



## Development of Iranian Railway Track Maintenance Management System

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

*Seyed Javad Mirmohammadsadeghi, Associate 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](mailto:Javad_Sadeghi@iust.ac.ir)



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

سید جواد میرمحمدصادقی\*، حجت عاشری و الهه امیری دولی

## چکیده:

ارائه یک الگوریتم اولویت بندی تعمیر و نگهداری خطوط راه آهن ایران جهت بهینه و بهینگام 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 مدل های 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. نتیجتاً متدهای توسعه مدل های لازم جهت ارائه الگوریتم اولویت بندی تعمیر و نگهداری خطوط ارائه گردیده است. کاربرد الگوریتم و مدل های توسعه یافته از طریق پیاده سازی آنها در یک محور منتخب راه آهن ایران بررسی گردیده است. نتایج حاصله حاکی از کاربردی 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.

## کلمات کلیدی

اولویت بندی، برنامه ریزی،  
نگهداری و تعمیرات، راه آهن

## 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 منظر 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 می رود [۲].

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

تاریخ وصول: ۹۰/۰۲/۳۱  
تاریخ تصویب: ۹۰/۱۲/۲۲

\*نویسنده مسئول مقاله: دکتر سید جواد میرمحمدصادقی، دانشیار،  
دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت Javad\_Sadeghi@iust.ac.ir  
حجت عاشری: دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع، دانشگاه  
علم و صنعت Hojat.ashoori@NTM.co.ir  
الهه امیری دولی: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده راه آهن، دانشگاه علم  
و صنعت Eamiri88@yahoo.com

این تحقیق به بررسی و ارائه الگوریتم مناسب برای راه آهن ایران جهت اولویت بندی عملیات نگهداری و تعمیرات می پردازد. الگوریتم الوبت بندی مورد نظر در این تحقیق بر مبنای تشخیص وضعیت کیفی راه آهن می باشد. بطوريکه 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 قطعات در طول یک شبکه، ضرورت تعمیرات برای هر قطعه مشخص شده، و از این مسیر جدول اولویت بندی 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 مقایسه ای 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 مقایسه ای) 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 و شرایط 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 در هر کشور مناسب 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 می گردد صرفاً جهت همسازی با ساختار موجود در ادارات راه آهن هر کشور ساخته شده است. به عنوان نمونه تشکیل بانک اطلاعاتی (شناسنامه کمیت و کیفیت خطوط) به روش برداشت و ثبت اطلاعات بر می

مختلف ریلی ایران است بطوری که بعضی عملیات تعمیر و نگهداری در بخش ها یا قطعات (یا بلوك هایی) انجام می گردد که در اولویت بلحاظ وضعیت کیفی نمی باشند در حالی که در همان زمان بخش هایی که نیاز مبرم به تعمیرات دارند غافل و از دیده پنهان می باشد [۱]. در حقیقت، در روش های 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 باشند با بهینه سازی عملیات و رویه های تعمیرات و نگهداری هزینه ها را کاهش داده ولی در عین حال استانداردهای ایمنی را برآورده سازند [۲].

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 تنها یکی کافی نیست. پیشرفت هایی که اخیراً در زمینه ریز کامپیوترا 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. با توجه 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 می باشد. تجارب پیاده سازی سیستم اولویت بندی نگهداری و تعمیرات خطوط در بسیاری از کشورهای توسعه یافته حاکی از این 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 می باشد بطوريکه بر اساس آن بتوان برنامه های کوتاه و بلند مدت عملیات تعمیر و نگهداری را تدوین نمود.

حجم مورد انتظار عملیات تعمیر و نگهداری مقطوعی نیز می‌باشد. سامانه TRACS، دارای جامعیت در ثبت خرابی‌های خط نیست و تحلیل اطلاعات برای اولویت بندی تعمیرات و شیوه‌های پیشنهادی زمانی-فنی تعمیرات بطور کامل در TRACS انجام نمی‌گیرد [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 جنبه‌های 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 یافته 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 پیش‌بینی رفتار خط و مقایسه با کیفیت لازم و کنترل هزینه‌ها، ترکیب بهینه را در نگهداری و بهسازی ارائه کند [۵] و [۶]. سامانه های RAMSYS و ECOTRACK دارای طبقه بندی و کد بندی های مطلوبی برای خرابی‌ها نیستند و استفاده از آنها برای راه آهن‌های 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 سامانه‌ها، کاربر می‌تواند با تغییر در سرعت و تناز سالانه و بارهای محوری، اثر آنها بر هزینه‌های تعمیر و نوسازی و کیفیت خط در آینده را مشاهده کند [۱]. سامانه Direct Track Maintenance (DTM) هند است و برای مسیرهای چند خطه مناسب می‌باشد. در این سیستم، توسعه مدل‌های زوال اجزاء خط، برای طراحی کارهای نوسازی و نگهداری و تعمیر آینده انجام شده است. همچنین مدل‌های 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 منطقه‌ای، ناحیه‌ای و سطح واحد، صورت می‌گیرد [۷]. سامانه DTM، نسبت به سامانه‌های کشورهای توسعه یافته دارای این مزیت است که به صورت ریزتر به خرابی‌های اجزاء خط پرداخته است. اما در این سیستم تحلیل اطلاعات به صورت دستی انجام می‌شود و سیستم پویایی لازم به لحاظ ثبت اطلاعات و تحلیل به روز آن را ندارد [۱]. علی‌رغم موقوفیت این الگوریتم‌ها در مدیریت بهینه تعمیر و نگهداری، الگوریتم‌های فوق نمی‌توانند در کشورهایی مثل ایران مورد استفاده قرار گیرند زیرا ساختاری که این سامانه‌ها بر اساس آنها تدوین شده اند با ساختار اداری ایران مناسب نیست. شیوه

