

Designing a Financial Management-Based Decision-Making Model for Evaluating Cost-Efficiency and Optimal Resource Allocation in the Deployment of Military Forces for Humanitarian Missions Using Data Envelopment Analysis

Masoud Vaseei¹, Nader Shamami^{2*}, Omid Veisi³

¹ Department of Science and Technology, University of Command and Staff, Tehran, Iran

^{2*} Department of Science and Technology, University of Command and Staff, Tehran, Iran (Corresponding author), Email: n.shamami@casu.ac.ir

³ Department of Industrial Engineering, Imam Ali Officer University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received:30/07/2026

Received in revised form:03/09/2026

Accepted:20/10/2026

Available online:20/10/2026

Keywords:

Smart financial management
Data Envelopment Analysis (DEA)
bootstrap, financial resource allocation
performance-based budgeting
military force deployment
humanitarian missions

ABSTRACT

In humanitarian missions conducted under crisis conditions with limited financial resources, the allocation and utilization of the budget for deploying military forces play a decisive role in the speed, coordination, and effectiveness of relief operations. However, data uncertainty, cost fluctuations, and the impact of uncontrollable environmental factors complicate the accurate assessment of unit cost-efficiency, often leading to overly optimistic financial estimates. This research aims to design a decision-making model based on intelligent financial management. By integrating a three-stage Data Envelopment Analysis (DEA), bootstrap simulation, and expert-based weighting via the SWARA method, the model evaluates the efficiency of converting financial resources into relief outputs across three phases: deployment, response, and rescue. In this model, inputs are categorized based on their accessibility (natural vs. managerial) and controllability, while economic, social, and environmental dimensions are simultaneously incorporated. Results from a real-world crisis management scenario indicate that, using deterministic data, only two out of the nine units under evaluation lie on the efficiency frontier; after applying the bootstrap method, this number decreases to one. Furthermore, compared to the CCR model—which identifies five units as efficient—the proposed model identifies only two as efficient, thereby preventing the overestimation of efficiency and the subsequent misallocation of budget. Furthermore, a version based on the principle of free disposability has been developed for non-convex structures. The SWARA results indicate that environmental degradation and response time take precedence over deployment costs, highlighting the need to shift from a focus solely on cost minimization toward a "value-for-cost" approach. Finally, through a sensitivity analysis of inefficient units, strategies are proposed for the targeted reallocation of financial resources, performance-based budgeting, and the enhancement of transparency and financial accountability within humanitarian missions.

Article Type: Research Paper



©Authors

Cite: Vaseei, M., Shamami, N. & Veisi, O. (2026). Designing a Financial Management-Based Decision-Making Model for Evaluating Cost-Efficiency and Optimal Resource Allocation in the Deployment of Military Forces for Humanitarian Missions Using Data Envelopment Analysis. *Journal of Intelligent Financial Management*, 2(3), 407-426.

Journal of Intelligent Financial Management,
2026, Vol. 2, No.3, pp. 407- 426

Publish by:

Tolou-e Binsh-e Ayandeh Scientific Institute

<https://doi.org/10.25843/JIFM.2025.8563.228036>

طراحی مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر مدیریت مالی برای ارزیابی کارایی هزینه‌ای و تخصیص بهینه منابع در استقرار نیروهای نظامی در مأموریت‌های بشردوستانه با تحلیل پوششی داده‌ها

مسعود واسعی^۱، نادر شمامی^{۲*}، امید ویسی^۳

۱ - گروه علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران

۲ و ۳ - گروه علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران (نویسنده مسئول): ایمیل نویسنده مسئول: n.shamami@casu.ac.ir

۳ - گروه مهندسی صنایع، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۲۸

کلیدواژه‌ها:

مدیریت مالی هوشمند

تحلیل پوششی داده‌ها

بوت‌استرپ

تخصیص منابع مالی

بودجه‌ریزی مبتنی بر عملکرد

استقرار نیروهای نظامی

مأموریت‌های بشردوستانه

چکیده

در مأموریت‌های بشردوستانه که در شرایط بحران و با منابع مالی محدود انجام می‌شوند، نحوه تخصیص و مصرف بودجه استقرار نیروهای نظامی نقشی تعیین‌کننده در سرعت، هماهنگی و اثربخشی عملیات امدادی دارد. با این حال، عدم قطعیت اطلاعات، نوسان هزینه‌ها و تأثیر عوامل محیطی خارج از کنترل، ارزیابی دقیق کارایی هزینه‌ای یگان‌ها را دشوار می‌سازد و تصمیمات مالی را در معرض برآوردهای خوش‌بینانه قرار می‌دهد. هدف این پژوهش طراحی یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر مدیریت مالی هوشمند است که با تلفیق تحلیل پوششی داده‌های (DEA) سه‌مرحله‌ای، شبیه‌سازی بوت‌استرپ و وزن‌دهی خبره‌محور به روش SWARA، کارایی تبدیل منابع مالی به خروجی‌های امدادی را در سه مرحله استقرار، پاسخگویی و نجات ارزیابی کند. در این مدل، ورودی‌ها بر اساس اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی به هزینه‌ها و منابع قابل کنترل و غیرقابل کنترل تفکیک شده و ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌طور هم‌زمان لحاظ شده‌اند. نتایج در یک سناریوی واقعی مدیریت بحران نشان می‌دهد که با داده‌های قطعی تنها دو واحد از نه واحد تحت ارزیابی در مرز کارایی قرار دارند و پس از اعمال بوت‌استرپ این تعداد به یک واحد کاهش می‌یابد؛ همچنین مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل CCR که پنج واحد را کارا معرفی می‌کند، تنها دو واحد را کارا تشخیص می‌دهد و بدین ترتیب از فراتر خیمین کارایی و در نتیجه تخصیص نادرست بودجه جلوگیری می‌کند. افزون بر این، برای ساختارهای نامحذب نسخه‌ای مبتنی بر اصل دسترسی‌پذیری آزاد ارائه شده است. نتایج SWARA نیز نشان داد که تخریب محیط زیست و زمان پاسخگویی بر هزینه استقرار اولویت دارند که لزوم گذار از کمینه‌سازی صرف هزینه به رویکرد «ارزش در برابر هزینه» را نشان می‌دهد. در پایان، با تحلیل حساسیت واحدهای ناکارا، راهکارهایی برای بازتخصیص هدفمند منابع مالی، بودجه‌ریزی مبتنی بر عملکرد و ارتقای شفافیت و پاسخگویی مالی در مأموریت‌های بشردوستانه ارائه شده است.

نوع مقاله: پژوهشی



© نویسندگان

استناد: واسعی، مسعود و شمامی، نادر و ویسی، امید. (۱۴۰۵). طراحی مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر مدیریت مالی برای ارزیابی کارایی هزینه‌ای و تخصیص بهینه منابع در استقرار نیروهای نظامی در مأموریت‌های بشردوستانه با تحلیل پوششی داده‌ها. مدیریت مالی هوشمند، ۳(۳)، ۴۰۷-۴۲۶.

نشریه مدیریت مالی هوشمند، ۱۴۰۵، دوره ۲، شماره ۳، صفحه ۴۰۷-۴۲۶.

ناشر: موسسه علمی طلوع بینش آینده

<https://doi.org/10.25843/JIFM.2025.8563.228036>

۱. مقدمه

بسیاری از بلایا غیرقابل پیش بینی هستند که باعث تلفات سنگین، خسارات مالی، آسیب به محیط زیست محیطی و آسیب های اجتماعی جدی شده اند یا احتمالاً منجر به آن می شوند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). تصمیم گیری برای تخصیص مکان پناهگاه بر موفقیت واکنش در بلایا و تأمین امنیت لازم برای قربانیان تأثیر می گذارد. برای مثال، بحرانی که اخیراً دنیا را تحت شعاع خود قرار داده است و در اواخر سال ۲۰۱۹ که در چین ویروس جدید کووید-۱۹ منتشر شد، دنیا را در یک بحران شدت سخت قرار داد که باعث مرگ و میر بیشتر از هر سال در دهه های قبل شده است (جهانگیری و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، بر اساس داده های آماری بلایای طبیعی گزارش شده توسط مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی، بلایای طبیعی مانند زلزله و سیل در کنار تمام بحران های ساخته شده توسط انسان شایع ترین فاجعه بوده که باعث شده ۵۱۱۰ نفر کشته شده است (کرید، ۲۰۱۹). در این میان، لجستیک بشردوستانه نقش مهمی در تسهیل فرآیندهای مدیریت بلایا و تخلیه قربانیان از مناطق آسیب دیده به مکان های امن و با برنامه ریزی، ذخیره و توزیع تجهیزات کمکی برای کمک به قربانیان در زمان، مکان مناسب و هزینه مناسب ایفا کند (جهانگیری و همکاران، ۲۰۲۱). این در حالی است که منابع محدود یک مشکل بزرگ در زنجیره تأمین بشردوستانه ایجاد می کند. در هنگام وقوع گسترده بحران، بی انصافی است که به یک منطقه اولویت بیشتری داده شود و کل تقاضای آن خدمات بیشتر را دریافت کند. در همین حال، منطقه دیگری به دلیل کمبود عرضه، کمتر از سهم منصفانه خود دریافت نماید (یوفریدو و هارجانا، ۲۰۱۹). بنابراین، تصمیم گیری های اخلاقی برای تصمیم گیرندگان چالش برانگیز است. اما، زمانی که بسته های معیشتی برای ارضای همه تقاضاها کافی نیستند، این شرایط نیازمند رویکرد تخصیصی مناسب است که بتواند اقلام امدادی را به گونه ای به مناطق آسیب دیده تخصیص دهند که اولویت یکسانی برای برآوردن نیازهای بخش های مختلف جمعیت آسیب دیده در نظر گرفته شود (گوپتا و رانگانتان، ۲۰۰۶). با توجه به این واقعیت که مناطق مختلف نیازهای متفاوتی دارند، رفتار منصفانه به عنوان برخورد در تحقق میزان تقاضا یا مقابله با میزان کمبود در تقاضا تعریف می شود. بنابراین، با استفاده از زنجیره تأمین بشردوستانه پس از وقوع یک فاجعه، لجستیک اضطراری لازم است که کالاهای امدادی را در تمام نقاط بحران در یک رویه عادلانه توزیع کند (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۵). در اینصورت به همان نسبت تقاضا باید اقلام یا کالاهای امدادی به نقاط آسیب دیده مورد تقاضا اختصاص یابد. به عبارت دیگر، اگر منابع امدادی محدود باشد، ممکن است بهتر باشد بخشی از نیازهای مناطق آسیب دیده به جای برآورده کردن کامل تقاضاهای یک نقطه تقاضا و نادیده گرفتن کامل آن در نقطه دیگر، ارجح باشد (آناپا و همکاران، ۲۰۱۸).

