Archive of SID

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: ۹۷/۰٤/۲۰

صفحه۱۱۱-۹۳

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 سواری مسافرتی در روش های نگهداری مسیر فعلی ارائه شد. مزایای رویکرد جدید تعمیر و نگهداری با استفاده از ارزیابی خروجی های آن با رویکرد فعلی نشان داده شده است. که الگوریتم نگهداری جدید نه تنها ایمنی مسیر بلکه سطح مورد نیاز راحتی سواری مسافرتی را نیز تضمین می کند. 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

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 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

www.SID.ir

Archive of SID

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، به‌طوری‌که 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 به‌طورکلی 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 این‌حال، آنچه می‌تواند مورد ملاحظه و استفاده در ساختار الگوریتم‌های اولویت‌بندی 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 ٤ مرحله در این تحقیق ساخته شده است. در مرحله اول، شبکه ریلی طبقه‌بندی، کدگذاری و سپس قطعه‌بندی می‌شود، به‌طوری‌که 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، به‌طوری‌که 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

www.SID.ir

Archive of SID

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

بدین‌ترتیب، 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، به‌طوری‌که اطلاعات به‌صورت روزانه قابل به‌روز 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.

شکل ۱. ساختار بانک اطلاعاتی خط در مدل پیشنهادی

www.SID.ir

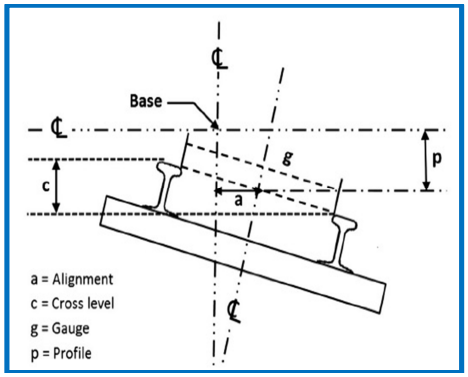
Archive of SID

۲-۳- تدوین شاخص کیفیت 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 به‌صورت 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 به‌دست می‌آید. بدیهتاً ساخت این نوع شاخص هزینه‌بر بوده و نیاز به پرسنل زیادی جهت برداشت اطلاعات دارد. علاوه براین، 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 به‌دست می‌آید. ساخت شاخص نوع هندسی از آن‌جایی که اطلاعات هندسی خط (عرض خط، دیلم، پایین‌افتادگی ریل و پیچش خط) به‌صورت مکانیزه به کمک ماشین اندازه‌گیری خط برداشت شده، سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌باشد. به‌علت زمان‌گیر و پرهزینه بودن ساخت شاخص سازه‌ای، در کلیه کشورهایی 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 نیزمورداستفاده قرار می گیرد. در این روش که مبتنی بر تحلیل آماری و انحراف معیار است، برای ترکیب پارامترهای مختلف از روش میانگین وزنی استفاده می‌شود[Mundrey, 2009] . با در نظر گرفتن اثر هرپارامتر (اعوجاج، راستا، عرض خط، پروفیل) روی شاخص حرکتی، ضرایب وزنی متفاوتی برای پارامترهای مختلف به دست می آید[Talukdar, 2006] .

(۱)

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



شکل ۲. پارامترهای هندسی خط

(۲)

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

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 مسافرین راه آهن است و همیشه یکی از مهمترین عوامل موفق در کسب و کار حمل و نقل عمومی است [Preston, 2007] دراین خصوص توسط جناب دکتر جوادصادقی وهمکاران شاخصی پیشنهاد شده است، بنام RCTGI (Ride Comfort Track Geometry Index) شاخص راحتی مسافرمی‌باشد، که ، در یک تحقیق جامع و تجزیه و تحلیل آماری داده ها به دست آمده و با ترکیب پارامترهای هندسه خط (پروفایل، 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 می گیرد؛ 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].

www.SID.ir

Archive of SID

(۳)

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

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

۳- 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 اندازه گیری خط EM 120 حاصل شد.انحراف از دو پارامتر دیگر نمی تواند مستقیما از دستگاه حاصل شود. به منظور محاسبه انحراف از مشخصات و تراز بندی از داده های دستگاه، روش فیلتر کردن متوسط متحرک استفاده شد. بر اساس این روش، انحراف در هر نقطه با محاسبه تفاوت بین مقدار پارامتر (اندازه گیری شده در نقطه) و میانگین داده های 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 داده های اندازه گیری شده به محل خط به صورت اتوماتیک توسط دستگاه ضبط EM 120 انجام می شود.

