

## برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات خطوط ریلی بر پایه الگوریتم اولویت‌بندی

رضا مویدفر، استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

امین محجوب، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران،

ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: r-moayedfar@araku.ac.ir

دریافت: ۹۶/۱۱/۲۰ - پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۰

صفحه ۱۱۱-۹۳

### چکیده

ارائه یک الگوریتم اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری خطوط راه آهن ایران جهت بهینه و به‌هنگام سازی برنامه‌های کوتاه و بلندمدت عملیات تعمیر و نگهداری راه آهن در این تحقیق مورد هدف قرار گرفته است. در این مقاله، شرایط موجود راه آهن ایران بررسی شده و مطالعات انجام شده در عرصه بین‌المللی در راستای ساخت یک الگوریتم اولویت‌بندی تحلیل شد. نتیجتاً متد طراحی و توسعه مدل‌های لازم جهت ارائه الگوریتم اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری خطوط بر اساس شاخص هندسه مسیر با هدف رسیدن به سطح مورد نیاز ایمنی مسیر و راحتی سواران مسافرتی در روش‌های نگهداری مسیر فعلی ارائه شد. مزایای رویکرد جدید تعمیر و نگهداری با استفاده از ارزیابی خروجی‌های آن با رویکرد فعلی نشان داده شده است. که الگوریتم نگهداری جدید نه تنها ایمنی مسیر بلکه سطح مورد نیاز راحتی سواران مسافرتی را نیز تضمین می‌کند. نتایج حاصل حاکی از کاربردی بودن و امکان‌پذیر بودن استفاده از مدل یا الگوریتم پیشنهادی در ارائه برنامه اولویت‌بندی و برنامه‌ریزی جهت تعمیر و نگهداری راه آهن بوده است.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، برنامه‌ریزی، نگهداری و تعمیر، راه آهن جمهوری اسلامی ایران

### ۱- مقدمه

بخش‌هایی که نیاز مبرم به تعمیرات دارند، از دیده پنهان مانده‌اند [گروه خط و ابنیه، ۱۳۸۲]. پیشرفت‌هایی که اخیراً در زمینه رایانه‌ها و فن‌آوری مدیریت خطوط به‌دست آمده‌اند، ابزار مورد نیاز را برای مدیریت اقتصادی راه آهن فراهم آورده‌اند تا با روشی سیستماتیک و منسجم ضروریات ترمیم و نگهداری و تعیین اولویت‌ها و زمان بهینه برای تعمیرات در اختیار قرار گیرد [Foguem, 2015]. با توجه به گسترش سریع شبکه خطوط راه آهن ایران این نیاز مضاعف می‌شود. حفظ شرایط مطلوب شبکه و نیز پیش‌بینی وضعیت آینده خطوط تنها در گرو برنامه‌ریزی دقیق، به‌منظور پیاده‌سازی یک سامانه اطلاعاتی - تحلیلی برای تعمیر و نگهداری خطوط

هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در راه آهن بسیار بالا بوده و دوره عمر طولانی برای آن مد نظر است. در راه آهن نیز مانند دیگر زیرساخت‌ها که از هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالایی برخوردار هستند، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری نیز بالا می‌رود [Innocenti, 2014]. بر اساس گزارشات مالی راه آهن ایران یکی از علل هزینه‌های پی در پی تعمیرات و نگهداری خطوط شبکه ریلی ایران، نداشتن برنامه‌های اولویت‌بندی جهت عملیات در بخش‌ها یا محورهای مختلف ریلی است، به‌طوری‌که بعضاً عملیات تعمیر و نگهداری در بخش‌ها، قطعات یا بلوک‌هایی انجام می‌شود که در اولویت به‌لحاظ وضعیت کیفی نمی‌باشند. این درحالی است که در همان زمان

قرار گیرد، شاخص‌های کیفی روسازی است که در این سامانه‌ها، مورد استفاده قرار گرفته و توسط محققین در دو دهه اخیر توسعه یافته است. در حقیقت هسته اصلی الگوریتم اولویت‌بندی عملیات تعمیر و نگهداری عبارت است از شاخص‌های کیفی روسازی راه آهن که می‌تواند در توسعه هر الگوریتم جدیدی مورد استفاده قرار گیرد [Jia, 2011].

## ۲- پیشینه تحقیق

الگوریتم اولویت‌بندی خطوط برای تعمیر و نگهداری که منجر به ارائه برنامه‌ریزی‌های کوتاه و بلندمدت عملیات تعمیر و نگهداری و نیز بودجه‌گذاری باشد، براساس ۴ مرحله در این تحقیق ساخته شده است. در مرحله اول، شبکه ریلی طبقه‌بندی، کدگذاری و سپس قطعه‌بندی می‌شود، به طوری 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 به‌طور طبقه‌بندی شده در زمینه‌های شناسنامه قطعات، خرابی‌های هندسی قطعات و نیز وضعیت ترافیکی عبوری ثبت می‌گردد، ساخته شده است. در مرحله سوم که به‌طور اساسی محور و ستون یک سیستم اولویت‌بندی می‌باشد، مدل شاخص‌بندی کیفیت قطعات خط ساخته می‌شود. در این مدل با لحاظ نمودن خرابی‌های موجود در هر قطعه از خط، کیفیت خط به‌صورت عددی ارائه می‌شود، به طوری که قطعات به‌لحاظ کیفی با اعداد ریاضی مقایسه و بر اساس آن جدول اولویت‌بندی اهمیت مرمت و تعمیر در قطعات مشخص می‌شود. در مرحله چهارم، بر اساس اطلاعات و مدل‌های حاصل در سه مرحله قبل، عملیات اجرایی در حجم بسیار بالا انجام شده و نتایج سریعاً در اختیار مدیران یا استفاده‌کنندگان قرار می‌گیرد.

### ۱-۲- قطعه‌بندی و کدگذاری شبکه

با توجه به ساختار شبکه ریلی ایران، اطلاعات شبکه ریلی به سه بخش زیرمجموعه‌ای تقسیم می‌شود. ابتدا شبکه راه آهن کشوری به ۱۹ ناحیه راه آهن و هر ناحیه به تعداد محورهای مشخص تقسیم می‌شود. سپس هر محور به تعداد قطعاتی به شرح زیر تقسیم می‌شود. 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. به‌منظور

