University of Qom
Engineering Management and Soft Computing
JEMSC.QOM
Online ISSN: 2538-2675

Locating-routing problem for the distribution of priority support items to ground forces in wartime conditions

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

1 .Ph.D in industrial engineering, Department of Science and Technology Studies, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran. Email: m.abolghasemian.bt@gmail.com
2 .Corresponding Author, Assist. Prof. Department of Science and Technology Studies, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran. Email: hamidbigdeli92@gmail.com
3. Assist. Prof. Department of Science and Technology Studies, AJA Command and Staff University, Tehran, Iran. Email: nader.shamami@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 22 Aug 2024
Received in revised form 5 Sep 2024
Accepted 10 Sep 2024
Published online 21 Sep 2024

Keywords:
Data Envelopment Analysis,
Efficiency,
Optimization,
Positioning,
Routing, Support Items.

ABSTRACT

In times of crisis and war, the supply and delivery of relief items to the front line is of utmost importance. The locations of support forces play a key role in facilitating these deliveries. Evaluating the efficiency of these locations can help improve logistics processes and enhance the speed and accuracy of relief services. The aim of this research is to assess the efficiency of support force locations to identify their strengths and weaknesses, analyze the impacts of geographical position on the delivery process of relief items, and provide suggestions for optimizing these locations. In this research, a mathematical modeling approach is presented to determine efficient locations for deploying support forces using Data Envelopment Analysis (DEA). Additionally, a mixed-integer linear programming model is proposed for routing prioritized support items. The proposed model allows for the adjustment of manageable inputs to improve outputs according to the principle of managerial accessibility, while also maintaining the current levels of unmanageable inputs if they cannot be reduced based on the principle of natural accessibility. Subsequently, routing for the distribution of these prioritized support items is provided using a mixed-integer linear programming model. The proposed model has been used to evaluate 25 potential locations prepared to provide ground support services to assist friendly forces in contested areas, with the aim of ending the conflict in favor of friendly forces. Sixteen viable support locations have been identified. Finally, routing for the distribution of support items to these 16 locations has been presented. The results of this research are of significant importance for the decision-making of commanders in future battles. Finally, implementing an optimal routing system for sending prioritized support items can help improve the efficiency of military operations, increase the ability to respond to changing battlefield conditions, and preserve the lives of ground forces. As a strategic tool, this system can play a key role in the success of future battles.

Cite this article: Abolghasemian, M. & others, (2024). Locating-routing problem for the distribution of priority support items to ground forces in wartime conditions. *Enginiiring Management and Soft Computing, 10* (1). 262-292. **DOI**: https://doi.org/

© The Author(s)
DOI: https://doi.org/
Publisher: University of Qom

JEMSC.QOM
شاپا الکترونیکی: ۲۵۳۸-۲۶۷۵
مدیریت مهندسی و رایانش نرم
دانشگاه قم

مسئله مسیریابی–مکان‌یابی توزیع اقلام پشتیبانی اولویت‌دار به نیروهای زمینی در شرایط جنگ

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

۱. دکترای تخصصی مهندسی صنایع، گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران. رایانامه: m.abolghasemian.bt@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران. رایانامه: hamidbigdeli92@gmail.com
۳. استادیار، گروه مطالعات علم و فناوری، دانشگاه فرماندهی و ستاد آجا، تهران، ایران. رایانامه: nader.shamami@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱

کلیدواژه‌ها:
اقلام پشتیبانی، بهینه‌سازی، تحلیل پوششی داده‌ها، کارآیی، مسیریابی، موضع‌یابی.

چکیده

در شـرایط بحران و جنگ، تامین و ارسـال اقلام امدادی به جبهه خط مقدم از اهمیت بالایی برخوردار اسـت. مکان‌های قرارگیری نیروهای پشتیبانی نقش کلیدی در تسهیل این ارسال‌ها دارند. ارزیابی کارآیی این مکان‌ها می‌تواند به بهبود فرآیندهای لجستیکی و افزایش سرعت و دقت در ارائه خدمات امدادی کمک کند. هدف این تحقیق ارزیابی کارآیی مکان‌های قرارگیری نیروهای پشتیبانی به‌منظور شناسایی نقاط قوت و ضعف آنها، تحلیل تاثیرات موقعیت جغرافیایی بر فرآیند ارسال اقلام امدادی و ارائه پیشنهادات برای کارآیی این مکان‌هاست. در این تحقیق با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، یک مدل‌سازی ریاضی برای تعیین مکان‌های کارا جهت اعزام نیروهای پشتیبانی ارائه شده‌است. همچنین برای مسیریابی اقلام پشتیبانی اولویت‌بندی‌شده، یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح ارائه شده‌است. مدل پیشنهادشده، این قابلیت را دارد که طبق اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی، ورودی‌های مدیریت‌پذیر را در راسـتای بهبود خروجی‌ها تغییر دهد و اگر نتوان ورودی‌ها را براسـاس اصـل دسترسی‌پذیری طبیعی کاهش داد، حداقل آنها را در سطح موجود نگه دارد. سپس با استفاده از اولویت‌بندی اقلام پشتیبانی، نسبت به مسیریابی جهت توزیع این اقلام با استفاده از یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح، اقداماتی صـورت گرفته‌اسـت. مدل موردنظر برای ارزیابی ۲۵ مکان بالقوه دارای آمادگی جهت ارائه خدمات پشتیبانی زمینی به نیروهای خودی در محل مورد مناقشه، استفاده شده‌است. ۱۶ مکان مستعد پشتیبانی شناسایی شده‌اند. سرانجام مسیریابی توزیع اقلام پشتیبانی به این ۱۶ مکان ارائه شده‌است. نتایج حاصل از این تحقیق در تصمیم فرماندهان در نبردهای آینده از اهمیت بالایی برخوردار است. درنهایت پیاده‌سازی یک نظام مسیریابی بهینه برای ارسـال اقلام پشـتیبانی اولویت‌بندی‌شـده، می‌تواند به بهبود کارآیی عملیات نظامی، افزایش توانایی پاسـخ‌دهی به شـرایط متغیر میدان جنگ و حفظ جان نیروهای زمینی کمک کند. این نظام به‌عنوان یک ابزار استراتژیک، می‌تواند نقش کلیدی در موفقیت نبردهای آینده ایفا کند.

استناد: ابوالقاسمیان، میلاد؛ بیگدلی، حمید؛ شمامی، نادر (۱۴۰۳). «مسئله مسیریابی–مکان‌یابی توزیع اقلام پشتیبانی اولویت‌دار به نیروهای زمینی در شرایط جنگ». *مدیریت مهندسی و رایانش نرم*، دوره ۱۰ (۱). صص: ۲۹۲-۲۶۲. https://doi.org/

ناشر: دانشگاه قم

© نویسندگان.
CC BY NC

۱) مقدمه

مسیریابی فعالیتی است که قابلیت‌ها و توانایی‌های یک منطقه را از لحاظ وجود زمین مناسب و کافی و نیز ارتباط آن با سایر کاربری‌ها جهت انتخاب مسیری مناسب برای کاربری خاص، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهد. مسیریابی خدمات علاوه بر تاثیرگذاری بر هزینه‌ها، در کارآیی، بهره‌برداری و نیز کیفیت آنها موثر است. مسائل مسیریابی در فضای گسسته شامل تعیین مسیر برای تخصیص یک یا چندین تسهیل در یک یا چند مکان بالقوه است تا هزینه تامین نیازهای مشتریان را کمینه کند (سانتوس گاندرا، ۲۰۲۱). مسئله تخصیص اغلب به علت ظرفیت محدود تسهیلات، باید در ارتباط با مسئله مسیریابی حل شود. مدل‌های- تخصیص،[1] همزمان به دنبال تعیین مکان بهینه تسهیلات و تخصیص مشتریان به تسهیلات منتخب هستند. به‌عبارتی مسئله تخصیص، استقرار مجموعه‌ای از تسهیلات جدید است به گونه‌ای که هزینه حمل‌ونقل تسهیلات به مشتریان حداقل شود و تعداد بهینه‌ای از تسهیلات برای ارضای تقاضای مشتریان در منطقه موردنظر مستقر شود. اهداف، محدودیت‌ها و متغیرهای مسائل با توجه به هدف و نوع مسئله مورد بررسی متفاوت است (هی و همکاران، ۲۰۲۳).

دو رویکرد کلی برای کاربرد بحث کارآیی در مسائل مسیریابی وجود دارد. در رویکرد اول، مسئله مسیریابی موردنظر به‌صورت یک مسئله گسسته تصمیم‌گیری چندمعیاره درنظر گرفته می‌شود که در آن هدف، انتخاب کارآترین مکان یا مکان‌ها از میان نقاط کاندید موجود برای تعداد معینی تسهیل است. رویکرد دوم، برای تعیین مسیر یا مسیرهایی مناسب است که از مدل‌های ریاضی مسیریابی استفاده می‌شود. مدل‌های مسیریابی مذکور به‌صورت سلسله مراتبی یا همزمان در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ادغام شده و به تعیین مکان‌های کارا منجر می‌شوند (ونگ و همکاران، ۲۰۲۲).

بطورکلی در این تحقیق به دنبال ارائه چارچوب مناسبی برای ارزیابی کارآیی مکان‌های بالقوه جهت قرارگیری نیروهای پشتیبانی و ارسال اقلام امدادی اولویت‌دار به نیروهای خودی است. تصمیم‌گیری برای تخصیص مکان قرارگیری نیروهای پشتیبانی جهت حمایت و تجدید قوا در خط مقدم نبرد، بر موفقیت در عملیات و کاهش بلایا و تامین امنیت لازم نیروها تاثیر می‌گذارد. برای این منظور، تعیین مکان‌های کارا جهت ارسال اقلام حمایتی اولویت‌بندی‌شده، نقش مهمی در تسهیل عملیات و کاهش تلفات نیروهای خودی با برنامه‌ریزی، ذخیره و توزیع تجهیزات کمکی خط مقدم در زمان، مکان مناسب و هزینه مناسب ایفا می‌کند (رضایی کلج و همکاران، ۲۰۲۱). منابع محدود یک مشکل بزرگ در شرایط حساس ایجاد می‌کند. در هنگام وقوع گسترده بحران، بی‌انصافی است که به یک منطقه اولویت بیشتری داده شود و خدمات بیشتری را دریافت کند (بیگدلی و موسی زاده، ۱۴۰۲). و منطقه دیگر عملیاتی به‌دلیل کمبود عرضه، کمتر از سهم منصفانه خود دریافت نماید (حسن پور و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین تصمیم‌گیری‌های اخلاقی برای تصمیم‌گیرندگان چالش‌برانگیز است اما زمانیکه کالاهای امدادی برای ارضای همه تقاضاها کافی نیستند، این شرایط نیازمند رویکرد تخصیصی مناسب است که بتوان اقلام امدادی را به گونه‌ای به کلیه نیروها تخصیص داد که اولویت یکسانی برای برآوردن نیازهای بخش‌های مختلف نبرد درنظر گرفته شود (نوذری و همکاران، ۲۰۲۲).

