Quarterly Journal Defensive Future Studies
IRI Military Command and Staff University
www.dfsr.ir
Online ISSN: 2645-7172
Print ISSN: 2588-428x

Modeling the positioning of support forces in future battles using data envelopment analysis and the principles of natural and managerial accessibility

Milad Abolghasemian[1] | **Hamid Bigdeli**[2]✉ | **Nader Shamami**[3]

1. Assistant Professor of Industrial Engineering, IRI Military Command and Staff University, Tehran, Iran. E-mail: m.abolghasemian.bt@gmail.com
2. Associate Professor of Operations Research, IRI Military Command and Staff University, Tehran. Iran.(Corresponding Author) E-mail: H.bigdeli@casu.ac.ir
3. Assistant Professor of Industrial Engineering, IRI Military Command and Staff University, Tehran. Iran. E-mail: nader.shamami@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
2024-2-19
Received in revised form:
2024-5-22
Accepted:
2024-5-31
Published online:
2024-6-21

Keywords:
Locating, efficiency, data envelopment analysis, ranking

ABSTRACT

Objective: In this paper, mathematical modeling is presented to determine efficient locations for the deployment of support forces using data envelopment analysis.

Method: The proposed model can first change the manageable inputs in order to improve the outputs according to the principle of managerial accessibility and also if it is not possible to reduce the unmanageable inputs according to the principle of natural accessibility, it keeps them at least at the existing level. Therefore, the most important innovation and contribution of the present research is the modeling of the positioning of the support forces to support the ground forces in future battles, which is created by using data envelopment analysis and the simultaneous use of natural and managerial accessibility principles.

Findings: The intended model has been used to evaluate 25 potential locations that are ready to provide ground support services to help local forces in the disputed area so that the fire of war ends in favor of local forces. Finally, by providing a sensitivity analysis on the manageable input values, the maximum possible changes in the value of this type of input for each of the locations are specified.

Conclusion: The results of this research are of great importance considering the conditions raised in making and the effectiveness of commanders' decisions in order to locate support forces in future battles.

Cite this article: Abolghasemian, M., bigdeli, H., & Shamami, N. (2024). Modeling the positioning of support forces in future battles using data envelopment analysis and the principles of natural and managerial accessibility. Defensive Future Studies, 9 (32), 65 - 98.

DOI: 10.22034/dfsr.2024.2007554.1720

CC BY NC ND

Publisher: IRI Military Command and Staff University

فصلنامه علمی آینده‌پژوهی دفاعی
دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا
http://www.dfsr.ir/
شاپای چاپی: ۴۲۸X-۲۵۸۸ شاپای الکترونیکی: ۷۱۷۲-۲۶۴۵

مدل‌سازی موضع یابی نیروهای پشتیبانی در نبردهای آینده با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی

میلاد ابوالقاسمیان[۱] | حمید بیگدلی[۲]✉ | نادر شمامی[۳]

۱. استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران، رایانامه: m.abolghasemian.bt@gmail.com
۲. دانشیار تحقیق در عملیات، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران، رایانامه: H.bigdeli@casu.ac.ir
۳. استادیار مهندسی صنایع، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران، رایانامه: Nader.shamami@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۱۱/۳۰
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۳/۱۱
تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۰۴/۱

کلیدواژه‌ها:
مکان‌یابی، کارایی، تحلیل پوششی داده‌ها، رتبه‌بندی

چکیده

هدف: در این مقاله، یک مدل‌سازی ریاضی برای تعیین مکان‌های کارا برای اعزام نیروهای پشتیبانی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها ارائه‌شده است.

روش: مدل پیشنهادشده این امکان را دارد که اولاً ورودی‌های مدیریت پذیر را در راستای بهبود خروجی‌ها بر طبق اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی تغییر دهد و همچنین اگر نتوان ورودی‌های غیر مدیریت پذیر را بر اساس اصل دسترسی‌پذیری طبیعی کاهش داد، حداقل در سطح موجود آن‌ها را نگه می‌دارد. بنابراین، مهم‌ترین نوآوری تحقیق حاضر مدل‌سازی موضع یابی نیروهای پشتیبانی برای حمایت از نیروهای زمینی در نبردهای آینده با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها است.

یافته‌ها: مدل موردنظر برای ارزیابی ۲۵ مکان بالقوه که برای ارائه خدمات پشتیبانی زمینی آمادگی دارند تا به نیروهای خودی در محل مورد مناقشه کمک نمایند تا آتش جنگ به نفع نیروهای خودی به پایان برسد، استفاده‌شده است.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این تحقیق در تصمیم فرماندهان در نبردهای آینده از اهمیت بالایی برخوردار است.

استناد: ابوالقاسمیان، میلاد؛ بیگدلی، حمید و شمامی، نادر (۱۴۰۳). مدل‌سازی موضع یابی نیروهای پشتیبانی در نبردهای آینده با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی. آینده‌پژوهی دفاعی، ۹ (۳۲)، ۶۵ - ۹۸.

DOI: 10.22034/dfsr.2024.2007554.1720

ناشر: دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش جمهوری اسلامی ایران

CC BY NC ND

مقدمه

تحلیل پوششی داده‌ها[1] فنی است که به‌طور ویژه به بررسی کارایی واحدهای تحت ارزیابی[2] می‌پردازد. 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 می‌کند (Kordrostami et al., 2019). معمولاً مفهوم کارایی با دو واژه اثربخشی و بهره‌وری اشتباه می‌شود. اثربخشی میزان تطابق فعالیت یک سازمان با اهداف تعیین‌شدهٔ آن را بیان می‌کند. اما بهره‌وری ترکیبی از کارایی و اثربخشی است. در تفاوت دو مفهوم کارایی و بهره‌وری دو نکته وجود دارد. اولاً؛ کارایی به‌عنوان معیاری در مقیاس صفر و یک است و برحسب درصد بیان می‌شود، درحالی‌که بهره‌وری می‌تواند بیشتر از یک باشد. ثانیاً؛ بهره‌وری در ارتباط با تک‌تک عوامل مانند بهره‌وری نیروی انسانی یا سرمایه محاسبه می‌شود اما کارایی به‌عنوان معیاری کلی از ترکیب ورودی‌ها و خروجی‌ها باید به دست آید (Arana-Jimenez et al., 2023).

روش‌های اندازه‌گیری کارایی به‌طورکلی در دودسته پارامتری و غیر پارامتری تقسیم می‌شوند (بیگدلی و موسی زاده، ۱۴۰۲). در روش‌های پارامتری با استفاده از روش‌های مختلف آماری و اقتصادسنجی تخمین زده می‌شوند و سپس با به‌کارگیری این تابع نسبت به تعیین کارایی اقدام می‌شود (شمامی و همکاران، ۱۴۰۱). اما در روش‌های غیر پارامتری به تخمین تابع تولید نیاز ندارند. تحلیل پوششی داده‌ها یکی از روش‌های نا پارامتری برای اندازه‌گیری کارایی واحدها است (Hosseinzadeh Lotfi et al., 2013). تحلیل پوششی داده‌ها روشی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی است که توانایی اندازه‌گیری کارایی نسبی واحدها با چندین ورودی و چندین خروجی مشابه را دارد. روش تحلیل پوششی داده‌ها ابتدا به‌منظور اندازه‌گیری کارایی معرفی شد ولی پس از مدتی موردتوجه متخصصان در حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره قرار گرفت و به یکی از فن‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره پذیرفته شد؛ به‌این‌ترتیب که گزینه‌های ارزیابی‌شده به یک واحد تصمیم‌گیری فرض می‌شوند و با در نظر گرفتن معیارهای منفی به‌عنوان ورودی و معیارهای مثبت به‌عنوان

---

1. Data envelopment analysis (DEA)
2. Decision Making Unit (DMU)

خروجی واحدهای تصمیم‌گیری، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های مربوطه حل می‌شوند (Amirteimoori et al., 2022).

مکان‌یابی فعالیتی است که قابلیت‌ها و توانایی‌های یک منطقه را ازلحاظ وجود زمین مناسب و کافی و ارتباط آن با سایر کاربری‌ها جهت انتخاب مکانی مناسب برای کاربری خاص مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهد. مکان‌یابی علاوه بر تأثیرگذاری بر هزینه‌ها، در کارایی، بهره‌برداری و نیز کیفیت آن‌ها مؤثر است. مسائل مکان‌یابی عموماً شامل تعیین مکان برای یک یا چند تسهیل در یک یا چند مکان بالقوه هستند، به‌طوری‌که هزینهٔ تأمین نیازهای مشتریان را کمینه نماید (Rezaei Kallaj et al., 2021). به علت ظرفیت محدود تسهیلات، مسئلهٔ تخصیص اغلب باید در ارتباط با مسئلهٔ مکان‌یابی حل شود. مدل‌های مکان‌یابی-تخصیص[1] هم‌زمان به دنبال تعیین مکان بهینه تسهیلات و تخصیص مشتریان به تسهیلات منتخب هستند. به عبارتی، مسئله مکان‌یابی-تخصیص، استقرار مجموعه‌ای از تسهیلات جدید است به‌گونه‌ای که هزینه حمل‌ونقل از تسهیلات به مشتریان حداقل شود و تعداد بهینه‌ای از تسهیلات برای ارضای تقاضای مشتریان، در منطقه موردنظر مستقر شود (Heydari Kushalshah et al., 2023). اهداف، محدودیت‌ها و متغیرهای مسائل مکان‌یابی با توجه به هدف مکان‌یابی و نوع مسئلهٔ مورد بررسی متفاوت است. دو رویکرد کلی برای کاربرد بحث کارایی در مسائل مکان‌یابی وجود دارد. در رویکرد اول، مسئلهٔ مکان‌یابی موردنظر به‌صورت یک مسئلهٔ گسسته تصمیم‌گیری چندمعیاره در نظر گرفته می‌شود که در آن هدف انتخاب کاراترین مکان یا مکان‌ها از میان نقاط کاندید موجود برای تعداد معینی تسهیل است. رویکرد دوم، برای تعیین مکان یا مکان‌های مناسب از مدل‌های ریاضی مکان‌یابی استفاده می‌شود. مدل‌های مکان‌یابی مذکور به‌صورت سلسله مراتبی یا هم‌زمان در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ادغام‌شده و به تعیین مکان‌های کارا منجر می‌شوند (Mohamed et al., 2022).

