



## Robust optimization of special trains for the transportation of armed forces facilities in the geography of the rail network

Daud Jafari <sup>1</sup> | Mehran Khalaj <sup>2✉</sup> | Pejman Salehi <sup>3</sup>

1. Associate Professor of the Educational Department of Industrial Engineering; Islamic Azad University, Parand branch, Tehran, Iran. E-mail: [djafari5071@yahoo.com](mailto:djafari5071@yahoo.com)

2. Associate Professor of the Educational Department of Industrial Engineering; Islamic Azad University, Parand branch, Tehran, Iran. E-mail: [mehran5\\_k@hotmail.com](mailto:mehran5_k@hotmail.com)

3. PhD in industrial engineering; Islamic Azad University, Parand branch, Tehran, Iran. E-mail: [pejmansalehi.metro@gmail.com](mailto:pejmansalehi.metro@gmail.com)

### Article Info

### Research article

#### Article type:

#### Article history:

Received 18 March  
2023

Received in revised  
form 10 June 2023

Accepted 16 June  
2023

Published online 25  
June 2023

#### Keywords:

*Military equipment  
and weapons, safety  
and security,  
geography of the  
railway network,  
military wagons,*

**Objective:** The present research tries to present an optimal method through the review of selected technical documents in the field of armed forces support as well as the review of mathematical relationships and related standards, which should be followed while ensuring the security and safety of military equipment and weapons that can be carried by train along the scattered geography of the rail network.

**Methodology:** To provide the possibility of saving costs and improving the level of security of military equipment. The current research, using related mathematical relationships common in static science, aims to present an optimal model for the strength and improvement of the security of weapons and military equipment loaded in military wagons based on comparing external forces in a bare frame for the wagons of a military train.

**Findings:** To do, from the methodological point of view, this research presents a stable and implementable algorithm using static equations and conventional application software through computational methods. Using the findings of this research by the military transport team can lead to increasing the life of the belt restraints of the equipment in the military wagon, in addition to improving the safety of the transport of military equipment. One of the important findings of this research is that it is possible to save financial resources allocated for transporting military equipment to **Originality:** (1) The results of this research are new and do not simply follow anything that has gone before and support the rail space for the transportation of military equipment. (2) This technique is fundamentally new and produces interesting results that can be the basis of researchers' study in future studies

Cite this article: salehi, P., khalaj, M., & jafari, D. (2023). Robust optimization of special trains for the transportation of armed forces facilities in the geography of the rail network. *Iranian Journal of Wargaming*, 6(12), 31-42.





## بهینه‌سازی استوار قطارهای ویژه ی حمل و نقل تسهیلات نیروهای مسلح در جغرافیای شبکه ریلی

داود جعفری<sup>۱</sup> | مهران خلج<sup>۲</sup> | پژمان صالحی<sup>۳</sup>

۱. دانشیار گروه آموزشی مهندسی صنایع؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرنده، تهران، ایران، رایانامه: [djafari5071@yahoo.com](mailto:djafari5071@yahoo.com)
۲. دانشیار گروه آموزشی مهندسی صنایع؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرنده، تهران، ایران. رایانامه: [mehran5\\_k@hotmail.com](mailto:mehran5_k@hotmail.com)
۳. دکتری مهندسی صنایع؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرنده، تهران، ایران، رایانامه: [pejmansalehi.metro@gmail.com](mailto:pejmansalehi.metro@gmail.com)

### اطلاعات مقاله چکیده

هدف: تحقیق حاضر از طریق بررسی اسناد فنی منتخب در حوزه پشتیبانی نیروهای مسلح و نیز بررسی روابط ریاضی و استانداردهای مرتبط می‌کوشد به ارائه یک شیوه ی بهینه بردازد که رعایت آن ضمن تأمین امنیت و ایمنی تجهیزات و تسلیحات نظامی قابل حمل توسط قطار در طول جغرافیای پراکنده شبکه ریلی، امکان صرفه‌جویی در هزینه‌ها و ارتقای سطح امنیت ادوات نظامی را فراهم نماید.	نوع مقاله:
روش: پژوهش حاضر با استفاده از روابط ریاضی مرتبط و معمول در علم استاتیک بر آن است که بر اساس مقایسه نیروهای خارجی در یک چارچوب لخت برای واگن‌های یک قطار نظامی، مدلی بهینه را برای استحکام و ارتقای امنیت تسلیحات و تجهیزات نظامی بارگیری شده در واگن‌های نظامی ارائه نماید. از منظر روش شناسی این پژوهش از طریق شیوه‌های محاسباتی به ارائه یک الگوریتم استوار و قابل پیاده‌سازی با استفاده از معادلات استاتیک و نرم‌افزارهای کاربردی مرسوم می‌پردازد.	مقاله پژوهشی
تجزیه و تحلیل: در پژوهش حاضر به منظور تجزیه و تحلیل پس از عرضه یابی وضع موجود به ارائه مدل بهینه پرداخته شد. در ادامه پس از مشخص شدن نوع مسأله بهینه‌سازی کوشیده شد تا بسته به دامنه و نیازهای مسأله، از میان ابزارهای بهینه‌سازی موجود برای بهینه‌سازی تابع هدف و پیدا کردن جواب‌های بهینه (یا تقریبی از آن‌ها)، ابزاری که بیشترین تطابق را با مسأله ارتقای امنیت واگن‌های نظامی حمل تجهیزات جنگی دارد، انتخاب و در دامنه مورد نظر استفاده شود.	تاریخ دریافت:
یافته‌ها: استفاده از یافته‌های این پژوهش توسط تیم حمل‌ونقل نظامی می‌تواند علاوه بر ارتقای ایمنی حمل‌ونقل تجهیزات نظامی به افزایش طول عمر مهارهای تسمه‌ای تجهیزات ساکن در واگن نظامی منجر شود. از یافته های مهم این پژوهش آن است که امکان صرفه جویی در منابع مالی تخصیص یافته برای عملیات ترابری ادوات نظامی به مناطق عملیاتی در مناطق جنگی است.	تاریخ بازنگری:
	تاریخ پذیرش:
	تاریخ انتشار:
	کلیدواژه‌ها:
	تجهیزات و تسلیحات جنگی، ایمنی و امنیت، جغرافیای شبکه ریلی، واگن‌های نظامی

استناد: نصال‌حی، پژمان، خلج، مهران و جعفری، داود. (۱۴۰۲). بهینه‌سازی استوار قطارهای ویژه ی حمل و نقل تسهیلات نیروهای مسلح در جغرافیای شبکه ریلی. دوفصلنامه بازی جنگ. ۶(۱۲)، ۳۱-۴۲. doi: 10.22034/ijwg.2023.403939.1060

