International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2012)

November 2012, Volume 23, Number 3
pp. 375-388

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Development of Iranian Railway Track Maintenance Management System

S.J. Mirmohammadsadeghi*, H. Ashori & E. Amiri Doloei

Seyed Javad Mirmohammadsadeghi, *Associat professor, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology*
Hojat Ashori, *School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology*
Elahe Amiri Doloei, , *School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology*

Keywords

Maintenance management,
Railway,
Maintenance strategy

ABSTRACT

Development of an optimized strategy for the maintenance of Iranian railway track maintenance in a form of management system was made in this research. Through reviewing the current maintenance management system in the USA, Europe and Asia as well as investigating the characteristics of railway structure and current maintenance approaches in Iran, a new algorithm was made in order to improve efficiency of maintenance decision system and maintenance planning in Iranian railway industry. The practicability and reliability of the new maintenance algorithm (model) were evaluated by applying the new proposed algorithm in a railway line in Tehran province. It was shown that the new proposed maintenance management system (algorithm) is effective in providing an optimized maintenance strategies and plans. It was also shown that track operation can be evaluated by sensitivity analyses of the proposed model.

© 2012 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 23, No. 3, All Rights Reserved

* **Corresponding author. Seyed Javad Mirmohammadsadeghi**
Email: *Javad_Sadeghi@iust.ac.ir*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۳، جلـــد ۲۳، آذر ۱۳۹۱
صفحـــه ۳۸۸-۳۷۶

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

توسعه الگوریتم اولویت بندی و برنامه ریزی برای نگهداری وتعمیرات خطوط راه آهن ایران

سید جواد میرمحمدصادقی*، حجت عا شوری و الهه امیری دلویی

کلمات کلیدی

اولویت بندی، برنامه ریزی، نگهداری وتعمیرات، راه آهن

چکیده:

ارائه یک الگوریتم اولویت بندی تعمیر و نگهداری خطوط راه آهن ایران جهت بهینه و بهنگام سازی برنامه های کوتاه و بلند مدت عملیات تعمیر و نگهداری راه آهن در این تحقیق مورد هدف قرار گرفته است. برای این منظور مبنای اصلی این پژوهش، مطالعه تجارب موجود در ادبیات موضوع و بررسی وضعیت کمی و کیفی چند صد کیلومتر در شبکه خطوط ریلی ایران است. در این مقاله شرایط موجود راه آهن ایران بررسی شده و مطالعات انجام شده در عرصه بین المللی در راستای ساخت یک الگوریتم اولویت بندی تحلیل شده است. پس از بحث بر روی مدلهای لازم برای توسعه یک الگوریتم اولویت بندی و برنامه ریزی، روند توسعه شاخص های کیفی خط و چگونگی پروسه آنالیز داده ها تشریح شده است. نتیجتا متد طراحی و توسعه مدلهای لازم جهت ارائه الگوریتم اولویت بندی تعمیر و نگهداری خطوط ارائه گردیده است. کاربرد الگوریتم و مدلهای توسعه یافته از طریق پیاده سازی آنها در یک محور منتخب راه آهن ایران بررسی گردیده است. نتایج حاصله حاکی ازکاربردی بودن و امکان پذیر بودن استفاده از مدل یا الگوریتم پیشنهادی در ارائه برنامه اولویت بندی و برنامه ریزی جهت تعمیر و نگهداری راه آهن می باشد. الگوریتم طراحی شده در این تحقیق به عنوان نخستین تجربه راه آهن ایران بعنوان یک بخش اصلی در ساخت یک سیستم یکپارچه مدیریت تعمیر و نگهداری خطوط مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۱. مقدمه

راه آهن یکی از مهمترین سیستم های حمل و نقل در جهان و بخصوص در ایران می باشد. مطالعه گزارشات مالی (در بخش های جاری و عمرانی) راه آهن ایران نشان می دهد که یکی از چالشهای اساسی دربخش حمل و نقل ریلی، هزینه های قابل ملاحظه در بخش تعمیرات و نگهداری خطوط ریلی می باشد [۱]. هزینه سرمایه گذاری اولیه در راه آهن بسیار بالا بوده و دوره عمر طولانی برای آن ها مدنظر است. در راه آهن نیز مانند دیگر زیر ساخت ها که از هزینه های سرمایه گذاری بالایی برخوردار هستند (ارزش دارایی ها بسیار زیاد است) هزینه های تعمیرات و نگهداری نیز بالا می‌رود[۲].

بر اساس گزارشات مالی راه آهن ایران یکی از علل هزینه های پی در پی تعمیرات و نگهداری خطوط شبکه ریلی ایران نداشتن برنامه های اولویت بندی جهت عملیات در بخش ها یا محورهای

تاریخ وصول: ۹۰/۲/۳۱
تاریخ تصویب: ۹۰/۱۲/۲۲

***نویسنده مسئول مقاله: دکتر سیدجواد میرمحمدصادقی**، دانشیار، دانشکده راه آهن ،دانشگاه علم وصنعتJavad_Sadeghi@iust.ac.ir

حجت عاشوری : دانش آموخته کارشناسی ارشد ، دانشکده صنایع ، دانشگاه علم و صنعت Hojat.ashoori@NTM.co.ir

الهه امیری دلویی :دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده راه آهن ، دانشگاه علم و صنعت Eamiri88@yahoo.com

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

مختلف ریلی ایران است بطوری که بعضاً عملیات تعمیر و نگهداری در بخش ها یا قطعات (یا بلوک هایی) انجام می گردد که در اولویت بلحاظ وضعیت کیفی نمی باشند در حالی که درهمان زمان بخش هایی که نیاز مبرم به تعمیرات دارند غافل و از دیده پنهان می باشد [۱]. در حقیقت، در روشهای جاری راه آهن ایران هیچ گونه سیستم، الگوریتم یا مدل مشخصی که بر اساس آن بتوان برنامه کوتاه یا بلند مدتی برای عملیات نگهداری و تعمیرات ارائه نمود موجود نمی باشد. در حقیقت عامل تعیین کننده در انتخاب روش ترمیم و نگهداری مناسب، تجربه مدیران است، در عین حال که توجه چندانی به هزینه های چرخه عمر و یا به اولویت بندی بر اساس ضرورت در سطح شبکه معطوف نمی گردد[۱]. این در حالی است که امروزه تقاضای زیاد این مد از حمل و نقل مستلزم افزایش در ظرفیت، تعداد قطارها، سرعت و بار محوری است . افزایش در هر کدام از موارد مذکور موجب افزایش در نرخ زوال خط و هزینه های تعمیرات و نگهداری می شود. با پیشرفت تکنولوژی و در محیط رقابتی امروز و با محدود شدن بودجه، مدیران راه آهنی می بایست با بهینه سازی عملیات و رویه های تعمیرات ونگهداری هزینه ها را کاهش داده ولی در عین حال استانداردهای ایمنی را برآورده سازند[۳].

در اقتصاد امروزی به همان نسبت که از عمر خطوط موجود می گذرد نیاز به یک روش سیستماتیک تر برای تعیین ضرورت ها در امر ترمیم و نگهداری بیشتر احساس می گردد. امروزه شبکه خطوط نیاز به مدیریت دارد و نگهداری به تنهایی کافی نیست. پیشرفت هایی که اخیراً در زمینه ریز کامپیوترها و تکنولوژی مدیریت خطوط بدست آمده اند، ابزار مورد نیاز را برای مدیریت اقتصادی راه آهن فراهم آورده اند تا با روشی سیستماتیک و منسجم ضروریات ترمیم و نگهداری و تعیین اولویت ها و زمان بهینه برای تعمیرات در اختیار قرار گیرد. باتوجه به گسترش سریع شبکه خطوط راه آهن ایران این نیاز مضاعف می گردد. حفظ شرایط مطلوب شبکه و همچنین پیش بینی وضعیت آینده خطوط تنها در گرو برنامه ریزی دقیق، به منظور پیاده سازی یک سامانه اطلاعاتی- تحلیلی برای تعمیر و نگهداری خطوط میباشد. تجارب پیاده سازی سیستم اولویت بندی نگهداری و تعمیرات خطوط در بسیاری از کشورهای توسعه یافته حاکی از ان است که بکارگیری چنین سامانه ای منجر به کاهش هزینه های خطوط، در حدود ۳۰ تا ۴۸ درصد شده است[۱].

یکی از مهمترین بخش ها در ساخت یک سامانه مدیریت تعمیر و نگهداری راه آهن، طراحی الگوریتم اولویت بندی عملیات نگهداری و تعمیرات میباشد بطوریکه بر اساس آن بتوان برنامه های کوتاه و بلند مدت عملیات تعمیر و نگهداری را تدوین نمود.