بر اساس موارد اشاره‌شده در بالا، تحلیل پوششی داده در مکان‌یابی نیروهای پشتیبانی نیز اهمیت زیادی دارد. وقتی نیاز به مکان‌یابی و انتخاب مناطق برای پشتیبانی نیروها داریم، تحلیل پوششی داده‌ها کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری اتخاذ شود؛ بنابراین تحلیل

---

[1]. Location-Allocation

پوششی داده‌ها در مکان‌یابی نیروهای پشتیبانی، نیروهای خودی را قادر می‌سازد تا به بهترین شکل مکان‌های موردنیاز را تعیین کنند. با تجزیه‌وتحلیل داده‌های جغرافیایی و عملکرد قبلی نیروهای پشتیبانی، می‌توان الگوها و ترکیب‌های مؤثر را شناسایی کرد. لذا با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، می‌توان تحقق عوامل زیر را در نظر گرفت.

۱. دستیابی به نیازمندی‌ها: با تحلیل دقیق اطلاعات درباره نیازمندی‌ها و خواسته‌های مشتریان و نیروهای پشتیبانی، می‌توانید مکان‌هایی را انتخاب کنید که بهترین پاسخ را به این نیازمندی‌ها ارائه دهند (ایجابی و پاک‌نیت، ۱۴۰۲).

۲. دسترسی و قابلیت سرویس: با تحلیل مکانی مناسب، می‌توانید مکان‌هایی را انتخاب کنید که دسترسی آسان به مشتریان و مناطق موردنیاز را فراهم کنند. همچنین، باید ازلحاظ فنی و زیرساختی برای ارائه خدمات پشتیبانی کافی و قابل‌اعتماد باشند (بیگدلی و موسی زاده، ۱۴۰۲).

۳. بهینه‌سازی منابع: با تحلیل پوششی داده‌ها، می‌توانید نیروهای پشتیبانی را در مناطقی که نیاز بیشتری دارند، متمرکز کنید، این به شما کمک می‌کند تا از منابع خود بهینه استفاده کنید و همچنین پوشش خدمات پشتیبانی را به‌طور مؤثر ارائه دهید (شمامی و همکاران، ۱۴۰۱).

۴. فاصله از مراکز آمادی: فاصله به‌عنوان یکی از عوامل مهم در مکان‌یابی و کارایی یک مرکز آمادی و لجستیکی برای تعیین کارایی مکان‌های بالقوه جهت اعزام نیروهای پشتیبانی نیز بسیار حائز اهمیت است. در این حالت، فاصله میان مرکز آمادی و لجستیکی و مکان‌های بالقوه برای اعزام نیروهای پشتیبانی باید به‌گونه‌ای باشد که بتوان به‌سرعت و با کمترین هزینه ممکن به محل موردنظر رسید. همچنین، فاصله میان مرکز آمادی و لجستیکی و مکان‌های بالقوه باید به‌گونه‌ای باشد که بتوان به‌سرعت و با کمترین هزینه ممکن نیروهای پشتیبانی را به محل موردنظر اعزام کرد. بنابراین، در تعیین کارایی مکان‌های بالقوه جهت اعزام نیروهای پشتیبانی، فاصله به‌عنوان یکی از عوامل مهم در نظر گرفته می‌شود (ایجابی و پاک‌نیت، ۱۴۰۲)؛ بنابراین این تحقیق به دنبال ارائهٔ چارچوبی مناسب برای ارزیابی کارایی مکان‌های بالقوه جهت قرارگیری نیروهای پشتیبانی برای حمایت از نیروهای خودی در محل مورد مناقشه است. لذا، سؤال اصلی تحقیق این است که چگونه می‌توان کارایی مکان‌های مستعد جهت پشتیبانی از نیروهای خودی در

محل‌های درگیر را محاسبه کرد؟ با توجه به ذکر این سؤال، این تحقیق در فاز مواجهه با مدیریت و سازمان‌دهی نیروهای پشتیبانی مورداستفاده قرار می‌گیرد. لذا، مهم‌ترین نوآوری و سهم مشارکت تحقیق حاضر عبارت است از مدل‌سازی موضع‌یابی نیروهای پشتیبانی برای حمایت از نیروهای زمینی در نبردهای آینده که با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و استفاده هم‌زمان اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی انجام شده است. با توجه به نوع ماهیت تحقیق که در زمرهٔ استفاده از مدل‌سازی ریاضی است، از هیچ فرضیهٔ از پیش تعین شده‌ای تبعیت نمی‌کند.

ادامهٔ این تحقیق به‌صورتی که مشخص‌شده سازمان‌دهی شده است. در ادامهٔ مبانی نظری و پیشینهٔ مطالعاتی که درگذشته انجام شده است به‌منظور شناسایی خلأ تحقیق، ارائه شده است. همچنین، روش اجرای تحقیق که در زمرهٔ مدل‌سازی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها است، از حیث ساخت فنّاوری و مدل‌سازی معرفی‌شده است. سرانجام، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه‌شده است.

مبانی نظری و پیشینه‌های پژوهش

مبانی نظری

تحلیل پوششی داده‌ها

برای اندازه‌گیری کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها مدل‌های مختلفی توسط محققان بیان و بررسی‌شده است که دو مدل چارنز، کوپر و رودز[1] و بنکر، کوپر و چارنز[2] از مدل‌های پایه و سنتی تحلیل پوششی داده‌ها محسوب می‌شوند که الگوهای خطی برای حل مسائل کارایی در حالت چند ورودی و چند خروجی هستند و به ترتیب، از نوع فنّاوری بازده به مقیاس ثابت و متغیر هستند. در این روش با به‌کارگیری مجموعه‌ای از نقاط که توسط برنامه‌ریزی خطی تعیین‌شده‌اند، یک منحنی مرزی کارا ایجاد می‌شود. روش برنامه‌ریزی خطی با یک سری بهینه‌سازی، مشخص می‌شود که آیا واحدهای تصمیم‌گیری مدنظر روی خط کارایی قرارگرفته است یا خارج از آن قرار دارند. هدف اصلی تحلیل پوششی داده‌ها، تعیین کارایی یک سیستم یا واحد تصمیم‌گیری از طریق فرایند تبدیل ورودی‌ها

---

1. CCR (Charnes, Cooper, Rhodes)
2. BCC (Banker, Cooper, Charnes)

به خروجی‌ها است. واحدی که دارای کارایی مساوی یک باشد، واحد کارا نام دارد و دیگر واحدها که کارایی بین صفر و یک دارند، واحدهای ناکارا شناخته می‌شوند. فرم مضربی خطی شده ورودی محور مدل CCR به‌صورت معادلات ۱ تعریف می‌شود (Asadi et al., 2023).

(۱)

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} \\ s.t \quad & \sum_{j=1}^{m} v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} \geq 0 \\ & \sum_{j=1}^{n} u_r y_{ro} = 1 \\ & v_i \geq 0 \qquad\qquad i = 1, \dots, m \\ & u_r \geq 0 \qquad\qquad r = 1, \dots, s \end{aligned}$$

که در مجموعه معادلات (۱)، y_{rj} مقدار خروجی r ام تولیدشده به‌وسیله DMU_j، x_{ij} مقدار ورودی i ام تولیدشده به‌وسیله DMU_j، u_r وزن داده‌شده به خروجی r ام و v_i وزن داده‌شده به ورودی i ام است. بنکر، چارنز و کوپر با تغییر در مدل CCR با اضافه کردن قید تحدب مشاهدات به مدل یعنی $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$ در مدل برنامه‌ریزی ریاضی یک مدل جدید ایجاد کردند. با توجه به اینکه با افزایش قیود در مدل برنامه‌ریزی خطی، ناحیه شدنی کوچک‌تر می‌شود، لذا مقدار بهینه تابع هدف بهتر نمی‌شود، پس اگر θ^*_{CCR} مقدار بهینه مدل CCR و θ^*_{BCC} مقدار بهینه مدل BCC در ارزیابی واحد تحت ارزیابی باشند، آنگاه همواره رابطه دو همواره برقرار است (فخر موسوی و همکاران، ۲۰۲۳).

$$\theta^*_{BCC} \geq \theta^*_{CCR} \geq 1 \qquad (۲)$$

واحد تحت ارزیابی در مجموعه امکان تولید BCC کارا است اگر و فقط اگر $\theta^*_{BCC} = 1$ در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی ناکارا خواهد بود $(1 - \theta^*)$. به‌عبارت‌دیگر واحد تحت ارزیابی کارای BCC است اگر و تنها اگر برای هر جواب بهینه $(\theta^*, \lambda^*, s^{+^*}, s^{-^*})$ در مدل BCC دو شرط $\theta^*_{BCC} = 1$ و متغیرهای کمکی s^{-^*} و s^{+^*} همه صفر باشند، برقرار باشد. در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی را ناکارای

BCC می‌نامند که نشان‌دهنده ناکارایی در ماهیت ورودی است (Arana-Jimenez et al., 2023). درواقع مدل مضربی BCC ورودی محور مطابق معادله (۳) در زیر است.

(۳)

$$\begin{aligned}
\min \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} + v_o \\
s.t \quad & \sum_{i=1}^{m} v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + v_o \geq 0 \qquad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} = 1 \\
& v_i \geq 0 \qquad\qquad i = 1, \dots, m \\
& u_r \geq 0 \qquad\qquad r = 1, \dots, s \\
& v_o \text{ آزاد در علامت}
\end{aligned}$$

مدل‌های CCR و BCC دو مدل مهم در تحلیل پوششی داده‌ها هستند که برای ارزیابی کارایی واحدهای تحت ارزیابی مورداستفاده قرار می‌گیرند. تفاوت اصلی بین این دو مدل در نحوهٔ تعیین مقیاس‌پذیری آن‌ها است. در مدلCCR، فرض می‌شود که تمام واحدهای تصمیم‌گیری از مقیاس ثابت هستند. در این مدل، به هر واحد تولیدی یک وزن ثابت تخصیص داده می‌شود و سپس کارایی آن واحد نسبت به دیگر واحدها با استفاده از این وزن‌ها محاسبه می‌شود اما در مدل BCC، فرض می‌شود که واحدهای تصمیم‌گیری از مقیاس‌پذیری متغیر تبعیت می‌کنند. در این مدل، به هر واحد تصمیم‌گیری یک وزن متغیر تخصیص داده می‌شود و سپس کارایی آن واحد نسبت به دیگر واحدها با استفاده از این وزن‌ها محاسبه می‌شود (Kordrostami et al., 2019).