---

[1] Location-Allocation

با توجه به این واقعیت که مناطق مختلف، نیازهای متفاوتی دارند، رفتار منصفانه به‌عنوان برخورد در تحقق میزان تقاضا یا مقابله با میزان کمبود در تقاضا تعریف می‌شود. بنابراین با استفاده از یک سازوکار مناسب پس از وقوع فاجعه، لجستیک اضطراری لازم است که کالاهای امدادی را در تمام نقاط بحران در یک رویه عادلانه توزیع کند (فلاح تفتی و همکاران، ۲۰۲۱). در این صورت به همان نسبت تقاضا، باید اقلام یا کالاهای امدادی به نقاط آسیب‌دیده مورد تقاضا اختصاص یابد. به‌عبارت‌دیگر، اگر منابع امدادی محدود باشد، ممکن است بهتر باشد بخشی از نیازهای مناطق آسیب‌دیده به جای برآورده‌کردن کامل تقاضاهای یک نقطه تقاضا و نادیده‌گرفتن کامل آن در نقطه دیگر، ارجح باشد (کائو، ۲۰۲۱). بر این اساس، به‌دلیل محدودیت منابع یا افزایش هزینه، نمی‌توان از نقاط بحران دوردست برای کمک چشم‌پوشی کرد (ایجابی و پاک نیت، ۱۴۰۲).

مطابق با ماده ۲ چشم‌انداز سند جامع علم‌وفناوری در حوزه دفاعی و امنیتی جمهوری اسلامی ایران که بنا به پیشنهاد مشترک وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح و ستاد علم‌وفناوری دبیرخانه شورای عالی انقلاب فرهنگی در جلسه ۸۳۷ مورخ ۱۳۹۹/۱۲/۰۵ به تصویب شورای عالی انقلاب فرهنگی رسیده‌است (شمامی و همکاران، ۱۴۰۱)، ایران به یکی از قدرت‌های برتر علمی و فناوری در حوزه دفاعی و امنیتی جهان مبدل می‌شود. این تحقیق ویژگی‌های دانشی زیر را اضافه می‌کند:

- توانا در شکستن مرزهای دانش و تولیدکننده علوم و فناوری‌های بومی نرم، نیمه‌سخت و سخت دفاعی و امنیتی موردنیاز.
- برخوردار از بالاترین سطح اثربخشی در ارتقای نوآوری ملی.

در جامعه کنونی با توجه به فرمایشات فرماندهی معظم کل قوا مبنی بر جدی تلقی‌کردن تهدیدهای نظامی دشمنان کشور و در رأس آنها آمریکا و رژیم صهیونیستی و ویژگی‌های ناهمطرازبودن این تهدید از طرف دیگر، ضرورت اتخاذ تدابیر مناسب برای سازماندهی یگان‌های نظامی جهت پشتیبانی به‌موقع از نیروهای خودی در جبهه نبرد رزمی از ضرروت و اهمیت دوچندانی برخوردار می‌باشد. مطالعه جنگ‌های اخیر که شمایی از جنگ‌های آینده می‌باشد، نشان می‌دهد که سامانه‌های پشتیبانی خدمات رزمی (قسمت‌های پشتیبانی‌کننده) علیرغم وسعت پراکندگی بسیارزیاد در خط مقدم نبرد، نیروها را از خارج میدان حمایت می‌کنند. فرماندهان، طراحان و کارشناسان ستادی بزرگ از فواصل دور قادر به طرح نقشه‌های عملیاتی و اجرای آن در کوتاه‌ترین زمان خواهند بود. در تقابل‌های آینده پیش‌بینی می‌شود که جنگ‌ها ماهیت کوتاه‌مدت داشته باشند که در اینصورت سرعت واکنش یا سرعت کنش و واکنش موضوعی سرنوشت‌ساز بوده‌است که می‌تواند ابعاد دیگر مبارزه را تحت تاثیر خود قرار دهد. سرعت کنش و واکنش در یک تقابل، مستلزم سامانه پشتیبانی خدمات رزمی موثر در زمان مناسب در منطقه عملیاتی صحیح است و این مهم نیازمند شناخت مولفه‌های موثر بر توانمندساز نمودن این سامانه و کسب توانایی پشتیبانی از عناصر نیروی غیرمتمرکز در خلال عملیات برای دوره‌های زمانی طولانی در مسافت‌ها و فواصل زیاد می‌باشد. این امر در راستای توانمندسازی فرماندهان برای بهره‌برداری از فرصت‌ها، کنترل روند و آهنگ عملیات و حفظ آزادی عمل است. نیروهای رزمی برای مواجهه و مقابله با تهدیدات به‌موقع، نیازمند شناسایی و اولویت‌بندی اقلام ضروری در سامانه آماد و پشتیبانی متناسب با تهدید بنا به دلایل زیر است.

۱- هماهنگی با تلاش‌های اطلاعاتی و عملیاتی به‌عنوان بخشی از یک رویکرد جامع در سراسر تشکیلات آماد و پشتیبانی به‌منظور تقویت وحدت تلاش‌ها و کاهش پیچیدگی‌ها.

۲- جهت نیل به وحدت تلاش و صرفه‌جویی در قوا، نیازمند شناخت مؤلفه‌های موردنیاز در ترکیب اطلاعات، فرآیندها، پرسنل و اقلام پشتیبانی در حین عملیات.

۳- در راستای کاهش تهدیدات و افزایش توانایی در غلبه بر دشمن، مستلزم فراهم‌نمودن امکان به‌دست‌گرفتن، حفظ و بهره‌برداری از آزادی عمل، درک چگونگی قابلیت گسترش سریع نیروها، تجهیزات و اقلام در موقعیت مکانی متعدد و پراکنده نزدیک به نقطه بکارگیری.

۴- به‌منظور دستیابی به وحدت تلاش و صرفه‌جویی در قوا، نیازمند درک چگونگی قابلیت ارسال، مدیریت و ردیابی موقعیت، جابجایی، اقلام، تجهیزات و اطلاعات یگان درگیر به‌صورت آنی و همزمان.

براساس موارد اشاره‌شده در بالا، در این تحقیق با شناسایی مهمترین کالاها برای ارسال به‌عنوان اقلام حمایتی نیروهای خودی در خط مقدم براساس اهمیت آنها و درجه اولویتشان به بالقوه‌ترین مناطق نبرد، از طریق میسرترین مسیرهای ممکن تعیین می‌شود. بنابراین مهمترین نوآوری‌های تحقیق حاضر عبارتنداز:

- ارائه یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی جهت تعیین اهمیت و اولویت اقلام ضروی جهت آماده‌سازی و ارسال به خط مقدم.
- مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه امتیاز کارآیی مکان‌های بالقوه جهت ارسال نیروهای پشتیبانی.
- مدل‌سازی مسئله مسیریابی به‌منظور تعیین کوتاه‌ترین مسیر ممکن جهت ارسال اقلام ضروری.

در بخش بعدی به مبانی نظری و پیشینه تحقیق پرداخته خواهد شد سپس روش تحقیق و مراحل اجرایی تحقیق بیان خواهد شد. بعد از آن نتایج بکارگیری روش پیشنهادی در یک مطالعه موردی ارائه خواهد شد. سرانجام یک نتیجه‌گیری کلی به همراه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

۲) مرور ادبیات تحقیق

۲-۱) مبانی نظری تحقیق: معرفی تحلیل پوششی داده‌ها

برای اندازه‌گیری کارآیی به روش تحلیل پوششی داده‌ها، مدل‌های مختلفی توسط محققان بیان و بررسی شده‌است که دو مدل چارنز، کوپر و رودز[2] و بنکر، کوپر و چارنز[3] از مدل‌های پایه و سنتی تحلیل پوششی داده‌ها محسوب می‌شوند که الگوهای خطی برای حل مسائل کارآیی در حالت چندورودی و چندخروجی هستند و به‌ترتیب از نوع فناوری بازده به مقیاس ثابت و متغیر می‌باشند. در این روش با بکارگیری مجموعه‌ای از نقاط که توسط برنامه‌ریزی خطی تعیین شده‌اند، یک منحنی مرزی کارا ایجاد می‌شود. روش برنامه‌ریزی خطی با یک سری کارآیی، مشخص می‌شود که آیا واحدهای تصمیم‌گیری مدنظر روی خط کارآیی قرار گرفته‌است یا خارج از آن قرار دارد. هدف اصلی تحلیل پوششی داده‌ها،

[2] CCR (Charnes, Cooper, Rhodes)
[3] BCC (Banker, Cooper, Charnes)

تعیین کارآیی یک سیستم یا واحد تصمیم‌گیری از طریق فرآیند تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌هاست. واحدی که دارای کارآیی مساوی یک باشد، واحد کارا نام دارد و دیگر واحدها که کارآیی بین صفر و یک دارند، واحدهای ناکارا محسوب می‌شوند. فرم مضربی خطی‌شده ورودی محور مدل CCR به‌صورت معادلات ۱ تعریف می‌شود (اسدی و همکاران، ۲۰۲۳).

(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 می‌باشد. بنکر، چارنز و کوپر با تغییر در مدل CCR با اضافه‌کردن 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 (۲) 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 $\theta^*_{BCC} = 1$ باشد 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 ناکارآیی در ماهیت ورودی است (آرانا خمینز و همکاران، ۲۰۲۳). درواقع مدل مضربی BCC ورودی محور مطابق معادله (۳) در زیر است.

(۳)

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

$$u_r \geq 0 \qquad r = 1, \dots, s$$

v_o آزاد در علامت

مدل‌های CCR و BCC دو مدل مهم در تحلیل پوششی داده‌ها هستند که برای ارزیابی کارآیی واحدهای تحت ارزیابی مورداستفاده قرار می‌گیرند. تفاوت اصلی بین این دو مدل در نحوه تعیین مقیاس‌پذیری آنهاست. در مدل CCR، 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 کارآیی آن واحد نسبت به دیگر واحدها با استفاده از این اوزان 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 کارآیی آن واحد نسبت به دیگر واحدها با استفاده از این اوزان محاسبه می‌شود (کردرستمی و همکاران، ۲۰۱۹).