می‌باشند. تجارب پیاده‌سازی سیستم اولویت‌بندی نگهداری و تعمیرات خطوط در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته حاکی از آن است که به‌کارگیری چنین سامانه‌ای منجر به کاهش هزینه‌های خطوط در حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد شده است [Horenbeek, 2013] یکی از مهمترین بخش‌ها در ساخت یک سامانه مدیریت تعمیر و نگهداری راه آهن، طراحی الگوریتم اولویت‌بندی عملیات نگهداری و تعمیر می‌باشد، به طوری که بر اساس آن بتوان برنامه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت عملیات تعمیر و نگهداری را تدوین نمود [Busstra, 2015]. این تحقیق به بررسی و ارائه الگوریتم مناسب برای راه آهن ایران جهت اولویت‌بندی عملیات نگهداری و تعمیر می‌پردازد. آنچه در مرور بر الگوریتم‌های توسعه‌یافته 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 [Asada, 2013]. مطالعه الگوریتم‌های اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری خطوط ریلی در عرصه بین‌المللی نمایانگر رویکردهای مختلف الگوریتم‌های موجود می‌باشد، لیکن به‌طور کلی این الگوریتم‌ها طی فرآیندهایی که با استفاده از توسعه فن‌آوری ارتباطات صورت می‌گیرد، بهینه‌سازی اقتصادی را به‌طور موثرتری انجام داده و محاسبه هزینه‌های جاری و پیش‌بینی هزینه‌های سال بعد را میسر می‌سازند [Zheng, 2014]. یک مرور جامع بر ادبیات موجود نمایانگر آن است که الگوریتم‌های اساسی که در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته مورد استفاده قرار می‌گیرند در قالب سامانه‌های مدیریت تعمیر و نگهداری می‌باشند [Jun, 2016]. علی‌رغم موفقیت 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 آن تدوین شده‌اند با ساختار اداری ایران متناسب نیست. شیوه برداشت اطلاعات نیز با توجه به امکانات پرسنلی و تجهیزات آن کشور ساخته شده است که قابلیت استفاده از آن‌ها در ایران وجود ندارد. از طرفی رویکرد این سامانه‌ها وابستگی شدیدی به شیوه‌های بهره‌برداری و مدیریت ترافیکی خطوط دارد که نیازمند داشتن یک بستر سامان‌یافته و برنامه‌ریزی شده در بخش بهره‌برداری می‌باشد که در ایران موجود نیست. با این حال، آنچه می‌تواند مورد ملاحظه و استفاده در ساختار الگوریتم‌های اولویت‌بندی

تقسیم‌بندی در مدل با ساختار شبکه‌بندی خطوط ریلی ایران تناسخ دارد.

بدین ترتیب، مدل دارای یک بستر سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌باشد که در ن شبکه راه آهن به یک شبکه کلی خطوط کشوری و این شبکه به ۱۹ ناحیه مختلف و هر محور از هر ناحیه به قطعات مشخصی به طول تقریبی یک کیلومتر تقسیم شدند.

## ۲-۲- مدل بانک اطلاعاتی

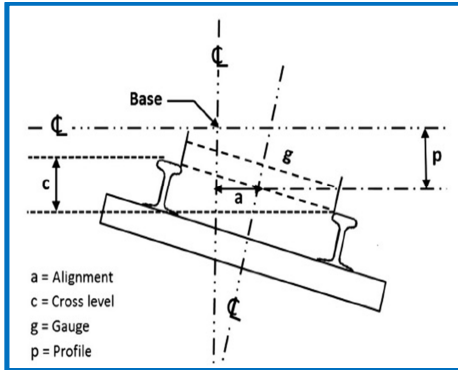
مدل بانک اطلاعاتی بایستی بتواند اطلاعات کمی و کیفی و نیز سوابق تاریخی یک خط را در بر گیرد، به طوری که اطلاعات به صورت روزانه قابل به روز شدن باشد. اطلاعات بانک اطلاعاتی که شامل پنج دسته اطلاعات خط و سازه، ناوگان، ترافیک، تجهیزات و نیروی انسانی می‌باشند، در بانک اطلاعاتی ذخیره می‌شوند. شکل ۱ ساختار مدل بانک اطلاعاتی در الگوریتم پیشنهادی این تحقیق را در دسته‌های خط، سازه و ناوگان نشان می‌دهد.

برنامه‌ریزی بازرسی‌ها و عملیات نگهداری و تعمیر متعاقب آن، اولین گام تقسیم‌بندی خطوط شبکه به قطعات می‌باشد. تقسیم‌بندی خطوط می‌بایست پس از تشکیل بانک اطلاعاتی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی از اجزا روسازه، ابنیه فنی، سوزن‌ها، قوس‌ها، تونل‌ها، پل‌ها و ... با مختصات نسبی و یا مطلق آن‌ها صورت پذیرد. برای خطوط اصلی و فرعی خارج از ایستگاه‌ها و در محدوده بلوک‌ها (قبل و بعد از شروع و پایان سوزن‌های ورودی و خروجی ایستگاه‌ها یا سوزن‌های بسته واقع در بلوک‌ها) 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 ۱۲۰۰ متر تا ۲۴۰۰ متر بود، خط یا قوس به دو قطعه با طول مساوی تقسیم می‌شود. اگر طول خط مستقیم 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 را داراست به دو قطعه مساوی تقسیم می‌شود. دو قطعه‌ای که طولی غیر از ۸۰۰ متر دارند، در شروع و انتها قرار می‌گیرند. پل و تونل خود یک قطعه محسوب می‌شود. این سیستم



شکل ۱. ساختار بانک اطلاعاتی خط در مدل پیشنهادی

### ۲-۳- تدوین شاخص کیفیت خط



شکل ۲. پارامترهای هندسی خط

دو شاخص کیفیت روسازی عبارتند از شاخص سازه‌ای یا چشمی و شاخص هندسی. شاخص سازه‌ای از برداشت اطلاعات خرابی‌های سازه‌ای یک قطعه از خط به صورت چشمی و ثبت، پالایش و تحلیل آن‌ها، و نهایتاً استخراج یک عدد برای کیفیت خط بر اساس نوع، میزان و شدت خرابی‌های ثبت شده برای آن قطعه به دست می‌آید. بدیهتاً ساخت این نوع شاخص هزینه‌بر بوده و نیاز به پرسنل زیادی جهت برداشت اطلاعات دارد. علاوه بر این، نتایج آن تا حد زیادی به توانایی افراد در شناسایی خطاها و نقاط بحرانی بستگی دارد. 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 پارامتر هندسی به دست می‌آید. ساخت شاخص نوع هندسی از آنجایی که اطلاعات هندسی خط (عرض خط، دیلم، پایین‌افتادگی ریل و پیچش خط) به صورت مکانیزه به کمک ماشین اندازه‌گیری خط برداشت شده، سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌باشد. به علت زمان‌گیر و پرهزینه بودن ساخت شاخص سازه‌ای، در کلیه کشورهای که از سیستم شاخص‌بندی کیفیت خط جهت رده‌بندی کیفی خط استفاده می‌شود، اساساً از شاخص هندسی در اولویت‌بندی عملیات استفاده می‌کنند. در این تحقیق دو شاخص هندسی پیشنهاد می‌شود. یک شاخص TGI استفاده شده که در اکثر کشورهای آسیایی و اروپایی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش که مبتنی بر تحلیل آماری و انحراف معیار است، برای ترکیب پارامترهای مختلف از روش میانگین وزنی استفاده می‌شود [Mundry, 2009]. با در نظر گرفتن اثر هر پارامتر (اعوجاج، راستا، عرض خط، پروفیل) روی شاخص حرکتی، ضرایب وزنی متفاوتی برای پارامترهای مختلف به دست می‌آید [Talukdar, 2006].

