

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

محسن پورسید آقایی (مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه مهندسی حمل و نقل ریلی، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت

ایران، تهران، ایران

E-mail: maghaee@iust.ac.ir

نرجس شمس، کارشناسی ارشد، گروه مهندسی حمل و نقل ریلی، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی عوامل موثر بر گسیختگی قلاب واگن های باری در بازه سال های ۱۳۹۰-۱۴۰۱ در شبکه ی ریلی جمهوری اسلامی ایران با الهام از متدولوژی داده کاوی CRISP-DM و ترکیبی از داده های مختلف با روش های آماری و مدلسازی دو جمله ای منفی در نرم افزار IBM SPSS22 انجام شده است. پس از مدلسازی برای اعتبارسنجی آماری این مدل از آزمون T-test و اعتبارسنجی فنی از نظرات کارشناسان این حوزه استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان دهنده آن است که در حمل و نقل ریلی باری هنگامی که قلاب واگن جلو از نوع SA3 باشد ۵,۱۰۹ منجر به افزایش حوادث گسیختگی و اگر قلاب واگن جلو از نوع زنجیری تبدیلی به SA3 باشد به میزان ۹۲,۲٪ منجر به کاهش این حوادث می گردد. از جمله مهم ترین عوامل موثر بر افزایش حوادث گسیختگی قلاب واگن های باری، واگن های مخزن دار، واگن های متعلق به راه آهن ج.ا.ا، افتادگی خط، قطارهای دارای ۳۸-۴۷ واگن و بوژی Y25 می باشد. همچنین از عوامل موثر بر کاهش این حوادث می توان به قلاب یونی کوپلر، واگن لبه کوتاه و قلاب چرخان LF اشاره نمود.

واژه های کلیدی: ایمنی سیر و حرکت، فراوانی گسیختگی قلاب، مدل دو جمله ای منفی، واگن های باری

۱. مقدمه

از دیگر پیامدهای گسیختگی قلاب واگن‌های باری خروج از خط است. به طور کلی علل خروج از خط قطارهای باری در ۴۸ گروه تقسیم می‌شود که خروج از خط به علت گسیختگی و خرابی قلاب واگن‌های باری از نظر فراوانی در جایگاه ۱۲ قرار دارد. به عنوان مثال در تاریخ دوم مرداد سال ۱۴۰۲ در ایستگاه نیک پی راه آهن شمال غرب به دلیل گسیختگی، پنج واگن باردار متعلق به شرکت بهتاش سپاهان از خط خارج و به دنبال آن خط مسدود گردید. (بوذری، ۱۳۹۸)

پیامد دیگر گسیختگی قلاب واگن‌های باری کاهش ایمنی در حمل کالاهای خطرناک است که این امر می‌تواند پیامدهای جانی و زیست محیطی بسیاری به دنبال داشته باشد. به عنوان مثال در تاریخ ۲۶ ژانویه ۲۰۲۱ خرابی کلید متقاطع قلاب انتهایی ۳۹ امین واگن یک قطار ملی کانادا منجر به رها شدن قلاب و خروج از خط گردیده است. این در حالی است که هشت واگن از این قطار حامل مواد خطرناکی بودند که این مواد به دلیل خروج از خط واگن‌ها شعله‌ور شده و بزرگراه مجاور به مدت پنج روز در طول پاکسازی مسدود گردید.

همان طور که از حوادث مذکور مشخص است مجموعه ای از علل و عوامل در گسیختگی قلاب واگن‌های باری موثر است. تکرار این حوادث می‌تواند منجر به کاهش اعتماد عمومی به سیستم حمل و نقل ریلی شده و کاهش جایه جایی بار و مسافر را به دنبال داشته باشد. در شبکه راه آهن جمهوری اسلامی ایران نسبت شبه حوادث گسیختگی به شبه حوادث باری به شرح نمودار (۱) است. با توجه به این نمودار از سال ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸ یک روند کاهشی در نرخ وقوع این شبه حوادث وجود داشته است؛ اما از ۱۳۹۹ این روند بیش از ۲۰ درصد رشد داشته و در سال ۱۴۰۱، ۴۱،۰۷ درصد از شبه حوادث باری در حمل و نقل ریلی از نوع گسیختگی قلاب واگن‌های باری بوده است.

حمل و نقل ریلی به عنوان یکی از قدیمی‌ترین و کارآمدترین روش‌های جابجایی کالا و مسافر در سطح جهانی، نقش بسیار مهمی در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها ایفا نموده و با استفاده از ریل‌ها و واگن‌ها، امکان جابجایی سریع و ایمن بار و مسافر را فراهم می‌نماید. به همین دلیل بسیاری از کشورها به سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های ریلی و بهبود شبکه‌های حمل و نقل ریلی خود پرداخته‌اند. (van de Velde, 2015)

با این حال، سیستم حمل و نقل ریلی نیز با چالش‌ها و مشکلات خاص خود مواجه است که می‌تواند بر ایمنی و کارایی آن تأثیر بگذارد. در حال حاضر یکی از رایج‌ترین انواع خطراتی که ایمنی سیر و حرکت در حمل و نقل ریلی را به مخاطره می‌اندازد انفصال قطار و گسیختگی قلاب واگن‌های باری است. در مفاهیم ایمنی این رویداد به عنوان یک شبه حادثه^۱ تلقی می‌شود. در وسایل حمل و نقل ریلی، کوپلینگ، قلاب^۲ یا سیستم اتصال دهنده، متشکل از لوازم و قطعاتی است که اتصال دو واگن مجاور به یکدیگر و یا اتصال واگن به کشنده را امکان پذیر می‌سازد. به این ترتیب هر واگن در هر یک از دو انتهای خود مجهز به یک سیستم اتصال یا کوپلینگ است که معمولاً هر دو از یک نوع هستند. این مکانیزم در هر انتهای یک وسیله نقلیه راه‌آهن قرار گرفته و آن‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند تا یک قطار را تشکیل دهند. کوپلر قطار نه تنها واگن‌ها را به هم متصل می‌کند، بلکه ضربه‌های ناشی از ترمز را نیز جذب می‌کند.

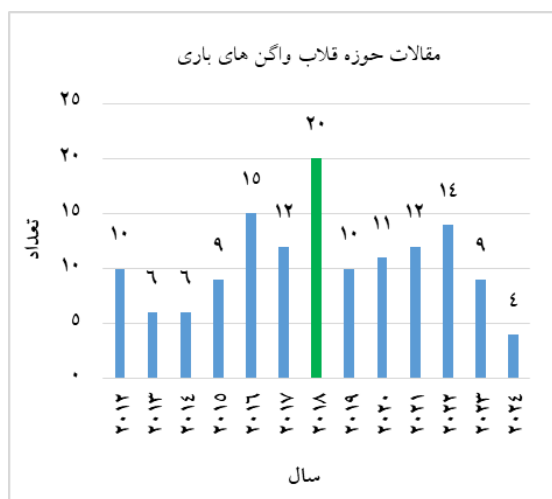
گسیختگی قلاب در حمل و نقل ریلی یک چالش جدی است که می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای به دنبال داشته باشد. یکی از پیامدهای گسیختگی، برخورد قطار با واگن‌های جامانده در مسیر است. به عنوان مثال در سال ۱۳۹۸، در میان ایستگاه خراسانک و شیخ صفی ۲۲ واگن مخزن‌دار خالی از یک قطار باری جدا شده و با یک قطار مسافری برخورد نموده است. در اثر این برخورد لکوموتیو قطار مسافری از رده خارج گردید.

(بوذری، ۱۳۹۸)

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

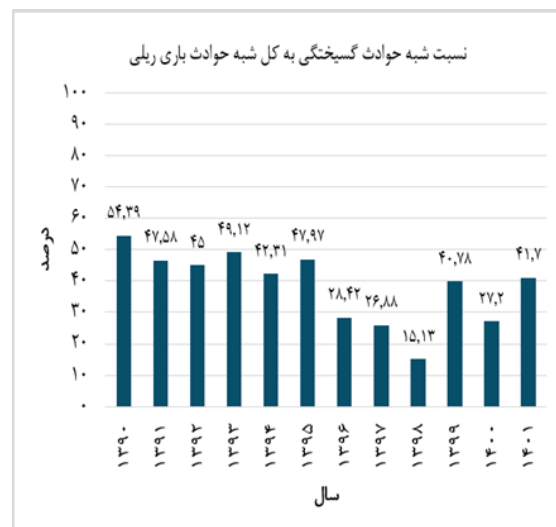
خرابی قلاب ها و علل آن و پ: سایر پژوهش ها شامل مسائل اقتصادی و مالی تقسیم می شود.

همانطور که نمودار (۲) نشان می دهد از سال ۲۰۱۴ با گسترش فراینده تجارت جهانی و توسعه ابزارهای جمع آوری و تحلیل داده چاپ مقالات در حوزه قلاب واگن های باری افزایش داشته است. بیشترین تعداد مقاله در این حوزه در سال ۲۰۱۸ (۲۰ مقاله) به چاپ رسیده است. به دلیل پیشرفت الگوریتم های تحلیل داده و رشد چاپ مقالات از سال ۲۰۱۲ بازه دقیق مورد بررسی سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۴ می باشد که در این بازه ۱۳۸ مقاله به چاپ رسیده است.



شکل ۲. روند چاپ مقالات در حوزه قلاب واگن های باری

تجزیه و تحلیل عملکرد و ایمنی قلاب واگن های باری یک موضوع مهم در زمینه حمل و نقل ریلی می باشد. افزایش میزان انتشار مقالات از سال ۲۰۱۴ نشان دهنده شناخت روز افزون اهمیت پژوهش در این حوزه است. با توجه به مزیت های استفاده از حمل و نقل ریلی در حمل بار و رشد روز افزون استفاده از واگن های باری حفظ و افزایش ایمنی در این حوزه حائز اهمیت می باشد. در همین راستا و با توسعه و پیشرفت ابزارهای جمع آوری و تحلیل داده جریان پیوسته انتشار، یافته های تحقیقاتی مورد انتظار خواهد بود. در ادامه تعدادی از مقالات قلاب واگن های باری مورد بررسی قرار می گیرد:



شکل ۱. نسبت شبه حوادث گسیختگی به کل حوادث باری ریلی

آنچه که مسلم است بهبود و توسعه ایمنی در سیر و حرکت شبکه حمل و نقل ریلی و کاهش شبه حوادث گسیختگی و به دنبال آن حوادث زنجیره ای ناشی از گسیختگی نیازمند شناخت کامل مشکلات و نارسایی های موجود، شناسایی عوامل موثر بر گسیختگی قلاب، شرح دقیق و کامل حوادث گذشته و تحلیل آنها است. تا زمانی که دست اندرکاران و متصدیان ایمنی این صنعت اطلاع لازم و کافی از وضعیت جزئیات حوادث و عوامل موثر بر وقوع آنها را نداشته باشند، انجام اقدامات و توسعه سیستم های ایمنی امری نشدنی و یا بیهوده خواهد بود. به همین علت پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تحلیل علل وقوع حوادث گسیختگی قلاب واگن های باری در راه آهن جمهوری اسلامی ایران به منظور افزایش آگاهی نسبت به این حوادث، جلوگیری از وقوع آنها در آینده و ارتقای سطح ایمنی انجام شده است.