ناشر: دانشگاه فرماندهی و ستاد ارتش جمهوری اسلامی ایران



## مقدمه

یکی از پارامترهای با اهمیت در تدوین مدل های تصمیم گیری بهینه در عملیات نظامی، سامانه های حمل و نقل دفاعی است که بسته به زمان سیر و حرکت، شیوه ناوبری، ساز و کار عرضه - تقاضا، نوع وسیله نقلیه و شیوه هدایت می تواند عملکرد کلی مأموریت های جنگی را در فضای حالت زمان - مکان منطقه نظامی متأثر سازد (نیک سیرت، ۱۳۹۸). حمل و نقل ادوات و تسلیحات نیروهای مسلح از طریق واگن های حمل بار در طول جغرافیای متنوع و پراکنده شبکه ریلی، متأثر از نیروهای ساکن در چارچوب های لخت و دینامیکی است. این نیروها در طول زمان حرکت قطار در جغرافیای مناطق عملیاتی اینرسی خاصی را تولید می نمایند که می تواند در جهت های طولی (محور X ها) و عرضی (محور Y ها) بر جسم تثبیت شده در واگن، نیروهای متقابل با بزرگی های مختلفی را وارد نماید که در نتیجه احتمال جابجایی ناخواسته تجهیز نظامی را افزایش داده و در نتیجه ضریب آسیب پذیری تجهیز مزبور را در برابر تکانش های مستمر سبب می شود (پراها، ۲۰۱۳). از این رو در صورت بی توجهی به فرایند ایمن سازی واگن های نظامی، لغزش سطحی و حرکت های نامتوازن تجهیزات جنگی، می تواند به تبعاتی نظیر تأخیر در انتقال تجهیزات نظامی به مناطق عملیاتی در اثر توقف های اضطراری قطار، افزایش هزینه های نیروهای مسلح برای رفع خرابی های مرتبط با حمل غلط تسلیحات، خسارت های مالی، اختلال در عملیات سیر و حرکت قطارها در طول جغرافیای شبکه ریلی و در نهایت به خطر افتادن سلامت افراد و نیروها شود (همان منبع، ۲۰۱۳). از سوی دیگر رعایت استانداردهای ایمنی برای حمل و نقل تسلیحات نظامی در جغرافیای شبکه ریلی می تواند فرایند جابجایی دقیق و ایمن تجهیزات راهبردی نیروهای مسلح را از طریق قطارهای نظامی امکان پذیر نماید. ارتش دارای کارخانجات عدیده ای است که تجهیزات و ادوات مورد نیاز اجرای یک عملیات دفاعی را تأمین می نماید، از این رو حمل و نقل به موقع و تحویل آن به مناطق جنگی از ضروریات توفیق در پیاده سازی مأموریت های نظامی است (مرادیان، ۱۳۸۷). از این رو تحقیق حاضر با هدف ارتقای سطح امنیت و ایمنی سیستم های حمل بار در واگن های ترابری ادوات نظامی در جغرافیای مسیر ریلی؛ می کوشد به این پرسش مهم پاسخ دهد که کدام شیوه حمل و نقل تسلیحات نظامی از طریق واگن

های نظامی ایمنی و سلامت تجهیزات جنگی را تا حد ممکن افزایش داده و ارسال آن به مقاصد عملیاتی را بدون آسیب امکان پذیر می سازد؟  
از این رو محققان با بررسی اسناد فنی مرتبط با واگن های نظامی در نیروی زمینی جمهوری چک می کوشند یافته های عملیاتی و یافته های مرتبط را به صورت تطبیقی برای نیروهای مسلح ایران قابل بهره گیری نمایند.

## مبانی نظری و پیشینه های پژوهش

### مبانی نظری

حمل و نقل ادوات و تسلیحات نظامی در جغرافیای شبکه ریلی، تابع اصول و استانداردهایی است که در صورت عدم اجرای دقیق و کامل می تواند فرایند انتقال محموله های نظامی را به مناطق عملیاتی با دشواری و اشکال روبرو سازد از این رو در بخش های آتی فرا رو کوشیده می شود اصول، مفاهیم و چارچوب های مرتبط بر اساس داده های به دست آمده از بانک های اطلاعاتی و گزارش های فنی قابل انتشار در اسناد غیرطبقه بندی شده سند عملیات واحدهای حمل و نقل ریلی ارتش (اف ام ۲۰-۵۵) و سند جامع حمل و نقل اتحادیه بین المللی راه آهن ها (UIC) برای حمل بارهای خطرناک نظامی و نیز سایر داده های نیروی زمینی جمهوری چک اجمالاً تبیین گردد. استانداردها و مقررات اساسی حاکم بر فرایند ایمن سازی حمل تسلیحات جنگی از طریق قطارهای نظامی در جغرافیای شبکه ریلی

طبق استانداردهای فنی عملیات سیر و حرکت واگن های نظامی در جغرافیای شبکه ریلی، یکی از رویکردهای مرسوم در ایمن سازی واگن های حمل ادوات و کالاهای نظامی به کارگیری قفل های متصل و ثابت برای مستحکم نمودن ادوات در واگن هاست که عمدتاً در کانتینرهای خاص حمل تجهیزات نظامی اعمال می شود. در این حالت سازه های صلب از طریق ابزارها و مهارهای مکانیکی تثبیت کننده، بر روی واگن های حمل تسلیحات نیروی زمینی محکم می شوند. این مهم از طریق تجهیزات تکانه ای یک روش ترکیبی را برای حمل ایمن تجهیزات فراهم می آورد که در حالت کلی شامل دو روش است: نخست شیوه اصطکاکی و دوم: تثبیت ساز از طریق روش ضربه ای مستقیم و مکانیکی برای محکم کردن تجهیزات در برابر تکانه ها (ویرایش دوم دستورالعمل استانک برای جنبه های فنی حمل و نقل تسلیحات نظامی در راه آهن ها، ۲۰۲۱). روش اصطکاکی

از نیروی اصطکاک میان بارهای تسلیحاتی و سطح عرشه واگن های نظامی استفاده می کند تا تجهیزات نظامی در برابر لغزیدن های احتمالی در طول عملیات سیر و حرکت قطار حفاظت شوند. در روش تثبیت ساز ضربه ای به طور مستقیم از نیروهای نگه دارنده مکانیکی استفاده نمی شود بلکه از چارچوب های لختی بهره گرفته می شود که بتواند به طور ایمن توزیع بار کششی را در سطح واگن امکان پذیر نموده و از طریق فشارهای الاستیسیته مجموعه بارها را به صورت الاستیک به واگن می تواند محکم نماید (راهنمای حمل و نقل ایمن بارهای نظامی در نیروهای مسلح، ۲۰۲۲).

