

مدل بهینه سازی قابلیت اطمینان با رویکرد ارتقاء سطح کیفی

خدمات در صنعت ریلی

مقاله علمی-پژوهشی

رضا نادری کیا، دانشجوی دکترا، گروه مدیریت تکنولوژی و صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم تحقیقات،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

داود طالبی*، استادیار، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی،

تهران، ایران

محمد مهدی موحدی، دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: d-talebi@sbu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

صفحه ۳۳۰-۳۱۱

چکیده

ایمنی، شهرت، رضایت مشتری، هزینه‌ی بهره برداری و نگهداری، تکرار تجارت و مزیت رقابتی از جمله دلایلی هستند که بر اهمیت قابلیت اطمینان در سیستم‌های حمل و نقل تأکید می‌نمایند. قابلیت اطمینان نقش مهمی در عملکرد پایدار و ایمن سیستم‌های حمل و نقل به ویژه صنعت ریلی ایفا می‌کند. خدمات ریلی جذاب فقط با وجود زیرسیستم‌های با کیفیتی قابل ارائه است که می‌توانند ایمنی عملیات و در دسترس بودن شبکه ریلی را تضمین نمایند. در این مقاله یک مدل بهینه سازی قابلیت اطمینان با توجه به ویژگی‌های یک سیستم ریلی مسافری گزینه‌های احتمالی با مطالعه موردی راه آهن ایران ارائه می‌گردد؛ مدل پیشنهادی می‌تواند با در نظر گرفتن معیارهای خدمات در سیستم ریلی مانند هزینه چرخه عمر، وقت شناسی و میانگین زمان بین خرابی‌ها برای تعیین برنامه‌ی بهینه‌ی سرمایه گذاری به منظور طراحی یا به روزرسانی و ارتقاء سیستم ریلی با قابلیت اطمینان بالا مورد استفاده قرار گیرد. توجه به این معیارها می‌تواند در تصمیم‌گیری خرید قطعات با سطح کیفی متفاوت تأثیرگذار باشد.

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان، صنعت ریلی، میانگین زمان بین خرابی‌ها، وقت شناسی، هزینه چرخه عمر

۱. مقدمه

آسیب پذیرند، با افزایش نیازهای زیرساختی از نظر بار محوری، تناژ ناخالص، سرعت و غیره، این زیرسیستم‌ها خرابی‌های بیشتری را نیز تجربه می‌کنند و همزمان، به دلیل افزایش ترافیک، در دسترس بودن زیرسیستم‌ها برای انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و نوسازی کاهش می‌یابد این امر مستلزم مدیریت دارایی‌های صنعت ریلی (شامل نگهداری، دسترسی پذیری و حفظ کیفیت دارایی‌ها) در سطح عملکردی مناسب با کمترین

قابلیت اطمینان، یک ویژگی مطلوب شبکه حمل و نقل به ویژه یکی از مهم‌ترین شریان‌های حیاتی حمل و نقل یعنی شیوه حمل و نقل ریلی محسوب می‌شود. اختلال در هر یک از زیرسیستم‌های ریلی به عنوان بخشی از زنجیره حمل و نقل سبب شکست در عملکرد کل زنجیره می‌شود و کیفیت زیرسیستم‌های ریلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (رانگ و همکاران، ۲۰۱۹). از آنجایی که کیفیت زیرسیستم‌های ریلی در برابر خرابی‌ها

هزینه ی چرخه ی عمر و بهره برداری از دارایی ها به صورت موثر می باشد (نظری زاده و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، اقدامات مناسب در زمینه ی مدیریت نگهداری دارایی ها، پیش بینی قابلیت اطمینان و سیاست انتخاب یا نگهداری بهینه ی دارایی ها است؛ اولین مورد از دو عامل مذکور برای حفظ کیفیت زیرسیستم ها، توانایی اندازه گیری کیفیت زیرسیستم ها به صورت مداوم است (ناظری و نادری کیا، ۲۰۱۷). همچنین باید معیارهایی وجود داشته باشد تا بتوان استراتژی های مناسب نگهداری و مدیریت یا انتخاب اجزای مناسب را برای بازگرداندن کیفیت زیرسیستم های ریلی به سطح قابل قبول اتخاذ نمود. بنابراین لازم است در طراحی و بهینه سازی یک سیستم ریلی با توجه به نوع استراتژی اخذ شده، معیارهای مناسب در نظر گرفته شود (کاتوریا و همکاران، ۲۰۱۹؛ تاناراجو و همکاران، ۲۰۱۹). اهداف قابلیت اطمینان باید به دقت با سایر شاخص های اصلی عملکرد و کیفیت خدمات در حوزه ی حمل و نقل ریلی (مانند وقت شناسی، هزینه چرخه عمر یا LCC و ...) هماهنگ باشد (فیره، ۲۰۱۶؛ ابولی و همکاران، ۲۰۱۷؛ زیبک، ۲۰۱۹).

به منظور بهینه سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم هایی با قابلیت اطمینان کمتر و یا تمامی زیرسیستم ها با تصمیم مدیریت ارشد می توان با استفاده از یک مدل بهینه سازی و به کمک استراتژی های نگهداری و تعمیرات یا انتخاب دارایی های زیرسیستم های ریلی به تضمین کیفیت بالای خدمات دست یافت. مدل های بهینه سازی قابلیت اطمینان در سیستم های ریلی چندان رایج نیستند و روش های بسیار محدودی قابلیت اطمینان را در صنعت ریلی مدل می کنند. فلمینی و همکاران (۲۰۱۴)، تجزیه و تحلیل و مدلسازی زیرسیستم های گوناگون ریلی را با استفاده از مدل های مختلف و تلفیقی توصیه می کنند. آنها از FTA برای مدلسازی زیرسیستم ها و از شبکه های بیزین برای سیستم کلی استفاده نمودند. در مطالعه سو و همکاران (۲۰۱۶)، احتمال و تاثیر اختلالات و منابع آنها بر قابلیت اطمینان در شبکه های راه آهن پر سرعت تشریح می شود. تحقیق وینسنت و همیلتون (۲۰۰۸) با هدف یافتن روش اندازه گیری مقدار قابلیت اطمینان در راه آهن نیوزلند انجام شده است. ورومان و همکاران (۲۰۰۶)، قابلیت اطمینان را در سیستم های حمل و نقل عمومی بررسی می کنند. از نظر آنها یک راه برای افزایش قابلیت اطمینان، کاهش انتشار تاخیر به دلیل وابستگی بین قطارهاست. مقاله رستل و زاا (۲۰۱۵)، به تاثیر زیرساخت بر قابلیت اطمینان سیستم

حمل و نقل ریلی تمرکز دارد. جدیدی (۲۰۱۵)، اصول و کاربردهای قابلیت اطمینان ریلی و بهبود قابلیت اطمینان در زیرساخت راه آهن را با استفاده از آنالیز حالات خرابی و تاثیر آن (FMEA) بررسی نموده است. الودود و همکاران (۲۰۱۲)، اختلالات خدمات مسافری ریلی را که منجر به تاخیر در خدمات می شوند، مرور می نمایند. در پژوهش لی (۲۰۱۳)، چارچوبی برای محاسبه ی قابلیت اطمینان از دیدگاه مسافران در یک شبکه ی حمل و نقل عمومی چند سطحی ایجاد شده است. تانگ (۲۰۱۵)، رویکردی را برای توسعه ی گزارش فنی ایمنی برای سیستم های سیگنالینگ راه آهن مطابق با استاندارد ریلی ۵۰۱۲۹ EN با تمرکز بر مراحل لازم برای انجام ارزیابی قابلیت اطمینان پیشنهاد نموده است. بمنت و همکاران (۲۰۱۷)، رویکرد مدلسازی افزونگی در زیرسیستم های عملیاتی تنظیمات سوئیچ های سنتی خطوط ریلی را به منظور ارزیابی افزایش قابلیت اطمینان بالقوه و در دسترس بودن سوئیچ ها ارائه می کنند. در مطالعه هوی (۲۰۱۵)، در راستای افزایش قابلیت اطمینان و ایمنی دارایی های راه آهن، مدل های نگهداری زیرساخت های ریلی ارائه شده است که می تواند به تصمیمات بهتر نگهداری و تعمیرات در صنعت راه آهن کمک نماید. کنزادی و همکاران (۲۰۱۵)، روشی را برای کمی سازی قابلیت اطمینان دارایی های ناوگان ریلی با استفاده از آمارهای خرابی ارائه می دهند. بر اساس این مدل، قابلیت اطمینان ناوگان ریلی را می توان با موفقیت کمی نمود و بدین وسیله منبع عدم قابلیت اطمینان را شناسایی کرد. پیشنهاداتی نیز مبنی بر نگهداری تعمیرات ناوگان ریلی ارائه شده است. چارچوبی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های زیرساخت راه آهن توسط فوریه و ژواکی (۲۰۱۷) ارائه شد که مبتنی بر رویکرد کل سیستم شامل ویژگی های عملکردی و عملیاتی در مدلسازی سیستم های زیرساخت راه آهن است. راما و اندرو (۲۰۱۴)، چارچوبی را برای مدلسازی قابلیت اطمینان زیرساخت های راه آهن بر اساس نمای سلسله مراتبی شبکه ی ریلی ارائه نمودند. مکی و همکاران (۲۰۱۲)، رویکردی خانواده محور را با تاکید بر اینکه مهمترین جنبه رویکرد مدلسازی رابطه بین قابلیت اطمینان سیستم و سطح خدمات حمل و نقل است که توسط خود سیستم ارائه می شود، پیشنهاد نمودند. مطالعه گوپال (۲۰۱۷)، در خصوص توسعه ی یک مدل قابلیت اطمینان و ارزیابی آن برای سیستم مدیریت ترافیک راه آهن اروپا/ سیستم کنترل قطار