(۱)

Track Geometry

$$(Index)T \quad GI = \frac{2UI+TI+6AI+GI}{10}$$

(۲)

$$UI, TI, AI, GI = 100 \times e^{-\left[\frac{SDm-SDn}{SDu-SDn}\right]}$$

در این رابطه

TGI = شاخص هندسی خط

UI = شاخص افتادگی قائم (پروفیل)

TI = شاخص اعوجاج

AI = شاخص راستا

GI = شاخص عرض خط

اگرچه راحتی سواری یکی از مهمترین ویژگیهای نیازهای مسافری راه آهن است و همیشه یکی از مهمترین عوامل موفق در کسب و کار حمل و نقل عمومی است [Preston, 2007] در این خصوص توسط جناب دکتر جوادصادقی وهمکاران شاخصی پیشنهاد شده است، بنام RCTGI (Ride Comfort Track Geometry Index) شاخص راحتی مسافری باشد، که، در یک تحقیق جامع و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به دست آمده و با ترکیب پارامترهای هندسه خط (پروفیل، پیچ و تاب، تراز و اندازه‌گیری) توسعه یافته است. اگر چه ساختار RCTGI شبیه به TGI است، اما پارامترهای هندسی را بر اساس سطوح نفوذ خود در سطح راحتی سفر در نظر می‌گیرد؛ به عبارت دیگر، شاخص جدید به طور مستقیم نشان دهنده سطح راحتی سفر است. بنابراین TGI و RCTGI به ترتیب شرایط مسیر را از جنبه‌های ایمنی مسیر و سطح راحتی سفر نشان می‌دهند [میر محمد صادقی، ۱۳۹۵].

(۳)

### ۳-۱- محاسبه شاخص‌های پارامتر هندسی

تحلیل پارامترهای هندسی شامل تحلیل عددی یک سلسله اطلاعات تصادفی است، تعیین خصوصیات آماری این اطلاعات میتواند مفید باشد. عمده پارامترهایی که در تحلیل آماری تعیین می‌شوند عبارتند از: ۱- مقدار میانگین ۲- انحراف معیار حال باید پارامترهای مربوط به شاخص‌های هندسی محاسبه گردد. با توجه به داده‌های ماشین اندازه‌گیری خط، انحراف معیار برای پارامترهای هندسی مطابق فرمول ۴ محاسبه شد.

$$SD = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Xi - \bar{X})^2 \right]^{1/2} \quad (۴)$$

$Xi$  = داده‌های به دست آمده در اصطلاح  $i$  ام؛  
 $\bar{X}$  = میانگین داده‌ها در یک بخش؛ و  $N$  = تعداد اندازه‌گیری‌ها در هر بخش برای هر پارامتر هندسی با توجه به هر سگمنت مقدار انحراف معیار محاسبه شد. سپس با توجه به شاخص پارامتر هندسی کمتر از ۱، بین ۱ تا ۲، بین ۲ و ۴ و بیشتر از ۴ وضعیت مسیر در شرایط بسیار خوب، خوب، متوسط و ضعیف طبقه بندی گردید و منحنی‌های انحراف هر کدام از آنها ترسیم شد [میر محمد صادقی، ۱۳۹۵].

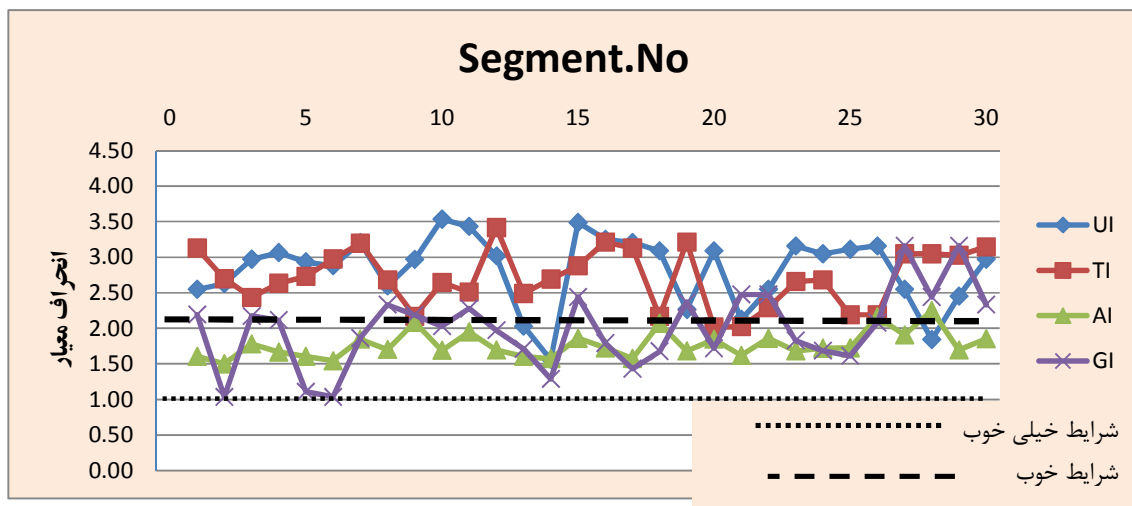
سپس با مقادیر انحراف‌های بدست آمده با توجه به فرمول ۴ و با استفاده از داده‌های جدول ۱ مقادیر پارامترهای هندسی بدست آمد.

$$RCTGI = \frac{3.93UI + 2.93TI + 2.27AI + 0.87GI}{10}$$

پارامترهای UI، TI، AI و GI قبلاً تعریف شده است.

### ۳-۲ تحقیقات میدانی

در این تحقیق، پارامترهای هندسی خط شامل عرض خط، افتادگی در ریل‌های چپ و راست، دیلم در ریل‌های چپ و راست، و اعوجاج در واحدهای مسیر ری - ورامین به طول ۳۰ کیلومتر مورد مطالعه قرار گرفت. اطلاعات هندسی مسیر شامل انحراف سنج، پیچ و تاب، تراز و پروفیل است. انحراف سنج و پیچ و تاب به طور مستقیم از دستگاه اندازه‌گیری خط EM 120 حاصل شد. انحراف از دو پارامتر دیگر نمی‌تواند مستقیماً از دستگاه حاصل شود. به منظور محاسبه انحراف از مشخصات و تراز بندی از داده‌های دستگاه، روش فیلتر کردن متوسط متحرک استفاده شد. بر اساس این روش، انحراف در هر نقطه با محاسبه تفاوت بین مقدار پارامتر (اندازه‌گیری شده در نقطه) و میانگین داده‌های EM 120 در تمام نقاط در طول یک خط مشخص (به عنوان مثال، ۲۰ متر از هر طرف نقطه). این برای تمام نقاط با استفاده از مایکروسافت اکسل انجام شد. تخصیص داده‌های اندازه‌گیری شده به محل خط به صورت اتوماتیک توسط دستگاه ضبط EM 120 انجام می‌شود.