۲. ادبیات پژوهش

با توجه به بررسی های انجام شده در پایگاه های استنادی و ایرانداک تاکنون هیچ پژوهشی در زمینه گسیختگی قلاب واگن های باری انجام نشده است و مجموعه پژوهش ها در این حوزه در سه گروه الف: طراحی، تست، شبیه سازی نیروهای دینامیکی و طرح های نوآورانه، ب: ایمنی، تصادفات و تحلیل

می‌توان به صورت پیوسته وضعیت قلاب‌ها را پایش نمود و از بروز مشکلات احتمالی جلوگیری کرد (Ran et al., 2024). 59% خرابی قلاب‌های واگن باری در $\frac{1}{3}$ ابتدای قطار و 26% بین لکوموتیو و واگن اول اتفاق می‌افتد. به منظور جلوگیری از این حوادث و افزایش ایمنی میان لکوموتیو و واگن اول بررسی پاسخ دینامیکی قلاب و تاثیر آن بر ایمنی لکوموتیو در حال حرکت امری ضروری است. در همین راستا در سال 2023 Marija Vukšić Popović و همکاران، پژوهشی با هدف شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های قلاب بین واگن اول و لکوموتیو در زمان حرکت انجام دادند. در این پژوهش پاسخ دینامیکی قلاب و تاثیر آن بر ایمنی در حال حرکت لکوموتیو تحت شرایط ترمز اضطراری در خط مستقیم و شرایط ترمز در شیب طولانی شبیه‌سازی گردید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که قلاب flat pin برای لکوموتیوهای سنگین مناسب‌تر است، اما در زمان استفاده از این قلاب فرآیند بازرسی اصطکاک روی سطح قلاب باید بهبود یابد. همچنین نصب دستگاه توقف اضطراری عمودی⁵ به منظور جلوگیری از حوادث ناشی از انفصال قطار پیشنهاد می‌گردد. (Marija Vukšić Popović, 2023) با توجه به این که قلاب‌ها نقش کلیدی در ایمنی سیر و حرکت قطارها ایفا می‌نمایند بررسی خرابی‌های جزئی و پیش‌بینی روند رشد آن‌ها نقشی موثر در افزایش ایمنی سیر و حرکت دارد. در همین راستا در سال 2023 Chao Wang و همکاران چارچوب کلی عمر مفید باقیمانده⁶ (RUL) برای پیش‌بینی انتشار ترک در قلاب‌ها را ارائه نمودند. در این پژوهش برای ترک‌های نامرئی، از ویژگی‌های مشترک اجسام با در نظرگیری مرحله انتشار ترک به‌عنوان زمان تأخیر، ترکیب توزیع آماری و آزمون فرضیه استفاده شده است. سپس برای حالت ترک‌های قابل مشاهده، روش‌هایی مبتنی بر رگرسیون بردار پشتیبان⁷ با فیلتر کالمن⁸ با در نظر گرفتن وضعیت فعلی و ویژگی‌های تخریبی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که چارچوب پیشنهادی روند رشد ترک داخلی قلاب واگن‌های راه‌آهن را به درستی پیش‌بینی می‌

در حال حاضر در سراسر جهان طیف گسترده‌ای از سیستم‌های قلاب اتوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما قلاب AAR³ (Janney) یا قلاب استاندارد محبوب‌ترین آن‌ها است. به همین دلیل بررسی تأثیر ویژگی‌های قلاب AAR بر برآورد نیروهای داخلی قطار حائز اهمیت است. عدم کنترل و مدیریت نیروهای طولی داخل قطار که از طریق سیستم‌های قلاب به بدنه منتقل می‌شوند، منجر به خرابی‌های در حال اجرا و ساختاری وسایل نقلیه می‌گردد. در همین راستا Om Prakash Yadav و همکاران در سال 2022 نیروهای داخلی قطار دارای این نوع قلاب‌ها را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش یک سیستم قلاب (یک سیستم شامل تنها دو واحد قلاب)، که دو وسیله نقلیه متوالی را به هم متصل می‌کنند، مدل‌سازی می‌شود. سیستم در نظر گرفته شده در یک انتها ثابت شده است و یک نیروی محرک در انتهای دیگری اعمال می‌شود تا انتقال نیروی نسبی را از طریق سیستم قلاب شبیه‌سازی کند. نتایج شبیه‌سازی به‌دست‌آمده از این سیستم نشان می‌دهد که اثر ترکیبی اینرسی قلاب‌ها، تأثیرات متناوب بین آن‌ها و نیروی طولی وارد شده به بدنه به طور قابل توجهی بالاتر از آن چیزی است که با استفاده از مدل‌های موجود شبیه‌سازی نیروهای قلاب پیش‌بینی شده است. بنابراین، برآورد دقیق نیروی واکنش دنده و نیروهای ضربه بین قلاب‌ها برای طراحی اجزای واگن و قلاب‌ها ضروری است. (Yadav & Vyas, 2023)

پایش مستمر نیروهای وارده از قلاب به بدنه به منظور پیش‌بینی ایجاد آسیب بر روی قلاب و به دنبال آن انفصال قطار مستلزم صرف هزینه بسیار زیادی است. بنابراین، توسعه یک روش اندازه‌گیری غیر مستقیم نیروی طولی قلاب امری ضروری است. در همین راستا در سال 2024 Xiangrui Ran و همکاران پژوهشی با هدف شناسایی نیروهای وارده به قلاب و نیروهای طولی انجام دادند. در این پژوهش یک مدل جدید CNN-ELM⁹ به جای استفاده از کرنش‌سنج برای شناسایی دقیق و کارآمد نیروهای قلاب ارائه گردید. با استفاده از این روش

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

به تدریج آسیب می‌بینند و عواملی مانند وزن قطار، سرعت حرکت و وضعیت ریل‌ها بر میزان آسیب دیدگی اتصالات تاثیرگذار هستند.

۲-۱ نوآوری پژوهش

با توجه به بررسی‌های انجام شده تاکنون هیچ پژوهشی در زمینه شناسایی و تحلیل علل موثر بر گسیختگی قلاب واگن‌های باری انجام نشده است. با توجه به اینکه گسیختگی قلاب در صورتی که منجر به خروج از ریل نگردد در موارد کمی ثبت شده و پایگاه داده جامعی ندارد همین امر سبب شده است که از مطالعه و پژوهش در حوزه گسیختگی قلاب واگن‌های باری اجتناب گردد. ایجاد یک پایگاه داده مناسب برای گسیختگی قلاب واگن-های باری می‌تواند در رفع این خلاء مطالعاتی موثر بوده و گام نخست در جهت افزایش پژوهش در حوزه‌ی گسیختگی قلاب واگن‌های باری در نظر گرفته شود همچنین با افزایش این داده‌ها در مرور زمان استفاده از مدل‌های پیشرفته برای پیش بینی گسیختگی قلاب‌ها امکان پذیر می‌گردد.

۳. روش پژوهش

۳-۱ مدل رگرسیون خطی ساده

اگر برای شناسایی و پیش‌بینی متغیر وابسته فقط از یک متغیر مستقل استفاده شود، مدل را «رگرسیون خطی ساده» می‌گویند. فرم مدل رگرسیون خطی ساده به صورت زیر است:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1)$$

علی‌رغم سهولت به کارگیری رگرسیون خطی به عنوان ساده‌ترین شکل از انواع مدل‌های رگرسیون، استفاده از رگرسیون خطی در مدلسازی تصادفات مناسب نیست. عمده‌ترین محدودیت موجود در چنین مسائلی، نرمال نبودن توزیع و معنادار نبودن مقادیر منفی در متغیر پاسخ می‌باشد. با توجه به این دلایل نمی‌توان از رگرسیون خطی استفاده نمود. بنابراین پژوهشگران در سال‌های اخیر از مدل‌های دیگری استفاده نموده‌اند. مطابق انتظار در اکثر مواقع به علت ماهیت شمارشی فراوانی تصادفات،

نماید که ارزش نظری و عملی مهمی برای ارزیابی یکپارچگی، پیش‌بینی عمر و قابلیت اطمینان قلاب‌ها دارد. (Wang et al., 2023)

در سال ۲۰۱۲ Xiang Liu و همکاران علل خروج از خط واگن‌های باری را مورد بررسی قرار دادند. این پژوهش ۴۸ علت را به عنوان علل عمده و اصلی خروج از ریل واگن‌های باری عنوان نمود که خروج از ریل به علت گسیختگی قلاب واگن در جایگاه ۱۲ قرار دارد. همچنین این پژوهش نشان دهنده‌ی آن است که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ ۳٫۲۸٪ از خروج ریل واگن‌های باری به علت گسیختگی قلاب واگن‌ها بوده است. با توجه به اینکه خروج از ریل یک حادثه^۹ (نه شبه حادثه^{۱۰}) به شمار می‌رود دارای یک پایگاه داده ای جامع در اداره فدرال راه آهن ایالات متحده آمریکا (FRA^{۱۱}) است. با بررسی داده‌های خروج از ریل پایگاه FRA در بازه ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ این آمار به ۴٫۶۲٪ رسیده است. که نشان دهنده‌ی افزایش خروج از ریل واگن‌های باری به علت گسیختگی قلاب واگن‌های باری است. (Zhang et al., 2021)

در سال ۲۰۲۳ Marija Vukšić Popović و همکاران علل خرابی قلاب‌های پیچ دار و دنده‌های کششی^{۱۲} را با آمار توصیفی مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش روش ساخت و طراحی با ۵۸٪ مهم‌ترین عامل خرابی قلاب‌ها بوده است. در قسمت بحث این مقاله، پژوهش در حوزه‌ی انفصال قطار به علت خرابی قلاب‌ها و سایر اجزای قطار برای تحقیقات آتی پیشنهاد شده و آن را عاملی در جهت افزایش ایمنی سیر و حرکت می‌داند. (Marija Vukšić Popović, 2023)

در سال ۲۰۲۴ Vaidas Lukoševičius و همکاران خرابی‌های قلاب SA3^{۱۳} را مورد بررسی قرار دادند. هدف این مقاله بررسی پایداری و عمر مفید قلاب SA3 تحت بارهای مختلف است. محققان این پژوهش یک مدل کامپیوتری سه بعدی از اتصالات ایجاد کردند تا بتوانند رفتار این اتصالات را تحت بارهای مختلف شبیه‌سازی کنند. نتایج این پژوهش نشان دهنده آن است که قلاب SA3 در طول زمان و تحت بارهای تکراری

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال شانزدهم / شماره سوم (۶۴) / بهار ۱۴۰۴

توزیع پواسون برازش بهتری بر روی مقادیر خواهد داشت.

۲-۳ مدل رگرسیون پواسون

رگرسیون پواسون^{۱۵}، یک روش در «مدل‌های خطی تعمیم یافته»^{۱۶} محسوب می‌شود که در آن تابع احتمال برای «متغیر پاسخ»^{۱۷} توزیع پواسون^{۱۸} است. این مدل به خاطر ماهیت گسسته، شمارشی و همچنین غیر منفی خود برازش بهتری بر روی داده‌های تصادفات خواهد داشت. (Hayter, 2012)

ضرایب حاصل از به کارگیری مدل پواسون بر اساس روش برآورد درست‌نمایی بیشینه^{۱۹} تخمین زده خواهد شد. رابطه مورد نظر جهت تخمین مقادیر برابر است با:

$$P(y_i) = \frac{e^{(-\lambda_i)}(\lambda_i^{y_i})}{y_i!} \quad (2)$$

در این رابطه $P(y_i)$ احتمال اختیار نمودن $0, 1, 2, 3, \dots, n$ برای سال i ام و λ_i پارامتر مدل پواسون است که به صورت زیر تعریف شده است:

$$\lambda_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)} \quad (3)$$

که این رابطه به صورت رابطه ۴ قابل نوشتن است:

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (4)$$

x_i در این رابطه نمایانگر متغیرهای مستقل و ضرایب β_i مربوط به مقادیر تخمین زده شده از مدل است. این ضرایب از روش برآورد درست‌نمایی بیشینه تخمین زده می‌شود. تابع احتمال برای مدل رگرسیون پواسون به صورت رابطه ۵ است:

$$L(\beta) = \prod_i \frac{\exp[-\exp(\beta x_i)] [\exp(\beta x_i)]^{y_i}}{y_i!} \quad (5)$$

از آنجا که فرض برابری میانگین و واریانس در توزیع پواسون به عنوان فرض اساسی تلقی می‌گردد عدم توجه به پراکنش داده‌ها می‌تواند خطای مهمی در نتایج پیش‌بینی مدل وارد نماید. در اکثر مسائل مربوط به پیش‌بینی تصادف به خاطر وجود تعداد زیاد صفر در داده‌ها به طور طبیعی پراکنش داده‌ها، به طبع آن واریانس مقادیر از میانگین بیشتر هست. به همین سبب در سال‌های اخیر مدل دو جمله‌ای منفی به عنوان مدلی مناسب جهت

پوشش محدودیت مذکور به کار گرفته شده است. (Austin & Carson, 2002)

۳-۳ مدل رگرسیون دو جمله‌ای منفی

همانطور که اشاره گردید با توجه به عدم محدودیت تساوی میانگین و واریانس در مدل دو جمله‌ای منفی، این مدل برای داده‌های تصادفات با پراکنش زیاد مناسب است. در واقع در مدل دو جمله‌ای منفی با اضافه شدن یک عبارت خطای توزیع شده گاما برای همه متغیرها به مساله اجازه خواهد داد تا میانگین و واریانس با هم برابر نباشد. (Fan et al., 2016)

مطابق رابطه ۷ در مدل دو جمله‌ای منفی، α انحراف موجود میان واریانس و میانگین را توضیح خواهد داد. در صورتی که مقدار آن به صفر نزدیک باشد مدل دو جمله‌ای منفی به پواسون تبدیل خواهد شد. (Austin & Carson, 2002)

$$\log \lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (6)$$

$$\text{var}[Y_i] = E[Y_i][1 + \alpha E[Y_i]] \quad (7)$$

۴-۳ قلاب

در راه آهن ایران قلاب‌ها به دو دسته‌ی اتوماتیک و غیر اتوماتیک تقسیم می‌شوند. تفاوت این دو در آن است که جهت اتصال نوع اتوماتیک نیاز به نیروی انسانی نبوده و با توجه به حرکت و ضربه‌ی یک واگن به واگن مقابل خود، اتصال برقرار می‌گردد ولی در نوع غیر اتوماتیک، اپراتور مسئول این کار می‌بایست تجهیزات لازم را، جهت اتصال در مقر خود قرار دهد.