انواع روش های مهار مستقیم تجهیزات نظامی در واگن های جنگی عبارت اند از مهارهای طولی، مهارهای عرضی، مهار مورب و مهارهای ترکیبی که برای جلوگیری از لغزیدن و واژگونی، مهارهای فنری برای ایجاد بافر در روی لبه واگن (استاندارد EN 12195-1، ۲۰۲۱). بر اساس مقررات وضع شده توسط سازمان پیمان آتلانتیک شمالی؛ تجهیزات تسلیحات نظامی، در واگن های حمل بار برای ایمنی فرایند حمل، با توجه به مفاد اجرایی دستورالعمل AMov-P-4 و نیز مفاد بندهای مرتبط با بارگیری و ترابری کالاها و تجهیزات حساس و خطرناک، مصوب اتحادیه بین المللی راه آهن ها (UIC)، روش اجرایی CD CARGO و نیز سند عملیات واحدهای حمل و نقل ریلی ارتش (اف ام ۲۰-۵۵) جابجا می شود. لازم به ذکر است که بخش A از دستورالعمل اجرایی AMov-P-4 بخشی مهم و لازم از توافقنامه های استاندارد «استانک ۲۴۶۸» (ویرایش دوم) است که توسط نیروی زمینی سازمان پیمان آتلانتیک شمالی اجرا می شود. سند مزبور که به تصویب ۳۱ کشور عضو رسیده و در حمل و نقل تجهیزات جنگی توسط قطار و برای سرعت های بالای ۹۰ کیلومتر بر ساعت لازم الاجراء می باشد، نسخه اصلی آن نیز توسط وزارت دفاع جمهوری چک رعایت و پیاده سازی می شود. در این سند به منظور ارتقای سطح ایمنی و امنیت ترابری تجهیزات و تسلیحات نظامی و مهار ایمن آن ها در جهت های طولی، عرضی و مورب برای موارد به شرح ادامه مجاز شمرده می شود: مهارهای فولادی، نگه دارنده های چوبی، بافرهای برزنتی، گیره های سیمی، نگه دارنده های تسمه ای، نگه دارنده های دوار.

طبق بند سوم از دستورالعمل UIC برای بارگیری کالاهای حساس نظامی و سند عملیات واحدهای حمل و نقل ریلی ارتش (اف ام ۲۰-۵۵) و نیز روش اجرایی AMov-P-4 مقادیر تفرانس استاندارد برای حدود ظرفیت (کران پایین و بالا) برای رسته های

جداگانه نظامی در عملیات حمل تسلیحات و تجهیزات نظامی (واگن های مجزای بارگیری تسلیحات، قطارهای نظامی و یونیت های پیوسته واگن حامل محموله های جنگی) لازم است از ردیف های وزن دار جدول پردازشی برای ردیابی وسایل نقلیه در جغرافیای ریلی تبعیت می نماید (رجزک ، ۲۰۲۱). از مجموع ۱۹۷ عضو UIC، تعداد ۸۲ عضو فعال در پنج قاره دستورالعمل ها و روش های اجرایی برای بارگیری تجهیزات و ادوات نظامی را برای سرعت های بالای ۱۲۰ کیلومتر پیاده سازی می نمایند. بخش ۱-۷ از دستورالعمل حمل کالاهای نظامی این اتحادیه به تبیین موارد ایمنی مرتبط با وسایل نقلیه ریلی حامل تجهیزات نظامی و مهارهای مرتبط با آن و نیز شیوه های ردیابی آنها می پردازد. بخش ۳-۷ از این آیین نامه به استفاده از مهارهای لاستیکی محکم شده توسط گیره های چرخ دار در واگن ها اشاره نموده است. مستندات الزامی برای واگن های مجزای نظامی تا حدودی متفاوت است. این موضوع شامل حدود و ظرفیت حمل بار و آستانه تحمل برای ایمن سازی تجهیزات در جهت های طولی و عرضی است. در این صورت به منظور حفظ امنیت بارهای خطرناک و حساس، مقادیر تعبیه شده تا حدود زیادی سخت گیرانه به نظر می رسد. در روش های ارتقای ایمنی تریلرهای نظامی نیز تفاوت های مشهودی قابل توجه است (وکوفسکی و همکاران، ۲۰۱۹). به منظور افزایش ظرفیت واگن های حمل تجهیزات نیروی زمینی، بسته به طراحی واگن و نوع ادوات نظامی، روش های ایمن سازی متفاوت به نظر می رسد. در این بین انتخاب یک چارچوب ایمن به عوامل متعددی نظیر پارامترهای ابعادی تجهیزات، وزن و جرم آنها، جغرافیای بارگیری، قابلیت رعایت رویه ها و مقررات ایمن سازی و رسته های عملیاتی بستگی دارد (همان منبع، ۲۰۱۹).

### فرآیند ایمن سازی حمل و نقل تجهیزات نظامی در جغرافیای ریلی با استفاده از مهارهای ترکیبی

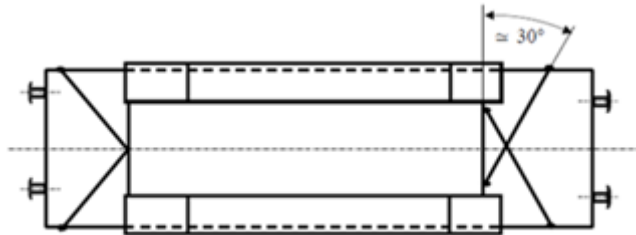
بر اساس دستورالعمل اجرایی AMOV-P-4 ابزارهای مهار تجهیزات جنگی در واگن های نظامی می توانند بسته به نوع تسلیحات به صورت یک بار مصرف و یا دارای قابلیت استفاده مجدد باشند که به سیم های نگه دارنده، تسمه های برزنتی و پلی استر طبقه بندی می شوند. ابزارهای یک بار مصرف عمدتاً در ایمنی تجهیزات حساس نظامی استفاده نمی شوند. مهارهای بادوام و دارای قابلیت استفاده مجدد در انواع رنگ ها، طول و عرض قابل تنظیم

و بر اساس میزان استحکام کشتی، تولید و در واگن‌های نظامی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از سوی دیگر گاه ترکیبی از مهارها، مقاصد ایمنی را تأمین می‌نماید که به نوع ترمز قطار از قبیل اصطکاکی، دینامیکی و غیره... و یا امکان استفاده از قدرت‌های ترمزی مختلف بر اساس مختصات جغرافیایی مسیر حرکت وسایل نقلیه ریلی نظیر شیب و فراز خط، قوس و غیره ... که در آن احتمال لغزیدن تجهیزات نظامی و آسیب دیدگی آن‌ها به دلیل نوع طراحی، توزیع و تقسیم تسلیحات در واگن‌های نظامی؛ وجود دارد، به منظور تثبیت و تحکیم تجهیزات از بست و تسمه‌های ایمن و مرسوم راه‌آهن‌ها بر اساس استانداردهای مهم اروپایی نظیر استاندارد فنی وزارت دفاع چک بهره گرفته می‌شود (استاندارد ایمنی حمل کالاهای نظامی در وزارت دفاع جمهوری چک برای ترابری کالاهای نظامی در شبکه راه‌آهن<sup>۱</sup>، ۲۰۱۹). در این استانداردها به منظور تضمین امنیت کارکنان و سایر افراد مستقر در حریم ریلی و حفاظت از تسلیحات لازم است موارد زیر مدنظر قرار گیرد:

- هر مهار برحسب نوع لازم است دارای برچسب اطلاعات از قبیل توان کشتی، قدرت و غیره باشد.
- نیروی کشش استاندارد مهار
- نصب هشدارهای ایمنی بر روی مهار، نوع مواد بکار رفته در تولید مهار، کد ردگیری تولیدکننده، شماره و سال تولید، نوع استاندارد رعایت شده؛ که به‌طور خوانا بر روی بدنه نصب شده باشد در غیر این صورت استفاده از برای حمله تسلیحات نظامی ممنوع است.
- تسمه‌های نوع الیاف مصنوعی از طریق تکیه‌گاه‌های تعبیه شده به نقاط اتصال مهار متصل می‌شوند.
- در عرشه واگن‌های راه‌آهن، نقاط اتصال تجهیزات نظامی بر اساس استانداردهای مدون به‌درستی انتخاب شوند تا از آسیب رسیدن و نقص عملکرد مهار ممانعت شود.

<sup>1</sup> - Nakládací směrnice

➤ در یک واگن باری حمل تسلیحات که فقط با مهار مستحکم شده است لازم است نگه‌دارنده به‌گونه‌ای باشد که هم در جهت طول و هم در جهت عرضی تجهیزات را تثبیت نماید. در این حالت لازم است مهار دارای طول مناسب بوده و بر اساس استاندارد به‌صورت مورب و در زاویه ۳۰ درجه بین صفحات جلو و عقب وسیله نقلیه ریلی و تسمه اتصال مستحکم شود.



نمودار (۱) نمودار امنیت بهینه در نیروی زمینی جمهوری چک برای واگن‌های حمل تجهیزات نظامی  
(منبع: AMov-P-4)

بر اساس پیوست A از دستورالعمل اجرایی AMov-P-4 و نیز بخش ۲-۷ از راهنمای بارگیری کالاها و تجهیزات نظامی و حساس، در حمل تجهیزات و ادوات نیروی زمینی نظیر تانک، ضد هوایی و غیره ... لازم است خطوط مهارها به صورت مورب و طبق الگوی "V" برای اتصال تجهیزات به عرشه و لبه‌های واگن پیاده‌سازی شوند. بر این مبنا اتصالات انتهایی لازم است از طریق تسمه‌های استاندارد و مستحکم به صورت مورب و متقاطع دو طرف تجهیز را پوشش دهند. همچنین به منظور جلوگیری از آسیب دیدگی درزهای ایمنی و مهارهای برزنتی، تسمه‌های اتصال نباید دارای تاب یا پیچ‌خوردگی باشند. در عبور مهارها از لبه‌های تیز واگن‌های مسطح لازم است از طریق بافرهای مقاوم، تسمه‌های مهار در برابر سایش‌های دائمی محافظت شوند. به‌عنوان مثال انتهای مهارهای تسمه‌ای لازم است در امتداد راستای مهارها به یک دستگاه کشش محکم، تثبیت شده و به آن گره بخورد و از موارد نایمن نظیر تاب خوردن مهارها به شکل توپی که احتمال فرار مهار و بروز لغی را به وجود می‌آورد، جلوگیری شود. همچنین صحت بستن سگک‌های مهار به لبه‌های واگن لازم است بررسی و اندازه تسمه‌ها رعایت شود (EN 12195, ۲۰۱۳). چنانچه ادوات و تجهیزات نظامی با توجه به طراحی فاقد نقطه اتصال باشند در این صورت لازم است با استفاده از مهارهای ایمن مستحکم شوند. لازم



به توضیح است که بر اساس استانداردهای UIC، لبه‌ها و یا عرشه واگن‌های نظامی دارای نقاط اتصال است که برای نگهداشت برزنت و طناب‌های مهار طراحی شده‌اند و می‌توانند با استفاده از قلاب‌های محکم اتصال تجهیزات نظامی با واگن را محکم نمایند (اسمیرنیس، ۲۰۲۲).

### روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر بر روی ایمنی حمل و نقل ریلی برای تجهیزات نظامی در یک شبکه چند سطحی و چند دوره‌ای شامل فرماندهی عملیات، قطارهای نظامی، تجهیزات جنگی قابل حمل و جغرافیای ریلی تمرکز دارد. در سطح اول فرماندهی با توجه به موقعیت و شرایط عملیاتی درخواست انتقال تجهیزات و ادوات نظامی را از طریق قطارهای نظامی ارسال می‌نماید. در سطح دوم تسلیحات نظامی در واگن‌های حمل بار مستقر شده و در سطح سوم قطارهای نظامی در جغرافیای ریلی به سمت مناطق عملیاتی اعزام می‌شوند. از این رو ارزیابی قابلیت اطمینان و ایمنی واگن‌های نظامی گام نخست در پژوهش حاضر به شمار می‌رود. در گام دوم پس از عارضه‌یابی وضع موجود به ارائه مدل بهینه پرداخته می‌شود. در فرایند بهینه‌سازی، مشخص کردن نوع و یا طبقه‌بندی مسأله حمل و نقل تجهیزات نظامی در شبکه ریلی که قرار است بهینه‌سازی شود مد نظر قرار گرفت در ادامه و پس از این مرحله با مشخص شدن نوع مسأله بهینه‌سازی کوشیده شد تا بسته به دامنه و نیازهای مسأله، از میان ابزارهای بهینه‌سازی موجود برای بهینه‌سازی تابع هدف و پیدا کردن جواب‌های بهینه (یا تقریبی از آن‌ها)، ابزاری که بیشترین تطابق را با مسأله ارتقای امنیت واگن‌های نظامی حمل تجهیزات جنگی دارد، انتخاب شد و در دامنه مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت.

### مدلسازی و تبیین خروجی‌ها

#### مقایسه کارایی استفاده مفید از نواحی بارگیری

کارایی استفاده از فضای بارگیری واگن‌های حمل تجهیزات نظامی به ساختار ایمنی قطار، طول و حجم تجهیزات نظامی انتخاب‌شده برای حمل و نیز نوع طراحی عرشه واگن بستگی دارد. این مهم می‌تواند با محاسبات مرتبط با طول و ابعاد حجمی تجهیزات نظامی در یک واگن دارای دو بوژی و چهار محور که دارای ساختار مسطح است از طریق لبه‌های و پایه‌های تاشو امکان‌پذیر شود. در این شیوه تجهیزات نظامی با استفاده از روکش‌های