۲-۲) پیشینه تحقیق

اخیرا سیستم‌های توزیع دوسطحی به‌عنوان یکی از مهمترین مسائل لجستیک در مسئله مسیریابی مکان[4] محسوب می‌شوند که در چندین مطالعه علمی مورد استفاده قرار گرفته‌است. مسئله مسیریابی موقعیت مکانی دوسطحی[5] در توزیع بار، زمانی به وجود می‌آید که کالاهای موجود در مبداهای مختلف از طریق تسهیلات میانی به مقاصد مربوطه تحویل داده شوند. برای مثال: یو و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل برای مسئله مسیریابی مکان دوسطحی (2E-LRP) با چند هدف را برای برنامه‌ریزی جمع‌آوری زباله توسعه داده‌اند. علاوه بر این، برای حل مدل، یک الگوریتم NSGA-II با جستجوی محلی جهت‌دار معرفی کرده‌اند. چنگ و همکاران (۲۰۲۱) در این مطالعه مدلی برای به‌حداقل‌رساندن هزینه و مدت زمان پاکسازی نخاله‌های حاصل از بلایای طبیعی با درنظرگرفتن استفاده از سایت‌های موقت برای مدیریت نخاله بلایای طبیعی ارائه کرده‌اند. مسئله ایجادشده در این مطالعه به‌عنوان یک مسئله مسیریابی مکان دومرحله‌ای چنددوره‌ای[6] است که در آن تصمیمات اصلی مکان سایت‌های موقت مدیریت نخاله و مسیریابی وسایل نقلیه در هر دو سطح انجام می‌پذیرد. برای این منظور، یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده و یک الگوریتم ژنتیک برای حل آن پیشنهاد گردیده‌است. ونگ و همکاران (۲۰۲۱) یک مسئله مسیریابی موقعیت مکانی چنددوره‌ای دوسطحی (MP-2ELRP) شامل انتخاب مکان تسهیلات و بهینه‌سازی مسیریابی وسیله‌نقلیه در دو سطح ارائه داده‌اند. برای حل مسئله یک الگوریتم ترکیبی دومرحله‌ای شامل خوشه‌بندی k-means و الگوریتم کارآیی ازدحام ذرات بهبودیافته چندهدفه پیشنهاد شده‌است. 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 استفاده شده‌است. سانتوس گاندرا و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود یک مدل 2E-LRP تعمیم‌یافته با محدودیت‌های بارگذاری دوبعدی[7] را برای مسئله موقعیت مکانی دوسطحی معرفی می‌کنند. برای حل مدل پیشنهادشده، یک روش کارآیی ابتکاری مبتنی بر سناریو برای بارگذاری مختلف

[4] Location routing problem (LRP)
[5] The two-echelon location routing problem (2E-LRP)
[6] Multi-Period Two-echelon Location Routing Problem (MP-2ELRP)
[7] Two-echelon location routing problem two-dimensional loading restrictions (2E-LRP2LR)

معرفی می‌شود و عملکرد آن بر روی نمونه‌های واقعی ارزیابی می‌گردد. فلاح تفتی و همکاران (۲۰۲۱) در این مطالعه یک مدل مسیریابی موقعیت مکانی دوسطحی چندهدفه[8] را برای جابجایی پول نقد با هدف کاهش خطر سرقت در حمل‌ونقل معرفی می‌کنند. برای این منظور، از مقدار وجه حمل‌شده توسط وسیله‌نقلیه به‌عنوان تابع ریسک (هدف اول) و همچنین مدت زمان انتقال وجه (هدف دوم) استفاده شده‌است. برای حل مسئله، چندین روش دقیق و فراابتکاری در ابعاد کوچک تا متوسط استفاده شده‌است. کائو و همکاران (۲۰۲۱) در این مقاله یک مسئله مکان‌یابی مسیریابی منابع زیست‌توده دوسطحی[9] معرفی شده‌است. با درنظرگرفتن عرضه از پیش تعیین‌شده منابع زیست‌توده، یک مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح مختلط برای مدل پیشنهادی ارائه شده‌است. مدل پیشنهادشده قادر است بهترین مکان‌ها برای تاسیسات جمع‌آوری زیست‌توده و مسیرهای وسایل نقلیه مربوطه را تعیین کند. برای حل مسئله یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی که براساس جستجوی همسایگی و جستجوی ممنوعه است، معرفی شده‌است. محمد و همکاران (۲۰۲۲) 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 چنددوره‌ای تصادفی دوسطحی[10] تعریف می‌شود. برای این منظور، شبکه‌ای در دو سطح توزیع ظرفیت‌دار تقسیم شده‌است 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 شده‌است 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 پیشنهاد شده‌است. ژیو و همکاران (۲۰۲۲) در این مطالعه یک مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه پویا دوسطحی را با ایستگاه‌های ماهواره‌ای فعال[11] معرفی می‌کنند که قادر است هزینه عملیاتی و هزینه ساخت را بهینه نماید. دو و همکاران (۲۰۲۲) 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 چندانباری[12] برای JDبا درنظرگرفتن چند هدف پیشنهاد می‌کند. همچنین برای حل مدل پیشنهادی یک الگوریتم ابتکاری ترکیبی، پیشنهاد می‌کنند. حیدری و همکاران (۲۰۲۲) در این مطالعه، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفه برای مسئله مسیریابی موقعیت مکانی بسته و باز دوسطحی سبز[13] که شامل دو سطح اعم از کارخانه‌ها، انبارها و مشتریان برای به‌حداقل‌رساندن هزینه‌ها و میزان انتشار CO_2 پیشنهاد شده‌است. مدل پیشنهادی قادر است مسیرهای بهینه، تعداد وسایل نقلیه بهینه و همچنین مکان احداث تاسیسات را تعیین نماید. برای حل مدل پیشنهادی، از روش اپسیلون محدودیت اصلاح‌شده برای حل دقیق مسئله در ابعاد کوچک استفاده شده‌است. علاوه بر این، از الگوریتم فراابتکاری NSGA-II استفاده شده‌است.

[8] Multi-objective two-echelon location routing problem (MO-2ELRP)
[9] Two-echelon biomass resource location routing problem (2E-BRLRP)
[10] Two-echelon stochastic multi-period capacitated location-routing problem (2E-SM-CLRP)
[11] Two-echelon dynamic vehicle routing problem with proactive satellite stations (2E-DVRP-PSSs)
[12] Multi-depot two-echelon Joint delivery location routing problem (MD-2E-JDLRP)
[13] Green two-echelon close and open location-routing problem (G-2E-COLRP)

نوع دیگری از مسائل LRP که مورد توجه محققان قرار گرفته‌است، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه[۱۴] است. مسئله VRP یکی از مسائل مهم در مدیریت زنجیره تامین است که در آن تعدادی خودرو متمرکز در یک یا چند قرارگاه (انبار یا گره) باید به تعدادی از مشتری‌ها مراجعه کرده و به آنها خدمتی را ارائه بدهند که هریک دارای درخواستی معین هستند. این مسئله درصدد است تا با استفاده از مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی مسیر به گونه‌ای عمل کند که مسافت طی‌شده، زمان کل سفر، تعداد وسایل حمل‌ونقل، جریمه‌های دیرکرد و درنهایت تابع هزینه حمل‌ونقل حداقل گردد و درنتیجه رضایت مشتری‌ها به حداکثر مقدار خود برسد. برای مثال: نیرا و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح برای مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه چندسفره با پنجره زمانی، زمان بارگیری که وابسته به نوع سرویس و مدت زمان سفر[۱۵]است را ارائه دادند. اولین مدل ارائه‌شده در این مقاله، بازگشت وسیله‌نقلیه به انبار را مدل‌سازی می‌کند. برای حل مسئله از روش قطعی استفاده شده‌است. هوانگ و همکاران (۲۰۲۱) یک مدل برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چندسفره با پنجره‌های زمانی[۱۶] را معرفی کرده‌اند. در مدل ارائه‌شده، وسایل نقلیه محموله‌های جمع‌آوری‌شده از مشتریان را در انباری که ظرفیت تخلیه محدودی دارد، تخلیه می‌کنند. برای مدل MTVRPTW پیشنهادشده یک الگوریتم حل مبتنی بر شاخه، قیمت و برش نیز پیشنهاد شده‌است. رضایی و همکاران (۲۰۲۱) یک مدل چندهدفه برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چندگانه[۱۷] در شرایط بحرانی برای خون‌رسانی به مصدومان ارائه کرده‌اند. در این مدل ارائه‌شده، مدت زمان رسیدن وسایل نقلیه و مقدار خون جمع‌آوری شده توابع هدف مسئله درنظر گرفته شده‌اند. برای حل مدل پیشنهادی از حل قطعی CPLEX استفاده شده‌است. ونگ و همکاران (۲۰۲۲) در این مطالعه یک مسئله مسیریابی خودرو چندانباری مشترک با تقاضاهای مشتری به‌صورت پویا و پنجره‌های زمانی[۱۸] را با درنظرگرفتن اشتراک منابع و الزامات پویای مشتریان را معرفی می‌کنند. برای این منظور، یک مدل کارآیی دوهدفه برای کارآیی مسیرهای وسایل نقلیه درحالیکه هزینه عملیاتی کل و تعداد وسایل نقلیه را به حداقل می‌رساند، ساخته شده‌است. برای حل مدل پیشنهادی یک الگوریتم ترکیبی متشکل از الگوریتم خوشه‌بندی-k medoids بهبودیافته و کارآیی ازدحام ذرات چندهدفه برای یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه ارائه شده‌است. حسن‌پور و همکاران (۲۰۲۲) یک مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه باز چندسفری[۱۹] را فرموله کرده‌اند. برای این منظور، یک مدل برنامه‌نویسی عدد صحیح مناسب برای به‌حداقل‌رساندن کل هزینه‌های خریداران فرموله شده‌است. برای حل مدل، یک الگوریتم مبتنی بر تجزیه ارائه شده‌است که مسئله را به دو بخش تقسیم می‌کند. در مرحله اول، تصمیمات تاکتیکی درمورد انتخاب تامین‌کننده و نوع همکاری اتخاذ می‌شود. در مرحله دوم، توالی بازدید هر وسیله‌نقلیه مشخص می‌شود. نوذری و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل مسیریابی چندانباری[۲۰] تحت عدم قطعیت ارائه داده‌اند. هدف اولیه مدل پیشنهادی، مکان‌یابی انبارها و مراکز تولید و مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع کالاهای پزشکی به بیمارستان‌هاست. برای حل این مدل، یک روش فازی استوار با پارامترهای نامعین مانند هزینه‌های تقاضا، انتقال و توزیع استفاده شده‌است. اثر عدم قطعیت با استفاده