وقوع فاجعه های طبیعی و انسانی همچون سیلاب ها، زلزله، فوران آتش فشان سیر صعودی را در جوامع بشری نشان می دهند. گستردگی و شدت فاجعه ها و اثرات آن ها به حدی است که صدمات فراوانی را به جان و مال انسان ها وارد می کند و این خود باعث توجه فراوانی در سطح جهان برای رویاروی با این فجایع شده است. مدیریت زنجیره تأمین، شامل تمامی فعالیت هایی است که برای پیوند بین تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مشتریان به کار می رود تا کالاها به مقدار مناسب و در زمان مناسب با حداقل هزینه های سیستم و حداکثر کردن سطح خدمت دهی به مشتری، تولید و توزیع شوند. زنجیره تأمین بشردوستانه، نوعی خاص از زنجیره تأمین می باشد با ویژگی های منحصربه فرد که آن را از زنجیره تأمین های تجاری متمایز می سازد. عملکرد این زنجیره تأمین در فجایع نقش بسیار مهمی در کنترل و کاهش تأثیرات فجایع دارد. عملیات بشردوستانه با حفظ زندگی و کاهش آلام مردم جوامع در بحران ها انجام می گیرد. این عملیات شامل تهیه مواد و کمک های فنی به همراه ارائه خدمات ضروری در موقعیت های بحرانی است که توانایی جوامع برای تهیه این اقلام به شدت محدود می شود. عملیات بشردوستانه با هدف کسب سود نیست. عملیات بشردوستانه ماهیت موقتی داشته و به هدف بازیابی مجدد و خودکفایی جوامع آسیب دیده انجام می گیرد (جهانگیری و همکاران، ۲۰۲۱).

بنابر تعریف سازمان بهداشت جهانی (WHO)، بحران رخدادی است که به نابودی، آسیب، اختلال زیست محیطی، مرگ یا آزار انسان ها، کاهش سلامت یا خدمات سلامت در آن گستره جمعیتی بیانجامد که نیازمند یاری رسانی از جوامع خارج از ناحیه آسیب دیده است. به بیان دیگر، وقوع یک بحران در هم شکستن ناگهانی ارتباط و پیوستگی انسان با محیط است. هر سال بیش از ۵۰۰ بحران زمین ما را تهدید می کند که به کشته شدن ۷۵۰۰۰ نفر و اثرگذاری بر بیش از ۲۰۰ میلیون نفر دیگر می انجامد. در اغلب بحران های موجود آمده منجر به تقاضایی انبوه می شود که از منابع در دسترس پیشی می گیرد. این پیش گرفتن تقاضا باعث می شود تا تهیه و آماده سازی مواد و منابع امدادی برای افراد آسیب دیده با مشکلاتی روبرو شود که در نهایت عدم موفقیت کامل در فرآیند برنامه ریزی، مدیریت و کنترل جریان این منابع برای یاری رسانی به آسیب دیدگان را تحت تأثیر قرار دهد. پشت موفقیت

هر برنامه کمک و امداد بشردوستانه، فرآیندهای لجستیکی و زنجیره تأمین قرار دارد. این زنجیره تأمین باید رویدادهای غیرمنتظره ای را پاسخ داد و برای برآورده کردن نیازهای موفقیت های مشخص و مجزا پیکربندی شوند. در بین تمامی حوزه های زنجیره تأمین بشردوستانه، ارزیابی عملکرد اهمیت خاصی دارد و نسبت به دیگر حوزه ها کمتر به آن توجه شده است. این در حالی است که از بین سازمان های فعال در زمینه بشردوستانه، تنها ۴۵ درصد به بحث ارزیابی عملکرد پرداخته اند و از این بین تنها ۲۰ درصد بطور مستمر عملکرد تمام فعالیت های خود را ارزیابی می کنند. بنابراین، با ارائه سنجش عملکرد اثربخش، عملکرد امدادی بهبود پیدا می کند و شفافیت پاسخگویی در عملیات امدادی افزایش می یابد. در اینصورت سازمان های امدادی با ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین بشردوستانه خود در فاجعه های سپری شده درک مناسبی از این زنجیره تأمین بدست می آورند و از اطلاعات حاصل از ارزیابی زنجیره تأمین خود برای بهبود عملکرد زنجیره تأمین فجایع آتی بازخورد مناسبی بدست می آورند.

در شرایط بحران، مانند بلایای طبیعی یا درگیری های نظامی، نیاز به انجام عملیات های بشردوستانه به منظور ارائه کمک های فوری به آسیب دیدگان و نجات جان انسان ها به شدت احساس می شود. در این راستا، واحدهای نظامی به عنوان نهادهای کلیدی در تأمین امنیت و تسهیل عملیات های بشردوستانه، باید به طور مؤثری موضوعی شوند تا بتوانند به بهترین نحو ممکن به نیازهای انسانی پاسخ دهند. با توجه به پیچیدگی های موجود در شرایط بحران و نیاز به پاسخ سریع و مؤثر، بهینه سازی موضوعی واحدهای نظامی به یک چالش اساسی تبدیل شده است (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۲۴). تحلیل پوششی داده ها تکنیکی است که به طور ویژه به بررسی کارایی واحدهای تحت ارزیابی می پردازد. منظور از یک واحد تحت ارزیابی این است که در آن با استفاده از تعدادی ورودی، تعداد معینی خروجی تولید شود. کارایی چگونگی استفاده یک سازمان از بهترین عملکرد خود را در مقطعی از زمان را بیان می کند (پییرس، ۱۹۹۷). معمولاً مفهوم کارایی با دو واژه اثربخشی و بهره وری اشتباه می شود. اثربخشی میزان تطابق فعالیت یک سازمان با اهداف تعیین شده آن را بیان می کند. اما بهره وری ترکیبی از کارایی و اثربخشی است. در تفاوت دو مفهوم کارایی و بهره وری دو نکته وجود دارد. اولاً؛ کارایی به عنوان معیاری در مقیاس صفر و یک است و برحسب درصد بیان می شود در حالی که بهره وری می تواند بیشتر از یک باشد. دوماً؛ بهره وری در ارتباط با تک تک عوامل مانند بهره وری نیروی انسانی یا سرمایه محاسبه می شود اما کارایی به عنوان معیاری کلی از ترکیب ورودی ها و خروجی ها باید بدست آید (مهرگان، ۱۳۹۵). روش های اندازه گیری کارایی به طور کلی در دو دسته پارامتری و غیرپارامتری تقسیم می شوند. در روش های پارامتری با استفاده از روش های مختلف آماری و اقتصادسنجی تخمین زده می شوند و سپس با بکارگیری این تابع نسبت به تعیین کارایی اقدام می شود. اما در روش های ناپارامتری به تخمین تابع تولید نیاز ندارند. تحلیل پوششی داده ها یکی از روش های ناپارامتری برای اندازه گیری کارایی واحدها است. تحلیل پوششی داده ها روشی مبتنی بر برنامه ریزی خطی است که توانایی اندازه گیری کارایی نسبی واحدها با چندین ورودی و چندین خروجی مشابه را دارد. روش تحلیل پوششی داده ها ابتدا به منظور اندازه گیری کارایی معرفی شد ولی پس از مدتی مورد توجه متخصصان در حوزه تصمیم گیری چندمعیاره قرار گرفت و به یکی از تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره پذیرفته شد؛ به این ترتیب که گزینه های ارزیابی شده به یک DMU فرض می شوند و با در نظر گرفتن معیارهای منفی به عنوان ورودی و معیارهای مثبت به عنوان خروجی واحدهای تصمیم گیری، مدل های DEA مربوطه حل می شوند.

موضوع یابی فعالیتی است که قابلیت ها و توانایی های یک منطقه را از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر کاربری ها جهت انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهد. مکان یابی خدمات علاوه بر تأثیرگذاری بر هزینه ها، در کارایی، بهره برداری و نیز کیفیت آن ها مؤثر است. مسائل مکان یابی در فضای گسسته شامل تعیین مکان یک یا چندین تسهیل در یک یا چند مکان بالقوه است تا هزینه تأمین نیازهای مشتریان را کمینه کند. به علت ظرفیت محدود تسهیلات، مساله تخصیص اغلب باید در ارتباط با مساله مکان یابی حل شود. مدل های مکان یابی-تخصیص ۳ همزمان به دنبال تعیین مکان بهینه تسهیلات و تخصیص مشتریان به تسهیلات منتخب هستند. به عبارتی، مساله مکان یابی-تخصیص، استقرار مجموعه ای از تسهیلات جدید است به گونه ای که هزینه حمل و نقل از تسهیلات به مشتریان حداقل شود و تعداد بهینه ای از تسهیلات برای ارضای تقاضای مشتریان، در منطقه مورد نظر مستقر شود. اهداف، محدودیت ها و متغیرهای مسائل مکان یابی با توجه به هدف مکان یابی و نوع مساله مورد بررسی متفاوت است.

¹ Data envelopment analysis (DEA)

² Decision Making Unit (DMU)

³ Location-Allocation

دو رویکرد کلی برای کاربرد بحث کارایی در مسائل موضع یابی وجود دارد. در رویکرد اول، مسأله موضع یابی مورد نظر به صورت یک مسأله گسسته تصمیم گیری چندمعیاره در نظر گرفته می شود که در آن هدف انتخاب کاراترین موضع یا موضع ها از میان نقاط کاندید موجود برای تعداد معینی تسهیل است. رویکرد دوم، برای تعیین موضع یا موضع های مناسب از مدل های ریاضی مکان یابی استفاده می شود. مدل های موضع یابی مذکور به صورت سلسله مراتبی یا همزمان در مدل های تحلیل پوششی داده ها ادغام شده و به تعیین مکان های کارا منجر می شوند. در عملیات های بشردوستانه ای که نیروهای نظامی در آن ها نقش آفرینی می کنند، تصمیم استقرار یگان ها صرفاً یک تصمیم عملیاتی نیست، بلکه در اصل یک تصمیم مالی و تخصیص سرمایه به شمار می رود؛ زیرا هر الگوی استقرار، بخش قابل توجهی از بودجه محدود بحران را در قالب هزینه های جابه جایی، پشتیبانی، تجهیزات، نیروی انسانی و مصرف منابع متعهد می کند. با این حال، در عمل، بودجه استقرار نیروها اغلب بر پایه تجربه فرماندهان، سهمیه بندی های سنتی و اطلاعات ناقص میدانی تخصیص می یابد و ارزیابی هزینه-عملکرد یگان ها نیز معمولاً پس از پایان مأموریت، به صورت مقطعی و بدون پیوند نظام مند با چرخه بودجه ریزی بعدی انجام می شود. پیامد این وضعیت، تخصیص نامتوازن منابع مالی محدود، تکرار الگوهای استقرار پرهزینه و کم بازده، ضعف در شفافیت و پاسخگویی مالی و ناتوانی در اثبات «ارزش در برابر هزینه» منابع صرف شده برای ذی نفعان و نهادهای تأمین مالی است.

در پاسخ به این مسئله، رویکرد مدیریت مالی هوشمند مطرح می شود؛ رویکردی که در آن فرآیندهای برنامه ریزی مالی، بودجه ریزی، تخصیص منابع و کنترل هزینه با ابزارهای تحلیلی داده محور، مدل های کمی ارزیابی کارایی و دانش خبرگان پشتیبانی می شود تا سازمان بتواند منابع محدود را بر پایه شواهد به مؤثرترین کاربردها هدایت کند، بازده هر واحد هزینه را به صورت مستمر پایش نماید و در صورت بروز انحراف، بودجه را به سرعت بازتخصیص دهد. ویژگی های محیط بحران، یعنی عدم قطعیت بالای داده ها، نوسان هزینه ها، تأثیر عوامل محیطی خارج از کنترل فرماندهان، تعدد معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و ضرورت تصمیم گیری سریع، به کارگیری چنین رویکردی را در مدیریت مالی استقرار نیروهای نظامی ضروری می سازد. بنابراین، مسئله اصلی این پژوهش آن است که چگونه می توان با تلفیق تحلیل پوششی داده های سه مرحله ای، شبیه سازی بوت استرپ و وزن دهی خبره محور به روش SWARA، مدلی تصمیم گیری طراحی کرد که به عنوان موتور تحلیلی نظام مدیریت مالی هوشمند عمل کند؛ میان هزینه ها و ورودی های قابل کنترل مدیریتی و عوامل غیرقابل کنترل محیطی تمایز قائل شود؛ منشأ اتلاف منابع را در هر مرحله از زنجیره امداد آشکار سازد و مبنایی قابل اتکا برای بودجه ریزی مبتنی بر عملکرد و بازتخصیص منابع مالی میان یگان ها فراهم آورد.

