

تحلیل الگوی عیب‌یابی مبتنی بر اطلاعات عملکردی ماشین (مورد مطالعه:

لکوموتیوهای زیمنس راه‌آهن ایران)

سید مجتبی مرتضوی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

علی اکبر حسینی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

E-mail: aa.hasani@shahroodut.ac.ir

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۳

دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۴

چکیده

یکی از مراحل مهم در نت تجهیزات، انجام فرایند عیب‌یابی به صورت صحیح است. عیب‌یابی تجهیزات پیچیده صنعتی همچون لکوموتیوها فرایند دشواری است. عدم تشخیص به موقع علت خرابی لکوموتیو، علاوه بر کاهش زمان دسترسی، باعث اختلال در شبکه ریلی، افزایش توقف مازاد قطارها و موارد نامطلوب دیگر می‌گردد. با پیشرفت‌هایی که در سال‌های گذشته حاصل شده است، حجم داده‌های ذخیره‌شده در لکوموتیوهای جدید در حال افزایش است. با روش‌های متفاوتی می‌توان دانش موجود در داده‌ها را کشف نموده و در جهت افزایش بهره‌وری سازمان استفاده کرد. با تحلیل الگوی عیب‌یابی لکوموتیوها می‌توان علت بسیاری از خرابی‌ها را کشف نموده و زمان انجام تعمیرات را کاهش داد. از روش‌های موجود، می‌توان به تکنیک‌های داده‌کاوی اشاره کرد. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از داده‌کاوی و الگوریتم اپریوری، به کشف قواعد معنادار از داده‌های موجود در لکوموتیوهای زیمنس راه‌آهن ایران، با هدف ارتقای کارایی فرایند عیب‌یابی، می‌پردازد. حاصل این پژوهش کشف ۲۰ رخداد پرتکرار در لکوموتیوهای مسافری، ۱۸ قانون دو مؤلفه‌ای و ۲ قانون سه مؤلفه‌ای بوده و دستاورد کلیدی آن، بهبود نت لکوموتیوها در طی یک بازه زمانی کوتاه در ناحیه شمال شرق ۱ راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران است. براساس پیش‌بینی انجام شده، استفاده از قوانین کشف شده در آینده می‌تواند موجب حذف بسیاری از توقف‌های خارج از برنامه قطارهای مسافری شده و همچنین هزینه نت لکوموتیوها را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. برآورد می‌شود فقط استفاده از یکی از قانون‌های ذکر شده به‌تنهایی می‌تواند در هر سال حدود ده میلیارد ریال از هزینه‌های راه‌آهن ایران بکاهد.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات، تحلیل الگوهای عیب‌یابی، صنعت حمل‌ونقل ریلی، لکوموتیو، کاوش قوانین وابستگی

۱. مقدمه

در نتیجه کاهش بهره‌وری کل سیستم و سازمان می‌گردد [Glawar et al. 2018]. به‌طور کلی، عمده سیستم‌های به کار گرفته‌شده در صنایع مختلف تولیدی و خدماتی از سیستم‌های ترکیبی شامل زیرسیستم‌های مکانیکی و الکترونیکی است. در نتیجه به هنگام خرابی سیستم، کشف علت اصلی خرابی با دشواری همراه است. در گذشته اغلب سیستم‌ها فاقد سیستم پایش وضعیت بوده‌اند. در این سیستم‌ها، تعمیرکاران ابتدا با بررسی شواهد حاضر، استفاده از تجربه و دانش ضمنی خود و در نهایت با سعی و خطا فرایند عیب‌یابی را اجرا می‌کردند. اما امروزه اغلب تجهیزات دارای سیستم‌های پایش وضعیت می‌باشند که همواره شرایط تجهیز را ثبت و اعلام می‌کنند. از این رو تحلیل اطلاعات موجود با هدف کشف الگو و قوانین در راستای کارآمد نمودن فرایند عیب‌یابی بسیار حائز اهمیت است. به عبارت دیگر، با کشف دانش پنهان در داده‌های مرتبط پیرامون عملکرد سیستم می‌توان کارایی سیستم مدنظر را به نحو معناداری بهبود بخشید [Harding, Shahbaz and Kusiak, 2006]. کشف دانش صریح از داده‌های پردازش نشده یک چالش بزرگ علمی و صنعتی است که می‌تواند توسط تکنیک‌های داده‌کاوی با سطوح مختلف خودکارسازی صورت گیرد. داده‌کاوی به معنای کشف دانش کلان، قابل استناد و جدید از پایگاه داده‌های بزرگ است [Koksal, Batmaz and Testik, 2017].

در صنعت حمل‌ونقل ریلی پدیده خرابی و توقف خارج از برنامه قطارها بسیار نامطلوب است. خرابی لکوموتیوها به‌ویژه اگر در طول مسیر رخ دهد، علاوه بر مختل نمودن شبکه حمل‌ونقل ریلی، می‌تواند ایمنی سیر را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. در صورتی که لکوموتیو، حامل قطار مسافری باشد، علاوه بر مشکلات ذکرشده، نارضایتی مشتریان را نیز در پی خواهد داشت. در این شرایط، مرتفع نمودن خرابی به وجود آمده در حداقل زمان ممکن، مهم‌ترین اولویت مدیران سازمان است. موارد بیان‌شده نشان می‌دهد فرایند عیب‌یابی صحیح، سریع و

از دیرباز مسئله نگهداری و تعمیرات (نت) تجهیزات در صنایع مختلف با پیچیدگی‌های برنامه‌ریزی و عملیاتی متعددی همراه بوده است. این دشواری تحت تأثیر عوامل مختلفی است که از جمله آن‌ها می‌توان به تعارض مسائل فنی، اقتصادی و ایمنی با یکدیگر در سطوح مختلف اشاره کرد [Liden, Kalinowski and Waterer, 2018]. در این میان، بخش قابل توجهی از این دشواری می‌تواند معطوف به فرایند عیب‌یابی تجهیز شود. به‌طوری‌که در مسائل تصمیم‌گیری پیرامون نت سیستم، فرایند عیب‌یابی همواره از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده است. در فرایند نت موجودیت‌ها در صنایع مختلف، هدف اصلی این است که ماشین پیوسته در شرایطی قرار گیرد که حالت آماده‌به‌کار بودن آن در سطح انتظار مشخص باشد و در نهایت کیفیت محصول یا خدمات نهایی تضمین گردد. تمامی تلاش‌های صورت گرفته در راستای پیشگیری از بروز خرابی در سیستم‌ها در حالی است که پدیده بروز خرابی امری غیرقابل اجتناب و همراه با نامعینی‌های فراوان است. پدیده خرابی می‌تواند باعث کاهش کیفیت محصولات یا خدمات ارائه‌شده، اختلال در برنامه‌های تولید یا خدمت، کاهش زمان دسترسی به ماشین، کاهش بهره‌وری، افزایش هزینه‌ها و دیگر موارد نامطلوب مشابه شود. گاهی خرابی یکی از سیستم‌ها می‌تواند باعث توقف در عملکرد سیستم کلان‌تر نظیر کل فرایند خط تولید یا سیستم خدمت رسان شود. در نتیجه در این موارد می‌بایست در کوتاه‌ترین زمان ممکن، ماشین به حالت آماده‌به‌کار بازگردانده شود. در فرایند رفع خرابی سیستم‌ها، اولین و درعین حال مهم‌ترین گام عبارت است از شناسایی عیب اصلی که باعث بروز خرابی در سیستم شده است. اجرای فرایند عیب‌یابی نادرست و ناکارا (نظیر افزایش زمان تعمیرات) سبب می‌شود ریشه اصلی خرابی به‌درستی شناسایی نگردد و به تبع آن اقدامات غیرضروری در تعمیرات صورت پذیرد. تمامی موارد ذکرشده در مجموع باعث اتلاف وقت و افزایش هزینه‌ها و

کارآمد لکوموتیوها در صنعت ریلی در چه جایگاه مهمی قرار دارد.

از آنجاکه در محور تهران - مشهد معمولاً از لکوموتیوهای زیمنس جهت حمل قطارهای مسافری استفاده می‌شود و با توجه به این‌که این لکوموتیوها نسبت به دیگر لکوموتیوهای موجود در شبکه ریلی جدیدتر و دارای سیستم پایش وضعیت به‌روز-تری هستند، لکوموتیوهای زیمنس موجود در راه‌آهن ایران به‌عنوان مورد مطالعه انتخاب شده است. با توجه به تمامی موارد گفته‌شده، در این پژوهش به کشف قواعد معنادار از داده‌های موجود در لکوموتیوهای زیمنس به‌عنوان یک سیستم فنی پیچیده پرداخته‌شده و با بهره‌گیری از تکنیک‌های داده‌کاوی و کاوش قوانین وابستگی، تلاش شده است کارایی فرایند عیب‌یابی تجهیز ارتقا داده شود. در تحلیل داده‌ها، در ابتدا داده‌های دریافتی فیلتر و کدگذاری شده و سپس با استفاده از الگوریتم اپریوری و نرم-افزار SQL Server به کشف قوانین پرداخته‌شده است. حاصل این پژوهش کشف ۲۰ مورد آیتم پرتکرار، ۱۸ مورد قانون دو مؤلفه‌ای و ۲ مورد قانون سه مؤلفه‌ای است که می‌توان از آن‌ها در مدیریت دانش سازمان، برنامه‌ریزی نت لکوموتیوها، مدیریت سیر و حرکت قطارها و موارد مشابه دیگر بهره برد. در نهایت، کاربرد قوانین کشف‌شده مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از روابط امید ریاضی، میزان صرفه‌جویی مالی حاصل از به‌کارگیری یکی از قواعد کشف‌شده، پیش‌بینی شده است.