[14] Vehicle routing problem (VRP)
[15] Multi-trip vehicle routing problem with time windows, service-dependent loading times, and limited trip duration (MTVRPTW-SDLT)
[16] Multi-trip vehicle routing problem with time windows (MTVRPTW)
[17] Multi objective-Multiple vehicle routing problem (MO-MVRP)
[18] Collaborative multi-depot vehicle routing problem with dynamic customer demands and time windows (CMVRPDCDTW)
[19] Multi-Trip Open Vehicle Routing Problem (MTOVRP)
[20] Multi-depot Vehicle routing problem (MDVRP)

از روش برنامه‌ریزی فازی نوتروسوفیک مورد بررسی قرار گرفته‌است. ژیائو و همکاران (۲۰۲۲) یک الگوریتم مسیریابی خودروی چندمرحله‌ای مبتنی بر گروه‌بندی وظایف[21] برای مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه نجات با محدودیت انرژی در بلایا پیشنهاد کرده‌اند. برای حل مسئله، یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر خوشه‌بندی k-means و الگوریتم ژنتیک ارائه داده‌اند. رامیرز و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل مسئله مسیریابی چندسفری با یک وسیله‌نقلیه[22] را برای انتقال واحدهای خون از مکان‌های جمع‌آوری به یک مرکز خون ارائه دادند. این مسئله به‌عنوان یک مسئله مسیریابی وسیله‌نقلیه چندسفری با افزایش سود، مدل‌سازی شده‌است که برای آن یک برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح مختلط پیشنهاد شده‌است. همچنین یک روش حل فراابتکاری جستجوی محلی پیشنهاد شده‌است. هی و همکاران (۲۰۲۳) در این مقاله یک سیستم حمل‌ونقل عمومی روستایی جدید را معرفی می‌کنند که قادر است خدمات مسافری و باری را یکپارچه نماید. این رویکرد قادر است هزینه‌های لجستیکی را کاهش دهد و درآمد اضافی برای اپراتور حمل‌ونقل ایجاد کند. بنابراین هدف به‌حداقل‌رساندن هزینه برای کاربر و اپراتور حمل‌ونقل با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط فرموله شده‌است 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 قرارگرفته‌است و برای حل در ابعاد بزرگ از روش فراابتکاری جستجوی ممنوعه استفاده شده‌است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که چگونه می‌توان تعداد اتوبوس‌های برقی روستایی را بطور بهینه طراحی کرد تا هزینه‌های خرید و نگهداری آنها کاهش یابد. پورمحمدرضا و اکبری جوکار (۲۰۲۳) در این مطالعه به نیاز کارآیی تحویل در یک مدل از طریق یک رویکرد دومرحله‌ای جدید پرداخته‌اند که گزینه‌های تحویل مختلف مانند تحویل درب منزل و تحویل در مکان‌های مختلف را درنظر می‌گیرند. فاز اول، ارزش مکان‌های پیشنهادی را از طریق رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره جدید که معیارهای پایداری را دربرمی‌گیرد، تعیین می‌کند. در مرحله دوم، یک مدل ریاضی مناسب برای مسیریابی وسیله‌نقلیه با گزینه‌های سرویس پیشنهاد شده‌است. این مدل در نرم‌افزار CPLEX نسخه ۱۲.۶ در ابعاد مختلف کدگذاری شده‌است. پورقادر و همکاران (۲۰۲۴) در این مطالعه یک مدل چندهدفه برای مکان‌یابی هاب در حوزه تجهیزات جنگی در شرایط عدم قطعیت پیشنهاد کرده‌است. هدف اول به‌حداقل‌رساندن هزینه‌ها، هدف دوم به‌حداکثررساندن برآورده‌شدن خواسته‌ها و هدف سوم به‌حداقل‌رساندن ازدحام در مسیرهاست. با درنظرگرفتن پارامترهای موجود در حالت عدم قطعیت، مدل ریاضی در حالت استوار مدل‌سازی شده و یک مدل همتای استوار ارائه شده‌است. برای حل در مقیاس کوچک، از روش محدودیت اپسیلون دقیق در نرم‌افزار GAMS استفاده شده‌است. همچنین از رویکردهای فراابتکاری بهینه‌سازی گرگ خاکستری و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرغالب برای حل مدل در ابعاد متوسط و بزرگ استفاده شده‌است. در جدول ۱، پیشینه تحقیق برحسب نوع تابع هدف، دوره‌های زمانی، نوع منطق محاسباتی، محدودیت‌های ظرفیت و روش حل طبقه‌بندی شده‌است.

[21] Multi-stage vehicle routing algorithm based on task grouping (MSVR-TG)
[22] Vehicle Multi-trip routing problem (VMRP)

جدول ۱. طبقه‌بندی ادبیات

نام مولف	سال انتشار	تابع هدف		دوره زمانی		Logic		محدودیت ظرفیت	روش حل
		تک‌هدفه	چندهدفه	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 و NSGA-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 و CPLEX

۳) روش تحقیق

۳-۱) مدل‌سازی کارآترین موضع نیروهای پشتیبانی در نبردهای آینده با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها

مدل پیشنهادی درخصوص ارزیابی کارآیی 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 غیرمحدودیت‌پذیر در این بخش معرفی می‌شوند. بر طبق مدل‌سازی تحلیل پوششی داده‌ها، عملکرد هر واحد تحت ارزیابی با یکسری 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 از نظر فنی

غیرممکن است. اگر تصمیم‌گیرنده قصد داشته باشد خروجی‌های نامطلوب را هم درنظر بگیرد، تنها راه حفظ جریان موجود است. این مفهوم برای درنظرگرفتن 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 غیرمدیریت‌پذیر را که تحت کنترل مدیریت نیستند در سطح موجود خود نگه می‌داریم. به‌منظور ارزیابی تحلیل پوششی داده‌ها در این تحقیق J واحد تحت ارزیابی درنظر گرفته شده‌است 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 دو دسته مدیریت‌پذیر و غیرمدیریت‌پذیر طبقه‌بندی می‌کنیم. ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر $x_{pj}^{N}(p = 1, \dots, P)$ شامل مواردی هستند که برای ایجاد خروجی ثابت باقی بمانند زیرا در غیر این صورت میزان افزایش خروجی نامطلوب افزایش می‌یابد.

همچنین ورودی‌های مدیریت‌پذیر $x_{qj}^{M}(q = 1, \dots, Q)$ شامل مواردی هستند که قادرند به‌منظور ازبین‌بردن خروجی‌های نامطلوب و بطور 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 فناوری جدید این امکان را دارد که با رعایت موارد فوق قادر باشد اولا ورودی‌های مدیریت‌پذیر را در راستای بهبود خروجی‌ها بر طبق اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی تغییر دهد و همچنین اگر نمی‌توان ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر را براساس اصل دسترسی‌پذیری طبیعی کاهش داد، حداقل در سطح موجود آن را نگه دارد. بنابراین در ساخت فناوری جدید با مشخصه‌های زیر روبه‌رو هستیم تا به واحد کارا برسیم که عبارتنداز:

- از طریق افزایش خروجی مطلوب.
- از طریق کاهش ورودی مدیریت‌پذیر.
- از طریق ثابت نگه‌داشتن سطح ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر.

در جدول ۲ کلیه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها در حالت کلی تعریف شده‌است.

جدول ۲. نمادگذاری

نماد	توضیحات اندیس
P	مجموعه ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر
Q	مجموعه ورودی‌های مدیریت‌پذیر
R	مجموعه خروجی‌های مطلوب
S	مجموعه خروجی‌های نامطلوب
J	مجموعه واحدهای تحت ارزیابی
O	واحد تحت بررسی
نماد	**توضیحات** **پارامتر**
x_{qj}^{M}	ورودی مدیریت‌پذیر q ام واحد تحت ارزیابی j

نماد	توضیحات اندیس
x_{pj}^{N}	ورودی داده‌اند 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، فناوری جدید برای ساخت ناحیه شدنی به‌صورت مجموعه معادلات (۴) فرمول‌بندی می‌شود.

$$T = \{(X^N, X^m, Y): \sum \lambda_j x_{pj}^N = x_{pk}^N \quad (۴)$$

$$\sum \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}$$
$$\sum \lambda_j x_{qj}^M \leq x_{qk}^M$$
$$\sum \lambda_j w_{sj} = w_{sk}$$
$$p = 1, \dots, P; q = 1, \dots, Q; r = 1, \dots, R$$

در مجموعه معادلات (۴)، معادله اول $\sum \lambda_j x_{pj}^N = x_{pk}^N$ مربوط به ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر است و بیان می‌کند اگر طبق اصل دسترسی‌پذیری طبیعی نمی‌توان ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر را کاهش داد، حداقل در سطح موجود آن را نگه داشت.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 داده‌هاست. 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 درصورت 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 شناسایی شده‌است که برای ارزیابی مکان‌ها جهت ارسال نیروهای پشتیبانی مورداستفاده قرار می‌گیرند.

جدول ۳. ورودی‌ها و خروجی‌ها

ورودی مدیریت‌پذیر	ورودی غیرمدیریت‌پذیر	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	مناسب‌بودن خصوصیات زمین‌شناختی y_1
–	–	–	دردسترس‌بودن آب y_2
–	–	–	خصوصیات توپوگرافیکی مناسب y_3

سرانجام با درنظرگرفتن ساختار تشریح‌شده، مدل ارزیابی کارآیی مناطق برای اعزام نیروهای پشتیبانی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها را با ملحوظ داشتن اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی مطابق با مجموعه معادلات ۵ تا ۱۰ درنظر می‌گیریم.

$$min\ \theta \quad (۵)$$

$$Subject\ to:$$

$$\sum \lambda_j x_{1j}^{M} \leq \theta x_{1k}^{M} \quad (۶)$$

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

$$\sum \lambda_j w_{1j} = w_{1k} \quad (۸)$$

$$\sum \lambda_j y_j \geq y_k \quad (۹)$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad j = 1, \dots, n \quad (۱۰)$$

معادله (۵)، تابع هدف 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 (۶) تضمین می‌کند که رفتار سنتی درخصوص ورودی‌های مدیریت‌پذیر در مرحله اول بکار گرفته شود. معادله (۷) تضمین می‌کند اگر چنانچه سیستم قابلیت تسلط بر ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر را ندارد، بر روی سطح موجود ثابت آن را نگه دارد. معادله (۸) تضمین می‌کند که خروجی‌های نامطلوب افزایش پیدا نکنند و آنها را در سطح موجود نگه دارد و سرانجام در معادله (۹) تضمین می‌کند که حداکثر خروجی برای واحد تحت ارزیابی درنظر گرفته شود. ضمنا متغیرهای اصلی در مدل فوق θ و λ_j هستند که به‌ترتیب آزاد در علامت و پیوسته می‌باشند و در معادله (۱۰) نشان داده شده‌است.

