Defense Policy

128

Vol. 17
Autumn 2024
P.P: 11-38

Research Paper

Received:
2023-03-25
Revised:
2023-05-31
Accepted:
2024-12-10
Published:
2024-12-10

ISSN: 2538-1857
E-ISSN: 2645-5250

Presenting a robust optimization model for the problem of scheduling the improvement and transfer of the military transport fleet in the armed forces

Pejman Salehi[1] | Mehran Khalaj[2] | Davod Jafari [3]

Abstract

Combined problems for the transport fleet in the armed forces organization are often used when the speed of developments of new war technologies as well as the establishment of new navigation systems; The command of the armed forces has made it necessary to modernize the operational facilities and decommission the old and ineffective military systems during a pre-planned period of time. In this research, to solve the combined problem of the war fleet, a stable optimization model is proposed to the decision makers of the defense affairs of the armed forces using simulation tools in order to improve and upgrade the military transport fleet. The objective function in the proposed model provides a way to minimize the cost of the entire military transport fleet while taking into account all the constraints, as well as the optimal movement and timely transfer of troops and weapons to operational areas. The findings of this research show that the development of the proposed approach can maximize the efficiency of the military fleet by minimizing the cost and time by presenting two possible scenarios in the Mojah area. In this research, it is also discussed to provide an option to optimize the calculation rate using meta-innovative algorithms.

Keywords: Robust Optimization; Scheduling Problem; Transport Fleet; Armed Forces.

1. Corresponding author: PhD student, Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Parand Branch, Tehran, Iran
pejmansalehi.metro@gmail.com
2. Associate Professor, Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Parand Branch, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Parand Branch, Tehran, Iran

DOR: 20.1001.1.10255087.1403.33.128.1.6

Publisher: Imam Hussein University

© **Authors**
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

۱۲۸

سال سی و سوم
پاییز ۱۴۰۳
صص: ۳۸-۱۱

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

شاپا چاپی: ۱۸۵۷-۲۵۳۸
الکترونیکی: ۵۲۵۰-۲۶۴۵

ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله زمان‌بندی عملیات بهبود و انتقال ناوگان حمل‌ونقل نظامی در نیروهای مسلح

پژمان صالحی[۱] | مهران خلج[۲] | داود جعفری[۳]

چکیده

مسائل ترکیبی برای ناوگان حمل‌ونقل در سازمان نیروهای مسلح، غالباً هنگامی مورداستفاده قرار می‌گیرد که سرعت تحولات فن‌آوری‌های جدید جنگی و نیز استقرار سیستم‌های نوین ناوبری؛ فرماندهی نیروهای مسلح را ناگزیر از مدرن سازی تسهیلات عملیاتی و از رده خارج نمودن سامانه‌های نظامی قدیمی و ناکارآمد در طی یک دوره‌ی زمان‌بندی از پیش برنامه‌ریزی‌شده نموده است. در این تحقیق برای حل مسئله ترکیبی ناوگان جنگی، یک الگوی بهینه‌سازی استوار با استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی به‌منظور بهبود و ارتقای ناوگان حمل‌ونقل نظامی، به تصمیم سازان و تصمیم گیران امور دفاعی نیروهای مسلح پیشنهاد می‌شود. تابع هدف در مدل پیشنهادی ضمن لحاظ تمامی محدودیت‌ها، شیوه‌ای را برای حداقل سازی هزینه کل ناوگان حمل‌ونقل نظامی و نیز جابجایی بهینه و انتقال به هنگام نیروها و تسلیحات به مناطق عملیاتی ارائه می‌دهد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که توسعه رویکرد پیشنهادی می‌تواند از طریق ارائه دو سناریوی ممکن در منطقه‌ی موجه، حداکثر سازی راندمان ناوگان نظامی به‌وسیله حداقل سازی هزینه و زمان به همراه داشته باشد. در این پژوهش همچنین به ارائه گزینه‌ای برای بهینه‌سازی نرخ محاسبات با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری پرداخته می‌شود.

کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی استوار، مسئله زمان‌بندی، ناوگان حمل‌ونقل، نیروهای مسلح

۱. نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند، تهران، ایران
pejmansalehi.metro@gmail.com
۲. دانشیار، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند، تهران، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران

DOR: 20.1001.1.10255087.1403.33.128.1.6

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان
این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License- CC BY) در دسترس شما قرار گرفته است.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در حفظ و ارتقای بنیه دفاعی و امنیت ملی یک کشور، توانایی نیروهای مسلح آن در حفظ آمادگی دفاعی و استقرار به هنگام نیروها و تسلیحات نظامی و نیز شناسایی محدودیت‌ها و رفع نقاط ضعف برای دستیابی به اهداف مشخص‌شده بر اساس راهبردهای کلیدی دفاع ملی است (اصغری و همکاران، ۱۳۹۸). محدودیت بودجه و منابع از یک‌سو و تنوع و پیچیدگی‌های ناشی از تهدیدهای ناشناخته محیطی از سوی دیگر؛ لزوم برآورد دقیق مقدار تسلیحات موردنیاز برای عملیات و ضرورت ارزیابی پیامدهای ناشی از تهدیدها، به‌عنوان یکی از محدودیت‌های فراروی فرماندهان در تحقق سیاست‌های دفاعی به شمار می‌رود (باشکوه و همکاران، ۱۴۰۱). دراین‌بین بینش و آینده‌پژوهی دفاعی ناظر بر اتخاذ تصمیماتی آگاهانه، به‌موقع و توأم با برنامه در یک چارچوب نظام‌مند و کارآمد است به‌طوری‌که بتواند به بهترین نحو ممکن از قابلیت‌های عملیاتی ناوگان نظامی برای مواجهه با تهدیدها و غلبه بر آن‌ها استفاده نماید (جونور[1]، ۲۰۲۲). پشتیبانی مؤثر و آمادگی مداوم برای انجام عملیات نظامی، کلیدی‌ترین عامل دستیابی به اهداف دفاعی و تاب‌آوری رزمی از طریق یک ناوگان حمل‌ونقل است که به‌وسیله آن نیروهای مسلح می‌توانند نیروها و ادوات جنگی خود را برای انجام مأموریت‌های محوله در جنگ به‌صورت بلادرنگ مستقر نمایند و از طرفی نیز به‌عنوان یک شاخص مؤثر برای سنجش میزان آمادگی دفاعی نیروهای مسلح در رزم‌های نظامی به شمار می‌رود (شا[2] و همکاران، ۲۰۲۲).

عملکرد کلی و میزان آمادگی دفاعی هر هنگ نظامی در وهله نخست به پویایی و توانایی آن برای تاب‌آوری طولانی‌مدت در نبردهای ساحلی و زمینی (فراساحلی) بستگی دارد که این خود معلول سامانه‌های پشتیبانی مؤثر، ناوگان حمل‌ونقل به‌روز و برنامه‌ریزی‌شده و کنترل و فرماندهی اثربخش است (عباس[3] و همکاران، ۲۰۱۱). اگرچه بسیاری از رهیافت‌های بهینه‌سازی نظیر استواری، شبیه‌سازی و یا رویکردهای ترکیبی برای حل جنبه‌ای خاص از مسائل ناوگان حمل‌ونقل در صنایع نظامی توسعه داده‌شده‌اند، اما بااین‌حال هر یک از این ابعاد در شرایط عملیاتی با

1. Junor
2. shah
3. Abbass

محدودیت‌های محاسباتی متعددی مواجه‌اند که می‌توانند تابع هدف را مقید نمایند. برخی از این محدودیت‌ها ازاین‌قرار است: قابلیت انجام محاسبات سریع و دقیق در برآورد ناوگان نظامی؛ خطی نبودن معادلات و روابط ریاضی برای انجام محاسبات، دشواری برنامه‌ریزی بر اساس شرایط موجود، محیط توأم با ابهام و عدم قطعیت برای تحقق مقاصد مأموریتی نظیر قابلیت اطمینان، قابلیت استقرار تجهیزات نظامی، آمادگی نیروها و ادوات، ارزیابی روشن از ابعاد مختلف تهاجم و غیره... که به‌طور خاص در نبردهای طولانی‌مدت و فرسایشی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود (الماسیان و شکیبا منش، ۱۳۹۳).

در مسائل برنامه‌ریزی آرمانی برای بهینه‌سازی مدل‌های چندهدفه در روابط محاسباتی ناوگان حمل‌ونقل نظامی، با توجه به اصول مرتبط با شناسایی و تعریف نقاط بهینه از طریق شیوه‌هایی مانند بهینه‌سازی پارتو، یافتن یک راه‌حل کارآمد برای اهداف متناقض با استفاده از شیوه‌های محاسبات عددی دشوارتر از یافتن جواب بهینه برای مسائل تک هدفه است. بنابراین الگوریتم‌های تکاملی و سایر رویکردهای فرا ابتکاری برای بهینه‌سازی و یافتن بهترین نقاط در این رویکردها توسعه داده‌شده‌اند (سیشادری[1]،۲۰۱۱). در بحث ارزیابی کارایی ناوگان حمل‌ونقل نظامی با توجه به تنوع و فراوانی رویکردها می‌توان از یک شبیه‌ساز مرسوم به‌منظور یافتن نقطه‌ی بهینه برای فرایند پشتیبانی ناوگان نیروهای مسلح در انجام مأموریت‌های محوله بر اساس یک سناریوی خاص و یکپارچه استفاده نمود (اوسیلی، ۲۰۲۰). علاوه بر این پیامدها و تأثیرات یک تصمیم برای انتخاب یک گزینه در پشتیبانی حمل‌ونقل نیروهای مسلح گاه به‌گونه‌ای متوالی بر دامنه تصمیمات بعدی در سطوح مختلف عملیاتی، تاکتیکی و استراتژیک تأثیر گذاشته و با توجه به عمق پیچیدگی‌های ساختاری در رویکردهای ترکیبی استوار نمی‌تواند سبب کاهش حجم محاسبات شود (بایکاس اوغلو و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین در مطالعه حاضر با توجه به اهداف پژوهش و با لحاظ چالش‌های محاسباتی برای مواجهه با جنبه‌های مختلف مسئله ترکیبی ناوگان حمل‌ونقل نظامی، یک چارچوب مفهومی بر مبنای بهینه‌سازی استوار پیشنهادشده است که بتواند تمامی محدودیت‌های مدل حمل‌ونقل در عملیات نظامی را برآورده نماید. در این رویکرد برای نزدیک شدن به شرایط محیط واقعی نبردها و رفع مشکلات احتمالی ناشی از پیچیدگی‌های محاسباتی

1. Seshadri

برآورد ناوگان حمل‌ونقل در یک فضای نظامی، یک مدل شبیه‌سازی توسعه داده‌شده است. در این روش که با هدف یافتن جواب بهینه برای حداکثر سازی مزایای قابلیت استقرار ادوات نظامی و حداقل سازی هزینه‌های عملیاتی در طول دوره برنامه‌ریزی تسهیلات نظامی با استفاده از مدل شبیه‌سازی توسعه‌یافته است می‌توان از طریق انطباق با پتانسیل‌های عملیاتی ناوگان، ابزار مناسبی برای ارزیابی مزایای الگو و نیز بررسی انطباق هر راه‌حل تولیدشده با نتایج ارائه نمود.