۲. مرور ادبیات

توسعه و کاربرد تکنیک‌های داده‌کاوی به‌عنوان یک ابزار کمک به تصمیم‌سازی در مدیریت نت بسیار نوپا است. به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۹ میلادی، تنها سهم بسیار محدودی (نزدیک به ۸ درصد) از مطالعات داده‌کاوی در حوزه مدیریت نت بوده است [Choudhary, Harding and Tiwari, 2009]. داده‌کاوی اجازه می‌دهد تا دانش به‌صورت خودکار یا نیمه‌خودکار از پایگاه داده‌ها حاصل شود [Koksal, Batmaz and Testik, 2017]. در حال حاضر با توجه به اهمیت استراتژیک نگهداری

پیشگیرانه و پیش‌بینی کننده، بسیاری از شرکت‌ها، داده‌کاوی برای نگهداری را به رسمیت شناخته‌اند. یانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ پیشنهاد می‌کنند که قوانینی را از بانک اطلاعاتی گردآوری نموده تا خطاها، علل و اقدامات اصلاحی را در صنعت هواپیمایی به یکدیگر پیوند دهند. تلاش عمده این گروه در راستای پیوند دادن داده‌ها برای به دست آوردن یک تصویر کامل از آنچه در ناوگان در حال انجام است، بود [Young et al., 2010]. در همان بخش، بودائی و همکاران در سال ۲۰۱۱ به دنبال این بودند که با استفاده از پیوند بین علائم دریافتی از ماشین و اقدامات اصلاحی، قوانین را مدل‌سازی کنند [Budai, Huisman and Dekker, 2011]. درحالی‌که ماکو و همکاران در سال ۲۰۱۲ اثربخشی اقدامات نگهداری در ناوگان اتوبوس را با استفاده از همین روش ارزیابی نمودند. آن‌ها برای این منظور روشی پیشنهاد دادند که شامل سه مرحله اصلی بود: پردازش و ادغام داده‌ها، مرحله مدل‌سازی، وضع قوانین حاصل از مرحله مدل‌سازی [Maquee, Shojaie and Mosaddar, 2012]. ساموری و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ به دنبال قوانینی برای تلفیق آلارم‌ها و خرابی در قطارهای پرسرعت بودند و از روش کاوش قوانین وابستگی برای نیل به این هدف استفاده کردند [Bin and Wensheng, 2015]. گلور و همکاران در سال ۲۰۱۸ از روش داده‌کاوی برای شناسایی انحرافات کیفیت محصول مرتبط با خرابی‌ها استفاده نمودند. به این صورت که کیفیت محصولات را به‌صورت تابعی از وضعیت سلامت ماشین در نظر گرفته و با استفاده از داده‌های دریافتی از ماشین و داده‌های مربوط به محصول تلاش کردند زمان مناسب جهت انجام فرایند نت را به دست آورند [Glawar et al., 2018]. گرابوت در سال ۲۰۱۸ علاوه بر استفاده از روش کاوش قوانین وابستگی به تجزیه و تحلیل دانش به‌دست‌آمده و اعتبارسنجی آن با استفاده از تحلیل عینی و ذهنی و استفاده از دانش ضمنی کارکنان پرداختند [Grabot, 2018]. علی‌رغم این‌که در مبحث نت از روش‌های داده‌کاوی، کم استفاده‌شده، اما این روش در حوزه‌های دیگر بسیار به کار گرفته شده است.

عیب‌یابی لکوموتیوهای زمینس موجود در راه‌آهن ایران استفاده‌شده است.

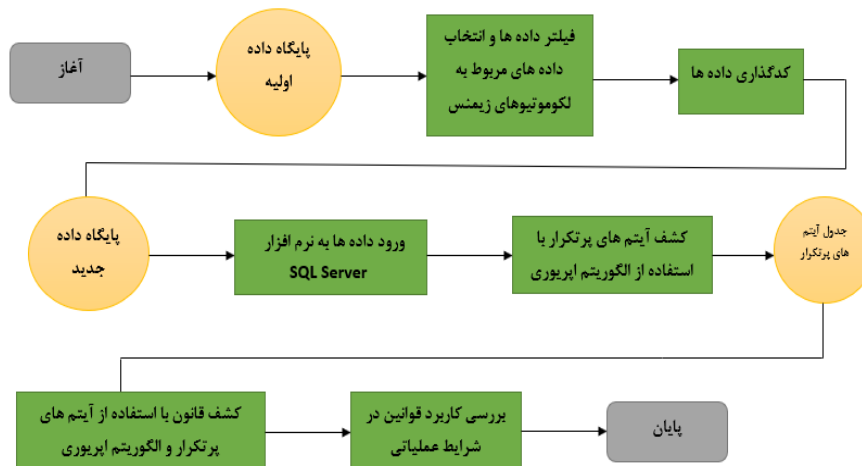
۳. روش تحقیق

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، در این پژوهش هدف اصلی شناسایی و ارتقای فرایند عیب‌یابی لکوموتیوها با استفاده از تحلیل الگوی عیب‌یابی مبتنی بر اطلاعات عملکردی ماشین است. به این صورت که از روش کاوش قوانین وابستگی جهت برقراری ارتباط معنادار بین داده‌های دریافتی از لکوموتیوها، عیوب اصلی آن‌ها و اقدامات تعمیراتی مناسب، استفاده می‌شود تا الگوها و قواعد معنادار جهت فرایند عیب‌یابی شناسایی شده و فرایند عیب‌یابی را سریع‌تر و صحیح‌تر نماید. در واقع مسئله اصلی این است که بین آلام‌های دریافتی از لکوموتیوها، علت ریشه‌ای خرابی‌ها و اقدامات تعمیراتی چه رابطه معناداری وجود دارد؟ با یافتن الگوها و قوانین مفید و استفاده از آن‌ها چه میزان می‌توان در هزینه‌های سازمان صرفه‌جویی نمود؟ و در مورد خرابی‌های رایج چطور می‌توان اقدامات اصلاحی مؤثر را بر روی لکوموتیوها پیاده‌سازی نمود؟

برای نیل به اهداف ذکرشده، در ابتدا داده‌های موردنیاز از راه‌آهن ایران دریافت شده و پس از چند مرحله فیلتر نمودن آن‌ها و کدگذاری داده‌ها با استفاده از روش کاوش قوانین وابستگی و بهره‌گیری از نرم‌افزار SQL Server به کشف قوانین پرداخته‌شده است.

داده‌کاوی در اوایل دهه ۸۰ برای کشف دانش از داده‌ها شکل گرفت. اما پژوهش جدی روی موضوع داده‌کاوی از اوایل دهه ۹۰ شروع شده و روزبه‌روز گسترش یافته است [Budai, Huisman and Dekker, 2011]. نتایج بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که علی‌رغم اهمیت مسئله شناسایی الگوها و کشف قوانین در فرایند نت ناوگان ریلی، همچنان مطالعات بسیار اندک و محدودی در این حوزه انجام شده است. از این رو، توسعه روش‌های عیب‌یابی مبتنی بر الگوریتم‌های کارا و بهره‌گیری از انبار اطلاعات در اختیار، در فرایند نت لکوموتیوها به‌عنوان یک منبع مهم، موردتوجه محققان و فعالان این حوزه قرار خواهد گرفت. بررسی این مسئله در کشور ایران، با توجه به نوپا بودن مطالعات در حوزه داده‌کاوی از اهمیت دوچندان برخوردار است. از این رو، پژوهش حاضر از جنبه‌های ذیل با مطالعات مشابه در ادبیات موضوع دارای تمایز است:

- بررسی فرایند عیب‌یابی لکوموتیوها در شرایط عملیاتی منحصر به فرد کشور ایران تحت تأثیر مقولات فنی و محیطی
- در صنعت حمل‌ونقل ریلی در کشورهای مختلف، از روش‌های داده‌کاوی بیشتر در حوزه نت زیرساخت‌های شبکه ریلی استفاده‌شده است و در حوزه ناوگان این خلأ کاملاً محسوس است. در این پژوهش برای نخستین بار از روش کاوش قوانین وابستگی جهت تحلیل فرایند



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

در نهایت، قوانین کشف‌شده مورد بررسی و بازبینی قرار گرفته و با استفاده از دانش ضمنی کارکنان خیره سازمان، میزان صحت و امکان اجرایی شدن آن‌ها مورد سنجش قرار گرفته است. شکل ۱ مراحل انجام پژوهش نشان داده شده است. در ادامه این بخش گام‌ها و روش‌های انجام پژوهش به ترتیب آورده شده است و در بخش بعدی داده‌ها و نتایج حاصل از پژوهش بیان گردیده است.