گردد و این وابسته به امکانات و تجهیزات ادارات مختلف راه آهن می‌باشد بطوریکه نمی‌تواند در راه آهن‌های مختلف کاربرد داشته باشد. همچنین شیوه اولویت بندی عملیات مرمت به شیوه قطعه‌گذاری و کدبندی شبکه ریلی وابسته است که از یک کشور به کشور دیگر تغییر می‌کند.

لذا راه آهن هر کشور ملزم به ارائه الگوریتمی مناسب با ساختار پرسنلی، اداری و همچنین سازه‌ای راه آهن‌های خود می‌باشند. آنچه در مور بر الگوریتم‌های توسعه یافته در عرصه بین‌المللی و یا در سامانه‌های مدیریتی بخش تعمیر و نگهداری در راه آهن دنیا قابل استناد و استفاده است مدل‌های شاخص کیفی روسازی است.

مطالعه الگوریتم‌های اولویت بندی تعمیر و نگهداری خطوط ریلی در عرصه بین‌المللی نمایانگر رویکردهای مختلف الگوریتم‌های موجود می‌باشد ولیکن به طور کلی این الگوریتم‌ها طی فرآیندهایی که با استفاده از توسعه تکنولوژی ارتباطات صورت می‌گیرد، بهینه سازی اقتصادی را به طور موثرتری انجام داده و محاسبه هزینه‌های جاری و پیش‌بینی هزینه‌های سال‌های بعد را میسر می‌سازند. یک مور جامع بر ادبیات موجود نمایانگر آن است که الگوریتم‌های اساسی که در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته مورد استفاده قرار می‌گیرند در قالب سامانه‌های مدیریت تعمیر و نگهداری می‌باشند. این سامانه‌ها شامل چهار سامانه اصلی TRACS و RAILER در آمریکا و ECOTRACK در ۲۶ کشور اروپایی و سامانه DTM در هند می‌باشند. طرح سیستم RAILER در USA-CERL 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 اینویز آمریکا بود که بتواند بخش‌های مختلف شبکه خطوط راه آهن را از طریق یک پروسه سیستماتیک و متیدیک، در شرایط بهینه حفظ کند. این سیستم قادر است امکانات موجود را شناسایی و تخصیص دهد، رفتار آینده خط را پیش‌بینی 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 می‌تواند علاوه بر برنامه ریزی برای تعمیر و نگهداری خط، تاثیر عملیات تعمیر و نگهداری را بر حرکت قطارها، ارزیابی کند. این سیستم دارای مدل‌های خرابی و خستگی اجزاء خط و قابلیت تخمین

ساختر راه آهن ایران کالیبره نمودند[۸]. شاخص ارائه شده به شرح زیر است:

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

RCI و CI(mid) و CI(high) مقادیر شاخص های RCI و BCI و SCI 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 می تواند 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 دللم، میزان پایین افتادگی، و میزان پیچش خط. این چهار پارامتر توسط ماشین های اندازه گیری خط مانند EM120 که می تواند با سرعت حدود ۸۰ کیلومتر بر ساعت حرکت کند برداشت و ثبت گردیده و شاخص هندسه بطرور 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،  $S_g$  خرابی پیچش،  $W_z$  و  $W_g$  میانگین خرابی های 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،  $\sigma_{S_H}$  میانگین انحراف معیار افتادگی ریل چپ و راست،  $\sigma_{S_z}$  میانگین انحراف معیار شیب عرضی، عرض خط و انحراف افقی،  $\sigma_{H_{lim}}$  مقدار مجاز  $H$  بر اساس طبقه بندی خط،  $\sigma_{S_{lim}}$  مقدار مجاز  $S$  بر اساس طبقه بندی خط،  $TI$  شاخص پیچش،  $GI$  شاخص عرض خط،  $AI$  شاخص امتداد، و  $UI$  شاخص پروفیل خط است. همانطور که در این جدول ملاحظه می گردد، اساس این روابط بر پایه میزان انحراف معیار هر یک از پارامترهای هندسی خط تدوین شده است.

