Iranian Journal of Wargaming
AJA Command and Staff University
http://www.ijwg.ir/
Online ISSN: 2676-7708
Print ISSN: 2676-5284

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

Daud Jafari [1] | Mehran Khalaj [2]✉ | Pejman Salehi [3]

1. Associate Professor of the Educational Department of Industrial Engineering; Islamic Azad University, Parand branch, Tehran, Iran. E-mail: 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
3. PhD in industrial engineering; Islamic Azad University, Parand branch, Tehran, Iran. E-mail: pejmansalehi.metro@gmail.com

Article Info

Article type:
Research article

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.

© The Author(s) Publisher: Command and Staff University

Iranian Journal of Wargaming
AJA Command and Staff University
http://www.ijwg.ir/
Online ISSN: 2676-7708
Print ISSN: 2676-5284

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

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

۱. دانشیار گروه آموزشی مهندسی صنایع؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران، رایانامه: djafari5071@yahoo.com

۲. دانشیار گروه آموزشی مهندسی صنایع؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران. رایانامه: mehran5_k@hotmail.com

۳. دکتری مهندسی صنایع؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، تهران، ایران، رایانامه: pejmansalehi.metro@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۲/۲۰

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۲/۰۳/۲۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۵/۲۸

تاریخ انتشار:
۱۴۰۲/۰۶/۱۳

کلیدواژه‌ها:
تجهیزات و تسلیحات جنگی، ایمنی و امنیت، جغرافیای شبکه ریلی، واگن‌های نظامی

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 بپردازد که رعایت آن ضمن تأمین امنیت و ایمنی تجهیزات و تسلیحات نظامی قابل‌حمل توسط قطار در طول جغرافیای پراکنده شبکه ریلی، امکان صرفه‌جویی در هزینه‌ها و ارتقای سطح امنیت ادوات نظامی را فراهم نماید.

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.

تجزیه و تحلیل: در پژوهش حاضر به منظور تجزیه و تحلیل پس از عارضه 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 واگن های نظامی حمل تجهیزات جنگی دارد، انتخاب و در دامنه مورد نظر استفاده شود.

یافته ها: 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 تخصیص‌یافته برای عملیات ترابری ادوات نظامی به مناطق عملیاتی در مناطق جنگی است.

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

CC BY NC ND

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). حمل‌ونقل ادوات و تسلیحات نیروهای مسلح از طریق واگن‌های 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 می‌تواند در جهت های طولی (محور x ها) و عرضی (محور yها) 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). ازاین‌رو در صورت بی توجهی به فرایند ایمن‌سازی واگن‌های نظامی، لغزش سطحی و حرکت های نامتوازن تجهیزات جنگی، می‌تواند به تبعاتی نظیر تأخیر در انتقال تجهیزات نظامی به مناطق عملیاتی در اثر توقف‌های اضطراری قطار، افزایش هزینه‌های نیروهای مسلح برای رفع خرابی‌های مرتبط با حمل غلط تسلیحات، خسارت‌های 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 می‌تواند 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 پیشینه‌های 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 د شواری و ا شکال 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 د ست آمده از بانک های اطلاعاتی و گزارش های فنی قابل انتشار در ا سناد 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 ایمن‌سازی حمل تسلیحات جنگی از طریق قطارهای نظامی در جغرافیای شبکه ریلی
طبق استانداردهای فنی عملیات سیر و حرکت واگن‌های نظامی در جغرافیای شبکه ریلی، یکی از رویکردهای مرسوم در ایمن سازی واگن‌های حمل ادوات و کالاهای نظامی به‌کارگیری قفل‌های متصل و ثابت برای مستحکم نمودن ادوات در واگن‌هاست که عمدتاً در کانتینرهای خاص حمل تجهیزات نظامی اعمال می‌شود. در این حالت سازه‌های صُلب از طریق ابزارها و مهارهای مکانیکی تثبیت‌کننده، 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 می‌آورد که در حالت کلی شامل دو روش ا ست: نخ ست شیوه ا صطکاکی و دوم: تثبیت ساز از طریق روش ضربه ای م ستقیم و مکانیکی برای محکم کردن تجهیزات در برابر تکانه‌ها (ویرایش دوم دستورالعمل استانک برای جنبه‌های فنی حمل‌ونقل تسلیحات نظامی در راه‌آهن ها ، ۲۰۲۱). روش اصطکاکی