براساس موارد اشاره شده در بالا، هدف این تحقیق توسعه یک مدل بهینه سازی برای موضع یابی واحدهای نظامی در عملیات های میدانی بشردوستانه است که با استفاده از تحلیل پوششی داده ها، به شناسایی و ارزیابی کارایی گزینه های مختلف موضع یابی کمک کند. این مدل می تواند به تصمیم گیرندگان کمک کند تا با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، بهترین گزینه ها را برای استقرار واحدهای نظامی انتخاب کنند و در نتیجه، تأثیر بیشتری در ارائه کمک های بشردوستانه داشته باشند. این مدل در چارچوب مدیریت مالی هوشمند طراحی شده است؛ به این معنا که نتایج ارزیابی کارایی صرفاً برای رتبه بندی یگان ها به کار نمی رود، بلکه به عنوان بازخوردی داده محور به چرخه برنامه ریزی، بودجه ریزی، تخصیص و کنترل منابع مالی مأموریت باز می گردد و مشخص می کند هزینه های استقرار در کدام یگان و کدام مرحله بیشترین بازده امدادی را ایجاد می کنند.

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش، طراحی یک مدل تصمیم گیری مبتنی بر مدیریت مالی هوشمند برای ارزیابی کارایی هزینه ای و بهینه سازی تخصیص منابع مالی در استقرار نیروهای نظامی در مأموریت های بشردوستانه است.

اهداف فرعی پژوهش عبارت اند از:

- ۱) تدوین یک چارچوب ارزیابی سه مرحله ای (استقرار، پاسخگویی و نجات) که کارایی تبدیل منابع مالی به خروجی های امدادی را با لحاظ هم زمان ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی پایداری بسنجد؛
- ۲) تفکیک هزینه ها و ورودی های مدیریت پذیر از غیرمدیریت پذیر بر اساس اصول دسترسی پذیری مدیریتی و طبیعی، به منظور شناسایی اقلام هزینه ای قابل کنترل و اهرم های صرفه جویی در اختیار مدیران مالی و فرماندهان؛
- ۳) افزایش اعتبار و دقت برآورد کارایی در شرایط عدم قطعیت با بهره گیری از شبیه سازی بوت استرپ، تا تصمیمات بودجه ای بر پایه برآوردهای واقع بینانه و نه خوش بینانه اتخاذ شوند؛

۴) اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی نیروهای نظامی با روش SWARA و تلفیق دانش خبرگان با شواهد داده‌محور، به‌منظور تعیین جایگاه معیار هزینه در کنار معیارهای پاسخگویی و پایداری؛

۵) ارائه راهکارهایی برای بازتخصیص منابع مالی یگان‌های ناکارا، استقرار بودجه‌ریزی مبتنی بر عملکرد و ارتقای شفافیت و پاسخگویی مالی در مأموریت‌های آتی.

۲. مرور ادبیات

تعیین محل تخصیص تسهیلات برای مقابله با بلایا از موضوعات مهم در تصمیم‌گیری لجستیک بشردوستانه است. در مطالعات پیشین، اغلب از مدل‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه و روش‌های محاسباتی چندهدفه برای بهبود کارایی تدارکات امدادی استفاده شده و تسهیلاتی مانند پناهگاه، مراکز پزشکی، انبار و مراکز توزیع در نظر گرفته شده‌اند (بونمی و همکاران، ۲۰۱۷). بخشی از پژوهش‌ها نیز بر قضاوت ذهنی تصمیم‌گیرندگان تکیه دارند (رو و همکاران، ۲۰۱۸؛ رو و همکاران، ۲۰۱۳). مرور ادبیات نشان می‌دهد که اکثر مدل‌ها بر بهینه‌سازی سوددهی یا غیرسوددهی تمرکز داشته و روش‌هایی همچون برنامه‌ریزی آرمانی وزن‌دار و تابع هدف وزن‌دار به‌منظور حل مسائل چندهدفه استفاده شده‌اند؛ روش‌هایی که در لجستیک بشردوستانه می‌توانند منجر به خطا در اولویت‌بندی معیارها شوند. نمونه‌هایی از این مطالعات شامل مدل‌های تک‌هدفه کاهش تعداد پناهگاه‌ها (اوزبای و همکاران، ۲۰۱۹)، حداقل‌سازی هزینه (پرانیتفولکرانگ و هوین، ۲۰۲۰) و حداکثرسازی رضایت تصمیم‌گیرندگان (کانون و همکاران، ۲۰۱۰) است. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های گسترده‌تری در این حوزه انجام شده است. از جمله: مدل چندهدفه مکان‌یابی تحت عدم‌قطعیت (ماهارجان و هانائوکا، ۲۰۱۹)، شناسایی عوامل موفقیت زنجیره تأمین بشردوستانه (آبیشک بهل و همکاران، ۲۰۱۹)، برنامه‌های بهبود عملیات در پاندمی (دورا و کومار، ۲۰۲۰)، ارزیابی قابلیت اطمینان لجستیک اضطراری (جیانگ و همکاران، ۲۰۲۰)، و ارائه راه‌حل‌های غلبه بر موانع زنجیره تأمین بشردوستانه (آگاروال و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین، مدل‌های دوهدفه تحت عدم‌قطعیت برای زنجیره‌های امدادی (آقاجانی و همکاران، ۲۰۲۰)، مدل‌های توزیع چندوجهی (مغفیرو و همکاران، ۲۰۲۰) و مدل‌های کاهش قربانیان و تقاضای برآورده‌نشده (منصوری و همکاران، ۲۰۲۰) ارائه شده‌اند. پژوهش‌هایی همچون صبحی و همکاران (۲۰۲۰) نیز مدل‌های تصادفی دو مرحله‌ای برای مکان‌یابی و مسیریابی توسعه داده‌اند. در ادامه، مدل‌های چندهدفه مبتنی بر سناریو و رویکردهای استوار فازی برای تخصیص منابع و مسیریابی در شرایط بحران مطرح شده است (ممشلی و همکاران، ۲۰۲۱). ارزیابی عناصر زنجیره تأمین بیمارستانی با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (جهانگیری و همکاران، ۲۰۲۱)، مدل مسیریابی خون‌رسانی در زلزله (رضایی و همکاران، ۲۰۲۱)، زمان‌بندی و مسیریابی آمبولانس‌های پیوند عضو (آل‌هاشم و همکاران، ۲۰۲۲)، و مکانیابی انبارهای اضطراری تحت عدم‌قطعیت (ونگ و همکاران، ۲۰۲۱) نیز از دیگر مطالعات این حوزه‌اند. تحقیقات جدیدتر شامل مدل‌های دو سطحی و سه‌هدفه برای حداقل‌سازی تقاضای برآورده‌نشده، هزینه و ریسک زیست‌محیطی (کائو و همکاران، ۲۰۲۱)، تحلیل عوامل موفقیت پایدار در زنجیره تأمین هنگام کووید-۱۹ (سونو راجاک و همکاران، ۲۰۲۱)، بررسی پایداری در زنجیره تأمین پزشکی (پاتیل و همکاران، ۲۰۲۱)، الگوریتم‌های مکانیابی مبتنی بر تراکم محلی (شائو هانگ و همکاران، ۲۰۲۲)، مکانیابی مراکز اضطراری با مدل‌های چندهدفه و الگوریتم‌های ازدحام ذرات (پنگ و همکاران، ۲۰۲۲)، و مدل‌های چندسطحی توزیع بسته‌های معیشتی (نریمانی و همکاران، ۲۰۲۳) است. همچنین مدل‌های چندهدفه امداد رسانی پس از بلایا با تأکید بر نارضایتی اجتماعی و اثرات زیست‌محیطی نیز توسعه یافته‌اند (شکیبایی و همکاران، ۲۰۲۴). پژوهش‌های اخیر نیز به بهینه‌سازی مکان‌یابی زباله‌های پزشکی (کائو و همکاران، ۲۰۲۴)، مدل‌های استوار برای تخصیص منابع در بلایا (لی و همکاران، ۲۰۲۴)، و برنامه‌ریزی دوسطحی برای به حداقل رساندن تقاضای برآورده‌نشده و ریسک محیطی (نریمانی و همکاران، ۲۰۲۴) پرداخته‌اند.

۲-۱. شکاف تحقیق

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که با وجود گستردگی پژوهش‌ها در حوزه لجستیک و زنجیره تأمین بشردوستانه، چند خلأ اساسی همچنان باقی است. نخست، بخش عمده این مطالعات بر بهینه‌سازی عملیاتی تصمیمات مکان‌یابی، تخصیص و مسیریابی تمرکز داشته‌اند و تصمیم استقرار را به‌صورت مسئله‌ای منفرد و ایستا بررسی کرده‌اند؛ در حالی که پیوند این تصمیمات با چرخه بودجه‌ریزی، تخصیص منابع مالی و کنترل هزینه سازمان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. دوم، در مطالعاتی که از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی استفاده کرده‌اند، ارزیابی اغلب به‌صورت مقطعی و با مدل‌های کلاسیک تک‌مرحله‌ای انجام شده و نتایج آن به‌عنوان بازخوردی نظام‌مند برای بازطراحی راهبرد به کار گرفته نشده است. سوم، مدل‌های رایج معمولاً میان ورودی‌های

قابل کنترل مدیریتی و عوامل محیطی غیرقابل کنترل تمایزی قائل نمی‌شوند و در نتیجه نمی‌توانند مشخص کنند کدام بخش از ناکارایی با تصمیمات فرماندهی قابل اصلاح است. چهارم، حساسیت نتایج DEA به نمونه و عدم قطعیت داده‌های میدانی در بسیاری از مطالعات کمتر مورد توجه بوده و خاصیت فراتخمینی این مدل‌ها، اعتبار تصمیمات راهبردی مبتنی بر آن‌ها را کاهش داده است. پنجم، رویکردهای داده‌محور و خبره‌محور غالباً به صورت جداگانه به کار رفته‌اند و تلفیق آن‌ها در قالب یک نظام پشتیبان تصمیم هوشمند، به‌ویژه در حوزه استقرار نیروهای نظامی در مأموریت‌های بشردوستانه، کمتر مشاهده می‌شود. پژوهش حاضر با ارائه یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر مدیریت مالی هوشمند که DEA سه مرحله‌ای مبتنی بر اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی، شبیه‌سازی بوت‌استرپ و روش SWARA را تلفیق می‌کند، در صدد پوشش این خلأهاست.