از خط خارج شدن یا تصادم قطار می‌گردد) در نظر گرفته نمی‌شوند. مدل کلی قابلیت اطمینان سیستم ریلی در این پژوهش تابعی از قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های صنعت ریلی شامل زیرساخت و ناوگان با فرض استقلال شکست بین زیرسیستم‌ها است. برای ساده سازی از فرض استقلال و عدم قطعیت‌های ناشی از تعاملات موجود بین زیرسیستم‌ها استفاده می‌شود. اثربخشی ضعیف RBD برای مدل قابلیت اطمینان صنعت ریلی و وقت شناسی، محرک توسعه‌ی معادلات مرتبط را در این تحقیق است. این مدل‌ها توانایی بررسی مسائل قابلیت اطمینان پیکربندی پیچیده‌ی افزونگی، بخصوص برای سیستم‌ها ریلی را تشریح می‌کنند. در تحقیق نوردین (۲۰۱۵)، نگهداری و تعمیرات و عملکرد و تاثیرات آن بر قابلیت اطمینان، در دسترس بودن، نگهداری و ایمنی سیستم لکوموتیو دیزلی انجام شده است. قابلیت اطمینان سیستم در این مطالعه با روش‌های کمی و کیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. چنگ و همکاران (۲۰۱۷)، یک فرآیند تخصیص جامع با چهار نوع مدل بهینه سازی برای طراحی سیستم راه‌آهن مسافری را در تایوان توسعه دادند. بر اساس ویژگی‌های یک سیستم ریلی، این فرآیند پیشنهادی می‌تواند قابلیت اطمینان خدمات و هزینه‌ی چرخه عمر را به صورت بهینه برای تعیین یک برنامه سرمایه‌گذاری ایده‌آل سیستم ریلی اختصاص دهد. این فرآیند می‌تواند هم‌اکنون گزینه‌های ممکن سرمایه‌گذاری زیرسیستم‌های ریلی را ارزیابی نموده و بهترین تخصیص را در بین هم‌اکنون زیرسیستم‌ها و اجزای آنها تعیین کند. لیت و همکاران مطالعه‌ی ای را بر روی بوژی لکوموتیو انجام دادند که یک زیرسیستم پیچیده از قطار است و چرخ‌های وسیله نقلیه روی آن ثابت می‌شوند. در مطالعه آنها اجزای اصلی بوژی و همچنین رفتار تصادفی مرتبط با وقوع شکست توصیف شده است. یک مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته برای مطالعه تأثیر بر سیستم، از نظر قابلیت اطمینان و در دسترس بودن، تحت سناریوهای مختلف با مفروضات متفاوت در مورد حالت‌های خرابی، تعمیرات و ساختار همبستگی خرابی‌ها پیشنهاد شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل برای نمایش ویژگی‌های اصلی این زیرسیستم قطار مناسب است و پارامترها و مؤلفه‌هایی را شناسایی می‌کند که از نظر قابلیت اطمینان و نوسانات در دسترس بودن در تقابل با تغییرات اعمال شده بر مدل با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف، حیاتی‌تر هستند (۲۰۲۲). لین لو و همکاران (۲۰۱۹)، یک فرآیند بهینه‌سازی را با

اروپا (ERTMS/ETCS) می‌باشد. هدف از مطالعه ژواکی (۲۰۱۷)، توسعه یک رویکرد علمی برای مدلسازی و ارزیابی عملکرد قابلیت اطمینان سیستم‌های زیرساخت راه‌آهن است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹)، به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های توزیع زمان عملیات هر بخش از زنجیره حمل و نقل و ارائه‌ی مدلی برای تعیین و ارزیابی قابلیت اطمینان زنجیره‌ی حمل و نقل کانترینر راه‌آهن (زمان سفر) با استفاده از یک الگوریتم ابتکاری از نوع الگوریتم‌های تکرار ریاضی مانند هاسفر و لیند-رکویتز-فسلر (HL-RF) پرداختند. یک مدل بهینه‌سازی هزینه چرخه عمر و کاربرد آن در مسیرهای بالاست برای ریل‌ها توسط شنگ و همکاران (۲۰۱۹) توسعه یافته است. این مدل شامل عدم قطعیت‌های ناشی از زوال ریل و سیاست‌های نگهداری تعمیرات است و با تلفیق تحلیل قابلیت اطمینان و مدل نگهداری تعمیرات ایجاد شده است. این مدل یک بازه‌ی زمانی بهینه را برای اطلاع تصمیم‌گیرندگان به منظور تعویض ریل ارائه می‌نماید و بر اساس بهترین دانش فعلی در مورد مشخصات قابلیت اطمینان، پارامترهای مالی و سیاست‌های نگهداری برای شرایط خاص است و نقش مهمی در افزایش عمر مفید ریل‌ها دارد. ال‌دوری و همکاران (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ی ای با هدف اطمینان از دسترسی پذیری، قابلیت اطمینان و ایمنی و کاهش هزینه‌های نگهداری به دنبال بهبود عملکرد خط راه‌آهن هستند. یک مدل ارزیابی قابلیت اطمینان از نوع شبکه‌ای به نام دیاگرام تاثیر حالت نوعی توسط فوکوکا (۲۰۰۲) پیشنهاد گردید که توانایی ویژه‌ای در توصیف روابط کلی دارد. هنگامی که تجهیزات/تسهیلات/پرسنل، وابستگی‌های پویا و پیچیده دارند، این مدل، می‌تواند به روشنی وابستگی‌های پیچیده را بیان نماید. مطالعه دین محمدی و همکاران (۲۰۱۶)، خطرات احتمالی خرابی‌های غیرمنتظره رخ داده در ناوگان ریلی را با استفاده از روش FMECA تحلیل و ارزیابی می‌کند و مهم‌ترین حالت‌های خرابی در سیستم با توجه به قابلیت اطمینان و معیارهای اقتصادی بررسی و سطح بحرانی شکست تعیین و روش‌های احتمالی برای کاهش خرابی‌ها ارائه می‌شود. به منظور نشان دادن روش ارزیابی ریسک، یک مطالعه موردی از سیستم درب قطار کلاس ۳۸۰ در شبکه ریلی اسکاتلند ارائه می‌گردد. چن (۲۰۰۳)، دو مدل ریاضی را برای سنجش قابلیت اطمینان سیستم ریلی و وقت شناسی قطار بر اساس نظریه اساسی احتمال ارائه نمود. در این مطالعه خرابی‌های فاجعه‌بار (مانند خرابی‌هایی که منتج به

دیگر که هزینه‌های اولیه‌ی بالایی دارند ممکن است هزینه‌های عملیاتی و نگهداری کمی داشته باشند. بنابراین هزینه‌ی چرخه‌ی عمر به جای ارزیابی صرفاً سرمایه‌گذاری دارای ثابت، یک شاخص مناسب برای تصمیم‌گیری نیز می‌باشد (احمد، ۲۰۱۳). مدل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر، همه‌ی هزینه‌های دوره‌ی عمر یک محصول یا کالا را محاسبه می‌نماید. هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اقلام و تجهیزات، فقط قسمتی از کل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر هستند و اکثر هزینه‌ها به هزینه‌ی عملیاتی و نگهداری آنها مرتبط است که بخش زیادی از آن نیز به دلیل شکست‌های رخ داده در طی دوره‌ی بهره‌برداری می‌باشد. تحلیل LCC برای انتخاب یا تعویض و جایگزینی تجهیزات و اقلام، امر بسیار مهمی است. با انجام آنالیز LCC پیش از تصمیم‌گیری در زمینه خرید و جایگزینی یک تجهیز، می‌توان سناریوهای مختلف را بررسی نمود و هزینه‌های پنهانی که سازمان در آینده با آنها رو به رو خواهد بود را شناسایی و برآورد نمود. وقت شناسی، درصد ورود به موقع (رسیدن به موقع بدون هیچ‌گونه بافر) است. تمام تاخیرات در طی فرآیند تصمیم‌گیری بدون هیچ‌گونه بافر در نظر گرفته می‌شوند تا قابلیت اطمینان واقعی خدمات را نشان دهند (لندکس، ۲۰۱۲). برنامه‌ریزان باید مبادلات موجود بین هزینه‌ی چرخه‌ی عمر، میانگین زمان یا فاصله بین خرابی‌ها، وقت شناسی را به دقت و به صورت بهینه به منابع تخصیص دهند. در این مقاله مدل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان برای انتخاب گزینه‌های مناسب سرمایه‌گذاری در زیرسیستم‌های ریلی مسافری در راه آهن ایران ارائه شده است. به منظور بهینه‌سازی قابلیت اطمینان و ارتقاء سطح کیفی خدمات صنعت ریلی، پس از تعیین قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های ریلی، از طریق راهبرد انتخاب و خرید قطعات، تجهیزات مناسب و ناوگان جدید با بیشترین سطح کیفی خدمات در این حوزه می‌توان از تبعات کاهش قابلیت اطمینان در شبکه کاست و سبب ارتقاء سطح کیفی خدمات صنعت ریلی گشت؛ لذا یک مدل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان برای تعیین یک برنامه‌ی سرمایه‌گذاری بهینه با توجه به هزینه‌ی چرخه‌ی عمر، میانگین زمان یا فاصله بین خرابی‌ها و وقت شناسی با استفاده از دو ماژول ارزیابی‌کننده گزینه‌ها و انتخاب‌کننده سرمایه‌گذاری ارائه شده است. در این مقاله با توجه به تصمیم‌مدیریت ارشد مبنی بر طراحی سیستم جدید و یا بهبود وضع موجود، راهبرد انتخاب دارای‌های زیرسیستم‌های ریلی به منظور دستیابی به تضمین کیفیت بالای خدمات با در نظر گرفتن