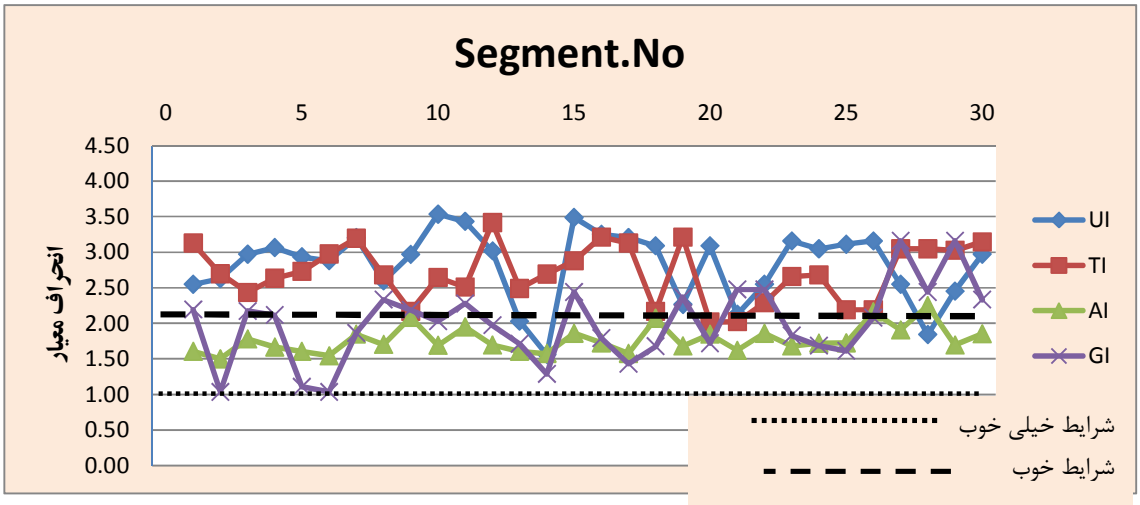
۳-۱- محاسبه شاخص‌های پارامتر هندسی

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 می شوند عبارتند از: ۱- مقدار میانگین ۲- انحراف معیارحال باید پارامترهای مربوط به شاخص های هندسی محاسبه گردد. با توجه به داده های ماشین اندازه گیری خط، انحراف معیار برای پارامترهای هندسی مطابق فرمول ٤ محاسبه شد.

$$SD = [\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Xi\bar{X})^2]^{1/2} \qquad (٤)$$

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 ٤ و بیشتر از ٤ وضعیت مسیر در شرایط بسیار خوب، خوب، متوسط و ضعیف طبقه بندی گردید و منحنی های انحراف هر کدام از آنها ترسیم شد[میر محمد صادقی، ۱۳۹۵] .

سپس با مقادیر انحراف های بدست آمده با توجه به فرمول ٤ و با استفاده از داده های جدول۱ مقادیر پارامترهای هندسی بدست آمد.



شکل۳. نمودار شاخص‌های پارامتر هندسی برای بخش‌های انتخاب شده خط

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱. 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	٦.۲۰	۷.۲۰
پیچ	۱.۷۵	۳.۸۰	٤.۲۰
هم ترازی	۱.۵۰	۳.۰۰	۳.۰۰
اندازه گیری	۱.۰۰	۳.٦۰	٤.٦۰

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

شرایط پیگیری (نیاز به تعمیر و نگهداری)	TGI
بسیار خوب (بدون نیاز به تعمیر و نگهداری)	TGI > ۸۰
خوب (نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی)	۵۰ < TGI < ۸۰
متوسط (نگهداری برنامه ریزی شده)	۳٦ < TGI < ۵۰
ضعیف (نگهداری فوری)	TGI < ۳٦

روابط TGI و RCTGI مورد استفاده قرار گرفتند و با ورود اطلاعات حاصله از برداشت های 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 تعمیری برای یک قطعه در جدول ۲ پیشنهاد می شود.