$I = I_1, I_2, I_3 \dots$ به عنوان مجموعه ارقام یا آیتم‌های موجود و مجموعه D به عنوان مجموعه رخدادها یا تراکنش‌های پایگاه داده در نظر گرفته می‌شوند. هر تراکنش شامل مجموعه‌ای از آیتم‌ها است. یعنی هر تراکنش T زیرمجموعه‌ای از I است. هر تراکنش کد شناسه‌ای به نام TID دارد. اگر A یک مجموعه از آیتم‌ها باشد، تراکنش T شامل A است اگر و فقط اگر $A \subseteq T$ باشد. یک قانون وابستگی گزاره‌ای است به صورت $A \Rightarrow B$ که A مقدم و B تالی نامیده می‌شود. و این قانون به گونه‌ای تعریف می‌شود که $A \subseteq I$ ، $B \subseteq I$ و $A \cap B = \emptyset$ باشد. پارامترهای بسیار مهم پشتیبان و اطمینان برای بررسی میزان ارزش و مقبولیت قوانین وابستگی کاربرد دارند. پشتیبان درصدی از تراکنش‌های D است که شامل $A \cup B$ باشند. این درصد را به صورت احتمال بیان نموده و اطمینان، درصدی از تراکنش‌های D است که اگر شامل A هستند شامل B نیز باشند. روابط مربوط به این احتمالات در رابطه بیان شده است.

$$\text{Support}(A \Rightarrow B) = P(A \cup B) \quad (1)$$

$$\text{Confidence}(A \Rightarrow B) = P(B|A) \quad (2)$$

در میان الگوریتم‌های موجود در کاوش قوانین وابستگی، الگوریتم اperiوری شهرت بیشتری دارد. ویژگی شاخص این الگوریتم، میزان محاسبات کمتر نسبت به الگوریتم‌های دیگر است. با توجه به تعداد زیاد داده‌ها و نیاز به چندین مرحله فیلتر آن‌ها، در این پژوهش از الگوریتم اperiوری استفاده شده تا حجم محاسبات کاهش یابد. این الگوریتم از اصل اperiوری تبعیت می‌کند که طبق آن اگر یک مجموعه آیتم پرتکرار باشد، همه‌ی زیرمجموعه‌های آن نیز پرتکرار خواهند بود. به عبارتی، بر اساس این اصل، پشتیبان هر مجموعه آیتم هرگز بزرگ‌تر از پشتیبان هر یک از زیرمجموعه‌هایش نخواهد بود. به عنوان مثال اگر مجموعه {آلارم آتش‌سوزی با شماره ۲۲۹، اثر خاموش شدن با کد ۸۸۲} در طول خط رفع عیب شده است با کد ۱ پرتکرار باشد، آنگاه مجموعه {آلارم آتش‌سوزی با شماره ۲۲۹، اثر خاموش شدن با کد ۸۸۲} نیز پرتکرار است. با استفاده از این

در ابتدا داده‌های دریافتی برای ورود به نرم‌افزار SQL Server و تحلیل با استفاده از الگوریتم اperiوری، فیلتر شده و فقط داده‌های مربوط به لکوموتیوهای زیرمجموعه انتخاب شده‌اند. با توجه به این‌که در استفاده از الگوریتم اperiوری و نرم‌افزار SQL Server داده‌های ورودی می‌بایست به صورت کد باشد، تمامی داده‌ها کدگذاری شده‌اند.

۳-۱- گردآوری و آماده‌سازی داده‌ها

پس از فیلتر کردن، اصلاح و کدگذاری داده‌ها، با استفاده از روش کاوش قوانین وابستگی و نرم‌افزار SQL Server به تحلیل داده‌ها و کشف قوانین پرداخته شد. در ادامه به معرفی روش کاوش قوانین وابستگی پرداخته شده است.

۳-۲- تحلیل داده‌ها و کشف قانون

۳-۲-۱ روش کاوش قوانین وابستگی با استفاده از الگوریتم اperiوری

در این پژوهش از روش کاوش قوانین وابستگی با استفاده از الگوریتم اperiوری استفاده شده است. کاوش قوانین وابستگی این امکان را به وجود می‌آورد که بتوان از یک پایگاه داده، الگوها، قوانین و روابط بین آیتم‌ها را استخراج و کشف نمود. با گسترش فناوری اطلاعات و ارتباطات، حجم داده‌های ذخیره‌شده در پایگاه داده‌ها به سرعت در حال افزایش است. از طرفی یافتن اطلاعات ارزشمند پنهان و به دست آوردن دانش از داده‌های ذخیره‌شده از اهمیت بالایی برخوردار است [Quinlan, 1993]. این قوانین وابستگی‌های متقابل بین مجموعه بزرگی از ارقام داده‌ای را نشان می‌دهند [Mitchell, 2005]. مجموعه

پایگاه داده		C ₁		L ₁	
TID	ایتمها	فرکانس تکرار	ایتمها	فرکانس تکرار	ایتمها
۱۰۰	۱ ۳ ۴	۲	{۱}	۲	{۱}
۲۰۰	۲ ۳ ۵	۳	{۲}	۳	{۲}
۳۰۰	۱ ۲ ۳ ۵	۳	{۳}	۳	{۳}
۴۰۰	۲ ۵	۱	{۴}	۱	{۴}
		۳	{۵}	۳	{۵}

C ₂		L ₂		C ₃	
فرکانس تکرار	ایتمها	فرکانس تکرار	ایتمها	فرکانس تکرار	ایتمها
۱	{۱ ۲}	۲	{۱ ۳}	۲	{۲ ۳ ۵}
۲	{۱ ۳}	۲	{۲ ۳}		
۱	{۱ ۵}	۳	{۲ ۵}		
۲	{۲ ۳}	۲	{۳ ۵}		
۳	{۲ ۵}				
۲	{۳ ۵}				

L ₃	
فرکانس تکرار	ایتمها
۲	{۲ ۳ ۵}

شکل ۲. مراحل ایجاد مجموعه آیت‌های پرتکرار با استفاده از

الگوریتم اپریوری

۳-۳ امید ریاضی و برآورد هزینه

جهت برآورد میزان صرفه‌جویی حاصل از پیروی از الگوها و قوانین کشف‌شده، از روابط مربوط به امید ریاضی استفاده شد که در ادامه روابط مربوط به آن به‌اختصار شرح داده شده است. در نظریه احتمالات امید ریاضی یک متغیر تصادفی گسسته برابر است با مجموع حاصل ضرب احتمال وقوع هر یک از حالات ممکن در مقدار آن حالت. امید ریاضی یک متغیر تصادفی پیوسته به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E[X] = \int xf_x(x) dx \quad (3)$$

که در آن $f_x(x)$ تابع چگالی احتمال متغیر تصادفی X است. برای متغیرهای تصادفی گسسته تعریف بالا به‌صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$E[X] = \sum_{i=1}^n x_i p_x(x_i) \quad (4)$$

۴. نتایج و داده‌های پژوهش

در راه‌آهن ایران سیستم‌های اطلاعاتی مدیریت وجود دارد که داده‌های بخش‌های مختلف را گردآوری می‌کند. در بخش لکوموتیوها نیز برخی از لکوموتیوها دارای سیستم‌های پایش وضعیت می‌باشند. به این صورت که دائماً شرایط لکوموتیو رصد شده و در نرم‌افزار نصب‌شده بر روی آن ذخیره می‌گردد. پس از رسیدن لکوموتیو به مراکز تعمیراتی این اطلاعات تخلیه‌شده و جهت کاربردهای آتی ذخیره می‌گردد. علاوه بر این، گزارش‌های روزانه لکوموتیو رانان در مورد شرایط