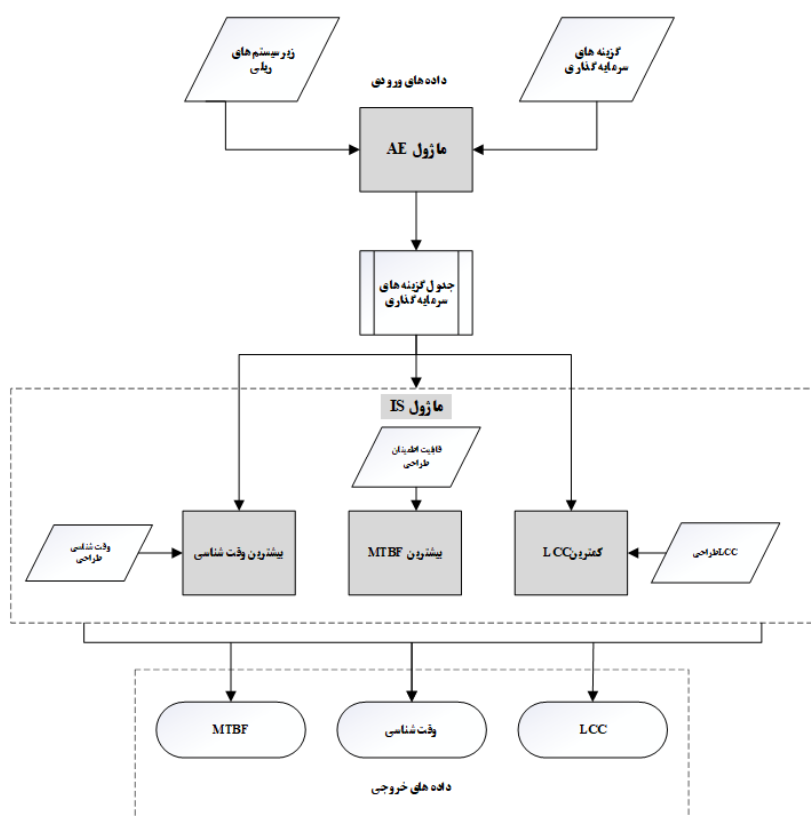
استفاده از دو ماژول توسعه می‌دهند تا به اپراتور در تصمیم‌گیری طراحی بهینه سیستم ریلی کمک کنند. منگ و همکاران (۲۰۲۱)، با تحلیل سه مورد، قابلیت اطمینان شبکه‌های راه‌آهن را بر اساس نظریه احتمال تعریف می‌کنند. طراحی و بهینه‌سازی یک سیستم ریلی شامل فرآیند شناسایی، دستیابی، انتخاب و خرید محصولات مناسب برای تشکیل و یا بهبود یک سیستم ریلی است. سیستم ریلی در راه آهن ایران از چهار زیرسیستم اصلی و سیزده مولفه مربوطه تشکیل شده است. این رابطه مبتنی بر ساختار فرآیند طراحی و تدارکات استخراج شده است. برای دستیابی به سیستم بهینه یا جدید، محصولات متنوعی نیاز است که هر یک دارای معیارهای مختلفی از قبیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر، میانگین زمان یا فاصله‌ی بین خرابی‌ها و وقت شناسی و ... می‌باشند. در ادبیات به معیارهای وقت شناسی، هزینه‌ی چرخه‌ی عمر به عنوان معیارهای ارزیابی کیفیت خدمات در صنعت ریلی از دیدگاه ارائه‌دهنده شبکه / شرکت‌های حمل و نقل ریلی و کاربر شبکه توجه چندانی نشده است. لذا در این مقاله با استفاده از استراتژی انتخاب دارای‌ی و در نظر گرفتن معیارهای مذکور نسبت به انتخاب بهترین دارای‌های زیرسیستم‌های ریلی در صنعت ریلی ایران اقدام شده است. معیارهای هزینه‌ی چرخه‌ی عمر، میانگین زمان یا فاصله‌ی بین خرابی‌ها و وقت شناسی از داده‌های ارائه شده توسط تامین‌کنندگان و شرکت‌های ریلی محاسبه شده یا بدست می‌آیند. میانگین زمان یا فاصله بین خرابی‌های هر محصول را می‌توان از تهیه‌کنندگان بدست آورد. اما، هزینه‌ی چرخه‌ی عمر و وقت شناسی باید از مشخصات محصول و یک برنامه‌ی عملیاتی حاصل شود. قابلیت اطمینان سیستم ریلی، با شاخص‌های میانگین زمان بین خرابی‌ها یا میانگین مسافت بین خرابی‌ها تعریف می‌شود. قابلیت اطمینان سیستم از طریق فراوانی شکست‌ها و به صورت میانگین زمان بین خرابی‌ها یا میانگین مسافت بین خرابی‌ها و نرخ شکست (۱/ میانگین زمان بین خرابی‌ها) تعریف می‌شود. میانگین زمان بین خرابی‌ها یا میانگین مسافت بین خرابی‌ها زیاد منتج به قابلیت اطمینان بالای سیستم می‌گردد (چنگ و همکاران ۲۰۱۷). هزینه‌ی چرخه‌ی عمر (LCC)، هزینه‌ی کل محصول در طی عمر محصول می‌باشد که شامل سرمایه‌گذاری ثابت (برنامه‌ریزی و طراحی)، هزینه‌ی عملیاتی و هزینه‌ی نگهداری در دوره‌ی برنامه‌ریزی است. برخی محصولات دارای هزینه‌ی اولیه‌ی کمی می‌باشند اما هزینه‌های نگهداری و عملیاتی بالایی دارند؛ برخی

سرمایه‌گذاری انتخاب می‌شوند. شکل ۱ چارچوب بهینه سازی را نشان می‌دهد که شامل دو ماژول AE و IS است. در گام اول این چارچوب، ماژول AE ابتدا کلیه گزینه‌های ممکن را ارزیابی نموده و یک جدول سرمایه‌گذاری را با توجه به معیارهای خدمات شامل هزینه چرخه عمر، میانگین زمان یا فاصله بین خرابی‌ها و وقت شناسی تولید می‌کند. متعاقباً ماژول IS مجموعه‌ای از گزینه‌های سرمایه‌گذاری را تعیین می‌نماید. محصولی که پس از حل مسأله انتخاب می‌شود می‌تواند خود یک زیرسیستم باشد (به عنوان مثال کشنده یا واگن) یا اجزای درون زیرسیستم‌ها.

معیارهای مناسب شامل وقت شناسی، هزینه چرخه عمر، میانگین زمان یا فاصله بین خرابی‌ها اتخاذ شده است.

۲- پیشینه تحقیق

به منظور ارتقاء سطح کیفی خدمات صنعت ریلی با افزایش قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها، پس از تعیین قابلیت اطمینان سیستم و انتخاب زیرسیستم‌هایی با کمترین میزان قابلیت اطمینان یا کل زیرسیستم‌ها بر اساس تصمیم مدیریت ارشد، با توجه به راهبرد خرید قطعات، گزینه‌های ممکن هر زیرسیستم برای



شکل ۱. چارچوب بهینه سازی

۲-۱- ماژول ارزیابی کننده گزینه‌ها (AE)

عملیاتی بدست می‌آیند. وقت شناسی برای زیرسیستم J با گزینه‌های خرید n با کمک معیار میانگین تاخیر از رابطه ۳ قابل محاسبه است (چنگ و همکاران، ۲۰۱۵).

ماژول AE برای ارزیابی معیارهای هزینه چرخه عمر، میانگین زمان بین خرابی‌ها و وقت شناسی برای هر گزینه‌ی احتمالی استفاده می‌شود. مقادیر هزینه چرخه عمر و میانگین زمان بین خرابی‌ها از مشخصات محصول توسط تامین‌کنندگان و برنامه

$$P_j = \frac{T_j - \sum_{i \in I} d_{in}}{T_j} \quad \forall \quad i \in I, n \in N \quad (1)$$

P_j : وقت شناسی زیرسیستم j

T_j : زمان عملیاتی زیرسیستم j در دوره‌ی مشخص

d_{in} تاخیر مولفه‌ی i از زیرسیستم j با آلترناتیوها یا ترکیبات احتمالی آلترناتیوها از گزینه خرید n از رابطه ۳ قابل محاسبه است (چنگ و همکاران، ۲۰۱۵).

$$d_{in} = \left(\frac{T_i}{M_{in}}\right)NQ_{in} \quad \forall \quad i \in I, n \in N \quad (2)$$

M_{in} : میانگین زمان یا فاصله بین خرابی‌های مولفه‌ی i از زیرسیستم j با گزینه‌ی احتمالی n (MTBF/MDBF)

T_i : زمان عملیاتی مولفه‌ی i از زیرسیستم j در دوره‌ی مشخص

N : تعداد قطارهای فعال در شبکه

Q_{in} : میانگین تاخیر مولفه‌ی i از زیرسیستم j با گزینه‌ی احتمالی n

Q_{in} یا میانگین تاخیر از یک خرابی مولفه‌ی i از زیرسیستم j با گزینه‌ی احتمالی n با استفاده از داده‌های تاریخی سیستم‌های مشابه یا شبیه‌سازی انواع خرابی‌های احتمالی تعیین می‌شود. پس از محاسبه‌ی P_j ، ماژول AE برای همه‌ی گزینه‌ها، سایر معیارهای سنجش کیفیت یعنی میانگین زمان یا فاصله‌ی بین خرابی‌ها و هزینه چرخه عمر را ایجاد نموده و جدول گزینه‌های سرمایه‌گذاری را به ماژول IS ارائه می‌نماید.

۲-۲- ماژول انتخاب‌کننده سرمایه‌گذاری

ماژول انتخاب‌کننده سرمایه‌گذاری، سرمایه‌گذاری بهینه را برای زیرسیستم‌های ریلی بر اساس گزینه‌های موجود تعیین می‌نماید. برنامه‌ی سرمایه‌گذاری بهینه، بهترین گزینه را برای هر زیرسیستم منطبق با LCC طراحی، قابلیت اطمینان طراحی و وقت شناسی طراحی انتخاب می‌کند. در این راستا یک مدل بهینه سازی توسعه داده شده است که قابلیت اطمینان سیستم را مطابق با حداقل معیارهای خدمات حداکثر می‌نماید.

۳- مدل بهینه سازی قابلیت اطمینان

سه معیار هزینه چرخه عمر، وقت شناسی، میانگین زمان یا فاصله بین خرابی‌ها در مدل بهینه سازی برنامه ریزی عدد صحیح مختلط گنجانده می‌شوند. علاوه بر این، باید به رابطه‌ی بین سیستم، زیرسیستم‌ها و اجزای زیرسیستم‌ها مشخص گردد. همانطور که در نمودار نشان داده شده است، سیستم راه آهن از چهار زیرسیستم مهم با یک رابطه به اصطلاح OR تشکیل شده است. این رابطه نشان می‌دهد که سیستم با خرابی مواجه خواهد شد در صورتی که یکی از این چهار زیرسیستم دچار خرابی گردد. رابطه‌ی بین سیستم، زیرسیستم‌ها و اجزای زیرسیستم‌ها باید در فرآیند تصمیم‌گیری به دقت مورد توجه قرار گیرد. مدل بهینه‌سازی از نمادهای زیر استفاده می‌کند.