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 لینویز 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 کرده است [۸]:

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

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؛  $m_i$  مقدار شدت برای نوع خرابی ( $i$ )؛  $F(t, d)$  فاکتور تعديل برای خرابی های متعدد است که از این فاکتورهای تصحیح می توان در ترمیم منحنی های تصحیح استفاده کرد.  $BCI, RCI, SCI$  به ترتیب شاخص وضعیت گروه بالاست، ریل و تراورس می باشند. در سال ۲۰۱۰، صادقی و همکاران مدل فوق را توسعه داده و برای

### جدول ۱. شاخص کیفیت هندسی در راه آهن‌های مختلف

رابطه	مرجع
$SD$	راه آهن فرانسه: [۹]
$TGI = \frac{2UI + TI + 6AI + GI}{10}$ , $\begin{cases} UI \\ TI \\ AI \\ GI \end{cases}$	راه آهن هند: [۱۰]
$Q = 150-100 \left[ \frac{\sigma_H}{\sigma_{H_{lim}}} + 2 \times \frac{\sigma_S}{\sigma_{S_{lim}}} \right] / 3$	راه آهن سوئد: [۱۱]
$R^2 = \sum_{i=1}^n d_i^2 / n$	راه آهن آمریکا: [۱۲]
$J = \frac{S_Z + S_Y + S_W + 0.5S_e}{3.5}$	راه آهن لهستان: [۱۳]
$w_s = I - (I - w_e)(I - w_g)(I - w_w)(I - w_y)(I - w_z)$	راه آهن استرالیا: [۱۴]

که این گسترش شبکه ریلی و حجم عملیات تعمیر و نگهداری، تصمیم‌گیری‌های متدولوژیک و سیستماتیک را در حوزه تعمیر و نگهداری، ضروری تر می‌کند. همچنین مصرف سالانه بیش از ۸۵ هزار تن ریل، استفاده از حدود ۱۱۰۰۰۰ تراورس بتی 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 خرابی‌های فرآیند در شبکه ریلی ایران بود. خرابی‌هایی که در شبکه خطوط ریلی ایران به چشم می‌خورد، موارد متعددی است که از جمله آنها می‌توان به سایش ریل، فرسودگی تراورس‌ها، زوال بالاست، شل شدگی اتصالات، شکستگی اتصالات، شل شدن پیچ پابند‌ها و یا جدا شدن پابند‌ها از ریل و تراورس‌ها اشاره کرد. شکل ۱، تصویری از این نمونه خرابی‌ها را نشان می‌دهد. پس از بررسی کلیه خرابی‌ها در سه ناحیه مختلف ریلی در ایران (ناحیه اصفهان، ناحیه لرستان و ناحیه تهران) خرابی‌های فرآیند (پرتعاد) در خطوط ریلی ایران مشخص گردیدند که در جدول ۲ ارائه شده است. این خرابی‌ها 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 می‌شوند ولی تجهیزات مکانیزه و نیمه مکانیزه دارای امکانات بیشتری نسبت به تجهیزات سنتی می‌باشند. نیروهای متخصص اجرایی در ۴ گروه ناحیه، حوزه، قطعه و دسته جای می‌گیرند. قادر

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 و تحلیل آماری اطلاعات هندسی شبکه ریلی ایران (مستخرج از EM120) شاخص پیشنهادی برای خطوط ایران را به صورت زیر ارائه نمودند [۱۴] و [۱۵].

$$ITGI = \frac{\frac{a}{2} \times GI^+ + \frac{a'}{2} \times GI^- + b \times AI + c \times PI + d \times CI}{\frac{a+a'}{2} + b + c + d} \quad (3)$$

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 می‌گردد.  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $a'$  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 ۱۱۰۰ کیلومتر رسید و پیش بینی می‌شد مطابق برنامه دولت ایران تا سال ۱۴۰۴ طول خطوط ریلی ایران به ۲۵۰۰ کیلومتر برسد. علاوه بر اینکه در همین افق دید پیش بینی می‌گردد که بیش از ۶۰۰۰ کیلومتر خط، تحت بهسازی و حدود ۵۰۰۰ کیلومتر خط آهن در شبکه ریلی ایران مورد بازسازی قرار گیرد

از همکاری ۸ شرکت خصوصی و یک شرکت دولتی در تعمیر و نگهداری خطوط خود استفاده می‌کند[۱۶].