مستحکم در برابر آسیب، لغزش و یا سقوط از واگن محافظت می شوند. رابطه شماره یک حداکثر طول مجاز یک واگن نظامی برای بارگیری تجهیزات و تسلیحات را نشان می دهد:

$$D_k = L_d - 2l_k \quad [mm] \quad (\text{رابطه شماره ۱})$$

چنانکه گفته شد رابطه ی شماره یک نشان دهنده طول تجهیزات نظامی نیروی زمینی برای بارگیری در یک واگن نظامی برحسب میلی متر است. در این رابطه  $D_k$  طول تجهیزات برای حالتی است که تسلیحات نظامی به علت ضرورت های جنگی، فاقد قلاب و یا محل مخصوص اتصال به واگن بوده و لازم است از مهارهای پوششی مستقل و مجاز استفاده شود؛  $L_d$  طول واگن باری و  $l_k$  حداقل فاصله ایمن میان لبه جلویی واگن و تجهیز نظامی فیکس شده در آن است که بر اساس استاندارد **UIC** بسته به عملیات حمل و نقل بار می تواند از ۱۰۰ الی ۲۰۰ میلی متر تغییر نماید. این مقدار برای واگن های نظامی سری **Res 67** در وزارت دفاع جمهوری چک با مقادیر ۱۸۰۰ میلی متر برای طول واگن و ۲۰۰ میلی متر برای حداقل حاشیه ایمنی به شرح زیر به دست می آید:

$$D_k = 18,500 - 2 \cdot 100 (200) = 18,300 (18,100) \text{ mm}$$

این مسئله برای حالتی که تجهیزات نظامی دارای مهار خاص هستند به صورت زیر نوشته می شود:

$$D_p = L_d - 2l_a - 2l_b \quad [mm] \quad (\text{رابطه شماره ۲})$$

در رابطه شماره ۲،  $D_p$  طول تسلیحات نظامی برای بارگیری در واگن ها؛  $L_d$  طول یک واگن،  $l_a$  فاصله میان لبه جلویی واگن و نقطه اتصال تجهیز نظامی به واگن؛  $l_b$  فاصله بین نقطه اتصال جانبی تجهیز نظامی با واگن است.

این مقدار برای واگن های نظامی سری **Res 67** در نیروی زمینی جمهوری چک که مقدار حاشیه ایمنی مجاز برحسب میلی متر برابر ۱۲۵۰ بوده و بار نظامی زاویه ۳۰ درجه در واگن ثابت شده و نقطه اتصال جانبی تجهیز نظامی با واگن مقدار ۷۶۲ میلی متر است به صورت زیر به دست می آید:

$$D_p = 18,500 - 2 \cdot 1,250 - 2 \cdot 762 = 14,476 \text{ mm}$$

برای واگن‌های نظامی سری Res 67 در نیروی زمینی جمهوری چک، شیب خط (ضریب زاویه) برای حالتی که حداقل فاصله میان لبه عرشه واگن و صفحه عمود بر نخستین نقطه اتصال در کف واگن از ابتدای آن برابر ۱۲۵۰ میلی‌متر ( $Z_{min} = 1250$ ) و عرض واگن برابر ۲۶۴۰ میلی‌متر ( $w_{res} = 2640$ ) است به صورت رابطه شماره ۳ محاسبه می‌شود:

$$\tan 30^\circ = \frac{Z_{min}}{\frac{w_{res}}{2}} = \frac{Z_{min}}{1,320} \Rightarrow Z_{min} = 762 \text{ mm} \quad (\text{رابطه شماره ۳})$$

با توجه به معادلات فوق، چنین به دست می‌آید که حداقل فاصله میان قسمت جلوی تجهیزات نیروی زمینی بارگیری شده از لبه عرشه واگن در قطارهای سری Res 67 به صورت اتصال مورب V شکل دارای مقدار بهینه خواهد بود. حداقل فاصله به دست آمده برای قسمت جلویی تجهیز نظامی و ابتدای لبه واگن حمل بار مقدار ۷۶۲ میلی‌متر به دست آمد که نشان‌دهنده حداقل حاشیه ایمن برای تسلیحات بارگیری شده در واگن است. این مسئله عیناً برای ثابت کردن انتهای تجهیز نظامی تا لبه انتهایی واگن نیز صادق است با این تفاوت که مقدار حاشیه ایمنی ممکن است بسته به موقعیت نقاط اتصال در تجهیز نظامی افزایش یابد.

نتایج محاسبات فوق نشان می‌دهد که در مقایسه با انواع تسلیحات بدون قلاب بارگیری شده در واگن، چنانچه ارتفاع تجهیز نظامی کوتاه‌تر باشد از نظر تئوری ایمن‌سازی تجهیزات با استفاده از مهارهای تسمه‌ای بهینه خواهد بود. از طرفی دیگر نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش مهارهای مستقیم در عرشه بارگیری کارایی کمتری دارد زیرا نیاز به فضای بیشتر و افزایش تقاضا برای واگن‌های اضافی و در نتیجه هزینه‌های بالای حمل کالای نظامی می‌شود.

### تحلیل نتایج محاسبات مربوط به مهارهای مورب تسلیحات نظامی قابل حمل توسط واگن‌های نظامی

محاسبه دستی نیروهای ایمن برای تثبیت تجهیزات نظامی در واگن، فرایندی زمان‌بر است بنابراین استفاده از الگوریتم‌های هوشمند در این خصوص می‌تواند یک راهکار مناسب باشد. در شیوه‌های محاسباتی لازم است زاویه اتصال عمودی تجهیز نظامی به

واگن ( $\alpha$ )، زاویه اتصال طولی ( $\beta x$ ) و زاویه اتصال عرضی ( $\beta y$ ) در نظر گرفته شود و این بدان دلیل است که زوایای مهار تأثیر به سزایی در برآورد دقیق نیروی مهار فشاری تجهیز بر نگه‌دارنده‌های واگن ( $F_R$ ) داشته و می‌توان بر آن اساس اندازه‌گیری‌ها را به صورت عملی انجام داد و مقادیر متناسب را با استفاده از ابزارهای ریاضی به دست آورد (دستورالعمل استانک برای حمل و نقل تسلیحات نظامی در راه آهن، ۲۰۲۱).

این شیوه محاسبه را می‌توان برای ایمن‌سازی حمل تسلیحات نظامی با استفاده از یک برنامه کاربردی و در قالب یک مثال از نیروی زمینی جمهوری چک این گونه تشریح نمود: فرض کنیم یک خودروی سبک جنگی که دارای قابلیت حرکت در خشکی و آب است، با پوشش زرهی از نوع BVP-2 برای یک عملیات نظامی، نیازمند جابجایی باشد. با توجه به آنکه برای حمل و نقل خودروهای جنگی، واگن‌های چهار محوره مسطح از سری SMMPS 54 در راه آهن سرتاسری جمهوری چک تعریف شده است که فاقد لبه‌های جانبی در عرشه و پارامترهای فنی زیر نیز در مورد این واگن‌ها به شرح ادامه در دست باشد (دپارتمان امنیت حمل و نقل ریلی جمهوری چک، ۲۰۱۲)

- طول واگن نظامی برای حمل تجهیزات و تسلیحات ۱۴۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد.
- عرض واگن نظامی ۳۱۰۰ میلی‌متر است.
- فاصله گرانیگاه و نقطه اتصال خودروی سبک جنگی از حاشیه‌های واگن ۲۰۰ میلی‌متر باشد.