این تحقیق به بررسی و ارائه الگوریتم مناسب برای راه آهن ایران جهت اولویت بندی عملیات نگهداری و تعمیرات می پردازد. الگوریتم الویت بندی مورد نظر در این تحقیق بر مبنای تشخیص وضعیت کیفی راه آهن می‌باشد. بطوریکه ابتدا خطوط ریلی در یک شبکه به قطعات با طول مشخص (حدود یک کیلومتر) تقسیم شده و سپس بر اساس وضعیت خرابیهای اجزاء روسازی خط در آن قطعه، یک شاخص کیفی برای آن محاسبه می گردد. با مقایسه شاخص کیفی قطعات در طول یک شبکه، ضرورت تعمیرات برای هر قطعه مشخص شده، و از این مسیر جدول اولویت‌بندی تعمیرات برای قطعات در سطح شبکه مشخص می گردد. بنابراین محور های اصلی در این تحقیق عبارتند از توسعه مدل بانک اطلاعات از وضعیت کمی و کیفی خط (شامل تعریف خرابیها و نحوه اندازه گیری وضعیت آنها و همچنین چهار چوبه بانک اطلاعاتی)، مدل شاخص کیفی خط بر اساس اطلاعات خرابیهای ثبت شده در بانک اطلاعاتی و نهایتاً تحلیل مقایسه‌ای شاخص کیفی و ارائه برنامه های اولویت بندی عملیات تعمیر و نگهداری قطعات (یا شبکه) خط است.

برای تدوین سه بخش اصلی در ساخت الگوریتم اولویت بندی (مدل بانک اطلاعات، مدل شاخص های کیفی و مدل تحلیل مقایسه‌ای) ابتدا در این تحقیق سامانه های برنامه ریزی عملیات تعمیر و نگهداری موجود در جهان و همچنین شاخصهای ارزیابی کیفی خطوط ریلی ارزیابی شده و سپس با بررسی وضعیت کیفی خطوط ریلی ایران و تعیین خرابیهای فراگیر در شبکه خطوط کشور به همراه امکانات وشرایط ریلی ایران، مدل مناسب بانک اطلاعات کمی و کیفی شبکه ریلی ایران و شاخصهای کیفی مطلوب خطوط مشخص گردیده و در نهایت مدل تحلیل مقایسه-ای شاخص ها توسعه داده شده است. جهت نشان دادن کاربردی بودن مدل یا الگوریتم ارائه شده، این الگوریتم در یک محور منتخب راه آهن ایران اجراء گردیده و نتایج آن بحث شده است.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

مروری بر ادبیات موضوع در ساخت الگوریتم اولویت بندی عملیات تعمیر و نگهداری راه آهن ها نمایانگر آن است که الگوریتم های ارائه شده درهر کشور متناسب با ساختار سازه ای راه آهن آن کشور و همچنین چارچوبه نظام اداری و مدیریتی حاکم بر آنهاست. به عبارت دیگر الگوریتم های توسعه داده شده که در قالب سامانه های مدیریتی ارائه می‌گردند صرفاً جهت همسازی با ساختار موجود در ادارات راه آهن هر کشورساخته شده است. به عنوان نمونه تشکیل بانک اطلاعاتی (شناسنامه کمیت وکیفیت خطوط) به روش برداشت و ثبت اطلاعات بر می

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

گردد و این وابسته به امکانات و تجهیزات ادارات مختلف راه آهن می باشد بطوریکه نمی تواند در راه آهن های مختلف کاربرد داشته باشد. همچنین شیوه اولویت بندی عملیات مرمت به شیوه قطعه گذاری و کدبندی شبکه ریلی وابسته است که از یک کشور به کشور دیگر تغییر میکند.

لذا راه آهن هر کشور ملزم به ارائه الگوریتمی متناسب با ساختار پرسنلی، اداری و همچنین سازه ای راه آهن های خود می باشند. آنچه در مرور بر الگوریتم های توسعه یافته در عرصه بین المللی و یا در سامانه های مدیریتی بخش تعمیر و نگهداری در راه آهن دنیا قابل استناد و استفاده است مدل های شاخص کیفی روسازی است.

مطالعه الگوریتم های اولویت بندی تعمیر و نگهداری خطوط ریلی در عرصه بین المللی نمایانگر رویکردهای مختلف الگوریتم های موجود می باشد ولیکن به طور کلی این الگوریتم ها طی فرآیندهایی که با استفاده از توسعه تکنولوژی ارتباطات صورت می گیرد، بهینه سازی اقتصادی را به طور موثرتری انجام داده و محاسبه هزینه های جاری و پیش بینی هزینه های سال های بعد را میسر می سازند. یک مرور جامع بر ادبیات موجود نمایانگر آن است که الگوریتم های اساسی که در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته مورد استفاده قرار می گیرند در قالب سامانه های مدیریت تعمیر و نگهداری می باشند. این سامانه ها شامل چهار سامانه اصلی RAILER و TRACS در آمریکا و ECOTRACK و RAMSYS در ۲۶ کشور اروپایی و سامانه DTM در هند می باشند. طرح سیستم RAILER در USA-CERL، مرکز تحقیقات ارتش آمریکا، برای توسعه یک سیستم تعمیر و نگهداری، انجام شده است. هدف از طراحی و توسعه این سیستم، فراهم آوردن مدیریت موثر و کارآمد در شبکه خطوط ریلی ایالت الینویز آمریکا بود که بتواند بخش های مختلف شبکه خطوط راه آهن را از طریق یک پروسه سیستماتیک و متدیک، در شرایط بهینه حفظ کند. این سیستم قادر است امکانات موجود را شناسایی و تخصیص دهد، رفتار آینده خط را پیش بینی کند و نیازهای بلند مدت و کوتاه مدت خط را از طریق آنالیز در یک نرم افزار، ارائه کند[۴]. شیوه ارزیابی چشمی در این سامانه به طور جامعی طراحی شده است. سیستم TRACS توسط انجمن راه آهن آمریکا و با همکاری موسسه تکنولوژی ماساچوست طراحی و توسعه یافته است. این سیستم رویکرد اقتصادگرایانه تری نسبت به سیستم قبلی دارد و دارای این ویژگی بارز است که می تواند علاوه بر برنامه ریزی برای تعمیر و نگهداری خط، تاثیر عملیات تعمیر و نگهداری را بر حرکت قطارها، ارزیابی کند. این سیستم دارای مدل های خرابی و خستگی اجزاء خط و قابلیت تخمین حجم مورد انتظار عملیات تعمیر و نگهداری مقطعی نیز می باشد. سامانه TRACS، دارای جامعیت در ثبت خرابی های خط نیست و تحلیل اطلاعات برای اولویت بندی تعمیرات و شیوه های پیشنهادی زمانی- فنی تعمیرات بطور کامل در TRACS انجام نمی گیرد[۱]. سیستم ECOTRACK در اروپا طراحی و توسعه یافته است و سپس سیستم توسعه یافته تر آن، توسط شرکت های ایتالیایی تحت عنوان RAMSYS ارائه شد. هدف از ایجاد ECOTRACK ایجاد یک سیستم بهینه سازی منابع عملیاتی بود. آنالیز واقعی خط بر اساس جنبه های فنی-اقتصادی، ارائه یک طرح بهینه برای کارهای تعمیر و نگهداری در سطح گسترده، تخصیص بهینه منابع و اولویت بندی کارهای تعمیراتی، از ویژگیهای این سیستم است. این سیستم به نحوی توسعه یافت که قادر باشد مدیریت را در برنامه ریزی های بلند مدت و کوتاه مدت، اعمال کند. سیستم RAMSYS قادر است به کمک اطلاعات خط، مدل زوال آنرا ارائه دهد و با پیش بینی رفتار خط و مقایسه با کیفیت لازم و کنترل هزینه ها، ترکیب بهینه را در نگهداری و بهسازی ارائه کند[۵ و ۶]. سامانه های ECOTRACK و RAMSYS دارای طبقه بندی و کد بندی های مطلوبی برای خرابی ها نیستند و استفاده از آنها برای راه آهن های مختلف، آسان نیست. از امتیازات منحصر به فرد این سامانه قابلیت سوار شدن آنها بر شبکه اطلاعات جغرافیایی راه آهن است و همچنین در این سامانه ها، کاربر می تواند با تغییر در سرعت و تناژ سالانه و بارهای محوری، اثر آنها بر هزینه های تعمیر و نوسازی و کیفیت خط در آینده را مشاهده کند[۱]. سامانه Direct Track Maintenance (DTM) مختص راه آهن هند است و برای مسیرهای چند خطه مناسب می باشد. در این سیستم، توسعه مدل های زوال اجزاء خط، برای طراحی کارهای نوسازی و نگهداری و تعمیر آینده انجام شده است. همچنین مدل های هزینه برای بهینه سازی تعمیرات خط و هندسه مسیر مورد نظر قرار گرفته است. طرح نگهداری و تعمیر، تحت کنترل مدیریت خط در سه سطح منطقه ای، ناحیه ای و سطح واحد، صورت می گیرد.[۷]. سامانه DTM، نسبت به سامانه های کشورهای توسعه یافته دارای این مزیت است که به صورت ریزتر به خرابی های اجزاء خط پرداخته است. اما در این سیستم تحلیل اطلاعات به صورت دستی انجام می شود و سیستم پویایی لازم به لحاظ ثبت اطلاعات و تحلیل به روز آن را ندارد[۱]. علی رغم موفقیت این الگوریتم ها در مدیریت بهینه تعمیر و نگهداری، الگوریتم های فوق نمی توانند در کشورهایی مثل ایران مورد استفاده قرار گیرند زیرا ساختاری که این سامانه ها بر اساس آنها تدوین شده اند با ساختار اداری ایران متناسب نیست. شیوه

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

برداشت اطلاعات نیز با توجه به امکانات پرسنلی و تجهیزات آن کشور ساخته شده است که قابلیت استفاده از آنها در ایران وجود ندارد.