۳-۲) مدل ریاضی مسیریابی اقلام پشتیبانی به کارآترین مواضع نیروهای پشتیبانی

مدل پیشنهادی به‌منظور ارسال و توزیع نیرو و اقلام پشتیبانی به نقاط کارآی شناسایی‌شده در این بخش توضیح داده می‌شود. برای این منظور، ابتدا مفروضات مدل پیشنهادی در ذیل معرفی می‌شود.

- هر جریان شبکه باید از گره صفر (ایستگاه آغازین) بازدید کند.
- هر گره مثل $j \in V$ باید دقیقا توسط یک جریان بازدید شود.
- مجموع تقاضاهای هر گره نباید از ظرفیت وسیله‌نقلیه موجود در جریان تجاوز کند.
- در مدل‌های کلاسیک جریان از گره آغازین شروع و به همان گره ختم می‌شود ولی در مدل‌های چندگانه می‌توان چندین گره آغازین داشت.
- ارائه خدمات به مجموعه‌ایی از مواضع (گره‌ها) در یک جریان، در حداقل هزینه، زمان و مسافت سفر صورت پذیرد.
- مجموعه محصولات اولویت‌بندی‌شده در طول برنامه‌ریزی منتقل می‌شوند.

به‌منظور طراحی مدل مسیریابی وسیله‌نقلیه در این تحقیق، عموما قبل از ورود به معرفی متغیرها و فرمول‌بندی کلی مدل، ابتدا لازم است با جزئیات عمومی مسئله آشنا شویم. در مسائل VRP دارای یک گراف $G = (N, A)$ با $N = N_c \cup N_D$ به‌عنوان مجموعه رئوس (گره) و $A = \{(i,j) | i,j \in N\}$ مجموعه کمان‌ها (مسیر) هستیم. بطور دقیق‌تر، $N_c = \{1,2, \dots, n_c\}$ نشان‌دهنده مجموعه تعداد محل‌های موضع نیروهای رزمی در گره‌هاست که $i \in N_c$ دارای یک تقاضای از پیش تعیین‌شده می‌باشد مانند $d_i > 0$ که حداقل توسط یک وسیله‌نقلیه این تقاضای نامنفی برآورده می‌شود. علاوه بر این $N_D = \{1,2, \dots, n_d\}$ ایستگاه‌هایی هستند که وسایل نقلیه سفرهای خود را از آنجا آغاز می‌کنند.

برای هر کمان (مسیر) $(i,j) \in A$ هزینه نامنفی c_{ij} درنظر گرفته می‌شود که برابر با هزینه عبور از کمان (i,j) توسط وسیله‌نقلیه است. در مسئله لازم نیست که هر موضع در محلی مشخص با وسیله‌نقلیه روبه‌رو شود بلکه گاهی اوقات مواضع در فاصله قابل قبولی از حداقل یک موضع بازدیدشده توسط وسیله‌نقلیه قرار می‌گیرند. برای این منظور ماتریس پوشش را به‌صورت $\Pi = [\Pi_{ij}]$ تعریف می‌کنیم که اگر موضع i در فاصله‌ای از پیش تعیین‌شده از موضع j واقع شده باشد آنگاه $\forall i,j \in N_c, \Pi_{ij} = 1$. توجه داشته باشید که برای دستیابی به امکان‌پذیری اینطور فرض می‌کنیم که برای هر $i \in N_c$ حداقل یک $j \in N_c$ وجود دارد لذا بنابراین $\forall i,j \in N_c \; \Pi_{ij} = 1$. برای هر c'_{ij} هزینه نشان‌دهنده تخصیص هزینه موضع i به موضع بازدیدشده j می‌باشد. فرض می‌کنیم که یک مجموعه $P = \{1,2, \dots, p\}$ مقدار دردسترس وسایل‌نقلیه ما باشد که هر وسیله $V \in P$ دارای ظرفیت Q می‌باشد. فرض دیگر این است که ظرفیت هر ایستگاه $k \in N_D$ محدود و معادل با H می‌باشد. سرانجام در هر ایستگاه k، مجموعه‌ایی از وسایل نقلیه که با p_k نشان داده می‌شوند، قرار داده شده‌است.

بطورخاص از دو مجموعه متغیرهای باینری (صفر و یک) و پیوسته استفاده می‌شود. $x_{ij}^v = \{0,1\}$، اگر از کمان $(i,j) \in A$ از طریق وسیله‌نقلیه $V \in P$ عبور نماییم برابر با یک است، در غیر این صورت برابر صفر می‌باشد. $w_{ij}^v \geq 0$، تقاضای موضع $i \in N_c$ از اقلام پشتیبانی که با وسیله‌نقلیه $V \in P$ به موضع بازدیدشده $j \in N_c$ اختصاص داده می‌شود. توجه نمایید اگر $w_{ii}^v = 1$ در اینصورت موضع $i \in N_c$ با وسیله‌نقلیه $V \in P$ بازدید کرده‌است. مجموعه‌ایی دیگر از متغیرهای پیوسته تصمیم‌گیری نامنفی هستند مثل U_{ij}^V که نشان‌دهنده مقدار بار وسیله‌نقلیه $V \in P$ پس از ترک گره (ایستگاه) i هنگام عبور از کمان (مسیر) i,j است. $\omega \in \sigma$ مجموعه اقلام امدادی است که در طول مسیریابی به مکان‌های مستعد منتقل می‌شوند. با تکیه بر موارد ذکرشده، محدودیت‌های عمومی مسئله VRP در این تحقیق به‌صورت معادلات ۱۱ تا ۲۵ می‌باشد.

$$\min \sum_{i \in N_c} d_i - \sum_{i \in N_c} \sum_{j \in N_c} \sum_{k \in K} e_{ij}^k d_i \quad (۱۱)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij}^V = \sum_{i \in N} x_{ji}^V \quad (۱۲)$$

$$\sum_{j \in N_c} \sum_{V \in P} w_{ij}^v = 1 \quad (۱۳)$$

$$\sum_{L \in N, L \neq i} \Pi_{ij} x_{ij}^v \geq w_{ij}^v \quad (۱۴)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^v \leq w_{ij}^v \quad (۱۵)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^v \leq 1 \quad (۱۶)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{V \in P} d_i w_{ij}^v \leq H \quad (۱۷)$$

$$\sum_{i\in N}\sum_{m\in N_D, m\neq k} x_{im}^{v} = 0 \quad (۱۸)$$

$$\sum_{j\in N} U_{ji}^{v} - \sum_{j\in N} U_{ij}^{v} = \sum_{j\in N} d_j w_{ji}^{v} \quad (۱۹)$$

$$\sum_{j\in N} U_{kj}^{v} = \sum_{i\in N}\sum_{j\in N} d_j w_{ji}^{v} \quad (۲۰)$$

$$U_{ij}^{v} \leq (Q - d_i) x_{ij}^{V} \quad (۲۱)$$

$$d_j x_{ij}^{V} \leq U_{ij}^{v} \quad (۲۲)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (۲۳)$$

$$w_{ij}^{V} \geq 0 \quad (۲۴)$$

(۱۱)، تابع هدف مسئله است که تقاضای ازدست‌رفته را کمینه می‌کند. محدودیت (۱۲)، برای هر $i \in N$ و $V \in P$ تاکید می‌کند که تعداد وسایل‌نقلیه ورودی به کمان i با تعداد وسایل‌نقلیه خروجی از کمان i برابر است. برای هر مشتری $i \in N_c$ محدودیت (۱۳) نشان می‌دهد که تقاضای i باید با مراجعه به آن یا با اختصاص آن به یک موضع بازدیدشده، برآورده و شناسایی شود. محدودیت (۱۴)، تصریح می‌کند که $i \in N_c$ را می‌توان به موضع بازدیدشده $j \in N_c$ تخصیص داد. اگر i در یک فاصله پوششی قابل قبولی از j قرار بگیرد. اگر و فقط اگر بازدید توسط وسیله‌نقلیه $V \in P$ باشد آنگاه می‌تواند تقاضا را به خودش اختصاص دهد که در این صورت $w_{ii}^{v} = 1$ است. این محدودیت در رابطه (۱۵) نشان داده شده‌است. محدودیت (۱۶) نشان می‌دهد که هر موضع $i \in N_c$ می‌تواند یکبار توسط وسیله‌نقلیه $V \in P$ مورد بازدید قرار بگیرد. محدودیت (۱۷) تضمین می‌کند که ظرفیت محدود هر ایستگاه $K \in N_D$ به H ختم می‌شود. محدودیت (۱۸) بیان می‌کند که سفر هر وسیله‌نقلیه از هر ایستگاهی که آغاز می‌شود، در همان ایستگاه نیز به پایان می‌رسد. در محدودیت‌های ۱۹، محدودیت‌های ظرفیت اعمال شده‌است. به‌ویژه محدودیت ۲۰ بیان می‌کند که اختلاف بار برای وسیله‌نقلیه $V \in P$ قبل و بعد از مراجعه به موضع i برابر با کل تقاضای اختصاص داده‌شده به i است. به‌علاوه، کل بار هر وسیله‌نقلیه $V \in P$ معادل با کل تقاضای تخصیص داده‌شده به V است و این محدودیت در معادله (۲۱) نشان داده شده‌است. محدودیت (۲۲) نشان می‌دهد که مقدار بار وسیله‌نقلیه هنگام مراجعه به آخرین ایستگاه، به‌عنوان آخرین گره برابر با صفر است. همچنین محدودیت‌های ۲۳ و ۲۴، نوع متغیرها را تعریف می‌کنند.

۳-۳) روش اولویت‌بندی اقلام پشتیبانی به روش سوارا

روش سوارا یا تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است که هدف آن محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها است. عملکرد این روش همانند روش‌های بهترین-بدترین، آنتروپی شانون و لینمپ می‌باشد که در محاسبه اوزان معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش سوارا توسط کرسولین و همکاران (۲۰۱۰) معرفی شده‌است. در این روش معیارها براساس ارزش‌های خود، رتبه‌بندی می‌شوند. در این روش به مهمترین معیار رتبه یک و به کم‌اهمیت‌ترین معیار، رتبه آخر داده می‌شود. در این روش کارشناسان (پاسخ‌دهندگان) نقش مهمی در تعیین وزن معیارها دارند. مشخصه اصلی این روش، امکان برآورد کارشناسان و صاحب‌نظران در رابطه با نسبت اهمیت معیارها در فرآیند

تعیین وزن آنها می‌باشد. این روش جهت گردآوری و هماهنگی اطلاعات به‌دست‌آمده از کارشناسان و صاحب‌نظران مفید می‌باشد. کاربردهای این تکنیک ساده می‌باشد و کارشناسان در زمینه‌های مختلف می‌توانند به سادگی با مقصود اصلی این روش ارتباط برقرار کنند.