۳. روش تحقیق

ایده اصلی روش تخمین ارزیابی عملکرد و محصولات پایدار از طریق شبیه‌سازی بوت‌استرپ، شبیه‌سازی عددی داده‌های واقعی و محاسبه کارایی داده‌های شبیه‌سازی شده است که الهام گرفته از مطالعه سینک و همکاران (۲۰۱۹) می‌باشد. در این مطالعه برخلاف مطالعه سینک و همکاران (۲۰۱۹) که عملیات شبیه‌سازی بوت‌استرپ را با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های سنتی CCR انجام داده است، یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر ترکیب اصول دسترسی‌پذیری طبیعی، مدیریتی و آزاد ارائه شده است. برای جزئیات متدولوژی مربوطه، مراحل زیر را در نظر می‌گیریم.

- گام اول: برای هر DMU که دارای X_k ورودی و Y_k خروجی است با استفاده از یک مدل مناسب DEA با توجه به ماهیت و شکل ساختاری اصلی سیستم، امتیاز کارایی $\hat{\theta}_k$ را به دست می‌آوریم.
- گام دوم: با استفاده از مقدار $\hat{\theta}_k$ برای هر DMU با استفاده از بوت‌استرپ، امتیاز کارایی تصادفی $\theta_{1b}^*, \dots, \theta_{nb}^*$ محاسبه می‌شود.

- گام سوم: مقدار شبیه‌سازی را برای (X_{kb}, Y_{kb}, Z_{kb}) را بصورت رابطه $X_{kb} = \left(\hat{\theta}_k / \theta_{nb}^* \right) \cdot X_k$ ، $Y_{kb} = \left(\hat{\theta}_k / \theta_{nb}^* \right) \cdot Y_k$ ، $Z_{kb} = \left(\hat{\theta}_k / \theta_{nb}^* \right) \cdot Z_k$ براساس معادله سینک و همکاران (۲۰۱۹) محاسبه می‌کنیم.

- گام چهارم: برای هر نمونه شبیه‌سازی شده مجدداً باید روش DEA را برای محاسبه امتیاز کارایی θ_{bk}^* بکار بگیریم.
- گام پنجم: با تکرار مراحل دوم تا چهارم به اندازه B مرتبه، ما با یک گروه از امتیاز تخمین زده شده θ_{bk}^* روبرو خواهیم بود.

۳-۱. چارچوب پیشنهادی تحلیل کارایی مبتنی بر اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی

ایده اصلی روش تخمین ارزیابی عملکرد از طریق شبیه‌سازی بوت‌استرپ، شبیه‌سازی عددی داده‌های واقعی و محاسبه کارایی داده‌های شبیه‌سازی شده است. با توجه به اینکه مدل پیشنهادی براساس دو اصل دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی ساخته شده است، برای جزئیات مدل پیشنهادی مبتنی بر اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی، مراحل زیر را در نظر می‌گیریم. پیش از معرفی مراحل، به معرفی این دو اصل می‌پردازیم.

– اصل دسترسی‌پذیری طبیعی: بر طبق اصل دسترسی‌پذیری طبیعی، یک DMU بردار ورودی‌هایش را کاهش می‌دهد تا بردار خروجی‌ها را افزایش دهد. در اینصورت، با کاهش در ورودی‌ها، یک DMU قادر خواهد بود بردار خروجی‌های مطلوب خود را تا حد ممکن افزایش دهد. این اصل در حقیقت، به یک تطابق منفی معروف است. براساس این اصل یک بده بستان بین توسعه اقتصادی و عوامل محیطی وجود دارد. در این نوع از دسترسی‌پذیری، یک DMU برای اندازه‌گیری کارایی سعی در دستیابی به مرزی کارا برای خروجی‌ها و ورودی‌های مطلوب دارد.

– اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی: بر طبق این اصل، برخلاف دسترسی‌پذیری طبیعی، نشان می‌دهد که یک DMU بردار ورودی‌ها را افزایش می‌دهد یا در سطح جاری نگه می‌دارد تا بردار خروجی‌های مطلوب را افزایش و نامطلوب را کاهش دهد. بنابراین، برطبق این اصل، با افزایش یا ثابت نگه داشتن ورودی در یک DMU، بردار خروجی‌های مطلوب را تا حد ممکن تحت فناوری جدید و یا مدیریت جدید افزایش می‌دهیم. در این تحقیق استفاده از دسترسی‌پذیری مدیریتی را به عنوان قابلیت‌ای که سازگاری

مثبتی با تغییر در تنظیم شرایط عمل می‌کند، در نظر می‌گیریم. دسترسی پذیری مدیریتی اغلب با سرمایه‌گذاری در امکانات موجود باعث افزایش خروجی مطلوب و حفظ عملکرد سیستم می‌شود که مورد تأیید برخی از سازمان‌ها است. در این تحقیق، در حقیقت بدنبال این هستیم تا با اعمال تأثیر مستقیم همزمان هر دو اصل دسترسی پذیری طبیعی و مدیریتی با ساخت تکنولوژی جدید به ارزیابی کارایی اقدام نماییم. در جدول ۱، ورودی‌ها و خروجی‌های مدل پیشنهادی برای ساخت تکنولوژی پیشنهادی معرفی شده است.

جدول ۱. معرفی شاخص‌های پایداری در زنجیره تأمین پیشنهادی

جنبه پایداری	شاخص	نوع رابطه
اقتصادی	هزینه استقرار واحدها	ورودی
اجتماعی	زمان پاسخ‌گویی به مناطق آسیب‌دیده	ورودی
	رضایت جوامع محلی از عملکرد نیروهای نظامی	خروجی
محیط زیستی	مصرف منابع طبیعی	ورودی
	میزان انتشار CO ₂ و آلاینده‌ها	خروجی
	میزان کاهش تخریب محیط‌زیست در اثر استقرار بهینه	میانی

برای هر DMU که دارای X_k ورودی و Y_k خروجی است با استفاده از یک مدل مناسب DEA با توجه به ماهیت و شکل ساختاری اصلی سیستم امتیاز کارایی $\hat{\theta}_k$ را به دست می‌آوریم.

در این تحقیق فرض می‌شود با ثابت نگهداشتن برخی ورودی‌های خاص (دسته ورودی‌های مدیریتی) مخالف فرض سنتی در تحلیل پوششی داده‌ها، خروجی‌های مطلوب افزایش داده شود. همچنین، ورودی‌های غیرمدیریت پذیر را که تحت کنترل مدیریت نیستند را مطابق با اصل طبیعی در تحلیل پوششی داده‌ها کاهش می‌دهیم. به منظور ارزیابی تحلیل پوششی داده‌ها در این تحقیق J واحد تحت ارزیابی DMU در نظر گرفته شده است. هر DMU_j که $j = 1, \dots, J$ است، دارای m ورودی $X_j = x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ مصرف می‌کند تا r خروجی مطلوب $Y_j = y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{rj}$ تولید کند. بر طبق طبقه‌بندی سویوشی و گوتو^۱ (۲۰۱۰) ورودی‌ها را در دو دسته مدیریت پذیر و غیرمدیریت پذیر طبقه‌بندی می‌کنیم. ورودی‌های غیرمدیریت پذیر شامل مواردی هستند که برای ایجاد خروجی کاهش می‌یابند. همچنین، با ثابت نگهداشتن ورودی‌های مدیریت پذیر $x_{qj}^M (q = 1, \dots, Q)$ که مواردی هستند که قادرند به منظور از بین بردن خروجی‌های نامطلوب و به طور همزمان برای افزایش خروجی‌های مطلوب بهبود یابند.

بنابراین، با تعریف ذکر شده، تکنولوژی جدید این امکان را دارد که با رعایت موارد فوق قادر باشد اولاً ورودی‌های مدیریت‌پذیر را در راستای بهبود خروجی‌ها بر طبق اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی ثابت نگه دارد و ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر را براساس اصل طبیعی کاهش می‌دهیم. بنابراین، در ساخت تکنولوژی جدید از طریق افزایش خروجی مطلوب، کاهش ورودی غیرمدیریت پذیر و همچنین ثابت نگهداشتن ورودی‌های مدیریت پذیر می‌توانیم به واحد کارا برسیم. در جدول ۲ کلیه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسأله در حالت کلی تعریف شده است.

¹ Sueyoshi and Goto

جدول ۲. نمادگذاری

نماد	توضیحات
مجموعه ها	
P	مجموعه ورودی های غیرمدیریت پذیر
Q	مجموعه ورودی های مدیریت پذیر
R	مجموعه خروجی های مطلوب
K	مجموعه عناصر میانی مرحله اول (خروجی از مرحله اول)
A	مجموعه خروجی های نامطلوب
J	مجموعه DMU ها (واحدهای تحت ارزیابی)
D	مجموعه ورودی های اختصاصی
K'	مجموعه عناصر میانی مرحله اول به دوم (ورودی به مرحله دوم)
K''	مجموعه عناصر میانی مرحله دوم (خروجی از مرحله دوم)
ورودی ها، خروجی ها و میانی ها	
x_{qj}^M	ورودی مدیریتی q ام DMU j (حقوق و دستمزد)
x_{pj}^N	ورودی غیرمدیریتی p ام DMU j (هزینه خرید مواد)
y_{rj}	خروجی مطلوب r ام DMU j
$z_{kk'}$	عنصر میانی خروجی از مرحله k به مرحله k'
y_{wj}	خروجی نامطلوب w ام DMU j
h_{dj}	ورودی d ام اختصاصی مرحله دوم DMU j
$p_{k''K}$	عنصر میانی خروجی از مرحله k'' به مرحله K
λ_j	قیمت سایه ورودی و خروجی های DMU j
Θ	مقدار تابع هدف (ضریب تعدیل ورودی ها)

انتخاب ورودی و خروجی ها در مطالعات تحلیل پوششی داده ها، یکی از مهمترین گام های ارزیابی کارایی به روش DEA است. انتخاب نادرست متغیرها، نتایج ارزیابی را بی اعتبار می کند. بنا به این دلیل، برای انتخاب ورودی ها و خروجی های این پژوهش، دو نکته مهم در انتخاب ورودی و خروجی ها در کانون توجه قرار داده شده است. امکان دسترسی و جمع آوری داده ها در خصوص متغیرهای پژوهش، استفاده از نظرات متخصصان و اساتید دانشگاهی صاحب نظر در حوزه مطالعاتی. در اینصورت با رعایت موارد فوق تکنولوژی جدید برای ساخت ناحیه شدنی بصورت معادلات ۱ تا ۱۱ کارایی کلی فرمول بندی می شود.

کارایی کلی زنجیره تأمین بشردوستانه:

$$\min \theta \quad (۱)$$

s. t.