اصل می‌توان مجموعه آیت‌های پرتکرار را هرس نموده و قوانین وابستگی قوی را کشف کرد. در شکل ۲ مثالی از ایجاد مجموعه آیت‌های پرتکرار با استفاده از الگوریتم اپریوری آورده شده است. الگوریتم اپریوری برای ایجاد مجموعه آیت‌های پرتکرار به‌این ترتیب عمل می‌کند: ابتدا با یک دور خواندن پایگاه داده، مجموعه آیت‌های پرتکرار یک عضوی که تعداد تکرار آن‌ها در پایگاه داده از حد پایین تعیین‌شده یا کمترین پشتیبان بیشتر است، را مشخص می‌کند، L_1 در شکل نشان‌دهنده مجموعه آیت‌های پرتکرار یک عضوی است. در L_1 آیت $\{4\}$ از مجموعه آیت‌های اولیه حذف شده است، در واقع در این مثال کمترین پشتیبان یک در نظر گرفته شده است و تعداد تکرار آیت $\{4\}$ در پایگاه داده از حد پایین تعیین‌شده کمتر است. سپس الگوریتم اپریوری با استفاده از مجموعه آیت‌های پرتکرار یک عضوی، مجموعه آیت‌های دو عضوی را ایجاد می‌کند. C_2 در شکل زیر نشان‌دهنده مجموعه آیت‌های دو عضوی است و با خواندن مجدد کل پایگاه داده، مجموعه آیت‌های پرتکرار دو عضوی را تعیین می‌کند. L_2 نشان‌دهنده مجموعه آیت‌های پرتکرار دو عضوی است که تعداد تکرار آن‌ها در پایگاه داده از کمترین پشتیبان بیشتر است. به همین ترتیب با استفاده از مجموعه آیت‌های پرتکرار دو عضوی مجموعه آیت‌های سه عضوی را ایجاد کرده و با خواندن دوباره پایگاه داده، مجموعه آیت‌های پرتکرار سه عضوی تولید می‌شوند. L_3 نشان‌دهنده مجموعه آیت‌های پرتکرار سه عضوی است و این کار برای مجموعه‌های چهار عضوی و بیشتر انجام می‌گیرد. در واقع این الگوریتم یک روش افزایشی را به کار می‌گیرد به‌طوری‌که از دانش موجود در تولید مجموعه آیت k تایی، برای به دست آوردن مجموعه آیت $(k+1)$ تایی استفاده می‌کند [Zamani, Alimohammadi and Faranghi, 2019].

تحلیل الگوی عیب‌یابی مبتنی بر اطلاعات عملکردی ماشین (مورد مطالعه: لکوموتیوهای زیمنس راه‌آهن ایران)

انتخاب‌شده‌اند. داده‌های سیستم از ابتدای سال ۱۳۹۶ تا پایان سال ۱۳۹۸ (مدت سه سال) دریافت شده و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در راه‌آهن ایران ۱۵۰ دستگاه لکوموتیو زیمنس وجود دارد که تقریباً تمامی این لکوموتیوها در محور تهران-مشهد تردد می‌نمایند. در نتیجه جامعه و نمونه آماری تمام لکوموتیوهای زیمنس موجود در راه‌آهن ایران است. داده‌های ذخیره‌شده شامل گزارش‌های خرابی در طول خط، سابقه آلام‌های ظاهرشده در لکوموتیوها و گزارش‌های واحدهای تعمیراتی است. در این پژوهش از روش کاوش قوانین وابستگی جهت بومی‌سازی تحلیل فرایند عیب‌یابی لکوموتیوها استفاده شده است. داده‌های مربوط به این پژوهش از گزارش‌های مربوط به خرابی لکوموتیوهای زیمنس در ناحیه تحت مدیریت اداره کل راه‌آهن شمال شرق ۱، یعنی از ایستگاه گرمسار تا ایستگاه نقاب، استخراج شده است. در شکل ۳ تعدادی از داده‌های اولیه دریافت شده نشان داده شده است.

لکوموتیوهای در سیر به‌صورت روزانه ثبت و ذخیره می‌گردد. از طرفی مراکز تعمیراتی با استفاده از گزارش‌های ارسال‌شده از سوی لکوموتیو رانان و گزارش‌های ثبت‌شده در سیستم رایانه‌ای لکوموتیو، اقدام به انجام تعمیرات می‌نمایند. این مراکز تعمیراتی نیز گزارش عملکرد خود را به‌صورت روزانه درج می‌نمایند. در نتیجه داده‌های به‌کاربرده شده در این پژوهش شامل آلام‌های نمایش داده شده و داده‌های ذخیره‌شده در لکوموتیوهای زیمنس، گزارش‌های لکوموتیو رانان و گزارش‌های مراکز تعمیراتی است. این داده‌ها به‌طور مستقیم از راه‌آهن اخذ شده است. این پژوهش در حوزه لکوموتیوهای در گردش در محور تهران-مشهد انجام شده است. با توجه به این‌که در این محور اغلب از لکوموتیوهای زیمنس جهت حمل قطارهای مسافری استفاده می‌گردد و با توجه به اهمیت دوچندان انجام سریع و به‌موقع فرایند عیب‌یابی و تعمیرات لکوموتیوهای مسافری، لکوموتیوهای زیمنسی که در محور تهران-مشهد تردد می‌نمایند، به‌عنوان مورد مطالعه

لکوموتیو	تاریخ	کد قطار	نوع عیب	اقدامات انجام شده
۱۶۴۱	۹۶-۱-۱	۱۸۰	صدای غیر عادی از فن مرکزی لکوموتیو ۱۶۴۱	بازدید شد سیر بلا مانع است.
۱۵۶۶	۹۶-۱-۱	۳۵۱	سرعت‌نمای ATC به میزان ۹ کیلومتر اضافه نشان می‌دهد	به اداره کل نیروی کشش اطلاع رسانی شد
۱۵۳۹	۹۶-۱-۱	۳۱۸	بازدید صدای غیر عادی سالن ۲۶۸۶۰۱۳	در شاهرود بازدید شد بالشتک هوا ترکیبده بود شیر بالشتک بسته شد و قطار ادامه سیر داد.
۱۵۸۷	۹۶-۱-۱	۳۶۲	عمل کردن پدال ایمنی	پس از هواگیری مرمت و ادامه سیر داد.
۸۳۰	۹۶-۱-۱	۴۰۶	گرفتگی ترمز واگن	توسط ریس قطار شیر واگن بسته تا آزادور ادامه سیر داد در آزادور توسط بازدید کننده واگن بازدید شد.
۹۸۲	۹۶-۱-۱	۴۸۹	سرعت ۱۰۵ به بالا نکلان عرضی دارد	در ایستگاه شاهرود توسط تعیرات روی قطار بازدید شد عیبی مشاهده نشد به سیر ادامه داد.

شکل ۳. نمونه جدول داده‌های خام دریافت شده

۴-۱ فیلتر کردن و انتخاب داده‌ها

راهبری، مشکلات سیر و حرکت و برخورد به موانع موجود در مسیر اشاره نمود. از آنجایی‌که در این پژوهش، هدف بررسی خرابی‌های لکوموتیوهای زیمنس است، داده‌ها فیلتر شده و فقط داده‌های مربوط به خرابی‌های لکوموتیوهای زیمنس انتخاب شده است. پس از فیلتر جدول اولیه و انتخاب داده‌ها، جدولی با ۹۸۳

در مرحله اولیه، داده‌های دریافت شده از شرکت راه‌آهن، جدولی با ۱۲۲۹۸ داده بود. در شکل ۳ چند داده از این جدول، برای نمونه نمایش داده شده است. این داده‌ها مربوط به کلیه گزارش‌های خرابی‌ها، توقف‌ها و مشکلات به وجود آمده در حین سیر قطارها است. از جمله می‌توان به خرابی‌های خط، خطاهای

داده تهیه شد. در شکل ۴ تعدادی از داده‌های انتخاب شده نشان داده شده است.

ردیف	شماره لکوموتیو	نوع عیب	اقدامات انجام شده
۱	۱۵۹۵	کندی سیر (آلارم ۱۱۷)	در سمنان بازدید و ایونت گرفته شد عیبی مشاهده نشد. مجدداً در بلاک سمنان میاندره کندی سیر گزارش شد. در میاندره متوقف لکوموتیو ۱۵۳۲ از سمنان امداد اعزام و پس
۲	۱۶۱۳	خاموش شدن لکوموتیو به علت آلارم ۲۴۹ قطع اضطراری سوخت	توسط لکوموتیوران روشن و به سیر ادامه داد
۳	۱۵۲۲-۱۶۲۸	خاموش شدن لکوموتیو رانما به علت خطای فن ترمز دینامیک	روشن شد و به شاهرود ورود داد در شاهرود توسط تعمیرکار بازدید دینامیک از مدار خارج شده و به سیر ادامه داد.
۴	۱۶۱۸	لکوموتیو خطای ۴۰۰ ولت دارد	روی قطار توسط تعمیرکار بازدید و سیر بلا مانع اعلام شد.
۵	۱۵۴۰ ۱۵۲۱	لکوموتیو یدک ۱۵۲۱ آلارم شارژر باطری دارد	متوقف با ریست رفع عیب شده و به سیر ادامه داد.
۶	۱۵۸۶	خاموش شدن لکوموتیو به علت خطای ۱۰۵ (دمای بالای توربوشارژر)	توسط لکوموتیوران روشن شده و تست ترمز انجام گردید. به سیر ادامه داد.

شکل ۴. نمونه جدول داده‌های فیلتر شده

۴-۲ کدگذاری داده‌ها

با توجه به این که جهت استفاده از روش کاوش قوانین وابستگی و نرم افزار SQL Server می‌بایست از اعداد و ارقام استفاده نمود، در این مرحله داده‌های انتخاب شده در مرحله قبل کدگذاری شدند.

در جداول ۱ تا ۴ بخشی از کدهای انتخاب شده و مفهوم هر کدام از آن‌ها آورده شده است. پس از تعیین کدهای مربوطه، پایگاه داده‌ها به صورت شکل ۵ تغییر شکل می‌دهد.