شکل ۳. نمودار شاخص‌های پارامتر هندسی برای بخش‌های انتخاب شده خط

جدول ۱. مقدار انحراف معیارها برای خط [Mundrey, 2009]

پارامتر	خط تازه تاسیس SDn	خط در آستانه تعمیر و نگهداری SDu	
		سرعت > ۱۰۵km/h	سرعت < ۱۰۵km/h
		پروفیل	۲.۵۰
پیچ	۱.۷۵	۳.۸۰	۴.۲۰
هم تراز	۱.۵۰	۳.۰۰	۳.۰۰
اندازه گیری	۱.۰۰	۳.۶۰	۴.۶۰

جدول ۲. حالت خط بر اساس TGI [Talukdar, 2006]

TGI	شرایط پیگیری (نیاز به تعمیر و نگهداری)
$TGI > 80$	بسیار خوب (بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
$50 < TGI < 80$	خوب (نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
$36 < TGI < 50$	متوسط (نگهداری برنامه ریزی شده)
$TGI < 36$	ضعیف (نگهداری فوری)

بر اساس مقایسه شاخص‌های هندسی حاصله در ۳۰ قطعه نشان داده شده، دامنه تغییرات استفاده شد. پس از تحلیل اطلاعات حاصل، رابطه بین تغییرات شاخص هندسی حاصل آمد. نتایج حاصل در جدول ۳ آورده شده است.

روابط TGI و RCTGI مورد استفاده قرار گرفتند و با ورود اطلاعات حاصله از برداشت‌های هندسی خط، شاخص‌های هندسی برای ۳۰ قطعه (هر قطعه در حدود یک کیلومتر) ساخته شد. بر اساس ردیابی وضعیت بر اساس TGI [Talukdar, 2006]، با توجه به مقدار TGI چهار نوع عملیات تعمیراتی برای یک قطعه در جدول ۲ پیشنهاد می‌شود.

#### ۴- مدل تحلیل اطلاعات

پس از تکمیل بانک اطلاعات و تعیین شاخص‌های هندسی خط (TGI, RCTGI) برای هر یک کیلومتر از خط (هر سگمنت) مطابق با شکل ۴، تحلیل اطلاعات صورت

می‌گیرد. با استفاده از نرم افزار ArcGis 10.2 نسبت به پهنه بندی و قطعه بندی خط اقدام گردید.

#### ۴-۱- پهنه بندی و قطعه بندی محدوده مورد مطالعه با GIS

با استفاده از داده های جدول ۴ و نرم افزار ArcGis 10.2 مطابق اشکال ۵، ۶ و ۷ نسبت به پهنه بندی و قطعه بندی به طول ۳۰ کیلومتر از خط اقدام گردید.



شکل ۴. الگوریتم تحلیل اطلاعات

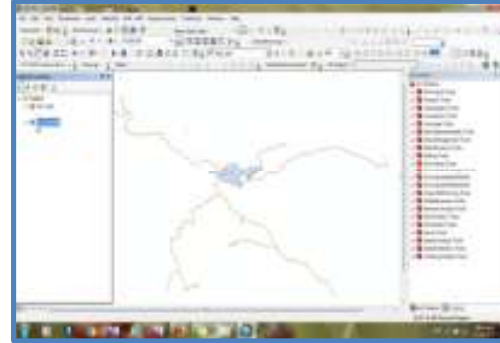
جدول ۳. داده های مورد نیاز جهت وارد کردن به نرم افزار ArcGis 10.2

Segment	X	Y	TGI	RCTGI	MIN
۱	۵۳۸۶۹۶.۳	۳۹۳۷۵۰.۱	۹۰.۱۴	۸۷.۰۹	۸۷.۰۹
۲	۵۳۹۱۸۸.۳	۳۹۳۶۵۲۹	۹۶	۸۹.۴۴	۸۹.۴۴
۳	۵۳۹۱۷۹.۱	۳۹۳۵۷۶۵	۸۲.۷	۸۲.۹۱	۸۲.۷
۴	۵۴۰۶۱۸.۲	۳۹۳۵۰۹۹	۸۵.۴۱	۸۱.۷۸	۸۱.۷۸
۵	۵۴۱۲۶۷.۹	۳۹۳۴۲۹۰	۹۰.۵۸	۸۵.۱۵	۸۵.۱۵
۶	۵۴۱۹۲۹.۹	۳۹۳۳۵۲۵	۹۰.۳۵	۸۳.۵۷	۸۳.۵۷
۷	۵۴۲۵۶۵.۱	۳۹۳۲۷۸۲	۸۰.۱۷	۷۶.۶۲	۷۶.۶۲
۸	۵۴۳۲۰۱.۹	۳۹۳۲۰۰۵	۸۵.۷۷	۸۴.۳۵	۸۴.۳۵
۹	۵۴۳۸۱۹.۴	۳۹۳۱۲۳۱	۷۵.۵۶	۸۲.۴	۷۵.۵۶
۱۰	۵۴۴۴۲۳.۳	۳۹۳۰۴۶۲	۸۳.۳۵	۷۸.۳۹	۷۸.۳۹
۱۱	۵۴۵۰۵۶۶	۳۹۲۹۶۸۱	۷۵.۱	۷۶.۵	۷۵.۱
۱۲	۵۴۵۶۸۴.۱	۳۹۲۸۸۶۷	۸۲.۸۱	۷۶.۳۷	۷۶.۳۷
۱۳	۵۴۶۳۱۰.۴	۳۹۲۸۰۷۵	۹۴.۰۶	۹۳.۵۷	۹۳.۵۷
۱۴	۵۴۶۹۳۳.۷	۳۹۲۷۲۸۶	۹۷.۴۸	۹۷.۵۴	۹۷.۴۸
۱۵	۵۴۷۵۴۳.۷	۳۹۲۶۵۱۴	۷۶.۴۲	۷۳.۹۹	۷۳.۹۹
۱۶	۵۴۸۱۴۶.۳	۳۹۲۵۷۳۷	۸۲.۱۴	۷۶.۰۸	۷۶.۰۸
۱۷	۵۴۸۷۲۴	۳۹۲۴۹۲۱	۸۸.۷۱	۷۹.۷۵	۷۹.۷۵
۱۸	۵۴۹۳۸۰.۱	۳۹۲۴۰۷۸	۷۵.۴۴	۸۲.۰۸	۷۵.۴۴
۱۹	۵۴۹۸۵۱	۳۹۲۳۲۱۷	۸۶.۶۹	۸۴.۰۹	۸۴.۰۹
۲۰	۵۵۰۴۰۸.۸	۳۹۲۲۳۸۶	۸۲.۶۳	۸۵.۹۲	۸۲.۶۳
۲۱	۵۵۰۹۵۳.۶	۳۹۲۱۵۷۸	۹۲.۷۸	۹۵.۷۱	۹۲.۷۸
۲۲	۵۵۱۵۱۷.۸	۳۹۲۰۷۴۸	۸۱.۳	۸۵.۸۸	۸۱.۳
۲۳	۵۵۲۰۷۸.۹	۳۹۱۹۹۰۸	۸۵.۵۳	۸۱.۶	۸۱.۶
۲۴	۵۵۲۶۰۸.۱	۳۹۱۹۱۱۱	۸۴.۶۹	۸۱.۷	۸۱.۷
۲۵	۵۵۳۱۴۳.۱	۳۹۱۸۳۲۶	۸۶.۰۵	۸۵.۹۷	۸۵.۹۷
۲۶	۵۵۳۶۷۰.۳	۳۹۱۷۴۷۲	۷۲.۰۳	۷۹.۷۹	۷۲.۰۳
۲۷	۵۵۴۱۹۹	۳۹۱۶۶۰۲	۷۷.۰۴	۷۸.۳۹	۷۷.۰۴
۲۸	۵۵۴۶۸۰.۸	۳۹۱۵۷۵۹	۷۲.۳	۸۲.۳۶	۷۲.۳
۲۹	۵۵۵۲۲۴	۳۹۱۴۹۶۸	۸۳.۷۴	۸۱.۵۴	۸۱.۵۴
۳۰	۵۵۵۸۶۱.۱	۳۹۱۴۱۷۸	۷۸.۰۶	۷۶.۰۱	۷۶.۰۱