First stage

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 x_{pj}^N \leq \theta x_{pk}^N ; p = 1, \dots, P \quad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 x_{qj}^M = x_{qk}^M ; q = 1, \dots, Q \quad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 z_{kj} \geq z_{k'k} ; k = 1, \dots, K \quad (۴)$$

Second stage

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 w_{aj} \leq \theta w_{ak} ; a = 1, \dots, A \quad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 z_{k'j} \leq z_{k'k} ; k' = 1, \dots, K' \quad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 h_{dj} \geq h_{dk} ; d = 1, \dots, D \quad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 p_{k''j} \geq p_{k''k} ; k'' = 1, \dots, K'' \quad (۸)$$

Third Stage

$$\sum \lambda_j^3 y_{rj} \geq y_{rk} ; r = 1, \dots, R \quad (۹)$$

$$\sum \lambda_j^3 p_{k''j} \leq p_{k''k} ; k'' = 1, \dots, K'' \quad (۱۰)$$

$$\lambda_j^f \geq 0 ; \theta \text{ unrestricted} ; f = 1, 2, 3 \quad (۱۱)$$

در رابطه (۱) تابع هدف بدست آوردن حداقل مقدار ورودی ها برای قرار گرفتن روی مرز کارایی می باشد. (۲) معادله اول غیرمدیریتی پذیر را کاهش می دهیم. رابطه (۳) معادله دوم، $\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 x_{qj}^M = x_{qk}^M$ مربوط به ورودی های غیرمدیریتی پذیر است. این محدودیت این قابلیت را به مسأله اضافه می کند تا هزینه های مربوط به عوامل مدیریتی تحت کنترل مدیریت به طور ثابت باقی بماند. این محدودیت کاهش در بردار ورودی ها، در جهت افزایش خروجی های مطلوب و کاهش همزمان خروجی های نامطلوب طبق فرض سنتی تحلیل پوششی داده ها را نادیده می گیرد. نامعادله (۴)، $\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 z_{kj} \geq z_{k'k}$ بیان می کند که عنصر میانی $z_{k'k}$ که خروجی مرحله اول است. معادله (۵)، $\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 w_{aj} \leq \theta w_{ak}$ تضمین می کند که خروجی نامطلوب در سیستم تا حد امکان کاهش نماید؛ یا در صورتی که توانایی کاهش در آن وجود ندارد، در سطح موجود باقی بماند. معادله (۶) $\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 z_{k'j} \leq z_{k'k}$ بیان می کند که عنصر میانی $z_{k'k}$ که خروجی مرحله اول است به عنوان ورودی مرحله دوم در نظر گرفته شود. معادله (۷) $\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 h_{dj} \geq h_{dk}$ ورودی اختصاصی مرحله دوم را نشان می دهد که مطابق با اصل دسترسی پذیری مدیریتی با آن رفتار می شود و درصدد افزایش آن بر می آیم. معادله (۸) $\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 p_{k''j} \geq p_{k''k}$ ورودی میانی $p_{k''k}$ که خروجی مرحله دوم است را نشان می دهد. معادله (۹)، $\sum \lambda_j^3 y_{rj} \geq y_{rk}$ منعکس کننده دسترسی پذیری طبیعی برای خروجی های مطلوب در ناحیه شدنی است. معادله (۱۰)، $\sum \lambda_j^3 p_{k''j} \leq p_{k''k}$ تضمین می کند که $p_{k''k}$ به عنوان ورودی مرحله سوم در نظر گرفته می شود. در رابطه ۱۱، حدود متغیرهای در نظر گرفته شده نشان داده شده است.

قضیه ۱: شدنی بودن معادلات (۱) تا (۱۰)

لم: برای اثبات شدنی بودن مدل پیشنهادی باید نشان دهیم که به ازای حداقل یک جواب تمامی مقادیر $\lambda_j^1 x_{1j}^N, \lambda_j^1 x_{1j}^M, \lambda_j^2 w_{1j}$ ، $\lambda_j^3 y_j$ ، شدنی است.

اثبات: یک جواب مانند مجموعه جواب $\theta = 1; \lambda_o^f = 1; \lambda_j^f = 0$ برای واحد تحت بررسی o در نظر می گیریم. با توجه به اینکه این جواب در تمام قیدهای مسأله صدق می کند، پس مسأله حداقل یک جواب شدنی دارد.

قضیه ۲: در معادلات (۱) تا (۱۰) همواره $\theta^* \leq 1$ است.

لم (برهان خلف): فرض می کنیم جواب بهینه بزرگتر از ۱ است.

اثبات: فرض می کنیم به ازای $\theta = 1$ و همه λ ها برابر صفر بجز واحد تحت ارزیابی برابر یک جواب شدنی وجود دارد. یعنی $\lambda_j^f = 0; \lambda_o^f = 1; \theta = 1 \forall j \neq o$. این جواب در تمام محدودیت ها صدق می کند و به زبان ریاضی یک جواب شدنی است. با توجه به $\min$ بودن تابع هدف در هر تکرار مینیمم سازی، مقدار تابع هدف کاهش می یابد و مقدار $\theta^* = 1$ محاسبه شده است

بنابراین وجود جواب بهینه بزرگتر از یک برای θ با در نظر گرفتن جواب شدنی $\theta = 1$ تناقض و خلاف مینیمم سازی است. در نتیجه فرض خلف باطل و قضیه ثابت می شود که $\theta^* \leq 1$ است.

تعریف ۱: در مجموعه معادلات (۱۰ تا ۱۰) اگر مقدار $\theta^* = 1$ باشد و همچنین، یکی از متغیرهای کمکی $s_i^+ \neq 0$ یا s_i^- باشد مدل دارای جواب کارای ضعیف است.

تعریف ۲: در مجموعه معادلات (۱۰ تا ۱۰) اگر مقدار $\theta^* = 1$ باشد و همچنین، همه متغیرهای کمکی $s_i^+ = 0$ و s_i^- باشد مدل دارای جواب کارای قوی است.

۳-۲. اولویت بندی عوامل مؤثر بر مکان یابی نیروهای نظامی در شرایط بحران

روش SWARA یا «تحلیل نسبت ارزیابی وزن دهی تدریجی» یکی از روش های تصمیم گیری چندمعیاره است که هدف آن محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارهاست. عملکرد این روش مشابه روش های بهترین-بدترین، آنتروپی شانون و لینمپ است که در محاسبه وزن معیارها به کار می روند. در روش SWARA، معیارها بر اساس ارزش و اهمیتشان رتبه بندی می شوند؛ به این صورت که به مهم ترین معیار رتبه نخست و به کم اهمیت ترین معیار رتبه آخر اختصاص داده می شود. در این روش، خبرگان (پاسخ دهندگان) نقش مهمی در تعیین وزن معیارها ایفا می کنند. ویژگی اصلی این روش، امکان برآورد نسبت اهمیت معیارها توسط کارشناسان و خبرگان در فرایند تعیین وزن آنهاست. این روش برای گردآوری و هماهنگ سازی اطلاعات به دست آمده از کارشناسان و خبرگان سودمند است. به کارگیری این تکنیک ساده است و کارشناسان حوزه های مختلف به راحتی می توانند با هدف اصلی آن ارتباط برقرار کنند. روش SWARA شامل گام های زیر است:

گام ۱: اولویت بندی اولیه شاخص ها

در این گام، ابتدا لازم است شاخص ها بر اساس اهمیت نسبی شان اولویت بندی شوند. برای این منظور، ابتدا ماتریس تصمیم را به روش نرم خطی بی مقیاس می کنیم و سپس با محاسبه میانگین نسبی هر ستون، اهمیت نسبی هر شاخص را به دست می آوریم.

$$D = \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1m} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (14)$$

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & \cdots & n_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{1m} & \cdots & n_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

اگر ماتریس (۱۲) ماتریس تصمیم مسئله مورد نظر باشد، مقادیر نرمال شده با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می شوند و ماتریس نرمال شده مطابق ماتریس (۱۴) به دست می آید. سپس با استفاده از رابطه (۱۵) و محاسبه میانگین هر ستون، مقدار اهمیت نسبی هر شاخص را محاسبه می کنیم.

گام ۲: تعیین ضریب k

برای تعیین مقدار ضریب k از رابطه (۱۶) استفاده می شود. بر اساس این رابطه، مقدار k برای شاخص نخست برابر با ۱ است و برای سایر شاخص ها، یک واحد به وزن نسبی به دست آمده افزوده می شود.

$$k_j = \begin{cases} 1 & \text{if } j = 1 \\ \lambda_j + 1 & \text{if } j > 1 \end{cases} \quad (16)$$

گام ۳: تعیین وزن اولیه

در گام سوم، وزن اولیه هر یک از شاخص‌ها مطابق رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود.

$$q_j = \begin{cases} 1 & \text{if } j = 1 \\ \frac{q_j}{k_j} & \text{if } j > 1 \end{cases} \quad (17)$$

گام ۴: تعیین وزن نهایی شاخص‌ها

وزن نهایی هر شاخص مطابق رابطه (۱۸) تعیین می‌شود.

(۱۸)

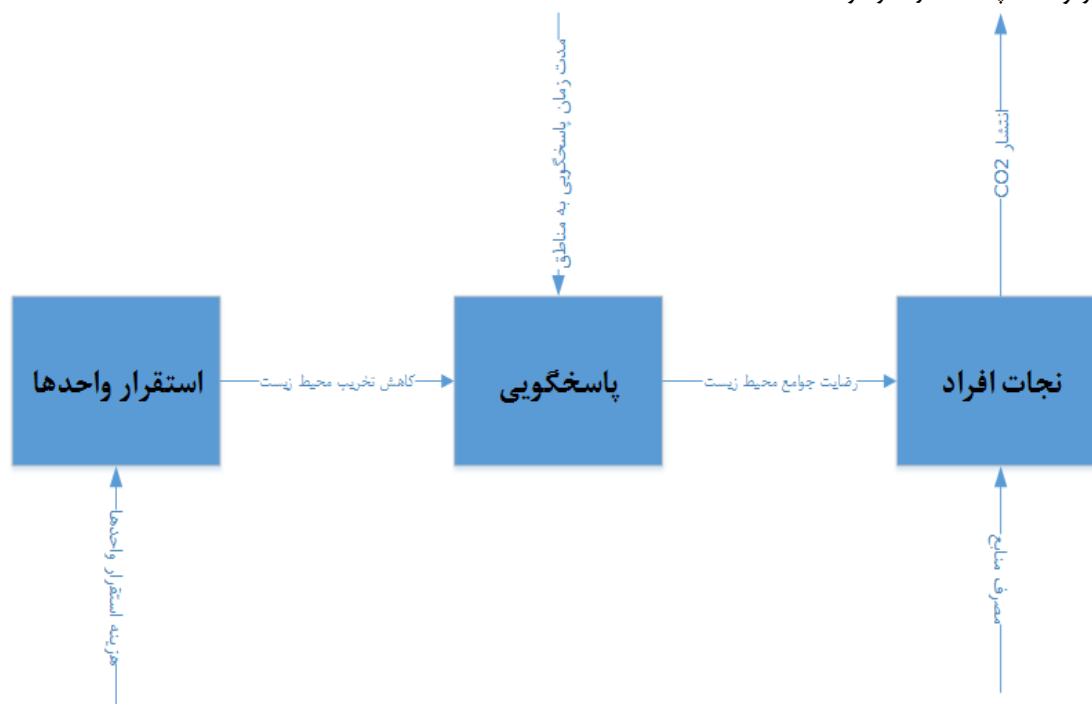
$$\frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j}$$

گام ۵: رتبه‌بندی نهایی شاخص‌ها

پس از تعیین وزن نهایی هر شاخص، شاخص‌ها به ترتیب نزولی مرتب شده و رتبه‌بندی نهایی انجام می‌شود.