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.

www.SID.ir

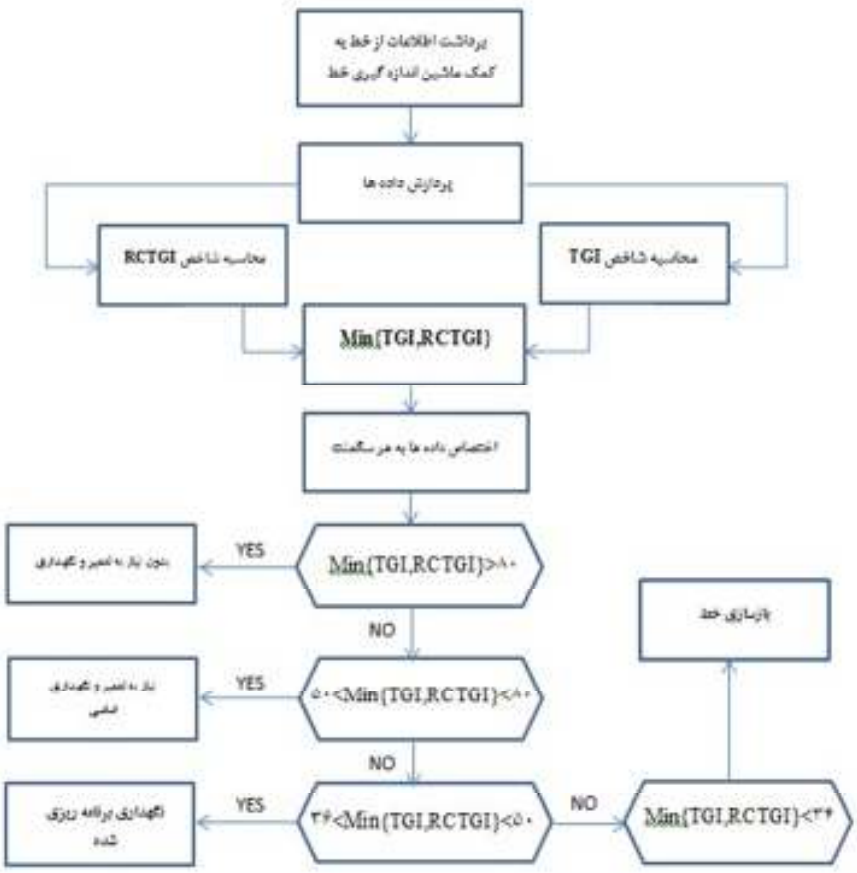
Archive of SID

٤- 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 ٤، تحلیل اطلاعات صورت می‌گیرد. با استفاده از نرم افزار ArcGis10.2 نسبت به پهنه بندی و قطعه بندی خط اقدام گردید.

٤-١- پهنه بندی و قطعه بندی محدوده مورد مطالعه با GIS

با استفاده از داده های جدول ٤ ونرم افزار ArcGis 10.2 مطابق اشکال ٥، ٦و٧ نسبت به پهنه بندی و قطعه بندی به طول ۳۰ کیلومتر از خط اقدام گردید.