اصل دسترسی‌پذیری طبیعی

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

خروجی‌ها و ورودی‌های مطلوب است (Jahani Sayyad Noveiri & Kordrostami, 2023).

اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی

بر طبق این اصل، برخلاف دسترسی‌پذیری طبیعی نشان می‌دهد که یک واحد تحت ارزیابی بردار ورودی‌ها را افزایش می‌دهد یا در سطح جاری نگه می‌دارد تا بردار خروجی‌های خود را با ارتقای مصرف ورودی‌ها افزایش دهد. بنابراین، بر طبق این اصل با افزایش یا ثابت نگه‌داشتن ورودی در یک واحد تحت ارزیابی، بردار خروجی‌های مطلوب را تا حد ممکن تحت فناوری جدید افزایش می‌دهیم. در این تحقیق استفاده از دسترسی‌پذیری مدیریتی را به‌عنوان قابلیتی در نظر می‌گیریم که در سازگاری مثبتی با تغییر در تنظیم شرایط عمل می‌کند. دسترسی‌پذیری مدیریتی اغلب با بهره‌برداری حداکثری از امکانات موجود باعث افزایش خروجی مطلوب و حفظ عملکرد سیستم می‌شود که مورد تأیید برخی از سازمان‌ها است. در این تحقیق، در حقیقت به دنبال این هستیم تا با اعمال تأثیر مستقیم هم‌زمان هر دو اصل دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی با ساخت فناوری جدید در محیط تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی مکان‌های بالقوه جهت ارسال نیروهای پشتیبانی اقدام نماییم (Amirteimoori et al., 2023).

مدل رتبه‌بندی اندرسون پترسون (ابر کارایی)

مدل اندرسون و پیترسون رویکردی در تحلیل پوششی داده‌ها است که امکان رتبه‌بندی واحدهای کارا در کنار واحدهای تصمیم ناکارا را فراهم می‌سازد. در روش‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها رتبه‌بندی تنها برای واحدهای ناکارا میسر است. مدل اندرسون و پیترسون یا روش ابر کارایی که تعیین کاراترین واحد را ممکن می‌سازد در سال ۱۹۹۳ توسط اندرسون و پیترسون جهت رتبه‌بندی واحدهای کارا پیشنهاد شد. در این روش امتیاز واحدهای کارا می‌تواند بیشتر از ۱ باشد و به‌این‌ترتیب واحدهای کارا نیز مانند واحدهای ناکارا قابل رتبه‌بندی خواهند بود. روش کار به این صورت است که واحد تصمیم‌گیرنده DMU_p را از مجموعه امکان تولید حذف و مدل را برای سایر DMU ها

اجرا می‌کنند. هرچه ضریب واحدی بزرگ‌تر باشد، آن واحد کاراتر است. در مدل (۴)، مدل‌سازی ریاضی اندرسون و پترسون نشان داده‌شده است (Asadi et al., 2023).

$$\min z_p = \theta \qquad (۴)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1;j\neq p}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{ip} \qquad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1;j\neq p}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rp} \qquad r = 1, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0; j = 1, \dots, n; j \neq p$$

مکان‌یابی

مسئله مکان‌یابی، تخصیص و استقرار مجموعه‌ای از تسهیلات جدید است، به‌گونه‌ای که هزینه حمل‌ونقل از تسهیلات به نقاط موردتقاضا حداقل شود و تعداد بهینه‌ای از تسهیلات برای ارضای تقاضا، در منطقه موردنظر مستقر شود. اهداف، محدودیت‌ها و متغیرهای مسائل مکان‌یابی با توجه به هدف مکان‌یابی و نوع مسئله موردبررسی متفاوت است. در این مسائل سه نوع تقاضا تعریف می‌شود. تقاضای اختصاص نیافته (تقاضایی که در شعاع پوشش تسهیل موردنظر، قرار نمی‌گیرد)، تقاضای اختصاص‌یافته تحت پوشش (تقاضایی که در شعاع پوشش تسهیل موردنظر قرارگرفته و ارضا می‌شود)، تقاضای اختصاص‌یافته پوشش نیافته (تقاضایی که در شعاع پوشش تسهیل قرار دارد اما ارضا نشده است) (Nedjati et al., 2017). مسائل مکان‌یابی را می‌توان با توجه به رویکردهای متفاوتی طبقه‌بندی کرد. یکی از این رویکردها، توجه به فضای موردبررسی است که این مسائل را به سه دسته مسائل مطرح‌شده در فضای پیوسته[۱]، گسسته[۲] و شبکه[۳] تقسیم می‌کند. هم‌چنین می‌توان مسائل مکان‌یابی را بر اساس تعداد مراکز خدماتی موردنیاز به‌منظور احداث، تقسیم‌بندی کرد؛ که در این صورت‌مسئله مکان‌یابی به دودسته یک مرکزی[۴] و

---

1. Continuous
2. Discrete
3. Network
4. Single Source

چندمرکزی[1] تقسیم می‌شود اما اصلی‌ترین و رایج‌ترین طبقه‌بندی در حیطه مسائل مکان‌یابی-تخصیص، مرتبط با رویکرد تقسیم‌بندی بر اساس نوع تابع هدف هست که صرف‌نظر از جزییات مسئله و تنها با در نظر گرفتن هدف کلی مکان‌یابی صورت می‌گیرد (Yazdi et al., 2017).

مسئله میانه

این نوع مسائل، به دنبال یافتن مکان P عدد تسهیل هستند به‌طوری‌که مجموع فواصل مراکز تقاضا و تسهیلات، حداقل شود. در مسئله میانه، اگر فضای موردبررسی پیوسته باشد، بهینه‌سازی سخت بوده و در دسته مسائل چندجمله‌ای غیرقطعی[2] قرار می‌گیرد. درصورتی‌که تسهیلات بتوانند در N نقطه از پیش تعیین‌شده مستقر شوند، تعداد حالات ممکن به $\binom{N}{P}$ محدودشده و مسئله ساده‌تر می‌گردد (Wang et al., 2021).

مسئله مرکزی

مسئله P مرکز در فرم ریاضی به یک مسئله کم‌ترین بیش‌ترین تبدیل می‌شود. یعنی برای کمینه کردن بیشترین فاصله هر نقطه تقاضا و نزدیک‌ترین تسهیل، جست‌وجو می‌شود. اگر مکان تسهیل محدود به نقاط شبکه باشد، مسئله از نوع مسئله مرکز در گره[3] هست. درصورتی‌که تسهیل بتواند در هر جای شبکه قرار گیرد، مسئله از نوع مسئله مرکز آزاد[4] است. در مسئله نوع دوم به دلیل آزادی بیش‌تر در استقرار تسهیل، راه‌حل مسئله بهتر و تابع هدف کوچک‌تر از نوع اول است (Cheng et al., 2021).

مسئله پوشش

در مسائل پوشش، تقاضا هنگامی پوشش یافته در نظر گرفته می‌شود که تسهیلات در شعاع پوشش قرار گیرند. مسائل پوشش به دودسته مسئله مکان‌یابی پوشش مجموعه[5] و

---

1. Multi Source
2. Non-deterministic polynomial-complete (NP-complete)
3. Vertex center problem
4. Absolute center problem
5. Location Set Covering Problem (LSCP)

مسئله مکان‌یابی حداکثر پوشش[1] تقسیم‌بندی می‌شوند. در مسئله پوشش مجموعه، هدف تعیین مکان مناسب تسهیلات جهت کمینه کردن هزینه است تا به سطح معینی از پوشش دست یابد. بدین معنی که فاصله پوشش، از پیش تعیین‌شده و ثابت است ولی تعداد تسهیلات در صورت لزوم می‌تواند برای حفظ فاصله پوشش، افزایش یابد. اگر فاصله پوشش نسبت به فواصل بین نقاط تقاضا کوچک باشد، برآورده کردن شرط پوشش منجر به استفاده تعداد زیادی از تسهیلات می‌شود. چنان چه نقاط دور از تسهیلات، تقاضای کمی داشته باشند نسبت هزینه به سود در پوشش چنین تقاضاهایی بسیار بالاست. این مسئله می‌تواند برای تخمین تعداد تسهیلات لازم برای رسیدن به سطح خاصی از پوشش مورداستفاده قرار گیرد. مسئله حداکثر پوشش با تعداد ثابتی از تسهیلات، برای بیشینه کردن پوشش در فاصله معین به کار می‌رود. برای حل این مسائل، از الگوریتم‌های دقیق، ابتکاری و فرا ابتکاری استفاده می‌شود. از میان الگوریتم‌های دقیق، روش شاخه و کران بیش‌تر به‌کاررفته است. با توجه به اینکه این مسائل از نوع چندجمله‌ای غیرقطعی هستند، در ابعاد بزرگ از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده می‌شود (Nozari et al., 2021).

پیشینه‌های پژوهش

اخیراً دستگاه‌های توزیع دوسطحی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل لجستیک در مسئله مسیریابی مکان[2] محسوب می‌شوند که در چندین مطالعه علمی مورداستفاده قرارگرفته است. مسئله مسیریابی موقعیت مکانی دوسطحی[3] در توزیع بارزمانی به وجود می‌آید که کالاهای موجود در مبدأهای مختلف از طریق تسهیلات میانی به مقاصد مربوطه تحویل داده شوند. برای مثال، Yu et al., 2021 یک مدل برای مسئله مسیریابی مکان دوسطحی با چند هدف را برای برنامه‌ریزی جمع‌آوری زباله توسعه داده‌اند. علاوه بر این، برای حل مدل، یک الگوریتم ژنتیک با جستجوی محلی جهت‌دار معرفی کرده‌اند. Cheng et al., 2021 در این مطالعه مدلی برای به حداقل رساندن هزینه و مدت‌زمان پاک‌سازی نخاله‌های حاصل از بلایای طبیعی با در نظر گرفتن استفاده از سایت‌هایی موقت برای

---

1. Maximum Coverage Location Problem (MCLP)
2. Location routing problem (LRP)
3. The two-echelon location routing problem (2E-LRP)