۳-۴-۱ قلاب غیر اتوماتیک

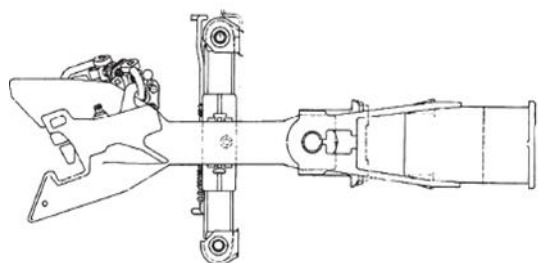
سیستم‌های اتصال دهنده‌ی غیر اتوماتیک، دارای ساختمان نسبتاً ساده‌ای بوده و اتصال و انفصال آن از دیگر اتصالات، توسط نیروی انسانی انجام می‌شود. در حال حاضر این نوع اتصال، با توجه به محدودیت‌های کاربردی، در واگن‌های جدید نصب نشده و صرفاً در واگن‌هایی که تا پایان دهه‌ی ۱۳۶۰ وارد ناوگان باری ایران شده‌اند، مشاهده می‌شود که تعدادی از آنها نیز با سیستم اتصال اتوماتیک جایگزین شده است. این سیستم

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

قلاب کشش واگن روبرو را به آن متصل کرده و مورد استفاده قرار داد.



شکل ۴. شماتیک قلاب یونی کوپلر و مکان قرارگیری گهواره



شکل ۵. قلاب یونی کوپلر

• ویلسون^{۲۱}

این قلاب نیز همچون یونی کوپلر قابلیت اتصال به قلاب-های کشش را داراست. یکی از تفاوت های بارز این سیستم با نوع یونی کوپلر در آن است که نوع ویلسون فقط دارای یک زبانه بوده و در نتیجه به هر علتی زبانه به عقب هل داده شود، امکان آزادسازی اتصال وجود دارد.



شکل ۶. قلاب ویلسون

• SA3

این نوع سیستم اتصال از لحاظ شکل ظاهری شبیه به نوع ویلسون است ولی از لحاظ ساختمان و عملکرد با آن تفاوت دارد. این کوپلینگ در اصل ساخت کشور امریکا و تابع

اتصال از آنجایی که صرفاً نیروهای کششی را تحمل می-کند، به قلاب کششی نیز معروف است. لذا در کنار کوپلینگ های غیر اتوماتیک، مجموعه های دیگری به نام تامپون یا ضربه گیرهای جانبی استفاده شده و روی سرشاسی نصب می شوند. وظیفه ی ضربه گیرها جذب ضربات فشاری از واگن مقابل است. عموماً در آغاز حرکت واگن و جهت غلبه بر نیروهای مقاوم در برابر شروع حرکت، نیروی زیادی لازم است که این امر می تواند منجر به ایجاد ضربه (شوک) گردد. وظیفه ی این بخش، به طور خلاصه، جذب انرژی ضربه ای (که به قسمت جلویی کوپلینگ وارده شده) و انتقال نیرو به شاسی واگن می باشد.



شکل ۳. قلاب زنجیری کششی^{۲۰} همراه با بافر

۳-۴-۲ قلاب اتوماتیک

با گسترش و توسعه ی صنعت حمل و نقل، افزایش تعداد ایستگاه واگن های باری، سخت و نایمن بودن اتصال و انفصال واگن ها به صورت دستی و بدون در نظر گرفتن مساله ی زمان، ساخت و استفاده از قلاب های اتوماتیک رونق گرفت. در حال حاضر در ناوگان باری راه آهن ایران سه دسته قلاب اتوماتیک مورد استفاده قرار می گیرد:

• یونی کوپلر

این نوع قلاب ها مرسوم ترین سیستم اتصال اتوماتیک است. خصوصیت بارز این نوع اتصالات، امکان اتصال شلنگ های هوا و کابل های برق به صورت اتوماتیک و همزمان با اتصال قلاب و استفاده از تجهیزات موسوم به گهواره است. از مشخصه های دیگر این سیستم، نحوه اتصال آن است که روی کلگی قلاب بخش چنگکمانندی تعبیه شده که در موارد لزوم می توان زنجیر

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال شانزدهم / شماره سوم (۶۴) / بهار ۱۴۰۴

حوادث ذکر شده و مشورت با کارشناسان ایمنی و واگن، منظور از واگن جلو و واگن پشت در داده ها، محوریت قلاب در مرکز و از پشت اولین لکوموتیو است.

در این پژوهش ۸۰ متغیر برای ۴۱۱ حادثه شناسایی گردید. با توجه به اینکه تاکنون هیچ پژوهشی در حوزه شناسایی و مدلسازی عوامل موثر بر گسیختگی قلاب واگن های باری انجام نشده است با در نظر گیری مقالاتی که از نظر مفهومی به این موضوع نزدیک هستند، مفاهیم تئوری گسیختگی در مرکز آموزش راه آهن و جلسات با خبرگان ریلی تعداد ۳۴ متغیر همراه با متغیر پاسخ به عنوان متغیرهای اولیه انتخاب گردید که عبارتند از: تعداد وقوع در سال، منطقه، بلاک یا ایستگاه، روشنایی، زمان، دما، نوع ریل، نوع تراورس، محل وقوع (پل-تونل-مسیر-ترانشه)، قوس، شعاع قوس، شیب یا فراز، آخرین محل بازدید، نوع واگن جلو، نام شرکت/ مالک واگن جلو، شرکت سازنده واگن جلو، سال ورود واگن جلو، نوع بوژی واگن جلو، قلاب واگن جلو، بادار/غیر باردار واگن جلو، نوع واگن پشت، نام شرکت/ مالک واگن پشت، شرکت سازنده واگن پشت، سال ورود واگن پشت، نوع بوژی واگن پشت، قلاب واگن پشت، باردار/غیر باردار واگن پشت، تعداد واگن قطار، وزن قطار (تن)، طول قطار (متر)، سرعت مجاز (کیلومتر بر ساعت)، سرعت هنگام حادثه (کیلومتر بر ساعت)، عامل، علت

پیش از استفاده از این متغیرها لازم است استقلال بین آنها بررسی گردد زیرا وجود همزمان دو متغیر وابسته در مدل پیشنهادی، اعتبار مدل را کاهش داده و نتایج آن را غیرقابل اطمینان خواهد کرد. بدین منظور در این مرحله، با استفاده از نرم افزار SPSS ماتریس همبستگی متغیرهای اولیه ترسیم می شود. آزمون های همبستگی مختلفی برای انجام این فرآیند وجود دارد. داده های این پژوهش کیفی اسمی، چند سطحی و دارای سلول هایی با مقدار کمتر از ۵ می باشد. آزمون های همبستگی معروف در پژوهش های ایمنی در حمل و نقل ریلی پیرسون، اسپیرمن، خی دو، فیشر، فی، کرامر و لامبدا می باشد. (Hauer & The

استاندارد AAR^{۲۲} است که بعداً توسط کشور شوروی سابق توسعه و بهبود یافته و هم اکنون در کلیه کشورهای مشترک المنافع مورد بهره برداری می باشد که به همین دلیل به آن کوپلینگ روسی نیز گفته می شود. در سال های اخیر با توجه به ورود واگن های اکرایی و طرح روسی به ناوگان باری جمهوری اسلامی ایران، استفاده از این سیستم افزایش یافته است.



شکل ۷. قلاب SA3

۴. تحلیل داده ها

حوادث گسیختگی در این پژوهش در ایستگاه یا بلاک در خطوط اصلی ۱۸ منطقه از ۲۱ منطقه در شبکه راه آهن ایران در بازه زمانی سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ رخ داده است.

با توجه به اینکه در آمار و داده های موجود اطلاعاتی مبنی بر اینکه چندمین واگن بعد از لکوموتیو گسیخته شده است یا قطار دارای چند لکوموتیو است وجود ندارد در این پژوهش مطابق آنچه در گزارش حوادث ذکر شده و مشورت با کارشناسان ایمنی و واگن، منظور از واگن جلو و واگن پشت در داده ها، محوریت قلاب در مرکز و از پشت اولین لکوموتیو است.

۴-۱ پردازش و آماده سازی داده ها

حوادث گسیختگی در این پژوهش در ایستگاه یا بلاک در خطوط اصلی ۱۸ منطقه از ۲۱ منطقه در شبکه راه آهن ایران در بازه زمانی سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ رخ داده است. با توجه به اینکه در آمار و داده های موجود اطلاعاتی مبنی بر اینکه چندمین واگن بعد از لکوموتیو گسیخته شده است یا قطار دارای چند لکوموتیو است وجود ندارد در این پژوهش مطابق آنچه در گزارش

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

۵. متغیرهای عامل و علت با مقدار ۰,۰۱۳۵۶ به هم وابسته بودند. با توجه به اینکه متغیر علت در برگزیده عوامل نیز هست متغیر عامل از میان متغیرها حذف گردید. پس از بررسی خروجی نهایی اگر یکی از زیر متغیرهای علت به عنوان عامل موثر معرفی گردید می توان عامل را از روی علت به دست آورد.

۶. متغیر قلاب واگن جلو با متغیر قلاب واگن پشت با مقدار ۰,۰۳۱۴۵ به هم وابسته بودند. در اکثر حوادث این پژوهش قلاب واگن جلو و قلاب واگن پشت از یک نوع هستند. در موارد دیگر اگر قلاب واگن اول یونی کوپلر هست قلاب واگن دوم زنجیری تبدیلی به یونی کوپلر یا یونی کوپلر با رینگ فدر اتریشی یا پارسی هست. اگر قلاب واگن جلو از نوع SA3 هست، قلاب واگن پشت از نوع SA3 یا زنجیری تبدیلی به SA3 می باشد. اما در آرایش قطار امکان اتصال قلاب های متفاوت نیز وجود دارد.

۷. متغیر باردار بودن واگن جلو و باردار بودن واگن پشت با مقدار ۰,۰۱۶۵۴ به هم وابسته هستند که باردار بودن واگن جلو حذف گردید.

۸. متغیر قوس و شعاع قوس با مقدار ۰,۰۲۵۲۳ به هم وابسته اند به علت اینکه شعاع قوس نشان دهنده متغیر قوس نیز می تواند باشد متغیر قوس از میان متغیرها کنار گذاشته شد.

در نهایت ۲۵ متغیر مستقل (۲۶۰ متغیر ساختگی مستقل) نهایی برای ایجاد متغیرهای ساختگی جهت مدلسازی دو جمله ای منفی شناسایی گردید که عبارتند از: بلاک یا ایستگاه، زمان، دما، نوع واگن جلو، مالک واگن جلو، شرکت سازنده واگن جلو، سال ساخت واگن جلو، نوع بوژی واگن جلو، نوع قلاب واگن جلو، باردار/غیر باردار واگن جلو، نوع واگن پشت، مالک واگن پشت، شرکت سازنده واگن پشت، سال ساخت واگن پشت، نوع بوژی واگن پشت، تعداد واگن قطار، وزن قطار، طول قطار، سرعت هنگام حادثه، محل وقوع، شعاع قوس، مقدار شیب/افراز، نوع ریل، تراورس و علل.

(2015) برای داده های این پژوهش آزمون ضریب همبستگی لامبدا که یک آزمون ناپارامتریک مناسب برای داده های اسمی کم حجم و دارای دو سطح یا بیشتر می باشد انتخاب می گردد. در این مطالعه متغیر پاسخ برابر با تعداد حوادث گسیختگی قلاب واگن های باری رخ داده در هر سال می باشد که وابسته به عواملی هست که منجر به گسیختگی می گردد.

۴-۲ آزمون همبستگی لامبدا

این شاخص بیانگر آن است که با آگاهی از مقادیر متغیر مستقل، میزان دقت پیش گویی متغیر وابسته چقدر است. مقدار این آزمون بین صفر و یک در نوسان است. این آزمون در نرم افزار SPSS برای ۳۳ متغیر اولیه و یک متغیر پاسخ اجرا گردید. فاصله اطمینان داده ها ۹۵٪ در نظر گرفته شده است؛ این بدان معناست که بین هر دو متغیر که دارای عدد معناداری بیش از ۰,۰۵ باشد رابطه معناداری وجود نداشته و آن دو متغیر نسبت به هم مستقل است.