J : زیرسیستم

i : مولفه‌ها یا اجزای زیرسیستم‌ها

n : گزینه خرید برای اجزای زیرسیستم‌ها

N, J و i : به ترتیب مجموعه‌های n, j, i

K : آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی آلترناتیوهای درون زیرسیستم J از گزینه خرید n

K_j : مجموعه‌ی K درون زیرسیستم J

J^r و J^T : هر دو زیر مجموعه‌های J هستند؛ اولی کل سیستم ریلی و دومی زیرسیستم‌های ریلی

J^S : زیرمجموعه J است و نمایانگر زیرسیستم با رابطه‌ی OR با مولفه‌ها یا اجزای بعدی

N_i : مجموعه آلترناتیوهای اجزای i

C_{jk} : مقدار LCC آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی آلترناتیوها از زیرسیستم J

P_j : وقت شناسی زیرسیستم j

f_{in}^C : نرخ خرابی گزینه خرید n از جزء یا مولفه i است

f_{jk}^n : نرخ خرابی آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی آلترناتیوها از گزینه خرید n است

T : زمان کل عملیاتی در هر سال

P : مقدار وقت شناسی طراحی

B : مقدار LCC طراحی

E : قابلیت اطمینان طراحی کل سیستم از نظر نرخ خرابی

G_j : قابلیت اطمینان طراحی هر زیرسیستم j از نظر نرخ خرابی

d_{in} : تاخیر مولفه i از زیرسیستم j با آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی آلترناتیوها از گزینه خرید n

f_j^B : نرخ خرابی زیرسیستم j

f : نرخ خرابی سیستم است.

P_j : وقت شناسی برای زیرسیستم j با k ترکیب احتمالی آلترناتیوها

متغیرهای تصمیم مدل

مدل ذیل شش نوع متغیرتصمیم دارد:

δ_{in} یک متغیر باینری است و بیانگر انتخاب گزینه خرید n از مولفه i است که

$$\delta_{in} = \begin{cases} 1 & \text{if alternative } n \text{ of element } i \text{ is selected} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

y_{ik} یک متغیر باینری است و بیانگر انتخاب آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی آلترناتیوها از گزینه خرید n از مولفه i است که

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{if combination } k \text{ of subsystem } j \text{ is selected} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

f_{jk}^n یک متغیر پیوسته است و بیانگر نرخ خرابی آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی آلترناتیوها از گزینه خرید n است

f_j^B یک متغیر پیوسته بیانگر نرخ خرابی زیرسیستم j است.

f یک متغیر پیوسته بیانگر نرخ خرابی سیستم است.

P_j وقت شناسی برای زیرسیستم j با k ترکیب احتمالی آلترناتیوها

آلترناتیوهاست و هر یک معیارهای نرخ خرابی، هزینه چرخه عمر و وقت شناسی هستند و بر اساس محدودیت‌های مدل بهینه سازی در یک زیرسیستم انتخاب می‌شوند. در نهایت بر اساس رابطه‌ی OR که در ساختار سیستم ریلی مفروض برقرار است، برخی گزینه‌ها برای سرمایه‌گذاری گزینش می‌شوند. گزینه‌هایی که انتخاب می‌گردند، نرخ شکست کل سیستم را مینیمم می‌نمایند. مدل پیشنهادی دارای شش متغیر تصمیم با محدودیت‌های زیر است.

تابع هدف، ماکزیمم نمودن قابلیت اطمینان سیستم ریلی یا زیرسیستم‌های منتخب ریلی است که قرار است برای آنها اقلام بهینه با توجه به محدودیت‌های نرخ شکست طراحی f نرخ شکست سیستم ریلی است و نرخ شکست براساس $1/MTBF$ تعریف می‌شود، هزینه چرخه عمر طراحی و وقت شناسی طراحی در مدل گزینش شوند. هر کدام از اقلام در هر یک از زیرسیستم‌ها دارای گزینه‌های خریدی هستند که هر کدام از آن گزینه‌های خرید خود دارای آلترناتیو یا ترکیبی از

مدل بهینه‌سازی

$$\text{Max } (1 - f) \quad (5)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K} f_{jk}^n y_{ik} \leq G_j \quad \forall j \in J_r \quad (6)$$

$$\sum_{n \in N_i} \delta_{in} = 1 \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} y_{ik} = 1 \quad \forall j \in J_r \quad (8)$$

می‌شوند. فرآیند بهینه‌سازی با استفاده از داده‌های تجربی بدست آمده از سیستم ریلی ایران برای نشان دادن کاربرد آن در طراحی و به روز رسانی سیستم ریلی و با هدف حداکثر نمودن قابلیت اطمینان گزینه‌های خرید برای سیستم ریلی منطبق با وقت شناسی طراحی، قابلیت اطمینان طراحی و LCC طراحی انجام شده است. انتخاب راهبرد خرید قطعات با کیفیت به ارتقاء قابلیت اطمینان و کیفیت خدمات هر یک از زیرسیستم‌ها و کل سیستم می‌انجامد؛ برای این منظور با استفاده از چارچوب بهینه‌سازی تشریح شده در بخش قبل و ماژول‌های ارزیابی کننده‌ی گزینه‌ها و انتخاب کننده‌ی سرمایه‌گذاری، برای هر زیرسیستم گزینه‌های مناسب انتخاب می‌گردند.

سیستم ریلی ایران به طور کلی شامل چهار زیرسیستم سیگنالینگ، خط، ناوگان واگن و ناوگان کشنده می‌باشد که هر یک از این زیرسیستم‌ها دارای عناصر و مولفه‌هایی هستند و هر کدام از این مولفه‌ها از اجزای دیگری تشکیل شده‌اند. هر زیرسیستم، آلترناتیوها یا گزینه‌های مختلفی با قابلیت اطمینان، LCC و وقت شناسی را داراست. به منظور خرید این اجزاء، گزینه‌هایی کاندید می‌شوند و اطلاعات هر کدام از آنها از طریق تامین‌کنندگان و داده‌های تاریخی آن سیستم و یا سیستم‌های مشابه حاصل می‌گردد. در سیستم ریلی ایران به منظور تعیین و انتخاب گزینه‌های مناسب سرمایه‌گذاری، پس از محاسبه‌ی مقدار d_{in} (تاخیر مولفه‌ی i از زیرسیستم J با آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی آلترناتیوها از گزینه خرید n) از رابطه ۲ و بدست آوردن ویژگی‌های هر آلترناتیو از تامین‌کنندگان یا شرکت‌های حمل و نقل ریلی (MTBF و LCC)، با کمک ماژول ارزیابی کننده‌ی گزینه‌ها، تمام گزینه‌های احتمالی ارزیابی شد و یک جدول سرمایه‌گذاری با توجه به مشخصات هر کدام از آنها برای ماژول انتخاب کننده یا گزینشگر سرمایه‌گذاری

معادله ۵ تابع هدف قابلیت اطمینان سیستم $(1-f)$ را به حداکثر می‌رساند؛ f نرخ شکست سیستم ریلی است و نرخ شکست براساس $1/MTBF$ تعریف می‌شود. معادله ۶ تضمین می‌نماید که قابلیت اطمینان هر زیرسیستم (از نظر نرخ خرابی) باید کمتر از قابلیت اطمینان طراحی زیرسیستم (از نظر نرخ خرابی) باشد. معادله ۷ تضمین می‌کند که فقط یک گزینه خرید برای یک مولفه انتخاب می‌شود. معادله ۸ تضمین می‌کند که فقط یکی از آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی آلترناتیوها برای یک گزینه خرید انتخاب می‌شود. معادله ۹ محدودیت بودجه است. معادله ۱۰ نرخ خرابی آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی آلترناتیوها در زیرسیستم J (برای مثال f_{jk}^n) متشکل از مولفه‌هایی با رابطه‌ی OR دارای بیشترین نرخ خرابی در بین تمام مولفه‌های A در زیرسیستم J می‌باشد. معادله ۱۱ مقدار نرخ خرابی زیرسیستم J را از f_{jk}^n نشان می‌دهد (برای مثال f_j^B). به همین ترتیب معادله ۱۲ مقدار نرخ خرابی سیستم (یعنی f) را از f_j^B تعیین می‌کند. معادله ۱۳ تضمین می‌نماید که قابلیت اطمینان کل سیستم از نظر نرخ خرابی باید کمتر از قابلیت اطمینان طراحی کل سیستم (از نظر نرخ خرابی) باشد. معادله ۱۴ تضمین می‌کند که وقت شناسی زیرسیستم بیشتر یا مساوی وقت شناسی طراحی است. سایر معادلات ویژگی متغیرها را نشان می‌دهند. از مدل بهینه‌سازی ارائه شده با استفاده از داده‌های تجربی بدست آمده از سیستم ریلی راه آهن ج.ا.ا. برای طراحی سیستم جدید یا به روز رسانی سیستم ریلی فعلی استفاده می‌شود. سیستم باید به دقت منطبق با معیارهای خدمات صنعت ریلی طراحی شود.

۴- نتایج مدل بهینه‌سازی

در این بخش با استفاده از چارچوب و مدل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان و با توجه به استراتژی خرید قطعات، گزینه‌های ممکن هر زیرسیستم ریلی به منظور ارتقاء سطح کیفی خدمات صنعت ریلی و با هدف افزایش قابلیت اطمینان سیستم انتخاب

از زیرسیستم j با گزینه‌ی احتمالی k با استفاده از داده‌های تاریخی سیستم‌های مشابه و اطلاعات شرکت‌های حمل و نقل ریلی تعیین شده است. گزینه‌های سرمایه‌گذاری در جدول ۱ ارائه شده است.