همچنین فرض کنیم پارامترهای فنی خودروی سبک جنگی نیروی زمینی جمهوری چک به شرح زیر باشد (فرماندهی لجستیک و حمل و نقل ارتش جمهوری چک، ۲۰۱۵):

- وزن خودروی سبک جنگی ۱۴۳۰۰ کیلوگرم.
- عرض خودروی سبک جنگی ۲۷۰۰ میلی‌متر (فاصله خودروی سبک جنگی تا حاشیه‌های واگن نظامی از هر طرف ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد).
- ارتفاع خودروی سبک جنگی تا سطح ریل برابر ۱۶۰۰ میلی‌متر
- طول خودروی سبک جنگی ۶۷۲۰ میلی‌متر است (فاصله خودروی جنگی از دو انتهای واگن برابر ۳۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد).

➤ فاصله میان نقاط اتصال خودروی سبک جنگی تا حواشی کناری واگن نظامی

برابر ۳۵۰ میلی‌متر است

➤ فاصله نقاط اتصال خودروی سبک جنگی و کوپلر اتصال واگن‌های نظامی برابر

۳۰۰۰ میلی‌متر است.

با توجه به آنکه از نظر کارکردی هدف از محاسبه  $F_R$  تعیین نیروی لازم برای جلوگیری از لغزش تسلیحات نیروی زمینی جمهوری چک در یک واگن از طریق رابطه شماره چهار به دست می‌آید لذا با استفاده از فرمول ارائه‌شده توسط ریزک و ندبال<sup>۱</sup> (۲۰۲۱) می‌توان حد پایینی برای ظرفیت تحمل مهار خودروی سبک جنگی در واگن نظامی را برای هر یک از چهار تسمه اتصال به واگن به صورت زیر نوشت:

$$F_R = m \cdot g \cdot \frac{(c_{x,y} - \mu \cdot f_{\mu} \cdot c_z)}{2 \cdot (\cos \alpha \cdot \cos \beta_{x,y} + \mu \cdot f_{\mu} \cdot \sin \alpha)} \quad [N] \quad \text{رابطه شماره ۴}$$

از این رو با توجه به یافته‌های مطالعه ریزک و ندبال (۲۰۲۱) و گزارش جامع دیپارتمان امنیت حمل‌ونقل ریلی جمهوری چک (۲۰۲۱)، برای محاسبه  $F_R$  لازم است مقدار برخی از پارامترها به شرح زیر مقداردهی شود:

۱- شتاب گرانشی وسایل نقلیه ریلی و بار ( $-g$ ) برابر مقدار زیر است:

$$-g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

۲- مقدار پارامتر ضریب شتاب در جهت محور طول‌ها ( $X$ ) برای قطار به صورت زیر است:

$$-c_x = 1.0$$

۳- مقدار پارامتر ضریب شتاب در جهت محور عمودی ( $Z$ ) برای قطار به صورت زیر است:

$$-c_z = 1.0$$

۴- مقدار ضریب تبدیل برای اصطکاک واگن حمل بار به شرح زیر است:

$$-f_{\mu} = 0,75$$

<sup>1</sup> - REJZEK & NEDBAL

۵- ضریب اصطکاک واگن حمل خودروی جنگی با مهار فولادی یا لاستیکی برابر  $\mu = 0.30 -$  و برای خودروی جنگی سبک  $\mu = 0.60$  می‌باشد.

لازم به توضیح است که ضریب اصطکاک ( $\mu$ ) به نوع مواد به کاررفته در ساخت واگن جنگی و بافتار چسبنده سطوح بستگی دارد. رابطه شماره ۴ نشان می‌دهد که هراندازه مقدار  $\mu$  (به معنای نیروی اصطکاک میان خودروی سبک جنگی و عرشه واگن) بیشتر باشد، لازم است الزامات ایمن‌سازی بیشتری به منظور لغزش کمتر محموله بکار رود. این مهم در بندهای استاندارد دستورالعمل اجرایی AMOV-P-4 مورد تأکید قرار گرفته است. لذا به منظور تدقیق زوایای مهار عمودی (محور Zها) خودروی سبک جنگی بارگیری شده در واگن، از ضرایب  $\alpha_1, \alpha_2$  و  $\alpha_3$  و برای تعیین زوایای طولی در راستای محور Xها از ضرایب  $\beta_{x1}, \beta_{x2}$  و  $\beta_{x3}$  و برای تعیین زوایای عرض در راستای محور Yها از ضرایب  $\beta_{y1}, \beta_{y2}, \beta_{y3}$  استفاده می‌گردد. همچنین برای اندازه‌گیری مقادیر آن‌ها لازم است توابع زاویه سنجی و قضیه فیثاغورث اعمال شود. بر این اساس نخستین شاخص می‌تواند به شرح زیر تعریف گردد:

$$x_1 = \sqrt{v^2 + (w - b_o - b_v)^2} \quad [mm] \quad \text{رابطه شماره ۵}$$

همان‌گونه که در رابطه فوق مشاهده می‌شود  $x_1$  عبارت است از فاصله مورب میان یک نقطه اتصال در خودروی جنگی سبک با محل تلاقی صفحات مختصات عرشه واگن (بخش ابتدایی وسیله نقلیه و نقطه اتصال انتهایی)

$$y_1 = \sqrt{v^2 + z^2 + (w - b_o - b_v)^2} \quad [mm] \quad \text{رابطه شماره ۶}$$

در رابطه شماره ۶،  $y_1$  نشان‌دهنده یک فاصله مورب بین نقطه اتصال خودروی سبک جنگی و نقطه اتصال جهت دیگر واگن نظامی در قطار است که با توجه به طول تسمه‌ی مهار تعیین می‌شود.