شکل ٤ .الگوریتم تحلیل اطلاعات

www.SID.ir

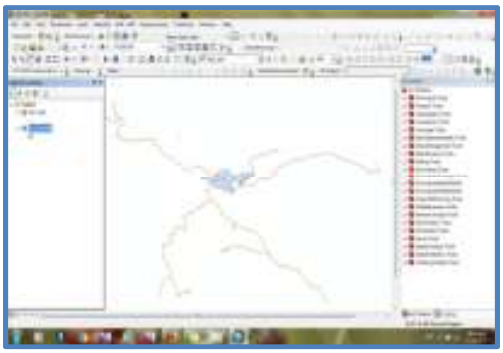
Archive of SID

جدول۳. داده های مورد نیاز جهت وارد کردن به نرم افزار ArcGis 10.2

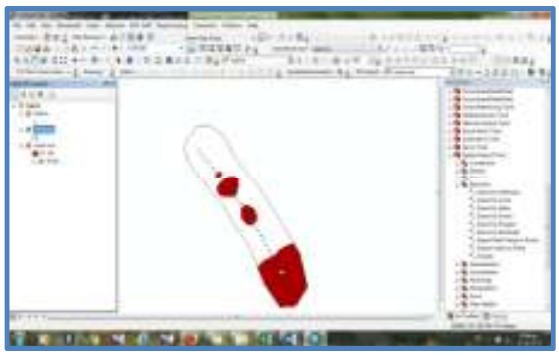
Segment	X	Y	TGI	RCTGI	MIN
۱	۵۳۸۶۹۶.۲	۳۹۳۷۵۰۱	۹۰.۱۴	۸۷.۰۹	۸۷.۰۹
۲	۵۳۹۱۸۸.۲	۳۹۳۶۵۲۹	۹۶	۸۹.۴۴	۸۹.۴۴
۳	۵۳۹۸۷۹.۱	۳۹۳۵۷۶۵	۸۲.۷	۸۲.۹۱	۸۲.۷
۴	۵۴۰۶۱۸.۲	۳۹۳۵۰۹۹	۸۵.۴۱	۸۱.۷۸	۸۱.۷۸
۵	۵۴۱۲۶۷.۹	۳۹۳۴۲۹۰	۹۰.۵۸	۸۵.۱۵	۸۵.۱۵
۶	۵۴۱۹۲۹.۹	۳۹۳۳۵۲۵	۹۰.۳۵	۸۳.۵۷	۸۳.۵۷
۷	۵۴۲۵۶۵.۱	۳۹۳۲۷۸۲	۸۰.۱۷	۷۶.۶۲	۷۶.۶۲
۸	۵۴۳۲۰۱.۹	۳۹۳۲۰۰۵	۸۵.۷۷	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	۵۴۵۰۵۶.۶	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	۵۴۹۲۸۰.۱	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	۷۸.۲۹	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