چارچوب کلی « بهینه‌سازی استوار» در مطالعه حاضر در نمودار شماره یک به تصویر کشیده شده است. چنانکه در این نگاره مشاهده می‌شود، نیازها و الزامات عملیاتی از طریق بهینه نمودن جداول زمان‌بندی بهبود ناوگان حمل‌ونقل نظامی در چارچوب فرآیند به‌روزرسانی، وارد نمودن فن‌آوری‌های جدید تسلیحاتی و یا بازنشسته نمودن تجهیزات فرسوده با هدف دستیابی به حداکثر خروجی‌های مرتبط با قابلیت استقرار تسلیحات و نیروهای نظامی و یا به حداقل رساندن هزینه و زمان استقرار تسهیلات تأسیسات و حمل‌ونقل در طول دوره زمانی برنامه‌ریزی ناوگان به کار گرفته می‌شوند.

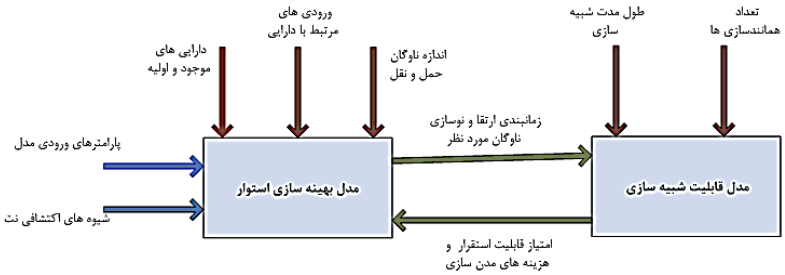
از منظر جدید بودن و تازگی، برخی از ویژگی‌های نوآورانه پژوهش حاضر را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

نخست: ارائه یک الگوی نوین ریاضی برای مسئله ترکیبی ناوگان حمل‌ونقل نظامی در فضای دارای ابهام و پیچیدگی مناطق عملیاتی، با لحاظ زیر مسئله‌های مرتبط با بهینه‌سازی تابع هدف به‌منظور زمینه‌سازی ایفای مأموریت برای فرماندهان و سایر تصمیم‌گیرندگان و نیز در نظر گرفتن پارامترهای مسئله و محدودیت‌هایی که واقعیت‌های عملیاتی محیط نظامی را پوشش می‌دهد.

دوم: ارائه یک مدل توسعه‌یافته با استفاده از منطق حاکم بر الگوریتم ژنتیک که توأم با پیشنهاد مؤلفه‌های متناسب با شرایط عملیاتی بوده، با لحاظ متغیرهای تصمیم‌گیری و ویژگی‌های خاص مسئله که به ارائه برنامه زمان‌بندی ناوگان حمل‌ونقل نظامی بپردازد.

سوم: ارائه یک شیوه اکتشافی که بتواند با استفاده از توسعه جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک به طراحی استراتژی‌های عملیاتی و قابل پیاده‌سازی از طریق جستجوی راهکردهای نزدیک به نقطه بهینه به‌جای گزینه‌های تصادفی تولیدشده، بپردازد و به‌این‌ترتیب بتواند به کاهش زمان محاسباتی برای یافتن راه‌حل بهینه بینجامد.

با توجه به آنچه در فوق ذکر گردید در این مطالعه پس از بررسی ادبیات موضوع به تبیین یک مدل ریاضی برای مسئله ترکیبی ناوگان حمل‌ونقل نظامی پرداخته‌شده. رویکردهای مرتبط با ارائه راه‌حل برای به دست آوردن نقطه بهینه از طریق شبیه‌سازی در روش «بهینه‌سازی استوار» به بررسی میزان مطلوبیت محاسباتی و ارائه پیشنهادها می‌پردازد. در تصویر شماره (۱) چارچوب پیشنهادی برای بهینه‌سازی استوار مسئله ترکیبی ناوگان حمل‌ونقل نظامی با استفاده از شبیه‌سازی نشان داده شد.



تصویر ۱. چارچوب پیشنهادی برای بهینه‌سازی استوار ناوگان حمل‌ونقل نظامی با استفاده از شبیه‌سازی

۲- پیشینه تحقیق

در مطالعات مرتبط با پیشینه علوم و فنون نظامی، عمدتاً شیوه‌های مبتنی بر شبیه‌سازی به‌طور وسیع برای ساخت مدل‌های انتزاعی برای مسائلی نظیر ارزیابی عملکرد ناوگان حمل‌ونقل نظامی در شرایط مختلف عملیاتی و با استفاده از سناریوهای مسائل مرسوم مورداستفاده قرارگرفته است (براکو[1] و همکاران، ۲۰۲۱). گیل[2] و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای با عنوان شبیه‌سازی سناریوهای نظامی به ارائه و پیاده‌سازی یک رویکرد مبتنی بر ارزیابی تسلیحات و نیروهای نظامی در قالب مطالعه عامل‌های هوشمند و تحلیل داده‌ها پرداخته‌اند و در مدل خود تأثیر رهیافت داده بنیان را بر بهبود عملیات نظامی مورد بررسی قرار داده‌اند. در مطالعه دیگری که توسط هوکا اوغلو[3] (۲۰۲۱) انجام گردیده، محقق با ارائه یک رویکرد استوار به ارزیابی تابع تناسب برای اهداف تصمیم‌گیری در محیط‌های عملیاتی از طریق شبیه‌سازی پدافند هوایی برای مقایسه میزان توفیق ناوبری تسلیحات یادشده در دستیابی به حداکثر سازی منافع جنگی بر اساس مجموعه‌ای از معیارها پرداخته‌اند. در

1. Bracco
2. Gill
3. Hocaoğlu

مطالعه دیگری لی و اپورئانو[1] (۲۰۲۰) با بررسی داده‌های رزم‌ناوهای جنگی به ارائه یک استراتژی مبتنی بر عامل‌های هوشمند برای بهینه‌سازی عملیات ناوگان نظامی در عمق آب‌ها و نیز کنترل جریان عرضه تسلیحات نظامی، پیش‌بینی تقاضاهای احتمالی در مأموریت‌های نظامی و در نهایت پیشنهاد یک جدول زمان‌بندی برای وسایل حمل‌ونقل نظامی پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داده است که فرآیندهای تدافعی از طریق امکان‌سنجی و برآورد میزان انعطاف‌پذیری ماژول‌های ناوگان حمل‌ونقل برای سناریوهای مختلف در مأموریت‌های نظامی بهبود می‌یابند. در مطالعه دیگری مک لوکاس[2] و همکاران (۲۰۱۱) از طریق شبیه‌سازی سیستم‌های دینامیک (SD) به بررسی پیامدها و نتایج روابط متقابل میان سناریوهای مختلف بهینه‌سازی نظامی از منظر نگهداری، دسترس‌پذیری و میزان آمادگی ناوگان حمل‌ونقل نظامی با توجه به مدل تدوین‌شده به‌وسیله کویل و گاردینر[3] (۲۰۰۱) پرداختند. نتایج این مطالعه در قالب شبیه‌سازی سیستم‌های دینامیک (SD) نشان می‌دهد که پیاده‌سازی مدل کویل و گاردینر در مدیریت ناوگان نظامی می‌تواند در بهینه‌سازی جدول برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات تأثیرگذار باشد. در مطالعه دیگری که توسط پریرا[4] و همکاران (۲۰۲۱) انجام‌شده است، محققان کوشیده‌اند به‌جای پرداختن به‌تمامی پارامترهای تصمیم‌گیری در گستره‌ی عملیات نظامی به ارائه یک مدل پشتیبان تصمیم بر مبنای ساختار سیستم‌های اطلاعاتی جنگی برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات هواپیماهای نظامی به‌منظور ارسال به‌موقع مهمات و نیروها در مأموریت‌های مهم جنگی بپردازند که درنهایت خروجی‌های مدل آن‌ها در پشتیبانی مؤثر از تصمیمات فرماندهان بخش نت هواپیماهای حمل کالاهای نظامی مورداستفاده قرارگرفته است. در این روش محققان ضمن شبیه‌سازی یک مدل استوار که مبتنی بر مؤلفه‌های دنیای واقعی در یک عملیات نظامی است به تجزیه‌وتحلیل عملکرد ناوگان هوایی از طریق رویکردهای محاسباتی برای برپایی مجدد ناوگان، بازتولید، اصلاح و یا بهینه‌سازی عملیات برنامه‌ریزی ناوگان جنگی با استفاده از خروجی‌های معتبر پرداخته‌اند. رویکردهای مبتنی بر بهینه‌سازی در مسائل ترکیبی ناوگان حمل‌ونقل به‌منظور شناسایی موانع، برپایی مجدد و پیکره‌بندی تجهیزات پشتیبانی در عملیات جنگی می‌کوشد که نخست: عملکرد

1. Li and Epureanu
2. McLucas
3. Coyle and Gardiner
4. Pereira

بهینه ناوگان حمل‌ونقل نظامی را از طریق برآوردن الزامات و محدودیت‌های مرتبط با تابع هدف محوله تضمین نمایند (ژانگ[1] و همکاران، ۲۰۲۱)؛ دوم: بهینه‌سازی ناوگان حمل‌ونقل از طریق حداکثر سازی منفعت و یا حداقل نمودن هزینه‌ها با توجه به برنامه‌ریزی آرمانی چندهدفه (اسلام[2] و همکاران، ۲۰۲۱) و سوم: بهینه‌سازی برنامه زمان‌بندی ناوگان حمل‌ونقل نظامی به‌منظور نیل به نتایج مطلوب از طریق پیاده‌سازی اقدام‌های هم‌زمان و مختلف عملیاتی از قبیل به دست آوردن فن‌آوری‌های جدید نظامی، ارتقای فن‌آوری‌های نظامی موجود، بازنشستگی ناوگان نظامی فرسوده، از رده خارج نمودن پلتفرم‌ها و یا واحدهای نظامی مستهلک و یا انتقال از یک فن‌آوری منسوخ به یک تکنولوژی نوین برای به‌روز نمودن ناوگان حمل‌ونقل نظامی و غیره ... (توران[3] و همکاران، ۲۰۲۲).