۴. یافته‌ها

در این قسمت، یک مثال کاربردی برای تحلیل و بررسی بیشتر رویکرد معرفی شده در نظر گرفته شده است. برای این منظور یک زنجیره تأمین امداد و نجات براساس شاخص‌های در نظر گرفته شده براساس استقرار ۹ واحد عملیاتی در نظر گرفته شده است. ساختار زنجیره تأمین بشردوستانه در نظر گرفته شده نیز در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مثال، یک زنجیره تأمین بشردوستانه چندگانه در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. ساختار زنجیره تأمین بشر دوستانه

در مرحله (۱) استقرار واحدها، در مرحله (۲) پاسخگویی و در مرحله (۳) نجات افراد انجام می‌شود. کلیه ورودی‌ها و خروجی‌های این زنجیره مطابق با یک مطالعه عمیق در ادبیات براساس پرتکرارترین عوامل طبق جدول ۱ در نظر گرفته شده‌اند. در مرحله (۱) هزینه استقرار واحدها به عنوان یک معیار هزینه برای جنبه اقتصادی و کاهش تخریب محیط زیست به عنوان ربط دهنده مرحله اول و دوم برای جنبه زیست محیطی در نظر گرفته شده است. در مرحله (۲) مدت زمان پاسخگویی به مناطق آسیب دیده به عنوان یک معیار برای مسائل اجتماعی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، رضایت جوامع محلی به عنوان ربط دهنده مرحله

دوم و سوم در نظر گرفته شده است. در مرحله (۳) نیز انتشار CO2 به عنوان معیار زیست محیطی و مصرف منابع به عنوان معیار اقتصادی در نظر گرفته شده است.

بردار ورودی که وارد مرحله اول می‌شوند (هزینه استقرار واحدها) را با X^1 نشان می‌دهیم. بردار Z_{12} (کاهش تخریب محیط زیست)، بردار خروجی است که از مرحله (۱) خارج می‌شود و به عنوان بردار ورودی وارد مرحله (۲) می‌شود. این متغیر به عنوان متغیر میانی شناخته می‌شود. بردار X^2 (مدت زمان پاسخگویی به مناطق آسیب دیده) ورودی اختصاصی مرحله دوم است. متغیرهای خروجی نامطلوب از طریق Y_3 به عنوان آلاینده‌های CO2 ساطع شده در مرحله دوم نشان داده شده است. بردار Z_{23} (رضایت جوامع محلی)، بردار خروجی است که از مرحله (۲) خارج می‌شود و به عنوان بردار ورودی وارد مرحله (۳) می‌شود. بردار X^3 مصرف منابع به عنوان ورودی اختصاصی مرحله سوم در نظر گرفته شده است. داده‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین، برای مطابقت با اصل دسترسی پذیری مدیریتی، فاکتور مدت زمان پاسخگویی به مناطق آسیب دیده به عنوان ورودی مدیریت پذیر و هزینه استقرار مواد به عنوان فاکتور غیرمدیریت پذیر در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. داده‌های واقعی

DMU	ورودی‌ها			میانی		خروجی
	X^1	X^2	X^3	Z_{12}	Z_{23}	Y_3
۱	۰,۸۳	۰,۵۹	۰,۸۷	۰,۶۲	۰,۵۲	۰,۸۹
۲	۰,۷۵	۰,۷۳	۰,۸۹	۰,۸۵	۰,۶۵	۰,۶۹
۳	۰,۸۲	۰,۷۴	۰,۷۸	۰,۴۵	۰,۶۵	۰,۷۸
۴	۰,۹۲	۰,۸۹	۰,۶۴	۰,۶۸	۰,۷۸	۰,۷۹
۵	۰,۸۴	۰,۷۴	۰,۵۶	۰,۷۴	۰,۷۴	۰,۶۸
۶	۰,۸۷	۰,۵۷	۰,۷۸	۰,۹۱	۰,۷۱	۰,۸۶
۷	۰,۷۳	۱	۰,۵۶	۰,۶۸	۰,۷۸	۰,۷۸
۸	۰,۹۴	۰,۶۷	۰,۷۶	۱	۰,۷۸	۰,۶۹
۹	۱	۰,۷۶	۰,۸۱	۰,۶۱	۰,۸۱	۰,۷۲

بر اساس نتایج به دست آمده از کارایی کلی و مرحله‌ای در این زنجیره تأمین بشردوستانه که در جدول ۴ نشان داده شده است، DMU2 و DMU4، کارایی کلی شبکه هستند در این واحدهای تصمیم‌گیری همه مراحل به عنوان واحد کارا شناسایی شده‌اند. به طور کلی، طبق مدل پیشنهادی ۲۲,۲۲ درصد واحدها کارا هستند.

علاوه بر این واحدهایی مانند DMU1، DMU5 و DMU8 وجود دارند که در برخی از مراحل کارا هستند اما در حالت کلی ناکارا محسوب می‌شوند. بنابراین، یک مزیت عمده محاسبه کارایی مراحل پیشنهاد شده در این تحقیق این است که دلیل ناکارایی یا کارایی واحدهای تحت ارزیابی نشان داده شده است. سایر واحدهای تحت ارزیابی نیز به دلیل ناکارایی در تمامی مراحل به عنوان واحد تصمیم‌گیری ناکارا شناسایی می‌شوند.

سرانجام، یک مقدار کارایی بوت‌استرپ حاصل از میانگین کارایی مرحله اول، دوم و سوم در ستون آخر جدول ۴ با نماد θ_{nb}^* محاسبه شده است که برای تولید داده برای بکارگیری چارچوب پیشنهادی در میان واحدهای تحت ارزیابی بیشتر نشان داده شده است.

جدول ۴. محاسبه امتیاز کارایی کلی، مرحله ای و مقدار تصادفی بوت استرپ

DMU	کارایی کلی $\hat{\theta}_k$	کارایی مرحله اول $\hat{\theta}_{k1}$	کارایی مرحله دوم $\hat{\theta}_{k2}$	کارایی مرحله سوم $\hat{\theta}_{k3}$	کارایی تصادفی بوت-استرپ θ_{nb}^*
۱	۰,۹۶۶	۰,۶۶۸	۱,۰۰۰	۰,۷۴۲	۰,۸۴۴
۲	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰
۳	۰,۷۶۴	۰,۷۱۲	۰,۷۴۴	۰,۷۱۵	۰,۷۳۳
۴	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰
۵	۰,۹۸۴	۰,۸۹۹	۱,۰۰۰	۰,۷۴۲	۰,۹۰۶
۶	۰,۸۶۴	۰,۵۶۴	۰,۸۶۴	۰,۷۴۵	۰,۷۵۹
۷	۰,۶۹۱	۰,۸۶۰	۰,۶۵۷	۰,۵۴۵	۰,۶۸۸
۸	۰,۹۷۷	۱,۰۰۰	۰,۶۶۳	۰,۷۸۲	۰,۸۵۵
۹	۰,۷۵۲	۰,۷۵۲	۰,۵۹۸	۰,۶۵۷	۰,۶۸۹

با استفاده از مقدار کارایی تصادفی بوت استرپ محاسبه شده، مقدار ورودی و خروجی و عناصر میانی تصادفی بوت استرپ را بر اساس جدول ۵ محاسبه می نماییم تا مجدداً مقدار کارایی کلی و نهایی واحدهای تحت ارزیابی را محاسبه نماییم. برای اینکار براساس داده های موجود نه شرکت تولید کننده رب گوجه فرنگی در ایران، داده های بوت استرپ شده جدید ایجاد می کنیم. زیرا، داده های ایجاد شده توسط بوت استرپ قادر خواهند بود تا با از بین بردن نویز در داده ها، نتایج مطلوب تری را ارائه دهند. بنابراین، براساس داده های ایجاد شده مجدداً کارایی واحدهای تحت ارزیابی محاسبه می شوند.

جدول ۵. داده های تصادفی مبتنی بر بوت استرپ

DMU	ورودی ها			میانی		خروجی
	X^1	X^2	X^3	Z_{12}	Z_{23}	
۱	۰,۹۱	۰,۵۴	۰,۳۳	۰,۲۸	۰,۲۲	۰,۶۹
۲	۰,۷۵	۰,۷۳	۰,۸۵	۰,۸۶	۰,۶۲	۰,۸۵
۳	۰,۹۲	۰,۸۳	۰,۳۷	۰,۳۷	۰,۳۶	۰,۷۹
۴	۱,۰۳	۰,۹۲	۰,۶۳	۰,۵۲	۰,۵۱	۰,۴۶
۵	۰,۹۳	۰,۶۹	۰,۶۹	۰,۵۰	۰,۴۸	۰,۴۶
۶	۰,۸۷	۰,۵۷	۰,۹۱	۱	۰,۹۵	۰,۴۹
۷	۰,۸۱	۱,۱۱	۰,۷۵	۰,۲۸	۰,۲۵	۰,۴۹
۸	۱,۷۵	۰,۷۹	۰,۷۸	۰,۸	۰,۳۲	۰,۷۹
۹	۱	۰,۷۶	۰,۶۱	۰,۸۶	۱	۰,۶۵

با ملحوظ داشتن داده های تصادفی حاصل شده مبتنی بر بوت استرپ، کارایی کلی و مرحله ای زنجیره تأمین مجدداً محاسبه شده است.

طبق نتایج نشان داده شده در جدول ۶، در این حالت تنها واحد کارای کلی شناخته شده که در هر سه مرحله کارا هستند فقط DMU2 است و سایر واحدهای تحت ارزیابی با استفاده از داده های بوت استرپ شده ناکارا هستند بنابراین، ۶,۲۵ درصد واحدها فقط کارا هستند. بنابراین، با استفاده از داده های بوت استرپ شده یک ویژگی ذاتی مدل های تحلیل پوششی داده ها با توجه به تغییر در داده ها و کاهش نویز موجود در آنها دقت محاسبه کارایی برای واحدها افزایش پیدا نماید. زیرا، تعداد واحدهای کارای شناسایی شده نسبت به حالت غیربوت استرپ شده کمتر است.

جدول ۶. محاسبه امتیاز کارایی کلی و مرحله‌ای مبتنی بر بوت‌استرپ

کارایی کلی $\hat{\theta}_k$	کارایی مرحله اول $\hat{\theta}_{k1}$	کارایی مرحله دوم $\hat{\theta}_{k2}$	کارایی مرحله سوم $\hat{\theta}_{k3}$	DMU
۰,۷۴۵	۰,۶۵۲	۰,۷۴۱	۰,۶۷۹	۱
۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۲
۰,۹۸۴	۰,۸۹۹	۱,۰۰۰	۰,۷۴۲	۳
۰,۸۶۴	۰,۵۶۴	۰,۸۶۴	۰,۷۴۵	۴
۰,۶۹۱	۰,۸۶۰	۰,۶۵۷	۰,۵۴۵	۵
۰,۹۷۷	۱,۰۰۰	۰,۶۶۳	۰,۷۸۲	۶
۰,۷۵۲	۰,۷۵۲	۰,۵۹۸	۰,۶۵۷	۷
۰,۷۶۴	۰,۶۶۸	۱,۰۰۰	۰,۷۴۲	۸
۰,۶۷۹	۰,۵۷۸	۰,۷۶۴	۰,۷۴۱	۹

۴-۱. مقایسه مدل پیشنهادی با مدل های پایه

در این بخش از تحقیق به منظور نشان دادن دقت محاسباتی مدل پیشنهادی از حیث معرفی تعداد واحدهای کارا، با مدل تحلیل پوششی داده های پایه CCR مقایسه انجام شده است. از این جهت مدل CCR استفاده شده است که در بسیاری از مطالعات برای نشان دادن قابلیت مدل پیشنهادی از این مدل استفاده شده است. همچنین، مدل CCR در مقایسه با مدل BCC بدلیل اینکه یک مدل بازده به مقیاس ثابت بحساب می آید، همواره در معرفی تعداد واحدهای کارا بهتر عمل می کند. در جدول ۷ مقدار کارایی مدل پیشنهادی در حالت بکارگیری اصول دسترسی پذیری مدیریتی و CCR به صورت جداگانه نشان داده شده است.