همچنین رویکرد این سامانه ها وابستگی شدیدی به شیوه های بهره برداری و مدیریت ترافیکی خطوط دارد که نیازمند داشتن یک بستر سامان یافته و برنامه ریزی شده در بخش بهره برداری است که در ایران موجود نیست. با این حال آنچه می تواند مورد ملاحظه و استفاده در ساختار الگوریتم های اولویت بندی قرار گیرد شاخص های کیفی روسازی است که در این سامانه ها، مورد استفاده قرار گرفته و توسط محققین در دو دهه اخیر توسعه یافته است. در حقیقت هسته اصلی الگوریتم اولویت بندی عملیات تعمیر و نگهداری عبارت است از شاخص های کیفی روسازی راه آهن که می تواند در توسعه هر الگوریتم جدیدی مورد استفاده قرار گیرد. شاخص های توسعه یافته در زمینه سنجش کیفی خطوط راه آهن به دو بخش: شاخص های سازه ای و شاخص های هندسی تقسیم می گردد.

در زمینه توسعه شاخص سازه ای راه آهن تنها یک تحقیق اساسی انجام گردیده است که مربوط به آقای یوزارسکی است که در دانشگاه الینویز در دهه ۱۹۹۰ با حمایت مالی ارتش آمریکا انجام گرفته است [۴].

در شاخص سازه ای (توسعه یافته توسط یوزارسکی) هر خط به قطعات ۱۰۰ متری تقسیم شده و سازه خط به سه بخش: گروه ریل، گروه بالاست و گروه تراورس تقسیم می گردد. به ازای هر خرابی تعریف شده (با مشخصات نوع، میزان و شدت آن) یک عدد کاهنده ای منظور گردیده و از عدد ۱۰۰ که میزان نمره یک خط بدون عیب می باشد کاسته می شود. بیان ریاضی عبارت فوق را یوزارسکی به صورت ذیل برای هر یک از اجزای خط ارائه کردع است[۸]:

$$(BCI, RCI, SCI) = C - \sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{mi} a(Ti, Sj, Dij)F(t,d) \quad (1)$$

که در آن: C ضریب ثابت برابر ۱۰۰ است؛ a مقدار کاهش وزنی است که وابسته به نوع خرابی (Ti)، درجه شدت (Si) و چگالی خرابی (Di) می باشد. i تعداد انواع خرابی؛ j تعداد سطوح شدت؛P تعداد کل انواع خرابی گروه مورد نظر؛mi مقدار شدت برای نوع خرابی (i) ام؛ و F (t, d) فاکتور تعدیل برای خرابی های متعدد است که از این فاکتورهای تصحیح می توان در ترمیم منحنی های تصحیح استفاده کرد. BCI، RCI و SCI به ترتیب شاخص وضعیت گروه بالاست، ریل و تراورس می باشند. در سال ۲۰۱۰، صادقی و همکاران مدل فوق را اندکی توسعه داده و برای ساختار راه آهن ایران کالیبره نمودند[۸]. شاخص ارائه شده به شرح زیر است:

$$TSI = 0.5CI(low) + 0.35CI(mid) + 0.15CI(high) \quad (2)$$

CI(low) و CI(mid) و CI(high) مقادیر شاخص های RCI و SCI و BCI می باشند که به ترتیب صعودی و از کمترین تا بیشترین مقدار مرتب شده اند. TSI نیز شاخص سازه ای خط می باشد. یکی از علل توجه کمتر محققین یا راه آهن ها به استفاده یا توسعه این شاخص، هزینه بر بودن برداشت و ثبت اطلاعات خرابی های خط بصورت چشمی است که در ساخت این شاخص مورد نیاز می باشد. بدین ترتیب بسیاری از راه آهن ها در توسعه الگوریتم اولویت بندی عملیات تعمیر و نگهداری از شاخص هندسی خط که می‌تواند با برداشت مکانیزه (به کمک ماشین اندازه گیری خط) انجام گردد استفاده نموده اند[۱]. شاخص هندسی خط عبارت است از ارائه شاخصی بر مبنای وضعیت هندسه خط که شامل سنجش میزان خطاهای هندسی در چهار پارامتر اصلی خط می باشد. این چهار پارامتر عبارتند از میزان عرض خط، میزان دیلم، میزان پایین افتادگی، و میزان پیچش خط. این چهار پارامتر توسط ماشین های اندازه گیری خط مانند EM120 که می‌تواند با سرعت حدود ۸۰ کیلومتر بر ساعت حرکت کند برداشت و ثبت گردیده و شاخص هندسه بطور اتوماتیک توسط ماشین های اندازه گیری خط ارائه میگردد. در دو دهه اخیر محققین روابط مختلفی را برای ساخت شاخص هندسی خط پیشنهاد نموده اند که مهمترین آنها در جدول ۱ آمده است. در جدول ۱، J شاخص پارامترهای هندسی، S_Z انحراف معیار افتادگی ریل چپ و راست، S_y انحراف معیار امتداد، S_w انحراف معیار پیچش، S_e انحراف معیار عرض خط؛ w_e خرابی عرض خط، w_g خرابی دور، w_w خرابی پیچش، w_z و w_y میانگین خرابیهای افقی و قائم ریلهای چپ و راست؛ R^2 شاخص زبری؛ d_i میزان انحراف از وسط وتر در پارامتر افتادگی قائم و افقی، انحراف شیب عرضی و عرض خط، n تعداد نقاط اندازه گیری شده در طول قطعه مورد نظر، σ_H میانگین انحراف معیار افتادگی ریل چپ و راست، σ_S میانگین انحراف معیار شیب عرضی، عرض خط و انحراف افقی، $\sigma_{H_{\lim}}$ مقدار مجاز σ_H بر اساس طبقه بندی خط، $\sigma_{S_{\lim}}$ مقدار مجاز σ_S بر اساس طبقه بندی خط، TIشاخص پیچش، GI شاخص عرض خط، AI شاخص امتداد، و UIشاخص پروفیل خط است. همانطور که در این جدول ملاحظه می‌گردد، اساس این روابط بر پایه میزان انحراف معیار هر یک از پارامترهای هندسی خط تدوین شده است.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

جدول ۱. شاخص کیفیت هندسی در راه آهنهای مختلف

مرجع	رابطه
راه آهن فرانسه:[۹]	SD
راه آهن هند:[۱۰]	$\mathrm{TGI}=\frac{2\mathrm{UI}+\mathrm{TI}+6\mathrm{AI}+\mathrm{GI}}{10},\begin{cases}\mathrm{UI}\\ \mathrm{TI}\\ \mathrm{AI}\\ \mathrm{GI}\end{cases}=100\times \mathrm{e}^{\frac{\mathrm{SD_M}-\mathrm{SD_N}}{\mathrm{SD_u}-\mathrm{SD_N}}}$
راه آهن سوئد:[۱۱]	$Q=150\text{-}100\left[\frac{\sigma_H}{\sigma_{H_{\lim}}}+۲\times\frac{\sigma_S}{\sigma_{S_{\lim}}}\right]/3$
راه اهن آمریکا:[۱۲]	$\mathrm{R}^2=\sum_{i=1}^{n}\mathrm{d_i}^2\Big/\mathrm{n}$
راه آهن لهستان:[۱۳]	$\mathrm{J}=\frac{\mathrm{S_Z}+\mathrm{S_Y}+\mathrm{S_W}+0.5\mathrm{S_e}}{3.5}$
راه آهن استرالیا[۱۳]	$\mathrm{w}_5=1-(1-\mathrm{w_e})(1-\mathrm{w_g})(1-\mathrm{w_w})(1-\mathrm{w_y})(1-\mathrm{w_z})$

در سال ۲۰۱۰ صادقی و همکاران نشان دادند که اطلاعات هندسی برداشت شده توسط ماشین اندازه گیری خط دارای توزیع نرمال بوده و لذا بر اساس این استنتاج رابطه جدیدی ارائه نموده اند و شاخص ITGI را پیشنهاد نمودند[۱۴].

شاخص ITGI بر اساس روابط حاکم بر توزیع نرمال بنا شده است. صادقی و همکاران براساس مطالعه وتحلیل آماری اطلاعات هندسی شبکه ریلی ایران (مستخرج از EM120) شاخص پیشنهادی برای خطوط ایران را به صورت زیر ارائه نمودند[۱۴ و ۱۵].

$$ITGI=\frac{\frac{a}{2}\times GI^{+}+\frac{a'}{2}\times GI^{-}+b\times AI+c\times PI+d\times CI}{\frac{a+a'}{2}+b+c+d} \qquad (۳)$$

در این رابطه: GI^{+} شاخص عرض خط مثبت، GI^{-} شاخص عرض خط منفی، AI شاخص امتداد، PI شاخص پروفیل و CI شاخص تراز عرضی است که بر اساس فاصله تعیین شده بر پایه توزیع نرمال لحاظ می گردند. a، a'، b، c و d ضرایب وزنی پارامترهای هندسی می‌باشند و بر اساس جدول رواداریهای مجاز[۱۵] بدست می‌آیند. که ضرائب روابط ITGI در مرجع[۱۴ و ۱۵] ارائه شده است.