مدیریت نخاله بلایای طبیعی ارائه کرده‌اند. مسئلهٔ ایجادشده در این مطالعه به‌عنوان یک مسئلهٔ مسیریابی مکان دومرحله‌ای چند دوره‌ای[1] است که در آن تصمیمات اصلی مکان سایت‌های موقت مدیریت نخاله‌ها و مسیریابی وسایل نقلیه در هر دو سطح انجام می‌پذیرد. برای این منظور، یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه‌شده است و یک الگوریتم ژنتیک برای حل آن پیشنهادشده است. Wang et al., 2021 یک مسئله مسیریابی موقعیت مکانی چند دوره‌ای دوسطحی شامل انتخاب مکان تسهیلات و بهینه‌سازی مسیریابی وسیله نقلیه در دو سطح ارائه داده‌اند. برای حل مسئله یک الگوریتم ترکیبی دومرحله‌ای شامل خوشه‌بندی k-means و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهبودیافته چندهدفه پیشنهادشده است. از الگوریتم خوشه‌بندی k-means برای تخصیص مشتریان به مراکز توزیع برای دریافت خدمات در دوره‌های زمانی متعدد، و از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای تعیین مسیرهای خودرو و یافتن راه‌حل‌های بهینه پارتو استفاده‌شده است. Santos Gandra et al., 2021 در مطالعه خود یک مدل مکان‌یابی دوسطحی تعمیم‌یافته با محدودیت‌های بارگذاری دوبعدی[2] را برای مسئله موقعیت مکانی دوسطحی معرفی می‌کنند. برای حل مدل پیشنهادشده یک روش بهینه‌سازی ابتکاری مبتنی بر سناریو برای بارگذاری مختلف را معرفی می‌کنند و عملکرد آن را بر روی نمونه‌های واقعی ارزیابی کرده‌اند. Fallah Tafti et al., 2021 در این مطالعه یک مدل مسیریابی موقعیت مکانی دوسطحی چندهدفه[3] را برای جابجایی پول نقد برای کاهش خطر سرقت در حمل‌ونقل معرفی می‌کنند. برای این منظور، از مقدار وجه حمل شده توسط وسیله نقلیه به‌عنوان تابع ریسک به‌عنوان هدف اول و همچنین مدت‌زمان انتقال وجه به‌عنوان هدف دوم استفاده‌شده است. برای حل مسئله، چندین روش دقیق و فرا ابتکاری در ابعاد کوچک تا متوسط استفاده‌شده است. Cao et al., 2021 در این مقاله یک مسئله مکان‌یابی مسیریابی منابع زیست‌توده دوسطحی[4] معرفی‌شده است. با در نظر گرفتن عرضهٔ از پیش تعیین‌شده منابع زیست‌توده، یک مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط برای مدل

---

1. Multi-Period Two-echelon Location Routing Problem (MP-2ELRP)
2. Two-echelon location routing problem two-dimensional loading restrictions (2E-LRP2LR)
3. Multi-objective two-echelon location routing problem (MO-2ELRP)
4. Two-echelon biomass resource location routing problem (2E-BRLRP)

پیشنهادی ارائه‌شده است. مدل پیشنهادشده قادر است بهترین مکان‌ها برای تأسیسات جمع‌آوری زیست‌توده و مسیرهای وسایل نقلیه مربوطه را تعیین کند. برای حل مسئله یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی که بر اساس جستجوی همسایگی و جستجوی ممنوعه است معرفی‌شده است. Mohamed et al., 2022 در مطالعه خود به بررسی یک مسئله طراحی شبکه توزیع تحت عدم قطعیت در سطوح استراتژیک پرداخته‌اند. در این مطالعه یک مسئله به‌عنوان مسیریابی موقعیت مکانی با ظرفیت چند دوره‌ای تصادفی دوسطحی[۱] تعریف می‌شود. برای این منظور، شبکه‌ای در دو سطح توزیع ظرفیت دار تقسیم‌شده است که در هر سطح شامل یک طرح مکان-تخصیص-حمل‌ونقل خاص است که باید با تقاضای آینده مقابله کند. مدل پیشنهادشده، با استفاده از یک برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای اعداد صحیح مدل‌سازی شده است، که در آن مرحله اول شامل تصمیمات مکان و ظرفیت در هر دوره در افق برنامه‌ریزی اتخاذ می‌شود، درحالی‌که تصمیم‌های مسیریابی در سطح دوم تعیین می‌شوند. برای حل مسئله پیشنهادشده یک رویکرد مبتنی بر تجزیه بندرز پیشنهادشده است. Xue et al., 2022 در این مطالعه یک مسئله مسیریابی وسیله نقلیه پویا دوسطحی را با ایستگاه‌های ماهواره‌ای فعال[۲] معرفی می‌کنند که قادر است هزینه عملیاتی و هزینه ساخت را بهینه نماید. Du et al., 2022 در این مطالعه یک مدل تحویل مشترک جدید را برای کاهش هزینه‌های عملیاتی و انتشار گاز کربن از طریق تقویت همکاری و اشتراک منابع توسعه می‌دهد. برای این منظور، یک مدل ریاضی مسیریابی مکان تحویل مشترک دومرحله‌ای چند انباری [3] با در نظر گرفتن چند هدف پیشنهاد می‌کند. همچنین، برای حل مدل پیشنهادی یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی پیشنهاد می‌کنند. Heidari et al., 2022 در این مطالعه، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفه برای مسئلهٔ مسیریابی موقعیت مکانی بسته و باز دوسطحی سبز[۴] پیشنهادشده است که شامل دو سطح اعم از کارخانه‌ها، انبارها و مشتریان برای به حداقل رساندن هزینه‌ها و

---

[1]. Two-echelon stochastic multi-period capacitated location-routing problem (2E-SM-CLRP)

[2]. Two-echelon dynamic vehicle routing problem with proactive satellite stations (2E-DVRP-PSSs)

[3]. Multi-depot two-echelon Joint delivery location routing problem (MD-2E-JDLRP)

[4]. Green two-echelon close and open location-routing problem (G-2E-COLRP)

میزان انتشار کربن دی‌اکسید هستند. مدل پیشنهادی قادر است مسیرهای بهینه، تعداد وسایل نقلیه بهینه و همچنین مکان احداث تأسیسات را تعیین کند. برای حل مدل پیشنهادی، از روش اپسیلون محدودیت اصلاح‌شده برای حل دقیق مسئله در ابعاد کوچک استفاده‌شده است. علاوه بر این، از الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک استفاده‌شده است. He et al., 2023 در این مقاله یک سیستم حمل‌ونقل عمومی روستایی جدید را معرفی می‌کنند که قادر است خدمات مسافری و باری را یکپارچه کند. این رویکرد قادر است هزینه‌های لجستیکی را کاهش دهد و درآمد اضافی برای اپراتور حمل‌ونقل ایجاد کند. بنابراین، هدف به حداقل رساندن هزینه برای کاربر و اپراتور حمل‌ونقل با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط فرموله شده است که می‌تواند مسیریابی اتوبوس و برنامه‌ریزی سفر اتوبوس را برای چندین محل روستایی انجام دهد. مدل توسعه داده‌شده با استفاده از ابزار Gurobi در نمونه‌های عددی کوچک مورداستفاده قرارگرفته است و برای حل مسئله در ابعاد بزرگ از روش فرا ابتکاری جستجوی ممنوعه استفاده‌شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که چگونه می‌توان تعداد اتوبوس‌های برقی روستایی را به‌طور بهینه طراحی کرد تا هزینه‌های خرید و نگهداری آن‌ها کاهش یابد. Pour Mohammad Reza & Akbari Jokar, 2023 در این مطالعه به نیاز بهینه‌سازی مسئله تحویل در یک مدل مکان‌یابی از طریق یک رویکرد دومرحله‌ای جدید پرداخته‌اند که گزینه‌های تحویل مختلف مانند تحویل درِ منزل و تحویل به مکان‌های مختلف را در نظر می‌گیرند. فاز اول، ارزش مکان‌های پیشنهادی را از طریق رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره جدید تعیین می‌کند که معیارهای پایداری را در برمی‌گیرد. در مرحله دوم، یک مدل ریاضی مناسب برای مسیریابی وسیله نقلیه با گزینه‌های سرویس پیشنهادشده است. این مدل در نرم‌افزار CPLEX نسخه ۱۲.۶ در ابعاد مختلف کدگذاری شده است. در جدول ۱ طبقه‌بندی مطالعات گذشته انجام‌شده است.

جدول (۱) پیشینه تحقیقات انجام‌شده

نام مؤلف	سال انتشار	تابع هدف		دوره زمانی		Logic		محدودیت ظرفیت	روش حل
		تک هدفه	چند هدفه	یگانه	چندگانه	قطعی	غیرقطعی		
یو و همکاران	۲۰۲۰	-	*	*	-	*	-	-	فرا ابتکاری

چنگ و همکاران	۲۰۲۱	-	*	-	*	*	-	-	فرا ابتکاری
ونگ و همکاران	۲۰۲۱	*	-	-	*	*	-	-	ابتکاری
سانتوس گاندارا و همکاران	۲۰۲۱	*	-	*	-	*	-	-	ابتکاری
فلاح تفتی	۲۰۲۱	-	*	*	-	*	-	-	دقیق و فرا ابتکاری
کائو و همکاران	۲۰۲۱	*	-	*	-	*	-	-	ابتکاری
محمد و همکاران	۲۰۲۲	*	-	*	-	-	*	*	تجزیه بندرز
ژیو و همکاران	۲۰۲۲	-	*	*	-	-	-	-	-
دو و همکاران	۲۰۲۲	-	*	*	-	-	-	-	ابتکاری
حیدری و همکاران	۲۰۲۲	-	*	*	-	*	-	-	اپسیلون محدودیت وNSGA-II
نیرا و همکاران	۲۰۲۰	*	-	*	-	*	-	-	ابتکاری
هوانگ و همکاران	۲۰۲۱	*	-	-	-	*	-	*	PBC
رضایی و همکاران	۲۰۲۱	-	*	*	-	*	-	-	CPLEX
ونگ و همکاران	۲۰۲۲	-	*	*	-	*	-	-	ابتکاری
حسن‌پور و همکاران	۲۰۲۲	*	-	*	-	*	-	-	ابتکاری
نوذری و همکاران	۲۰۲۲	-	*	*	-	*	-	-	فازی نوتروسوفیک
رامیرز و همکاران	۲۰۲۲	*	-	*	-	*	-	-	جستجوی محلی

ژیائو و همکاران	۲۰۲۲	*	-	*	-	*	-	-	-
هی و همکاران	۲۰۲۳	*	-	*	-	*	-	-	Groubi
پورمحمدرضا و اکبری جوکار	۲۰۲۳	*	-	*	-	*	-	-	MCDM وCPLEX