مدیریتی راه آهن با مسئولیت نظارت شامل مدیر کل، معاون خط و ابنيه فنی، معاون برنامه ریزی و پشتیبانی و معاون ماشین آلات مکانیزه است. همچنین راه آهن ایران در بخش شرکت های همکار

## جدول ۲. عیوب سازه ای فرآیند در راه آهن ایران

 ب- شل شدن پیچ	 الف- موقعیت نامناسب پد
 ت- تراورس مفقود شده	 پ- رویش گیاهان در خط
<b>شکل ۱. نمونه ای از خرابی های خط در شبکه خطوط ریلی ایران</b>	

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 می شود. از جمله نیازهای اساسی در بخش تعمیر و نگهداری: ثبت خرابی های شبکه خطوط در یک بانک اطلاعاتی مرکزی، تهییه 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 سامانه های اولویت بندی موجود در عرصه بین المللی پیچیده بودن الگوریتم ها یا سامانه های موجود (اندرکنش

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 مرکزی 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 هزینه ها و بودجه گزاری 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

#### ۱-۴. قطعه بندی و کدگذاری شبکه

با توجه به ساختار راه آهن ایران اطلاعات شبکه ریلی به سه بخش زیر مجموعه‌ای تقسیم می‌گردد. ابتدا شبکه راه آهن کشوری به ۱۳ ناحیه راه آهن و هر ناحیه به تعداد محورهای مشخص تقسیم می‌گردد. سپس هر محور به تعداد قطعاتی به شرح ذیل تقسیم می‌گردد. برای خطوط مستقیم هر قطعه عبارت است از یک کیلومتر از خط مستقیم و برای پل‌ها و تونل‌ها هر پل یا تونل خود یک قطعه به حساب می‌آید. به منظور برنامه ریزی بازرسی‌ها و عملیات نگهداری و تعمیر متعاقب آن، اولین گام تقسیم بندی خطوط شبکه به قطعات می‌باشد. تقسیم بندی خطوط مباید بعد از تشکیل بانک اطلاعاتی مبتنی بر GIS از اجزا روسازه، ابنيه فنی، سوزنه، قوسها، تونلها و پلها و ... با مختصات نسبی و یا مطلق آنها صورت گیرد. برای خطوط اصلی و فرعی خارج از ایستگاه‌ها و در محدوده بلاکها (قبل و بعد از شروع و پایان سوزنهای ورودی و خروجی ایستگاه‌ها یا سوزنهای بسته واقع در بلاکها) به شرط تغییر نکردن روسازی و عدم حضور تونل طولی‌تر از ۵۰ متر، اگر طول خط مستقیم یا قوس حداقل ۱۲۰۰ متر بود، خط یا قوس یک قطعه را تشکیل میدهد. اگر طول خط مستقیم یا قوس بین ۱۲۰۰ 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 می‌شود. دو قطعه‌ای که طولی غیر از ۸۰۰ متر دارند، در شروع و انتهای قرار می‌گیرند. پلها و 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 می‌باشد 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.

#### ۲-۴. مدل بانک اطلاعاتی

مدل بانک اطلاعاتی بایستی بتواند اطلاعات کمی و کیفی و همچنین تاریخچه‌ای 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 می‌باشد در بانک اطلاعاتی ذخیره می‌گردد. شکل ۲ ساختار مدل بانک اطلاعاتی در الگوریتم پیشنهادی این پژوهش را در دسته‌های خط، سازه و ناوگان نشان میدهد. [۱].

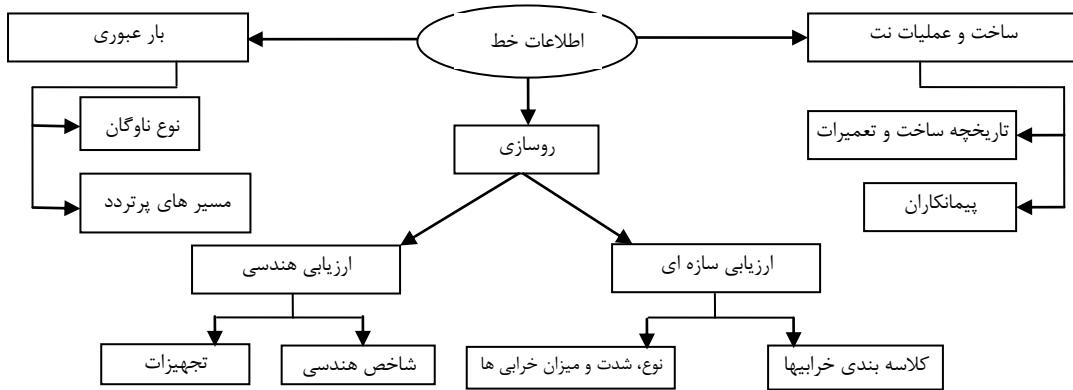
سیستم‌های بهره برداری، تعمیرات و توسعه، و بودجه گذاری) و همچنین عدم تناسب ساختار پرسنلی راه آهن ایران با ساختار پرسنلی و تخصصی مشابه در راه آهن کشورهای توسعه یافته است. بدین ترتیب این پژوهش اولین گام اساسی در ساخت یک سامانه مدیریت تعمیر و نگهداری راه آهن را با ارائه یک الگوریتم مؤثر جهت اولویت بندی عملیات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