۳. شرایط راه آهن ایران

در دهه ۹۰ شمسی، طول خطوط ریلی اصلی ایران به بیش از ۱۱۰۰۰ کیلومتر رسید و پیش بینی می شود مطابق برنامه دولت ایران تا سال ۱۴۰۴ طول خطوط ریلی ایران به ۲۵۰۰۰ کیلومتر برسد. علاوه بر اینکه در همین افق دید پیش بینی می گردد که بیش از ۶۰۰۰ کیلومتر خط، تحت بهسازی و حدود ۵۰۰۰ کیلومتر خط آهن در شبکه ریلی ایران مورد بازسازی قرار گیرد که این گسترش شبکه ریلی و حجم عملیات تعمیر و نگهداری، تصمیم گیری های متدولوژیک و سیستماتیک را در حوزه تعمیر و نگهداری، ضروری تر می کند. همچنین مصرف سالانه بیش از ۸۵ هزار تن ریل، استفاده از حدود ۱۱۰۰۰۰۰ تراورس بتنی در سال و وجود ۵۰۰۰ دستگاه سوزن در شبکه، لزوم به داشتن یک الگوریتم برنامه ریزی جهت عملیات تعمیر و نگهداری در سطح شبکه را محرز مینماید [۱]. در سال ۱۳۸۹ در راستای انجام این تحقیق، بازدید از خطوط ریلی ایران انجام گردید. هدف از این بازدید میدانی در این تحقیق بررسی اولیه وضعیت کیفی خطوط ریلی ایران و تدوین و مشخص نمودن خرابی های فراگیر در شبکه ریلی ایران بود. خرابی‌هایی که در شبکه خطوط ریلی ایران به چشم می خورد، موارد متعددی است که از جمله آنها می توان به سایش ریل، فرسودگی تراورس ها، زوال بالاست، شل شدگی اتصالات، شکستگی اتصالات، شل شدن پیچ پابند ها و یا جدا شدن پابند ها از ریل و تراورس ها اشاره کرد. شکل ۱، تصاویری از این نمونه خرابی ها را نشان می دهد. پس از بررسی کلیه خرابی ها در سه ناحیه مختلف ریلی در ایران (ناحیه اصفهان، ناحیه لرستان و ناحیه تهران) خرابی های فراگیر (پرتعداد) در خطوط ریلی ایران مشخص گردیدند که در جدول ۲ ارائه شده است. این خرابی ها در سه گروه ریل، گروه تراورس و گروه بالاست مشخص شده است.

مطالعات انجام شده در این تحقیق نشان میدهد که تجهیزات نگهداری در ایران شامل تجهیزات مکانیزه، نیمه مکانیزه و سنتی است. تجهیزات سنتی اندازه گیری شامل تجهیزات سبک اندازه گیری است که به صورت دستی بر روی خط کشیده می شوند ولی تجهیزات مکانیزه ونیمه مکانیزه دارای امکانات بیشتری نسبت به تجهیزات سنتی می باشند. نیروهای متخصص اجرایی در ۴ گروه ناحیه، حوزه، قطعه و دسته جای می گیرند. کادر

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

مدیریتی راه آهن با مسئولیت نظارت شامل مدیر کل، معاون خط و ابنیه فنی، معاون برنامه ریزی و پشتیبانی و معاون ماشین آلات مکانیزه است. همچنین راه آهن ایران در بخش شرکت های همکار از همکاری ۸ شرکت خصوصی و یک شرکت دولتی در تعمیر و نگهداری خطوط خود استفاده می‌کند[۱۶].

جدول ۲. عیوب سازه ای فراگیر در راه آهن ایران

گروه ریل	عیوب محل درز و صفحات اتصالی ، عیوب پابندها، عیوب صفحه زیر ریل
گروه تراورس	خرابی یک تراورس ، خرابی یک ردیف تراورس، خرابی چند ردیف تراورس خراب کنار هم، تراورس های گم شده و تراورس جا به جا شده
گروه بالاست	بالاست کثیف، رویش گیاهان، بالا آمدن گل از بالاست تا زیر تراورس، کافی نبودن بالاست در خط و شانه ها، خرابی بالاست، زهکشی نامناسب کناره خط و جریان آب نامناسب در سازه های زهکشی

الف- موقعیت نامناسب پد | ب- شل شدن پیچ

پ- رویش گیاهان در خط | ت- تراورس مفقود شده

شکل ۱. نمونه ای از خرابی های خط در شبکه خطوط ریلی ایران

مطالعات انجام شده در این تحقیق در مورد ساختار تعمیر و نگهداری جاری راه آهن ایران نشان می دهد که روشهای تعمیر و نگهداری خطوط دارای یک شاکله سنتی است بطوریکه دارای برنامه ریزی و سیستم مدیریت متمرکز نیست. راه آهن ایران دارای شناسنامه کامل و درستی از وضعیت خطوط نمی باشد. از محدودیتهای دیگر روشهای جاری عبارتند از عدم ثبت اطلاعات مربوط به معایب و خرابی های روسازی (در کل شبکه) در یک بانک اطلاعاتی مرکزی، عدم امکان تخصیص منابع، نیروی انسانی و بودجه بصورت علمی بین نواحی شبکه خطوط، عدم امکان بهینه سازی زمان در اجرای تعمیرات و بهسازی، عدم اطلاع کامل و جامع از تاریخچه ساخت و تعمیرات قبلی خطوط، عدم تحلیل اطلاعات و بنابراین عدم تشخیص شیوه علمی تعمیرات جدید و عدم امکان پیش بینی هزینه‌ها و بودجه‌گزاری ها [۱۷]. بر این اساس، شیوه جاری تعمیر و نگهداری بر مبنای نظر کارشناسان حوزه های مختلف شبکه ریلی است و از آنالیز اطلاعات دقیق و جامع، حاصل نمی شود. به این ترتیب، نه تنها وضعیت و کیفیت روسازی شبکه خطوط کشور از کیفیت استاندارد، برخوردار نیست بلکه روش های جاری تعمیر و نگهداری خطوط نیز اقتصادی و کارآمد نمی باشد. در این راستا، نیاز به پژوهشی جهت ارائه ساختار مدیریتی در بخش تعمیر و نگهداری خطوط ریلی ایران، به خوبی احساس می‌شود. از جمله نیازهای اساسی در بخش تعمیر و نگهداری: ثبت خرابی های شبکه خطوط در یک بانک اطلاعاتی متمرکز، تهیه شناسنامه خط، ارزیابی و نمره دادن به کیفیت خطوط، ارائه میزان بهره‌دهی خط و تدوین جدول زمان بندی تعمیر یا بهسازی خطوط است که می تواند منجر به طراحی و پیاده سازی سامانه مدیریت تعمیر و نگهداری خط گردد. به علت عدم تناسب و عدم امکان بازخوانی سامانه های موجود در دنیا که در زمینه اولویت بندی و برنامه ریزی عملیات تعمیر و نگهداری بطور مکانیزه ارائه راهکار می نماید راه آهن ایران نتوانسته است هیچگونه مدل یا الگوریتم مؤثر را در اولویت بندی و برنامه ریزی علمی جهت عملیات تعمیر و نگهداری خطوط خود بکار گیرد. یکی از مهمترین دلایل عدم امکان استفاده از سامانه‌های اولویت بندی موجود در عرصه بین المللی پیچیده بودن الگوریتم ها یا سامانه های موجود (اندرکنش

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

سیستم های بهره برداری، تعمیرات و توسعه، و بودجه گذاری) و همچنین عدم تناسب ساختار پرسنلی راه آهن ایران با ساختار پرسنلی و تخصصی مشابه در راه آهن کشورهای توسعه یافته است. بدین ترتیب این پژوهش اولین گام اساسی در ساخت یک سامانه مدیریت تعمیر و نگهداری راه آهن را با ارائه یک الگوریتم مؤثر جهت اولویت بندی عملیات تعمیر و نگهداری ارائه می کند.

۴. الگوریتم اولویت بندی نگهداری و تعمیرات

الگوریتم اولویت بندی خطوط برای تعمیر و نگهداری که منجر به ارائه برنامه ریزی های کوتاه و بلندمدت عملیات تعمیر و نگهداری و همچنین بودجه گذاری باشد بر اساس چهار مرحله در این تحقیق ساخته شده است.

در مرحله اول شبکه ریلی کشور طبقه بندی، کدگذاری و سپس قطعه بندی میگردد بطوری که بتوان برای هر قسمت از خط (با طول مشخص) اولویت مرمت متناسب با آن قسمت را تدبیر نمود. در مرحله دوم یک بانک اطلاعاتی که در آن اطلاعات بطور طبقه بندی شده در زمینه های: شناسنامه قطعات، خرابی های سازه ای و هندسی قطعات و همچنین وضعیت ترافیکی عبوری ثبت میگردد، ساخته شده است.