از نیروی اصطکاک میان بارهای تسلیحاتی و سطح عرشه واگن های نظامی استفاده می‌کند تا تجهیزات نظامی در برابر لغزیدن‌های احتمالی در طول عملیات سیر و حرکت قطار حفاظت شوند. در روش تثبیت ساز ضربه‌ای به‌طور مستقیم از نیروهای نگه‌دارنده مکانیکی استفاده نمی‌شود بلکه از چارچوب های لختی بهره گرفته می شود که بتواند به‌طور ایمن توزیع بار کششی را در سطح واگن امکان پذیر نموده و از طریق فشارهای الاستیسیته مجموعه بارها را به‌صورت الاستیک به واگن می تواند محکم نماید (راهنمای حمل‌ونقل ایمن بارهای نظامی در نیروهای مسلح ، ۲۰۲۲).

انواع روش‌های مهار مستقیم تجهیزات نظامی در واگن‌های جنگی عبارت‌اند 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 و 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 بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC)، روش اجرایی ČD CARGO و نیز سند عملیات واحدهای حمل و نقل ریلی ارتش(اف ام ۲۰-۵۵) جابجا می‌شود. لازم به ذکر است که بخش A از دستورالعمل اجرایی AMov-P-4 بخشی مهم و لازم از توافقنامه‌های 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 حمل‌ونقل تجهیزات جنگی توسط قطار و برای سرعت‌های بالای ۹۰ کیلومتر بر ساعت لازم الاجراء می‌باشد، نسخه اصلی آن نیز توسط وزارت دفاع جمهوری چک رعایت و پیاده‌سازی می‌شود. در این سند به منظور ارتقای سطح ایمنی و امنیت ترابری تجهیزات و تسلیحات نظامی و مهار ایمن آن‌ها در جهت‌های طولی، عرضی و مورب برای موارد به شرح ادامه مجاز شمرده می‌شود: مهارهای فولادی، نگه‌دارنده‌های چوبی، بافرهای برزنتی، گیره‌های سیمی، نگه‌دارنده‌های تسمه‌ای، نگه‌دارنده‌های 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 تلرانس استاندارد برای حدود ظرفیت (کران پایین و بالا) برای رسته‌های

جداگانه نظامی در عملیات حمل تسلیحات و تجهیزات نظامی (واگن های مجزای بارگیری تسلیحات، قطارهای نظامی و یونیت‌های پیوسته واگن حامل محموله های جنگی) لازم است از ردیف‌های وزن‌دار جدول پردازشی برای ردیابی وسایل نقلیه در جغرافیای ریلی تبعیت می‌نماید (رِجزک ، ۲۰۲۱). از مجموع ۱۹۷ عضو UIC، تعداد ۸۲ عضو فعال در پنج قاره دستورالعمل‌ها و روش‌های اجرایی برای بارگیری تجهیزات و ادوات نظامی را برای سرعت‌های بالای ۱۲۰ کیلومتر پیاده سازی می‌نمایند. 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 می‌پردازد. بخش ۳-۷ از این آیین نامه به استفاده از مهارهای لاستیکی محکم شده توسط گیره‌های چرخ‌دار در واگن ها اشاره نموده است. مستندات الزامی برای واگن‌های مجزای نظامی تا حدودی متفاوت است. این موضوع شامل حدود و ظرفیت حمل بار و آستانه تحمل برای ایمن‌سازی تجهیزات در جهت‌های طولی و عرضی است. در این صورت به منظور حفظ امنیت بارهای خطرناک و حساس، مقادیر تعبیه‌شده تا حدود زیادی سخت گیرانه به نظر می‌رسد. در روش‌های ارتقای ایمنی تریلرهای نظامی نیز تفاوت‌های 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، روش‌های ایمن‌سازی متفاوت به نظر می‌رسد. دراین‌بین انتخاب یک چارچوب ایمن به عوامل متعددی نظیر پارامترهای ابعادی تجهیزات، وزن و جرم آن‌ها، جغرافیای بارگیری، قابلیت رعایت رویه‌ها و مقررات ایمن سازی و رسته های عملیاتی بستگی دارد (همان منبع، ۲۰۱۹).