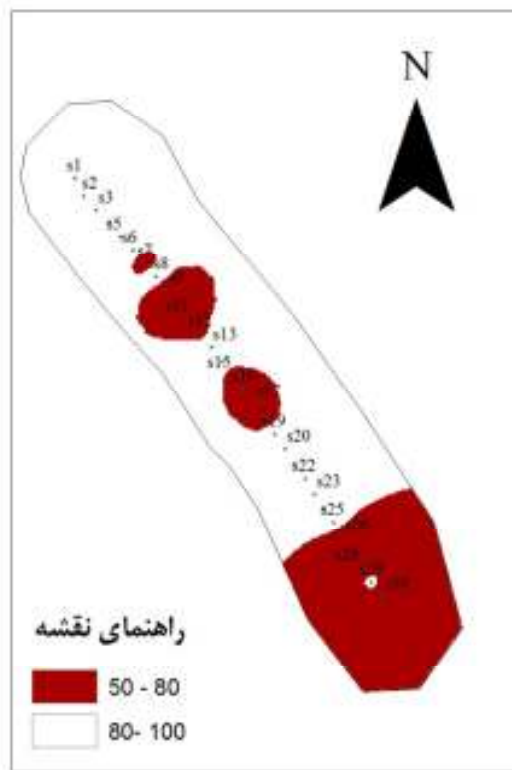




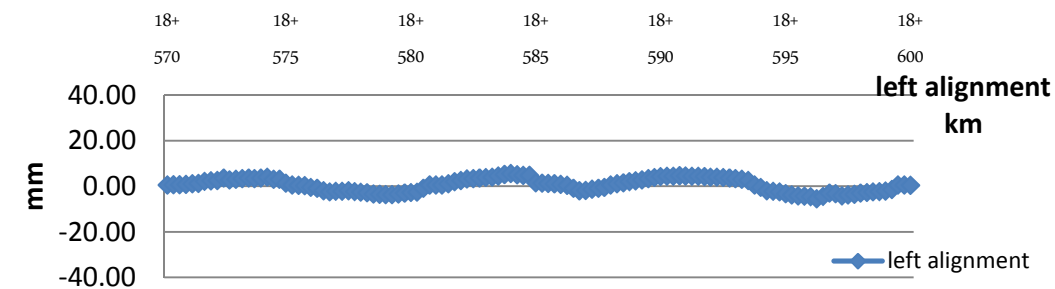
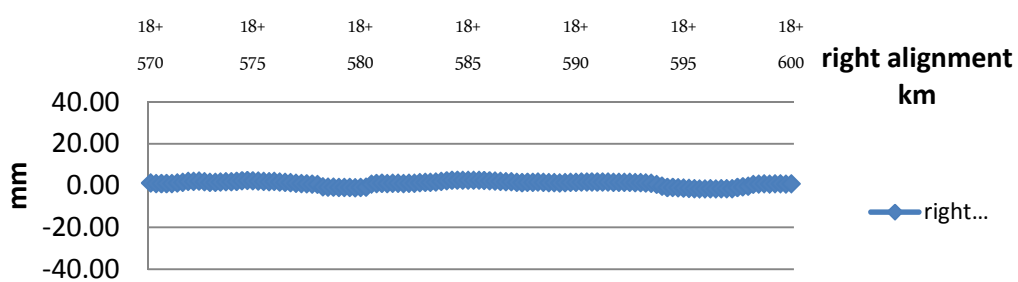
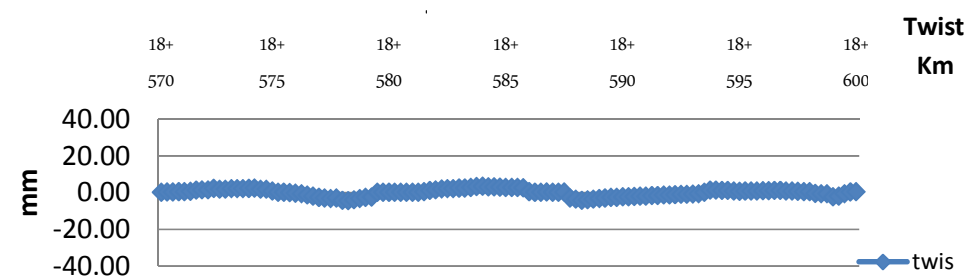
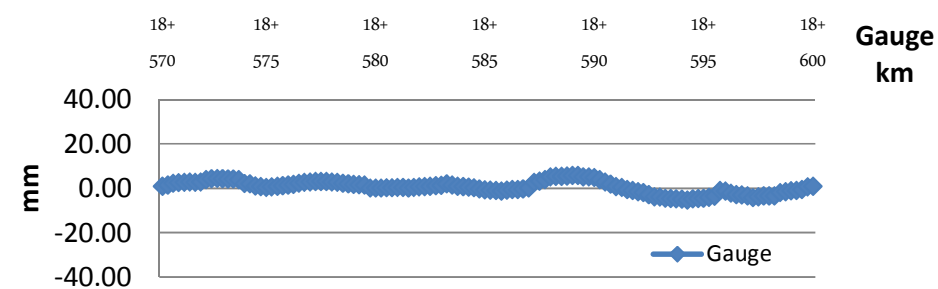
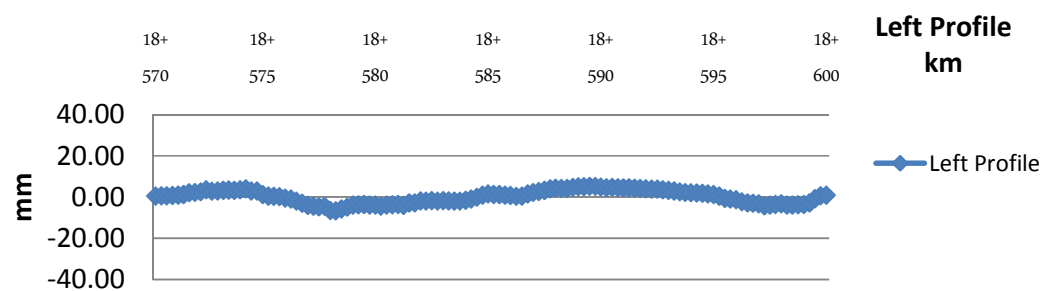
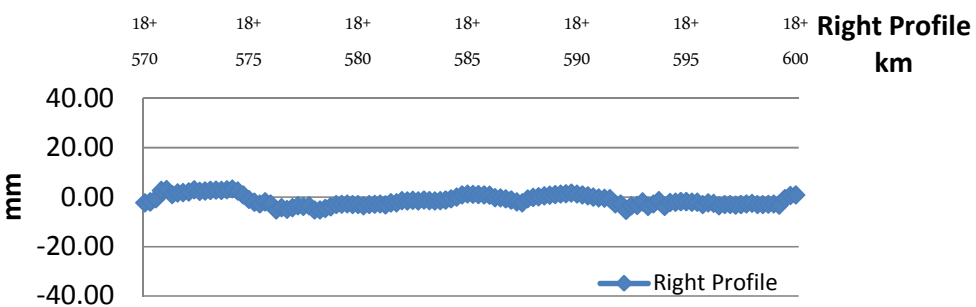
شکل ۶. طبقه بندی، کد گذاری و قطعه بندی