#### ۴. الگوریتم اولویت بندی نگهداری و تعمیرات

الگوریتم اولویت بندی خطوط برای تعمیر و نگهداری که منجر به ارائه برنامه ریزی‌های 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 مناسب با آن قسمت را تدبیر نمود. در مرحله دوم یک بانک اطلاعاتی که در آن اطلاعات بطور طبقه بندی شده در زمینه‌های: شناسنامه قطعات، خرابی‌های سازه‌ای 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 می‌باشد، مدل شاخص بندی کیفیت قطعات خط ساخته می‌شود؛ در این مدل با لحاظ نمودن خرابی‌های موجود در هر قطعه از خط، کیفیت خط بصورت عددی 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 مدل‌های 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 می‌دهد. با عنایت به لزوم تولید نتایج بصورت شماتیک و بر روی نقشه‌های جغرافیایی، این نرم افزار می‌تواند بر روی سیستم اطلاعات جغرافیایی شبکه ریلی سوار باشد. به این ترتیب مدل یا الگوریتم ارائه شده با ایستگی 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 خرابی‌های فراگیر و مقایسه آنها، محاسبه میزان بهره دهی هر واحد از خط، و ارائه چارت پیشنهادی جهت بهسازی مطابق الویت بندی‌ها، قابل اجرا است.



شکل ۲. ساختار بانک اطلاعاتی خط در سامانه

عيوب هندسی و نتیجتاً 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 نظر گرفته 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) بكمک 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.

رابطه ۲ و ۳ که قبلاً در ایران کالیبره شده اند [۱۴ و ۸] مورد استفاده قرار گرفتند و با ورود اطلاعات حاصله از برداشت های سازه ای و هندسی خط شاخص های سازه ای و هندسی برای ۴۲۱ 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.

### ۳-۴. 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 (باچشمی) و شاخص هندسی. شاخص سازه ای از برداشت اطلاعات خرایی های سازه های یک قطعه از خط بصورت چشمی و ثبت و پالایش و تحلیل آنها، و نهایتاً استخراج یک عدد برای کیفیت خط بر اساس نوع، میزان و شدت خرایی های ثبت شده برای آن قطعه بدست می آید [۴]. بدینهتاً 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 خطها 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 هزینه تر 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

#### جدول ۴. عملیات مرمت لازم بر اساس شاخص چشمی

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

این بدين معنی است که لازم به انجام برداشت چشمی (سازه‌ای) صرفاً در بعضی شرایط (محدوده خاصی از شاخص هندسی) می‌باشیم. این باعث کاهش حجم عملیات و کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت کار می‌گردد. بدين ترتیب یکی از امتیازات ویژه الگوریتم اولویت‌بندی طراحی شده در این تحقیق نسبت به سامانه‌های 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 می‌آید. بنابر این محدودیت موجود در الگوریتم‌های موجود رفع شده بطوریکه اولویت‌بندی عملیات مرمت قطعات خط بهمرا نوع و حجم عملیات قابل ارائه است.

#### ۴-۴. مدل تحلیل اطلاعات

پس از تکمیل بانک اطلاعات و تعیین شاخص‌های دوگانه هندسی و سازه‌ای 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 می‌باشد. ساختار این نرم افزار در شکل ۴ آمده است.

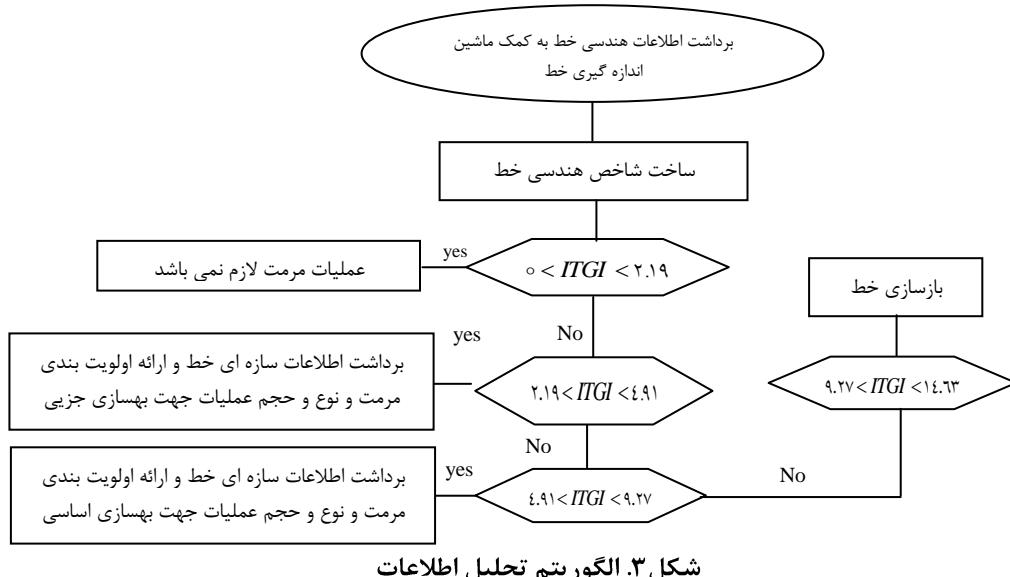
#### جدول ۳. رابطه بین شاخص چشمی و هندسی