متغیرهای با مقدار کمتر از ۰,۰۵ عبارتند از:

۱. متغیر زمان حادثه و میزان روشنایی با ضریب معناداری ۰,۰۳۸۵ به هم وابسته هستند. از میان این دو با توجه به اینکه منظور از میزان روشنایی (تاریک، نیمه روشن، روشن) همان روشنایی محیطی بدون استفاده از چراغ و روشنایی مصنوعی است، متغیر میزان روشنایی حذف گردید.

۲. متغیر سرعت مجاز با سرعت هنگام حادثه با ضریب معناداری ۰,۰۳۶۵ به هم وابسته بودند از میان این دو، سرعت مجاز حذف گردید.

۳. متغیر منطقه و ایستگاه یا بلاک با مقدار ۰,۰۲۶۹۰ به هم وابسته بودند که از میان این دو، متغیر منطقه حذف گردید چون وقتی متغیر همه ی ویژگی های مسیر موجود است منطقه نیز توصیف می شود.

۴. متغیر آخرین محل بازدید و محل وقوع (تونل-پل-ترانشه-مسیر) با مقدار ۰,۰۱۲۵۰ به هم وابسته بودند از میان این دو محل وقوع انتخاب گردید.

۵. مدل‌سازی

مشاهدات، تابع درست‌نمایی که بیانگر احتمال بروز حادثه در سال i ام به تعداد y است به صورت رابطه ۸ نوشته می‌شود.

$$X_{j.z.i} = \begin{cases} 1 & \text{در حادثه سال } i \text{ ام در عامل } z \text{ متغیر رخ داده است.} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$L(\beta, \tau | y, x) = \prod_i^N P_i \quad (8)$$

P_i احتمال آن است که در سال i ام تعداد حادثه برابر با y باشد و مقدار N بیانگر تعداد کل حوادث مورد بررسی است.

$$\begin{aligned} L(\beta, \zeta | y, x) &= \prod_{j=1}^J \\ &= \prod_{y_i=j} p(y_i = j | x_i, \beta, \zeta_j) \\ &= \prod_{j=1}^J \prod_{y_i=j} F(\zeta_j - \beta x_i) - F(\zeta_{j-1} - \beta x_i) \end{aligned} \quad (9)$$

عبارت $\prod_{y_i=j}$ بیانگر ضرب خروجی تمام مشاهداتی هست که در آن‌ها y برابر با j است به منظور به دست آوردن ضریب مجهول می‌بایست از تابع درست‌نمایی لگاریتم طبیعی گرفته شود.

$$\begin{aligned} \ln L(\beta, \zeta | y, x) &= \sum_{j=1}^J \\ &= \sum_{y_i=j} \ln [F(\zeta_j - \beta x_i) - F(\zeta_{j-1} - \beta x_i)] \end{aligned} \quad (10)$$

با مشتق گرفتن از رابطه بالا نسبت به هر کدام از ضرایب $(\beta$ و $\zeta)$ می‌توان ضریب مجهول را بدست آورد. با قرار دادن هر کدام از این ضرایب در رابطه تابع درست‌نمایی برای تخمین ضرایب به دست می‌آید. در خروجی نرم‌افزار SPSS، ستون (B) در جدول Parameter Estimates، نشان دهنده‌ی ضرایب تخمینی است.

مدل دو جمله‌ای برازش داده شده بر روی داده‌ها در رابطه (۱۱) نشان داده شده است.

$$\mu_i = \exp\left(\alpha + \sum_{z=1}^p \sum_{j=1}^m \beta_j x_{jz i}\right) \quad (11)$$

$$i = 1, \dots, n$$

به طوری که μ_i تخمین فراوانی گسیختگی قلاب واگن‌های باری برای سال i ام می‌باشد؛

در این بخش فرآیند مدل‌سازی در نسخه ۲۲ نرم‌افزار IBM SPSS انجام خواهد شد.

در این پژوهش از ۷۰ درصد مشاهدات برای فرآیند مدل‌سازی، از ۳۰ درصد باقی مانده به منظور اعتبارسنجی آماری استفاده خواهد شد. اگر تمام داده‌ها برای آموزش استفاده شود، مدل ممکن است بیش از حد به ویژگی‌های خاص داده‌های آموزشی وابسته شود و در نتیجه در پیش‌بینی داده‌های جدید عملکرد ضعیفی داشته باشد. به طور تجربی تقسیم ۳۰/۷۰ یک روش استاندارد و موثر برای آموزش و ارزیابی است و تعادل خوبی بین آموزش مدل و ارزیابی آن برقرار می‌کند. این نسبت به مدل اجازه می‌دهد تا به اندازه کافی آموزش ببیند و در عین حال، عملکرد آن به طور دقیق ارزیابی شود. در این پژوهش از نظرات کارشناسان برای اعتبارسنجی فنی نتایج مدل‌سازی استفاده خواهد شد.

داده‌های مدل‌سازی شامل ۲۷۷ مشاهده مربوط به سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ و داده‌های تست شامل ۱۳۴ مشاهده از سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ می‌باشد.

در این مطالعه، به منظور حذف و جایگزینی متغیرها در مدل، از روش حرکت رو به عقب استفاده می‌شود. در این روش تمامی متغیرهای انتخابی در همان ابتدا وارد مدل می‌شوند. سپس متغیرهایی که در مدل معنادار نیستند، از مدل حذف می‌گردند. با توجه به اینکه تاکنون پژوهشی در زمینه شناسایی و مدل‌سازی عوامل موثر بر گسیختگی قلاب واگن باری انجام نشده است همچنین به دلیل محدودیت در پایگاه داده مشاهدات در این پژوهش میزان سطح معناداری ۰,۱۵ در نظر گرفته شده است. این بدان معناست که اگر مقدار معناداری یک متغیر بیشتر از ۰,۱۵ باشد، می‌توان آن متغیر را از مدل حذف کرد و در غیر اینصورت متغیر در مدل باقی می‌ماند.

در پرداخت مدل دو جمله‌ای منفی تخمین پارامترها با استفاده از روش درست‌نمایی بیشینه انجام می‌شود. با فرض استقلال

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

نشان می دهد. مقدار به دست آمده انحراف و پیرسون کای-دو نشان از برازش مناسب مدل بر روی داده های تصادفات مورد استفاده دارد. همانطور که در جدول ۳ مشخص شده است، مقدار ۱۴،۰۱۴ از تقسیم مقدار پیرسون کای دو بر درجه آزادی آن به دست آمده است. نزدیک بودن این عدد به مقدار مطلوب آن (برابر یک)، بیانگر انحراف کم و عملکرد مناسب مدل است.

جدول ۳. برازش مدل دو جمله ای منفی روی داده ها

معیار	مقدار	مقدار/درجه آزادی
انحراف	۱۴۹،۸۹۴	۱،۰۰۶
پیرسون کای دو	۱۵۱،۰۸۶	۱،۰۱۴
لگاریتم احتمال	-۴۲۷،۰۳۰	
معیار (AIC)	۳۱۲،۲۵۶	
معیار (BIC)	۳۸۰،۵۴۷	

در زمان اجرای فرآیند مدل سازی، مدل تعداد ۲۰ متغیر از ۲۶۲ متغیر را قبل از اجرای مدل حذف می نماید. متغیرهای دارای ضریب صفر نیز در نتایج پیش بینی تاثیر نداشته و از مدل حذف می گردد. براساس فاصله اطمینان ۰،۱۵ تمامی متغیرهای آورد شده اعم از ضریب ثابت مدل و ۱۰ متغیر اصلی (۲۶ متغیر ساختگی)، به طور معناداری در مدل تاثیرگذار هستند.

معنادار شدن ضریب ثابت در مدل نشانگر در نظر نگرفتن متغیرهای دیگری است که می تواند مقادیر قابل توجهی از متغیر پاسخ را توضیح دهد.

نتیجه ی مدل برازش داده شده در معادله (۱۲) نشان داده شده است.

$$Z = 1, \dots, p$$

$$i = 1401, \dots, 1390$$

$$j = 1, \dots, m$$

$$\beta_j = j \text{ ضریب تخمینی هر متغیر } j$$

$$\alpha = \text{ضریب ثابت}$$

۱-۵ ساخت مدل

در این مطالعه برای مدل سازی، از نسخه ۲۲ نرم افزار IBM SPSS استفاده می شود. در حوادث انتخابی تمامی متغیرهای اولیه وارد مدل می شوند. جدول (۱) داده های مدل سازی و اعتبارسنجی و جدول (۲) اطلاعات مدل را نشان می دهد.

جدول ۱. داده های مدل سازی

اطلاعات مدل	
متغیر پاسخ	تعداد حادثه به وقوع پیوسته در سال
توزیع احتمال	(NB-MLE) دو جمله ای منفی - حداکثر درست نمایی بیشینه
واریانس	۷،۵۲۹
میانگین	۴،۲۸

جدول ۲. اطلاعات مدل

داده ها	سال حادثه	تعداد	درصد
داده های مدل سازی	۱۳۹۰-۱۳۹۸	۲۷۷	۶۷،۴۰٪
داده های اعتبار سنجی	۱۳۹۹-۱۴۰۱	۱۳۴	۳۲،۶۰٪
مجموع	۱۳۹۰-۱۴۰۱	۴۱۱	۱۰۰٪

۲-۵ برازش و ارزیابی مدل

معیارهای متداول بررسی نیکویی برازش مدل پواسون و دو جمله ای منفی، مقدار انحراف مدل و پیرسون کای-دو است. معیارهای معرفی شده به صورت آماره ی χ^2 و $n-p$ درجه آزادی توزیع شده است که n تعداد نمونه و p تعداد متغیرهای ورودی به مدل هستند. اگر مدل رگرسیون درست و معتبر باشد، مقادیر مربوط به انحراف مقیاس بندی شده و پیرسون کای-دو مقیاس بندی شده $\frac{\chi^2}{df}$ می بایست برابر یک و یا نزدیک به یک باشد. همچنین در مقایسه میان مدل های مختلف می توان از این دو معیار، جهت انتخاب مدل بهتر استفاده نمود. جدول ۳ نتایج برازش مدل دو جمله ای منفی بر روی داده ها را

بلند بزرگتر است این نتیجه بدان معنا اشاره دارد که با وجود اینکه هر دو دارای ضریب مثبت هستند اما واگن‌های باری که واگن جلو از نوع مخزن‌دار است فراوانی حوادث بیشتری را به دنبال خواهند داشت. واگن لبه کوتاه دارای ضریب منفی است این بدان معناست که اگر در واگن‌های باری، واگن جلو از نوع لبه کوتاه باشد منجر به کاهش تعداد گسیختگی قلاب واگن‌های باری می‌گردد.

• سال ورود واگن جلو: در این متغیر سه زیر متغیر گروه ۱۳۶۲-۱۳۷۱، ۱۳۸۲-۱۳۹۱ و ۱۳۴۲-۱۳۵۱ معنادار شده است. مقدار ضرایب این سه متغیر به ترتیب برابر با ۰٫۸۱، ۰٫۷۵۶- و ۰٫۱۹۱ می‌باشد. دو گروه ۱۳۶۲-۱۳۷۱ و ۱۳۴۲-۱۳۵۱ دارای ضریب مثبت هستند یعنی اگر در یک قطار باری سال ورود واگن جلو در این دو گروه قرار داشته باشد فراوانی حوادث گسیختگی افزایش می‌یابد. ضریب تخمینی گروه ۱۳۶۲-۱۳۷۱ از گروه ۱۳۴۲-۱۳۵۲ بزرگتر است این نتیجه بدان معناست که واگن‌های باری که در این بازه وارد شبکه گردیده فرسوده است و دارای بیشترین تاثیر در فراوانی گسیختگی قلاب واگن‌های باری می‌باشد گروه ۱۳۸۲-۱۳۹۱ دارای ضریب منفی است یعنی واگن‌های باری این گروه منجر به کاهش تعداد گسیختگی قلاب واگن‌های باری می‌گردد.