شکل ۵. شیپ فایل راه آهن کل کشور (سطح شبکه)



شکل ۷. خروجی جهت شناسایی نقاط بحرانی و غیر بحرانی



شکل ۸ نمونه اطلاعات برداشت شده در یک واحد نمونه ۳۰ متری

## ۵- کاربرد و اثربخشی شاخص - الگوریتم

بخش ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۸، ۱۷، ۱۶ و ۲۸) اقدامات تعمیر و نگهداری مورد نیاز به دست آمده از رویکرد فعلی بطور قابل توجهی متفاوت از رویکرد جدید است. این بدان معنی است که الگوریتم پیشنهادی، منجر به رویکرد دیگری برای برنامه ریزی یا برنامه ریزی فعالیت های تعمیر و نگهداری در مقایسه با روش های معمول می شود. به این معنی که در نظر گرفتن هر دو شاخص RCTGI و TGI در الگوریتم پیشنهادی برنامه های تعمیر و نگهداری را بر اساس دو معیار (ایمنی مسیر و راحتی سواری مسافر) فراهم می کند. در مرحله بعد، 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 مورد هدف قرار گرفت. برای این منظور مبنای اصلی این پژوهش، مطالعه تجارب موجود در ادبیات موضوع و بررسی وضعیت کمی و کیفی در شبکه خطوط ریلی ایران بوده است. در این تحقیق، شرایط موجود راه آهن ایران بررسی شد و مطالعات انجام شده در عرصه بین المللی در راستای ساخت یک الگوریتم اولویت بندی مورد تحلیل قرار گرفت. 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 فرآیند تجزیه و تحلیل داده ها تشریح شد. نتیجتاً روش طراحی و توسعه مدل های لازم جهت ارائه الگوریتم اولویت بندی تعمیر و نگهداری خطوط ارائه شد. کاربرد الگوریتم و مدل های توسعه یافته از طریق پیاده سازی آن در یک محور منتخب راه آهن ایران بررسی شد. 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.

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، در محور ری - ورامین از خط تهران - گرمسار مورد آزمون قرار گرفت. محور ری - ورامین بخشی از خطوط اصلی ناحیه راه آهن تهران می باشد. این محور دو خطه است و شامل سه ایستگاه ری، بهرام و ورامین می باشد. در جدول ۶ آمار مربوط به تاریخچه ساخت خط تهران - گرمسار ارائه شده است. این آمارها مربوط به خطوط تا پایان سال ۱۳۹۱ می باشد. جدول ۷ نیز خصوصیات روسازی در محور ری - ورامین را نشان می دهد. در اولین گام، خصوصیات خط و تاریخچه ساخت و تعمیرات خط از مراجع ذی صلاح استعلام و جهت تکمیل بانک اطلاعاتی در نرم افزار ثبت شد. در گام دوم، برداشت خرابی های هندسی خط به کمک ماشین اندازه گیری خط انجام گردید. با ورود اطلاعات به نرم افزار، شاخص هندسی از ۳۰ کیلومتر خط به محور فوق شامل ۳۰ قطعه (هر قطعه ۱ کیلومتر) انجام گردید.

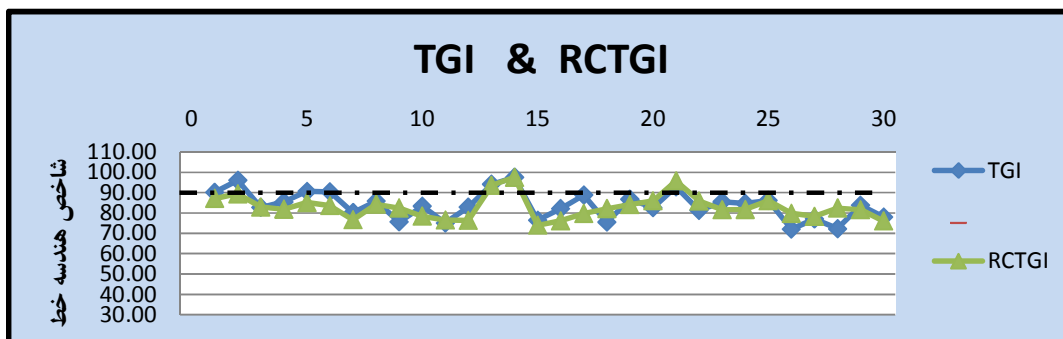
مقایسه نتایج نشان می دهد که اگر چه نتایج TGI و RCTGI در بیشتر بخش ها توافق خوبی دارند، اما TGI در برخی از بخش ها به طور قابل توجهی از RCTGI متفاوت است. به عنوان مثال، مسیر در بخش ۷ در شرایط بسیار خوب مبتنی بر TGI بود و نیازی به هیچ فعالیت تعمیر و نگهداری نبود، در حالی که این بخش با توجه به شاخص جدید (RCTGI) نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی داشت. این نشان می دهد که شاخص مورد استفاده در حال حاضر (به عنوان مثال، TGI) به تنهایی لزوماً منعکس کننده سطح راحتی سواری مسیر نیست. به عبارت دیگر، شاخص نگهداری فعلی نمیتواند پیش بینی سطح راحتی سواری مسافر را داشته باشد. این جدول نشان می دهد که در برخی از بخش ها (یعنی

