعه داده شده است، روند همگرایی دو نمودار معنای تکمیلی پیدا می‌کند. الگوریتم ژنتیک ابتدا از یک جمعیت تصادفی حرکت کرده و به‌تدریج مقدار برازندگی را کاهش داده تا به



شکل ۱۲: نمودار تابع برازندگی حاصل از الگوریتم ژنتیک

Fig. 12: Fitness function diagram obtained from the genetic algorithm



شکل ۱۳: نمودار تابع برازندگی حاصل از الگوریتم جستجوی ممنوعه
Fig. 13: Fitness function graph resulting from the forbidden search algorithm

توابع هدف است. مزیت اصلی استفاده از این نوع الگوریتم‌ها پیشنهاد جواب‌های متنوع غیر مغلوب به‌عنوان گزینه‌های انتخاب بیشتر به کاربر برای تصمیم‌گیری در اهداف متضاد است. استفاده از فناوری وب به‌عنوان بستری برای توسعه ابزار تصمیم‌گیری، مزایای قابل‌توجهی را در زمینه انعطاف‌پذیری و بهره‌وری برای کاربران به همراه دارد. این رویکرد، مدیریت داده‌ها و تولید گزارش‌ها را به‌طور چشمگیری بهبود می‌بخشد. تحقیقات آینده می‌تواند بر بهبود و گسترش این سامانه متمرکز باشد. یکی از جنبه‌های قابل توسعه، افزایش توانایی آن در پشتیبانی از طیف وسیع‌تری از تأسیسات و تجهیزات امدادی است. تلفن‌های همراه هوشمند می‌توانند برای جمع‌آوری داده‌ها بلادرنگ فاجعه مؤثر واقع شوند و با ادغام با سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیر تحت وب دقت و سرعت واکنش را در شرایط بحرانی افزایش خواهد داد. چنین ظرفیتی زمانی اهمیت بیشتری می‌یابد که وظایف امدادگران نیز به شکل خودکار در بستر سیستم و با استفاده از تلفن‌های هوشمند تخصیص یابند و هماهنگی میان نیروهای حاضر در صحنه تسهیل شود. از سوی دیگر، کارایی سامانه زمانی دوچندان خواهد شد که موتور تصمیم‌گیری آن به‌صورت پویا عمل کند؛ به این منظور که بتواند در لحظه به تغییرات غیرمنتظره محیطی پاسخ دهد. افزوده شدن لایه‌های تحلیلی مبتنی بر یادگیری ماشین نیز امکان پیش‌بینی دقیق‌تر تقاضای اقلام امدادی را فراهم می‌کند و برنامه‌ریزی را به واقعیت‌های میدانی نزدیک‌تر می‌سازد. در کنار همه این موارد، بهره‌گیری از مدل‌های زبان بزرگ می‌تواند به تحلیل انبوه داده‌های متنی و گزارش‌های غیرساختاریافته مرتبط با بلاای طبیعی کمک کند و اطلاعات سازمان‌یافته‌ای استخراج شود که به‌طور مستقیم در بهبود کیفیت تصمیم‌گیری سامانه به کار رود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش، سامانه‌ای مبتنی بر وب را معرفی می‌کند که به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای بهینه‌سازی تخصیص منابع در عملیات امدادرسانی عمل می‌کند. سامانه مذکور، یک سیستم جامع است که از ترکیب سه عنصر اصلی تشکیل شده است: یک پایگاه داده جامع، یک موتور پردازش تصمیم‌گیری و یک رابط کاربری کاربرپسند. هر یک از این اجزا با استفاده از فناوری‌های نوین و متناسب باهدف طراحی شده و در یک پلتفرم وب یکپارچه ادغام شده‌اند. برای اثبات کارایی سامانه، مطالعه موردی ارائه شده است که در آن، سناریوهای مختلف امدادرسانی شبیه‌سازی شده و سامانه به‌طور موفقیت‌آمیزی تخصیص منابع بهینه را برای هر سناریو ارائه کرده است. الگوریتم‌های استفاده شده در هسته سیستم برای ۳ پیکربندی استاندارد (MC1)، بودجه کم (MC2) و رضایت کم تقاضا (MC3) در ۵ دوره زمانی ۸، ۱۶، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته اجرا شدند و نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل در هر یک از این پیکربندی‌ها عملکردی سازگار با انتظارات داشته و توانسته است خروجی‌های قابل قبولی ارائه دهد. کاربران می‌توانند با توجه به شرایط عدم قطعیت پس از بحران، پیکربندی‌ها و سناریوهای مختلف را تعریف کرده و مدل را بر اساس آن‌ها اجرا و درمورد نتایج آن تصمیم‌گیری کنند. نحوه تعریف پیکربندی برای عملکرد بهتر مدل نیازمند دانش و دقت بسیار زیادی است که باعث شده این مورد به چالش اصلی این تحقیق تبدیل شود. همچنین الگوریتم‌های بکار گرفته شده در این تحقیق نیازمند تحلیل‌ها و ارزیابی‌های بیشتر برای سنجش حساسیت و پایداری‌شان نسبت به پارامترهای متغیر مدل هستند. از این‌رو پیشنهاد ما برای تحقیقات در زمینه بهینه‌سازی با اهداف متضاد، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه نظیر NSGA-II برای چالش تعیین ضرایب اهداف در پیکربندی‌های مختلف سیستم جهت ترکیب خطی