در مرحله سوم که بطور اساسی محور و ستون یک سیستم اولویت بندی می باشد، مدل شاخص بندی کیفیت قطعات خط ساخته می شود؛ در این مدل با لحاظ نمودن خرابی های موجود در هر قطعه از خط، کیفیت خط بصورت عددی ارائه میگردد بطوری که قطعات به لحاظ کیفی با اعداد ریاضی مقایسه و بر اساس آن جدول اولویت بندی اهمیت مرمت و تعمیر در قطعات مشخص میگردد. مرحله چهارم شامل ساخت یک نرم افزار است که بر اساس اطلاعات و مدل های حاصله در سه مرحله قبل، عملیات اجرایی را در حجم بسیار بالا انجام داده و نتایج را سریعا در اختیار مدیران یا استفاده کنندگان قرار می دهد. با عنایت به لزوم تولید نتایج بصورت شماتیک و بر روی نقشه های جغرافیایی، این نرم افزار میتواند بر روی سیستم اطلاعات جغرافیایی شبکه ریلی سوار باشد. به این ترتیب مدل یا الگوریتم ارائه شده بایستی دارای قابلیت تهیه گزارشات در زمینه شناسنامه خط و تولید لیست خرابیهای طبقه بندی شده خط بوده و مهمتر از همه توانایی ارائه اولویت بندی و حجم عملیات تعمیر و نگهداری را داشته باشد. این اهداف در الگوریتم توسعه یافت، با قابلیت فراخوانی یک واحد از خط از روی نقشه GIS، وارد کردن اطلاعات کیفی خط به کامپیوتر، بایگانی و ذخیره کلیه اطلاعات به عنوان یک بانک اطلاعاتی از خط، رسم هیستوگرام خرابی های فراگیر و مقایسه آنها، محاسبه میزان بهره دهی هر واحد از خط، و ارائه چارت پیشنهادی جهت بهسازی مطابق الویت بندی ها، قابل اجرا است.

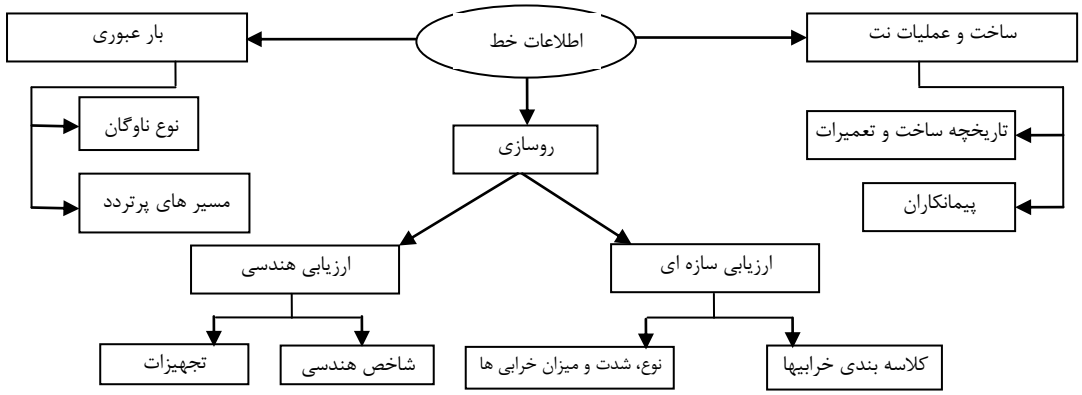
۴-۱. قطعه بندی و کدگذاری شبکه

با توجه به ساختار راه آهن ایران اطلاعات شبکه ریلی به سه بخش زیر مجموعه ای تقسیم می گردد. ابتدا شبکه راه آهن کشوری به ۱۳ ناحیه راه آهن و هر ناحیه به تعداد محورهای مشخص تقسیم می گردد. سپس هر محور به تعداد قطعاتی به شرح ذیل تقسیم می گردد. برای خطوط مستقیم هر قطعه عبارت است از یک کیلومتر از خط مستقیم و برای پل ها و تونل ها هر پل یا تونل خود یک قطعه به حساب می آید. به منظور برنامه ریزی بازرسی ها و عملیات نگهداری و تعمیر متعاقب آن، اولین گام تقسیم بندی خطوط شبکه به قطعات میباشد. تقسیم بندی خطوط میباید بعد از تشکیل بانک اطلاعاتی مبتنی بر GIS از اجزا روسازه، ابنیه فنی، سوزنها، قوسها، تونلها و پلها و ... با مختصات نسبی و یا مطلق آنها صورت گیرد. برای خطوط اصلی و فرعی خارج از ایستگاه ها و در محدوده بلاکها (قبل و بعد از شروع و پایان سوزنهای ورودی و خروجی ایستگاه ها یا سوزنهای بسته واقع در بلاکها) به شرط تغییر نکردن روسازی و عدم حضور تونل طویلتر از ۵۰ متر، اگر طول خط مستقیم یا قوس حداکثر ۱۲۰۰ متر بود، خط یا قوس یک قطعه را تشکیل میدهد. اگر طول خط مستقیم یا قوس بین ۱۲۰۰متر تا ۲۴۰۰ متر بود، خط یا قوس به دو قطعه با طول مساوی تقسیم میگردد. اگر طول خط مستقیم یا قوس بیش از ۲۴۰۰ متر بود، ابتدا قطعات ۸۰۰ متری از آن اختیار شده تا طولی بین ۱۲۰۰ تا ۲۴۰۰ متر از آن باقی بماند، سپس طولی که ۱۲۰۰ تا ۲۴۰۰ متر میباشد به دو قطعه مساوی تقسیم می شود. دو قطعه ای که طولی غیر از ۸۰۰ متر دارند، در شروع و انتها قرار می گیرند. پلهاو تونل خود یک قطعه محسوب میگردند.این سیستم تقسیم بندی در مدل با ساختار شبکه بندی خطوط ریلی ایران تناسخ دارد[۱۶]. بدین ترتیب مدل دارای یک بستر اطلاعات جغرافیایی یا GIS می باشد که در آن شبکه راه آهن به یک شبکه کلی خطوط کشوری (سطح شبکه) و این شبکه به ۱۳ ناحیه مختلف (سطح پروژه) و هر محور از هر ناحیه به قطعات مشخصی (طول تقریبی یک کیلومتر) تقسیم گردند.

۴-۲. مدل بانک اطلاعاتی

مدل بانک اطلاعاتی بایستی بتواند اطلاعات کمی و کیفی و همچنین تاریخچه ای یک خط را در برگیرد بطوریکه اطلاعات بطور روزانه قابل به روز شدن باشد. اطلاعات بانک اطلاعاتی که شامل پنج دسته اطلاعات خط و سازه، ناوگان، ترافیک، تجهیزات و نیروی انسانی می باشد در بانک اطلاعاتی ذخیره می گردد. شکل۲ ساختار مدل بانک اطلاعاتی در الگوریتم پیشنهادی این پژوهش را در دسته های خط، سازه و ناوگان نشان میدهد.[۱].

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]



شکل۲. ساختار بانک اطلاعاتی خط در سامانه

۴-۳. تدوین شاخص کیفیت خط

همانطوری که در بخش ۲ بحث گردید، در ادبیات موضوع دو گروه شاخص کیفیت روسازی ارائه گردیده است. این دو شاخص عبارتند از شاخص سازه ای(یاچشمی) وشاخص هندسی. شاخص سازه ای از برداشت اطلاعات خرابی های سازهای یک قطعه ازخط بصورت چشمی و ثبت و پالایش و تحلیل آنها، و نهایتاً استخراج یک عدد برای کیفیت خط بر اساس نوع، میزان و شدت خرابی های ثبت شده برای آن قطعه بدست می آید[۴]. بدیهتاً ساخت این نوع شاخص هزینه بر بوده و نیاز به پرسنل زیادی جهت برداشت اطلاعات می باشد.

علاوه بر آن نتایج آن تا حد زیادی به توانایی افراد در شناسایی خطاها و نقاط بحرانی بستگی دارد [۱۸ و ۱۹]. شاخص هندسی از ثبت چهار نوع خصوصیت هندسی خط در طول یک قطعه و استخراج یک عدد برای کیفیت خط بر اساس تحلیل اطلاعات ثبت شده از چهار پارامترهندسی به دست می اید. ساخت شاخص نوع هندسی از آنجایی که اطلاعات هندسی خط (عرض خط، دیلم، پایین افتادگی ریل و پیچش خط) بصورت مکانیزه (به کمک ماشین اندازه گیری خط) برداشت می گردد سریعتر و کم هزینه‌تر می باشد. محدودیت این روش علیرغم آنکه وضعیت کیفی خط را به لحظ راحتی سفر خط نشان می دهد، ندادن اطلاعات کافی در مورد علل نقصان های هندسی در خط می باشد[۱]. بعلت زمانگیر و پر هزینه بودن ساخت شاخص سازه ای، در کلیه کشورهایی که از سیستم شاخص بندی کیفیت خط جهت رده بندی کیفی خط استفاده می شود، اساساً از شاخص هندسی در اولویت بندی عملیات استفاده میکنند. بدین ترتیب، نقطه ضعف الگوریتم های اولویت بندی کیفیت خط در این کشورها عدم داشتن اطلاعات لازم از شرایط سازه ای خط و بطبع عدم آگاهی از علل وجود عیوب هندسی و نتیجتا عدم امکان ارائه نوع و حجم عملیات مرمتی لازم جهت ارتقاء کیفی خط است. برای ایران، با توجه به اینکه نسبت هزینه های پرسنلی به هزینه های تجهیزاتی به مراتب کمتر از کشورهای توسعه یافته می باشد ترکیبی از دو شاخص قبل پیشنهاد می گردد. همانگونه که در بخش دو بحث گردید در مدل ارائه شده در این تحقیق شاخص هندسی خط با توجه به آخرین تحقیقات انجام شده در کشور شاخص ITGI در نظرگرفته شده است؛ همچنین شاخص سازه ای بر اساس رابطه ۲ استفاده شده است. بدین ترتیب در این تحقیق تلاش گردیده است در الگوریتم اولویت بندی ارائه شده از ترکیب هر دو شاخص سازه ای و هندسی استفاده گردد. به این منظور مطالعات و برداشت میدانی با حمایت پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری از وضعیت کیفی (هندسی و سازه ای خط) ناحیه لرستان انجام گردید. اطلاعات هندسی برابر چهار پارامتر (عرضی خط، افتادگی ریل، پیچش خط و دیلم) بکمک ماشین اندازه گیری خط EM120 برداشت گردید. اطلاعات سازه ای خط برای سه گروه ریل و اتصالات، تراورس و بالاست توسط سه گروه ارزیاب برداشت و ثبت گردید.