$$\begin{aligned} & < ITGI \leq 2.19 \Leftrightarrow 70 < TSI < 100 \\ & 2.19 < ITGI \leq 4.91 \Leftrightarrow 50 < TSI < 70 \\ & 4.91 < ITGI \leq 9.27 \Leftrightarrow 30 < TSI < 50 \\ & 9.27 \leq ITGI \leq 14.63 \Leftrightarrow 0 < TSI < 30 \end{aligned}$$

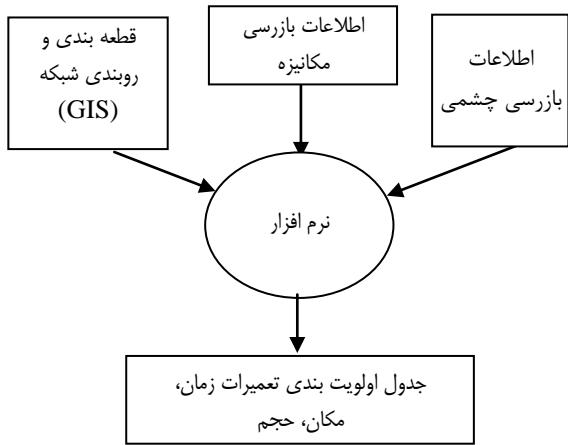
براساس نتایج تحقیقات بیزارسکی، با توجه به مقدار TSI چهار نوع عملیات تعمیری برای یک قطعه پیشنهاد می‌شود که عبارتند از: بازسازی اساسی، بهمسازی جزئی، عدم نیاز به عملیات (جدول ۴).

برای تدبیر عملیات مرمت در وضعیت بهمسازی اساسی و بهمسازی جزئی دامنه‌های (۳۰-۵۰) و (۵۰-۷۰) نیازمند اطلاعات توصیفی از وضعیت خرابی‌های اجزاء خط می‌باشیم. از طرفی برای دو نوع اول و آخر (بازسازی و بدون نیاز به عملیات مرمت) نیاز به داشتن اطلاعات توصیفی از سازه خط نمی‌باشد.

بنابراین اگر اطلاعات شاخص هندسی خط موجود باشد تنها وقتی می‌توان 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 می‌کند. در الگوریتم پیشنهادی ابتدا شاخص هندسی خط تشکیل می‌گردد و صرفاً بر اساس جدول ۳ مقادیر متناظر شاخص چشمی مشخص می‌گردد. سپس با استفاده از جدول ۴ در محدوده‌های مترادف با بهمسازی اساسی و بهمسازی جزئی برداشت چشمی انجام و شاخص سازه‌ای محاسبه می‌شود.



**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. این محور شامل ۵ آمار مربوط به تاریخچه ساخت خط تهران-گرمسار ارائه شده است. این آمارها مربوط به خطوط تا پایان سال گذشته می باشد.



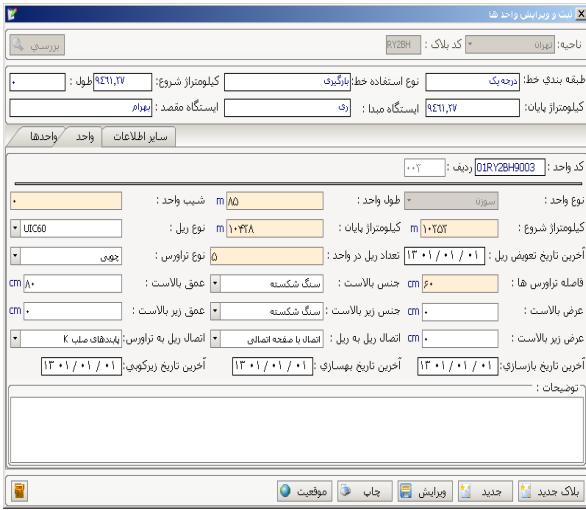
شکل ۴. ساختار نرم افزار سامانه جهت تحلیل اطلاعات