www.SID.ir

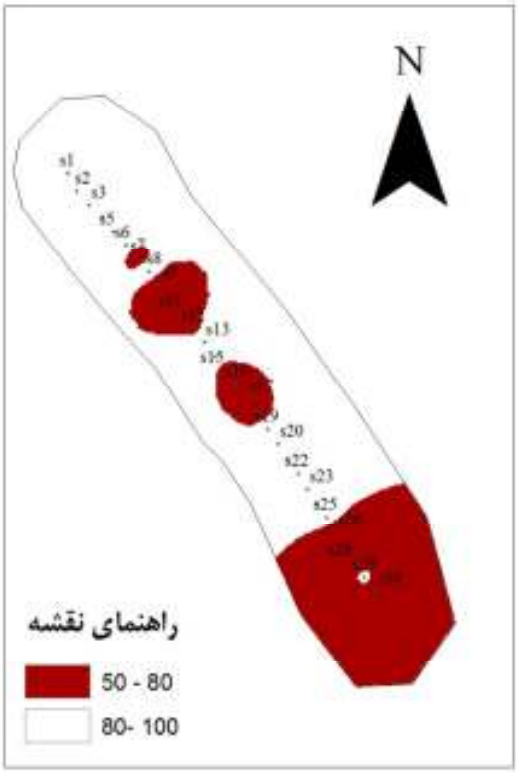
Archive of SID



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



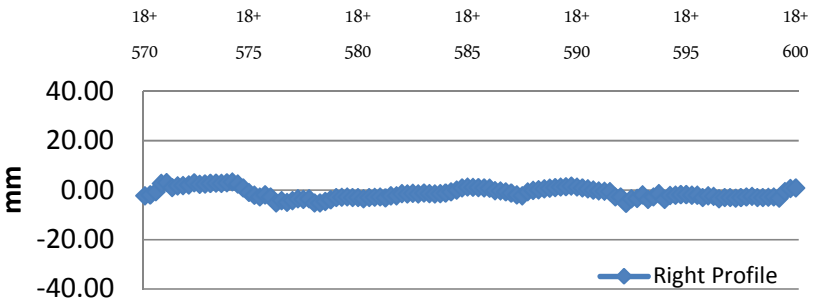
شکل ٦. طبقه بندی ، کد گذاری و قطعه بندی

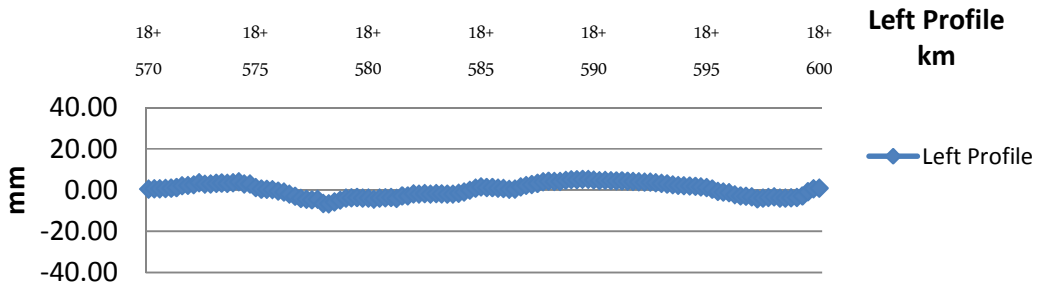


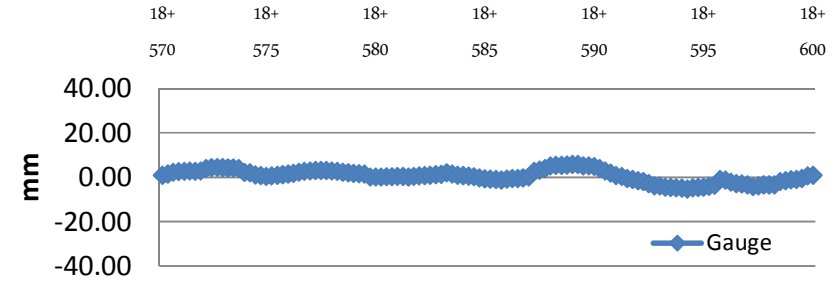
شکل ۷. خروجی جهت شناسایی نقاط بحرانی و غیر بحرانی