ایجاد گردید. جدول ۱ گزینه‌های سرمایه‌گذاری را برای هر یک از زیرسیستم‌های ریلی نشان می‌دهد. زمان عملیاتی ۸۷۶۰ ساعت و تعداد قطار فعال در شبکه روزانه ۱۲۰ قطار در نظر گرفته شده است. Q_{ik} یا میانگین تاخیر از یک خرابی مولفه‌ی

$$\sum_{j \in J_r} \sum_{k \in K} C_{jk} y_{ik} \leq B \quad (9)$$

$$f_{jk}^n \geq f_{in}^C \quad \forall (i, l) \in n \in N_i, k \quad (10)$$

$$f_j^B \geq f_{jk}^n \quad \forall k \in K_j, j \in J_r \quad (11)$$

$$f \geq f_j^B \quad \forall j \in J_r \quad (12)$$

$$E \geq f \quad (13)$$

$$P_j \geq P \quad (14)$$

and

$$\delta_{in} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, n \in N_i \quad (15)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad (16)$$

$$\forall k \in K_j, j \in J \quad (17)$$

$$f_{jk}^n \geq 0 \quad \forall k \in K_j, j \in J \quad (18)$$

$$f_j^B \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (19)$$

$$f \geq 0 \quad (20)$$

$$P_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (21)$$

جدول ۱. گزینه‌های سرمایه‌گذاری

هزینه چرخه عمر LCC (C_jink) toman	میانگین زمان بین خرابی MTBF=1/f_jk (M_jink)	آلترناتیوها یا ترکیب احتمالی (k=1,2,...)	f_in	d_in	گزینه‌های خرید (n=1,2,3,...)	مولفه‌های زیرسیستم (i=1,2,...)	وقت شناسی P_j	زیرسیستم‌ها (j=1,2,3,4)
10,000,000	10000	باتری ۱	0.0001	4.5	باتری	علامت	95%	سیگنالینگ
10,800,000	11000	باتری ۲						
100,000,000	9000	1PMU مازول	0.00011	5	PMU مازول			
160,500,000	8500	2PMU مازول						
100,000,000	7800	1PA مازول						
100,500,000	8100	2PA مازول	0.00013	2	PA مازول			
250,000,000	9000	PA1 مازول، PA2 مازول						
80,500,000	9500	CCTV 1	0.00011	3	CCTV	ارتباط		
90,200,000	9900	CCTV 2						
100,000,000	12000	سیستم تغذیه ۱	0.00008	8	سیستم تغذیه			
110,000,000	12200	سیستم تغذیه ۲						
5,000,000	8800	بسیم ثابت ایستگاهی ۱	0.0001	5	بسیم ثابت ایستگاهی			
3,900,000	8600	بسیم ثابت ایستگاهی ۲						
10,500,000	10500	روتر ۱	0.00099	4	روتر			

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره سوم، شماره ۸۰، پاییز ۱۴۰۳

25,500,000	11000	روت ۲						
12,650,000	9000	سونچ ۱	0.0001	4	سونچ			
30,870,000	9800	سونچ ۲						
32,550,000	8500	کنسول ۱	0.0001	6	کنسول			
5,000,000	8800	کنسول ۲						
150,000,000	7800	CME.SRST 1	0.00011	4	CME.SRST			
143,500,000	7900	CME.SRST 2						
115,000,000	13000	دیپچر ۱	0.00007	5	دیپچر			
150,000,000	13100	دیپچر ۲						
150,000,000	6800	دکل ۱	0.00014	6.9	دکل			
130,500,000	7100	دکل ۲						
85,000,000	8800	Onboard1	0.0001	4.4	Onboard	ATC		
69,000,000	8900	Onboard۲						
150,000,000	11200	نمایشگر ATC 1	0.00009	5.5	ATC نمایشگر			
142,000,000	11100	نمایشگر ATC 2						
19,000,000	14000	مدار ATC 1	0.00007	5.9	ATC مدار			
18,500,000	13800	مدار ATC 2						
...		
5,000,000,000	8000	ریل ۱	0.00013	7	ریل	ریل		
4,500,000,000	7800	ریل ۲						
1,500,000,000	8700	تراورس بتنی ۱	0.00011	5.3	تراورس بتنی	تراورس		
2,000,000,000	8800	تراورس بتنی ۲						
1,000,000,000	9000	تراورس فلزی ۱	0.0001	6.4	تراورس فلزی			
1,500,000,000	9050	تراورس فلزی ۲						
100,000,000	13500	پایند کامل ۱	0/00007	4.3	پایند کامل	پایند و اتصالات		
150,000,000	13400	پایند کامل ۲						
25,000,000	11000	پیچ تراورس ۱	00009.0	4.7	پیچ تراورس			
20,000,000	11200	پیچ تراورس ۲						
2,000,000	14000	کلیپ (پایندهها)	00006.0	6	کلیپ			
3,000,000	14150	پیچ مخروطی ۱	00007.0	5	پیچ مخروطی			
2,500,000	14200	پیچ مخروطی ۲						
3,500,000	15000	فنر دوگانه	00007.0	5	فنر دوگانه			
50,000,000	18000	لاستیک زیر ریل	00006.0	4.5	لاستیک زیر ریل			
...	
255,000,000	10000	چرخ و محور ۱	0.00010	8.5	چرخ و محور	تجهیزات دیزل		
300,000,000	10200	چرخ و محور ۲						
88,000,000	12500	مخزن سوخت ۱	0.00008	9.1	مخزن سوخت			
75,000,000	12550	مخزن سوخت ۲						
140,000,000	14300	ژنراتور اصلی ۱	0.00007	7.5	ژنراتور اصلی			
156,000,000	15000	ژنراتور اصلی ۲						
93,000,000	15400	ژنراتور استارت ۱	0/00006	6.4	ژنراتور استارت			
84,000,000	15900	ژنراتور استارت ۲						
22,500,000	7000	فیلتر هوا ۱	0.00014	8.2	فیلتر هوا			
34,500,000	6500	فیلتر هوا ۲						
10,500,000	9000	فیلتر سوخت ۱	0.00011	9.3	فیلتر سوخت			
24,000,000	9800	فیلتر سوخت ۲						
11,000,000	16000	شیر مگنت ۱	0.00006	4.3	شیر مگنت			
10,000,000	16100	شیر مگنت ۲						
3,000,000	5000	سنسور سیستم ترمز ۱	0.00002	5.6	سنسور سیستم ترمز			
2,000,000	5600	سنسور سیستم ترمز ۲						
1,000,000	7000	مخزن انبساط آب ۱	0.00014	7.3	مخزن انبساط آب			
1,200,000	7200	مخزن انبساط آب ۲						
55,000,000	8000	موتور هیدرولیکی ۱	0.00012	5.8	موتور هیدرولیکی			
48,000,000	8200	موتور هیدرولیکی ۲						
25,000,000	8900	گیربکس ۱	0.00011	7	گیربکس			
35,000,000	8800	گیربکس ۲						
26,000,000	7800	تراکشن موتور ۱	0.00013	9.5	تراکشن موتور			
31,000,000	7900	تراکشن موتور ۲						
3,000,000	9000	خنک کننده روغن ۱	0.0001	6.5	خنک کننده روغن			
4,500,000	9880	خنک کننده روغن ۲						
20,000,000	5500	مجموعه کمپرسور ۱	0.00016	10	مجموعه کمپرسور			
22,000,000	5970	مجموعه کمپرسور ۲						
1,500,000	4800	پمپ روغن ۱	0.00021	5.7	پمپ روغن			

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره سوم، شماره ۸۰، پاییز ۱۴۰۳

1,800,000	4700	پمپ روغن ۲						
1,400,000	3250	فیلتر روغن ۱	0.00018	9	فیلتر روغن			
1,600,000	3920	فیلتر روغن ۲						
2,500,000	8000	شیر Dead-man ۱	0.00012	6.8	شیر Dead-man			
3,000,000	8250	شیر Dead-man ۲						
50,000,000	9800	تامپون ۱	0.00001	5	تامپون			
45,000,000	10000	تامپون ۲						
3,000,000,000	11000	بوژی ۱	0.00009	9	بوژی			
2,500,000,000	11500	بوژی ۲						
455,000,000	12000	تراکشن موتور ۱	0.00008	8	تراکشن موتور			
550,000,000	12400	تراکشن موتور ۲						
15,000,000	15000	قلاب ۱	0.00006	5	قلاب			
19,000,000	15700	قلاب ۲						
...			
3,000,000	16000	کفش ترمز چدنی مسافری ۱	0.00006	3.5	کفش ترمز			
4,500,000	17000	کفش ترمز چدنی مسافری ۲						
1,500,000	20000	قاب کفش ترمز ۱	0.00005	4.2	قاب کفش ترمز			
2,000,000	21000	قاب کفش ترمز ۲						
3,500,000	7800	شمشیرک ۱	0.00007	5	شمشیرک			
4,000,000	7900	شمشیرک ۲						
12,500,000	14000	لنت ترمز ۱	0.00007	6	لنت ترمز			
15,500,000	13800	لنت ترمز ۲						
1,500,000	14000	قاب لنت ترمز ۱	0.00007	7.5	قاب لنت ترمز			
1,650,000	15000	قاب لنت ترمز ۲						
900,000	6500	پیچ و مهره و واشر فلزی پابند ۱	0.00013	4.7	پیچ و مهره و واشر فلزی پابند			
800,000	7800	پیچ و مهره و واشر فلزی پابند ۲						
750,000	7845	پابند کج ۱	0.00011	5.7	پابند کج			
900,000	8520	پابند کج ۲						
800,000	7900	پابند راست ۱	0.00011	6	پابند راست			
950,000	8200	پابند راست ۲						
900,000	10200	ضرب گیر هیدرولیک کوچک ۱	0.0001	5	ضرب گیر هیدرولیک کوچک			
850,000	10450	ضرب گیر هیدرولیک کوچک ۲						
950,000	10500	ضرب گیر هیدرولیک بزرگ ۱	0.0001	4	ضرب گیر هیدرولیک بزرگ			
900,000	10650	ضرب گیر هیدرولیک بزرگ ۲						
850,000	9000	والیک ضرب گیر هیدرولیک کوچک ۱	0.00009	4.5	والیک ضرب گیر هیدرولیک کوچک			
980,000	9200	والیک ضرب گیر هیدرولیک کوچک ۲						
800,000	9500	والیک شاهنگ ۱	0.00011	4.7	والیک شاهنگ			
930,000	9400	والیک شاهنگ ۲						
820,000	7800	شیلنگ ضد لغزش ۱	0.00013	5	شیلنگ ضد لغزش			
990,000	7900	شیلنگ ضد لغزش ۲						
780,000	4800	واشر اورینگ ضد لغزش ۱	0.00019	6.4	واشر اورینگ ضد لغزش			
950,000	5200	واشر اورینگ ضد لغزش ۲						
860,000	7500	پیچ و مهره پاکتی ۱	0.00011	8	پیچ و مهره پاکتی			
900,000	8200	پیچ و مهره پاکتی ۲						
750,000	5800	بوش سر میله مثلث ۱	0.00017	5	بوش سر میله مثلث			
1,000,000	5900	بوش سر میله مثلث ۲						
4,000,000	7890	اشپیل بوش سر میله مثلث ۱	0.00013	8	اشپیل بوش سر میله مثلث			
3,800,000	7450	اشپیل بوش سر میله مثلث ۲						
1,500,000	8540	واشر سر پنجه ۱	0.00011	5.8	واشر سر پنجه			
1,900,000	8690	واشر سر پنجه ۲						
2,000,000	8700	ناودانی پابند (فقل پابند) ۱	0.0001	6.2	ناودانی پابند (فقل پابند)			
2,400,000	9000	ناودانی پابند (فقل پابند) ۲						

واگن

96%

آلات محرکه
واگن

1,700,000	8500	کلامک بالشتک ۱	0.00011	7	کلامک بالشتک			
1,900,000	8700	کلامک بالشتک ۲						
23,000,000	9600	والیک فلاپ ۱	0.0001	6	والیک فلاپ			
25,000,000	9550	والیک فلاپ ۲						
19,000,000	8000	والیک شاخ ۱	0.00012	8	والیک شاخ			
21,000,000	8100	والیک شاخ ۲						
...