با توجه به بررسی مطالعات گذشته، مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه امتیاز کارایی مکان‌های بالقوه جهت ارسال نیروهای پشتیبانی به‌عنوان یک شکاف تحقیقاتی شناسایی می‌شود که درگذشته از دید صاحب‌نظران دور مانده بود. بنابراین، در این تحقیق چارچوبی مناسب برای ارزیابی کارایی مکان‌های بالقوه جهت قرارگیری نیروهای پشتیبانی برای حمایت از نیروهای خودی در محل مورد مناقشه ارائه می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش

مدل پیشنهادی در خصوص ارزیابی کارایی مکان‌های بالقوه برای ارسال نیروهای پشتیبانی با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها، منطبق بر اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی با ملحوظ دانستن ورودی‌های مدیریت‌پذیر و غیر مدیریت‌پذیر در این بخش معرفی می‌شود. بر طبق مدل‌سازی تحلیل پوششی داده‌ها، عملکرد هر واحد تحت ارزیابی با تعدادی فعالیت تولیدی مشخص می‌شود که از ورودی‌ها برای تولید خروجی مطلوب یا نامطلوب باید استفاده کرد. البته فرض سنتی نشان می‌دهد که تولید خروجی مطلوب، بدون تولید هم‌زمان برخی از خروجی‌های نامطلوب ازنظر فنی غیرممکن است. اگر تصمیم‌گیرنده قصد داشته باشد خروجی‌های نامطلوب را هم در نظر بگیرد، تنها راه حفظ جریان موجود است. این مفهوم برای در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب مناسب خواهد بود. بنابراین، ما در این تحقیق فرض می‌کنیم با کاهش در برخی ورودی‌های خاص (دسته ورودی‌های مدیریتی) طبق فرض سنتی در تحلیل پوششی داده‌ها، خروجی‌های مطلوب را افزایش دهیم. همچنین، ورودی‌های غیر مدیریت‌پذیر را در سطح موجود خود نگه داریم که تحت کنترل مدیریت نیستند. به‌منظور ارزیابی تحلیل پوششی داده‌ها در این تحقیق

J واحد تحت ارزیابی در نظر گرفته‌شده است که 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 اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی ورودی‌ها را در دودسته مدیریت پذیر و غیر مدیریت پذیر طبقه‌بندی می‌کنیم. ورودی‌های غیر مدیریت پذیر $x_{pj}^N (p = 1, \dots, P)$ شامل مواردی هستند که برای ایجاد خروجی ثابت باقی بمانند زیرا در غیر این صورت میزان افزایش خروجی نامطلوب افزایش می‌یابند. همچنین، ورودی‌های مدیریت پذیر $x_{qj}^M (q = 1, \dots, Q)$ شامل مواردی هستند که قادرند به‌منظور از بین بردن خروجی‌های نامطلوب و به‌طور هم‌زمان برای افزایش خروجی‌های مطلوب بهبود یابند. بنابراین، طبق فرض سنتی تحلیل پوششی داده‌ها با آن‌ها رفتار می‌کنیم و به دنبال کاهش در مقدار آن‌ها خواهیم بود. بنابراین، با تعاریف ذکرشده فنّاوری جدید این امکان را دارد که با رعایت موارد فوق قادر باشد اولاً ورودی‌های مدیریت پذیر را در راستای بهبود خروجی‌ها بر طبق اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی تغییر دهد و همچنین اگر نمی‌توان ورودی‌های غیر مدیریت پذیر را بر اساس اصل دسترسی‌پذیری طبیعی کاهش داد حداقل در سطح موجود آن نگه دارد. بنابراین، در ساخت فنّاوری جدید با مشخصه‌های زیر روبرو هستیم تا به واحد کارا برسیم که عبارتند از:

- از طریق افزایش خروجی مطلوب،
- از طریق کاهش ورودی مدیریت پذیر،
- از طریق ثابت نگه‌داشتن سطح ورودی‌های غیر مدیریت پذیر.

در جدول ۲ کلیه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله در حالت کلی تعریف‌شده است.

جدول (۲) نمادگذاری

نماد	توضیحات
	اندیس
P	مجموعه ورودی‌های غیر مدیریت پذیر
Q	مجموعه ورودی‌های مدیریت پذیر
R	مجموعه خروجی‌های مطلوب
S	مجموعه خروجی‌های نامطلوب
J	مجموعه واحدهای تحت ارزیابی

O	واحد تحت بررسی
نماد	**توضیحات**
	پارامتر
x_{qj}^{M}	ورودی مدیریت پذیر q ام واحد تحت ارزیابی j
x_{pj}^{N}	ورودی غیر مدیریت پذیر p ام واحد تحت ارزیابی j
y_{rj}	خروجی مطلوب r ام واحد تحت ارزیابی j
w_{sj}	خروجی نامطلوب s ام واحد تحت ارزیابی j
نماد	**توضیحات**
	متغیر
λ_j	قیمت سایه ورودی و خروجی‌های واحد تحت ارزیابی j
Θ	مقدار تابع هدف (ضریب تعدیل ورودی‌ها)

در این صورت با رعایت موارد فوق فنّاوری جدید برای ساخت ناحیه شدنی به‌صورت مجموعه معادلات (۵) فرمول‌بندی می‌شود.

$$T = \{(X^N, X^m, Y): \sum \lambda_j x_{pj}^N = x_{pk}^N \quad (۵)$$
$$\sum \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}$$
$$\sum \lambda_j x_{qj}^M \leq x_{qk}^M$$
$$\sum \lambda_j w_{sj} = w_{sk}$$
$$p = 1, \dots, P; q = 1, \dots, Q; r = 1, \dots, R$$

در مجموعه معادلات (۵)، معادله اول $\sum \lambda_j x_{pj}^N = x_{pk}^N$ مربوط به ورودی‌های غیر مدیریت‌پذیر است و بیان می‌کند اگر طبق اصل دسترسی‌پذیری طبیعی نمی‌توان ورودی‌های غیر مدیریت پذیر را کاهش داد حداقل در سطح موجود آن نگهداشت. نامعادله دوم، $\sum \lambda_j x_{qj}^M \leq x_{qk}^M$ مربوط به ورودی‌های مدیریت‌پذیر دسترسی‌پذیری مدیریتی است. این محدودیت به این معنی است که کاهش در بردار ورودی‌ها، در جهت افزایش خروجی‌های مطلوب و کاهش هم‌زمان خروجی‌های نامطلوب طبق فرض سنتی تحلیل پوششی داده‌ها است. نامعادله سوم، $\sum \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}$ منعکس‌کننده دسترسی‌پذیری قوی برای خروجی‌های مطلوب در ناحیه شدنی است. معادله چهارم $\sum \lambda_j w_{sj} = w_{sk}$ تضمین می‌کند در صورت مواجهه با خروجی نامطلوب، مدل سعی کند آن را در مقدار موجود نگه دارد. با توجه به مواردی که در بالا بیان شد سرانجام، در جدول (۳)، متغیرهای

نهایی شناسایی‌شده است که برای ارزیابی مکان‌ها جهت ارسال نیروهای پشتیبانی مورداستفاده قرار می‌گیرند.

جدول (۳) ورودی‌ها و خروجی‌ها

ورودی مدیریت پذیر	ورودی غیر مدیریت پذیر	خروجی نامطلوب	خروجی مطلوب
جمعیت نیروی انسانی اعزام‌شده x_1^M	شدت حمله دشمن به منطقه مورد مناقشه x_1^N	میزان تلفات نیروها توسط دشمن w_1	مناسب بودن خصوصیات زمین‌شناختی y_1
-	-	-	در دسترس بودن آب y_2
-	-	-	خصوصیات توپوگرافیکی مناسب y_3

سرانجام، با در نظر گرفتن ساختار تشریح شده، مدل ارزیابی کارایی مناطق برای اعزام نیروهای پشتیبانی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها را با ملحوظ داشتن اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی مطابق با مجموعه معادلات ۶ تا ۱۱ در نظر می‌گیریم.

$$min\,\theta \quad (۶)$$

$$Subject\ to:$$

$$\sum \lambda_j x_{1j}^M \leq \theta x_{1k}^M \quad (۷)$$

$$\sum \lambda_j x_{1j}^N = \theta x_{1k}^N \quad (۸)$$

$$\sum \lambda_j w_{1j} = w_{1k} \quad (۹)$$

$$\sum \lambda_j y_j \geq y_k \quad (۱۰)$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad j = 1, \dots, n \quad (۱۱)$$

معادله (۶)، تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد که تا حد امکان قادر است از طریق کاهش در ورودی‌ها، خروجی‌ها را افزایش دهد تا واحد تحت ارزیابی روی مرز کارا قرار بگیرد. معادله (۷) تضمین می‌کند که رفتار سنتی در خصوص ورودی‌های مدیریت پذیر در مرحله اول به کار گرفته شود. معادله (۸) تضمین می‌کند اگر چنانچه سیستم قابلیت تسلط بر ورودی‌های غیر مدیریت پذیر را ندارد، بر روی سطح موجود ثابت آن را نگه دارد. معادله (۹) تضمین می‌کند که خروجی‌های نامطلوب افزایش پیدا نکنند و آن‌ها را در سطح موجود نگه‌دارند. و سرانجام در معادله (۱۰) تضمین می‌کند که حداکثر خروجی برای

واحد تحت ارزیابی در نظر گرفته شود. ضمناً متغیرهای اصلی در مدل فوق θ و λ_j هستند که به ترتیب آزاد در علامت و پیوسته هستند در معادله (۱۱) نشان داده‌شده است..

قضیه ۱: شدنی بودن مدل (۶-۱۱)

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

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

قضیه ۲: در مدل شماره (۶-۱۱) همواره $\theta^* \leq 1$ است.

فرض می‌کنیم جواب بهینه بزرگ‌تر از ۱ است (فرض خلف).