در سایر مطالعات به‌منظور فرموله نمودن مسائل ترکیبی ناوگان حمل‌ونقل از طریق رویکردهای شبیه‌سازی مدل‌های بهینه‌سازی استوار در توابع چندهدفه به ارائه چارچوب‌هایی برای یافتن شیوه‌های محاسباتی مقادیر بهینه تابع هدف پرداخته‌شده که هزینه کل را حداقل ساخته و حجم عملیات، احتمال بروز مخاطرات عملیاتی و نیز ریسک‌های شکست مأموریت نظامی را کمینه نموده و درنتیجه استقرار پذیری ناوگان حمل‌ونقل نظامی را حداکثر سازد (وانگ[4] و همکاران، ۲۰۲۱). بااین‌حال با توجه به پیچیدگی‌های موجود در محیط‌های جنگی و ابهام‌های مترتب بر فضای رویدادهای عملیاتی، چالش‌های عدیده‌ای برای ارضای نیازها توسط یک ناوگان مرکب حمل‌ونقل قابل‌تصور است. ازاین‌رو لزوم شبیه‌سازی ناوگان حمل‌ونقل نظامی با استفاده از مدل‌های استوار و بیان جزئیات کافی عملیاتی در مأموریت‌های نظامی از طریق سناریوهای اکتشافی در مدل‌های مختلف زمان‌بندی و مسیریابی مبتنی بر بهینه‌سازی یکی از محدودیت‌های مهم تحصیل تابع هدف محسوب می‌شود. همچنین اعتبارسنجی مدل از طریق تکنیک‌های آماری برای حصول اطمینان از روایی شبیه‌سازی‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. درمجموع با توجه به اینکه بهینه‌سازی استوار در چارچوب‌های شبیه‌سازی از منظر محاسباتی پیچیده و زمان‌بر است، لذا بهره‌گیری از سناریوهای فرا ابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک روشی مناسب برای بهبود اعمال محاسباتی به نظر می‌رسد.

1. Zhang
2. Islam
3. Turan
4. Wang

فرموله‌بندی مسئله ترکیبی ناوگان حمل‌ونقل نظامی با توجه به رویکرد بهینه‌سازی استوار

در این مطالعه، مسئله ترکیبی ناوگان حمل‌ونقل نظامی به‌صورت مجموعه‌های عددی $P=[1,2,\ldots,p]$ نشان داده‌شده است. در نیروهای مسلح قابلیت‌های تصمیم‌گیری نیازمند وجود مفروضات و زمینه‌های متعددی است که از آن جمله می‌توان به حفظ آمادگی هر تیپ نظامی در هنگام نبرد، پیش از عملیات و یا پس‌ازآن اشاره کرد. هر هنگ نظامی دارای تجهیزات اولیه‌ای است که با روابط حدی محدودیت در تابع هدف به‌منظور مکان‌یابی بهینه استقرار تسهیلات در عملیات مواجهه هستند، لذا نیروهای مسلح در پی توسعه و بهینه‌سازی قابلیت استقرار ادوات و نیروهای نظامی خود از طریق به‌روزرسانی ناوگان نظامی و یا بازنشسته نمودن ناوگان مستهلک و فرسوده در طول دوره‌های برنامه‌ریزی هستند. امکان‌پذیری سنجش امتیاز قابلیت استقرار، نشان‌دهنده انسجام ناوگان حمل‌ونقل نظامی در یک هنگ به‌منظور برآورده نمودن نیازهای آن با توجه به آرایش، پیکره‌بندی و مأموریت‌ها است.

برخی از جزئیات مرتبط با بهبود و ارتقای سازمان ناوگان حمل‌ونقل نظامی به شرح زیر است:

- کسب یا به دست آوری از طریق سفارش تجهیزات جدید برای به‌روزرسانی ناوگان حمل‌ونقل و تکمیل تسهیلات و برآورده نمودن تقاضا
- ارتقای ناوگان حمل‌ونقل نظامی به سیستم‌های استوار و مطمئن
- بازنشستگی به معنای از خدمت خارج نمودن ناوگان مستهلک و فرسوده و جایگزینی آن با ناوگان جدید مجهز به تکنولوژی‌های نوین

در مدل پیشنهادی هر یک از وسایل نقلیه در ناوگان حمل‌ونقل (a) با هفت شاخص اصلی موردسنجش قرار می‌گیرد که نشان می‌دهد آیا ناوگان مزبور برای فرآیند بهبود و به‌روزرسانی تکنولوژیک از آمادگی لازم برخوردار است یا خیر؟ این معیارها بر اساس نوع عملیات (s)، میزان به‌روزآوری (q)، مبدأ مأموریت (sp)، مقصد مأموریت (p)، ناوگان بهبودیافته (á) (مشروط به داشتن شرایط به‌روزآوری)، هزینه‌های بهینه‌سازی (c) و زمان لازم برای پیاده‌سازی بهبود ناوگان در جریان عملیات نظامی (t) طبقه‌بندی می‌شوند.

هر هنگ نظامی با مقصد مأموریت (p) و ناوگان حمل‌ونقل اولیه‌ای با مقدار پارامتر بهبود a؛ که برای انجام مأموریت‌های نظامی دسترس‌پذیر هستند، در نقاط معینی از بهبود با بزرگی q مفروض است. چنانچه برای یک بازه زمانی یک‌ساله با مؤلفه مشخص t و دوره برنامه‌ریزی با مقدار T و کران بالا و پایین بودجه‌ی در دسترس با بزرگی‌های به ترتیب b_t و $\bar{b}_t$ برای انجام فرآیند تصمیم‌گیری فرماندهی در خصوص بهینه‌سازی ناوگان حمل‌ونقل مفروض باشد، در این صورت چنانچه به ازای هر ناوگان حمل‌ونقل a، نرخ به‌روزرسانی تجهیز حمل‌ونقل نظیر UG_a و سن بازنشستگی ناوگان G_a باشد، برای یک بازه زمانی مطلوب توسعه‌ی سامانه از طریق تابع هدف اکتساب بهترین زمان ممکن با مقدار t_a جهت هر ناوگان حمل‌ونقل a، برای بهبود و یا از رده خارج نمودن تجهیزات فرسوده ناوگان یک هنگ نظامی در یک مجموعه جواب، مقداری موجه فرض می‌گردد.

متغیرهای تصمیم در مدل پیشنهادی

در مدل پیشنهادی، پارامترهای میزان موجودی ناوگان حمل‌ونقل برای بهبود برابر q، ناوگان حمل‌ونقل برابر با a، تیپ یا هنگ نظامی در مقصد مأموریت p و مؤلفه زمانی بهبود معادل با t است که تماماً با الگوی برنامه‌ریزی خطی تولید می‌شوند. در این صورت ناوگان حمل‌ونقل نیروهای مسلح (a) در مدل پیشنهادی یک تسهیل نظامی قابل‌استقرار در مأموریت‌ها فرض می‌گردد که در فرآیند نوسازی ناوگان برای طول یک دوره زمانی برنامه‌ریزی می‌شود تا در دوره مزبور میزان دسترس‌پذیری تجهیز افزایش یابد. در مدل پیشنهادی x_{at} یک متغیر تصمیم‌گیری است که اگر در مأموریت‌ها قابلیت استقرار داشته باشد دارای حداکثر مقدار یک بوده و در غیر این صورت مقدار آن برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. این مهم در رابطه شماره یک نشان داده‌شده است.

$$x_{at} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \qquad (۱)$$

بنابراین در معادله فوق چنانچه ناوگان حمل‌ونقل در زمان t قابلیت استقرار در مأموریت نظامی را داشته باشد مقدار متغیر تصمیم‌گیری x_{at} برابر یک خواهد بود و در غیر این صورت مقدار آن برابر صفر خواهد بود. همچنین در رابطه شماره یک‌سور $\forall\ a\epsilon A\ ,\ t\epsilon T$ برقرار می‌باشد.

سه متغیر تصمیم‌گیری دیگر از نوع صفر و یک بوده و به‌صورت R_{at}، U_{at} و AQ_{at} نشان داده می‌شود. اگر ناوگان حمل‌ونقل a به علت فرسودگی تجهیزات، بازنشسته شود و یا بر اساس زمان‌بندی‌ها و استراتژی‌های مدیریت نظامی لازم باشد به‌روزرسانی گردند و ناوگان جدیدی به بخش حمل‌ونقل و پشتیبانی نیروهای مسلح افزوده شود، در این صورت رابطه‌های شماره ۲، ۳ و ۴ به شرح ادامه نوشته می‌شود.

$$U_{\mathrm{at}} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \qquad \forall a \in A\ ,\forall t \in T \qquad (۲)$$

در رابطه شماره ۲ چنانچه ناوگان حمل‌ونقل مفروض a در دوره زمانی t بر اساس راهبردهای مدون بهینه‌سازی نظامی بازنشسته یا از رده خارج شود یابد مقدار U_{at} برابر یک خواهد بود و در غیر این صورت مقدار آن برابر صفر است.