توقف زمانی $option\ optcr=0$ اجرا نمودیم و به جواب بهینه دست یافتیم. بار دیگر با استفاده از خطی سازی، معادله ی غیرخطی ۶ را بازنویسی نمودیم؛ در محدودیت مذکور ضرب متغیرهای پیوسته ی مثبت و باینری رخ داده است که خطی سازی دقیق دارد (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۲).

در مدل ریاضی بهینه سازی تشریح شده در بخش قبل، یکی از محدودیت ها غیرخطی است؛ با استفاده از دو شیوه می توان به جواب بهینه دست یافت. از آنجایی که حل کننده *baron* در نرم افزار گمز، قابلیت حل مسائل غیرخطی را داراست به همین دلیل یکبار با استفاده از حل کننده مذکور مساله را کدگذاری و توسط نرم افزار 25.1.2 GAMSwin64 با شرط

$$\sum_{k \in K} f_{jk}^n y_{ik} \leq G_j \quad \forall j \in J_r \quad (6)$$

در غیر اینصورت مقدار $z = 0$ خواهد شد. با استفاده از متغیر تصمیم پیوسته و مثبت x_2 می توانیم این معادله را بصورت زیر خطی سازی کنیم.

بر اساس مقاله نوروزی و همکاران برای خطی سازی، فرض می کنیم که $z = x_1 \times x_2$ است که در آن x_1 متغیر تصمیم باینری و x_2 متغیر تصمیم پیوسته و مثبت است. در این حالت اگر x_1 برابر با ۱ باشد z می تواند به اندازه ی x_2 مقدار بگیرد؛

$z \leq x_2$	مرحله ۱
$z \leq bigM \times x_1$	مرحله ۲
$z \geq x_2 - bigM \times (1 - x_1)$	مرحله ۳

تمامی اندیس های هر دو متغیرهای در هم ضرب شده را داشته باشد. در ادامه با محدودیت های ارائه شده برای خطی سازی دقیق، محدودیت های لازم برای این پژوهش نوشته می شود.

بر همین اساس، محدودیت ۶ باز نویسی می شود؛ یک تغییر متغیر انجام می شود که متغیر جدید معرفی شده به صورت $f y_{ijk}^n$ ، متغیری تصمیم پیوسته و مثبت است که می بایست

$$\sum_{k \in K} f y_{ijk}^n y_{ik} \leq G_j \quad \forall j \in J_r \quad (6)$$



$\sum_{k \in K} f y_{ijk}^n \leq G_j \quad \forall j \in J_r$	مرحله ۴
$f y_{ijk}^n \leq f_{jk}^n \quad \forall i, j, k, n$	مرحله ۵
$f y_{ijk}^n \leq bigm \times y_{ik} \quad \forall i, j, k, n$	مرحله ۶
$f y_{ijk}^n \geq f_{jk}^n - bigm \times (1 - y_{ik}) \quad \forall i, j, k, n$	مرحله ۷

گمز با هم برابر شده اند و مقدار ۰,۹۹۹ را اختیار نموده اند. شکل ۲ حل مدل با استفاده از روش خطی سازی و حل کننده *cplex* را نشان می دهد.

با حل مساله از طریق دو روش خطی سازی و حل کننده مسائل غیرخطی *baron*، نشان شده است که مقدار تابع هدف در حالت خطی با حل کننده *cplex* در نرم افزار گمز و مقدار تابع هدف در حالت غیر خطی با حل کننده *baron* در نرم افزار

S O L V E S U M M A R Y			
MODEL	Max1	OBJECTIVE OF	
TYPE	MIP	DIRECTION	MAXIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	217
**** SOLVER STATUS	1	Normal Completion	
**** MODEL STATUS	1	Optimal	
**** OBJECTIVE VALUE		0.9990	
RESOURCE USAGE, LIMIT	0.359	1000.000	
ITERATION COUNT, LIMIT	0	2000000000	
IBM ILOG CPLEX 24.1.2 r40979 Released Jun 16, 2013 WEI x86_64/MS Wind			
--- GAMS/Cplex licensed for continuous and discrete problems.			
Cplex 12.5.1.0			

شکل ۲. حل مدل با استفاده از روش خطی سازی و حل کننده *cplex*

S O L V E S U M M A R Y			
MODEL	Max1	OBJECTIVE OF	
TYPE	MINLP	DIRECTION	MAXIMIZE
SOLVER	BARON	FROM LINE	208
**** SOLVER STATUS	1	Normal Completion	
**** MODEL STATUS	1	Optimal	
**** OBJECTIVE VALUE		0.9990	
RESOURCE USAGE, LIMIT	1.900	1000.000	
ITERATION COUNT, LIMIT	0	2000000000	
EVALUATION ERRORS	0	0	
GAMS/BARON 24.1.2 r40979 Released Jun 16, 2013 WEI x86_64/			

شکل ۳. حل مدل با استفاده از حل کننده *baron*

احتمالی، فرض بر این است که وقت شناسی طراحی از ۹۵٪ تا ۹۹٪ با مقدار ۱٪ افزایش می‌یابد. جدول ۳ مقدار MTBF و LCC هر زیرسیستم را در سطوح متفاوت وقت شناسی طراحی نشان می‌دهد.

جدول ۳ نشان می‌دهد که محدوده‌ی هزینه کل از ۱۰,۲۸۰ میلیارد تا ۲۲,۹۹۵ میلیارد تومان است. افزایش مقدار وقت شناسی طراحی منتج به افزایش MTBF می‌گردد که نیازمند مقدار LCC قابل توجهی است. با این حال هر زیرسیستم تحت مقادیر متفاوت وقت شناسی طراحی، دارای گزینه‌های خاص با MTBF و LCC متفاوتی است؛ بنابراین هر زیرسیستم نرخ‌های افزایش متفاوتی دارد.

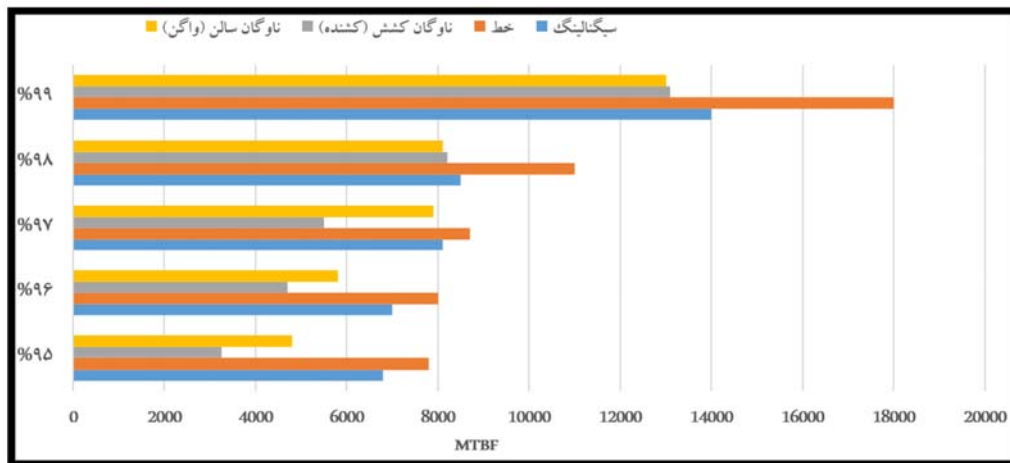
حل ۳ مدل با استفاده از حل کننده *baron* را نشان می‌دهد. از آنجایی که گزینه‌های مورد نظر با توجه به مقدار نرخ شکست طراحی برابر ۰,۰۱٪ و به صورت نو از تامین کننده خریداری می‌شوند، دارای حداقل نرخ شکست یا بیشترین MTBF هستند، لذا قابلیت اطمینان در تحلیل نتایج فصل چهارم دارای مقادیر بیشینه ۹۹٪ می‌باشد. جدول ۲ مقادیر متغیرهای تصمیم مدل حل شده را با مقدار LCC طراحی برابر ۱۰۵۰۰۰۰۰۰۰ تومان و وقت شناسی طراحی ۹۵٪ و قابلیت اطمینان طراحی (از نظر نرخ شکست) ۰,۰۱٪ نشان می‌دهد. با انتخاب این آلترناتیوها تابع هدف بیشینه می‌گردد و محدودیت‌ها نیز حفظ می‌شوند. حال برای بررسی سناریوهای

جدول ۲. مقادیر متغیرهای تصمیم مدل

هزینه چرخه عمر LCC (C _{jink}) toman	میانگین زمان بین خرابی MTBF=1/f _j (M _{jink})	آلترناتیوها یا ترکیبات احتمالی (k=1,2,...)	f _{in}	d _{in}	گزینه های خرید n=1,2,3,... (...)	مولفه های زیرسیستم (i=1,2,...)	وقت شناسی P _j	زیرسیستم ها (j=1,2,3,4)
100,000,000	9000	1PMU	0.00011	5	PMU ماژول	علائم	%۹۵	سیگنالینگ
115,000,000	13000	دیسپچر ۱	0.00007	5	دیسپچر	ارتباط		
150,000,000	11200	نمایشگر 1 ATC	0.00009	5.5	نمایشگر ATC	ATC		
...		
5,000,000,000	8000	ریل ۱	0.00013	7	ریل	ریل	%۹۶	خط
2,000,000,000	8800	تراورس بتنی ۲	0.00011	5.3	تراورس بتنی	تراورس		
20,000,000	11000	پیچ تراورس ۲	0.00009	4.7	پیچ تراورس	پابند و اتصالات		
...		
75,000,000	10200	مخزن سوخت ۲	0.00008	9.1	مخزن سوخت	تجهیزات دیزل	%۹۶	کشنده
3,000,000,000	11000	بوژی ۱	0.00009	9	بوژی	آلات ناقله دیزل		
...		
15,500,000	14000	لنت ترمز ۲	0.00007	6	لنت ترمز	بدنه واگن	%۹۶	واگن
25,000,000	96000	والیک قلاب ۲			والیک قلاب	آلات محرکه واگن		
...		