جدول ۵. طول خط اصلی (تصویرت 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

جدول ۶. خصوصیات کلی روسازی در محور ری-ورامین

قدرت	آبادان	آستانه	کل	تعداد	آبادان									
زوج	۳	ری	بهرام	۱۲۰	۱۹۲	۱	۲	۱۹۲	۲	۰	۱۵	۱۵	۶۰۰	۱
فرد	۳	ری	بهرام	۹۰	۱۹۲	۳	۳	۹۰	۳	۰	۱۵	۱۵	۶۰۰	۱
زوج	۲۶	بهرام	ورامین	۱۲۰	۱۹۲	۱	۱	۱۹۲	۲	۰	۱۵	۱۵	۱۰۰۰	۱
فرد	۲۶	بهرام	ورامین	۹۰	۱۹۲	۳	۳	۹۰	۳	۰	۱۵	۱۵	۱۰۰۰	۱



شکل ۵. نمونه اطلاعات شناسنامه ای ثبت شده در سامانه

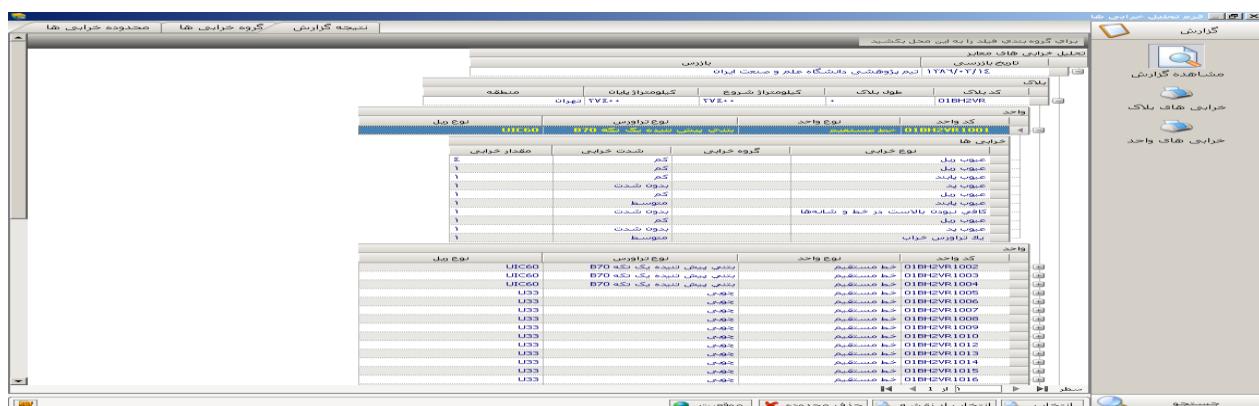
جدول ۶ نیز خصوصیات روسازی در محور ری - ورامین را نشان می دهد. در اولین گام، خصوصیات خط و تاریخچه ساخت و تعمیرات و ترافیک خط از مراجع ذی صلاح استعلام و جهت تکمیل بانک اطلاعاتی در نرم افزار ثبت گردید. نمونه ورود اطلاعات در سامانه در شکل ۵ آمده است.

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 ۴ و ۵ در میان ۶۰۰ کیلومتر خط ۲۴۰ کیلومتر از آن بر اساس شاخص هندسی خط و مناسب آن با شاخص چشمی تعمیرات اساسی یا جزئی تشخیص داده شد.

از قبل مدون شده بود، انجام شد. نمونه اطلاعات خرابی‌ها ثبت شده در سامانه در شکل ۶ آمده است. با توجه به الگوریتم‌های 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 می‌دهد. این نتایج میتواند مبنای تصمیم‌سازی مدیران در اولویت بندی عملیات تعمیر و نگهداری خط قرار گیرد.

بازدید فنی در طول ۲۴۰ کیلومتر از مسیر صورت گرفت. این بازدید از اجزا خط نظیر ریل‌ها، اتصالات (ریل به ریل، ریل به تراورس)، صفحات زیر ریل، تراورس‌ها (چوبی، بتنی، فلزی)، بالاست و سوزن‌ها شامل (ریل‌های اصلی، تیغه‌های ریل زبانه، ریل زبانه، تثبیت کننده‌های پاشنه، نیشدلی، ریل‌های هادی، ریل‌های بالی شکل، ریل‌های میانی، میله‌های تغییر وضعیت سوزن و ماشین سوزن) و دیگر اجزاء بر اساس شناسنامه‌هایی که سوزن و ماشین سوزن) و دیگر اجزاء بر اساس شناسنامه‌هایی که