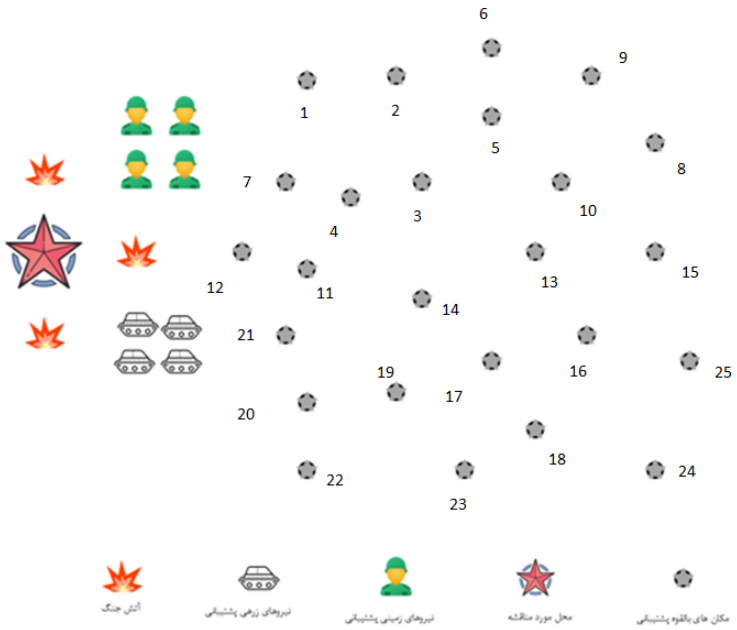
۴) یافته‌ها

به‌منظور پاسخگویی به سئوال تحقیق برای تعیین کارآیی مکان‌های بالقوه جهت انتخاب برای پشتیبانی نیروهای خودی ۲۵ مکان درنظر گرفته شده‌است. اطلاعات عددی مربوط به هریک از این مکان‌ها جهت استقرار نیروهای پشتیبانی در جدول (۴) نشان داده شده‌است. با بکارگیری داده‌های مربوطه در مدل ریاضی تحلیل پوششی داده‌ای توسعه داده‌شده، نتایج کارآیی قابل‌محاسبه خواهند بود. همچنین در شکل ۱، محل قرارگیری هریک از مکان‌ها و محل‌های درگیری نشان داده شده‌است.

جدول ٤. داده‌های

مکان‌های بالقوه	ورودی مدیریت‌پذیر x_1^M جمعیت نیروی انسانی اعزام‌شده (نفر)	ورودی غیرمدیریت‌پذیر x_1^N شدت حمله دشمن به منطقه مورد مناقشه (درصد)	خروجی نامطلوب w_1 میزان تلفات نیروها توسط دشمن (نفر)	خروجی مطلوب y_1 مناسب بودن خصوصیات زمین‌شناختی (کاندلا)	خروجی مطلوب y_2 دردسترس‌بودن آب (مترمکعب)	خروجی مطلوب y_3 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

مکان‌های بالقوه	ورودی مدیریت‌پذیر x_1^M جمعیت نیروی انسانی اعزام‌شده (نفر)	ورودی غیرمدیریت‌پذیر x_1^N شدت حمله دشمن به منطقه مورد مناقشه (درصد)	خروجی نامطلوب w_1 میزان تلفات نیروها توسط دشمن (نفر)	خروجی مطلوب y_1 مناسب بودن خصوصیات زمین‌شناختی (کاندلا)	خروجی مطلوب y_2 دردسترس‌بودن آب (مترمکعب)	خروجی مطلوب y_3 خصوصیات توپوگرافیکی مناسب (ارتفاع از دریا)
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

همانطورکه در شکل ۱ مشخص‌شده‌است، ۲۵ مکان بالقوه جهت ارائه خدمات پشتیبانی اعم از زمینی و زرهی، آمادگی دارند تا به نیروهای خودی در محل مورد مناقشه کمک‌رسانی نمایند تا آتش جنگ به نفع نیروهای خود به پایان برسد.

اکنون با لحاظ کردن ویژگی‌های هریک از مناطق برحسب طبقه‌بندی انجام‌شده مطابق با جدول ۵ و اجرای مدل می‌توانیم کارآیی هریک از مناطق را محاسبه نماییم. در جدول ۵ نتیجه محاسبه کارآیی برای مناطق، محاسبه شده‌است.

جدول ۵. مقدار امتیاز کارآیی مناطق

مکان‌های بالقوه	امتیاز کارآیی
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 کارآیی محاسبه‌شده توسط مدل نشان داده شده‌است. لازم به ذکر است که مکان‌هایی که امتیاز کارآیی آنها برابر با یک محاسبه شده‌است به‌عنوان مکان‌های کارا درنظر گرفته می‌شوند که در این مواضع کارآیی عملیاتی مناسب است و به نفع نیروهای خودی است. همچنین مکان‌هایی که امتیاز کمتر از یک دارند به‌عنوان راه‌حل‌های ناکارا در حل مدل پیشنهادی محسوب می‌شوند بنابراین این مکان‌ها مستعد پشتیبانی هستند. در جدول ۶ کلیه مناطق مستعد برای پشتیبانی نشان داده شده‌است.

جدول ٦. مناطق مستعد کارآیی

مکان‌های بالقوه	امتیاز کارآیی
مکان ۱	۰.۹۳۲
مکان ۲	۰.۹۲۸
مکان ۳	۰.۹۹۴
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 ۱۳	۰.۸۲۳
مکان ۱۵	۰.۸۷۰
مکان ۱۶	۰.۶۴۰
مکان ۱۷	۰.۹۷۸
مکان ۲۰	۰.۸۷۴
مکان ۲۱	۰.۹۵۰

براساس نتایج مدل، ۱۶ مکان به‌عنوان مناطق ناکارا و مستعد پشتیبانی توسط نیروهای خودی در نبردهای آینده شناسایی شده‌اند. بنابراین لازم است به ۱۶ مکان مستعد شناسایی‌شده، اقلام پشتیبانی ارسال شود.

۴-۱) اولویت‌بندی اقلام پشتیبانی

در این بخش از تحقیق به محاسبه اهمیت نه مورد از اقدامات حمایتی به مکان‌های قرارگیری نیروهای رزمی جهت پشتیبانی در نبرد فرضی اقدام شده‌است. برای این منظور، اهمیت هر نه شاخص جداگانه براساس جمع‌بندی نظر خبرگان مشخص شده‌است. در جدول ۷ رتبه‌بندی نظرخواهی‌شده برای شاخص‌های مرتبط نشان داده شده‌است. سپس برحسب میانگین نظرات هر خبره برای هر شاخص و مرتب‌سازی صعودی مقدار میانگین، رتبه هر شاخص جهت انجام الگوریتم سوارا مشخص شده‌است. سپس در جدول ۸، امتیاز برتری هر معیار بالاسری نسبت به معیار پایینی مشخص شده‌است. سرانجام با محاسبه مقدار S_j، q_j، k_j و w_j در الگوریتم سوارا مقدار وزن هر شاخص در مقایسه با نه معیار دیگر محاسبه شده‌است.

جدول ۷. تعیین رتبه شاخص‌ها

کارشناس ۱		کارشناس ۲		کارشناس ۳		کارشناس ٤		کارشناس ٥		میانگین	رتبه
نام اقدام پشتیبانی	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	رتبه ها	
مواد غذایی	۹	c1	۹	c1	۸	c1	8	c1	9	8.60	۹
پزشکی و بهداشت	۱	c2	۲	c2	۱	c2	2	c2	1	1.40	۱
نفربر و تانک زرهی	۲	c3	۲	c3	۱	c3	3	c3	2	2.00	۲

کارشناس ۱		کارشناس ۲		کارشناس ۳		کارشناس ٤		کارشناس ٥		میانگین	رتبه
نام اقدام پشتیبانی	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	نام معیار	رتبه	رتبه ها	
کامیون	۷	c4	۶	c4	۸	c4	7	c4	7	7.00	۷
سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۴	c5	۵	c5	۴	c5	4	c5	5	4.40	۴
تجهیزات خاکبرداری	6	c6	6	c6	5	c6	6	c6	7	6.00	۶
نیروهای انسانی آموزش‌دیده	8	c7	7	c7	7	c7	8	c7	6	7.20	۸
اسلحه و مهمات	3	c8	3	c8	2	c8	4	c8	3	3.00	۳
سامانه‌های کنترل از راه دور	5	c9	5	c9	6	c9	6	c9	5	5.40	۵

جدول ۸. مقایسه شاخص‌های پشتیبانی با هر شاخص بالاسری

نام اقدام پشتیبانی اولویت‌بندی‌شده	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	کارشناس ٤	کارشناس ٥	S_j	k_j	w_j	q_j	وزن نهایی
پزشکی و بهداشت	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	0.000	1.000	1.000	0.241	0.026735821
نفربر و تانک زرهی	۰.۱۵۰	۰.۲۰۰	۰.۲۵۰	۰.۳۰۰	۰.۳۵۰	0.250	1.250	0.800	0.192	0.021388657
اسلحه و مهمات	۰.۲۵۰	۰.۲۰۰	۰.۲۵۰	۰.۲۰۰	۰.۲۵۰	0.230	1.230	0.650	0.157	0.017389152
سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۰.۳۰۰	۰.۳۵۰	۰.۲۵۰	۰.۳۰۰	۰.۳۵۰	0.310	1.310	0.496	0.119	0.013274162
سامانه‌های کنترل از راه دور	۰.۲۰۰	۰.۲۵۰	۰.۳۰۰	۰.۳۵۰	۰.۴۰۰	0.300	1.300	0.382	0.092	0.010210894
تجهیزات خاکبرداری	۰.۴۰۰	۰.۳۵۰	۰.۳۰۰	۰.۲۵۰	۰.۲۰۰	0.300	1.300	0.294	0.071	0.007854534
کامیون	۰.۳۰۰	۰.۳۵۰	۰.۳۰۰	۰.۲۵۰	۰.۲۰۰	0.280	1.280	0.230	0.055	0.006136354
نیروهای انسانی آموزش‌دیده	۰.۴۰۰	۰.۴۵۰	۰.۴۰۰	۰.۳۵۰	۰.۳۰۰	0.380	1.380	0.166	0.040	0.004446634
مواد غذایی	۰.۲۰۰	۰.۱۵۰	۰.۲۰۰	۰.۳۰۰	۰.۲۰۰	0.210	1.210	0.137	0.033	0.003674904

براساس نتایج اولویت‌بندی حاصله، برحسب اوزان هریک از اقلام پشتیبانی، نسبت به ارسال چهار نوع از اصلی‌ترین حمایت‌ها که در اولویت بالاتری قرار دارند یعنی پزشکی و بهداشت (شامل اقلام پزشکی اعم از دارو، پزشک، پرستار)، نفربر و تانک زرهی، اسلحه و مهمات و سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی را در مدل ارائه‌شده بررسی خواهیم کرد.