[9] Aghsami A, Sharififar S, Markazi Moghaddam N, Hazrati E, Jolai F, Yazdani R. Strategies for humanitarian logistics and supply chain in organizational contexts: pre-and post-disaster management perspectives. *Systems*. 2024;12(6):215. <https://doi.org/10.3390/systems12060215>

[10] Salam MA, Khan SA. Lessons from the humanitarian disaster logistics management: A case study of the earthquake in Haiti. *Benchmarking: An International Journal*. 2020;27(4):1455–73. <https://doi.org/10.1108/BIJ-04-2019-0165>

[11] Saïah F, Vega D, Kovács G. Toward a common humanitarian supply chain process model: the Frontline Humanitarian Logistics Initiative. *International Journal of Operations & Production Management*. 2023;43(13):238–69. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2023-0054>

[12] Florez JV, Luras M, Okongwu U, Dupont L. A decision support system for robust humanitarian facility location. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2015;46:326–35. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.06.020>

[13] Balcik B, Beamon BM, Krejci CC, Muramatsu KM, Ramirez M. Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. *International Journal of production economics*. 2010;126(1):22–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.09.008>

[14] Boostani A, Jolai F, Bozorgi-Amiri A. Designing a sustainable humanitarian relief logistics model in pre-and postdisaster management. *International Journal of Sustainable Transportation*. 2021;15(8):604–20. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1773975>

[15] Munyaka J-CB, Yadavalli VSS. Using transportation problem in humanitarian supply chain to prepositioned facility locations: a case study in the Democratic Republic of the Congo. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2021;12(1):199–216. <https://doi.org/10.1007/s13198-020-01031-5>

[16] Safeer M, Anbuudayasankar S, Balkumar K, Ganesh K. Analyzing transportation and distribution in emergency humanitarian logistics. *Procedia Engineering*. 2014;97:2248–58. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.469>

[17] da Costa SRA, Campos VBG, de Mello Bandeira RA. Supply chains in humanitarian operations: cases and analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2012;54:598–607. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.777>

[18] Fikar C, Gronalt M, Hirsch P. A decision support system for coordinated disaster relief distribution. *Expert Systems with Applications*. 2016;57:104–16. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.03.039>

[19] Park J, Cullen R, Smith-Jackson T, editors. Designing a decision support system for disaster management and recovery. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*; 2014: SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA. <https://doi.org/10.1177/1541931214581416>

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه عزیزی که ما را در این تحقیق یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

تعارض منافع

«هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع و مآخذ

[1] Paton D, Smith L, Violanti J. Disaster response: risk, vulnerability and resilience. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2000;9(3):173–80. <https://doi.org/10.1108/09653560010335068>

[2] Lee J, Xu JZ, Sohn K, Lu W, Berthelot D, Gur I, et al. Assessing post-disaster damage from satellite imagery using semi-supervised learning techniques. *arXiv preprint arXiv:201114004*. 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.14004>

[3] Modiri M, Eskandari M, Hasanzadeh S. Multi-objective modeling of relief items distribution network design problem in disaster relief logistics considering transportation system and CO2 emission. *Scientia Iranica*. 2022. <https://doi.org/10.24200/sci.2022.57132.5080>

[4] Cavdur F, Sebatli-Saglam A, Kose-Kucuk M. A spreadsheet-based decision support tool for temporary-disaster-response facilities allocation. *Safety science*. 2020;124:104581. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104581>

[5] Aliakbari A, Rashidi Komijan A, Tavakkoli-Moghaddam R, Najafi E. A new robust optimization model for relief logistics planning under uncertainty: a real-case study. *Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies & Applications*. 2022;26(8). <https://doi.org/10.1007/s00500-022-06823-4>

[6] Durugbo CM, Al-Balushi Z. Supply chain management in times of crisis: a systematic review. *Management Review Quarterly*. 2023;73(3):1179–235.