همچنین در خصوص زمان بازنشسته شدن ناوگان مستهلک و فرسوده می‌توان رابطه شماره ۳ را به شرح زیر نوشت:

$$R_{\mathrm{at}} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \qquad \forall a \in A\ ,\forall t \in T \qquad (۳)$$

همچنین برای اکتساب و وارد نمودن فن‌آوری‌های جدید پشتیبانی در حمل‌ونقل نیروهای مسلح (AQ_{at}) رابطه شماره ۴ به شرح زیر نوشته می‌شود:

$$AQ_{\mathrm{at}} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \qquad \forall a \in A\ ,\forall t \in T \qquad (۴)$$

در رابطه شماره ۴ چنانچه الزام به ورود فن‌آوری‌های جدید به پشتیبانی ناوگان حمل‌ونقل مفروض a در دوره زمانی t بر اساس راهبردهای مدون حمل‌ونقل نظامی باشد، مقدار AQ_{at} برابر یک خواهد بود و در غیر این صورت مقدار آن برابر صفر است.

در ادامه برای تکمیل مدل پیشنهادی، دو متغیر تصمیم دیگر نیز معرفی می‌شوند که از آن‌ها با نام‌های SP_{pta} و dP_{pta} یاد می‌شود که به ترتیب نشان‌دهنده محل استقرار ناوگان حمل‌ونقل

مفروض در آشیانه‌ی نگهداری ناوگان حمل‌ونقل (استخر منابع[1] ناوگان) و مقصد نهایی و مکان تعیین‌شده برای استقرار ناوگان نظامی در عملیات محوله (استخر مقصد[2]) در زمان t است که در معادلات شماره ۵ و ۶ نشان داده‌شده است. در رابطه شماره ۵ ناوگان حمل‌ونقل در آشیانه نظامی و دپوی نگهداری و تعمیرات در زمان t پارک شده است:

$$SP_{pta} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \qquad \forall a \in A\,, \forall t \in T \qquad (۵)$$

در رابطه فوق چنانچه یک ناوگان حمل‌ونقل در آشیانه p، در زمان t مستقر باشد در این صورت SP_{pta} دارای بزرگی صفر و در غیر این صورت مقدار آن برابر صفر خواهد بود.

در معادله زیر dP_{pta} نشان‌دهنده ناوگان حمل‌ونقل مفروض a است که بر اساس برنامه از پیش تعیین‌شده توسط فرماندهی پس از انجام مأموریت نظامی به آشیانه p در زمان t بازگردانده می‌شود.

$$dP_{\mathrm{pta}} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \qquad \forall a \in A\,, \forall t \in T \qquad (۶)$$

در اینجا به‌منظور ارائه بهترین نقطه در مجموعه‌ی جواب‌های موجه به تصمیم‌گیرندگان و ایجاد زمینه تصمیم سازی از طریق یک تابع هدف چندگانه و نیز برای یافتن یک ترکیب بهینه از ارتقا و بهبود ناوگان با استفاده از مسائل آرمانی دارای چند تابع هدف، طراحی و ارائه‌شده است که در آن بهترین زمان ممکن برای ارتقا و بهبود بر اساس امتیاز استقرار بهینه ناوگان نظامی برای حداکثر سازی منفعت و حداقل سازی هزینه‌ها نشان داده شد. بنابراین همان‌گونه که در جدول شماره (۱) مشاهده می‌شود شاخص‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل ریاضی پیشنهادی در فرایند مدرن سازی ناوگان حمل‌ونقل نظامی با توجه به محدودیت‌هایی نظیر بودجه، مقاومت در برابر تغییر، میزان دسترس‌پذیری تسهیلات مناسب برای جایگزینی ناوگان و قیود زمانی برای یافتن بهترین شیوه اجرای عملیات و در مطلوب‌ترین زمان از طول دوره برنامه‌ریزی است، به‌طوری‌که قابلیت استقرار نیروهای مسلح را با کمترین هزینه‌های عملیاتی امکان‌پذیر نماید.

1. Source Pool
2. Destination pool

جدول ۱. بیان معیارها در مدل پیشنهادی

معیارها	دامنه نشانه‌ای	توضیحات
a و $\acute{a}$	۱و۲و۳ و ..... و A	این مؤلفه نشان‌دهنده ناوگان حمل‌ونقل نظامی در نیروهای مسلح است که دنباله آن به این صورت می‌باشد: ناوگان۱، ناوگان۲، ناوگان۳ ... ، ناوگان$_a$ ، ... ، ناوگان$_A$
p	۱، ۲، ۳، ..... ، P	این مؤلفه نشان‌دهنده استخر منابع (نظیر پارکینگ، دپو و آشیانه ناوگان و غیره ... در ناوگان حمل‌ونقل نظامی است) و مقاصد انجام مأموریت‌های نظامی؛ نظیر آنکه ناوگان حمل‌ونقل در کدام بخش ژئوپلیتیک مانند پل و یا مکان جغرافیایی بر اساس عملیات برنامه‌ریزی‌شده مستقر شود.
t	۱، ۲، ۳، ۴ ، ... ، T	طول دوره برنامه‌ریزی در زمان‌بندی عملیات ناوگان
s	NA	وضعیت / نوع اقدامی که بر اساس برنامه‌ریزی فرماندهی عملیات، لازم است بر روی ناوگان حمل‌ونقل نظامی برای به‌روزآوری، کسب فن‌آوری جدید، بازنشستگی ناوگان فرسوده انجام شود.
SP	NA	استخر منابع نظیر پارکینگ‌ها، آشیانه‌ها، دپوها و غیره ...
dP	NA	مقاصد مأموریت‌های نظامی

جدول شماره ۲ پارامترهای مدل پیشنهادی را بر اساس جداول زمان‌بندی بهینه در ناوگان نظامی نشان می‌دهد. در این جدول ضمن تبیین کران بالا و پایین محدودیت‌های موجود در بودجه نظامی، طول عمر مفید ناوگان حمل‌ونقل، هزینه‌های کسب فن‌آوری جدید برای ناوگان حمل‌ونقل، هزینه بازنشستگی ناوگان حمل‌ونقل فرسوده، هزینه‌های مرتبط با ارتقای فن‌آوری ناوگان و غیره ... ، موجودی هر ناوگان حمل‌ونقل در تمامی استخرهای منابع نشان داده‌شده است.

جدول ۲. بیان پارامترها و ضرایب متغیرهای تصمیم در مدل پیشنهادی

پارامترها	توضیحات
$\overline{b_t}$	کران بالای محدودیت بودجه نظامی در سال t ام
b_t	کران پایین محدودیت بودجه نظامی در سال t ام
$\overline{G_{ap}}$	طول عمر مفید ناوگان حمل‌ونقل مفروض a برای هنگ نظامی مفروض p
UG_{ap}	زمان ارتقاء و به‌روزآوری ناوگان مفروض a برای یک تیپ و یا هنگ نظامی p

جدول ۲. بیان پارامترها و ضرایب متغیرهای تصمیم در مدل پیشنهادی

پارامترها	توضیحات
qc_{ta}	هزینه‌های کسب فن‌آوری جدید برای ناوگان حمل‌ونقل a در سال tام
rc_{ta}	هزینه بازنشستگی ناوگان حمل‌ونقل فرسوده a در سال tام
us_{ta}	هزینه‌های مرتبط با ارتقای فن‌آوری ناوگان a در سال tام
u_a	سال پیوستن ناوگان حمل‌ونقل a به پشتیبانی با توجه به برنامه زمان‌بندی از پیش تدوین‌شده
q_{apst}	مقدار بزرگی ناوگان حمل‌ونقل مفروض a بر اساس زمان‌بندی s که لازم است در زمان t براثر فرسودگی از رده خارج شود و یا به استخر منابع افزوده شود.
$Avail_Assets_t$	ماتریسی است که موجودی هر ناوگان حمل‌ونقل را در تمامی استخرها به ازای ناوگان مفروض a در زمان خاص t نشان می‌دهد. این ماتریس شامل P ستون و A سطر است.
Q_{apt}	مقادیر اولیه یا در دسترس برای ناوگان حمل‌ونقل مفروض a در بازه زمانی t

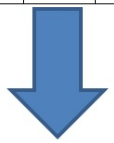
جدول شماره ۳ توابع هدف مدل پیشنهادی را بر اساس جداول زمان‌بندی بهینه در ناوگان نظامی نشان می‌دهد. در این جدول بردار همبستگی میان نقاط نمونه مورد طراحی که پیش‌بینی‌شده‌اند و نیز سایر موارد نمونه‌برداری شده در قالب ماتریس همبستگی میان نمونه‌های نقطه‌ای مورد طراحی در منطقه موجه مدل آورده شده است.

جدول ۳. بیان توابع هدف در مدل پیشنهادی

پارامترها و توابع هدف مدل جایگزین	توضیحات
X	بردار طراحی / متغیرهای ورودی مدل
X^i	i امین نقطه طراحی / ورودی
z	واحد بردار ستونی ماتریس
f	تابع صحیحی که باید مدل شود.
$f(x)_p$	تابع برازش صحیح در نقطه x برای طراحی یک نقطه خاص
f	بردار پاسخ در نقاط طراحی‌شده برای نمونه‌های ارائه‌شده در منطقه موجه
R	ماتریس همبستگی میان نمونه‌های نقطه‌ای مورد طراحی در منطقه موجه مدل
r	بردار همبستگی میان نقاط نمونه مورد طراحی که پیش‌بینی‌شده‌اند با سایر موارد نمونه‌برداری شده

ویژگی‌های اصلی هر یک از وسایل نقلیه‌ی ناوگان حمل‌ونقل نظامی در مدل ریاضی پیشنهادی بر اساس جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک در تصویر شماره ۲ نشان داده‌شده است.