حال با توجه به مقادیر مفروض برای خودروی سبک جنگی بارگیری شده در واگن نظامی برای نیروی زمینی ارتش جمهوری چک و جایگزینی آن در رابطه‌های ۵ و ۶ داریم:

$$\tan \alpha_1 = \frac{v}{\sqrt{z^2 + (w - b_o - b_v)^2}} = \frac{1,600}{\sqrt{9,000,000 + 2,550^2}} = > \alpha_1 = 22,11^\circ$$

$$\tan \beta_{x1} = \frac{x_1}{z} = \frac{\sqrt{1,600^2 + 2,550^2}}{3,000} \Rightarrow \beta_{x1} = 45,10^\circ$$

$$\begin{aligned} \cos \beta_{y1} &= \frac{w - b_o - b_v}{y_1} = \frac{2,550}{\sqrt{1,600^2 + 3,000^2 + 2,550^2}} \Rightarrow \beta_{y1} \\ &= 53,13^\circ \end{aligned}$$

برای محاسبه زوایای مهار و به دست آوردن شیب خط در جهت محور طول‌ها (Xها) رابطه شماره ۷ نوشته می‌شود:

$$x_2 = \sqrt{z^2 + (b_v - b_o)^2} \quad [mm] \quad \text{(رابطه شماره ۷)}$$

فاصله مستقیم میان نقطه اتصال نصب‌شده در گرانیگاه تجهیزات  $x_2$  در رابطه شماره ۷، نظامی بارگیری شده در واگن نظامی و نقطه تقاطع مهارها در منطقه بارگیری عرشه با قسمت جلوی تجهیزات نظامی و نقطه اتصال طولی در واگن نظامی است.

$$y_2 = \sqrt{v^2 + z^2 + (b_v - b_o)^2} \quad [mm] \quad \text{(رابطه شماره ۸)}$$

در رابطه شماره ۸ مقدار  $y_2$  یک فاصله مستقیم میان نقطه اتصال در گرانیگاه تجهیز نظامی نیروی زمینی با نقاط اتصال عرضی در امتداد محور Y ها در واگن نظامی با توجه به عرض مهارهای تسمه‌ای است.

حال با توجه به مقادیر داده‌شده برای واگن نظامی و خودروی سبک جنگی بارگیری شده در واگن نظامی برای نیروی زمینی جمهوری چک و جایگزینی آن در رابطه‌های ۷ و ۸ داریم:

$$\begin{aligned} \tan \alpha_2 &= \frac{v}{x_2} = \frac{v}{\sqrt{z^2 + (b_v - b_o)^2}} = \frac{1,600}{\sqrt{9,000,000 + 22,500}} = \\ &> \alpha_2 = 28,04^\circ \end{aligned}$$

$$\cos \beta_{x2} = \frac{z}{y_2} = \frac{z}{\sqrt{v^2 + z^2 + (b_v - b_o)^2}} = \frac{3,000}{\sqrt{11,582,500}} = > \beta_{x2} = 28,18^\circ$$

$$\cos \beta_{y2} = \frac{b_v - b_o}{y_2} = \frac{150}{\sqrt{11,582,500}} \Rightarrow \beta_{y2} = 87,47^\circ$$

برای محاسبه زوایای مهار در نگه‌دارنده‌های مورب تجهیزات نیروی زمینی (V) در واگن نظامی از رابطه شماره ۹ و ۱۰ به شرح ادامه استفاده می‌شود:

$$x_3 = \sqrt{v^2 + \left(\frac{w}{2} - b_o\right)^2} \quad [mm] \quad \text{رابطه شماره ۹}$$

در رابطه شماره ۹ مقدار  $x_3$  به صورت قیاسی و بر اساس رابطه  $x_2$  به دست می‌آید. در ادامه مقدار  $y_3$  از رابطه شماره ۱۰ به دست می‌آید:

$$y_3 = \sqrt{v^2 + z^2 + \left(\frac{w}{2} - b_o\right)^2} \quad [mm] \quad \text{رابطه شماره ۱۰}$$

در رابطه شماره ۱۰ مقدار  $y_3$  به صورت قیاسی و بر اساس رابطه  $y_2$  به دست می‌آید. حال با توجه به مقادیر داده شده برای واگن نظامی و خودروی سبک جنگی بارگیری شده در واگن نظامی برای نیروی زمینی جمهوری چک و جایگزینی آن در رابطه‌های ۹ و ۱۰ داریم:

$$\sin \alpha_3 = \frac{v}{y_3} = \frac{v}{\sqrt{v^2 + z^2 + \left(\frac{w}{2} - b_o\right)^2}} = \frac{1,600}{\sqrt{13,382,500}} \Rightarrow \alpha_3 = 25,94^\circ$$

$$\tan \beta_{x3} = \frac{x_3}{z} = \frac{\sqrt{v^2 + \left(\frac{w}{2} - b_o\right)^2}}{z} = \frac{\sqrt{4,382,500}}{3,000} \Rightarrow \beta_{x3} = 34,91^\circ$$



$$\tan \beta_{y3} = \frac{\sqrt{v^2 + z^2}}{\frac{w}{2} - b_0} = \frac{\sqrt{11,560,000}}{1,350} \Rightarrow \beta_{y3} = 68,34^\circ$$

نیروهای مقاوم از طریق واردکردن مقدار متغیرها در رابطه شماره سه، محاسبه می‌شود. در این حالت نیروهای مقاوم با نیروهای اینرسی در فرایند جابجایی خودروی سبک جنگی نیروی زمینی از طریق واگن، برابر خواهد بود. مهارهای مستقیم را نمی‌توان برای تثبیت و حمل تجهیزات نیروی زمینی در واگن‌ها قطار نظامی اعمال نمود، هرچند این روش ساده‌ترین شیوه برای تثبیت تجهیز و انجام مهار در امتداد محور طول‌ها است. همچنین از آنجاکه فرایند ایمن‌سازی تجهیزات نظامی در واگن‌های قطار در جهت محور  $V$ ‌ها، به دلیل مقدار عرض فرضی تجهیز دشوار است بنابراین لازم است از روش دیگری برای مقاوم‌سازی تجهیز بهره گرفت.

استفاده متقاطع از مهارها برای ممانعت از سر خوردن خودروی سبک جنگی، می‌تواند از واژگونی احتمالی تجهیز در قوس‌های تند مسیر ریلی جلوگیری نماید. نکته مهم در نگهداری خودروی سبک جنگی در واگن نظامی آن است که محل تلاقی بالای مرکز ثقل تجهیز باشد و بتواند از امتداد خط وسط مهار عبور نماید. همچنین چنانچه محل تلاقی به تجهیز نظامی نزدیک باشد در این صورت به علت افزایش احتمال تاب خوردن تسمه‌های مهار، پایداری استقرار تجهیز بر روی واگن تا حد زیادی کاهش می‌یابد. بنابراین به منظور پیاده‌سازی مناسب‌ترین روش می‌توان از نتیجه محاسبات استفاده نمود لذا استفاده از مهارهای نگاه‌دارنده‌ی مورب و متقاطع به شکل  $V$  برای استحکام عرضی تجهیز نظامی، مطلوب‌ترین گزینه به نظر می‌رسد. حال با در نظر داشتن کم بودن بزرگی اینرسی در راستای عرضی در مقایسه با مقدار آن در راستای طولی، می‌توان انتظار داشت در فرایند ترابری تجهیز نظامی بارگیری شده از طریق مسیر ریلی، نیروهای لخت در درجه نخست از تکانه‌های طولی متأثر می‌شود. لذا روش مهار مورب  $V$  شکل می‌تواند ایمن‌سازی را با کمترین فشار ممکن بر سطح بار نظامی فراهم نماید. این مقدار برای خودروی سبک جنگی نیروی زمینی جمهوری چک برابر با  $F_{R3X} = 6,629 \text{ daN}$  خواهد بود.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