جدول ۴. تعریف کدهای مورد استفاده در جدول ۷ [میر محمد صادقی، ۱۳۹۱]

کد	۱	۲	۳	۴	۵	۶
ریل	۶۰UIC	۳۳U	۵۰R	IIA	III A	
تراورس	بتنی	فلزی	چوبی	دی بلوک		
پابند	وسلو	پاندورل	K تیپ	فلزی	سه پیچ	کاستیل
جوش	طویل	مقطع	فاقد جوش			
کیفیت بالاست	عالی	خوب	متوسط	بد		

جدول ۵. طول خطوط اصلی به صورت محوری [میر محمد صادقی، ۱۳۹۱]

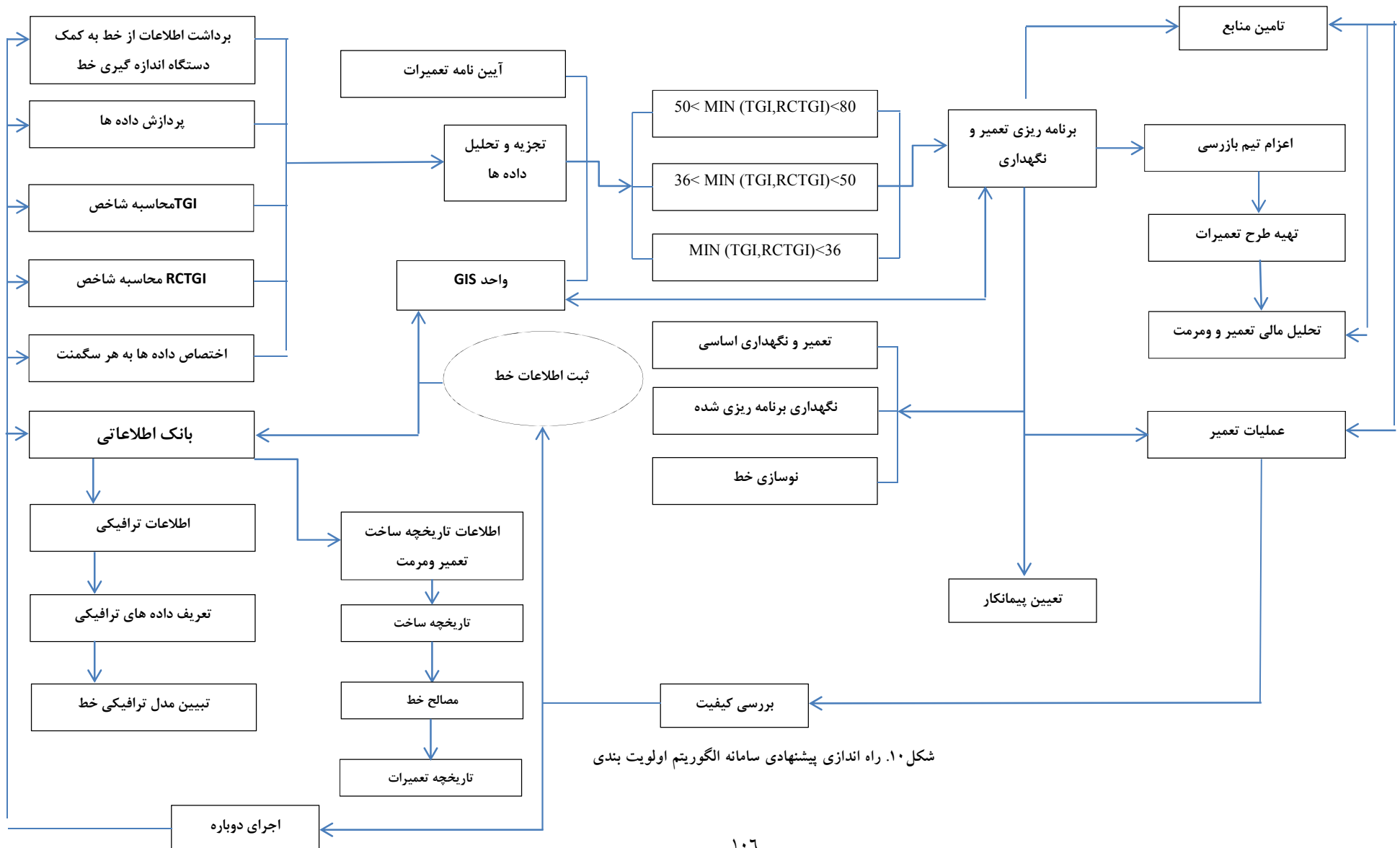
خط	فاصله از تهران	ایستگاه ها	شماره ایستگاه	ریل	تراورس	پابند	جوش	آلودگی بالاست	تعداد تونل	حداکثر فراز		کوچکترین قوس	
										زوج	فرد	شعاع	تعداد
زوج	۳	بهرام-ری	۱۲۰	۱و۲	۱	۲	۱و۲	۲	۰	۱۵	۱۵	۶۰۰	۱
فرد	۳	بهرام-ری	۹۰	۱و۲	۳	۳	۱و۲	۳	۰	۱۵	۱۵	۶۰۰	۱
زوج	۲۶	ورامین-بهرام	۱۲۰	۱و۲	۱	۱	۱و۲	۲	۰	۱۵	۱۵	۱۰۰۰	۱
فرد	۲۶	ورامین-بهرام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