نیروهای نظامی	ناوگان۱	ناوگان۱	ناوگان۲	ناوگان۳	ناوگان۴	ناوگان۵	ناوگان۶	ناوگان۷	ناوگان۸	ناوگان۹	ناوگان۱۰



ایمنی دسترس پذیری و سایر محدودیت ها										
√/ *	√	√	*	√	√	√	*	√	√	√
x_{at}	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
Depl.	$\frac{1}{T.A}(\sum_{t=1}^{T}\sum_{a=1}^{A} x_{at}) = \frac{1}{1*10}(1*8) = 0.8$									

تصویر ۲. نمونه‌ای از محاسبات مرتبط با قابلیت استقرار ناوگان حمل‌ونقل نظامی برای انتقال ادوات و نیروهای مسلح با مقدار A=10 از طریق یک ناوگان خاص در زمان مشخص t

تابع هدف

در این مطالعه برای نوشتن تابع هدف و تعیین مقدار بهینه آن از مدل ارائه‌شده توسط پتی پرز[1] و همکاران (۲۰۲۱) و نیز روش حل پیشنهادی در آن استفاده‌شده است. در مدل یادشده، مقدار بهینه‌ی تابع هدف برای به دست آوردن بهترین ترکیب استقرار ناوگان در عملیات نظامی از یک الگوی آرمانی پنج هدفه و متفاوت که در اصل برای ناوگان پهبادها در نیروی هوایی استفاده‌شده، بهره گرفته‌شده است. همچنین در تحقیق حاضر به‌منظور حفظ سادگی روابط و اجتناب از پیچیدگی ساختاری در فرمولاسیون مدل به ازای هر یک از ناوگان حمل‌ونقل نظامی که محدودیت‌های موجود در مدل ریاضی را برآورده نماید، با عنوان وسیله نقلیه ریلی دارای قابلیت استقرار، یادشده و با استفاده از یک بردار باینری (x_{at}) مقدار یک را به ناوگان حمل‌ونقل قابل‌استقرار و صفر را به ناوگانی نسبت می‌دهد که به دلیل دسترس‌ناپذیری تجهیزات، اشکال فنی، نقص و یا هر محدودیت دیگری قابلیت استقرار در میدان جنگ را ندارد، در این صورت با استفاده از پارامترهای جبر بول می‌توان محاسبات برازش تابع تناسب را ساده‌تر نمود. ارائه یک

1. Petitprez

نمایش نزدیک به واقعیت از قابلیت استقرار ناوگان حمل‌ونقل در عملیات نظامی از طریق تقسیم ناوگان حمل‌ونقل قابل‌استقرار بر مجموع کل ناوگان حمل‌ونقل نظامی موجود (A) در طول دوره برنامه‌ریزی(T) به‌صورت زیر و از طریق تابع هدف ماکسیمم در این مدل به‌صورت رابطه شماره هفت خواهد بود.

$$\frac{1}{T.A}\left(\sum_{t=1}^{T}\sum_{a=1}^{A} x_{at}\right) \qquad (۷)$$

در تصویر شماره ۲ نمونه‌ای از چگونگی محاسبه و به دست آوردن مقدار تابع هدف برای یک ناوگان نظامی مفروض نشان داده‌شده است. در اینجا مجموع کل ناوگان نظامی بهینه‌سازی شده را می‌توان به‌صورت مجموع هزینه‌های به دست آوردن فن‌آوری‌های جدید حمل‌ونقل نظامی، ارتقای تکنولوژی و بازنشستگی ناوگان حمل‌ونقل فرسوده در طول یک دوره برنامه‌ریزی T به شرح زیر بیان نمود و بدین ترتیب تابع هدف مینیمم برای این مدل به‌صورت رابطه شماره هشت خواهد بود.

$$\sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{a=1}^{A}\left(AQ_{at}\,.\,qc_{at} + U_{at}.uc_{at} + R_{at}\,.\,rc_{at}\right)\right. \qquad (۸)$$

محدودیت‌های مدل پیشنهادی

در مدل پیشنهادی تحقیق حاضر برای دستیابی به عامل‌های تأثیرگذار در برآورد دقیق خروجی‌های مدل لازم است مؤلفه‌های مرتبط با دوره عمر مفید تسهیلات حمل‌ونقل به همراه هزینه‌های ارتقای ناوگان را بر اساس روش‌های حسابداری صنعتی به‌صورت تصاعدی مدنظر قرار داد. هزینه ارتقای فن‌آوری ناوگان حمل‌ونقل نظامی با توجه به سن تجهیزات به شرح زیر به دست می‌آید:

$$qc_{at} = bexp^{at}\,, b > 0 \qquad (۹)$$

در مدل پیشنهادی، یک برنامه آرمانی ترکیبی برای مسئله ناوگان حمل‌ونقل مفروض a در نظر گرفته می‌شود و با توجه به آن مجموعه راهکردهای ممکن در چارچوب محدودیت‌های شماره ۱۰ تا ۲۱ تعریف می‌گردد.

$$b_t \leq \sum_{a=1}^{A} (AQ_{at}.qc_{at} + U_{at}.uc_{at} + R_{at}.rc_{at}) \leq \overline{b_t} \quad (۱۰)$$

رابطه شماره (۱۰) محدودیتی است که هزینه کل را با توجه به کران بالای رابطه، به فرآیند بهبود ناوگان تخصیص داده و انتساب قیدهای بودجه‌بندی را به مقداری کمتر از افق برنامه‌ریزی سالانه تضمین می‌نماید.

$$x_{at}.G_a \leq (t - u_a).x_{at}, \forall a \in A \quad (۱۱)$$

رابطه شماره ۱۱ محدودیتی است که تضمین می‌نماید هر یک از ناوگان حمل‌ونقل نظامی در صورت عبور از عمر مفید خود و رسیدن به مرز فرسودگی و استهلاک، باید از چرخه سرویس خارج و بازنشسته شوند.

$$x_{at}.UG_a \leq (1 - u_a).x_{at}, \forall t \in T, \forall a \in A \quad (۱۲)$$

به‌طور مشابه، محدودیت شماره ۱۲ تضمین می‌نماید که فن‌آوری موجود که در هر یک ناوگان حمل‌ونقل نظامی بکار رفته در صورت ضرورت و با رسیدن به آستانه‌ی تحول تکنولوژیک برای استفاده مؤثر در عملیات نظامی به‌روزرسانی شود.

$$U_{at} + R_{at} + AQ_{at} = 1, \forall t \in T, \forall a \in A \quad (۱۳)$$

رابطه شماره ۱۳ ناظر بر محدودیتی است که تضمین می‌نماید اِعمال یک وضعیت عملیاتی برای ناوگان حمل‌ونقل a در زمان t تنها در یکی از جواب‌های موجه فضای حالت امکان‌پذیر است.

$$Q_{a'pt} - U_{at}.q_{a'pt} \geq 0, \forall a, \acute{a} \in A, \forall p \in P, \forall t \in T \quad (۱۴)$$

محدودیت شماره ۱۴ تضمین می‌نماید که در صورت ارتقا و به هنگام سازی ناوگان حمل‌ونقل نظامی a به a' ؛ باید مقدار $q_{a'pt}$ از نامعادله حذف گردد. در این صورت ناوگان حمل‌ونقل نظامی به‌روزرسانی شده a' برای منبع نظامی p در زمان مشخص t باید کمتر یا مساوی مقدار موجودی آن ناوگان در Q'_{apt} باشد.

$$Q_{apt} - R_{at}.q_{apt} \geq 0, \forall a \in A, \forall p \in P, \forall t \in T \quad (۱۵)$$

در صورت بازنشسته شدن هر یک وسایل نقلیه در ناوگان حمل‌ونقل نظامی به علت فرسودگی و مستهلک شدن، محدودیت شماره ۱۵ تضمین می‌نماید که وسیله نقلیه بازنشسته شده‌ی خاص a از استخر منابع p در زمان t حذف‌شده و مقدار آن کمتر یا مساوی با Q_{apt} باشد.

$$Q_{apt} - AQ_{at} \cdot q_{apt} = Q_{apt}, \forall a \in A, \forall p \in P, \forall t \in T \quad (۱۶)$$

برای انتقال فن‌آوری‌های نظامی در ناوگان حمل‌ونقل برای یک وسیله نقلیه خاص مانند a، محدودیت شماره ۱۶ تضمین می‌نماید که مقدار بزرگی وسیله نقلیه جدید q_{apt} برای فن‌آوری‌های جدید ناوگان در استخر منابع نیروهای مسلح (p)، در زمان t به مقدار کل Q_{apt} اضافه می‌شود.

$$Q_{apt} \cdot Q_{a'pt} \geq 0, \forall a, a' \in A, \forall p \in P, \forall t \in T \quad (۱۸)$$

محدودیت شماره ۱۷ تضمین می‌نماید که مقدار کل موجودی (Q) از دو نسخه قدیمی (فرسوده) و جدید (به‌روزرسانی شده) ناوگان حمل‌ونقل در استخر منابع نظامی (p) در زمان t بیشتر است و یا مقدار تفاضل آن برای هر دو وضعیت صفر است.

$$dp_{at} + sp_{at} = 1, \forall a \in A, \forall t \in T \quad (۱۹)$$

محدودیت شماره ۱۸ تضمین می‌نماید که فقط یک استخر منبع p در مبادی و مقاصد مأموریت‌های نظامی در زمان خاص t برای یک دارایی خاص قابل انتخاب است.

$$U_{at} \cdot x_{at} + U_{at} \cdot x_{a't} > 1, \forall a, a' \in A, \forall t \in T \quad (۲۰)$$

محدودیت شماره ۱۹ تضمین می‌نماید که ناوگان حمل‌ونقل فعلی که از آن با عنوان وسیله نقلیه اصلی (a) یاد می‌شود و وسیله نقلیه ارتقا یافته (a') در زمان t به هم‌نگاشت می‌شوند.

$$R_{at} \cdot x_{at} + R_{at} \cdot x_{a't} = 1, \forall a, a' \in A, \forall t \in T \quad (۲۱)$$

محدودیت شماره (۲۰) تضمین می‌نماید تنها در صورت بازنشستگی ناوگان حمل‌ونقل (a) در زمان t، ناوگان جدید حمل‌ونقل (a') به استخر منابع نظامی تخصیص می‌یابد.

$$AQ_{at} \cdot x_{at} + AQ_{at} \cdot x_{a't} = 1, \forall a, a' \in A, \forall t \in T \quad (۲۲)$$

محدودیت شماره (۲۱) تضمین می‌نماید که انتقال و یا اکتساب یک ناوگان حمل‌ونقل جدید، در زمان t تنها برای یک وسیله نقلیه خاص امکان‌پذیر است.

مفروضات مدل پیشنهادی برای بهینه‌سازی استوار ناوگان حمل‌ونقل نظامی

برخی از مفروضات مدل ریاضی پیشنهادی به شرح زیر است:

نخست: اکتساب تجهیزات ناوگان حمل‌ونقل نظامی از طریق تأمین‌کنندگان بیرونی صورت می‌گیرد لذا هزینه‌های مواد اولیه تولید برای پشتیبانی نیروهای مسلح لحاظ نمی‌گردد.