جدول ۱. نمونه کدهای انتخاب شده برای ریشه اصلی خرابی‌ها

کد	جنس	مفهوم
۷۷۱	ریشه خرابی	افت فشار هوای مخزن اصلی
۷۷۲	ریشه خرابی	وجود آب در مدار سوخت
۷۷۳	ریشه خرابی	مخلوط شدن سوخت و روغن
۷۷۴	ریشه خرابی	فشار گاز کارتل
۷۷۵	ریشه خرابی	خرابی حسگر آگزوز
۷۷۶	ریشه خرابی	پایین بودن سطح سوخت
۷۷۷	ریشه خرابی	گرفتگی مسیر سوخت
۷۷۸	ریشه خرابی	نشستی آب

کد	جنس	مفهوم
۷۷۹	ریشه خرابی	از کار افتادن بلور موتورخانه
۷۷۱۰	ریشه خرابی	خرابی ایونت رکورد
۷۷۱۱	ریشه خرابی	خرابی کلیدهای روی کنسول
۷۷۱۲	ریشه خرابی	اتصال‌های سالن‌ها
۷۷۱۳	ریشه خرابی	دمای پایین آب

جدول ۲. نمونه کدهای انتخاب شده برای اثرهای خرابی‌ها

کد	جنس	مفهوم
۸۸۱	اثر خرابی	کندی سیر
۸۸۲	اثر خرابی	خاموش شدن
۸۸۳	اثر خرابی	افت فشار هوا
۸۸۴	اثر خرابی	ترمز شدن
۸۸۵	اثر خرابی	افت فشار هوای مخزن اصلی
۸۸۶	اثر خرابی	تخلیه آب موتور
۸۸۷	اثر خرابی	بالا رفتن دمای آب
۸۸۸	اثر خرابی	فشار بالای سوخت
۸۸۹	اثر خرابی	عدم تحریک

جدول ۳. کدهای انتخاب شده برای وضعیت لکوموتیوها پس از

خرابی

تحلیل الگوی عیب‌یابی مبتنی بر اطلاعات عملکردی ماشین (مورد مطالعه: لکوموتیوهای زیمنس راه‌آهن ایران)

۹۹۳	اقدام انجام شده	ریست کردن
۹۹۴	اقدام انجام شده	بستن لوله هوای ۱۰ بار سالن‌ها
۹۹۵	اقدام انجام شده	بستن هوای Back up
۹۹۶	اقدام انجام شده	خارج کردن خشک‌کن
۹۹۷	اقدام انجام شده	تخلیه آب از مدار سوخت
۹۹۸	اقدام انجام شده	خارج کردن حسگر آگروز از مدار
۹۹۹	اقدام انجام شده	تعویض فیلتر سوخت
۹۹۱۰	اقدام انجام شده	سوخت‌گیری
۹۹۱۱	اقدام انجام شده	توقف کردن. منتظر ماندن

کد	جنس	مفهوم
۱	وضعیت لکوموتیو پس از خرابی	در طول خط رفع عیب شده و به سیر ادامه داده است.
۰	وضعیت لکوموتیو پس از خرابی	در طول خط رفع عیب نشده و لکوموتیو امداد اعزام شده است.

جدول ۴: نمونه کدهای انتخاب شده برای اقدام‌های تعمیراتی

انجام شده بر روی لکوموتیوها

کد	جنس	مفهوم
۹۹۱	اقدام انجام شده	روشن کردن
۹۹۲	اقدام انجام شده	مرمت سوکت انژکتور

ردیف	نوع عیب	اقدامات انجام شده	آلارم	آلارم	اثر	ریشه	اقدام	کد	سبب رخ در طول
۱۶	به علت خطای ۱۱۲ دیزل راهنمای ۱۵۲۲ دیزل بدک ۱۶۰۷ خاموش شد	توسط لکوموتیوران روشن به سیر ادامه داد در شاهرود توسط تعمیرکار بازدید ایونت گرفته شد دیزل بدک ۱۶۰۷ خطای کاذب موتوری داشت سیر بلا مانع اعلام شد (توقف شاهرود ۱۴/۲۰ الی ۱۴/۳۰ هنگام نماز)	۱۱۲					۱	
۱۷	خاموش شدن	الارم ۱۱۲ (قطع واحد ارتباطی کنترلی دیزل) دیزل ۱۵۲۳ از شاهرود امداد اعزام شد (تعمیرکار از رفتن در معیت دیزل خود داری نمود) دوبله گرم و سرد ادامه سیر داد در	۱۱۲		۸۸۲			۰	
۱۸	خاموش شدن دیزل ۱۵۵۶ راهنما به علت آلارم ۱۱۲ (قطع واحد الکترونیکی موتور با کامپیوتر)	توسط لکوموتیوران روشن و به سیر ادامه داد در ایستگاه شاهرود توسط تعمیرکار بازدید ایونت گرفته شد سیر بلا مانع اعلام شد	۱۱۲		۸۸۲		۹۹۱	۱	
۱۹	الارم ۱۱۴	وجود آب در مدار سوخت متوقف موقتاً رفع عیب ادامه سیر شاهرود بازدید آب داخل مدار سوخت توسط راهبر تخلیه گردیده بود سیر بلا مانع.	۱۱۴			۷۷۲	۹۹۷	۱	
۲۰	۲ بار خاموش شد به علت خطای ۱۱۵	توسط لکوموتیوران روشن به سیر ادامه داد مجدد خروجی دامغان خاموش، روشن و به دامغان مراجعت نمود دیزل ۱۵۲۳ از شاهرود با تعمیرکار امداد اعزام شد دیزل ۱۵۲۳ به علت آلارم ۱۱۵ و مخلوط شدن آب و گازوئیل در ورودی گیلان متوقف دیزل امداد	۱۱۵		۸۸۲		۹۹۱	۱	۹۹۲
۲۱	الارم ۱۱۵	۱۶۰۷ از شاهرود اعزام شد، و به صورت دوبله گرم و سرد به تهران اعزام گردید	۱۱۵			۷۷۲		۰	
۲۲	الارم ۱۱۵	دیزل خاموش پس از روشن کردن دیزل تست ترمز ادامه سیر	۱۱۵		۸۸۲		۹۹۱	۱	

شکل ۵: نمونه پایگاه داده پس از اعمال کدهای در نظر گرفته شده

- تعداد آلارم‌های ظاهر شده در لکوموتیوها بسیار زیاد است. در نتیجه آموزش هم‌همی آلارم‌ها به راهبران قطارها، کار دشوار و زمان‌بری است. با شناسایی آلارم‌های پرتکرار می‌توان آموزش را به صورت ویژه متمرکز در آلارم‌ها و خرابی‌های پرتکرار نمود. به عنوان مثال می‌توان با مطالعه دقیق ۸ آلارم پرتکرار، حدود ۷۳ درصد از خرابی‌ها را شناسایی نمود. در شکل ۶ نمودار فراوانی آلارم‌های پرتکرار آورده شده است.

۴-۳ تحلیل داده‌ها و کشف قانون

پس از فیلتر کردن، اصلاح و کدگذاری داده‌ها، با استفاده از روش کاوش قوانین وابستگی و نرم‌افزار SQL Server به تحلیل داده‌ها و کشف قوانین پرداخته شد. در این بخش نتایج حاصل شده از پژوهش، مفاهیم آن‌ها و نمودارهای مرتبط بیان می‌گردد.

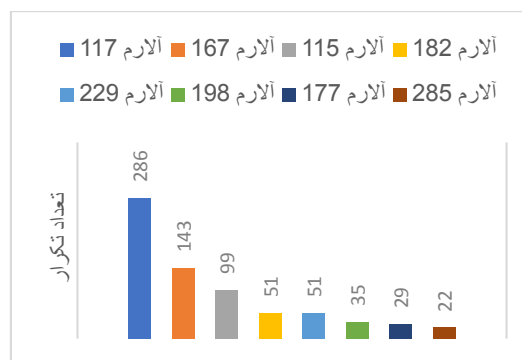
۴-۳-۱ آلارم‌ها، اثرات و اقدامات پرتکرار

در گام ابتدا آلارم‌ها، اثرات و اقدامات پرتکرار که حداقل میزان پشتیبان مورد نظر (۲ درصد) را دارا بودند، کشف شد. در جدول ۵ آیت‌های پرتکرار استخراج شده با استفاده از الگوریتم اپریوری نشان داده شده است. شناسایی آلارم‌ها، اثرات و اقدامات پرتکرار از جنبه‌های زیر مورد اهمیت است:

لکوموتیوها را انجام داد. علاوه بر آن شناسایی عیوب رایج، در برنامه‌ریزی موجودی انبار قطعات تأثیرگذار است.

• اطلاع از تعداد دفعات رفع عیب یا عدم رفع عیب لکوموتیوها در طول خطوط، در تصمیم‌گیری جهت تخصیص لکوموتیو ذخیره به ایستگاه‌های تشکیلاتی، تعداد آن‌ها و اعزام یا عدم اعزام تعمیرکار به طول خط جهت تعمیر لکوموتیو، مؤثر است.