جدول ۳. مقادیر MTBF و LCC در سطوح متفاوت وقت شناسی طراحی

99%	98%	97%	96%	95%	زیرسیستم
MTBF (hours)					
14000	8500	8100	7000	6800	سیگنالینگ
18000	11000	8700	8000	7800	خط
13100	8200	5500	4700	3250	ناوگان کشنده
13000	8100	7900	5800	4800	ناوگان واگن
LCC (toman)					
566370000	340950000	321970000	251400000	213500000	سیگنالینگ
4512800000	2755900000	2450680000	2151900000	2001800000	خط
17902800000	10965800000	9057500000	8586600000	8059600000	ناوگان کشنده
13960000	9100000	8200000	7000000	5900000	ناوگان واگن
22995930000	14071750000	11838350000	11099690000	10280800000	هزینه کل



شکل ۴. مقدار MTBF هر زیرسیستم را در سطوح مختلف وقت شناسی طراحی

قطعات یدکی هستند و نیاز به هزینه ی سرمایه گذاری بالایی ندارند. نسبت LCC تخصیص یافته به سیستم ناوگان کشنده به میزان قابل توجهی در وقت شناسی ۹۹٪ افزایش داشته است تا استانداردهای بالایی در وقت شناسی برآورد شود. بنابراین، در نظر گرفتن وقت شناسی (در سطوح مختلف) می تواند تاثیر تاخیر کل را بر مسافران به طور چشمگیری کاهش دهد و قابلیت اطمینان سیستم نیز افزایش می یابد.

با توجه به LCC هر زیرسیستم، بودجه ی بیشتری در ناوگان کشنده، خط و سیگنالینگ به دلیل تاثیر بیشتر بر قابلیت اطمینان خدمات اختصاص می یابد. بودجه ی کمتری به زیرسیستم ناوگان واگن اختصاص می یابد زیرا تاثیر آن بر وقت شناسی نسبتاً کمتر از سایر سیستم هاست. قابلیت اطمینان و وقت شناسی سیستم ریلی باید منطبق با رضایت مسافر و مقررات قابل قبول تنظیم شود. نتایج این مطالعه نشان می دهد که وقت شناسی می تواند به طور موثری بر قابلیت اطمینان سیستم تاثیر گذاشته و تاخیر را کاهش داده و رضایت مسافر را افزایش دهد. اقلام و آیتم های هر زیرسیستم می توانند از طریق تامین کنندگان تجهیزات مختلف برای طراحی سیستم ریلی جدید یا به روزرسانی سیستم موجود انتخاب شوند. تصمیم گیرندگان برای تخصیص بهینه ی منابع باید تبادلات متوازی میان قابلیت اطمینان سیستم، قابلیت وقت شناسی و LCC انجام دهند. مطالعات موردی نشان می دهند که قابلیت اطمینان می تواند برای سیستم های جدید در مرحله ی طراحی نسبت به مرحله ی بهبود (برای سیستم های موجود) با همان میزان پول به طور موثرتری افزایش یابد.

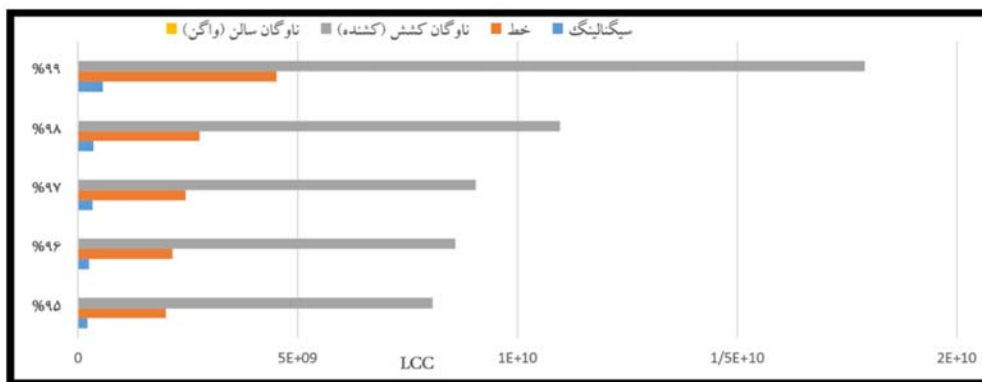
شکل ۴ مقدار MTBF هر زیرسیستم را در سطوح متفاوت وقت شناسی طراحی (۹۵٪، ۹۶٪، ۹۷٪، ۹۸٪ و ۹۹٪) نشان می دهد. با افزایش سطح وقت شناسی طراحی، تفاوت در توزیع های MTBF برای همه زیرسیستم ها آشکار می شود. خط و سیگنالینگ در تمام سناریوهای افزایش، دارای بیشترین مقادیر MTBF هستند؛ پس از این دو زیرسیستم، ناوگان کشنده و ناوگان واگن در سطح وقت شناسی ۹۸٪ و ۹۹٪ دارای بیشترین مقدار MTBF هستند؛ افزایش زیاد در مقدار MTBF نشان دهنده ی فراوانی کمتر برای خرابی سرویس در سیستم ریلی مسافری و وقت شناسی بیشتر است. در هر صورت، وقت شناسی به پیامدهای شکست خدمات (تاخیر در هر خرابی) نیز بستگی دارد. علاوه بر وقت شناسی طراحی و قابلیت اطمینان سیستم، این مدل LCC را نیز برای تعیین بهترین ترکیب در بین همه گزینه ها در نظر می گیرد. شکل ۵ تخصیص LCC را برای هر زیرسیستم نشان می دهد. در شکل ۶ مقدار افزایش وقت شناسی طراحی نسبت به افزایش LCC کل از ۹۵٪ به ۹۷٪ اندک است؛ LCC کل از ۹۷٪ به ۹۹٪ به شدت افزایش یافته است؛ زیرا رابطه غیرخطی بین هزینه و وقت شناسی وجود دارد.

با توجه به خرابی های مکرر و سوانح رخ داده نیاز به خرید قطعات ناوگان کشنده و میزان هزینه چرخه عمر نسبت به سایر زیرسیستم ها بیشتر است؛ پس از آن زیرسیستم خط و سپس زیرسیستم سیگنالینگ در سطوح مختلف وقت شناسی، بیشترین میزان LCC را به خود اختصاص داده اند. در این مطالعه موردی، قطعات مورد نیاز در ناوگان واگن، بیشتر قطعات مصرفی و

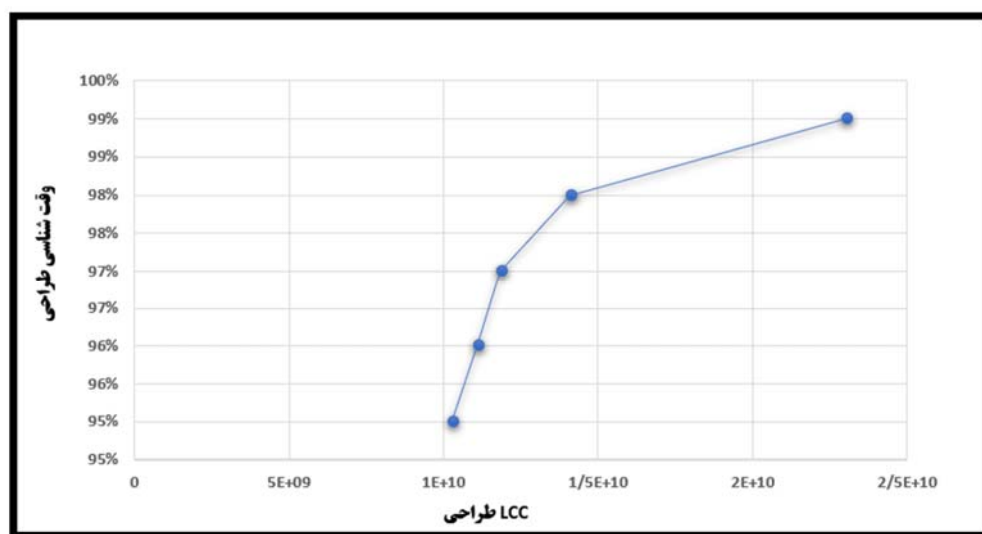
اطمینان عملیات دنیای واقعی است. تست دقیق داده‌ها به طور کلی برای یک محصول خاص مورد نیاز است و اعتبار آنها را می‌توان با داده‌های عملکرد واقعی بهبود داد. مطالعات موردی نشان می‌دهد که فرآیند بهینه سازی می‌تواند به طور موثر و موفقیت آمیز همه‌ی گزینه‌های ممکن را ارزیابی نماید و مجموعه‌های سرمایه‌گذاری بهینه را با توجه به قابلیت اطمینان سرویس طراحی یا LCC تعیین کند.

بنابراین، سیستم‌هایی که با دقت بسیار طراحی شده‌اند، می‌توانند با تخصیص منابع مناسب از دوباره کاری‌ها و پردازش‌ها و بهسازی‌های پر هزینه جلوگیری نمایند.

صحت داده‌های قابلیت اطمینان بدست آمده از تامین کنندگان، یک عامل مهم برای تعیین موفقیت آمیز برنامه‌ی سرمایه‌گذاری بهینه از طریق این فرآیند است. داده‌های عملکرد واقعی یک زیرسیستم خاص در یک سیستم ریلی نشان دهنده‌ی قابلیت



شکل ۵. تخصیص LCC را برای هر زیر سیستم در سطوح مختلف وقت شناسی طراحی



شکل ۶. افزایش LCC طراحی و وقت شناسی طراحی

۵- نتیجه گیری

خدمات در سیستم ریلی مانند LCC، وقت شناسی و میانگین زمان بین خرابی‌ها برای تعیین برنامه‌ی بهینه‌ی سرمایه‌گذاری به منظور طراحی یا به روزرسانی سیستم ریلی با قابلیت اطمینان

در این مقاله یک مدل بهینه سازی با توجه به ویژگی‌های یک سیستم ریلی مسافری و گزینه‌های احتمالی در راه آهن ایران ارائه گردید؛ مدل پیشنهادی می‌تواند با در نظر گرفتن معیارهای

ارزیابی مستمر قابلیت اطمینان خدمات و بهبود در فعالیت‌های خود می‌باشند.