[7] Tickle M, Hannibal C. The use of technological innovations in promoting effective humanitarian aid: A systematic review of the literature. *International Journal of Technology and Human Interaction (IJTHI)*. 2022;18(1):1–14. <https://doi.org/10.4018/IJTHI.293204>

[8] Ahmadi M, Seifi A, Tootooni B. A humanitarian logistics model for disaster relief operation considering network failure and standard relief time: A case study on San Francisco district. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2015;75:145–63. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.01.008>

management. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management. 2020;10(2):205–30.
https://doi.org/10.1108/JHLSCM-07-2019-0043

[32] Schätter F, Wiens M, Schultmann F. A new focus on risk reduction: an ad hoc decision support system for humanitarian relief logistics. Ecosystem Health and Sustainability. 2015;1(3):1–11. https://doi.org/10.1890/ehs14-0020.1

[33] Cavdur F, Kose-Kucuk M, Sebatli A. Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2016;19:159–66.
https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.08.009

[34] Quevedo J, Abdelatti M, Imani F, Sodhi M, editors. Using reinforcement learning for tuning genetic algorithms. Proceedings of the genetic and evolutionary computation conference companion; 2021.
https://doi.org/10.1145/3449726.3463203

[20] Cavdur F, Sebatli A. A decision support tool for allocating temporary-disaster-response facilities. Decision Support Systems. 2019;127:113145.
https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113145

[21] Rye S, Aktas E. A multi-attribute decision support system for allocation of humanitarian cluster resources based on decision makers' perspective. Sustainability. 2022; 14(20): 13423. https://doi.org/10.3390/su142013423

[22] Laguna-Salvadó L, Luras M, Okongwu U, Comes T. A multicriteria Master Planning DSS for a sustainable humanitarian supply chain. Annals of Operations Research. 2019;283(1):1303–43.
https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.06.020

[23] Kondaveti R, Ganz A, editors. Decision support system for resource allocation in disaster management. 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; 2009: IEEE.
https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5332498

[24] Su M-D, Wen T-H, editors. Spatial decision support system for irrigation demand planning. Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges; 2001.
https://doi.org/10.1061/40569(2001)359

[25] Lahmar B, Dridi H, Akakba A. A GIS-BASED MULTICRITERIA SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEM MODEL TO HANDLE HEALTH FACILITIES RESOURCES. CASE OF CRISIS MANAGEMENT IN BATNA, ALGERIA. Geographia Technica. 2020;15(1).
https://doi.org/10.21163/GT_2020.151.16

[26] Alabbad Y, Mount J, Campbell AM, Demir I. A web-based decision support framework for optimizing road network accessibility and emergency facility allocation during flooding. Urban Informatics. 2024;3(1):10.
https://doi.org/10.1007/s44212-024-00040-0

[27] Maharjan R, Hanaoka S. Fuzzy multi-attribute group decision making to identify the order of establishing temporary logistics hubs during disaster response. Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management. 2019;9(1):2–21.
https://doi.org/10.1108/JHLSCM-02-2018-0013

[28] Salvadó LL, Luras M, Comes T, editors. Sustainable Performance Measurement for Humanitarian Supply Chain Operations. ISCRAM; 2017.

[29] Sahebjamnia N, Torabi SA, Mansouri SA. A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains. Decision Support Systems. 2017;95:12–26.
https://doi.org/10.1016/j.dss.2016.11.006

[30] Jana S, Majumder R, Menon PP, Ghose D, editors. Decision support system (DSS) for hierarchical allocation of resources and tasks for disaster management. Operations Research Forum; 2022: Springer.
https://doi.org/10.1007/s43069-022-00148-6

[31] Di Pasquale V, Fruggiero F, Iannone R. A numerical approach for inventory pre-positioning in emergency

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



امیر پروینی ایشان دانشجوی کارشناسی ارشد رشته سیستم‌های اطلاعات مکانی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشند. ایشان مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۴۰۲ از دانشگاه تهران اخذ نمودند و حوزه فعالیت ایشان بهینه‌سازی می‌باشد. در حال حاضر مشغول پژوهش بر روی موضوع بهینه‌سازی لجستیک بشردوستانه بعد از بحران هستند.

Parvini, A. Master of Science Student in the Department of Geospatial Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

 amir.parvini@email.kntu.ac.ir



علی اصغر آل شیخ ایشان استاد تمام گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشند. ایشان دارای مدرک دکترای تخصصی در رشته مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) از دانشگاه کلگری کانادا در سال ۱۳۷۷ می‌باشند. همچنین

جوایز و افتخارات متعددی برای مشارکت‌های صنعتی علمی و دانشگاهی کسب کرده‌اند. مقالات بسیاری در مجلات معتبر خارجی و داخلی توسط ایشان در زمینه‌های مختلف همچون سیستم‌های اطلاعات مکانی، GIS تحت وب، مکان‌یابی، هوش مصنوعی، Health GIS و ... به چاپ رسیده است.

Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
✉ alesheikh@kntu.ac.ir

Alesheikh, A. Full Professor at the Department of Geospatial
Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics

Citation (Vancouver): Parvini A, AleSheikh A.A. [Design and Development of an Intelligent Web-Based Spatial Decision Support System for Optimal Allocation of Local Disaster Response Centers]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2025; 3(2): 345-362

 <https://doi.org/10.22061/jrsg.2025.12658.1116>



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/>)