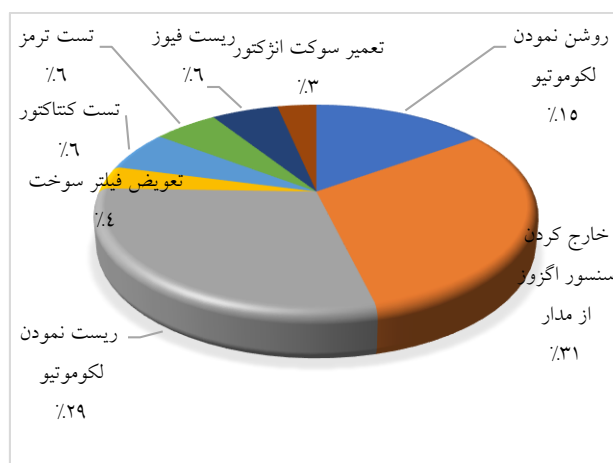
• با اطلاع از خرابی‌ها و آلام‌های رایج می‌توان در ایستگاه مبدأ برنامه‌ریزی را طوری برنامه‌ریزی نمود که آن خرابی در طول خط و در هنگام سیر قطار رخ ندهد. این اقدام باعث کاهش توقف‌های خارج از برنامه قطارها و افزایش ایمنی و بهره‌وری می‌گردد.



شکل ۶. نمودار فراوانی آلام‌های پرتکرار

• اقدامات تعمیراتی معمولاً بسیار متنوع بوده و آموزش همه‌ی آن‌ها به تعمیرکاران نیازمند صرف زمان و هزینه قابل توجهی است. در نتیجه آگاهی از مهم‌ترین عملیات تعمیراتی، به‌خصوص در زمان استخدام تعمیرکاران جدید، می‌تواند بسیار مفید و مؤثر واقع گردد. در شکل ۷ فراوانی در اقدامات تعمیراتی پرتکرار نمایش داده شده است.

• با شناسایی آلام‌ها و خرابی‌های پرتکرار می‌توان برنامه‌ریزی لازم جهت انجام اقدامات اصلاحی بر روی



شکل ۷. فراوانی در اقدامات تعمیراتی پرتکرار

جدول ۵. آیتم‌های پرتکرار به‌دست‌آمده با استفاده از الگوریتم اپریوری

آیتم	نوع آیتم	مفهوم آیتم	تعداد تکرار	درصد تکرار
۱۱۵	آلام	بروز ایراد جدی در موتور	۸۹	۱۰/۱۱
۱۱۷	آلام	کاهش قدرت موتور	۲۵۶	۲۹/۰۹
۱۶۷	آلام	خرابی فن مقاومت ترمز دینامیک	۱۲۸	۱۴/۵۵

تحلیل الگوی عیب‌یابی مبتنی بر اطلاعات عملکردی ماشین (مورد مطالعه: لکوموتیوهای زیمنس راه‌آهن ایران)

آیتم	نوع آیتم	مفهوم آیتم	تعداد تکرار	درصد تکرار
۱۷۷	آلارم	از مدار خارج شدن مقاومت دینامیک	۲۶	۲/۹۵
۱۸۲	آلارم	کاهش تولید هوای فشرده توسط کمپرسور	۴۶	۵/۲۳
۱۹۸	آلارم	شارژ نشدن باتری	۳۱	۳/۵۲
۲۲۹	آلارم	بروز آتش‌سوزی	۴۶	۵/۲۳
۲۸۵	آلارم	بروز ایراد جدی در مدار اصلی قدرت	۲۰	۲/۲۷
۸۸۲	اثر ظاهر شده	خاموش شدن لکوموتیو	۱۸۱	۲۰/۵۷
۸۸۱	اثر ظاهر شده	کندی سیر قطار	۲۱	۲/۳۹
۹۹۱	اقدام تعمیراتی	اقدام به روشن نمودن لکوموتیو	۸۱	۹/۲۰
۹۹۸	اقدام تعمیراتی	خارج کردن حسگر آگروز از مدار	۱۶۶	۱۸/۸۶
۹۹۳	اقدام تعمیراتی	اقدام به ریست نمودن لکوموتیو	۱۵۷	۱۷/۸۴
۹۹۹	اقدام تعمیراتی	تعویض فیلتر سوخت	۱۹	۲/۱۶
۹۹۱۶	اقدام تعمیراتی	انجام تست کنتاکتور	۳۳	۳/۷۵
۹۹۲۱	اقدام تعمیراتی	انجام تست ترمز	۳۰	۳/۴۱
۹۹۱۲	اقدام تعمیراتی	اقدام به ریست فیوز ترمز دینامیک	۳۱	۳/۵۲
۹۹۲	اقدام تعمیراتی	تعمیر سوکت انژکتور	۱۸	۲/۰۵
۱	وضعیت لکوموتیو	در طول خط رفع عیب شده (گرم)	۷۴۹	۸۵/۱۱
۰	وضعیت لکوموتیو	در طول خط رفع عیب نشده (سرد)	۱۳۱	۱۴/۸۹

۴-۳-۲ قوانین به دست آمده

در این بخش قوانین به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SQL Server، ارائه می‌گردد. این قوانین شامل ۱۸ قانون دو مؤلفه‌ای و ۲ قانون سه مؤلفه‌ای است. میزان پشتیبان و اطمینان هر قانون نیز در جدول ۶ نشان داده شده است. در این پژوهش با توجه به ادبیات موضوع و مطالعات مشابه انجام شده حداقل پشتیبان ۲ درصد و حداقل اطمینان ۶۰ درصد در نظر گرفته شده است. قوانین پس از اکتشاف با شرایط عملیاتی که شرکت راه‌آهن با آن مواجه است، مطابقت داده شد که بررسی‌ها نشان می‌دهد این قوانین بیش از ۹۳ درصد وقایع مرتبط را پوشش می‌دهد. در صورتی که برای پشتیبان و اطمینان اعداد کمتری در نظر گرفته شود، الگوریتم برای داده‌ها با تعداد تکرار کم نیز قانون تعریف می‌کند که این امر از کارایی و اهمیت قوانین می‌کاهد. در نتیجه درصدهای در نظر گرفته شده برای پشتیبان و اطمینان منطقی به نظر می‌رسد.

فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل / سال سیزدهم / شماره چهارم (۵۳) / تابستان ۱۴۰۱

۴-۴ کاربرد قوانین به دست آمده

از قوانین به دست آمده در بخش قبل می‌توان در مدیریت برنامه-ریزی سیروحرکت قطارها، نیروی انسانی از جمله تعمیرکاران لکوموتیو، راهبران قطار و مأمورین مانور و همچنین تصمیم-گیری در خصوص اعزام یا عدم اعزام لکوموتیو امداد به طول خط استفاده نمود. به‌عنوان نمونه می‌توان با استفاده از قوانین ذکر شده در زیر، در هنگام بروز آلارم‌های ۱۱۷، ۱۶۷، ۱۸۲، ۲۲۹، ۱۹۸ و ۱۷۷ از اعزام لکوموتیو امداد و تعمیرکار به طول خط اجتناب نمود:

- در صورت بروز آلارم ۱۱۷ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.
- در صورت بروز آلارم ۱۱۷ اقدام تعمیراتی مناسب، خارج کردن حسگر آگروز از مدار است.

- در صورت بروز آلام ۱۶۷ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.
 - در صورت بروز آلام ۱۸۲ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.
 - در صورت بروز آلام ۲۲۹ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.
 - با اقدام به تست کنتاکتور، لکوموتیو رفع عیب خواهد شد.
 - ریست کردن فیوز فن ترمز دینامیک، باعث گرم شدن لکوموتیو در طول خط خواهد شد.
 - انجام تست ترمز باعث گرم شدن لکوموتیو در طول خط خواهد شد.
 - در صورت بروز آلام ۱۹۸ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.
 - در صورت بروز آلام ۱۷۷ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.
- در صورت مشاهده آلام‌های ذکرشده در بالا، تنها از طریق آموزش راهبران قطارها و راهنمایی آن‌ها با استفاده از تماس تلفنی می‌توان لکوموتیو را در طول خط گرم نمود و احتیاجی به اعزام لکوموتیو امداد و تعمیرکار به طول خط نیست.
- از طرفی، با توجه به قانون‌های زیر می‌توان این استنباط را نمود که بهتر است به محض مشاهده آلام ۱۱۵ کنترل فنی ناوگان به کنترل سیر و حرکت قطارها، واحد تعمیرات لکوموتیو و دپوی لکوموتیو رانان هشدار آمادگی جهت اعزام لکوموتیو امداد و تعمیرکار را صادر نماید.
- بروز آلام ۱۱۵ باعث خاموش شدن لکوموتیو می‌گردد.
 - بروز آلام ۱۱۵ باعث سرد شدن لکوموتیو در طول خط می‌گردد.
- با استفاده از قانون‌های زیر می‌توان به نتایج قابل‌تأملی در خصوص آلام ۲۲۹ رسید:
- بروز آلام ۲۲۹ باعث خاموش شدن لکوموتیو می‌گردد.