روابط ۲ و ۳ که قبلاً در ایران کالیبره شده اند [۸ و ۱۴] مورد استفاده قرار گرفتند و با ورود اطلاعات حاصله از برداشت های سازه ای و هندسی خط شاخص های سازه ای و هندسی برای ۴۳۱ قطعه (هر قطعه در حدود یک کیلومتر) ساخته شد. بر اساس مقایسه شاخص های سازه ای (چشمی) و هندسی حاصله در ۴۳۱ قطعه نشان داده شده، دامنه تغییرات مشخص گردید. پس از تحلیل اطلاعات حاصله رابطه بین تغییرات شاخص هندسی در مقابل شاخص سازه ای حاصل آمد. نتایج حاصله در جداول ۳ آورده شده است .

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

جدول ۳. رابطه بین شاخص چشمی و هندسی

$$0 < ITGI \leq 2.19 \Leftrightarrow 70 < TSI < 100$$
$$2.19 < ITGI \leq 4.91 \Leftrightarrow 50 < TSI < 70$$
$$4.91 < ITGI \leq 9.27 \Leftrightarrow 30 < TSI < 50$$
$$9.27 \leq ITGI \leq 14.63 \Leftrightarrow 0 < TSI < 30$$

براساس نتایج تحقیقات یوزارسکی، با توجه به مقدار TSI چهار نوع عملیات تعمیری برای یک قطعه پیشنهاد می شود که عبارتند از: بازسازی، بهسازی اساسی، بهسازی جزئی، عدم نیاز به عملیات (جدول ۴).

برای تدبیر عملیات مرمت در وضعیت بهسازی اساسی و بهسازی جزئی دامنه های (۵۰-۳۰) و (۷۰-۵۰) نیازمند اطلاعات توصیفی از وضعیت خرابی های اجزاء خط می باشیم. از طرفی برای دو نوع اول و آخر (بازسازی و بدون نیاز به عملیات مرمت) نیاز به داشتن اطلاعات توصیفی از سازه خط نمی باشد.

بنابراین اگر اطلاعات شاخص هندسی خط موجود باشد تنها وقتی می توان در مورد عملیات مرمت خط قضاوت نمود که اطلاعات توصیفی از وضعیت سازه خط حداقل برای دو دامنه مشخص فوق در دسترس باشد. الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق با بکارگیری هر دو شاخص، امکان تولید حجم و نوع عملیات مرمت را مازاد بر لیست اولویت بندی ایجاد می کند.در الگوریتم پیشنهادی ابتدا شاخص هندسی خط تشکیل می گردد و صرفاً بر اساس جدول ۳ مقادیر متناظر شاخص چشمی مشخص می گردد. سپس با استفاده از جدول ۴ در محدوده های مترادف با بهسازی اساسی و بهسازی جزئی برداشت چشمی انجام و شاخص سازه ای محاسبه می شود.

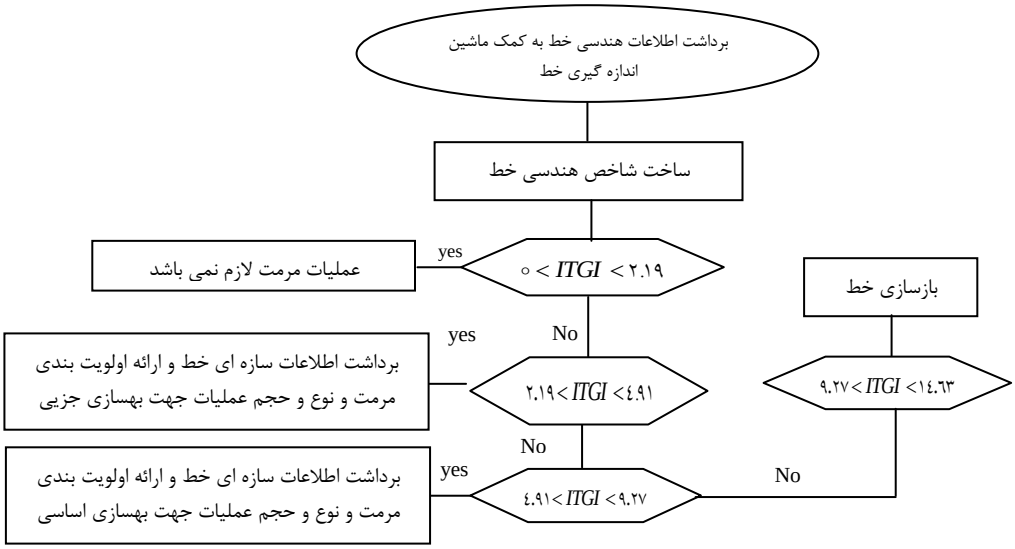
جدول۴. عملیات مرمت لازم بر اساس شاخص چشمی

دانسیته TSI	کیفیت	عملیات لازم
۰-۳۰	بسیار ضعیف	بازسازی
۳۰-۵۰	ضعیف	بهسازی اساسی
۵۰-۷۰	متوسط	بهسازی جزئی
۷۰-۱۰۰	مطلوب	قابل بهره برداری مرمت

این بدین معنی است که لازم به انجام برداشت چشمی (سازه ای) صرفاً در بعضی شرایط (محدوده خاصی از شاخص هندسی) می باشیم. این باعث کاهش حجم عملیات و کاهش هزینه ها و افزایش سرعت کار می گردد. بدین ترتیب یکی از امتیازات ویژه الگوریتم اولویتبندی طراحی شده در این تحقیق نسبت به سامانه های مشابه در دنیا، آن است که شاخص کیفیت خط در این سامانه با توجه به دو شاخص چشمی (شاخص اجزاء خط) و شاخص مکانیزه (شاخص هندسی خط) به دست می آید. بنابر این محدودیت موجود در الگوریتم های موجود رفع شده بطوریکه الویتبندی عملیات مرمت قطعات خط بهمرا نوع و حجم عملیات قابل ارائه است.

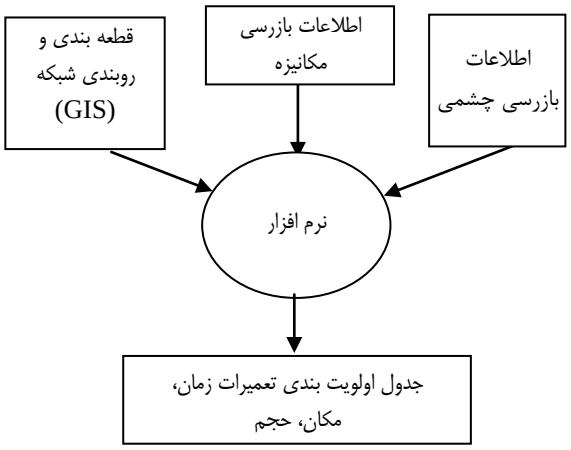
۴-۴. مدل تحلیل اطلاعات

پس از تکمیل بانک اطلاعات و تعیین شاخص های دوگانه هندسی و سازه ای خط برای هر یک کیلومتر از خط (هر سگمنت) مطابق با نمودار شکل ۳ تحلیل اطلاعات صورت میگیرد. از آنجا که تحلیل اطلاعات از لحاظ دستی میسر نیست لذا نرم افزاری در این رابطه تدوین گردید که این نرم افزار شامل بانک اطلاعاتی و تعیین شاخص خط و تحلیل اطلاعات مطابق فلوچارت زیر می باشد. ساختار این نرم افزار در شکل ۴ آمده است.



شکل۳. الگوریتم تحلیل اطلاعات

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]



شکل۴. ساختار نرم افزار سامانه جهت تحلیل اطلاعات

۵. کاربرد الگوریتم پیشنهادی در یک محور منتخب

مهمترین و اساسی ترین گام در بهره برداری از یک الگوریتم اولویت بندی عملیات تعمیر و نگهداری، پیاده کردن صحیح و کسب اطمینان نسبت به مناسب بودن مدل های آن است. به این منظور الگوریتم طراحی شده برای ایران، در محور ری- ورامین (از خط تهران- گرمسار) مورد آزمون قرار گرفته است که روند اجرا و پیاده سازی آن انجام و تکمیل گردید. محور ری- ورامین بخشی از خطوط اصلی ناحیه راه آهن تهران می باشد. این محور دو خطه می باشد. این محور شامل سه ایستگاه ری، بهرام و ورامین می باشد. در جدول ۵ آمار مربوط به تاریخچه ساخت خط تهران- گرمسار ارائه شده است. این آمارها مربوط به خطوط تا پایان سال گذشته می باشد.