جدول ۷. محاسبه امتیاز کارایی کلی اصول دسترسی پذیری مدیریتی و CCR

کارایی کلی مدل پیشنهادی $\hat{\theta}_L$	کارایی کلی مدل CCR $\hat{\theta}_{LL}$	DMU
۰,۹۶۶	۱,۰۰۰	۱
۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۲
۰,۷۶۴	۰,۸۳۴	۳
۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۴
۰,۹۸۴	۱,۰۰۰	۵
۰,۸۶۴	۰,۷۵۴	۶
۰,۶۹۱	۱,۰۰۰	۷
۰,۹۷۷	۰,۶۶۳	۸
۰,۷۵۲	۰,۶۷۲	۹
۲	۵	تعداد واحد کارا

با توجه به نتایج حاصل شده از مقایسه مدل های پیشنهادی طبق اصول دسترسی پذیری مدیریتی با مدل پایه CCR نشان داده شده است که مدل پیشنهادی در معرفی تعداد واحدهای کارا بهتر عمل می کند. بنابراین، مدل های پیشنهادی قادر هستند بر خاصیت فراتخمینی مدل های تحلیل پوششی داده ها که عموماً تعداد واحدهای کارا به صورت فراتر از انتظار معرفی نمایند غلبه می کنند.

علاوه بر این، یک مقایسه در حالت بوت استرپ شده نیز بین مدل های پیشنهادی و مدل های پایه آنها انجام شده است. نتایج این مقایسه در جدول ۱۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۸ مدل پیشنهادی در حالت دسترسی پذیری مدیریتی در مقایسه با مدل های پایه، در معرفی تعداد واحدهای کارا موفق عمل کرده است.

جدول ۸. محاسبه امتیاز کارایی کلی بوت استرپ شده اصول دسترسی پذیری مدیریتی و پیشنهادی با CCR

مدل دسترسی پذیری مدیریتی		DMU
کارایی کلی مدل پیشنهادی $\hat{\theta}_k$	کارایی مدل پایه CCR $\hat{\theta}_k'$	
۰,۷۴۵	۰,۸۶۲	۱
۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۲
۰,۹۸۴	۱,۰۰۰	۳
۰,۸۶۴	۰,۹۵۲	۴
۰,۶۹۱	۰,۷۴۸	۵
۰,۹۷۷	۱,۰۰۰	۶
۰,۷۵۲	۰,۸۴۲	۷
۰,۷۶۴	۰,۹۵۳	۸
۰,۶۷۹	۰,۸۴۴	۹
۱	۳	تعداد واحدهای کارا

۴-۲. اولویت بندی عوامل مؤثر بر مکان یابی نیروهای نظامی

در این بخش از پژوهش، اهمیت ۶ شاخص شناسایی شده مؤثر بر مکان یابی واحدهای نظامی امداد رسان در زمان بحران محاسبه شده است. برای این منظور، اهمیت هر یک از ۶ شاخص بر اساس جمع بندی نظرات ۵ خبره تعیین شده است. جدول ۱۲ رتبه بندی نظرات اخذ شده برای هر یک از شاخص های مؤثر را از دیدگاه خبرگان نشان می دهد. سپس بر اساس میانگین نظرات خبرگان برای هر شاخص و مرتب سازی صعودی مقادیر میانگین، رتبه هر شاخص برای الگوریتم SWARA تعیین شده است. در ادامه، در جدول ۱۳ امتیاز برتری هر معیار بالاتر نسبت به معیار پایین تر مشخص شده است. در نهایت، با محاسبه مقادیر k_j ، q_j و w_j در الگوریتم SWARA، وزن هر شاخص در مقایسه با سایر شاخص های ششگانه محاسبه شده است.

جدول ۹. تعیین رتبه بندی شاخص های مؤثر بر مکان یابی نیروهای نظامی امداد رسان بر اساس نظرات خبرگان

نام معیار	خبره ۱	خبره ۲	خبره ۳	خبره ۴	خبره ۵	میانگین رتبه	رتبه
هزینه استقرار واحد	۶	۶	۵	۵	۶	۵/۶	۶
تخریب محیط زیست	۱	۲	۱	۲	۱	۱/۴	۱
زمان پاسخگویی	۲	۲	۱	۳	۲	۲	۲
رضایت جامعه	۵	۶	۶	۵	۵	۵/۴	۴
انتشار CO2	۴	۵	۴	۴	۵	۴/۴	۳
مصرف منابع	۶	۶	۵	۶	۶	۵/۸	۵

جدول ۱۰. تعیین رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر مکان‌یابی نیروهای نظامی امداد رسان بر اساس روش SWARA

شاخص‌ها	خبره ۱	خبره ۲	خبره ۳	خبره ۴	خبره ۵	S_j	k_j	w_j	q_j	وزن نهایی
تخریب محیط زیست	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰/۲۴۱	۰/۰۲۶۷۳۶
زمان پاسخگویی	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۸	۰/۱۹۲	۰/۰۲۱۳۸۹
انتشار CO2	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۳	۱/۲۳	۰/۶۵	۰/۱۵۷	۰/۰۱۷۳۸۹
رضایت جامعه	۰/۳	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۳۱	۱/۳۱	۰/۴۹۶	۰/۱۱۹	۰/۰۱۳۲۷۴
مصرف منابع	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۴	۰/۳	۱/۳	۰/۳۸۲	۰/۰۹۲	۰/۰۱۰۲۱۱
هزینه استقرار واحد	۰/۴	۰/۳۵	۰/۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۳	۱/۳	۰/۲۹۴	۰/۰۷۱	۰/۰۰۷۸۵۵

۵. نتیجه گیری

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یکی از رویکردهای ناپارامتری پرکاربرد در ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیر است که فعالیت‌های مشابهی انجام می‌دهند. در حوزه مأموریت‌های بشردوستانه، این روش امکان می‌دهد کارایی واحدهای نظامی مستقر در محیط‌های بحران‌زده بر اساس ورودی‌ها و خروجی‌های واقعی ارزیابی شود. مزیت مهم DEA آن است که مرز کارایی را بر اساس عملکرد واقعی واحدهای موجود ترسیم می‌کند؛ در نتیجه، یک سطح کارایی قابل دستیابی در شرایط عملیاتی ارائه می‌شود. این در حالی است که روش‌های پارامتری معمولاً بر مبنای مرزهایی عمل می‌کنند که ممکن است با واقعیت‌های میدانی تطابق نداشته باشند. کارایی حاصل از DEA یک مقدار نسبی است و به دلیل وابستگی به نمونه، تحت تأثیر تغییر داده‌ها قرار می‌گیرد. در مأموریت‌های بشردوستانه که تصمیمات میدانی نیازمند دقت بالا هستند، این حساسیت می‌تواند موجب کاهش اطمینان در مقادیر کارایی شود. بنابراین، استفاده از روش‌های آماری مکمل، مانند شبیه‌سازی بوت‌استرپ، می‌تواند برآوردهای کارایی را بهبود داده و عدم قطعیت موجود را کاهش دهد. در سال‌های اخیر، استفاده از DEA در زمینه استقرار و مدیریت واحدهای نظامی در عملیات امدادی و بشردوستانه مورد توجه قرار گرفته است؛ زیرا این روش نیازمند تعیین وزن‌های ذهنی برای شاخص‌های ارزیابی نیست و وزن‌ها به‌طور خودکار از دل داده‌های عملیاتی استخراج می‌شوند. علاوه بر این، DEA قادر است علاوه بر محاسبه امتیاز کارایی، منابع ناکارآمدی هر واحد نظامی مانند کمبود تجهیزات، زمان پاسخ‌گویی طولانی یا ظرفیت پوشش پایین را شناسایی کند. با وجود توانمندی‌های مذکور، یکی از چالش‌های بنیادین مدل‌های DEA، خاصیت فراتخمینی در تخمین مرز کارایی است که می‌تواند منجر به برآورد بیش از حد کارایی برخی واحدها شود. به همین دلیل، در این تحقیق از رویکرد بوت‌استرپ جهت افزایش دقت برآوردها استفاده شده است تا ارزیابی واقع‌گرایانه‌تری از کارایی واحدهای نظامی در عملیات‌های بحران‌محور ارائه شود. در این پژوهش یک مطالعه موردی در زمینه استقرار میدانی واحدهای نظامی طی یک بحران طبیعی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از چارچوب ترکیبی DEA-Bootstrapping به کاهش تعداد واحدهای کارای ظاهری و ارائه تصویری دقیق‌تر از وضعیت واقعی منجر شده است. این موضوع بیانگر کارایی بالاتر مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل DEA کلاسیک است. این مدل می‌تواند برای فرماندهان، برنامه‌ریزان نظامی و مدیران مالی و بودجه ستاد مدیریت بحران بسیار مفید باشد و مبنای کمی شفاف برای تخصیص و توجیه هزینه‌های استقرار فراهم کند. برای مثال، تحلیل پوششی داده‌ها می‌تواند ارتباط بین متغیرهای کلیدی مأموریت مانند زمان استقرار، سطح پوشش امدادی، حجم منابع مصرفی، و پیامدهای انسانی را آشکار سازد. همچنین، شبیه‌سازی بوت‌استرپ امکان بررسی سناریوهای مختلف عملیاتی را فراهم می‌کند تا تصمیم‌گیران بتوانند اثر تغییر میزان نیرو، تجهیزات یا مسیرهای دسترسی را بر کارایی کلی مأموریت ارزیابی کنند. در نهایت، پیشنهاد می‌شود مدل‌های کارایی در این حوزه علاوه بر ورودی‌ها و خروجی‌های عملیاتی، اصولی همچون کارایی هزینه، کارایی پاسخ‌گویی، دسترسی‌پذیری جغرافیایی، و پایداری عملیاتی را نیز در نظر گیرند تا چارچوب کامل‌تری برای استقرار بهینه واحدهای نظامی در مأموریت‌های بشردوستانه ارائه شود.

از منظر مدیریت مالی هوشمند، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان ابزار تحلیلی پشتیبان بودجه‌ریزی و کنترل هزینه در نظام تصمیم‌گیری نیروهای نظامی عمل کند. تفکیک کارایی به سه مرحله استقرار، پاسخگویی و نجات به مدیران مالی و فرماندهان امکان می‌دهد محل ائتلاف منابع را به‌جای یک امتیاز کلی، در سطح هر مرحله تشخیص دهند؛ برای نمونه، واحدهایی مانند ۱DMU، ۵DMU و ۸DMU در برخی مراحل کارا اما در مجموع ناکارا بوده‌اند که نشان می‌دهد بازتخصیص بودجه باید به‌صورت هدفمند بر همان مرحله متمرکز شود، نه آنکه بودجه کل یگان به‌طور یکسان کاهش یا افزایش یابد. همچنین کاهش تعداد واحدهای کارا از دو واحد (۲DMU و ۴DMU) در داده‌های واقعی به یک واحد (۲DMU) پس از اعمال بوت‌استرپ، و نیز شناسایی تنها دو واحد کارا در مدل پیشنهادی در برابر پنج واحد کارا در مدل CCR، بیانگر آن است که تخصیص بودجه بر پایه مدل‌های کلاسیک ممکن است به پاداش‌دهی مالی به عملکردی منجر شود که در واقع کارا نیست؛ در حالی که مدل پیشنهادی تصویر واقع‌بینانه‌تری برای بودجه‌ریزی مبتنی بر عملکرد فراهم می‌کند. افزون بر این، تمایز میان ورودی‌های مدیریت‌پذیر و غیرمدیریت‌پذیر، اقلام هزینه‌ای قابل کنترل را از هزینه‌های تحمیلی محیط بحران جدا کرده و تمرکز اقدامات صرفه‌جویی را بر عواملی قرار می‌دهد که واقعاً در اختیار مدیریت است؛ قیمت‌های سایه ورودی‌ها در مدل نیز ارزش نهایی هر واحد منبع را نشان می‌دهد و می‌تواند مبنای اولویت‌بندی هزینه‌کرد قرار گیرد.