۴-۲) مسیریابی به مواضع مستعد حمایت

در شکل ۲، مسیرهای مکان‌های مستعد پشتیبانی نشان داده شده‌است. از میان ۲۵ موضع شناسایی‌شده تنها ۱۶ موضع ناکارا که مستعد پشتیبانی هستند، شناسایی شده‌است که برخی مسیرهای نمونه بر روی تصویر نشان داده شده‌است. برحسب اقلام پشتیبانی ارائه‌شده، باید مسیر انتقال هریک از محصولات به این مناطق مورد مناقشه را مورد بررسی قرار دهیم.

شکل ۲. مسیرهای پشتیبانی مکان‌های مستعد

براساس مدل مسیریابی پیشنهادی جهت ارسال موارد اولویت‌بندی‌شده به هریک از مناطق نبرد اقداماتی انجام شده‌است. برای اجرای مسیریابی، دو سناریو تهاجمی و تدافعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نظر به رسالت نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران که هیچگاه آغازکننده هیچ نبردی نبوده‌است، طبق سناریو تهاجمی نیروهای خودی برای بازپس‌گیری مناطق اشغالی توسط دشمن عمل می‌کنند. طبق سناریو تدافعی نیز برای مقابله با تهاجم دشمن متخاصم اقدام خواهد شد. قاعدتا در هر دو سناریو رفتار نظامی نیروهای زمینی با یکدیگر متفاوت خواهد بود. در جدول ۹، مشخص شده‌است که مقدار تقاضای هریک از اقلام امدادی به مناطق مورد مناقشه در هر سناریو چه مقدار است.

جدول ۹. مقدار توزیع انواع اقلام امدادی به هریک از نواحی

نواحی آسیب‌دیده	اقلام امدادی	سناریو	
		تدافعی	تهاجمی
منطقه ۱	پزشکی و بهداشت	۲.۱	۶.۹
	نفربر و تانک زرهی	۱۰	۳۴
	اسلحه و مهمات	۶۹۰	۱۱۸۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۷۱۰	۴۱۵۰
منطقه ۲	پزشکی و بهداشت	۳.۷	۲.۱
	نفربر و تانک زرهی	۲۱	۱۰
	اسلحه و مهمات	۱۱۸۰	۴۱۱۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱۱۸۰	۳۴۷۰
منطقه ۳	پزشکی و بهداشت	۱۴.۷	۲.۱
	نفربر و تانک زرهی	۷۲	۱۰
	اسلحه و مهمات	۴۱۱۰	۳۴۵۰

نواحی آسیب‌دیده	اقلام امدادی	سناریو تدافعی	سناریو تهاجمی
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۴۰۹۰	۴۱۵۰
منطقه ۵	پزشکی و بهداشت	۶.۹	۱۲.۵
	نفربر و تانک زرهی	۳۴	۶۱
	اسلحه و مهمات	۱۹۶۰	۱۱۸۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱۹۶۰	۱۱۸۰
منطقه ۶	پزشکی و بهداشت	۱۲.۵	۶۹۰
	نفربر و تانک زرهی	۶۱	۳.۷
	اسلحه و مهمات	۳۴۲۰	۴۰۹۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۳۴۵۰	۴۱۱۰
منطقه ۷	پزشکی و بهداشت	۲.۹	۱۲.۵
	نفربر و تانک زرهی	۲.۳	۶۱
	اسلحه و مهمات	۱۲.۵	۱۹۹۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۷۴۰	۱۹۸۰
منطقه ۸	پزشکی و بهداشت	۶۹۰	۱۰
	نفربر و تانک زرهی	۳.۷	۱۲
	اسلحه و مهمات	۲۲	۳۴۷۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱۱۲۰	۳۴۵۰
منطقه ۹	پزشکی و بهداشت	۳.۷	۱۲.۵
	نفربر و تانک زرهی	۲۱	۶۱
	اسلحه و مهمات	۱۱۸۰	۱۱۸۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱۱۸۰	۱۱۸۰
منطقه ۱۰	پزشکی و بهداشت	۱۰	۱۰
	نفربر و تانک زرهی	۱۲	۱۲
	اسلحه و مهمات	۳۴۷۰	۳۴۷۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۳۴۵۰	۳۴۵۰
منطقه ۱۱	پزشکی و بهداشت	۳.۷	۱۲.۵
	نفربر و تانک زرهی	۲۱	۶۱
	اسلحه و مهمات	۱۱۸۰	۱۹۹۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱۱۸۰	۱۹۸۰
منطقه ۱۳	پزشکی و بهداشت	۶.۹	۱۰
	نفربر و تانک زرهی	۳۴	۱۲
	اسلحه و مهمات	۱۹۶۰	۳۴۷۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱۹۶۰	۳۴۵۰
منطقه ۱۵	پزشکی و بهداشت	۲.۹	۶۹۰
	نفربر و تانک زرهی	۲.۳	۳.۷

نواحی آسیب‌دیده	اقلام امدادی	سناریو	
		تدافعی	تهاجمی
	اسلحه و مهمات	۱۲.۵	۲۲
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۷۴۰	۱۱۲۰
منطقه ۱۶	پزشکی و بهداشت	۶۹۰	۲.۱
	نفربر و تانک زرهی	۳.۷	۱۰
	اسلحه و مهمات	۲۲	۳۴۵۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱۱۲۰	۴۱۵۰
منطقه ۱۷	پزشکی و بهداشت	۶.۹	۱۲.۵
	نفربر و تانک زرهی	۳۴	۶۱
	اسلحه و مهمات	۱۹۶۰	۱۱۸۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱۹۶۰	۱۱۰
منطقه ۲۰	پزشکی و بهداشت	۲.۹	۱۰
	نفربر و تانک زرهی	۲.۳	۱۲
	اسلحه و مهمات	۱۲.۵	۳۴۷۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۷۴۰	۳۴۵۰
منطقه ۲۱	پزشکی و بهداشت	۶۹۰	۶۹۰
	نفربر و تانک زرهی	۳.۷	۳.۷
	اسلحه و مهمات	۲۲	۲۲
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱۱۲۰	۱۱۲۰

در جدول ۱۰، تخصیص مسیر پشتیبانی برای اسال اقلام در هر سناریو مشخص شده‌است. با استفاده از نتیجه به‌دست‌آمده می‌توانیم مسیر بهینه اقلام پشتیبانی را مشخص نماییم.

جدول ۱۰. مسیر اقلام پشتیبانی در هریک از سناریوها

نواحی آسیب‌دیده	اقلام امدادی	سناریو	
		تدافعی	تهاجمی
منطقه ۱	پزشکی و بهداشت	۱	۱
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۱	۱
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱
منطقه ۲	پزشکی و بهداشت	۱	۰
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۰	۱
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۰	۱
منطقه ۳	پزشکی و بهداشت	۱	۱
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱

نواحی آسیب‌دیده	اقلام امدادی	سناریو	
		تدافعی	تهاجمی
	اسلحه و مهمات	۱	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۰
منطقه ۵	پزشکی و بهداشت	۱	۰
	نفربر و تانک زرهی	۱	۱
	اسلحه و مهمات	۰	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۰	۱
منطقه ۶	پزشکی و بهداشت	۱	۰
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۱	۱
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱
منطقه ۷	پزشکی و بهداشت	۱	۱
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۰	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱
منطقه ۸	پزشکی و بهداشت	۰	۱
	نفربر و تانک زرهی	۱	۰
	اسلحه و مهمات	۱	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱
منطقه ۹	پزشکی و بهداشت	۱	۱
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۱	۱
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱
منطقه ۱۰	پزشکی و بهداشت	۱	۰
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۰	۱
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۰	۱
منطقه ۱۱	پزشکی و بهداشت	۱	۱
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۱	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۰
منطقه ۱۳	پزشکی و بهداشت	۱	۰
	نفربر و تانک زرهی	۱	۱
	اسلحه و مهمات	۰	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۰	۱
منطقه ۱۵	پزشکی و بهداشت	۱	۰

نواحی آسیب‌دیده	اقلام امدادی	سناریو	
		تدافعی	تهاجمی
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۱	۱
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱
منطقه ۱۶	پزشکی و بهداشت	۱	۱
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۰	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱
منطقه ۱۷	پزشکی و بهداشت	۰	۱
	نفربر و تانک زرهی	۱	۰
	اسلحه و مهمات	۱	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱
منطقه ۲۰	پزشکی و بهداشت	۱	۱
	نفربر و تانک زرهی	۰	۱
	اسلحه و مهمات	۰	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱
منطقه ۲۱	پزشکی و بهداشت	۰	۱
	نفربر و تانک زرهی	۱	۰
	اسلحه و مهمات	۱	۰
	سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی	۱	۱

با توجه به نتایج جدول ۱۰، برای مسیریابی از برنامه‌ریزی صفر و یک استفاده شده‌است. براین اساس درصورتیکه اقلام پشتیبانی در هر سناریو به موضع نیروهای رزمی خودی تخصیص یابد، مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر می‌گیرد. بنابراین با تخصیص به‌موقع و به‌اندازه از هریک از اقلام اولویت‌بندی‌شده و ارسال آنها به مناطق نبرد جهت پشتیبانی نیروهای رزمی خودی قادر خواهیم بود با تقویت جبهه نبرد کارآیی مناطق را نیز افزایش دهیم.