- در صورت بروز آلام ۲۲۹ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد. (با اطمینان ۱۰۰ درصد)
- بروز آلام ۲۲۹ باعث خاموش شدن لکوموتیو می‌گردد. با روشن نمودن لکوموتیو می‌توان به سیر ادامه داد.

آلام ۲۲۹ مربوط به هشدار در خصوص آتش‌سوزی در لکوموتیو است. قانون "در صورت بروز آلام ۲۲۹ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد. (با اطمینان ۱۰۰ درصد)" نشان می‌دهد در طول سه سال گذشته تمام آلام‌های آتش‌سوزی کاذب بوده و با توجه به دستورالعمل شرکت سازنده که در شکل ۸ آورده شده است، می‌توان با اقدام پیش‌بینی شده در این خصوص، از خاموش شدن لکوموتیو و توقف قطار جلوگیری نمود. پس از آن می‌بایست لوکوموتیوران کارورز، لکوموتیو را بازدید نموده و از سلامت آن اطمینان حاصل نماید.

با استفاده از قانون "در صورت بروز آلام ۱۱۷، اقدام تعمیراتی مناسب، خارج کردن حسگر آگزوز از مدار است و این اقدام باعث ادامه سیر لکوموتیو به صورت گرم خواهد شد." می‌توان این برداشت را نمود که آلام ۱۱۷ بیشتر به دلیل خرابی حسگر آگزوز است و با انجام اصلاحات فنی روی این حسگر، می‌توان از بسیاری از توقف‌های خارج از برنامه قطارها جلوگیری نمود.

۴-۱- تخمین میزان صرفه‌جویی اقتصادی حاصل شده

در صورت استفاده از قانون‌های کشف‌شده

پیروی از الگوها و قوانین کشف‌شده علاوه بر مزیت‌هایی همچون افزایش بهره‌وری، افزایش ایمنی، افزایش رضایت مشتریان، کاهش زمان توقف خارج از برنامه قطارها و کاهش استهلاك منابع انسانی و تجهیزات سازمان، می‌تواند باعث صرفه‌جویی اقتصادی قابل‌ملاحظه‌ای برای سازمان گردد. با توجه به این‌که آیت‌های پنهان و آشکار بسیار زیادی در صنعت حمل‌ونقل ریلی دخیل هستند، تخمین و پیش‌بینی میزان صرفه‌جویی حاصل شده، دشوار است. با این حال، در ادامه با استفاده از روابط امید ریاضی، میزان صرفه‌جویی حاصل شده در

صورت استفاده از یکی از قوانین کشف‌شده تخمین زده شده است.

قانون: بروز آلام ۲۲۹ باعث خاموش شدن لکوموتیو می‌گردد. با روشن نمودن آن می‌توان به سیر ادامه داد.
میزان پشتیبان: ۳.۶ درصد
میزان اطمینان: ۷۰ درصد

با استفاده از جداول و داده‌های خروجی از نرم‌افزار SQL Server، مشخص می‌گردد که تعداد دفعات بروز آلام ۲۲۹ در طول سه سال گذشته ۴۶ بار بوده است. اگر میزان هر بار توقف به‌طور میانگین ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شود و میزان خسارت وارد شده به سازمان (با استفاده از نظرسنجی از خبرگان سازمان) به ازای هر دقیقه توقف قطار مبلغ ۵ میلیون ریال باشد، با استفاده از رابطه امید ریاضی و میزان احتمال ۷۰ درصد در قانون به‌دست آمده قبل داریم:

$$E[X] = \sum_{i=1}^n x_i p_x(x_i)$$

$$E = 0.7 * 46 * 20 * 5000000 + 0.3 * 46 * 20 * 0$$

$$E = 322000000$$

این مبلغ اگر برای کل شبکه ریلی راه‌آهن جمهوری اسلامی و برای مدت ۱۰ سال در نظر گرفته شود، خواهیم داشت:

$$E = 322000000 \times 0.4 \times 21 \times 10 / 3 \Rightarrow$$

$$E \approx 900000000$$

با توجه به این‌که ناحیه شمال شرق ۱ از پرتددترین نواحی راه‌آهن است، در رابطه بالا از ضریب اصلاح ۰/۴ استفاده شده است تا عدد محاسبه‌شده به واقعیت نزدیک باشد. عدد ۲۱ نشان‌دهنده تعداد نواحی در سراسر ایران است. عدد به‌دست‌آمده نشان می‌دهد با استفاده از یکی از قانون‌های به‌دست‌آمده و آموزش ساده به راهبران لکوموتیو، می‌توان در طول ۱۰ سال حداقل ۹۰ میلیارد ریال برای سازمان صرفه‌جویی نمود و از بسیاری از مخاطرات جلوگیری کرد. برای دیگر قوانین کشف‌شده نیز می‌توان با استفاده از همین روش، به‌صورت مشابه میزان صرفه‌جویی اقتصادی را تخمین زد.

جدول ۶. قوانین به دست آمده با استفاده از الگوریتم اپریوری

اطمینان	پشتیبان	مفهوم	آیتم ۳	آیتم ۲	آیتم ۱
۸۹	۲۵/۸	در صورت بروز آلام ۱۱۷ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.		۱	۱۱۷
۱۰۰	۱۸/۹	با اقدام به خارج کردن حسگر آگزوز از مدار، لکوموتیو رفع عیب خواهد شد.		۱	۹۹۸
۶۴	۱۸/۸	در صورت بروز آلام ۱۱۷ اقدام تعمیراتی مناسب، خارج کردن حسگر آگزوز از مدار است.		۹۹۸	۱۱۷
۹۹	۱۴/۴	در صورت بروز آلام ۱۶۷ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.		۱	۱۶۷
۶۲	۱۲/۸	در صورت خاموش شدن لکوموتیو، امکان ادامه سیر آن به صورت گرم وجود دارد.		۱	۸۸۲
۱۰۰	۹/۲	در صورتی که پس از خاموش شدن لکوموتیو، اجازه روشن نمودن داده شود، امکان سیر به صورت گرم وجود دارد.		۱	۹۹۱
۸۳	۸/۴	بروز آلام ۱۱۵ باعث خاموش شدن لکوموتیو می گردد.		۸۸۲	۱۱۵
۶۲	۶/۳	بروز آلام ۱۱۵ باعث سرد شدن لکوموتیو در طول خط می گردد.		۰	۱۱۵
۱۰۰	۵/۲	در صورت بروز آلام ۱۸۲ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.		۱	۱۸۲
۱۰۰	۵/۲	در صورت بروز آلام ۲۲۹ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.		۱	۲۲۹
۱۰۰	۳/۸	با اقدام به تست کتکتور، لکوموتیو رفع عیب خواهد شد.		۱	۹۹۱۶
۷۰	۳/۶	بروز آلام ۲۲۹ باعث خاموش شدن لکوموتیو می گردد.		۸۸۲	۲۲۹
۱۰۰	۳/۵	ریست کردن فیوز ترمز دینامیک، باعث گرم شدن لکوموتیو در طول خط خواهد شد.		۱	۹۹۱۲
۱۰۰	۳/۴	انجام تست ترمز باعث گرم شدن لکوموتیو در طول خط خواهد شد.		۱	۹۹۲۱
۹۴	۳/۳	در صورت بروز آلام ۱۹۸ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.		۱	۱۹۸
۱۰۰	۳/۰	در صورت بروز آلام ۱۷۷ لکوموتیو در طول خط گرم خواهد شد.		۱	۱۷۷
۱۰۰	۲/۲	تعویض فیلتر سوخت، باعث ادامه سیر لکوموتیو به صورت گرم خواهد شد.		۱	۹۹۹
۱۰۰	۲/۰	مرمت سوکت انژکتور، باعث ادامه سیر لکوموتیو به صورت گرم خواهد شد.		۱	۹۹۲
۶۴	۱۸/۸	در صورت بروز آلام ۱۱۷، اقدام تعمیراتی مناسب، خارج کردن حسگر آگزوز از مدار است و این اقدام باعث ادامه سیر لکوموتیو به صورت گرم خواهد شد.	۱	۹۹۸	۱۱۷
۷۰	۳/۶	بروز آلام ۲۲۹ باعث خاموش شدن لکوموتیو می گردد. با روشن نمودن لکوموتیو می توان به سیر ادامه داد.	۱	۸۸۲	۲۲۹

229 Smoke is detected at the brake rack.

Diesel engine can only be started in emergency mode.

Fire alarm brake rack

Smoke is detected at the brake rack.

If the button "Acknowledge Fire Alarm" at driver's desk is not pressed, the diesel engine is switched off automatically.

Check origin of smoke and extinguish the fire if possible.

Fire alarm can be reset by the fire detection fault switch at auxiliary rack.

Check whether service can be continued.

Inform workshop.

شکل ۸. دستورالعمل شرکت سازنده در مورد آلام ۲۲۹

۵. نتیجه‌گیری

منابع انسانی و تصمیم‌گیری در خصوص اعزام یا عدم اعزام لکوموتیو امداد به طول خطوط قابل‌استفاده خواهد بود.