شکل ۹. نمودار مقایسه شاخص های TGI و RCTGI برای بخش های انتخابی مسیر

جدول ۶. مقایسه نتایج شاخص های TGI و RCTGI

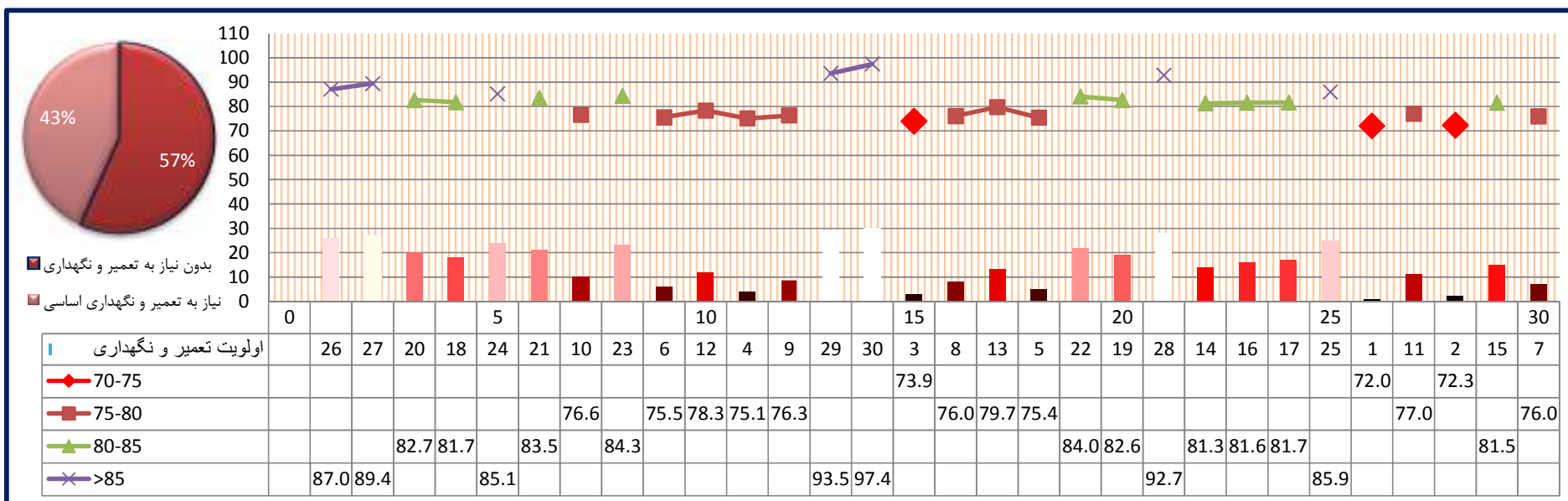
شماره هر قطعه	TGI			RCTGI		
	مقدار شاخص	وضعیت خط	الزامات تعمیر و نگهداری	مقدار شاخص	وضعیت خط	الزامات تعمیر و نگهداری
۱	۹۰.۱۴	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۷.۰۹	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۲	۹۶.۰۰	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۹.۴۴	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۳	۸۲.۷۰	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۲.۹۱	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۴	۸۵.۴۱	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۱.۷۸	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۵	۹۰.۵۸	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۵.۱۵	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۶	۹۰.۳۵	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۳.۵۷	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۷	۸۰.۱۷	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۷۶.۶۲	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
۸	۸۵.۷۷	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۴.۳۵	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۹	۷۵.۵۶	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)	۸۲.۴۰	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۱۰	۸۳.۳۵	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۷۸.۳۹	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
۱۱	۷۵.۱۰	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)	۷۶.۵۰	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
۱۲	۸۲.۸۱	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۷۶.۳۷	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
۱۳	۹۴.۰۶	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۹۳.۵۷	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۱۴	۹۷.۴۸	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۹۷.۵۴	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۱۵	۷۶.۴۲	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)	۷۳.۹۹	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
۱۶	۸۲.۱۴	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۷۶.۰۸	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
۱۷	۸۸.۷۱	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۷۹.۷۵	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
۱۸	۷۵.۴۴	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)	۸۲.۰۸	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۱۹	۸۶.۶۹	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۴.۰۹	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۲۰	۸۲.۶۳	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۵.۹۲	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۲۱	۹۲.۷۸	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۹۵.۷۱	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۲۲	۸۱.۳۰	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۵.۸۸	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۲۳	۸۵.۵۳	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۱.۶۰	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۲۴	۸۴.۶۹	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۱.۷۰	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۲۵	۸۶.۰۵	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۵.۹۷	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۲۶	۷۲.۰۳	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)	۷۹.۷۹	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
۲۷	۷۷.۰۴	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)	۷۸.۲۹	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)
۲۸	۷۲.۳۰	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)	۸۲.۳۶	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۲۹	۸۲.۷۴	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	۸۱.۵۴	بسیار خوب	(بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)
۳۰	۷۸.۰۶	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)	۷۶.۰۱	خوب	(نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)



### ۶- نتیجه گیری

در الگوریتم پیشنهادی، هر دو شاخص RCTGI و TGI برای برنامه ریزی تعمیر و نگهداری مورد توجه قرار گرفتند. مزایای الگوریتم جدید، نه تنها ایمنی مسیر را تضمین می کند، بلکه سطح راحتی سواری مسیر مورد نیاز را نیز فراهم می کند. نتایج حاصل 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. با توجه به داده های بدست آمده و نمودار ذیل ۵۷ درصد مسیر بدون نیاز به تعمیر و نگهداری و ۴۳ درصد مسیر نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی دارد. همچنین محلهایی که در اولویت تعمیر و نگهداری می باشند با رنگ تیره مشخص می گردد و بترتیب با کم رنگ شدن از اولویت آنها کاسته خواهد شد.



شکل ۱۱. نمودار نتایج نهایی برای بخش های انتخابی مسیر

## ۷-مراجع

- models for the analysis of complex railway networks, *Wear*, (309) pp.174-191.
- Jia, C., Xu, W., Wang, H. (2011), "Study of management information system of railway permanent way safety risks and comprehensive evaluation", *Procedia Engineering*, (15) pp.1293-1297.
- Jun, H.K., Seo, J.W., Jeon, I.S., Lee, S.H., Chang, Y.S. (2016), "Fracture and fatigue crack growth analyses on a weld-repaired railway rail", *Engineering Failure Analysis*, (59) pp.478-492.
- Mundrey, J. S. (2009), "Railway track engineering, 4th Ed., Tata McGraw-Hill Education", New Delhi, India, pp.481-522.
- Preston, J., and Wall, G. (2007), "Meeting rail passenger user needs: The role of information technologies." *Proc., 11th World Conf. on Transport Research, World Conference on Transport Research Society, Lyon, France.*
- Talukdar, K., Arulmozhi, U., Prabhakar, K., and Satyanarayan. (2006), "Project presentation improvement of TGI value by computer analysis. "Ministry of Railways, Indian Railways Institute of Civil Engineering, India.
- Zheng, Z., Qi, H., Zhang, H., Ren, D. (2014), "Laser repairing of damaged steel rail with filler wire, *Proceedings of Measuring Technology and Mechatronics Automation*", pp.383-386.
- گروه خط و ابنیه، مرکز تحقیقات راه آهن، (۱۳۸۲)، "بررسی اولیه سیستم تعمیر و نگهداری خطوط راه آهن".
- میرمحمدصادقی، س.ج.، (۱۳۹۵)، "بهبود رویکرد تعمیر و نگهداری راه آهن با ایجاد یک شاخص وضعیت جدید راه آهن".
- میر محمد صادقی، س.ج.، (۱۳۹۱)، "توسعه الگوریتم اولویت بندی و برنامه ریزی برای نگهداری و تعمیرات خطوط راه آهن ایران".
- Asada, T., Roberts, C., Koseki, T. (2013), "An algorithm for improved performance of railway condition monitoring equipment: Alternating current point machine case study", *Transportation Research Part C*, (30) pp.81-92.
- Busstra, M., Dongen, L.V. (2015), "creating value by integrating logistic train's services and maintenance activities", *Procedia CIRP* (38) pp.250-254
- Foguem, B.K., Wandji, Y.F., Foguem, G.T. (2015), "Experienced knowledge for the description of maintained packages", *Journal of Manufacturing Systems*.
- Horenbeek, A.D., Bure, J., Cattrysse, D., Pintelon, L., Vansteenwegen, P. 2013. *INT.J. Production Economics*, (143) 499-508 pp.
- Innocenti, A., Marini, L., Meli, E., Pallini, G., Rindi, A. 2014. *Development of wear*