جدول ۵. طول خط اصلی (بصورت محوری)

میسر خط	طول خط (کیلومتر)	عرض خط (کیلومتر)	تاریخ شروع ساختمان	تاریخ خاتمه ساختمان	تاریخ آغاز بهره برداری
خط تهران- گرمسار	۱۱۴	۱۴۳۵	۱۳۶۹	۱۳۷۵	۱۳۷۵

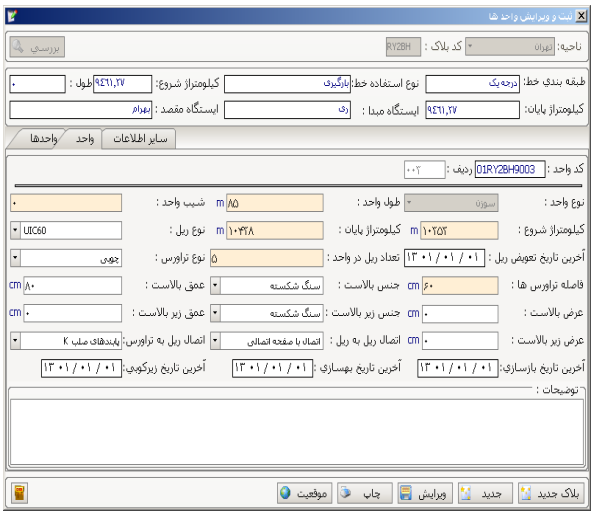
جدول۶. خصوصیات کلی روسازی در محور ری-ورامین

خط	فاصله از تهران	ایستگاه ها		حداکثر سرعت	ریل	تراورس	پابند	جوش	آلودگی بالاست	تعداد تونل	حداکثر فراز		کوچکترین قوس	
											زوج	فرد	شعاع	تعداد
زوج	۳	ری	بهرام	۱۲۰	۱و۲	۱	۲	۱و۲	۲	۰	۱۵	۱۵	۶۰۰	۱
فرد	۳	ری	بهرام	۹۰	۱و۲	۳	۳		۳	۰	۱۵	۱۵	۶۰۰	۱
زوج	۲۶	بهرام	ورامین	۱۲۰	۱و۲	۱	۱	۱و۲	۲	۰	۱۵	۱۵	۱۰۰۰	۱
فرد	۲۶	بهرام	ورامین	۹۰	۱و۲	۳	۳	۱و۲	۳	۰	۱۵	۱۵	۱۰۰۰	۱

جدول ۶ نیز خصوصیات روسازی در محور ری – ورامین را نشان می دهد. در اولین گام، خصوصیات خط و تاریخچه ساخت و تعمیرات و ترافیک خط از مراجع ذی صلاح استعلام و جهت تکمیل بانک اصلاعاتی در نرم افزار ثبت گردید. نمونه ورود اطلاعات در سامانه در شکل ۵ آمده است.

در گام دوم برداشت خرابیهای هندسی خط به کمک ماشین اندازه گیری خط انجام گردید. با ورود اطلاعات به نرم افزار شاخص هندسی از ۶۰۰ کیلومتر خط به محور فوق شامل ۶۲۳ قطعه انجام گردید.

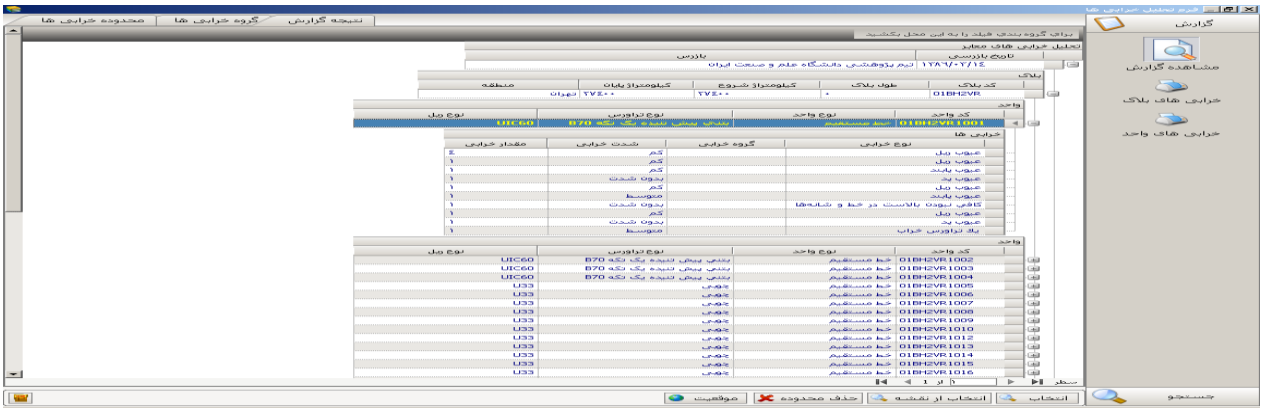
بر اساس جداول ۳و۴ در میان ۶۰۰ کیلومتر خط ۲۴۰ کیلومتر از آن بر اساس شاخص هندسی خط و متناسب آن با شاخص چشمی تعمیرات اساسی یا جزئی تشخیص داده شد.



شکل۵. نمونه اطلاعات شناسنامه ای ثبت شده در سامانه

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

بازدید فنی در طول ۲۴۰ کیلومتر از مسیر صورت گرفت. این بازدید از اجزا خط نظیر ریل ها، اتصالات (ریل به ریل، ریل به تراورس)، صفحات زیر ریل، تراورس ها (چوبی، بتنی، فلزی)، بالاست و سوزن ها شامل (ریل های اصلی، تیغه های ریل زبانه، ریل زبانه، تثبیت کننده های پاشنه، نیشدلی، ریل های هادی، ریل های بالی شکل، ریل های میانی، میله های تغییر وضعیت سوزن و ماشین سوزن) و دیگر اجزاء، بر اساس شناسنامه هایی که از قبل مدون شده بود، انجام شد. نمونه اطلاعات خرابی ها ثبت شده در سامانه در شکل ۶ آمده است. با توجه به الگوریتم های مربوط که اشاره شد، آنالیز توسط نرم افزار صورت گرفت و نتایج آن ارائه گردید. شکل ۷ نمونه خروجی سامانه جهت اولویت بندی عملیات نگهداری را در بخشی از محور ری- ورامین نشان می دهد. این نتایج میتواند مبنای تصمیم سازی مدیران در اولویت بندی عملیات تعمیر و نگهداری خط قرار گیرد.



شکل۶. نمونه اطلاعات خرابی های ثبت شده در سامانه

کد پلاک: 018H2VR کیلومتر از شروع: ۲۷۴۰۰۰۰ ناحیه : تهران

کیلومتر از پایان: ۲۷۴۰۰۰۰

ایستگاه مبدأ: بهرام

ایستگاه مقصد: ورامین

کد واحد	کیلومتر از شروع	طول	شاخص هندسی	شاخص چشمی	عملیات لازم
O1BH2VRCOO1	۳۳۵/۰۰	۱۰۰۰	۱۱	۲۳	بازسازی
01BH2VR7004	۱۸۴/۰۰	۱۰۰۰	۴	۶۴	بهسازی جزیی: اصلاح بالاست: زیرکوبی ، ریل سابی در طول ۱۰ متر ، محکم کردن پیچ اتصالات در ۳۸ قسمت
01BH2VR8001	۱۸۵/۳۰	۱۰۳۰	۱.۵	۸۵	عدم نیاز به عملیات
01BH2VR8002	۱۸۶/۳۰	۱۰۳۰	۳.۲	۵۴	بهسازی جزئی: اصلاح بالاست: زیرکوبی (عمق دار) ، تعویض ۳ تراورس شکسته اصلاح ساختار زهکش در یک قطعه از قطعه، محکم کردن پیچ اتصالات در طول قطعه ، ریل سابی در طول ۲۰ منر
01BH2VR8003	۱۸۷/۳۰	۱۰۰۰	۶	۳۶	بهسازی کلی: شامل اصلاح بالاست: زیرکوبی (عمق دار) در کل قطعه، اصلاح ۱۲ تراورس شکسته جایگزین ۳۶ اتصال یابند ریل سابی از ۳۶متر طول قطعه (متوسط)، اصلاح ساختار زهشک در دو قطعه از قطعه، محکم کردن پیچ اتصالات در ۷۲ قسمت، اصلاح بازسازی لایه بالاست تکمیل دانه بندی

شکل۷. نمونه خروجی سامانه جهت اولویت بندی عملیات نگهداری

۶. نتیجه گیری

راه آهن از مهمترین سرمایه های ملی کشورها محسوب می‌شوند که سالیانه بخش عمده‌ای از بودجهٔ عمرانی سازمانهای ذیربط صرف ترمیم، بهسازی، حفظ و نگهداری آنها می‌شود. تأمین اعتبار کافی برای این منظور چالشی است که مدیران عالی (تصمیم‌گیران) همواره با آن مواجه و دست به گریبان بوده‌اند.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

توسعه قابل ملاحظه شبکه ریلی کشور در برنامه های کوتاه و بلندمدت دولت از یک سو و از سوی دیگر عدم وجود برنامه های مشخص و علمی جهت عملیات تعمیر و نگهداری شبکه ریلی موجود باعث شده است تا لزوم ارائه یک الگوریتم مناسب که بر اساس آن بتوان یک برنامه اولویت بندی عملیاتی را در سطح شبکه ریلی کشور ایجاد نمود، احساس شود.