نتایج روش SWARA نیز نشان داد که از دیدگاه خبرگان، شاخص تخریب محیط زیست و زمان پاسخگویی به ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مکان‌یابی نیروهای نظامی هستند و هزینه استقرار واحد در پایین‌ترین اولویت قرار دارد. از منظر مالی، این یافته به معنای کم‌اهمیت بودن هزینه نیست، بلکه بر ضرورت گذار از رویکرد صرفاً هزینه‌محور (کمینه‌سازی هزینه) به رویکرد «ارزش در برابر هزینه» و اثربخشی هزینه تأکید دارد؛ رویکردی که در آن هر واحد هزینه بر حسب بازده امدادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن سنجیده می‌شود. تلفیق این وزن‌های خبره‌محور با برآوردهای داده‌محور Bootstrap-DEA، هسته یک نظام پشتیبان تصمیم مالی هوشمند را شکل می‌دهد که می‌تواند در چرخه مستمر برنامه‌ریزی، تخصیص، پایش، ارزیابی و بازتخصیص بودجه استقرار به کار رود. بر این اساس، به سازمان‌های نظامی فعال در مأموریت‌های بشردوستانه پیشنهاد می‌شود: (۱) مدل پیشنهادی را در قالب داشبورد پایش هزینه-عملکرد یگان‌ها در سطح ستاد مدیریت بحران و واحدهای مالی پیاده‌سازی کرده و سهم بودجه هر یگان را به نتایج ارزیابی کارایی آن پیوند دهند؛ (۲) نتایج ارزیابی هر مأموریت را به‌صورت نظام‌مند در بانک اطلاعات مالی-عملیاتی سازمان ثبت کرده و در تدوین بودجه و سناریوهای استقرار آتی به کار گیرند؛ و (۳) در پژوهش‌های آینده، مدل با داده‌های بی‌درنگ مالی و میدانی (مانند سامانه‌های یکپارچه مالی، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و پهپادها) و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی هزینه، تقاضا و کارایی تلفیق شود تا ظرفیت هوشمندی آن در مدیریت مالی بحران افزایش یابد.

منابع:

- Abolghasemian, M., Kanai, A. G., & Daneshmandmehr, M. (2020). A two-phase simulation-based optimization of hauling system in open-pit mine. *Iranian journal of management studies*, 13(4), 705-732.
- Abolghasemian, M., Pourghader Chobar, A., AliBakhshi, M., Fakhr, A., & Moradi Pirbalouti, S. (2021). Delay scheduling based on discrete-event simulation for construction projects. *Iranian Journal of Operations Research*, 12(1), 49-63.
- Aghajani, M., Torabi, S. A., & Heydari, J. (2020). A novel option contract integrated with supplier selection and inventory prepositioning for humanitarian relief supply chains. *Socio-Economic Planning Sciences*, 71, 100780.
- Anaya-Arenas, A. M., Ruiz, A., & Renaud, J. (2018). Importance of fairness in humanitarian relief distribution. *Production Planning & Control*, 29(14), 1145-1157.
- Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T. (2017). Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24, 485-498.
- Cao, C., Liu, Y., Tang, O., & Gao, X. (2021). A fuzzy bi-level optimization model for multi-period post-disaster relief distribution in sustainable humanitarian supply chains. *International Journal of Production Economics*, 235, 108081.
- Chobar, A. P., Adibi, M. A., & Kazemi, A. (2022). Multi-objective hub-spoke network design of perishable tourism products using combination machine learning and meta-heuristic algorithms. *Environment, Development and Sustainability*, 1-28.
- CRED. (2019). *Natural Disasters 2019*. Tech. rep.
- Eligüz, İ. M., Özceylan, E., & Weber, G. W. (2023). Location-allocation analysis of humanitarian distribution plans: a case of United Nations Humanitarian Response Depots. *Annals of Operations Research*, 324(1-2), 825-854.
- Goudarzi, H. M., Lim, G., Grosshans, D., Mohan, R., & Cao, W. (2024). Incorporating variable RBE in IMPT optimization for ependymoma. *Journal of applied clinical medical physics*, 25(1), e14207.
- Horner, M. W., Ozguven, E. E., Marcelin, J. M., & Kocatepe, A. (2021). Special needs hurricane shelters and the ageing population: development of a methodology and a case study application. *Disasters*, 42(1), 169-186.
- Jafarzadeh-Ghouschi, S., Asghari, M., Mardani, A., Simic, V., & Tirkolaee, E. B. (2023). Designing an efficient humanitarian supply chain network during an emergency: A scenario-based multi-objective model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 90, 101716.
- Jahangiri, S., Abolghasemian, M., Ghasemi, P., & Chobar, A. P. (2023). Simulation-based optimisation: analysis of the emergency department resources under COVID-19 conditions. *International journal of industrial and systems engineering*, 43(1), 1-19.
- Jahangiri, S., Abolghasemian, M., Pourghader Chobar, A., Nadaffard, A., Mottaghi, V. (2021). Ranking of key resources in the humanitarian supply chain in the emergency department of Iranian hospital: a real case study in COVID-19 conditions. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 8(Special Issue), 1-10.
- Kanoun, I., Chabchoub, H., & Aouni, B. (2010). Goal programming model for fire and emergency service facilities site selection. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 48(3), 143-153.
- Ma, Y., Xu, W., Qin, L., Zhao, X., & Du, J. (2019). Hierarchical supplement location-allocation optimization for disaster supply warehouses in the Beijing–Tianjin–Hebei region of China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 102-117.
- Maghfiroh, M. F., & Hanaoka, S. (2020). Multi-modal relief distribution model for disaster response operations. *Progress in Disaster Science*, 6, 100095.
- Maharjan, R., & Hanaoka, S. (2020). A credibility-based multi-objective temporary logistics hub location-allocation model for relief supply and distribution under uncertainty. *Socio-Economic Planning Sciences*, 70, 100727.
- Mamashli, Z., Bozorgi-Amiri, A., Dadashpour, I., Nayeri, S., & Heydari, J. (2021). A heuristic-based multi-choice goal programming for the stochastic sustainable-resilient routing-allocation problem in relief logistics. *Neural Computing and Applications*, 1-27.
- Mansoori, S., Bozorgi-Amiri, A., & Pishvaei, M. S. (2020). A robust multi-objective humanitarian relief chain network design for earthquake response, with evacuation assumption under uncertainties. *Neural Computing and Applications*, 32(7), 2183-2203.
- Miç, P., Koyuncu, M., & Hallak, J. (2020). Primary health care center (PHCC) location-allocation with multi-objective modelling: a case study in Idlib, Syria. *International journal of environmental research and public health*, 16(5), 811.

- Modarresi, S. A., & Maleki, M. R. (2023). Integrating pre and post-disaster activities for designing an equitable humanitarian relief supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 181, 109342.
- Mohammadi, S., Darestani, S. A., Vahdani, B., & Alinezhad, A. (2020). A robust neutrosophic fuzzy-based approach to integrate reliable facility location and routing decisions for disaster relief under fairness and aftershocks concerns. *Computers & Industrial Engineering*, 148, 106734.
- Motamedi, M., and Movahedi, M., and Rezaian, J., and Rashidi Komijani, A. (2019). Designing a Non-Linear Mixed Integer Two-objective Math Model to Maximize the Reliability of Blood Supply Chain. *Engineering and Quality Management*, 8 (4), 259-274, [In Persian].
- Narimani R, Motamedi M, Amoozad khalili H. (2023). Applying a Mathematical Model for the Distribution of Earthquake Relief Items to the Affected Areas of Tehran. *Disaster Prevention and Management Knowledge*. 13(2), 184-203.
- Ozbay, E., Çavuş, Ö, & Kara, B. Y. (2019). Shelter site location under multi-hazard scenarios. *Computers & Operations Research*, 106, 102-118.
- Peng, D., Ye, C., & Wan, M. (2022). A multi-objective improved novel discrete particle swarm optimization for emergency resource center location problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 111, 104725.
- Pirouz, B., & Khorram, E. (2016). A computational approach based on the ϵ -constraint method in multi-objective optimization problems. *Adv. Appl. Stat*, 49, 453.
- Poornaser, M., Amoozadkhalili, H., & Motamedi, M. (2022). Routing disaster relief vehicles in a humanitarian supply chain. *Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly)*, 12(2), 205-216.
- Praneetpholkrang, P., & Huynh, V. N. (2020, February). Shelter Site Selection and Allocation Model for Efficient Response to Humanitarian Relief Logistics. In *International Conference on Dynamics in Logistics* (pp. 309-318). Springer, Cham.
- Qin, W., Zhao, X., Ma, Y., Li, Y., Qin, L., Wang, Y., & Du, J. (2018). A multi-objective optimization based method for evaluating earthquake shelter location-allocation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 662-677.
- Rezaei Kallaj, M., Abolghasemian, M., Moradi Pirbalouti, S., Sabk Ara, M., & Pourghader Chobar, A. (2021). Vehicle Routing Problem in Relief Supply under a Crisis Condition considering Blood Types. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021.
- Roh, S. Y., Shin, Y. R., & Seo, Y. J. (2018). The Pre-positioned warehouse location selection for international humanitarian relief logistics. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 34(4), 297-307.
- Sabouhi, F., Bozorgi-Amiri, A., & Vaez, P. (2020). Stochastic optimization for transportation planning in disaster relief under disruption and uncertainty. *Kybernetes*.
- Shao-hong, Y., Jia-yang, N., Tai-long, C., Qiu-tong, L., Cen, Y., Jia-qing, C. & Jie, L. (2022). Location algorithm of transfer stations based on density peak and outlier detection. *Applied Intelligence*, 1-13.
- Wang, B. C., Qian, Q. Y., Gao, J. J., Tan, Z. Y., & Zhou, Y. (2021). The optimization of warehouse location and resources distribution for emergency rescue under uncertainty. *Advanced Engineering Informatics*, 48, 101278.
- Wu, G. H., Chang, C. K., & Hsu, L. M. (2020). Comparisons of interactive fuzzy programming approaches for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 125, 500-513.
- Yofrido, F. M., & Harjana, L. T. (2019). Social-fairness perception in natural disaster, learn from Lombok: a phenomenological report. *Indonesian Journal of Anesthesiology and Reanimation*, 1(1), 1-7.
- Zheng, Y. J., Chen, S. Y., & Ling, H. F. (2015). Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey. *Applied Soft Computing*, 27, 553-566.