• قلاب واگن جلو: در این متغیر پنج زیر متغیر قلاب SA3، یونی کوپلر، زنجیری تبدیلی به SA3، چرخان LAF و زنجیری تبدیلی به یونی کوپلر معنادار شده‌اند. مقدار ضرایب این چهار متغیر به ترتیب برابر با ۱٫۶۳۱، ۱٫۳۶۵-، ۲٫۵۵۷-، ۱٫۴۸۵- و ۱٫۴۸۰ می‌باشد. قلاب SA3 و زنجیری تبدیلی به یونی کوپلر دارای ضرایب مثبت هستند این موضوع بدین مطلب اشاره دارد که اگر در واگن‌های باری، واگن جلو دارای این دو قلاب باشد منجر به افزایش تعداد گسیختگی قلاب واگن‌های باری می‌گردد. ضریب تخمینی قلاب SA3 از زنجیری تبدیلی به یونی کوپلر بزرگتر است این نتیجه بدان معناست که با وجود اینکه هر دو دارای ضریب مثبت هستند

$$\mu_i = \exp(0.292 + 1.631X_{1.1.i} + 0.122X_{2.1.i} + 0.881X_{3.1.i} - 1.365X_{9.1.i} - 2.557X_{11.1.i} - 1.756X_{13.1.i} - 1.895X_{14.1.i} - 1.485X_{16.1.i} + 1.355X_{17.1.i} + 1.480X_{20.1.i} + 0.191X_{22.1.i} - 1.753X_{7.2.i} + 2.378X_{8.2.i} + 0.865X_{12.2.i} + 0.446X_{18.2.i} - 0.211X_{21.2.i} + 0.950X_{23.2.i} + 0.326X_{25.2.i} + 1.602X_{5.3.i} + 0.594X_{6.3.i} + 0.502X_{10.3.i} + 0.614X_{15.3.i} + 0.339X_{4.4.i} + 0.161X_{19.5.i} + 0.27X_{26.5.i} + 0.133X_{27.5.i}) \quad (12)$$

۳-۵ تحلیل ضرایب مدل

در این بخش ضرایب تخمینی مدل مطابق جدول ۴ تفسیر شده و تحلیل علل فنی و عملیاتی هر متغیر معنادار در بخش تحلیل حساسیت مورد بررسی قرار می‌گیرد. تحلیل ضرایب درون زیر متغیرهای هر متغیر و تحلیل حساسیت در کل مدل انجام می‌شود.

• نوع واگن جلو: در این متغیر، سه زیر متغیر واگن لبه بلند، لبه کوتاه و مخزن‌دار معنادار شده است. مقدار ضرایب این سه متغیر به ترتیب برابر با ۰٫۱۲۲، ۱٫۸۹۵- و ۱٫۳۳۵ می‌باشد. واگن لبه بلند و مخزن‌دار دارای ضریب مثبت هستند. این بدان معناست که اگر در واگن‌های باری واگن جلو از نوع لبه بلند یا مخزن‌دار باشد منجر به افزایش تعداد گسیختگی قلاب واگن‌های باری می‌گردد. ضریب تخمینی واگن مخزن‌دار از لبه

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

گردد. با توجه به ضرایب تخمینی، اگر واگن پشت از واگن های شرکت راه آهن ریل تراپر فجر و پرتو بار خلیج فارس باشد به ترتیب منجر به بیشترین کاهش در تعداد گسیختگی قلاب واگن های باری می شوند.

• بوژی واگن پشت: زیر متغیرهای معنادار در این متغیر بوژی سه تکه ۱۰۰-۱۸ و بوژی Y25 است. ضریب تخمینی این متغیرها به ترتیب ۰,۴۴۶ و ۰,۳۲۶ می باشد که نشان دهنده تاثیر مثبت در افزایش گسیختگی قلاب واگن های باری می باشد. با توجه به اینکه ضریب بوژی ۱۰۰-۱۸ از Y25 بزرگتر است بوژی ۱۰۰-۱۸ نسبت به Y25 تاثیر بیشتری در افزایش حوادث گسیختگی قلاب واگن های باری دارد.

• تعداد واگن قطار: تنها زیر متغیر معنادار در این متغیر گروه ۳۸-۴۷ واگن است که ضریب تخمینی آن ۱,۶۰۲ است که تاثیر مثبت این متغیر را در افزایش تعداد گسیختگی قلاب واگن های باری نشان می دهد.

• طول قطار: در این متغیر گروه ۴۶۰-۶۵۹ متر معنادار شده است ضریب تخمینی این متغیر ۰,۶۱۴ می باشد که نشان دهنده تاثیر مثبت در افزایش گسیختگی قلاب واگن های باری است.

• سرعت هنگام حادثه: در این متغیر دو گروه ۱۱-۲۰ و ۲۱-۳۰ معنادار شده است. ضریب تخمینی این دو گروه به ترتیب ۰,۵۰۲ و ۰,۵۹۴ است.

اما واگن های باری که واگن جلو دارای قلاب SA3 هست فراوانی حوادث بیشتری را به دنبال خواهند داشت. قلاب یونی کوپلر، زنجیری تبدیلی به SA3 و چرخان LAF دارای ضرایب منفی هستند باتوجه به این نتیجه اگر در واگن های باری، واگن جلو دارای یکی از این سه نوع قلاب باشد منجر به کاهش تعداد گسیختگی قلاب واگن های باری می گردد. با توجه به ضرایب تخمینی زنجیری تبدیلی به SA3، قلاب چرخان LAF و یونی کوپلر به ترتیب منجر به بیشترین کاهش در تعداد گسیختگی قلاب واگن های باری می شوند.

• مالک واگن پشت: در این متغیر پنج زیر متغیر راه آهن ریل تراپر فجر، راه آهن ج.ا.ا، پرتو تراپر پیشناز، پرتو بار خلیج فارس و راه آهن حمل و نقل معنادار شده اند. مقدار ضرایب این پنج متغیر به ترتیب برابر با -۱,۷۵۳، ۲,۳۷۸، ۰,۸۶۵، ۰,۲۱۱- و ۰,۹۵۰ می باشد. ضرایب راه آهن ج.ا.ا، پرتو تراپر پیشناز، پرتو بار راه آهن حمل و نقل مثبت است این بدان معناست که واگن های باری متعلق به این سه شرکت منجر به افزایش تعداد گسیختگی قلاب واگن های باری می گردد. با توجه به مقدار ضرایب تخمینی واگن های راه آهن ج.ا.ا، راه آهن حمل و نقل و پرتو تراپر پیشناز به ترتیب منجر به بیشترین تعداد گسیختگی قلاب واگن های باری می شوند. ضرایب راه آهن ریل تراپر فجر و پرتو بار خلیج فارس منفی است این بدان معناست که واگن های باری این دو شرکت منجر به کاهش تعداد گسیختگی قلاب واگن های باری می

جدول ۴. خروجی مدل دو جمله ای منفی

متغیر	تعریف متغیر	ضریب تخمینی (B)	EXP(B)	خطای استاندارد	%۹۵		آزمون فرض
					پایین	بالا	
ضریب ثابت		۰,۲۹۲			-۲,۷۴۹	۹,۳۳۳	۰,۰۲۸۵
نوع واگن جلو	لبه بلند	۰,۱۲۲	۱,۱۳	۰,۲۷۶	-۵,۱۲۹	۵,۳۷۲	۰,۰۹۶
	لبه کوتاه	-۱,۸۹۵	۰,۱۵	۰,۰۲۳۸	-۶,۵۷۶	۴,۷۸۶	۰,۰۴۳
	مخزن دار	۱,۳۳۵	۳,۷	۰,۰۲۷۴	-۳,۵۱۲	۶,۱۸۲	۰,۰۵۹
سال ورود واگن جلو	۱۳۵۱-۱۳۴۲	۰,۱۹۱	۱,۲۱	۰,۰۱۲۸	-۴,۳۶۲	۳,۹۸	۰,۰۹۳
	۱۳۷۱-۱۳۶۲	۰,۸۸۱	۲,۴۱۳	۰,۰۱۳۲	-۳,۴۷۱	۱,۷۰۹	۰,۰۵۱
	۱۳۹۱-۱۳۸۲	-۱,۷۶۲	۰,۱۷۳	۰,۰۱۹۱	-۵,۵۰۶	۲,۹۸۲	۰,۰۳۶

متغیر	تعریف متغیر	ضریب تخمینی (B)	EXP(B)	خطای ۹۵٪		آزمون فرض		
				پایین	بالا	p-value	درجه آزادی	
قلاب واگن جلو	SA3	۱,۶۳۱	۵,۱۰۹	۰,۰۱۵۲	-۴,۴۶۶	۲,۵۰۵	۰,۰۳۳	۱
	چرخان LF	-۱,۴۸۵	۰,۲۲۶	۰,۰۱۹۰۲	-۵,۲۱۳	۲,۲۴۲	۰,۰۴۳	۱
	زنجیری تبدیلی به یونی کوپلر	۱,۴۸۱	۴,۴۲	۰,۰۰۷۵	-۳,۱۰۹	۹,۱۵۳۲	۰,۰۳۱	۱
	زنجیری تبدیلی به SA3	-۲,۵۵۷	۰,۰۷۸	۰,۰۱۵۵	-۵,۸۰۷	۶,۶۵۲۳	۰,۰۷۶	۱
	یونی کوپلر	-۱,۳۶۵	۰,۲۵۵	۰,۰۱۵۲	-۵,۳۶۳	۳,۵۴۴۳	۰,۰۱۲	۱
	پرتو بار خلیج فارس	-۰,۲۱۱	۰,۷۹	۰,۰۱۳۹	-۲,۹۳۷	۲,۵۱۵	۰,۰۸۸	۱
	پرتو تراپر پیشتاز	۰,۱۶۵	۲,۳۷۵	۰,۰۲۹۱	-۱,۰۵۷	۶,۸۴۱	۰,۰۹۵	۱
مالک واگن پشت	راه آهن ریل تراپر فجر	-۱,۷۵۳	۰,۱۷۳۶	۰,۰۹۱	-۳,۵۴۵	۰,۰۳۹	۰,۰۵۵	۱
	راه آهن ج.ا.	۲,۳۷۸	۱۰,۷۸۳	۰,۰۰۸۸	-۳,۱۰۹	۰,۳۵۳	۰,۰۱۲	۱
	راه آهن حمل و نقل	۰,۹۵	۲,۵۸۶	۰,۰۰۵۸	-۱,۱۹۳	۱,۰۹۴	۰,۰۹۳	۱
	بوژی واگن پشت	۱۸-۱۰۰	۰,۴۴۶	۱,۵۶۲	۰,۰۰۸۵۳	-۱,۲۲۶	۲,۱۱۸	۰,۰۶
تعداد واگن قطار	Y25	۰,۳۲۶	۱,۳۸۵	۰,۰۰۵۴	-۱,۲۵۶۸	۰,۸۵۴	۱۳۷	۱
	۴۷-۳۸	۱,۶۰۲	۴,۹۶	۰,۰۰۷۰۶	-۰,۷۸۲	۱,۹۸۶	۰,۰۳۹	۱
طول واگن قطار	۶۹۵-۴۶۰	۰,۶۱۴	۱,۸۴۸	۰,۰۰۷۷	-۰,۹۱۱	۲,۱۳۹	۰,۰۴۳	۱
	Nov-۲۰	۰,۵۰۲	۱,۶۵۲	۰,۰۴۹	-۰,۴۶۹	۱,۴۷۲	۰,۰۳۱	۱
سرعت هنگام حادثه	۳۰-۲۱	۰,۵۹۴	۱,۸۱۱	۰,۰۰۴۷۸	-۰,۳۴۳	۱,۵۳۱	۰,۰۲۱	۱
	Sep-۱۲	۰,۳۳۹	۱,۴۰۴	۰,۰۰۲۸۳	-۰,۲۱۶	۰,۸۹۴	۰,۰۲۳	۱
علل	افتادگی خط	۰,۱۶۱	۱,۳۱	۰,۰۰۳۱۹	-۰,۷۸۶	۰,۴۶۴	۰,۰۶۱	۱
	خرابی زیانه قلاب	۰,۲۷	۱,۱۴	۰,۰۰۳۹	-۰,۶۳۴	۰,۵۸۸	۰,۱۰۱	۱
	شوک وارده به قطار	۰,۱۳۳	۱,۱۷۵	۰,۰۰۸۵۲	-۰,۰۲۴۵	۱,۵۵	۰,۱۴۵	۱

ضریب تخمینی این متغیر ۰,۳۳۹ می باشد که این بدان معناست که قطارهایی که در این شیب ها حرکت می کنند احتمال گسیختگی بیشتری دارند.

• علل: در مدل دو جمله ای برازش داده شده در این پژوهش، به ترتیب خرابی زیانه قلاب با ضریب تخمینی ۰,۲۷، افتادگی خط با ضریب تخمینی ۰,۱۶۱ و شوک وارده به قطار با ضریب تخمینی ۰,۱۳۳ از عوامل موثر در افزایش گسیختگی قلاب

• این بدان معناست که اگر یک قطار باری در این دو سرعت حرکت نماید احتمال وقوع حوادث گسیختگی واگن های باری افزایش می یابد. ضریب گروه ۲۱-۳۰ از گروه ۱۱-۲۰ بزرگتر است که نشان دهنده اهمیت بیشتر این گروه نسبت به گروه دیگر در افزایش حوادث گسیختگی قلاب واگن های باری است.