حمل و نقل تجهیزات نیروی زمینی نظیر خودروها، تانک‌ها، تجهیزات پدافند هوایی و غیره ... از طریق واگن‌های نظامی یک روش کارآمد برای رساندن حداکثر تسلیحات و ابزارهای جنگی با بیشترین سرعت به منطقه عملیاتی محسوب می‌شود. از سوی دیگر جابجایی موفق تجهیزات و ادوات نظامی توسط قطار نظامی در جغرافیای ریلی مستلزم رعایت جنبه‌های ایمنی است که علاوه بر استقرار محکم تجهیزات در واگن، از سر خوردن و واژگونی تجهیزات جلوگیری نماید. با توجه به نتایج مطالعه حاضر می‌توان اذعان نمود که ترکیبی از شیوه‌های استفاده از اتصالات مورب  $V$  شکل، می‌تواند گزینه‌ای مناسب برای ایمن‌سازی تجهیزات نظامی بر روی واگن‌های قطار باشد. با توجه به مزایای ذکر شده، این شیوه می‌تواند مکمل سایر روش‌های استحکام باشد در نتیجه با استفاده از ابزارهای ایمن‌سازی، ضریب امنیت واگن و تجهیزات نظامی ارتقا می‌یابد. با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهاد می‌شود که در قطارهای نظامی، چارچوب‌هایی با نقطه اتصال در وسط قاب بر اساس استانداردها ایجاد شود. از سوی دیگر علی‌رغم مزایای فراوان ایمن‌سازی تجهیزات نظامی در واگن با روش  $V$  مورب، کنترلر ترافیک و رئیس قطار لازم است به جنبه‌های منفی آن نظیر لزوم افزایش فضای واگن نیز توجه داشته باشد که خود سبب افزایش تقاضا برای واگن می‌شود. یکی از دلایل آن می‌تواند محدودیت و تفاوت در محل اتصالات و استحکام کششی کوپلرهای قطار است. از طرفی قرارگیری مورب تسلیحات در زاویه  $30^\circ$  درجه نسبت به گوشه‌های واگن، می‌تواند تجهیزات نظامی را برابر تکانه‌های طولی و عرضی حفاظت می‌نماید. ایجاد چنین زاویه‌ای می‌تواند با ایجاد سایر مقادیر زاویه‌ای داده‌های ورودی محاسبات را برای  $\alpha$ ,  $\beta_x$ ,  $\beta_y$  فراهم نماید. کاهش زاویه خط مهار به زیر مقدار  $30^\circ$  درجه سبب افزایش کشیدگی مهارهای تسمه‌ای شده و در نتیجه نیروی  $F_R$  متناسب با زوایای  $\alpha$ ,  $\beta_x$ ,  $\beta_y$  افزایش می‌یابد. بنابراین رعایت مقدار استاندارد توصیه‌شده برای بزرگی زاویه مزبور، می‌تواند به ارتقای ایمنی حمل و نقل تجهیزات نظامی و افزایش طول عمر مهارهای تسمه‌ای شود. با استفاده از این رویکرد تا حدود قابل ملاحظه‌ای در منابع مالی تخصیص یافته صرفه‌جویی می‌شود.

## منابع

- مرادیان، محسن. (۱۳۸۷). آشنایی با تحقیق در عملیات، فصلنامه علوم و فنون نظامی، ۵(۱۱): ۴۷-۶۷.
- نیک سیرت، ملیحه. (۱۳۹۸). برنامه‌ریزی اعتباری عدد صحیح فازی جهت مدل‌سازی و حل مسأله حمل و نقل و امداد بشردوستانه پس از بحران در شرایط فازی. فصلنامه آینده پژوهی دفاعی. ۴(۱۵): ۶۱-۸۴.
- *Bezpečnost – Část 1: Výpočet zajišťovacích sil.* (Load Restraining on Road Vehicles Safety – Part 1: Calculation of Securing Forces). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. 48 p.
- Lizbetin, J., Vejs, P., Caha, Z., Lizbetinova, L., & Michalk, P. 2019. The Possibilities of dynamic shipment weighing in rail freight transport. *Communications-Scientific Letters of the University of Zilina*, 18(2), 113-117.
- *Nakládací směrnice UIC, Svazek 2 – Zboží.* (UIC Loading Guidelines, Volume 2 – Goods.) [Czech version of amendment no. 13]. Praha: Generální ředitelství ČD Cargo, a. s., 2019. 125 p.
- Poliak, M., & Tomicová, J. 2021. Impact of change of consignor on responsibility for loading and fastening of goods in a vehicle in the Slovak Republic. *Archiwum Motoryzacji*, 92(2), 5-15.
- Rejzek, M., Vlkovský, M., & Binar, T. 2013. The Selection Of Methods Of Land Military Equipment Direct Lashing On Railway Goods Wagons And Their Verification Using Calculation. *Ekonomika a management*, 3(3), 90-98.
- REJZEK, Martin, NEDBAL, Josef. *Vojenská přeprava po železnici III – železniční nákladní a osobní vozy využívané v Armádě České republiky* (Military Rail Transportation III – Railway Goods and Passenger Wagons in Use in the Czech Armed Forces) [Educational aid on DVD-ROM for department use]. Brno: Univerzita obrany, 2021. 58 p. ISBN 978-80-7231-795-0.
- Siegertová, T. 2018. Zajištění a uložení nákladu u vybrané přepravy.

- *Směrnice ČDC pro zajišťování vojenských železničních přeprav.* (ČDC Guideline on Securing Military Rail Transports.) [Draft of ČDC implementing guideline to D33 regulation]. Praha: Generální ředitelství ČD Cargo, a. s., 2022. 74 p.
- STANAG 2468 CSS (Edition 2). *Technical Aspects of the Transport of Military Materials by Railroad – AMov-P-4 (A)*. Brussels: NATO Standardization Agency, Military Committee Land Standardization Board. 2021.216 p.
- Turanov, K., Ruzmetov, Y., & Shikhnazarov, J. 2020. Incorrectness of the method of calculating cargo fastening on railway platforms. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 164, p. 03040). EDP Sciences.
- Vlkovský, M., Malíšek, J., & Kutil, R. 2021. Influence of Shocks on Pallet Load and Cargo Securing. *Transportation Research Procedia*, 55, 50-56.
- VLKOVSKÝ, Martin. *Možnosti rozvoje zásobovacího systému vyčleňovaných jednotek Armády České republiky do mnohonárodních operací s důrazem na uplatnění přímé distribuce.* (The Development Possibilities of the Supply System in Earmarked Forces of the Czech Armed Forces for Multinational Operations with the Emphasis on Direct Distribution Application [Dissertation]. Brno: Univerzita obrany, 2019. 190 p. Supervisor: Lieutenant-colonel Martin REJZEK, Ph. D.