فرآیند ایمن سازی حمل‌ونقل 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 می‌توانند بسته به نوع تسلیحات به‌صورت یک‌بارمصرف و یا دارای قابلیت استفاده مجدد باشند که به سیم‌های نگه‌دارنده، تسمه‌های برزنتی و پلی‌استر طبقه‌بندی می‌شوند. ابزارهای یک‌بارمصرف عمدتاً در ایمنی تجهیزات حساس نظامی استفاده نمی‌شوند. مهارهای بادوام و دارای قابلیت استفاده مجدد در انواع رنگ‌ها، طول و عرض قابل تنظیم

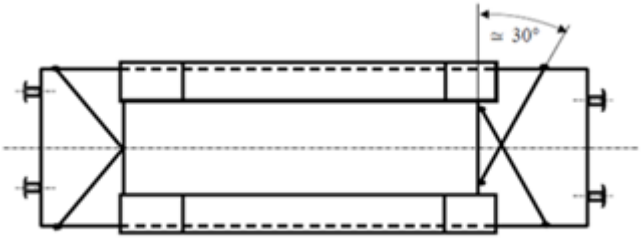
و بر اساس میزان استحکام کششی، تولید و در واگن‌های نظامی مورداستفاده قرار می‌گیرند. از سوی دیگر گاه ترکیبی از مهارها، مقاصد ایمنی را تأمین می‌نماید که به نوع ترمز قطار از قبیل اصطکاکی، دینامیکی و غیره... و یا امکان استفاده از قدرت‌های ترمزی مختلف بر اساس مختصات جغرافیایی مسیر حرکت وسایل نقلیه ریلی نظیر شیب و فراز خط، قوس و غیره ... که در آن احتمال لغزیدن تجهیزات نظامی و آسیب‌دیدگی 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[1]، 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 کششی، 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 نصب‌شده باشد در غیر این صورت استفاده از برای حمله تسلیحات نظامی ممنوع است.
- تسمه‌های نوع الیاف مصنوعی از طریق تکیه‌گاه‌های تعبیه‌شده 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.

---

[1] - 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 به‌صورت 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 به‌صورت مورب و متقاطع دو طرف تجهیز را پوشش دهند. همچنین به منظور جلوگیری از آسیب‌دیدگی 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. به‌عنوان‌مثال انتهای مهارهای تسمه‌ای لازم است در امتداد راستای مهارها به یک دستگاه کشش محکم، تثبیت شده و به آن گره بخورد و از موارد ناایمن 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 تو ضیح ا ست که بر ا ساس ا ستانداردهای **UIC**، لبه‌ها و یا عر شه واگن‌های نظامی دارای نقاط اتـ صال ا ست که برای نگهدا شت برزنت و طناب های مهار طراحی شده‌اند و می‌توانند با ا ستفاده از قلاب‌های محکم اتـ صال تجهیزات نظامی با واگن را محکم نمایند (اِسمیرنیس، ۲۰۲۲).