دوم: فرض می‌شود در سری‌های زمانی، فاصله زمانی خاصی میان انتقال فن‌آوری، ارتقا و به‌روزرسانی و یا بازنشستگی و ورود یک تجهیز جدید به ناوگان نظامی وجود نداشته باشد. به دیگر بیان فرض بر آن است که پس از اکتساب یک وسیله نقلیه جدید در ناوگان، بلافاصله با وسیله نقلیه فرسوده جایگزین می‌گردد.

بنابراین ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم ارتقا یافته از طریق شیوه شبیه‌سازی در الگوی بهینه‌سازی استوار، می‌تواند پتانسیل‌های نیروهای مسلح را برای استفاده از برنامه‌های بعضاً دارای اهداف متضاد در جایگزینی از طریق شیوه‌های به‌روزرسانی و ارتقا، اکتساب و بازنشستگی و غیره ... مدیریت نموده و یک خروجی موجه را برای نقطه بهینه تعیین و توصیه نماید. لذا با توجه به محدودیت‌های عملیاتی از قبل تعیین‌شده، وجود چنین ساختاری سبب می‌شود توانایی‌های نیروهای مسلح برای مدیریت عملیات از طریق یک نظام برنامه‌ریزی و زمان‌بندی سیستمی و جامع نسبت به حالت‌های گسسته و ناهمگن بهبودیافته و در نتیجه با استفاده از یک چارچوب مدون از تصمیم‌گیرنده برای بهینه‌سازی استوار منابع نظامی حمایت شود تا بهترین راهکرد ممکن برای عملیات نوسازی (اکتساب و انتقال فن‌آوری، به‌روزآوری و ارتقا و بازنشستگی ناوگان فرسوده) به‌منظور دستیابی به حداکثر منافع فراهم‌شده و سبب شود قابلیت استقرار ادوات، تسلیحات جنگی، نیروها و تجهیزات نظامی با حداقل زمان و هزینه با استفاده از ناوگان حمل‌ونقل در یک هنگ نظامی میسر شود.

رویکرد حل مدل بهینه‌سازی استوار

در تحقیق حاضر، بهینه‌سازی مدل پیشنهادی با استفاده از یک رهیافت ترکیبی مبتنی بر استواری و با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی به‌منظور ارزیابی تناسب و روایی مدل برای زمان‌بندی ناوگان حمل‌ونقل نظامی پیاده‌سازی شده است. ازاین‌رو در رویکرد ارائه‌شده در این مطالعه پس از تولید یک جمعیت اولیه تصادفی از راهکردهای کاندید، رویه‌های الگوریتم ژنتیک

با استفاده از یک روش اکتشافی به امکان‌سنجی اجرای راه‌حل‌ها از طریق عملگرهای تکاملی پیشرفته (ترکیبی و جهش‌یافته) منتهی می‌شود. همچنین برای سنجش میزان برازش هر راه‌حل در مدل پیشنهادی با توجه به نمره‌های قابلیت استقرار ناوگان حمل‌ونقل برای تأمین اهداف مرتبط با مأموریت‌های نظامی برحسب زمان و هزینه موردنیاز برای انجام عملیات در هر نسل، یک عملگر انتخاب برای تعیین راه‌حل تا خاتمه الگوریتم برای اصلاح و یا تکامل راهکردها برحسب دامنه تابع برازش اعمال می‌گردد تا از طریق مقایسه راه‌حل‌های موجه، جواب‌ها بازتولید و اصلاح شود.

تبیین جمعیت اولیه و بازنمایی راه‌حل‌های مدل بهینه‌سازی استوار

در روش‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک جمعیت اولیه‌ی راه‌حل‌های کاندید به‌صورت تصادفی و بر اساس چندین داده ورودی نظیر اندازه جمعیت (P.S)، اندازه ناوگان به مفهوم داده‌هایی مانند تاریخ شروع فرایند نوسازی ناوگان، تعداد هنگ‌های نظامی قابل پشتیبانی، تاریخ‌های شروع و پایان دوره برنامه‌ریزی در عملیات جابجایی، موجودی ناوگان حمل‌ونقل در استخر منابع و بزرگی آن‌ها و غیره ...، تولید می‌شود. همچنین در الگوی پیشنهادی، هر راه‌حل در سه سطح بالایی، میانی و پایینی نمایش داده می‌شود. فهرست تمامی راه‌حل‌های تولیدشده در جمعیت برای سطح بالای راه‌حل یعنی جایی که Sol_1 نخستین راه‌حل و Sol_{ps} آخرین راه‌حل در جمعیت مذکور است؛ ارائه می‌گردد. در سطح میانی متغیرهای تصمیم در عملیات بهینه‌سازی نظیر اکتساب ناوگان حمل‌ونقل جدید، به‌روزرسانی فن‌آوری‌های حمل‌ونقل، ارتقا و یا بازنشستگی ناوگان فرسوده و غیره ... از طریق هر راهکرد با لحاظ تاریخ پیاده‌سازی در زمان tام ارائه‌شده است. چنانکه در چهارمین محدودیت مدل (رابطه شماره ۱۳) مشاهده می‌شود، در هر زمان خاص تنها یک عملیات برای اجرا، قابل انتخاب است.

رهیافت اکتشافی پیشنهادی بر حل مدل بهینه‌سازی استوار

پس‌ازاینکه راه‌حل‌های اولیه به‌طور تصادفی تولید شدند، روش اکتشافی برای اصلاح تعدادی از راه‌حل‌ها ($\varphi\%$) ارائه می‌شود. در این صورت از طریق اعمال شیوه‌های اکتشافی پیشنهادی بر روی جمعیت اولیه تلاش می‌شود تا از طریق امکان‌پذیری اصلاح و یا بقا راه‌حل تولیدشده، تمامی محدودیت‌های مدل و یا حداکثر آن‌ها برآورده شود و به‌این‌ترتیب راه‌حل بهینه در جمعیت اولیه دست می‌آید. اهمیت رهیافت اکتشافی پیشنهادی عمدتاً در افزایش کیفیت روش امکان‌سنجی فضای راه‌حل‌های اولیه با توجه به محدودیت‌های مدل است. فضای جستجوی الگوریتم ژنتیک با

شروع جستجو در راه‌حل‌های نزدیک به مقدار بهینه، به‌جای راه‌حل‌هایی است که توسط الگوریتم به‌صورت کاملاً تصادفی تولیدشده‌اند. درنتیجه می‌توان پیچیدگی زمانی را برای یافتن راه‌حل بهینه به میزان قابل‌توجهی کاهش داد. همچنین اعمال شیوه‌های اکتشافی در سطوح میانی برای هر عملیات انتخابی در زمان خاص t به تلاش برای اصلاح ویژگی‌های راه‌حل‌های بهینه‌سازی ناوگان حمل‌ونقل منجر می‌شود. در سطوح پایین نیز اجرای این الگوریتم ضمن ارضای برخی محدودیت‌ها نظیر بازنشسته شدن وسایل نقلیه فرسوده، انجام اقدامات نگهداری و تعمیرات اساسی برای افزایش عمر مفید ناوگان موجود و برآورده نمودن اهداف مأموریت‌ها در مقاصد جنگی و نیز غنی‌سازی استخر منابع از طریق بهینه‌سازی مقادیر تابع هدف در درون مرزهای پادگان با توجه به محدودیت‌ها و در نهایت لحاظ کردن استثناهایی که محدودیت‌های مدل را نقص نموده و استفاده از آن را غیرممکن می‌سازد؛ منتج می‌شود. روش ابتکاری پیشنهادیِ اصلاح‌شده می‌تواند نتایجی به شرح ادامه به دست آورد:

- ارتقا، به‌روزآوری و یا بازنشستگی آن دسته از وسایل نقلیه‌ای که نه جدیداً کسب‌شده‌اند و نه در استخر منابع موجود دارای کارآمدی هستند.
- بازنشستگی ناوگان فرسوده که جایگزین آن‌ها در یک بازه زمانی معین به‌دست‌آمده و یا از منظر تکنولوژیک به‌روزآوری شده است.
- ارتقا و به‌روزآوری آن دسته از ناوگان حمل‌ونقل که سن آن‌ها از حد مشخص گذشته و یا در استخر منابع تیپ و هنگ بیش از مقدار موردنیاز مأموریت‌ها، موجود است.

ارزیابی تابع تناسب در مدل بهینه‌سازی استوار ناوگان حمل‌ونقل نظامی

در این مرحله مقادیر تابع تناسب در جمعیت اولیه‌ی راه‌حل‌های کاندید به همراه راه‌حل‌های اصلاح‌شده از طریق شیوه‌ی اکتشافی و انجام اندازه‌گیری‌ها به‌منظور تعیین کیفیت هر راهکرد با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی انجام می‌گیرد. در این روش قابلیت استقرار ناوگان حمل‌ونقل در عملیات نظامی به‌عنوان راه‌حل هدف، تابعی از داده‌های ورودی در طول دوره شبیه‌سازی (T) نظیر پارامترهای حمل‌ونقل ناوگان است. به‌عنوان‌مثال موجودی وسایل حمل‌ونقل و مقادیر آن در استخر منابع و بزرگی آن‌ها در مقاصد مأموریت‌های نظامی و یا تعداد تکرارهای الگوریتم در مدل شبیه‌سازی از آن جمله است. به ازای هر راه‌حل در برنامه زمان‌بندی ناوگان حمل‌ونقل، آرایه‌ی باینری (x_{at}) تعیین می‌کند که آیا ناوگان حمل‌ونقل مورداستفاده a در زمان t قابلیت استقرار در

عملیات نظامی را داراست یعنی x_{at}=1 یا خیر؟ (یعنی x_{at}=0.) در این صورت از مدل شبیه‌سازی برای محاسبه مقادیر تابع هدف به‌منظور حداکثر سازی قابلیت استقرار (مقدار تابع تناسب) و بهینه‌سازی راه‌حل آن استفاده می‌شود. در ادامه ارزش تابع هدف حداقل سازی هزینه به‌عنوان مجموع کل هزینه‌ها برای ارتقای تجهیزات حمل‌ونقل، بازنشستگی ناوگان فرسوده، اکتساب وسایل نقلیه جدید و فن‌آوری‌های نوین برای دستیابی به امتیاز حداکثری قابلیت استقرار ناوگان حمل‌ونقل محاسبه می‌شود. این مهم در جدول شماره (۴) در قالب متغیرهای تصمیم در مدل و رابطه هر سطح با بازنمایی راه‌حل نشان داده‌شده است.