• شیب/فراز: در این متغیر تنها گروه ۹-۱۲ معنادار شده است.

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

واگن های باری است.

۴-۵ تحلیل حساسیت

در خروجی نرم افزار SPSS، ستون "Exp(B)" نشان دهنده‌ی میزان تغییر متغیر پاسخ به ازای افزایش یا کاهش متغیر مستقل است. وقتی Exp(B) کمتر از ۱ باشد، مقادیر افزایشی متغیر با کاهش احتمال وقوع رویداد مطابقت دارد و نشان دهنده‌ی رابطه‌ی معکوس میان متغیر پاسخ و متغیر مستقل است.

به دلیل اینکه ضرایب متغیرها به تنهایی نمی‌توانند مدل را توصیف کنند، برای بررسی میزان تاثیر متغیرها بر احتمال وقوع حوادث در هر سال، بر روی هر یک از متغیرها در نرم افزار SPSS تحلیل Exp(B) انجام می‌شود. این تحلیل نسبت به یک واحد افزایش در متغیر معنادار سنجیده می‌شود و مقادیر کوچکتر از یک نشان دهنده‌ی تاثیر کاهشی متغیر مستقل بر روی متغیر پاسخ دارد. نتایج تحلیل حساسیت در جدول (۴) نشان داده شده است.

در تحلیل Exp(B) از میان ۲۶ متغیر معنادار پنج متغیر واگن پشت متعلق به راه آهن ج.ا.ا، قلاب واگن جلو از نوع SA3، تعداد واگن ۳۸-۴۷، قلاب واگن جلو از نوع زنجیری تبدیلی به یونی کوپلر و واگن جلو از نوع مخزن‌دار از مهم ترین عوامل بروز شبه حوادث گسیختگی می‌باشد و به ترتیب با ۱۰,۷۸۳، ۵,۱۰۹، ۴,۹۶، ۴,۴۲ و ۳,۷ برابر احتمال وقوع گسیختگی را افزایش می‌دهند. هفت متغیر قلاب واگن جلو از نوع زنجیری تبدیلی به SA3، واگن جلو از نوع لبه کوتاه، واگن جلو متعلق به سال ۱۳۸۲-۱۳۹۱، واگن پشت متعلق به ریل تراپر فجر، قلاب جلو از نوع یونی کوپلر، قلاب واگن جلو از نوع چرخان LF و واگن پشت متعلق به پرتوبار خلیج فارس به ترتیب با مقدار ۲,۹۲,۲٪، ۰,۸۵٪، ۰,۸۲,۷٪، ۰,۸۲,۶۴٪، ۰,۷۷,۴٪، ۰,۷۴,۵٪ و ۰,۲۱٪ نسبت به متغیر هم گروه خود منجر به کاهش وقوع شبه حوادث گسیختگی می‌شود.

• واگن پشت متعلق به راه آهن ج.ا.ا: در حمل و نقل ریلی باری اگر واگن پشت متعلق به راه آهن ج.ا.ا باشد ۱۰,۷۸۳

برابر احتمال وقوع گسیختگی افزایش می‌یابد. این عدد نشان دهنده‌ی اهمیت بسیار بالای واگن های ج.ا.ا در شبه حوادث گسیختگی می‌باشد. با وجود کاهش تعداد واگن های متعلق به راه آهن ج.ا.ا به کمتر از ۳۰۰۰ دستگاه نقش موثر این عامل در افزایش گسیختگی مستلزم بررسی دقیق فرآیند نگهداری و تعمیرات این واگن ها می‌باشد.

• قلاب واگن جلو از نوع SA3: در حمل و نقل ریلی اگر واگن جلو دارای قلاب SA3 باشد ۵,۱۰۹ برابر احتمال وقوع گسیختگی افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند سطح تماس کمتر این قلاب نسبت به سایر قلاب های اتوماتیک، نداشتن گهواره و اتصال به قلاب زنجیری با زنجیر کشش بدون در نظرگیری ناسازگاری فنی باشد.

• تعداد واگن ۳۸-۴۷: قطارهایی که با ۳۸-۴۷ واگن تشکیل می‌شوند به میزان ۴,۹۶ برابر احتمال وقوع گسیختگی را افزایش می‌دهند. کمبود نیروی کشش در راه آهن ایران منجر به افزایش طول قطار و تعداد واگن گردیده است.

• قلاب تبدیلی واگن جلو: قلاب زنجیری تبدیلی به SA3 منجر به کاهش حوادث می‌گردد اما نتایج تحلیل حساسیت برای قلاب های زنجیری تبدیلی به یونی کوپلر

نشان دهنده‌ی نقش قابل توجه در افزایش این حوادث است. به همین علت بررسی و مقایسه کانال های تبدیل هر دو قلاب، عمر قلاب های زنجیری تبدیل شده و میزان کارکرد به عنوان قلاب تبدیلی امری ضروری است. نکته دیگر آن است که قلاب های یونی کوپلر با مقدار ۰,۷۴,۵٪ درصد منجر به کاهش حوادث می‌گردد اما قلاب های تبدیلی به یونی کوپلر نقش موثری در افزایش حوادث دارد به همین علت بررسی فرآیند تبدیل قلاب های زنجیری به یونی کوپلر توصیه می‌شود.

• قلاب یونی کوپلر: این قلاب با مقدار ۰,۷۴,۵٪ درصد منجر به کاهش حوادث می‌گردد. علت پایداری مناسب قلاب های یونی کوپلر می‌تواند وجود دو زبانه بزرگ و کوچک و گهواره باشد.

افزایش گسیختگی شناخته شد توجه به نگهداری و تعمیرات آن از لحاظ خرابی زبانه قلاب امری ضروری است.

• افتادگی خط: احتمال وقوع گسیختگی در صورت افتادگی خط به میزان ۱,۳۱ برابر افزایش می‌یابد. همچنین افتادگی خط اگر با مواردی همچون شل بودن زنجیر قلاب و یا عدم استفاده از پشت بند در اتصال واگن‌های قلاب زنجیری و اتومات همراه شود می‌تواند نقش بیشتری در افزایش گسیختگی قلاب واگن‌های باری داشته باشد.

شیب ۹-۱۲: شیب ۹-۱۲ به میزان ۱,۴۰۴ برابر منجر به افزایش احتمال گسیختگی قلاب می‌گردد. معمولاً جهت سیر قطارهای سنگین در فراز، لکوموتیورانان گاز خور دیزل را بیشتر می‌نمایند و اگر به موقع نسبت به کم کردن دنده و کاهش سرعت اقدام ننمایند، وزن بخشی از قطار که در شیب می‌افتد، باعث افزایش سرعت و گسیختگی می‌شود. (این مورد، معمولاً در ساعات اولیه‌ی بامداد و به علت خواب آلودگی و یا ساعات خاتمه‌ی کار و خستگی امکان وقوع بیشتری را دارد.)

۶. اعتبارسنجی

جهت تعمیم مدل ارائه شده از ۱۳۴ مشاهده برای اعتبارسنجی مدل با آزمون T-test استفاده خواهد شد.

۶-۱ اعتبارسنجی آماری (آزمون T-test)

آزمون T-test یکی از آزمون‌های آماری است که جهت مقایسه دو گروه یا حالت با یکدیگر استفاده می‌شود. رویکرد این آزمون برای اعتبارسنجی مدل، مقایسه میانگین دو نمونه مستقل از یکدیگر هست. این آزمون با استفاده از آماره T، توزیع T و میزان درجه آزادی با تعیین P-مقدار، اختلاف میانگین دو نمونه را نشان می‌دهد. برای انجام آزمون T-test فرض صفر، برابری میانگین‌ها در نظر گرفته می‌شود در جدول (۵) مقدار محاسبه شده برای فرض صفر (فرض برابری میانگین‌ها)، بزرگتر از ۰,۰۵ هست. بنابراین فرض صفر در نظر گرفته شده برای این آزمون رد نشده است. به عبارت دیگر فرض برابری میانگین‌های دو نمونه را نمی‌توان رد کرد.

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال شانزدهم / شماره سوم (۶۴) / بهار ۱۴۰۴

• واگن جلو از نوع مخزن‌دار: اگر واگن باری جلو از نوع مخزن‌دار باشد احتمال وقوع حوادث گسیختگی ۳,۷ برابر افزایش می‌یابد. واگن‌های مخزن‌دار قابلیت حمل مواد شیمیایی خطرناک را دارد اگر این واگن‌ها دچار گسیختگی گردد می‌تواند پیامدهای زیان باری را به دنبال داشته باشد. علت افزایش حوادث در واگن‌های مخزن‌دار نبود موج‌گیر در مخزن‌ها است.

• بوژی ۱۰۰-۱۸ و بوژی Y25 - واگن پشت: احتمال وقوع حوادث گسیختگی در واگن پشت دارای بوژی ۱۸-۱۰۰ به میزان ۱,۵۶۲ و در بوژی Y25 به میزان ۱,۳۸۵ افزایش می‌یابد. بوژی ۱۸-۱۰۰ یک بوژی سه تکه است. این بوژی علیرغم محاسن زیاد نگهداری و تعمیرات، پایداری کمتری نسبت به بوژی‌های دارای فریم یکپارچه دارد.

• تعداد واگن و طول قطار: احتمال وقوع حوادث گسیختگی در قطارهای با طول ۴۶۰-۶۵۹ متر به میزان ۱,۸۴۸ برابر افزایش می‌یابد. کمبود نیروی کشش در راه‌آهن ایران منجر به افزایش طول قطار و تعداد واگن گردیده که این امر منجر به ناپایداری در قطار می‌گردد. با حذف واگن‌های کابوس و افزایش طول قطار امکان بهره‌مندی از آینه بغل و چراغ‌های انتهایی قطار کاهش یافته است. (یک قطار می‌تواند با دو یا سه لکوموتیو تشکیل شود و طول واگن‌ها در یک قطار می‌تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال واگن لبه بلند با طول ۱۲,۴ متر و مسقف با طول ۲۷ متر در راه‌آهن ایران موجود است. به همین علت تعداد واگن با طول قطار متفاوت است.)

• شوک وارده به قطار: در شرایط شتاب‌گیری یا ترمز ناگهانی، قطار دچار شوک می‌گردد در این حالت احتمال وقوع گسیختگی به میزان ۱,۱۷۵ برابر افزایش می‌یابد.

• خرابی زبانه قلاب: تغییرات دما بالاخص در مناطق جنوبی منجر به خرابی زبانه قلاب می‌شود. این خرابی می‌تواند تا ۱,۱۴ برابر منجر به افزایش گسیختگی گردد. با توجه به اینکه در این پژوهش قلاب SA3 به عنوان دومین عامل موثر در

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

انتهای قطار محدود می شود.

- آموزگاران لکوموتیو و شرکت مپنا لکوموتیو

مدل ارائه شده در این پژوهش و خروجی آن منطبق بر استاندارد UIC 522 مربوط به قلاب های اتوماتیک مورد تایید و معتبر می باشد.

یکی از بخش های بسیار مهم در قلاب های اتوماتیک همچون SA3 سیستم های قفل کننده است. در قلاب SA3 نقص در سیستم قفل کننده مکانیکی و الکتریکی که وظیفه پایداری، اتصال و جدایش را بر عهده دارند می تواند ایمنی کل قطار را به خطر بیندازد.

۷. بحث و نتیجه گیری

قلاب یکی از اجزای حیاتی واگن های باری است که وظیفه اتصال واگن ها به یکدیگر یا به لکوموتیو را بر عهده دارد. گسیختگی قلاب به معنای شکستن یا جدا شدن این اتصال است که می تواند عواقب بسیار جدی و خطرناکی همچون خروج قطار از ریل، تصادفات و برخورد ها، توقف عملیات ریلی، آلودگی محیط زیست و ... را در پی داشته باشد.

به منظور جلوگیری از پیامدهای احتمالی این حادثه شناسایی و تحلیل علل گسیختگی قلاب واگن های باری امری ضروری است. تاکنون هیچ پژوهشی در زمینه شناسایی عوامل موثر بر گسیختگی انجام نشده است و این پژوهش نقش موثری در افزایش آگاهی در این زمینه خواهد داشت.

در اینجا بیان چند نکته ضروری است:

- معنادار شدن ضریب ثابت در مدل این پژوهش نشانگر در نظر نگرفتن متغیرهای دیگری است که می تواند مقادیر قابل توجهی از متغیر پاسخ را توضیح دهد و در آینده وارد مدل گردد.
- متغیرهای شیب و افتادگی خط در اختیار مالک واگن نیست و نیازمند آن است که در بخش خط و سازه مورد بررسی قرار گیرد.