• از آنجاکه این پژوهش فقط در محدوده اداره کل راه‌آهن شمال شرق ۱ و برای بازه زمانی سه‌ساله انجام شده است، پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی برای کل مناطق راه‌آهن ایران و برای بازه زمانی بزرگ‌تر انجام گردد تا دقت قوانین کشف‌شده افزایش یابد.

• پیشنهاد می‌گردد مدیران ارشد سازمان در سفارش‌های آینده برای خرید لکوموتیو، حتماً شرایط بهره‌برداری و اقلیمی در ایران را به‌دقت موردبررسی قرار داده و در این مهم از نظر کارشناسان خبره بهره‌گیرند.

• پیشنهاد می‌گردد در قراردادهای آتی امکان درخواست انجام اصلاحات بر روی تجهیز (حداقل تا پایان مدت ضمانت) در نظر گرفته شود.

• پیشنهاد می‌گردد در آینده قوانین به‌دست‌آمده به‌صورت جداگانه موردبررسی و تحلیل قرار گیرد و طی پروژه‌هایی اقدامات اصلاحی مناسب بر روی لکوموتیوها انجام شود. همچنین برای نیروی انسانی شاغل در راه‌آهن، برنامه‌ریزی آموزشی متناسب با قوانین، در نظر گرفته شود. از جمله اصلاحاتی که می‌توان به آن‌ها اشاره نمود، انجام تغییرات در حسگرهای آگزوز و حسگرهای مربوط به آلامر آتش‌سوزی است. همچنین می‌توان برای حسگرهای حساس به دود و حسگر حساس به دما دو شماره آلامر مجزا در نظر گرفت که در صورت بروز آلامر از حسگر حساس به دود، لکوموتیو خاموش نگردد یا مدت‌زمان بیشتری نسبت به آلامر مربوط به حسگر حساس به دما سپری نموده و پس از آن لکوموتیو را به‌صورت اضطراری خاموش کند.

• نتایج این پژوهش در اختیار کارشناسان و دیگر افراد شاغل در حوزه لکوموتیوها در اداره کل راه‌آهن شمال-شرق ۱ قرار داده شده و بررسی‌ها نشان می‌دهد در یک

در این پژوهش با استفاده از تحلیل الگوی عیب‌یابی مبتنی بر اطلاعات عملکردی ماشین به شناسایی و ارتقای فرایند عیب‌یابی لکوموتیوها پرداخته شد. به این صورت که از روش کاوش قوانین وابستگی استفاده شد تا بین داده‌های دریافتی از لکوموتیوها، عیوب اصلی و ریشه‌ای آن‌ها و تعمیرات انجام شده، ارتباط معناداری ایجاد گردد. در این تحقیق نتایج کلی زیر به دست آمده است:

• داده‌ها و آلامرهایی که در لکوموتیوها نمایش داده می‌شوند و ذخیره می‌گردند، معمولاً مجموعه عیوب خاصی را به‌طورکلی نشان می‌دهند. با کشف قوانین از داده‌های موجود، می‌توان ریشه اصلی عیوب را پیش‌بینی نمود.

• الگوها و قواعد معناداری که جهت فرایند عیب‌یابی شناسایی شدند می‌توانند فرایند عیب‌یابی را سریع‌تر و صحیح‌تر نمایند.

• در این پژوهش تعداد ۲۰ آیتم پرتکرار در لکوموتیوهای زیمنس کشف شد که از آن‌ها می‌توان در آموزش راهبران قطارها، تعمیرکاران لکوموتیو و دیگر افراد مرتبط با لکوموتیوها، استفاده نمود.

• شناسایی آلامرها و خرابی‌های پرتکرار در برنامه‌ریزی لازم جهت انجام اقدامات اصلاحی بر روی لکوموتیوها و برنامه‌ریزی موجودی انبار قطعات تأثیرگذار خواهد بود.

• اطلاع از تعداد دفعات رفع عیب یا عدم رفع عیب لکوموتیوها در طول خطوط، در تصمیم‌گیری جهت تخصیص لکوموتیو ذخیره به ایستگاه‌های تشکیلاتی، تعداد آن‌ها و اعزام یا عدم اعزام تعمیرکار به طول خطوط جهت تعمیر لکوموتیوها، مؤثر است.

• در این پژوهش ۱۸ قانون دو مؤلفه‌ای و ۲ قانون سه مؤلفه‌ای به‌دست آمد. این قوانین بسیار کاربردی بوده و در مدیریت برنامه‌ریزی سیر و حرکت قطارها، مدیریت

-Glawar, R., Kemeny, Z., Nemeth, T., Matyas, K., Monostori, L. and Sihn, W. (2018) "A holistic approach for quality oriented maintenance planning supported by data mining methods", *Procedia CIRP*, Vol. 57, pp. 259-264.

-Grabot, B. (2018) "Rule mining in maintenance: Analysing large knowledge bases", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 16, No. 7, pp. 259-304.

-Harding, J., Shahbaz, M. and Kusiak, A. (2006) "Data mining in manufacturing: a review", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 128, No. 4, pp. 969-976.

-Koksal, G., Batmaz, I. and Testik, M. C. (2017) "A review of data mining applications for quality improvement in manufacturing industry", *Expert systems with Applications*, Vol. 38, No. 10, pp. 13467-13448.

-Liden, T., Kalinowski, T. and Waterer, H. (2018) "Resource considerations for integrated planning of railway traffic and maintenance windows", *Journal of Rail Transport Planning & Management*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-15.

-Maquee, A., Shojaie, A. A. and Mosaddar, D. (2012) "Clustering and association rules in analyzing the efficiency of maintenance system of an urban bus network", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Vol. 3, No. 3, pp. 175-183.

-Mitchell, A. (2005) "Spatial measurements & statistics", California: ESRI Press.

-Quinlan, J. (1993) "Programs for machine learning. Morgan Kaufmann", San Francisco: Morgan Kaufmann.

-Young, T., Fehskens, M., Pujara, P., Burger, M., and Edwards, G. (2010) "Utilizing data mining to influence maintenance actions", *International Conference of IEEE*

بازه زمانی کوتاه مدت (حدود ۶ ماه) نتایج الگوریتم اثربخشی قابل توجهی داشته است. خبرگان شرکت راه- آهن، کاهش توقف‌های خارج از برنامه قطارها و کمک به اتخاذ تصمیم مناسب در زمان بروز خرابی را مهم‌ترین بهبود حاصل شده با استفاده از الگوهای کشف شده می- دانند.

• در انجام پژوهش حاضر داده‌های دریافت شده از سازمان راه‌آهن، به صورت دستی و به وسیله افراد مختلف ثبت شده بود که در بسیاری از موارد سبک نگارش متفاوت و استفاده از اصطلاحات مختلف، فرایند آماده- سازی و تحلیل داده‌ها را بسیار زمان‌بر نمود. این موضوع را می‌توان به عنوان مهم‌ترین محدودیت این پژوهش در نظر گرفت.

۶. منابع

-زمانی، زهرا، علی‌محمدی، عباس و فریقی، مهدی (۱۳۹۸)، "بررسی ارتباط بین اطلاعات و ویژگی‌های مکانی و جمعیتی با مصرف آب در شهر اصفهان با استفاده از کاوش قوانین انجمنی"، نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره نهم، شماره ۱، ص. ۶۵-۸۱.

-Bin, Z. and Wensheng, X. (2015) "An Improved Algorithm for High Speed Train's Maintenance Data Mining Based on MapReduce", *International Conference on Cloud Computing and Big Data (CCBD)*, Beijing: November 2015.

-Budai, G., Huisman, D. and Dekker, R. (2011) "Scheduling preventive railway maintenance activities", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57, No. 9, pp. 1035-1044.

-Choudhary, A. K., Harding, J. A. and Tiwari, M. K. (2009) "Data mining in manufacturing: a review based on the kind of knowledge", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 20, No. 5, pp. 501.

تحليل الگوی عیب‌یابی مبتنی بر اطلاعات عملکردی ماشین (مورد مطالعه: لکوموتیوهای زیمنس راه‌آهن ایران)

AUTOTESTCON, Orlando: 13-16
September 2010.

سید مجتبی مرتضوی، علی اکبر حسنی

سید مجتبی مرتضوی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی مکانیک را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه صنعتی شاهرود و درجه کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی-تولید و عملیات را در سال ۱۳۹۹ از دانشگاه صنعتی شاهرود اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان تحلیل اطلاعات مبتنی بر تکنیک‌های تصمیم‌گیری و سیستم‌های نگهداری و تعمیرات است.



علی اکبر حسنی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع-تحلیل سیستم‌ها را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع-صنایع در سال ۱۳۸۹ را از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود. در سال ۱۳۹۳ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه تربیت مدرس گردید. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان تحلیل سیستم‌ها و مدل‌سازی و بهینه‌سازی ریاضی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه صنعتی شاهرود است.