جدول ۴. بیان متغیرهای تصمیم در مدل و رابطه هر سطح با بازنمایی راه‌حل

سطح	متغیرهای تصمیم	ارتباط با سطوح دیگر
بالایی	-	این سطح شامل آن دسته از متغیرهای تصمیم است که n راه‌حل را در زمان t برای سطح میانی در بردارد.
میانی	U_{at}, R_{at}, AQ_{at}	این سطح به آن دسته از متغیرهای تصمیم نظیر dP_{pta} و SP_{pta} و نیز سایر ویژگی‌های مرتبط با وسیله حمل‌ونقل a در زمان t را برای سطح پایین باز می گردد.
پایینی	dP_{pta}, SP_{pta}	این سطح شامل ویژگی‌های اصلی ناوگان حمل‌ونقل a به‌منظور تعیین بزرگی نوع خاصی از عملیات s است که بر اساس برنامه‌ریزی لازم است، به‌روزرسانی و مدرنیزه شده و با مقدار q در استخر منبع sp و یا مقصد dp در یک مأموریت ویژه برای مجموعه ناوگان حمل‌ونقل نظامی در وسایل نقلیه‌ی ارتقا یافته á با هزینه c در زمان t نشان داده می‌شود.

به‌منظور دستیابی به امتیاز بیشتر و هزینه استقرار کمتر، چندین راه‌حل همانند برای هر تکرار الگوریتم در مدل پیشنهادی بازتولید می‌شود. تنظیم معیارهای ثانویه و استفاده از تکنیک‌های

مرتب‌سازی، امکان کاهش تعداد راه‌حل‌ها را در هر تکرار الگوریتم بدون تنزل در کیفیت راه‌حل‌ها به وجود می‌آورد. تابع مرتب‌سازی مورداستفاده در مطالعه حاضر به‌منظور تعیین ترتیب صعودی یا نزولی راه‌حل‌ها در برنامه زمان‌بندی ناوگان حمل‌ونقل نظامی با توجه به مقادیر تابع تناسب به ترتیب شامل تابع امکان‌سنجی، قابلیت استقرار ناوگان، زمان و هزینه است که بر اساس آن خروجی‌های تابع مرتب‌سازی شامل راه‌حل‌ها بر اساس امتیاز امکان‌سنجی استقرار است. درصورتی‌که نتیجه امکان‌سنجی قابلیت استقرار به مقادیر یکسان برای راهکردها منجر شود، راه‌حل‌ها بر اساس قابلیت استقرار مکانی رتبه‌بندی می‌شوند و درنتیجه راه‌حل‌ها با بالاترین امتیاز قابلیت استقرار ناوگان نظامی در تابع هدف از اولویت بالاتری برخوردار می‌شوند. در بیان مقادیر مرتبط با ارزش‌های امکان‌سنجی و قابلیت استقرار برای دو راهکار، اولویت با راه‌حلی است که قابلیت استقرار ناوگان حمل‌ونقل در مأموریت‌های نظامی را در زمان کمتری میسر سازد که در رتبه بالاتری نسبت به سایر راهکردها قرار می‌گیرد. درنهایت برای راه‌حل‌هایی که مقادیر یکسانی ازنظر امکان‌سنجی و قابلیت استقرار ارائه می‌دهند، رتبه‌بندی بر اساس مجموع کل زمان و هزینه صورت می‌گیرد. به‌عنوان‌مثال راه‌حلی که مقدار آن مخالف صفر بوده و دارای امکان‌پذیری اجرا است و همچنین بیشترین امتیاز قابلیت استقرار ناوگان نظامی در مأموریت‌ها داشته باشد؛ با لحاظ حداقل هزینه و زمان دارای رتبه بالاتری خواهد بود. محاسبه مقدار تابع برازش با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و اجتناب از لحاظ نمودن اهداف بیشتر در رویکرد مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، زمینه‌ای را به وجود می‌آورد تا از افزایش زمان محاسباتی جلوگیری شود. تابع هدف با استفاده از مدل شبیه‌سازی به جستجوهای هدایت‌شده برای یافتن بهترین برنامه زمان‌بندی ناوگان در تمامی نسل‌ها منتج می‌شود و این در حالی است که تعدادشان از حداکثر ممکن تجاوز نمی‌کند ($Geneation \leq Max_G$). در نسل بعد تکرار با استفاده از برخی عملگرهای تکاملی نظیر ترکیب، جهش و انتخاب به ایجاد اصلاح در نسل فعلی و ارزیابی تابع تناسب در جمعیت جدید راه‌حل‌ها و نیز ارزیابی مجدد و مرتب‌سازی با استفاده از تکنیک‌های ریاضی از طریق عملگرهای زیرمجموعه منجر می‌گردد.

عملگرهای تکاملی در مدل پیشنهادی

انتخاب، تولیدمثل، ترکیب و جهش همانند اپراتورهای مرسوم سایر الگوریتم‌های تکاملی، عملگرهای اصلی مدل پیشنهادی در تحقیق حاضر به شمار می‌روند که امکان توسعه فضای جستجو را فراهم می‌نمایند. در رویکرد پیشنهادی تحقیق حاضر اصلاح راه‌حل‌ها در پایین‌ترین سطح نمایش میسر می‌گردد.

کارکرد عملگر انتخاب در رویکرد پیشنهادی

با جستجوی فضای جواب بزرگ‌تر توسط یک الگوریتم ژنتیک، امکان انتخاب عضوهای با کیفیت بالا به‌عنوان راه‌حل‌های منتخب یک جمعیت که دارای عمر طولانی‌تر از ضعیف‌ترها بوده فراهم می‌شود. ارزش هر یک از اعضاء، با استفاده از توابع تناسب از پیش اندازه‌گیری شده برای تعیین کیفیت راه‌حل‌ها استفاده می‌شود و راه‌حل‌هایی که از کیفیت لازم برخوردار نیستند، فیلتر می‌شوند. برای اصلاح و یا بازتولید راه‌حل‌ها از عملگرهای ترکیب و جهش استفاده می‌شود (علی[1]، ۲۰۲۱). در رویکرد پیشنهادی تحقیق حاضر از عملگر انتخاب «چرخ رولت» که پیش‌تر توسط بیکر (۲۰۰۱) ارائه‌شده، استفاده می‌شود. این شیوه به انتخاب تابع تناسب نیز موسوم است که بر آن اساس راه‌حل‌ها با توجه به ارزشی انتخاب می‌شوند که درنهایت راه‌حل‌های استوار در مقایسه با راه‌حل‌های ضعیف، شانس بیشتری برای بقا داشته باشند. این فرایند تا زمانی تکرار می‌شود که تمامی جمعیت وارد چرخه تکرار شوند و بهترین راه‌حل از طریق عملگر تولیدمثل به دست آید.

کارکرد عملگر ترکیب دونقطه‌ای در رویکرد پیشنهادی

در یک فرایند تکاملی الگوریتم ژنتیک عملگر ترکیب، مهم‌ترین ابزار تغییر و تولیدمثل در نسل جدید محسوب می‌شود. ترکیب اطلاعات ژنتیکی دونقطه‌ای که پیش‌تر به‌عنوان گره‌های والد انتخاب‌شده بودند در طول ادوار گذشته برای بهبود خروجی به‌عنوان عملگر ترکیب پیشنهادشده‌اند. هر عملگر دارای مزایا و معایبی است که توانایی آن را در توسعه‌ی فضای جستجوی اکتشافی یا بهره‌برداری از بهترین راه‌حل به دست می‌دهد (علی و همکاران، ۲۰۲۱). در رویکرد پیشنهادی یک عملگر ترکیب برای هر دونقطه دلخواه از فضای موجه اعمال می‌شود. با توجه به وجود یک احتمال ترکیبی از قبل تعیین‌شده (CR) برای اصلاح دو راه‌حل منتخب

1. Ali

به‌عنوان والد، به‌منظور تولید دو راه‌حل جدید به‌عنوان فرزند در سطح بالا برای بازنمایی در نظر گرفته می‌شود. سپس میانه دونقطه (o_1 و o_2) از سطح با توجه به تقدم زمانی انتخاب می‌شوند به‌طوری‌که شرط $o_1 \in [1, {}^{T}/_{2}]$ و $o_2 \in [({}^{T}/_{2}) + 1, T]$ برقرار باشد. قسمت‌های بین o1 و o_2 که شامل پایین‌ترین سطح زمانی هر تاریخ معین برای هر دو والد (راهکار) است به‌منظور ایجاد دو فرزند جدید مورد تبادل قرار می‌گیرد.