شکل ۶. نمونه اطلاعات خرابی‌های ثبت شده در سامانه

کد پلاک:	018H2VR	کیلومتر از شروع:	۲۷۴۰۰۰	ناحیه: تهران
کیلومتر از پایان:	۲۷۴۰۰۰	ایستگاه مبدأ:	بهرام	ایستگاه مقصد: ورامین
عملیات لازم	شاخص چشمی	شاخص هندسی	طول	کیلومتر از شروع
بازسازی	۲۳	۱۱	۱۰۰۰	۳۳۵/۰۰ O1BH2VRCCO01
بهسازی جزئی: اصلاح بالاست: زیرکوبی ، ریل سایی در طول ۱۰ متر ، محکم کردن پیچ اتصالات در ۳۸ قسمت	۶۴	۴	۱۰۰۰	۱۸۴/۰۰ 01BH2VR7004
عدم نیاز به عملیات	۸۵	۱.۵	۱۰۳۰	۱۸۵/۳۰ 01BH2VR8001
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 سایی در طول ۲۰ متر	۵۴	۳.۲	۱۰۳۰	۱۸۶/۳۰ 01BH2VR8002
بهسازی کلی: شامل اصلاح بالاست: زیرکوبی (عمق دار) در کل قطعه، اصلاح ۱۲ تراورس شکسته جایگزین ۳۶ اتصال یابند ریل سایی از ۳۶ متر طول قطعه (متوسط) ، اصلاح ساختار زهکش در دو قطعه از قطعه، محکم کردن پیچ اتصالات در ۷۲ قسمت، اصلاح بازسازی لایه بالاست تکمیل دانه بندی	۳۶	۶	۱۰۰۰	۱۸۷/۳۰ 01BH2VR8003

شکل ۷. نمونه خروجی سامانه جهت اولویت بندی عملیات نگهداری

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.

## ۶. نتیجه گیری

راه آهن از مهمترین سرمایه‌های ملی کشورها محسوب می‌شوند که سالیانه بخش عمده‌ای از بودجه عمرانی سازمانهای ذیربط

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 می‌گردد. 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 می‌گردد.

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 می‌شود توجه نشده و مضاف بر در نظر گرفتن شاخص هندسی خط که به روش مکانیزه حاصل می‌گردد شاخص سازه ای که به روش پرداخت چشمی حاصل می‌گردد نیز لحاظ شده است. این روند منجر به ارزیابی و اولویت بندی دقیق‌تر و مهمتر از همه امکان پذیری تشخیص نوع و حجم عملیات مرمت و بهسازی می‌باشد. 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، هزینه‌ها 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 سامانه‌ای با توسعه این پژوهش می‌تواند صرفه جویی مالی و اقتصادی و قابل ملاحظه‌ای را بر اساس تجارت جهانی برای راه آهن ایران به دنبال می‌آورد.

### تقدیر و تشکر

از حمایت‌های مالی و معنوی پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری در انجام این تحقیق سپاس فراوان دارد. بی‌گمان بدون حمایت‌های آنان این مهم میسر نمی‌گردد. از اداره کل خط و سازه‌های ریلی و همچنین راه آهن ناحیه تهران که انجام تست‌های میدانی را میسر ساختند تشکر ویژه می‌گردد.

### 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.

توسعه قابل ملاحظه شبکه ریلی کشور در برنامه‌های کوتاه و بلندمدت دولت از یک سو و از سوی دیگر عدم وجود برنامه‌های 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 می‌دهد که راه آهن ایران برای نگهداری و تعمیرات و عملیات مرمتی بهسازی بیش از ده هزار کیلومتر شبکه ریلی کشور همچنین 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 بخش‌های مختلف شبکه و همچنین عدم تشخیص صحیح نوع مرمت‌های لازم در هر قطعه از شبکه می‌شود.

بررسی‌های انجام شده در این تحقیق در زمینه امکانات و شرایط تعمیر و نگهداری راه آهن ایران نشان می‌دهد که اولین فوریت‌های اصلاح ساختار تعمیر و نگهداری شبکه ریلی ایران ارائه یک الگوریتم اولویت بندی جهت نگهداری و تعمیرات می‌باشد به طوری که می‌توان دو فوریت اصلی در این بخش از 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 در دو مرحله انجام گردید. در مرحله اول با انجام مطالعات کتابها و بررسی الگوریتم‌های 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 نمی‌تواند به طور مؤثر و کارآمدی به کار آیند. اگرچه بعضی از مدل‌های شاخص کیفیت خط که در الگوریتم‌های فوق مورد استفاده بوده است می‌تواند 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

- [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.
- [2] میرمحمدصادقی، جواد، "مطالعات و برنامه ریزی جهت تعمیر و نگهداری خطوط و چالشهای فنی و علمی در دایره ساخت و تولید" گزارش تحقیقاتی، مرکز تحقیقات راه آهن ایران، ۱۳۸۰.
- [3] گروه خط و ابنيه ، 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., *Continuos 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.