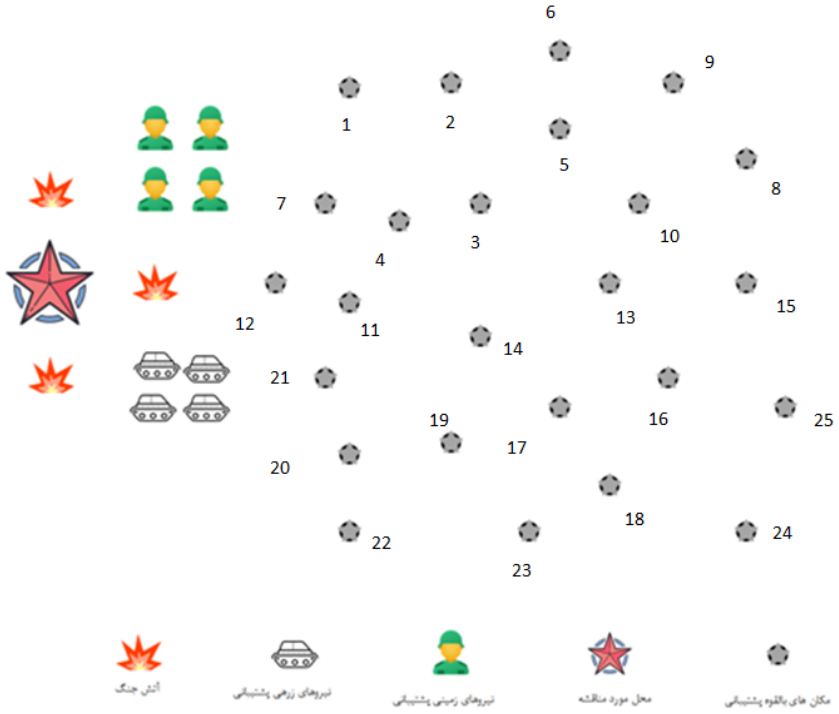
اثبات: فرض می‌کنیم به ازای $\theta = 1$ و همه λ ها برابر صفر به‌جز واحد تحت ارزیابی برابر یک جواب شدنی وجود دارد. یعنی $\lambda_j = 0;\ \lambda_o = 1;\ \theta = 1\ \ \forall j \neq o$. این جواب در تمام محدودیت‌ها صدق می‌کند و به زبان ریاضی یک جواب شدنی است. با توجه به min بودن تابع هدف در هر تکرار مینمم سازی، مقدار تابع هدف کاهش می‌یابد و مقدار $\theta^* = 1$ محاسبه‌شده است بنابراین وجود جواب بهینه بزرگ‌تر از یک برای θ با در نظر گرفتن جواب شدنی $\theta = 1$ تناقض و خلاف مینیمم سازی است. درنتیجه فرض خلف باطل و قضیه ثابت می‌شود که $\theta^* \leq 1$ است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور پاسخگویی به سؤال تحقیق برای تعیین کارایی مکان‌های بالقوه برای پشتیبانی نیروهای خودی ۲۵ مکان در نظر گرفته‌شده است. اطلاعات عددی مربوط به هر یک از این مکان‌ها جهت استقرار نیروهای پشتیبانی در جدول (۴) نشان داده‌شده است. با به‌کارگیری داده‌های مربوطه در مدل ریاضی توسعه داده‌شده، نتایج کارایی قابل‌محاسبه خواهند بود. همچنین، در شکل یک، محل قرارگیری هر یک از مکان‌ها و محل‌های درگیری نشان داده‌شده است.

جدول (۴) داده‌های مسئله

مکان‌های بالقوه	ورودی مدیریت پذیر x_1^M	ورودی غیرمدیریت پذیر x_1^N	خروجی نامطلوب w_1	خروجی مطلوب		
				y_1	y_2	y_3
	جمعیت نیروی انسانی اعزام‌شده (نفر)	شدت حمله دشمن به منطقه مورد مناقشه (درصد)	میزان تلفات نیروها توسط دشمن(نفر)	مناسب بودن خصوصیات زمین‌شناختی (کاندلا)	در دسترس بودن آب (مترمکعب)	خصوصیات توپوگرافیکی مناسب (ارتفاع از دریا)
مکان ۱	۳۶۴۹۰	۱۹.۴	۴۴۱.۱	۱۲	۲۶۵۹۰	۶۹۱.۱
مکان ۲	۳۶۴۹۰	۱۹.۴	۴۳۸.۸	۱۰	۲۶۵۹۰	۶۴۷.۲
مکان ۳	۵۵۸۶۲	۱۴.۹	۴۶۴	۱۱	۲۷۹۴۱	۲۸۵۴
مکان ۴	۲۲۶۳۱۶	۲۰.۴	۴۴۷.۴	۳۶	۵۱۰۰۳۳	۱۲۵۴
مکان ۵	۱۵۷۴۷	۸.۷	۴۵۸.۶	۱۴	۹۲۳۸	۱۰۸۴
مکان ۶	۸۰۲۹۶	۸.۳	۴۵۲.۷	۹	۴۶۷۰۶	۲۷۴.۵
مکان ۷	۱۴۹۲۸	۳	۴۰۸	۶	۹۵۷۳	۱۰۳۶
مکان ۸	۲۷۷۸۴	۵.۶	۴۳۱.۹	۲.۵	۱۵۵۷۴	۳۳۲
مکان ۹	۸۰۲۹۶	۸.۳	۳۹۱.۴	۲۱	۴۶۷۰۶	۱۰۷۸
مکان ۱۰	۱۵۳۴۲۶	۱۲.۹	۴۵۰.۴	۱۲.۲	۵۹۷۱۴	۱۱۲۵
مکان ۱۱	۱۶۷۳۸	۳.۲	۴۲۰.۹	۱۱	۱۰۷۳۴	۱۴۷۸
مکان ۱۲	۱۷۸۲۷	۵.۱	۴۲۷.۴	۱۰	۱۲۴۴۳	۵۵۶
مکان ۱۳	۱۸۰۶۴	۸.۹	۳۶۴.۳	۱۴	۹۱۲۶	۷۴۸
مکان ۱۴	۲۴۰۸۱	۲۰.۴	۳۷۷.۶	۱۶	۱۴۳۸۲	۶۳۲
مکان ۱۵	۲۲۶۳۱۶	۸.۹	۴۱۵.۳	۵	۵۱۰۰۳۳	۲۵۸
مکان ۱۶	۲۴۰۸۱	۷.۷	۳۹۹	۵.۵	۱۴۳۸۲	۱۲۳۶
مکان ۱۷	۱۰۶۵۵	۲۰.۴	۲۹۲.۶	۶.۷۵	۸۱۱۱	۲۵۸
مکان ۱۸	۲۲۶۳۱۶	۳.۷	۴۱۷.۹	۲۳	۵۱۰۰۳۳	۴۷۹
مکان ۱۹	۱۱۲۸۱	۲۴.۳	۴۴۱.۹	۱۴	۱۰۴۵۷	۴۶۵
مکان ۲۰	۸۳۶۹۳	۷.۸	۴۷۹.۷	۷	۶۴۳۲۳	۳۴۷
مکان ۲۱	۳۱۲۷۱	۵.۶	۳۹۹.۸	۲۶	۱۸۵۷۴	۸۸۵
مکان ۲۲	۲۷۷۴۸	۳.۶	۴۳۱.۵	۳	۱۵۵۷۴	۸۴۲
مکان ۲۳	۵۶۳۵۸	۷.۶	۵۴۱.۷	۱	۱۰۵۸۸۱	۳۶۹
مکان ۲۴	۱۵۴۶۴۲	۷.۶	۴۵۲.۱	۱۴	۶۶۰۰۱	۳۴۷
مکان ۲۵	۱۵۴۶۴۲	۳.۶	۴۴۳.۳	۱۲	۶۶۰۰۱	۲۵۵۴



شکل (۱) محل قرارگیری مکان‌های پشتیبانی

همان‌طور که در شکل یک مشخص‌شده است، ۲۵ مکان بالقوه جهت ارائه خدمات پشتیبانی اعم از زمینی و زرهی آمادگی دارند تا به نیروهای خودی در محل مورد مناقشه کمک‌رسانی کنند که آتش جنگ به نفع نیروهای خود به پایان برسد. اکنون با لحاظ کردن ویژگی‌های هر یک از مناطق برحسب طبقه‌بندی انجام‌شده مطابق با جدول (۴) و اجرای مدل می‌توانیم کارایی هر یک از مناطق را محاسبه نماییم. در جدول پنج نتیجه محاسبه کارایی برای مناطق محاسبه‌شده است.

جدول (۵) مقدار امتیاز کارایی مناطق

مکان‌های بالقوه	امتیاز کارایی
مکان ۱	۰.۹۳۲
مکان ۲	۰.۹۲۸

مکان ۳	۰.۹۹۴
مکان ۴	۱.۰۰
مکان ۵	۰.۹۹۱
مکان ۶	۰.۹۶۶
مکان ۷	۰.۹۵۰
مکان ۸	۰.۸۵۸
مکان ۹	۰.۹۸۸
مکان ۱۰	۰.۹۷۴
مکان ۱۱	۰.۹۴۲
مکان ۱۲	۱.۰۰
مکان ۱۳	۰.۸۲۳
مکان ۱۴	۱.۰۰
مکان ۱۵	۰.۸۷۰
مکان ۱۶	۰.۶۴۰
مکان ۱۷	۰.۹۷۸
مکان ۱۸	۱.۰۰
مکان ۱۹	۱.۰۰
مکان ۲۰	۰.۸۷۴
مکان ۲۱	۰.۹۵۰
مکان ۲۲	۱.۰۰
مکان ۲۳	۱.۰۰
مکان ۲۴	۱.۰۰
مکان ۲۵	۱.۰۰

در جدول (۵)، نتایج امتیاز کارایی محاسبه‌شده توسط مدل نشان داده‌شده است. لازم به ذکر است که مکان‌هایی که امتیاز کارایی آن‌ها برابر با یک محاسبه‌شده است به‌عنوان مکان‌های بالقوه جهت ارسال نیروهای پشتیبانی در نظر گرفته می‌شوند و اصطلاحاً به آن‌ها راه‌حل‌های کارا می‌گویند. همچنین، مکان‌هایی که امتیاز کمتر از یک دارند به‌عنوان راه‌حل‌های ناکارا در حل مدل پیشنهادی محسوب می‌شوند. در بین ۲۵ مکان در نظر

گرفته‌شده فقط مکان‌های ۴، ۱۴، ۱۸، ۱۹، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵ به‌عنوان مکان بالقوه در نظر گرفته می‌شوند. نکته قابل‌توجه این است که کلیه راه‌حل‌هایی که به‌عنوان پاسخ کارا شناخته‌شده‌اند امتیازی برابر یک برای آن‌ها محاسبه‌شده است؛ لذا، انتخاب یک مکان یا تعدادی مکان که اولویت بالاتری داشته باشند در چنین وضعیتی مشخص نیست. برای غلبه بر این خاصیت از روش اندرسون و پترسون جهت محاسبه ابر کارایی استفاده می‌شود. بر طبق آن، هر یک از مکان‌ها که امتیاز کارایی برابر یک برای آن‌ها محاسبه‌شده است یک امتیاز کارایی منحصربه‌فرد بزرگ‌تر از یک برایشان محاسبه می‌شود که بر اساس آن می‌توانیم مکان‌ها را نیز اولویت‌بندی کنیم. در جدول (۶)، نتایج مربوط به محاسبه ابر کارایی و اولویت‌بندی مکان‌ها نشان داده‌شده است.