تحقیقات انجام شده در این پژوهش نشان می دهد که راه آهن ایران برای نگهداری و تعمیرات و عملیات مرمتی بهسازی بیش از ده هزار کیلومتر شبکه ریلی کشورهیچ گونه سیستم مکانیزه یا برنامه ریزی مدون علمی را ندارد و تصمیم گیریها در این بخش بیشتر قائم به تجربیات مدیران بوده که این امر منجر به عدم تشخیص ضرورت مرمت در بخش های مختلف شبکه و همچنین عدم تشخیص صحیح نوع مرمتهای لازم در هر قطعه از شبکه می‌شود.

بررسی های انجام شده در این تحقیق در زمینه امکانات و شرایط تعمیر و نگهداری راه آهن ایران نشان می دهد که اولین فوریتهای اصلاح ساختار تعمیر و نگهداری شبکه ریلی ایران ارائه یک الگوریتم اولویت بندی جهت نگهداری و تعمیرات می باشد به طوری که می توان دو فوریت اصلی در این بخش را ساماندهی کرد. اولاً ضرورت و اولویت مرمت در هر بخش (قطعه) از شبکه ریلی را ممیزی نمود و دوماً نوع عملیات مرمت یا بهسازی لازم برای هر قطعه را فهرست نمود.

در این راستا پژوهش فوق دردو مرحله انجام گردید. در مرحله اول با انجام مطالعات کتابها و بررسی الگوریتم های مشابه در دنیا امکان پذیری استفاده از الگوهای مشابه در ایران بررسی گردید. نتیجه حاصله مبین آن است که به علت ساختار پرسنلی و تجهیزات موجود در ایران در بخش تعمیر و نگهداری و همچنین ساختار اداری موجود در ایران الگوریتمهای اولویت بندی که در کشورهای توسعه یافته در حال استفاده است در ایران نمی تواند به طور مؤثر و کارآمدی به کار آیند. اگرچه بعضی از مدلهای شاخص کیفیت خط که در الگوریتم‌های فوق مورد استفاده بوده است می تواند مورد بازخوانی و استفاده در طراحی الگوریتم جدید برای ایران قرار گیرد. بدین ترتیب در این تحقیق با مرور بر انواع شاخص‌های کیفی خط دو شاخص سازه ای و هندسی خط که اخیراً توسط محققین داخل کشور توسعه یافته اند به عنوان محورهای اصلی در ساخت یک الگوریتم اولویت‌بندی مناسب برای ایران قرار گرفت.

الگوریتم توسعه یافته برای اولویت بندی عملیات تعمیر و نگهداری در این پژوهش در سه بخش بانک اطلاعاتی شاخص کیفی خط ، تحلیل و ارائه جدول اولویت بندی به همراه لیست عملیات لازم توسعه داده شد. در بخش بانک اطلاعاتی الگوریتم پیشنهادی اطلاعات مربوط به شناسنامه خط، اطلاعات مربوط به خرابیهای سازه ای و هندسی خط و همچنین اطلاعات شبکه و قطعه بندی شبکه بیان می گردد. در بخش مدلهای شاخص کیفی خط در الگوریتم پیشنهادی بر اساس اطلاعات خرابیهای سازه ای و هندسی خط دو شاخص عددی که مبین نمره یا امتیاز کیفی خط است، ارائه می گردد.

امتیاز مشخص الگوریتم پیشنهادی در این پژوهش نسبت به الگوریتمهای قبلی آن است که در این الگوریتم صرفاً به شاخص هندسی خط آن طور که در الگوریتم های موجود پرداخته می شود توجه نشده و مضاف بر در نظر گرفتن شاخص هندسی خط که به روش مکانیزه حاصل می گردد شاخص سازه ای که به روش پرداخت چشمی حاصل می گردد نیز لحاظ شده است. این روند منجر به ارزیابی و اولویت بندی دقیق تر و مهمتر از همه امکان پذیری تشخیص نوع و حجم عملیات مرمت و بهسازی می باشد.

مضافاً اینکه در الگوریتم پیشنهادی از طبقه بندی متناسب با ساختار شبکه ریلی کشور استفاده شده و شیوه ارزیابی و بازدیدهای میدانی با توجه به امکانات موجود در کشور، هزینه ها و روشهای مختلف پیشنهاد شده است. پس از ساخت الگوریتم پیشنهادی برای نشان دادن کاربردی و مؤثر بودن آن در کشور این الگوریتم در یک محور منتخب (۶۰۰ کیلومتر از حد تهران و گرمسار) پیاده سازی گردید. نتایج حاصله از بکارگیری این سامانه در محور منتخب مبین مؤثر افتادن آن در تولید جدول اولویت بندی در میان ۶۲۳ قطعه حدود یک کیلومتری و امکان پذیری تولید برنامه عملیاتی است که در آن زمان بندی انجام عملیات در هر قطعه به همراه نوع و حجم عملیات مرمت لازم مشخص شده است. قطعاً ساخت چنین سامانه ای با توسعه این پژوهش می تواند صرفه جویی مالی و اقتصادی و قابل ملاحظه ای را بر اساس تجارت جهانی برای راه آهن ایران به دنبال می آورد.

تقدیر و تشکر

ازحمایت های مالی و معنوی پژو هشکده حمل و نقل وزات راه و ترابری در انجام این تحقیق سپاس فراوان دارد. بی گمان بدون حمایت های آنان این مهم میسر نمی گردید. از اداره کل خط و سازه های ریلی و همچنین راه آهن ناحیه تهران که انجام تست‌های میدانی را میسر ساختند تشکر ویژه می گردد.

مراجع

[۱] میرمحمدصادقی، جواد، ساخت و راه اندازی سامانه مدیریت تعمیر و نگهداری خطوط ریلی ایران (ITMMS)، گزارش تحقیقاتی، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۴.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]

[۲] میرمحمدصادقی، جواد،"مطالعات و برنامه ریزی جهت بحث تعمیر و نگهداری خطوط و چالشهای فنی و علمی در دایره ساخت و تولید" گزارش تحقیقاتی، مرکز تحقیقات راه آهن ایران، ۱۳۸۰.

[۳] گروه خط و ابنیه ، مرکز تحقیقات راه آهن " بررسی اولیه سیستم تعمیر و نگهداری خطوط راه آهن" ، ۱۳۸۲.

[4] Shafahi, Y., Hakhamaneshi, .R., *"Application of Maintenance Management Based on the Markov Chain and Probabilistic Prigramming*", Scientia Iranica , Transaction Civil Engineering , Vol. 16, No. 1, 2009, pp 87-97.

[5] Arastekhouy, I., Juntti, U., Nissen, A., Schunnesson, H., *"Optimization of Track Geometry Inspection Interval* ".Journal of Rail And Rapid Transit", 2011.

[6] Uzarski, D.R., Brown, D.G., Harris, R.W., Plotkin, DE., *"Maintenance Management of U.S. Army Railroad Networks – The RAILER System: Detailed Track Inspection Manual*".1993.

[7] ECOTRACK, ERRID 187/ECOTRACK user manual (version 1.1.30), October 1998.

[8] Italian Railways, *"RAMSYS: Railway Asset Management System*", 2004 .

[9] Agarwal, M.M., Indian Railway Track, Manglik Prakashan, Saharapur, 1974.

[10] Sadeghi, J., Askarinejad, H., "*Development of Track Condition Assessment Model Based on Visual Inspection",* International Journal of Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, 1744-8980, DOI: 10.1080/15732470903194676, 2009.

[11] Abedini, A., Asghari, K., "*Survey of European Track Geometry Indices".* In Proceeding of the 6 th National railway Track Conference, Sharif University of Technology, Iran, ,Vol. 1, pp. 67-72, 2004.

[12] Mundry, J.S., Railway Track Engineering, pp. 134-205 (Tata- Mc Graw- Hill Publishing Co.),2003.

[13] Anderson, W., Strategic Planning of Track Maintenance,.(äDepartment of Infrastructure, Borlänge),2002.

[14] Ebersöhn, W., Condra, J.R., Implementing a Railway Infrastructure Maintenance System, (Amtrack,USA), 2003.

[15] Madejski, J., Grabozyk, J., *Continiuos Geometry Measurement for Diagnostics of Tracks and Switches.* Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, pp. 8-30, 2000.

[16] Sadeghi, J., "*Development of Railway Track Geometry Indexes Based on Statistical Distribution of Geometry Data*", Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol.136, No.8, pp. 693-700, 2010.

[17] Sadeghi, J., Fathali M., Boloukian N *, "Development of New Track Geometry Assessment Technique Incorporating Rail cant Factor*", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers (UK), Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, JRRT 237, Vol. 223, 2008.

[18] Sadeghi, J., Askarinejad, H., *Investigation on Effects of Track Structural Conditions on Railway Track Geometry Deviations, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Part F Journal of Rail and Rapid Transit, JRRT 266, Vol. 233, 2009.

[19] DeRuvo,.P., Deruvo, G., Distante, A,. Nitti, M,. Stella, E., Marrino, F., *"A Visual Inspection System for Rail Detection & Tracking in Real Time Railway Maintenance"* . the open cybernetics and Systematic Journal,2, pp. 57-67,2008.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-11-15]