کارکرد عملگر جهش در رویکرد پیشنهادی

عملگر جهش یک اپراتور کلیدی برای افزایش تنوع جمعیتی در الگوریتم‌های اکتشافی محسوب می‌شود که امکان اکتشاف راه‌حل‌های رضایت‌بخش در فضای جستجو از طریق الگوریتم را فراهم می‌سازد، به‌طوری‌که چند رشته بیت تصادفی می‌توانند یک راه‌حل خاص را برای حفظ، بقا و تنوع ژنتیکی اصلاح نماید (علی و همکاران، ۲۰۲۱). ازنظر فنی، تنوع ژنتیکی منشأ ایجاد اصلاح در جمعیت راه‌حل‌ها از یک نسل به نسل دیگر است که از محدود شدن به یک جواب بهینه محلی جلوگیری می‌نماید. به‌طورمعمول در این روش پس‌ازآنکه عملگر تناسب به تولیدمثل (ایجاد راه‌حل‌های فرزند) پرداخت، عملگر جهش بر روی متغیرهای احتمالی با نرخ جهش MR اعمال می‌شود. در رویکرد پیشنهادی تحقیق حاضر از عملگر جهش برای تغییر ژن در سطوح پایین مجموعه جواب در زمان مشخص t با مقدار موجودی ناوگان مشخص q در استخر منابع تیپ یا هنگ نظامی (P یا SP) استفاده می‌شود. در سطوح میانی برای هر راه‌حل کاندید یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می‌گردد. همچنین در رویکرد پیشنهادی، از عملگر جهش برای تغییر یک ژن ($rand \in [0-1)$ استفاده می‌شود در این صورت اگر $rand \leq MR$ باشد؛ یک ژن یا سلول از سطح پایین در زمان t از طریق تخصیص یک مقدار تصادفی از راهکرد دیگر اصلاح می‌شود. بنابراین با استفاده از عملگرهای تکاملی رویکرد مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، تکرارها تا هنگامی‌که اندازه نسل فعلی کمتر از حداکثر مقدار مجاز نسل‌ها ($Geneation > Max_Geneations$) برای دستیابی به بهترین زمان ارتقا، کسب فن‌آوری‌های جدید و یا بازنشستگی ناوگان فرسوده به‌منظور حداکثر سازی مقدار قابلیت استقرار مجموع ناوگان نظامی در تیپ‌های مختلف با حداقل زمان و هزینه به‌عنوان خروجی‌های بهینه مدل باشد، ادامه می‌یابد. این امر در جدول شماره ۵ ترکیب از طریق مقادیر پارامتریک و طرح تاگوچی توضیح داده‌شده است.

جدول ۵. ترکیب مقادیر پارامتریک و طرح تاگوچی

پارامترها/ مؤلفه‌ها	سطوح				خلاصه طرح		
	۱	۲	۳	۴	آرایه تاگوچی	فاکتورها	اجراها
PS	۹	۶۰	۱۱۰	۱۷۰			
CR	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	L18(5*4)	۴	۱۸
F	۰/۱	۰/۴	۰/۶	۰/۸			

جمع‌بندی

در این مطالعه یک رهیافت مبتنی بر بهینه‌سازی استوار با استفاده از ابزار شبیه‌سازی برای حل مسئله ترکیبی ناوگان حمل‌ونقل نظامی پیشنهاد گردید. در ادامه مسئله ناوگان حمل‌ونقل نظامی با استفاده از یک مدل ریاضی پیشنهادی فرموله شد. بهترین برنامه زمان‌بندی ناوگان از چندین هدف مختلف نظیر حداکثر سازی وزن قابلیت استقرار، حداقل سازی زمان و هزینه برای استقرار کامل ناوگان نظامی، و غیره ... تشکیل‌شده است. برای ارائه دقیق‌ترین پیشنهاد به تصمیم‌گیرندگان و فرماندهان عملیات جنگی لازم است تمامی اهداف به‌صورت توأمان لحاظ گردد. رویکرد پیشنهادی در این مطالعه بسیاری از ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر در بازنمایی یک راه‌حل بهینه در برنامه زمان‌بندی بهبود ناوگان حمل‌ونقل از طریق یک برنامه آرمانی لحاظ می‌شود به‌طوری‌که از طریق یک روش اکتشافی برای اصلاح راه‌حل‌های جمعیت اولیه با استفاده از عملگرهای ترکیب و جهش، نسل بهبودیافته برای افزایش راندمان خروجی مدل میسر گردد. روش پیشنهادی برای بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، یک رویکرد توسعه‌یافته است که برای تخمین راهکردها مؤثر استفاده می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که برنامه‌های بهسازی و به‌روزآوری ناوگان با لحاظ محدودیت‌های بودجه، می‌تواند قابلیت استقرار ناوگان حمل‌ونقل نظامی را با صرف کمترین زمان و نیز استفاده مطلوب از بودجه‌ی موجود حداکثر نماید. علاوه بر این مدل ارائه‌شده در این مطالعه می‌تواند جایگزین مدل‌های شبیه‌سازی پرهزینه از نظر زمان محاسبات برای ارزیابی مقادیر برازش تابع تناسب در مجموعه راه‌حل‌های حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی شود. این رویکرد همچنین حجم استفاده از ظرفیت‌های پردازشی CPU را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. در مقایسه با مدل‌های شبیه‌سازی مرسوم، دقت مدل حاضر همچنان نیازمند بهبود و توسعه است. دیگر

نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) بدترین عملکرد را برای ارتقای ناوگان حمل‌ونقل نظامی به همراه داشته است اما در مقابل با بهبود مدیریت زمان CPU می‌تواند کارایی الگوریتم رایانه‌ای را تا حد قابل‌ملاحظه‌ای افزایش دهد. همچنین نتیجه دیگر این مطالعه نشان می‌دهد ترکیب هیبریدی تابع تناسب و الگوریتم تفاضل تکاملی می‌تواند به‌صورت قابل‌توجهی زمان محاسبات را از طریق رویکرد ترکیبی بهینه‌سازی استوار و شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی ناوگان حمل‌ونقل نظامی کاهش دهد.

برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود محققان مشکلاتی نظیر پیچیده‌تر شدن فرایند بهینه‌سازی در مقیاس‌های بزرگ‌تر و محیط‌های پویا را برای همانندسازی مسائل دنیای واقعی صنعت نظامی و دفاعی مدنظر قرار دهند. توسعه روابط ریاضی برای دستیابی به اهداف مهم نظامی در به حداکثر رساندن تعاملات برای افزایش کارایی بین نیروهای فرماندهی عملیات و ستاد به‌منظور ارتقای ناوگان مستهلک و فرسوده به‌ویژه در حوزه سیستم‌های رادیوئی ازجمله موارد دیگری است که می‌تواند توسط سایر محققان علاقه‌مند دنبال شود.

فهرست منابع

اصغری سراسکانرود، صیاد. موسوی، میر نجـف. مهـدوی، سـجاد. (۱۳۹۸). تحلیـل عوامـل ژئومورفولـوژیکی در مکان‌یابی مراکز نظامی –دفاعی با استفاده از ANP و GIS منطقه موردمطالعـه: پادگـان‌هـای شهرسـتان‌هـای مرزی استان آذربایجان غربی. فصلنامه آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۹، شماره ۳۳، صص۷۷ –۹۶.

الماسیان، حامد. شکیبا منش، علیرضا. (۱۳۹۳): چیدمان سایت‌های موشکی ساحلی و شـناوری جهـت تخصـیص سلاح علیه اهداف سطحی دریایی، هشتمین کنفرانس ملی فرماندهی و کنترل ایران (c4i)

باشکوه آجیرلو، محمد. غفارلو، اکبر. (۱۴۰۱): بررسی قابلیت‌های مدیریت لجستیک نیروهای مسـلح ج.ا.ایـران در کاهش آسیب‌ها در بحران‌های طبیعی. فصلنامه راهبرد دفاعی. دوره ۲۰، شماره ۷۷، صص ۷۳–۹۸.

Abbass, H., Baker, S., Bender, A., & Sarker, R. (2011). Identifying the fleet mix in a military setting. In The second international intelligent logistics systems conference (pp 22–23).

Ali, I. (2021). Evolutionary algorithms for resource constrained project scheduling: Tech. rep., (p. 63). Univ. New South Wales, Canberra, NSW, Australia.

Ausseil, R., Gedik, R., Bednar, A., & Cowan, M. (2020). Identifying sufficient deception in military logistics. Expert Systems with Applications, 141, Article 112974.

Baker, J. E. (2001). Reducing bias and inefficiency in the selection algorithm. In Proceedings of the second international conference on genetic algorithms, vol. 206 (pp. 14–21).

Baykasoğlu, A., Subulan, K., Taşan, A. S., & Dudaklı, N. (2019). A review of fleet planning problems in single and multimodal transportation systems. Transportmetrica A: Transport Science, 15(2), 631–697.

Bracco, S., Bianco, G., Siri, S., Barbagelata, C., Casati, C., & Siri, E. (2021). Simulation models for the evaluation of energy consumptions of electric buses in different urban traffic scenarios. In 2021 sixteenth international conference on ecological vehicles and renewable energies (pp. 1–6).

Gill, A. W., Egudo, R. R., Dortmans, P. J., & Grieger, D. (2007). Using agent based distillations in support of the Army capability development process-a case study: Technical report, Defence Science and Technology Organisation Salisbury (Australia) Systems Sciences Lab.

Hocaoğlu, M. F. (2021). Agent-based target evaluation and fire doctrine: An aspectoriented programming view. The Journal of Defense Modeling and Simulation, Article 15485129211040369.

Islam, M. A., Gajpal, Y., & Elmekkawy, T. Y. (2021). Mixed fleet based green clustered logistics problem under carbon emission cap. Sustainable Cities and Society, Article 103074.

Junor, L. J. (2022). Managing military readiness, no. 23. Government Printing Office.

McLucas, A., Lyell, D., & Rose, B. (2011). Defence capability management: Introduction into service of multi-role helicopters. In Proceedings of the 24th international conference of the system dynamics society (pp. 92–110).

Pereira, D. P., Gomes, I. L., Melicio, R., & Mendes, V. M. (2021). Planning of aircraft fleet maintenance teams. Aerospace, 8(5), 140.

Petitprez, E., Georges, F., Raballand, N., & Bertrand, S. (2021). Deployment optimization of a fleet of drones for routine inspection of networks of linear infrastructures. In 2021 international conference on unmanned aircraft systems (pp. 303–310).

Seshadri, A. (2011). Multi-objective optimization using evolutionary algorithms (MOEA). (p. 38).

Shah, A. I. J., Yusoff, N. M., & Noor, N. M. (2022). Optimization of Sukhoi Su-30MKM maintenance planning for maximum operational readiness. In TENCON 2017 – 2017 IEEE region 10 conference (pp. 2500–2503).

Turan, H. H., Elsawah, S., Jalalvand, F., & Ryan, M. J. (2022). Solving strategic military workforce planning problems with simulation-optimization.

Wang, Y., Limmer, S., Van Nguyen, D., Olhofer, M., Bäck, T., & Emmerich, M. (2021). Optimizing the maintenance schedule for a vehicle fleet: A simulation-based case study. Engineering Optimization, 1–14.

Zhang, H., Ge, H., Yang, J., & Tong, Y. (2021). Review of vehicle routing problems: Models, classification and solving algorithms. Archives of Computational Methods in Engineering, 1–27.