مدل پیشنهادی می‌تواند برنامه بهینه سرمایه‌گذاری و مناسب‌ترین گزینه‌ها را به منظور طراحی یا به روزرسانی سیستم ریلی تعیین نماید و به صنعت ریلی در پیش بینی قابلیت اطمینان سیستم‌ها و زیرسیستم‌ها و تخصیص مناسب معیارهای خدمات شامل هزینه، قابلیت اطمینان و وقت شناسی قطارهای مسافری کمک کند.

بالا مورد استفاده قرار گیرد. توجه به این معیارها می‌تواند در تصمیم‌گیری خرید قطعات با سطح کیفی متفاوت تاثیرگذار باشد. هرچه مقدار میانگین زمان بین خرابی‌ها بیشتر، هزینه چرخه عمر بالاتر و وقت شناسی بالاتر باشد، گزینه‌هایی انتخاب می‌شوند که قابلیت اطمینان بیشتری (نرخ خرابی کمتر) دارند. خرابی‌ها و شکست‌ها، درآمد خدمات ریلی را متوقف می‌سازند یا در عملیات جدول زمانی روزانه اختلال ایجاد می‌کنند؛ بنابراین شرکت‌های ریلی و نمایندگان حمل و نقل عمومی نیازمند

۶-مراجع

- Eboli, L, Fu, M, Mazzulla. G. (2016). Multilevel comprehensive evaluation of the railway service quality. *Procedia Engineering* 137, 21 – 30.
- Firew. T. (2016), Analysis of Service Reliability of Public Transportation in the Helsinki Capital Region: The Case of Bus Line 550, Master thesis, *Aalto University*.
- Flammini, F. et al., (2014). A Multiformalities Modular Approach to ERTMS/ETCS Failure Modeling. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*.
- Gopal. R, (2017). Reliability Modelling of ERTMS/ETCS, Norwegian University of Science and Technology, *Department of Mechanical and Industrial Engineering*.
- Hui. S. (2015). Maintenance Modelling, Simulation and Performance Assessment for Railway Asset Management. PhD Thesis, *University of Technology of Troyes (UTT)*.
- Jidayi. Y.M. (2015). Reliability Improvement of Railway Infrastructure, Master's Degree of Engineering Management in the Faculty of Engineering at Stellenbosch University.
- Jomnonkwao, S. Champahom, T. Ratanavaraha, V, (2020). Methodologies for Determining the Service Quality of the Intercity Rail Service Based on Users' Perceptions and Expectations in Thailand, *Sustainability* 2020, 12, 4259. doi:10.3390/su12104259.
- Kathuria, A. Parida, M. Sekhar, Ch, (2019). A Review of Service Reliability Measures for Public Transportation Systems. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*.
- Landex. A. (2012). Reliability of Railway Operation, *Transport Conference at Aalborg University*.
- Lee. A. (2013). Impacts on passengers and operators of service reliability for the case of a multi-level public transit network, degree of Master of Science in Transportation, *University of Technology of Troyes (UTT)*.
- Ahmad, B.A. (2013). Design for reliability and maintainability cost model. *Proceedings of the Asme 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition November 15-21*. San Diego, California, USA.
- Al-Douri. Y.K, Tretten, P, Karim. R, (2016). Improvement of railway performance: a study of Swedish railway infrastructure. *J. Mod. Transport*. 24(1):22-37
- Bemmet, S., Goodall, R., Dixon, R., Ward, C, (2017). Improving the reliability and availability of railway track switching by analyzing historical failure data and introducing functionally redundant subsystems, *Journal of Rail and Rapid Transit*. 0(0), 1-18.
- Bin nordin, n.i, (2015). Effect analysis of reliability, availability, maintainability and safety (rams) of train operation, master thesis, *Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering University Tun Hussein Onn Malaysia*.
- Chen. H., (2003). New models for measuring the reliability performance of train service, *European Safety and Reliability Conference*. 15-18 June, Maastricht, The Netherlands, 397-402.
- Cheng. Y, Tsung LU. C, Lin Lu. C, (2017). Comprehensive approach to allocate reliability and cost in passenger rail system design, *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*. No. 2608, 86-95.
- Conradie. P.D.F fourie. C.J, Vlok. P.J, Treurnicht. N.F. (2015), quantifying system reliability in rail transportation in an ageing fleet environment, *South African Journal of Industrial Engineering*. Vol 26(2) 128-142.
- Dinmohammadi. F, Alkali.B, Shafiee.M, (2016). Be'nguer. Ch, Labib.A, Risk Evaluation of Railway Rolling Stock Failures Using FMECA Technique: A Case Study of Passenger Door System, *Urban Rail Transit*. 2(3-4):128-145

- Rama, D. and Andrews, J. D. (2014). A Holistic Approach to Railway Infrastructure Asset Management. *International Journal of Performability Engineering*. Vol.11, No.2, 107-120.
- Shang. Y, van. M.d.B, Man A.D, and Wolfert. A. (2019). Reliability-based life cycle costing analysis for embedded rails in level crossings. *Journal of Rail and Rapid Transit*. 0(0) 1-13
- Tang. L. (2015), Reliability assessments of railway signaling systems: A comparison and evaluation of approaches, Master thesis, *Norwegian University of Science and Technology Department of Industrial Economics and Technology Management*.
- Thanaraju, P., Mentaza Khan, P.M., Sivanathan, S., Juhari, N.H, (2019). Passengers' Satisfaction towards Railway Facilities (RAILQUAL in the Central Region, *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, ISSN: 2277-3878, Vol. 8 Issue-2S, July.
- Tornquist, J. (2007). Railway traffic disturbance management, an experimental analysis of disturbance complexity, management objectives and limitations in planning horizon, *Transportation Research Part A 41* (2007) 249-266.
- Vincent. M, Hamilton. B.A. (2008). Measurement Valuation of Public Transport Reliability, and Transport New Zealand Research Report 339. 128-129.
- Vromans. M.J.C.M, Dekker. R, Kroon. L.G. (2006). Reliability and heterogeneity of railway services. *European Journal of Operational Research* 172, 647-665.
- Xu, P., Corman, F., and Peng, Q. Analyzing Railway Disruptions and Their Impact to Delayed Traffic in Chinese High-Speed Railway. *IFAC-Papers Online*, Vol. 49, No. 3, 2016, 84-89.
doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.015
- Zeybek, H. Service Quality and its Importance for Rail Freight Customers, (2019). *International Journal of Transportation Engineering*, Vol.7/ No.2/ (26) Autumn.
- Zhuwaki. N.T. (2017). Application of reliability analysis for performance assessments in railway infrastructure asset management, *Master thesis in Engineering Management in the Faculty of Engineering at Stellenbosch University*.
Infrastructure and Logistics at Delft University of Technology.
- Leite M, Mariana A. Costa, Tiago A, Virginia I, António R. Andrade, (2022). Reliability and availability assessment of railway locomotive bogies under correlated failures, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 135, 106104, ISSN 1350-6307.
doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106104
- Lin Lu Ch, Cheng Y. (2019). Optimal rail system design with multiple layers of fault and event trees, *Journal of Transportation Safety & Security*, 13(10):1-22.
doi.org/10.1080/19439962.1680584
- Liu Q, Ma L, Wang N, Chen A, Jiang Q. A (2022). condition-based maintenance model considering multiple maintenance effects on the dependent failure processes. *Reliab Eng Syst Saf*. **doi.org/10.1016/j.res.2021.108267**
- Macchi M., Garetti M., Centrone D., Fumagalli L., and Piero Pavirani G. (2012). Maintenance management of railway infrastructures based on reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol.104, 71-83
- Meng, X., Wang, Y., Jia, L., Li, L., (2020). Reliability Optimization of a Railway Network, *Sustainability* 2020, 12(23), 9805.
doi.org/10.3390/su12239805
- Nazeri, A., Naderikia, R. 9. (2017). A new fuzzy approach to identify the critical risk factors in maintenance management. *Int J Adv Manuf Technol* 92, 3749-3783.
doi.org/10.1007/s00170-017-0222-4
- Nazarizadeh, Farzaneh & Alemtabriz, Akbar & Zandieh, Mostafa & Raad, Abbas (2022). An analytical model for reliability assessment of the rail system considering dependent failures (case study of Iranian railway)," *Reliability Engineering and System Safety, Elsevier*, Vol. 227(C).
doi.org/10.1016/j.res.2022.108725.
- Restel, M. Zajac, (2015). Reliability Model of the Railway Transportation System with Respect to Hazard States, *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (2015) 1031-1036.
- Rong Zhang. R, Lu Li, Jian. W. (2019). Reliability analysis on railway transport chain, *International Journal of Transportation Science and Technology* 8, 192-201.
doi.org/10.1016/j.ijst.2018.11.004

Reliability Optimization Model with the Approach of Improving the Quality Level of Services in the Railway Industry

Reza Naderikia, Ph.D., Student, Department of Industrial and Technology Management, Faculty of Management and Economics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran. Iran.

Davood Talebi, Assistant Professor, Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Mohammadmehdi Movahedi, Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.

E-mail: d-talebi@sbu.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

Safety, reputation, customer satisfaction, operation and maintenance cost, repeat business and competitive advantage are among the reasons that emphasize the importance of reliability in transportation systems. Reliability plays an important role in the stable and safe operation of transportation systems, especially the rail industry. Attractive rail services can only be provided with quality subsystems that can guarantee the safety of operations and the availability of the rail network. In this article, a reliability optimization model is presented according to the characteristics of a passenger rail system, possible options with a case study of the Iranian railway; The proposed model can be used by considering service criteria in the railway system such as life cycle cost, punctuality and average time between failures to determine the optimal investment plan in order to design or update and upgrade the railway system with high reliability. Be placed Paying attention to these criteria can influence the decision to buy parts with different quality levels.

Keywords: Reliability, Rail Industry, Mean Time between Failures, Punctuality, Life Cycle Cost