۴-۳) تحلیل حساسیت

یکی از راه‌های افزایش کارآیی مناطق مورد نبرد از طریق ایجاد آشوب در میزان ورودی‌ها و خروجی‌های مدل در تحلیل پوششی داده‌ها حاصل می‌شود. در این بخش از تحقیق به بررسی میزان تغییر در ورودی مدیریت‌پذیر می‌پردازیم و اثر آن بر روی کارآیی مورد بررسی قرار می‌دهیم. درحقیقت می‌خواهیم مشخص کنیم که در چه صورت مکان‌های ناکارا قادر خواهند بود به واحد کارا تبدیل شوند. برای این منظور، ابتدا واحدهای کارا را کنار می‌گذاریم. سپس مقدار ناکارآیی که به‌عنوان ضریب تعدیل‌دهنده واحد در مقدار ورودی‌ها عمل می‌کند تا تصویر واحد روی مرز کارآیی قرار بگیرد را در مقدار ورودی مدیریت‌پذیر مربوط به واحد تحت ارزیابی ضرب می‌نماییم. حاصل مقدار محاسبه‌شده، میزان تغییرات در ورودی مدیریت‌پذیر مربوطه را نشان می‌دهد. تعبیر مقدار به‌دست‌آمده این است که اگر هریک از مکان‌های ناکارا مقدار

ورودی مدیریت‌پذیر آنها به میزان تغییرات مشخص‌شده، کم شوند در این صورت مکان موردنظر به‌عنوان یک مکان کارا تلقی می‌شود. در جدول ۱۱ نتایج مربوط به میزان تغییرات در ورودی مدیریت‌پذیر هریک از مکان‌های ناکارا به‌عنوان واحدهای تحت ارزیابی نشان داده‌شده‌است.

جدول ۱۱.تغییرات ورودی‌های مدیریت‌پذیر (جمعیت نیروی انسانی اعزام‌شده)

مکان‌های بالقوه	امتیاز کارآیی θ	ورودی مدیریت‌پذیر x_1^M	میزان تغییرات در ورودی مدیریت‌پذیر $\Delta x_1^M = \theta x_1^M$
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

۵) 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 مواداولیه، تجهیزات ارتباطی و غیره بسیار اساسی هستند. برای اینکه این نیروها بطور بهینه به مناطق جنگی اعزام شوند، تعیین مکان صحیح براساس نیازها و شرایط مختلف ضروری است. بنابراین هدف اصلی از تعیین مکان برای اعزام نیروهای پشتیبانی به مناطق جنگی، ایجاد کارآیی 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 فرآیند پشتیبانی به‌صورت کارا انجام می‌شود. هدف دیگر از تعیین مکان مناسب، حفظ امنیت نیروها و تجهیزات در منطقه جنگی است. کارآیی 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 بطور 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 کارآیی در تعیین مکان می‌تواند منجر به عدم هماهنگی در ارسال و توزیع مواد و تجهیزات پشتیبانی شود که باعث تاخیر در فرآیند پشتیبانی و کاهش کارآیی عملیات نظامی خواهد شد. بنابراین اهمیت کارآیی در تعیین مکان برای اعزام نیروهای پشتیبانی به مناطق جنگی بسیار زیاد است. در این تحقیق یک مدل‌سازی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه امتیاز کارآیی مکان‌های بالقوه جهت امدادرسانی به نیروهای خودی درگیر در محل مناقشه ارائه‌شده‌است. براساس مدل‌سازی ارائه‌شده، می‌توانیم کارآیی مناطق را شناسایی نماییم.

علاوه براین، ۹ اقدام پشتیبانی تاثیرگذار شناسایی شده‌است که برای اولویت‌بندی آنها به محاسبه اهمیت این ۹ مورد از اقدامات حمایتی به مکان‌های قرارگیری نیروهای رزمی جهت پشتیبانی در نبرد فرضی اقدام شده‌است. برای این منظور، اهمیت هر ۹ شاخص جداگانه براساس جمع‌بندی نظر خبرگان مشخص شده‌است. سپس برحسب میانگین نظرات هر خبره برای هر شاخص و مرتب‌سازی صعودی مقدار میانگین، رتبه هر شاخص جهت انجام الگوریتم سوارا مشخص شده‌است. براساس نتایج اولویت‌بندی حاصل‌شده، برحسب اوزان هریک از اقلام پشتیبانی، نسبت به ارسال چهار نوع از اصلی‌ترین حمایت‌ها که در اولویت بالاتری قرار دارند یعنی پزشکی و بهداشت (شامل اقلام پزشکی اعم از دارو، پزشک، پرستار)، نفربر و تانک زرهی، اسلحه و مهمات و سیستم‌های اطلاعاتی و ارتباطی را در مدل مسیریابی ارائه شده‌است. براساس مدل مسیریابی پیشنهادی جهت ارسال موارد اولویت‌بندی‌شده به هریک از مناطق نبرد، اقداماتی انجام شده‌است. برای اجرای مسیریابی، دو سناریو تهاجمی و تدافعی مورد بررسی قرار گرفته است. مشخص شده‌است که مقدار تقاضای هریک از اقلام امدادی به مناطق مورد مناقشه در هر سناریو چه مقدار است. سرانجام با ارائه یک تحلیل حساسیت بر روی مقادیر ورودی مدیریت‌پذیر، حداکثر تغییرات ممکن بر روی مقدار این نوع از ورودی برای هریک از مکان‌ها مشخص‌شده‌است.

مدیریت نظامی در عصر حاضر با چالش‌های متعددی مواجه است که نیاز به راهکارهای نوآورانه و کارآمد برای بهبود عملکرد و پاسخ‌دهی به شرایط متغیر میدان جنگ را ایجاب می‌کند. یکی از این راهکارها، توسعه و پیاده‌سازی یک نظام مسیریابی بهینه برای ارسال اقلام پشتیبانی اولویت‌بندی‌شده به نیروهای زمینی است. این بینش به چندین جنبه کلیدی توجه دارد که عبارتنداز:

- مدیریت نظامی باید بطور مداوم نیازهای عملیاتی نیروهای زمینی را ارزیابی کند که شامل شناسایی اقلام پشتیبانی حیاتی مانند: مهمات، تجهیزات پزشکی، آب و غذاست. با تحلیل دقیق این نیازها، می‌توان اولویت‌های ارسال را تعیین کرد و اطمینان حاصل نمود که اقلام ضروری در زمان مناسب به دست نیروها برسد.
- توسعه و بکارگیری فناوری‌های پیشرفته ازجمله: سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، الگوریتم‌های مسیریابی هوشمند و تحلیل داده‌های بزرگ می‌تواند به کارآیی مسیرهای ارسال اقلام پشتیبانی کمک کند. این فناوری‌ها به مدیران نظامی این امکان را می‌دهد که مسیرهای امن‌تر و سریع‌تری را شناسایی کنند و درنتیجه زمان و هزینه‌های ارسال را کاهش دهند.

- مدیریت موثر نیاز به هماهنگی بین واحدهای مختلف نظامی و مراکز پشتیبانی دارد. ایجاد یک سیستم ارتباطی قوی و به‌روز می‌تواند به تسهیل تبادل اطلاعات و هماهنگی در ارسال اقلام پشتیبانی کمک کند. این هماهنگی باعث می‌شود که نیروهای زمینی نسبت به وضعیت موجود و نیازهای خود به‌روز باشند و درنتیجه تصمیم‌گیری‌های بهتری انجام دهند.
- مدیریت نظامی باید به پیش‌بینی نیازهای آینده و برنامه‌ریزی استراتژیک برای ارسال اقلام پشتیبانی بپردازد. این شامل تجزیه‌وتحلیل داده‌های تاریخی و شرایط میدانی برای شناسایی الگوهای مصرف و نیازهای احتمالی است. با این کار، می‌توان از بروز بحران‌ها و کمبودهای ناگهانی جلوگیری کرد.
- آموزش و توانمندسازی پرسنل در زمینه استفاده از سیستم‌های مسیریابی و مدیریت اقلام پشتیبانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پرسنل باید با فناوری‌های جدید آشنا شوند و توانایی تصمیم‌گیری سریع و موثر در شرایط بحرانی را داشته باشند.

بنابراین بینش مدیریت نظامی در زمینه مسیریابی ارسال اقلام پشتیبانی اولویت‌بندی‌شده، بر اهمیت تحلیل نیازها، استفاده از فناوری‌های نوین، هماهنگی بین واحدها، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی استراتژیک و آموزش پرسنل تاکید دارد. با پیاده‌سازی این بینش، می‌توان به بهبود کارآیی و اثر بخشی عملیات نظامی و حمایت از نیروهای زمینی در نبردهای آینده دست یافت.

برای تحقیقات بیشتر پیشنهاد می‌شود که محققین، نوع اقلام دسته‌بندی‌شده اعم از نیروهای زمینی، نیروهای زرهی، آب، خوراک، وسایل بهداشتی، گرمایشی و غیره را با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری، اولویت‌بندی کنند و از سایر روش‌های تصمیم‌گیری مانند بهترین-بدترین استفاده شود و نیز ضمن مقایسه اهمیت‌ها یک اوزان یکپارچه طبق دو روش محاسبه شود. یک مدل مسیریابی چندهدفه برای ارسال این اقلام به مکان‌های اولویت‌بندی‌شده ارائه شود. در این تحقیق فقط کمبود آماد به‌عنوان فاکتوری نامطلوب برای افزایش تلفات درنظر گرفته شده‌است. 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 جبهه مقابل می‌تواند بر روی تلفات بیشتر نیروهای خودی تاثیر بگذارند که توجه به آنها در حین مدل‌سازی می‌تواند مفید واقع شود.

منابع

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.*DefensiveFutureStudies*,*9*(32), 65-98. https://doi.org/10.22034/dfsr.2024.2007554.1720

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. https://doi.org/10.1016/j.fss.2020.12.011

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. https://doi.org/10.1007/s10203-022-00377-8

Bigdeli, H., & 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. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.12.007

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. https://doi.org/10.1080/23249935.2021.1916644

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. https://doi.org/10.1080/19427867.2022.2112857

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. https://doi.org/10.1108/JM2-09-2020-0228

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. https://doi.org/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. https://doi.org/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. https://doi.org/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. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02429-w

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. https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102370

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. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.087

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*. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.022

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. https://doi.org/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. https://doi.org/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. https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.02b.12

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. https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108294

Pourghader Chobar, A., Bigdeli, H., & Shamami, N. (2024). A Mathematical Model of Hub Location for War Equipment under Uncertainty Using Meta-Heuristic Algorithms. *Journal of Industrial Engineering and Management Studies*, *11*(1), 62-83. https://doi.org/10.22116/jiems.2024.449057.1554

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. https://doi.org/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*. https://doi.org/10.1155/2021/7217182

Shamami, N., Mehdizadeh, E., Yazdani, M., & 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. https://doi.org/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. https://doi.org/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. https://doi.org/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. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107899

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. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106477