۷-۱ پیشنهادهایی برگرفته از فرآیند انجام و نتایج

میانگین ها برابر و مدل معتبر است $H_0 =$

جدول ۵. آزمون T-test

مدل	آزمون فرض برابری واریانس ها	
	F	P-مقدار
دو جمله ای	۶,۸۷۷	۰,۰۰۷
منفی	T	P-مقدار
	۰,۴۲۳	۰,۶۱۶

از طرفی آزمون فرض برابری واریانس ها نیز با توجه به مقدار به دست آمده برابر با ۰,۰۰۷ رد می شود که بیانگر یکسان نبودن واریانس های دو نمونه است.

۶-۲ اعتبارسنجی فنی

- اداره کل ایمنی - اداره کل واگن - مرکز آموزش راه آهن: شیب: در این پژوهش شیب ۹-۱۲ با میزان ۴۰,۴٪ منجر به افزایش وقوع حوادث گسیختگی واگن های باری می شود. از نظر کارشناسان ایمنی نیز شیب ۱۰ از عوامل موثر بروز حوادث گسیختگی می باشد.

قلاب SA3: از نظر کارشناسان مرکز آموزش به علت سطح تماس کمتر قلاب SA3 از سایر قلاب ها، این قلاب بیشترین پتانسیل فنی برای گسیختگی را دارد.

واگن های مخزن دار: اغلب واگن های مخزن دار در ایران دارای موج گیر نمی باشد، لذا چنانچه داخل مخزن از سیال محموله پر نباشد منجر به ایجاد تلاطم شده و باعث ناپایداری حرکت قطار، گسیختگی و خروج از ریل قطار می شود. عدم استفاده از موج گیر در واگن های مخزن دار که در مناطق کوهستانی و قوس ها حرکت می کنند می تواند منجر به افزایش حوادث گسیختگی گردد.

طول قطار: در راه آهن ایران کمبود نیروی کشش باعث افزایش طول قطار شده و در پایداری و تعادل قطار مشکل ایجاد می -

نماید. همچنین با افزایش طول قطار امکان استفاده از چراغ

پژوهش

• یکی از مهم ترین مشکلات راه آهن ایران در حوادث گسیختگی عدم گزارش دقیق حادثه و به دنبال آن نبود پایگاه های داده جامع یا مناسب برای پژوهش در این زمینه است. بهترین روش برای گزارش دقیق حادثه گسیختگی استفاده از فایل های گزارش نویسی FRA است.

• علی رغم کاهش تعداد واگن های متعلق به راه آهن ج.ا.ا به کمتر از ۳۰۰۰ واگن، واگن های راه آهن ج.ا.ا اولین عامل موثر در گسیختگی قلاب واگن های باری شناخته شده است که نیازمند بررسی های بیشتر در بخش نگهداری و تعمیرات این واگن ها می باشد.

• در این پژوهش واگن های مخزن دار از مهم ترین عوامل موثر در وقوع حوادث گسیختگی قلاب واگن های باری می باشد. اغلب واگن های مخزن دار در ایران فاقد موج گیر است، لذا چنانچه داخل مخزن از سیال محموله پر نباشد منجر به ایجاد تلاطم شده و باعث ناپایداری حرکت قطار، گسیختگی و خروج از ریل خواهد شد. عدم استفاده از موج گیر در واگن های مخزن دار که در مناطق کوهستانی و قوس ها حرکت می کنند می تواند منجر به افزایش حوادث گسیختگی گردد. بنابراین جهت پیشگیری از تلاطم سیال مشاهده می گردد که حجم مخازن را پر می نمایند بطوریکه در مواردی پر نمودن کامل مخزن وزن آن را از حد مجاز بیشتر نموده و از سوی دیگر باعث عدم تعادل در حرکت واگن گردیده و منجر به حوادثی از جمله گسیختگی و خروج از ریل می شود. همچنین از لحاظ ایمنی در حمل محموله های سوختی، تلاطم آن ها موجب ایجاد و تجمع گازهای سیالات در قسمت بالای مخزن می گردد. این پدیده در واگن های کاملاً پر به تلاطم بیشتر گازها منجر شده و امکان انفجار مخزن را فراهم می آورد به همین دلیل اقدام عملی در این زمینه می تواند منجر به کاهش حوادث گسیختگی، خروج از ریل و حتی انفجار در واگن های مخزن دار شود.

• قلاب های زنجیری که به یونی کوپلر تبدیل شده است یکی از عوامل موثر در گسیختگی قلاب واگن های باری می باشد تحلیل فنی و مکانیکی کانال های قلاب تبدیلی از زنجیری به اتومات، میزان کارکرد قلاب های زنجیری قبل تبدیل و عمر قلاب تبدیلی امری ضروری است.

• واگن هایی که از سال ۱۳۴۲-۱۳۵۱ و ۱۳۶۲-۱۳۷۱ وارد شبکه حمل و نقل ریلی ایران شدند در وقوع حوادث گسیختگی نقش موثری دارند. متوسط عمر ناوگان باری در شبکه راه آهن ایران بالای ۳۰ سال است و این امر نشان از فرسودگی این ناوگان دارد حتی اگر در دوره های ۱۵، ۱۸ یا ۲۲ ساله تعمیرات اساسی انجام و برای یک دوره ۱۵ ساله عمر ناوگان تمدید شده باشد در حال حاضر این بازه نیز به پایان رسیده و این واگن ها فرسوده هستند و ادامه حضور آن ها در شبکه ریلی منجر به افزایش حوادث و خسارات جانی و مالی می گردد.

۷-۲-۲ پیشنهادهایی برگرفته از جلسات با کارشناسان

فنی

در شناسایی و تحلیل عوامل موثر بر حوادث دو دیدگاه وجود دارد:

دیدگاه اول: روش سنتی

در این روش، هدف یافتن مقصر و تنبیه اوست و معمولاً مقصر از کارکنان سطح پایین سازمان است. چرا که با توجه به شغل، بیشترین خطا و سهل انگاری به او نسبت داده می شود. لذا، عوامل اصلی و موثر بر وقوع حادثه، شناسایی و حذف نشده و مرتب تکرار خواهد شد.

دیدگاه دوم: روش نوین

در این دیدگاه هدف، شناسایی عوامل موثر و پنهان می باشد. در فرآیند تحلیل این عوامل روش های کار، قوانین و مقررات، تجهیزات، نحوه مدیریت بر سازمان ... نیز مورد بررسی قرار می گیرد و منجر به کاهش احتمال تکرار حادثه می شود. در همین راستا باید علل وقوع حوادث در صحنه حادثه به صورت کامل

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

گسیختگی بیان می گردد:

- نصب ترن لینک در قطارها
- بهبود ضربه گیرها و تجهیزات جذب کننده ی ضربات برای کاهش صدمات شوک وارد به قطار
- تسریع در رفع نواقص محور شمار ایستگاه ها
- بهینه سازی کیفیت علامت انتها و نصب دو عدد در انتهای قطارها
- بکار گماردن نیروی انسانی با کیفیت در سیر و حرکت قطارها
- ثبت دقیق حوادث به منظور آموزش و تحلیل برای پیشگیری از حوادث آتی

۷-۳ پیشنهاد هایی برای مطالعات آتی

- در این پژوهش ضریب ثابت معنادار گردید که این امر به معنای آن است که عوامل دیگری نیز می تواند در وقوع حوادث گسیختگی موثر باشد به همین منظور در پژوهش های آینده می توان با استفاده از آنالیز ریسک، FMECA، FMEA و استخوان ماهی مجدد عوامل موثر در این حوادث را شناسایی نمود.
- با توجه به اینکه قلاب SA3 از موثرترین عوامل در وقوع حوادث گسیختگی شناخته شد پژوهش در زمینه فراوانی خرابی و تحلیل نیرو در این قلاب می تواند برای شناسایی علل گسیختگی در این عامل موثر باشد.
- واگن های ج.ا.ا اولین عامل در وقوع حوادث گسیختگی شناخته شد پژوهش در زمینه نگهداری و تعمیرات و بازرسی این واگن ها می تواند منجر به کاهش حوادث گسیختگی واگن های باری گردد.
- گسیختگی بین واگن های باری در موارد کمی خطر جانی به همراه خواهد داشت و عمده خسارات در این حوادث مالی می باشد به همین دلیل تحلیل اقتصادی این حوادث نیز قابل بررسی است.
- اگر امر گسیختگی در واگن های مسافری اتفاق بیفتد به

و دقیق ثبت گردد. ثبت همه علل و شناسایی منابع دارای پتانسیل خطر می تواند در تحلیل و شناسایی علل پنهان وقوع حوادث گسیختگی بسیار موثر بوده در آینده منجر به کاهش این حوادث و افزایش ایمنی سیر و حرکت گردد.

در این پژوهش از دیدگاه نوین برای شناسایی و تحلیل علل موثر بر گسیختگی قلاب واگن های باری استفاده شده است.

در ادامه با مشورت با کارشناسان ایمنی و گسیختگی و مستندات جلسات آموزش مفاهیم گسیختگی در مرکز آموزش راه آهن، موارد زیر ارائه می گردد:

موانع بازدارنده ریسک عبارتند از:

- حسگرها و کاشف ها: این حسگرها به دو گروه حسگر موانع فیزیکی و حسگر موانع کنارخطی تقسیم می شوند. اطمینان از صحت عملکرد این موارد می تواند منجر به کاهش حوادث گسیختگی و حوادث زنجیره ای پس از آن گردد. حسگر موانع فیزیکی شامل آینه های بغل، نگهدارنده لوله ترمز واگن انتها و استقرار لوله در محل خود، علامت انتهای قطار، واگن انتهای قطار، ترن لینک و حسگر موانع کنارخطی شامل اعلام ورود خودکار محور شمار، مدار خط است. یکی از بخش هایی که می تواند منجر به کاهش حوادث زنجیره ای پس از گسیختگی گردد صحت فنی محور شمار است؛ اما در حال حاضر خرابی محور شمار از خرابی های رایج در علائم الکتریکی است.

دستورالعمل ها، قوانین و رویه های کاری: بررسی دستورالعمل ها و قوانین مربوط به گسیختگی یا موثر در کاهش یا افزایش این حوادث می تواند مفید باشد. به عنوان مثال در گذشته واگن مخصوصی بنام کابوس را در انتهای قطارباری قرار می دادند که شمایل ظاهری متفاوتی با سایر واگن ها داشت و علاوه بر علامت روز و یا شب نصب شده روی آن، نشان دهنده ی کامل بودن قطار بود. بنابراین، احتمال تبدیل وقایع ختم به خیر به شبه حادثه و حادثه کاهش می یافت. از سال ۱۳۸۵ این واگن ها از شبکه حمل و نقل ریلی حذف گردیده است.

در پایان این بخش پیشنهاد های زیر در راستای کاهش حوادث

22. Association of American Railroads

۹. مراجع

- م. احتشامی، "راه آهن در ایران." دفتر پژوهشهای فرهنگی،
[Online]. Available: 9789643790066۱۳۸۷ .

- م. ع. حقی، م. نادرپور م. ترک، "راهنمای سیستم مدیریت
ایمنی در صنعت حمل و نقل ریلی." نشر نوآوران-وزارت راه
و شهرسازی، ۱۳۹۵. [Online]. Available: www.noavarpub.com

- ح. بوذری، "آموزش مفهوم گسیختگی قطار." مرکز آموزش
راه آهن، ۱۳۹۸.

- ح. بوذری، "شرح حادثه گسیختگی قلاب واگن های باری."
مرکز آموزش راه آهن، ۱۳۹۸.

- ت. نیوز، "وقوع یک سانحه ریلی دیگر، این بار در اداره کل
شمال غرب+ تصاویر [Online]. Available: <https://www.tinn.ir/>
بخش-شرکت-راه-آهن-
۲۵۹۲۶۶/۳۰-وقوع-یک-سانحه-ریلی-دیگر-این-بار-در-
اداره-کل-شمال-غرب-تصاویر

- "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۳۹۰".pdf.
[Online]. Available: <https://www.rai.ir/>

- "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۳۹۱".pdf.
[Online]. Available: <https://www.rai.ir/>

- "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور در سال ۱۳۹۲".pdf.
[Online]. Available: <https://www.rai.ir/>

- "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۳۹۳".pdf.
[Online]. Available: <https://www.rai.ir/>

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال شانزدهم / شماره سوم (۶۴) / بهار ۱۴۰۴

لحاظ ایمنی با جان انسان در ارتباط بوده و خطر آسیب جدی
و مرگ را برای مسافر به همراه خواهد داشت. پژوهش در
زمینه ی قوانین و مقررات بازرسی و تعمیر و نگهداری در
مجموعه ی قلاب و تامپون در واگن های مسافری و بررسی
تطابق ساخت و نصب براساس استاندارد UIC و RIV می
تواند منجر به افزایش ایمنی سیر و حرکت راه آهن ایران گردد.
● از نظر قلاب های اتوماتیک قابلیت اتصال به یکدیگر را
دارند اما در داده های این پژوهش قلاب SA3 به قلاب هم
نوع یا زنجیری تبدیلی به SA3 و قلاب یونی کوپلر به قلاب
یونی کوپلر رینگ فدر اتریشی، یونی کوپلر رینگ فدر پارسی،
یونی کوپلر ماینر و زنجیری تبدیلی به یونی کوپلر متصل است.
بررسی پایداری اتصال قلاب SA3 به یونی کوپلر و بالعکس
و تحلیل تبادل و اعمال نیرو بر آن ها می تواند در پژوهش های
آتی مورد بررسی قرار گیرد.