جدول (۶) ابر کارایی و اولویت‌بندی مکان‌های بالقوه

مکان‌های بالقوه	ابر کارایی	اولویت‌بندی مکان‌های بالقوه
مکان ۱	۰.۹۳۸	نوزدهم
مکان ۲	۰.۹۳۳	بیستم
مکان ۳	۰.۹۹۴	دهم
مکان ۴	۱.۰۵۴	ششم
مکان ۵	۱.۰۲۰	نهم
مکان ۶	۰.۹۹۲	دوازدهم
مکان ۷	۰.۹۹۱	سیزدهم
مکان ۸	۰.۹۵۶	پانزدهم
مکان ۹	۰.۹۱۴	بیست و یکم
مکان ۱۰	۰.۹۸۹	چهاردهم
مکان ۱۱	۰.۹۹۳	یازدهم
مکان ۱۲	۰.۹۴۹	هجدهم
مکان ۱۳	۱.۰۳۲	هشتم
مکان ۱۴	۰.۸۴۴	بیست و چهارم
مکان ۱۵	۱.۱۰۰	چهارم
مکان ۱۶	۰.۸۸۳	بیست و سوم
مکان ۱۷	۰.۸۴۰	بیست و پنجم

مکان ۱۸	۱.۱۴۰	سوم
مکان ۱۹	۰.۹۵۱	هفدهم
مکان ۲۰	۱.۰۳۷	هفتم
مکان ۲۱	۰.۸۸۸	بیست و دوم
مکان ۲۲	۰.۹۵۵	شانزدهم
مکان ۲۳	۱.۰۶۶	پنجم
مکان ۲۴	۱.۱۶۰	اول
مکان ۲۵	۱.۱۵۰	دوم

در جدول ۶، نتایج اولویت‌بندی مناطق بالقوه برای پشتیبانی نیروها نشان داده‌شده است. بر اساس نتایج حاصل‌شده، مکان ۲۴ در اولویت اول با امتیاز ۱.۱۶۰، مکان ۲۵ در اولویت دوم با امتیاز ۱.۱۵۰ و مکان ۱۸ در اولویت سوم با امتیاز ۱.۱۴۰ قرار دارند. در مقابل، مکان‌های ۱۶، ۱۴ و ۱۷ به ترتیب در اولویت‌های پایین برای اعزام نیروهای پشتیبانی قرار دارند.

تحلیل حساسیت

در این بخش از تحقیق به بررسی میزان تغییر در ورودی مدیریت‌پذیرِ در نظر گرفته‌شده و به تأثیر اثر آن بر روی کارایی می‌پردازیم. در حقیقت، می‌خواهیم مشخص کنیم که در چه صورت مکان‌های ناکارا قادر خواهند بود به‌عنوان واحد کارا تبدیل شوند. برای این منظور، ابتدا واحدهای کارا را کنار می‌گذاریم. سپس، مقدار ناکارایی که به‌عنوان ضریب تعدیل دهنده واحد در مقدار ورودی‌ها عمل می‌کند تا تصویر واحد روی مرز کارایی قرار بگیرد را در مقدار ورودی مدیریت‌پذیر مربوط به واحد تحت ارزیابی ضرب می‌کنیم. حاصل مقدار محاسبه‌شده میزان تغییرات در ورودی مدیریت‌پذیر مربوطه را نشان می‌دهد. تعبیر مقدار به‌دست‌آمده این است، اگر چنانچه هر یک از مکان‌های ناکارا مقدار ورودی مدیریت-پذیر آن‌ها به میزان تغییرات مشخص‌شده کم شوند، در این صورت مکان موردنظر به‌عنوان یک مکان کارا تلقی می‌شود. در جدول ۷ نتایج مربوط به میزان تغییرات در ورودی مدیریت پذیر هر یک از مکان‌های ناکارا به‌عنوان واحدهای تحت ارزیابی نشان داده‌شده است.

جدول (۷) تغییرات ورودی‌های مدیریت پذیر (جمعیت نیروی انسانی اعزام‌شده)

مکان‌های بالقوه	امتیاز کارایی θ	ورودی مدیریت پذیر x_1^M	میزان تغییرات در ورودی مدیریت پذیر $\Delta x_1^M = \theta x_1^M$
مکان ۱	۰.۹۳۲	۳۶۴۹۰	۳۴۰۰۹
مکان ۲	۰.۹۲۸	۳۶۴۹۰	۳۳۸۶۳
مکان ۳	۰.۹۹۴	۵۵۸۶۲	۵۵۵۲۷
مکان ۵	۰.۹۹۱	۱۵۷۴۷	۱۵۶۰۵
مکان ۶	۰.۹۶۶	۸۰۲۹۶	۷۷۵۶۶
مکان ۷	۰.۹۵۰	۱۴۹۲۸	۱۴۱۸۲
مکان ۸	۰.۸۵۸	۲۷۷۸۴	۲۳۸۳۹
مکان ۹	۰.۹۸۸	۸۰۲۹۶	۷۹۳۳۲
مکان ۱۰	۰.۹۷۴	۱۵۳۴۲۶	۱۴۹۴۳۷
مکان ۱۱	۰.۹۴۲	۱۶۷۳۸	۱۵۷۶۷
مکان ۱۳	۰.۸۲۳	۱۸۰۶۴	۱۴۸۶۷
مکان ۱۵	۰.۸۷۰	۲۲۶۳۱۶	۱۹۶۸۹۵
مکان ۱۶	۰.۶۴۰	۲۴۰۸۱	۱۵۴۱۲
مکان ۱۷	۰.۹۷۸	۱۰۶۵۵	۱۰۴۲۱
مکان ۲۰	۰.۸۷۴	۸۳۶۹۳	۷۳۱۴۸
مکان ۲۱	۰.۹۵۰	۳۱۲۷۱	۲۹۷۰۷

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تعیین مکان برای اعزام نیروهای پشتیبانی به مناطق جنگی یک وظیفه بسیار حساس و پیچیده است. در مواقع بحرانی و جنگ، نیاز به نیروهای پشتیبانی مانند نیروهای زمینی، زرهی، تجهیزات پزشکی، لوازم غذایی، سوخت و مواد اولیه، تجهیزات ارتباطات و غیره بسیار اساسی است. برای اینکه این نیروها به‌طور بهینه به منطقه جنگی اعزام شوند، تعیین مکان صحیح بر اساس نیازها و شرایط مختلف ضروری است.

بنابراین، هدف اصلی از تعیین مکان برای اعزام نیروهای پشتیبانی به مناطق جنگی، ایجاد کارایی و بهره‌وری بالا در انجام عملیات پشتیبانی است. با تعیین مکان بهینه، نیروها و

تجهیزات موردنیاز به زمان و محل مناسبی اعزام می‌شوند، مواد و تجهیزات به‌صورت سریع و هماهنگ عرضه می‌شوند و فرایند پشتیبانی به‌صورت کارا انجام می‌شود. هدف دیگر از تعیین مکان مناسب، حفظ امنیت نیروها و تجهیزات در منطقهٔ جنگی است. کارایی در تعیین مکان برای اعزام نیروهای پشتیبانی به منطقه جنگی اهمیت بسیاری دارد. با توجه به شرایط فوق‌العاده و بحرانی مناطق جنگی، ضروری است تا اعمال امداد و پشتیبانی به‌طور سریع، هدفمند و کارا صورت گیرد. اگر مکان‌ها به‌درستی تعیین نشوند و در نزدیکی مناطق خطرناک قرار گیرند، خطرات جدی برای نیروها و تجهیزات پشتیبانی وجود دارد. همچنین، عدم کارایی در تعیین مکان می‌تواند منجر به عدم هماهنگی در ارسال و توزیع مواد و تجهیزات پشتیبانی شود که باعث تأخیر در فرایند پشتیبانی و کاهش کارایی عملیات نظامی خواهد شد.

بنابراین، اهمیت کارایی در تعیین مکان برای اعزام نیروهای پشتیبانی به مناطق جنگی بسیار زیاد است. در این تحقیق یک مدل‌سازی برای مسئله مکان‌یابی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه امتیاز کارایی مکان‌های بالقوه جهت امدادرسانی به نیروهای خودی درگیر در محل مناقشه ارائه‌شده است. بر اساس مدل‌سازی ارائه‌شده می‌توانیم کارایی مناطق را شناسایی کنیم.

سرانجام، با ارائهٔ یک تحلیل حساسیت بر روی مقادیر ورودی مدیریت‌پذیر، حداکثر تغییرات ممکن بر روی مقدار این نوع از ورودی برای هر یک از مکان‌ها مشخص‌شده است. برای تحقیقات بیشتر پیشنهاد می‌شود که محققین، نوع اقلام دسته‌بندی‌شده اعم از نیروهای زمینی، نیروهای زرهی، آب، خوراک، وسایل بهداشتی، گرمایشی و... را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری اولویت‌بندی کنند و یک مدل مسیریابی برای ارسال این اقلام به مکان‌های اولویت‌بندی شده ارائه دهند.

همچنین، در این تحقیق فقط کمبود آماد به‌عنوان فاکتوری نامطلوب برای افزایش تلفات در نظر گرفته‌شده است. این در حالی است که عوامل دیگری همچون نداشتن آمادگی و آموزش کافی نیروها، نداشتن برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب و عدم رعایت حقوق بشر از جبههٔ مقابل می‌تواند بر روی تلفات بیشتر نیروهای خودی تأثیر بگذارد که توجه به آن‌ها در حین مدل‌سازی می‌تواند مفید واقع شود.

توصیه‌های کلیدی برای سیاست‌گذاران دفاعی

- تعیین مکان بهینه با استفاده از مدل‌های تحلیلی
- افزایش کارایی و سرعت در پشتیبانی لجستیکی:
- حفظ امنیت نیروها و تجهیزات در اولویت‌بندی مکان‌ها
- توسعه مدل‌های مسیریابی و اولویت‌بندی اقلام پشتیبانی
- توجه به عوامل چندگانه مؤثر بر تلفات در مدل‌سازی

قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند تا از زحمات سردبیر محترم، داوران و اعضای مسئول در مجلهٔ «آینده‌پژوهی دفاعی» بابت راهنمایی و ارائهٔ نقطه نظرات سازنده خالصانه تشکر و قدردانی کنند.