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر بر روی ایمنی حمل و نقل ریلی برای تجهیزات نظامی در یک شبکه چند سطحی و چند دوره ای 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 می نماید. در سطح دوم تسلیحات نظامی در واگن های حمل بار مستقر شده و در سطح سوم قطارهای نظامی در جغرافیای ریلی به سمت مناطق عملیاتی اعزام می شوند. از این رو ارزیابی قابلیت اطمینان و ایمنی واگن های نظامی گام نخست در پژوهش حاضر به شمار می رود. در گام دوم پس از عارضه یابی وضع موجود به ارائه مدل بهینه پرداخته می شود. در فرایند بهینه سازی، 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 واگن های نظامی حمل تجهیزات جنگی دارد، انتخاب شد و در دامنه مورد نظر مورد استفاده مورد استفاده قرار گرفت.

مدلسازی و تبیین خروجی ها

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 می‌شوند. رابطه شماره یک حداکثر طول مجاز یک واگن نظامی برای بارگیری تجهیزات و تسلیحات را نشان می‌دهد:

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

چنانکه گفته شد رابطه‌ی شماره یک نشان‌دهنده طول تجهیزات نظامی نیروی زمینی برای بارگیری در یک واگن نظامی برحسب میلی‌متر است. در این رابطه **Dk** طول تجهیزات برای حالتی است که تسلیحات نظامی به علت ضرورت‌های جنگی، فاقد قلاب و یا محل مخصوص اتصال به واگن بوده و لازم است از مهارهای پوششی مستقل و مجاز استفاده شود؛ **Ld** طول واگن باری و **lk** حداقل فاصله ایمن میان لبه جلویی واگن و تجهیز نظامی فیکس شده در آن است که بر اساس استاندارد **UIC** بسته به عملیات حمل‌ونقل بار می‌تواند از ۱۰۰ الی ۲۰۰ میلی‌متر تغییر نماید. این مقدار برای واگن‌های نظامی سری **Res 67** در وزارت دفاع جمهوری چک با مقادیر ۱۸۰۰ میلی‌متر برای طول واگن و ۲۰۰ میلی‌متر برای حداقل حاشیه ایمنی به شرح زیر به دست می‌آید:

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

این مسئله برای حالتی که تجهیزات نظامی دارای مهار خاص هستند به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

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

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

این مقدار برای واگن‌های نظامی سری Res 67 در نیروی زمینی جمهوری چک که مقدار حاشیه ایمنی مجاز برحسب میلی‌متر برابر ۱۲۵۰ بوده و بار نظامی زاویه ۳۰ درجه در واگن ثابت‌شده و نقطه اتصال جانبی تجهیز نظامی با واگن مقدار ۷۶۲ میلی‌متر است به‌صورت زیر به دست می‌آید:

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

برای واگن‌های نظامی سری Res 67 در نیروی زمینی جمهوری چک، شیب‌خط (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 به‌صورت رابطه شماره ۳ محاسبه می‌شود:

$$\tan 30° = \frac{z_{min}}{\frac{w_{res}}{2}} = \frac{z_{min}}{1{,}320} \Rightarrow z_{min} = 762\ mm$$ 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 به‌صورت اتصال مورب V شکل دارای مقدار بهینه خواهد بود. حداقل فاصله به‌دست‌آمده 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 ازنظر 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 درنتیجه هزینه‌های بالای حمل کالای نظامی می‌شود.

تحلیل نتایج محاسبات مربوط به مهارهای مورب تسلیحات نظامی قابل‌حمل 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 (α)، زاویه اتصال طولی (βx) و زاویه اتصال عرضی (βY) 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 به‌صورت عملی انجام داد و مقادیر متناسب را با استفاده از ابزارهای ریاضی به دست آورد (دستورالعمل استانک برای حمل‌ونقل تسلیحات نظامی در راه‌آهن، 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 این‌گونه 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 حمل‌ونقل خودروهای جنگی، واگن‌های چهار محوره مسطح از سری SMMPS 54 در راه‌آهن سرتاسری جمهوری چک تعریف‌شده است که فاقد لبه‌های جانبی در عرشه و پارامترهای فنی زیر نیز در مورد این واگن‌ها به شرح ادامه در دست باشد (دپارتمان امنیت حمل‌ونقل 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 حمل‌ونقل 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 ازنظر 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 می آید لذا با استفاده از فرمول ارائه‌شده توسط ریزک و نِدبال[1] (۲۰۲۱) می‌توان حد پایینی برای ظرفیت تحمل مهار خودروی سبک جنگی در واگن نظامی را برای هر یک از چهار تسمه اتصال به واگن به‌صورت زیر نوشت:

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

ازاین‌رو با توجه به یافته‌های مطالعه ریزک و نِدبال (۲۰۲۱) و گزارش جامع دپارتمان 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:

– $g = 9.81\ m \cdot s^{-2}$

۲- مقدار پارامتر ضریب شتاب در جهت محور طول‌ها (xها) برای قطار به‌صورت زیر است:

– $c_x = 1.0$

۳- مقدار پارامتر ضریب شتاب در جهت محور عمودی (zها) برای قطار به‌صورت زیر است:

– $c_z = 1.0$

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

– $f_\mu = 0{,}75$

---

[1] - 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 (μ) به نوع مواد به‌کاررفته در ساخت واگن جنگی و بافتار چسبنده سطوح بستگی دارد. رابطه شماره ۴ نشان می‌دهد که هراندازه مقدار μ (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 قرارگرفته است. لذا به منظور تدقیق زوایای مهار عمودی (محور zها) خودروی سبک جنگی بارگیری شده در واگن، از ضرایب α_1، α_2 و α_3 و برای تعیین زوایای طولی در راستای محور xها از ضرایب βx_1، βx_2 و βx_3 و برای تعیین زوایای عرض در راستای محور yها از ضرایب βy_1، βy_2، βy_3 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:

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

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)

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

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 تعین 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:

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

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

$$\cos\beta_{y1} = \frac{w - b_o - b_v}{y_1} = \frac{2{,}550}{\sqrt{1{,}600^2 + 3{,}000^2 + 2{,}550^2}} => \beta_{y1} = 53{,}13°$$

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

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

فاصله مستقیم میان نقطه اتصال نصب‌شده در گرانیگاه تجهیزات x_2در 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.

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

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

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

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

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:

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

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

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

در رابطه شماره ۱۰ مقدار y_3 به‌صورت قیاسی و بر اساس رابطه y_2 به دست می‌آید.

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 ۹ و ۱۰ داریم:

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

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

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

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 ازآنجاکه فرایند ایمن‌سازی تجهیزات نظامی در واگن‌های قطار در جهت محور yها، 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 سُر 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 نگه‌دارنده‌ی 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 daN خواهد بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

حمل‌ونقل 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 سُر خوردن و واژگونی تجهیز 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 ذکرشده، این شیوه می‌تواند مکمل سایر روش‌های استحکام باشد در نتیجه با استفاده از ابزارهای ایمن‌سازی، ضریب امنیت واگن و تجهیز 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 ۳۰ درجه نسبت به گوشه‌های واگن، می‌تواند تجهیز نظامی را برابر تکانه‌های طولی و عرضی حفاظت می‌نماید. ایجاد چنین زاویه‌ای می‌تواند با ایجاد سایر مقادیر زاویه‌ای داده‌های ورودی محاسبات را برای α, β_X, β_Y فراهم نماید. کاهش زاویه خط مهار به زیر مقدار ۳۰ درجه سبب افزایش کشیدگی مهارهای تسمه‌ای شده و درنتیجه نیروی F_R متناسب با زوایای α ، βx، βY افزایش می‌یابد. بنابراین رعایت مقدار استاندارد توصیه‌شده برای بزرگی زاویه مزبور، می‌تواند به ارتقای ایمنی حمل‌ونقل تجهیز نظامی و افزایش طول عمر مهارهای تسمه‌ای شود. با استفاده ازاین‌رویکرد تا حدود قابل‌ملاحظه‌ای در منابع مالی تخصیص‌یافته 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.