۸. پی نوشت ها

1. Incident
2. Coupler-Coupling
3. American Association of Railroads
4. Extreme Learning Machine Convolutional Neural Network
5. Vertical Anti-off Stopping
6. Remaining useful life
7. Support vector regression
8. Kalman filter
9. Accident
10. Incident
11. Federal Railroad Administration
12. Screw Couplings and Draw gears
13. Soviet Automatic Coupler 3rd Variant
14. Simple Linear Regression
15. Poisson Regression
16. Generalized Linear Models
17. Response Variable
18. Poisson distribution
19. Maximum Likelihood Estimation
20. Buffer and Chain
21. Willson

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

- د.ع. ب. نائینی, "علم سنجی چیست." دانشگاه علم و صنعت ایران, ۱۳۹۵.

- م. محسنی, س. حسینی م. باقری, "مدلسازی فراوانی تصادفات در گذرگاه های همسطح جاده و ریل ایران" .pdf. فصلنامه مهندسی حمل و نقل, دوره ۱۲, ش. ۲, زمستان, ۱۳۹۹, ۲۷۳-۲۸۸.

- م. محسنی, س. حسینی م. باقری, "مدلسازی شدت تصادفها در گذرگاه های همسطح جاده و ریل در ایران" .pdf. مهندسی عمران شریف, پاییز ۱۳۹۸, دوره ۲ - ۳۵ شماره ۳/۲, ص. ۱۳۹۸. doi: 10.24200/J30.2017.2279.2157.

- آیتی, ج. ذاکری ع. ا. صادقی, "مدل پیش بینی فراوانی وقوع تصادف برای گذرگاه های ریلی-جاده ای ایران." مهندسی حمل و نقل / سال دوم / شماره دوم / زمستان ۱۳۸۹, ۱۳۸۹.

- "فرم برای گزارش برداری از حوادث" fra.

- D. van de Velde, "European railway reform: unbundling and the need for coordination," Rail Economics, Policy and Regulation in Europe. 2015. doi: 10.4337/9781783473335.00009.

- V. A. Profillidis, "RAILWAY PLANNING, MANAGEMENT, AND ENGINEERING, Fifth Edition," Railway Planning, Management, and Engineering, Fifth Edition. pp. 1-658, 2022. doi: 10.4324/9780429329302.

- A. Jabłoński and M. Jabłoński, "Springer Series in Reliability Engineering Digital Safety in Railway Transport-Aspects of Management and Technology." 2022. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96133-6 Translation.

- FRA, "TRAIN PARTING CAUSES & REMIDIES_2.pdf." 2018. [Online]. Available: https://rskr.irmee.in/sites/default/files/TRAIN PARTING CAUSES %26 REMIDIES_2.pdf.

- مرکز آمار ایران, "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور سال ۱۳۹۴." p. 4, 1394.

- "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۳۹۵." [Online]. Available: <https://www.raii.ir/>

- رجا, "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۳۹۶." [Online]. Available: <https://www.raii.ir/>

- "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۳۹۷." pdf. [Online]. Available: <https://www.raii.ir/>

- "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۳۹۸." pdf. [Online]. Available: <https://www.raii.ir/>

- معاونت تامین سرمایه و اقتصاد حمل و نقل, دفتر هوشمند سازی و داده کاوی, "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۳۹۹," سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور. [Online]. Available: <https://www.raii.ir/>

- "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۴۰۰." pdf. [Online]. Available: <https://www.raii.ir/>

- "سالنامه آماری حمل و نقل ریلی کشور ۱۴۰۱." pdf. [Online]. Available: <https://www.raii.ir/>

- غ. آقاجانی and م. نوری, "آشنایی با واگن های باری راه آهن." مرکز آموزش عالی علمی- کاربردی راه آهن جمهوری اسلامی ایران, ۱۳۸۷. [Online]. Available: <http://www.raitc.raii.ir>

- ی. اسکندری, "شناسایی واگن باری" .pdf. مرکز آموزش عالی علمی- کاربردی راه آهن جمهوری اسلامی ایران.

- ر. آ. ج. ا. ایران, "مقررات عمومی سیر و حرکت راه آهن." p. 440, 1392.

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال شانزدهم / شماره سوم (۶۴) / بهار ۱۴۰۴

127–151, 2021. doi: 10.1007/s40534-021-00237-y.

– J. Mario, A. Syaifudin, A. S. Pramono, A. Windharto, and A. Farid, “Synthesis Analysis to Improve Coupling Strength of Automatic Coupler,” *Mechanical Engineering*, vol. 125. pp. 67–73, 2023. doi: 10.4028/p-higyh1.

– U. Rakshit, “Effect of different types of wagon connectors on longitudinal forces of a heavy freight train.” *International Journal of Engineering & Technology*, 2018. [Online]. Available: www.sciencepubco.com/index.php/IJET

– O. P. Yadav and N. S. Vyas, “The influence of AAR coupler features on estimation of in-train forces,” *Railway Engineering Science*. 2023. doi: 10.1007/s40534-022-00297-8.

– Marija Vukšić Popović, “Analysis of coupling system failures on freight trains.pdf.” 2023. [Online]. Available: ACTA TECHNICA JAURINENSIS Vol. 16, No. 1, pp. 11-17, 2023 10.14513/actatechjaur.00687%0AAanalysis

– R. Zou, S. Luo, and W. Ma, “Simulation analysis on the coupler behaviour and its influence on the braking safety of locomotive,” *Vehicle System Dynamics*, vol. 56, no. 11. pp. 1747–1767, 2018. doi: 10.1080/00423114.2018.1435893.

– M. V. Popovic, J. Tanaskovic, and N. Mededovic, “Review of failure analysis of coupling systems on trains,” *Procedia Structural Integrity*, vol. 48. pp. 252–259, 2023. doi: 10.1016/j.prostr.2023.07.135.

– M. Mohammadi, A. Rahmatfam, M. Zehsaz, and S. Hassanifard, “Failure analysis study of railway draw-hook coupler,” *Journal of Central South University*, vol. 26, no. 4. pp. 916–924, 2019. doi: 10.1007/s11771-019-4060-4.

– SKF-Group, “Railway technical handbook,” *Railway Technical*, vol. 2, no. 2. p. 212, 2012. [Online]. Available: <http://www.railway-technical.com/index.shtml>

– FRA, “safety in railway-Report-Federal Railroad Administration.” 2019.

– M. Rapik and C. P. L, “Analysis of Causes of Major Train Derailment and Their Effect on Accident Rates,” *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board Transportation Research Board of the National Academies*, no. 2289. pp. 154–163, 2012. [Online]. Available: [http://railtec.illinois.edu/CEE/pdf/Journal Papers/2012/Liu et al 2012.pdf](http://railtec.illinois.edu/CEE/pdf/JournalPapers/2012/Liu%20et%20al%202012.pdf)

– “tsb Report .” <https://www.tsb.gc.ca/eng/incidents-occurrence/rail/index.html>

– “confirmed dead after logging train derails on Vancouver Island - British Columbia - CBC News.” [Online]. Available: <http://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/2-confirmed-dead-after-logging-train-derails-on-vancouver-island-1.4078059>

– T. T. S. B. of Canada, “RAILWAY INVESTIGATION REPORT.” 2010.

– M. Hecht and M. Leiste, “Development of a concept for the EU-wide migration to a digital automatic coupling system (DAC) for rail freight transportation’ V Mechanical Engineering and Transport Systems Institute of Land and Sea Transport Systems Faculty of Rail Vehicles.” 2020.

– S. Wagner, C. Cole, and M. Spiriyagin, “A review on design and testing methodologies of modern freight train draft gear system,” *Railway Engineering Science*, vol. 29, no. 2. pp.

- Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 44, no. 5. pp. 291–305, 2010. doi: 10.1016/j.tra.2010.02.001.
- F. F. Saccomanno, C. Ren, and L. Fu, “Collision Prediction Models for Highway-Rail Grade Crossings in Canada F.F. Saccomanno,” 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, no. 03. pp. 1–21, 2003.
- W. Fan, L. Gong, E. M. Washing, M. Yu, and E. Haile, “Key factors contributing to crash severity at highway-rail grade crossings,” *Journal of Modern Transportation*, vol. 24, no. 3. pp. 224–235, 2016. doi: 10.1007/s40534-016-0110-x.
- W. A. Khan and A. J. Khattak, “Injury Severity of Truck Drivers in Crashes at Highway-Rail Grade Crossings in the United States,” *Transportation Research Record*, vol. 2672, no. 10. pp. 38–47, 2018. doi: 10.1177/0361198118781183.
- J. Ha, M. Kambe, and J. Pe, “Data Mining: Concepts and Techniques,” *Data Mining: Concepts and Techniques*. pp. 1–703, 2011. doi: 10.1016/C2009-0-61819-5.
- E. Hauer and The, “The Art of Regression Modeling in Road Safety.pdf.” Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-12529-9.
- D. Lord, S. P. Washington, and J. N. Ivan, “Poisson, poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: Balancing statistical fit and theory,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 37, no. 1. pp. 35–46, 2005. doi: 10.1016/j.aap.2004.02.004.
- K. Tzanakakis, “Managing Risks in the Railway System.” Springer Tracts on Transportation and Traffic, p. 197, 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-66266-0>.
- D. Li, Q. Li, Z. Jiang, and J. Ma, “Failure Analysis of Coupler Knuckle Considering Truncated and Censored Lifetime Data.” 2019 Prognostics & System Health Management Conference—Qingdao (PHM-2019 Qingdao) Failure, 2019. doi: 978-1-7281-0861-2/19/\$31.00 ©2019 IEEE.
- C. Wang, T. Zhu, B. Yang, M. Yin, S. Xiao, and G. Yang, “Remaining useful life prediction framework for crack propagation with a case study of railway heavy duty coupler condition monitoring.pdf.” *Reliability Engineering and System Safety* 230 (2023) 108915 Contents, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108915>.
- I. Savage, “safety in railway-Report-Federal Railroad Administration.PDF.” 2018. [Online]. Available: https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/14954/Railroad_Safety_and_Public_Policy.pdf
- Z. Zhang, X. Liu, and H. Hu, “Statistical Analysis of Seasonal Effect on Freight Train Derailments.pdf.” *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, © ASCE, ISSN 2473-2907., 2021.
- A. Hayter, “Probability and Statistics for Engineers and Scientists by Anthony J. Hayter (z-lib.org).” Brooks/Cole, Cengage Learning ALL, 2012.
- R. D. Austin and J. L. Carson, “An alternative accident prediction model for highway-rail interfaces,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 34, no. 1. pp. 31–42, 2002. doi: 10.1016/S0001-4575(00)00100-7.
- D. Lord and F. Mannering, “The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives,”

– UCLA Institute for Digital Research & Education. (2019). Negative binomial regression | STATA annotated output. Retrieved from <https://stats.idre.ucla.edu/stata/output/negative-binomial-regression/>

شناسایی عوامل موثر بر فراوانی گسیختگی قلاب واگن های باری

محسن پورسید آقایی، درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را به ترتیب در سالهای ۱۳۶۶ و ۱۳۶۹ از دانشگاه صنعتی شریف اخذ نموده است. ایشان در سال ۱۳۷۶ موفق به اخذ درجه دکترای در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه تربیت مدرس با راهنمایی آقای دکتر محمد مدرس از اساتید دانشگاه شریف گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی ریاضی و استراتژیک، مدیریت، حمل و نقل ریلی و اقتصاد حمل و نقل بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران هستند.



نرجس شمس، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۸ از دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) اخذ نموده است. ایشان در سال ۱۴۰۳ موفق به کسب درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی حمل و نقل ریلی از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان ایمنی و نگهداری و تعمیرات در حمل و نقل ریلی است.