تضاد منافع:

نویسندگان تصریح می‌دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی درخصوص پژوهش حاضر وجودندارد.

منابع

- بیگدلی، حمید و موسی‌زاده، محمد. (۱۴۰۲). فرایند تحلیل سلسله مراتبی در مدل‌سازی و حل بازی‌های ماتریسی در محیط نوتروسوفیک و کاربرد آن در مسائل نظامی. *علوم و فنون نظامی*، ۱۹(۶۴)، ۵-۳۲.
- شمامی، نادر؛ مهدی زاده، اسماعیل؛ یزدانی، مهدی و اعتباری، فرهاد (۱۴۰۱). ارائه یک مدل ریاضی استکلبرگ جهت تخصیص سلاح به هدف با در نظر گرفتن حملات توأم هوایی و زمینی. *علوم و فنون نظامی*، ۱۸(۵۹)، ۲۴۵-۲۷۰.
- ایجابی، ابراهیم و پاک‌نیت، عباس (۱۴۰۲). ارزیابی عملکرد گروه‌های مهندسی نیروی زمینی ارتش جمهوری اسلامی ایران در عملیات مردم‌یاری در مقابله با سیل و زلزله. *فصلنامه مطالعات جنگ*، ۵(۱۷)، ۶۲-۳۵.

- Amirteimoori, A., Allahviranloo, T., Kordrostami, S., & Bagheri, S. F. (2023). Improving decision-making units in performance analysis methods: a data envelopment analysis approach. Mathematical Sciences, 1-11. DOI: 10.1007/s40096-023-00488-8
- Amirteimoori, A., Mehdizadeh, S., & Kordrostami, S. (2022). Stochastic performance measurement in two-stage network processes: A data envelopment analysis approach. Kybernetika, 58(2), 200-217. DOI: 10.14736/kyb-2022-2-0200
- Arana-Jiménez, M., Sánchez-Gil, M. C., Younesi, A., & Lozano, S. (2021). Integer interval DEA: An axiomatic derivation of the technology and an additive, slacks-based model. Fuzzy sets and systems, 422, 83-105. DOI: 10.1016/j.fss.2021.02.013
- Asadi, F., Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Bazrafshan, M. (2023). Inverse data envelopment analysis without convexity: double frontiers. Decisions in Economics and Finance, 46(1), 335-354. DOI: 10.1007/s10203-023-00394-0
- Bigdeli, H. and Mousazadeh, M. (2023). Analytical Hierarchy Process in modeling and solving matrix games in neutrosophic environment and its application in military problems. *Military Science and Tactics*, *19*(64), 5-33. [in persian] DOI: 10.22034/qjmst.2023.544038.1627
- Cao, J. X., Wang, X., & Gao, J. (2021). A two-echelon location-routing problem for biomass logistics systems. Biosystems engineering, 202, 106-118. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2020.12.008
- Cheng, C., Zhu, R., Costa, A. M., Thompson, R. G., & Huang, X. (2021). Multi-period two-echelon location routing problem for disaster waste clean-up. Transportmetrica A: Transport Science, 1-31. DOI: 10.1080/23249935.2021.1990129

– Du, J., Wang, X., Wu, X., Zhou, F., & Zhou, L. (2022). Multi-objective optimization for two-echelon joint delivery location routing problem considering carbon emission under online shopping. Transportation Letters, 1-19. DOI: 10.1080/19427867.2022.2091669
– Ejabi, Ebrahim, and Pakneit, Abbas. (2023). "Performance Evaluation of Engineering Groups of the Islamic Republic of Iran Army Ground Forces in Relief Operations Against Floods and Earthquakes." Quarterly Journal of War Studies, 5(17), 35-62. [in persian] DOI: 10.22034/qjws.2023.1989551.1113
– Fakhr Mousavi, S. M., Amirteimoori, A., Kordrostami, S., & Vaez-Ghasemi, M. (2023). Non-radial two-stage network DEA model to estimate returns to scale. Journal of Modelling in Management, 18(1), 36-60. DOI: 10.1108/JM2-03-2021-0066
– Fallahtafti, A., Ardjmand, E., Young II, W. A., & Weckman, G. R. (2021). A multi-objective two-echelon location-routing problem for cash logistics: A metaheuristic approach. Applied Soft Computing, 111, 107685. DOI: 10.1016/j.asoc.2021.107685
– Gandra, V. M. S., Çalık, H., Wauters, T., Toffolo, T. A., Carvalho, M. A. M., & Berghe, G. V. (2021). The impact of loading restrictions on the two-echelon location routing problem. Computers & Industrial Engineering, 160, 107609. DOI: 10.1016/j.cie.2021.107609
– Hasanpour Jesri, Z. S., Eshghi, K., Rafiee, M., & Van Woensel, T. (2022). The Multi-Depot Traveling Purchaser Problem with Shared Resources. Sustainability, 14(16), 10190. DOI: 10.3390/su141610190
– He, D., Ceder, A. A., Zhang, W., Guan, W., & Qi, G. (2023). Optimization of a rural bus service integrated with e-commerce deliveries guided by a new sustainable policy in China. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 172, 103069. DOI: 10.1016/j.tre.2023.103069
– Heidari, A., Imani, D. M., Khalilzadeh, M., & Sarbazvatan, M. (2022). Green two-echelon closed and open location-routing problem: application of NSGA-II and MOGWO metaheuristic approaches. Environment, Development and Sustainability, 1-37. DOI: 10.1007/s10668-022-02646-6
– Heydari Kushalshah, T., Daneshmand-Mehr, M., & Abolghasemian, M. (2023). Hybrid modelling for urban water supply system management based on a bi-objective mathematical model and system dynamics: A case study in Guilan province. Journal of Industrial and Systems Engineering, 15(1), 260-279. URL: http://www.jise.ir/article_148592.html
– Hosseinzadeh Lotfi, F., Jahanshahloo, G. R., Khodabakhshi, M., Rostamy-Malkhlifeh, M., Moghaddas, Z., & Vaez-Ghasemi, M. (2013). A review of ranking models in data envelopment analysis. Journal of Applied Mathematics, 2013. DOI: 10.1155/2013/492421

– Huang, N., Li, J., Zhu, W., & Qin, H. (2021). The multi-trip vehicle routing problem with time windows and unloading queue at depot. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 152, 102370. DOI: 10.1016/j.tre.2021.102370
– Jahani Sayyad Noveiri, M., & Kordrostami, S. (2023). Estimating sustainability dimensions using fuzzy inverse directional distance model with flexible measures: a health sector application. Soft Computing, 1-17. DOI: 10.1007/s00500-023-08243-0
– Jiao, L., Peng, Z., Xi, L., Guo, M., Ding, S., & Wei, Y. (2022). A multi-stage heuristic algorithm based on task grouping for vehicle routing problem with energy constraint in disasters. Expert Systems with Applications, 118740. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.118740
– Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Noveiri, M. J. S. (2019). Inputs and outputs classification in integer-valued data envelopment analysis. Measurement, 139, 317-325. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.03.004
– Mohamed, I. B., Klibi, W., Sadykov, R., Şen, H., & Vanderbeck, F. (2022). The two-echelon stochastic multi-period capacitated location-routing problem. European Journal of Operational Research. DOI: 10.1016/j.ejor.2022.06.058
– Nedjati, A., Izbirak, G., & Arkat, J. (2017). Bi-objective covering tour location routing problem with replenishment at intermediate depots: Formulation and meta-heuristics. Computers & Industrial Engineering, 110, 191-206. DOI: 10.1016/j.cie.2017.06.004
– Neira, D. A., Aguayo, M. M., De la Fuente, R., & Klapp, M. A. (2020). New compact integer programming formulations for the multi-trip vehicle routing problem with time windows. Computers & Industrial Engineering, 144, 106399. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106399
– Nozari, H., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Gharemani-Nahr, J. (2022). A neutrosophic fuzzy programming method to solve a multi-depot vehicle routing model under uncertainty during the covid-19 pandemic. International Journal of Engineering, 35(2), 360-371. DOI: 10.5829/ije.2022.35.02b.11
– Pirabán-Ramírez, A., Guerrero-Rueda, W. J., & Labadie, N. (2022). The multi-trip vehicle routing problem with increasing profits for the blood transportation: An iterated local search metaheuristic. Computers & Industrial Engineering, 170, 108294. DOI: 10.1016/j.cie.2022.108294
– Pourmohammadreza, N., & Jokar, M. R. A. (2023). A Novel Two-Phase Approach for Optimization of the Last-Mile Delivery Problem with Service Options. Sustainability, 15(10), 8098. DOI: 10.3390/su15108098
– 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. DOI: 10.1155/2021/7216987

– Shamami, N. , Mehdizadeh, E. , Yazdani, M. and Etebari, F. (2022). Proposing a Stackelberg mathematical model for weapon-target assignment considering both air and ground attacks. *Military Science and Tactics*, *18*(59), 245-270. DOI: 10.22034/qjmst.2022.543952.1628
– Wang, Y., Sun, Y., Guan, X., Fan, J., Xu, M., & Wang, H. (2021). Two-echelon multi-period location routing problem with shared transportation resource. Knowledge-Based Systems, 226, 107168. DOI: 10.1016/j.knosys.2021.107168
– Wang, Y., Zhe, J., Wang, X., Sun, Y., & Wang, H. (2022). Collaborative Multidepot Vehicle Routing Problem with Dynamic Customer Demands and Time Windows. Sustainability, 14(11), 6709. DOI: 10.3390/su14116709
– Xue, G., Wang, Y., Guan, X., & Wang, Z. (2022). A combined GA-TS algorithm for two-echelon dynamic vehicle routing with proactive satellite stations. Computers & Industrial Engineering, 164, 107899. DOI: 10.1016/j.cie.2021.107899
– Yazdi, M., Golilarz, N. A., Adesina, K. A., & Nedjati, A. (2021). Probabilistic risk analysis of process systems considering epistemic and aleatory uncertainties: a comparison study. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 29(02), 181-207. DOI: 10.1142/S0218488521500089
– Yu, X., Zhou, Y., & Liu, X. F. (2020). The two-echelon multi-objective location routing problem inspired by realistic waste collection applications: The composable model and a metaheuristic algorithm. Applied Soft Computing, 94, 106477. DOI: 10.1016/j.asoc.2020.106477