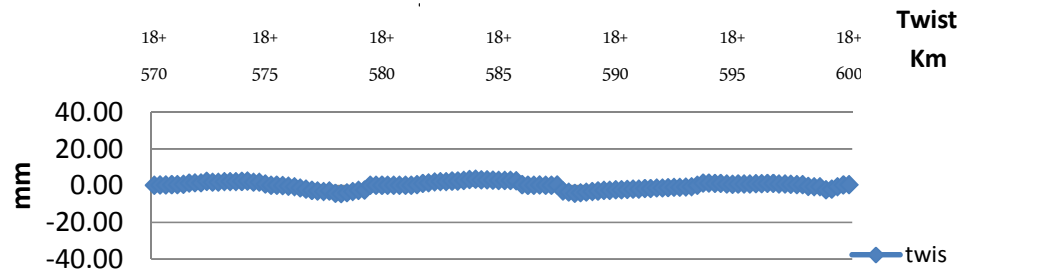
www.SID.ir

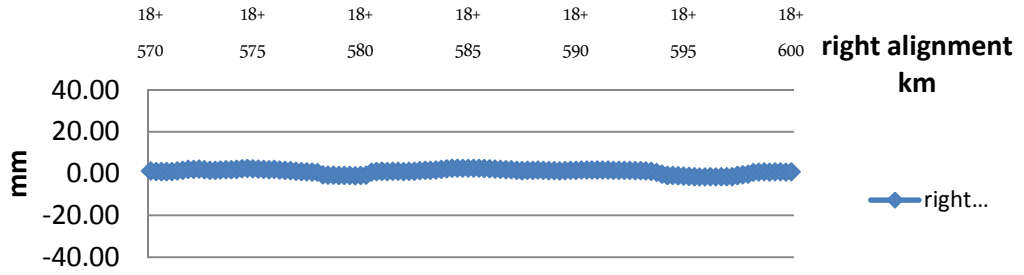
Archive of SID

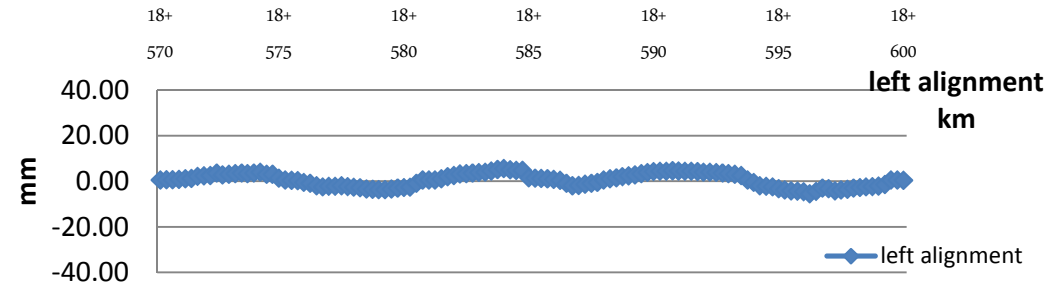












شکل ۸ نمونه اطلاعات برداشت شده در یک واحد نمونه ۳۰متری

www.SID.ir

Archive of SID

۵- کاربرد و اثربخشی شاخص - الگوریتم

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 ٦ 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 بخش‌ها 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 لزوما 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 بخش ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱٦،۱۷،۱۸و۲۸) 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.

www.SID.ir

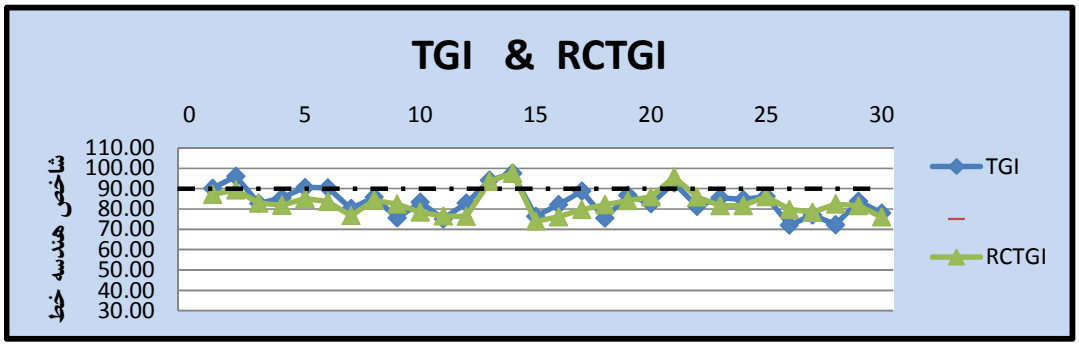
Archive of SID

جدول ٤. تعریف کدهای مورد استفاده در جدول۷ [میر محمد صادقی، ۱۳۹۱**]**

کد	۱	۲	۳	۴	۵	۶
ریل	۶۰UIC	۳۳U	۵۰R	IIA	IIIA	
تراورس	بتنی	فلزی	چوبی	دی بلوک		
پابند	وسلو	پاندورل	Kتیپ	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	حداکثر سرعت	ریل	تراورس	پابند	جوش	آلودگی با لاست	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. نمودارمقایسه شاخص های RCTGI و TGI برای بخش های انتخابی مسیر

www.SID.ir

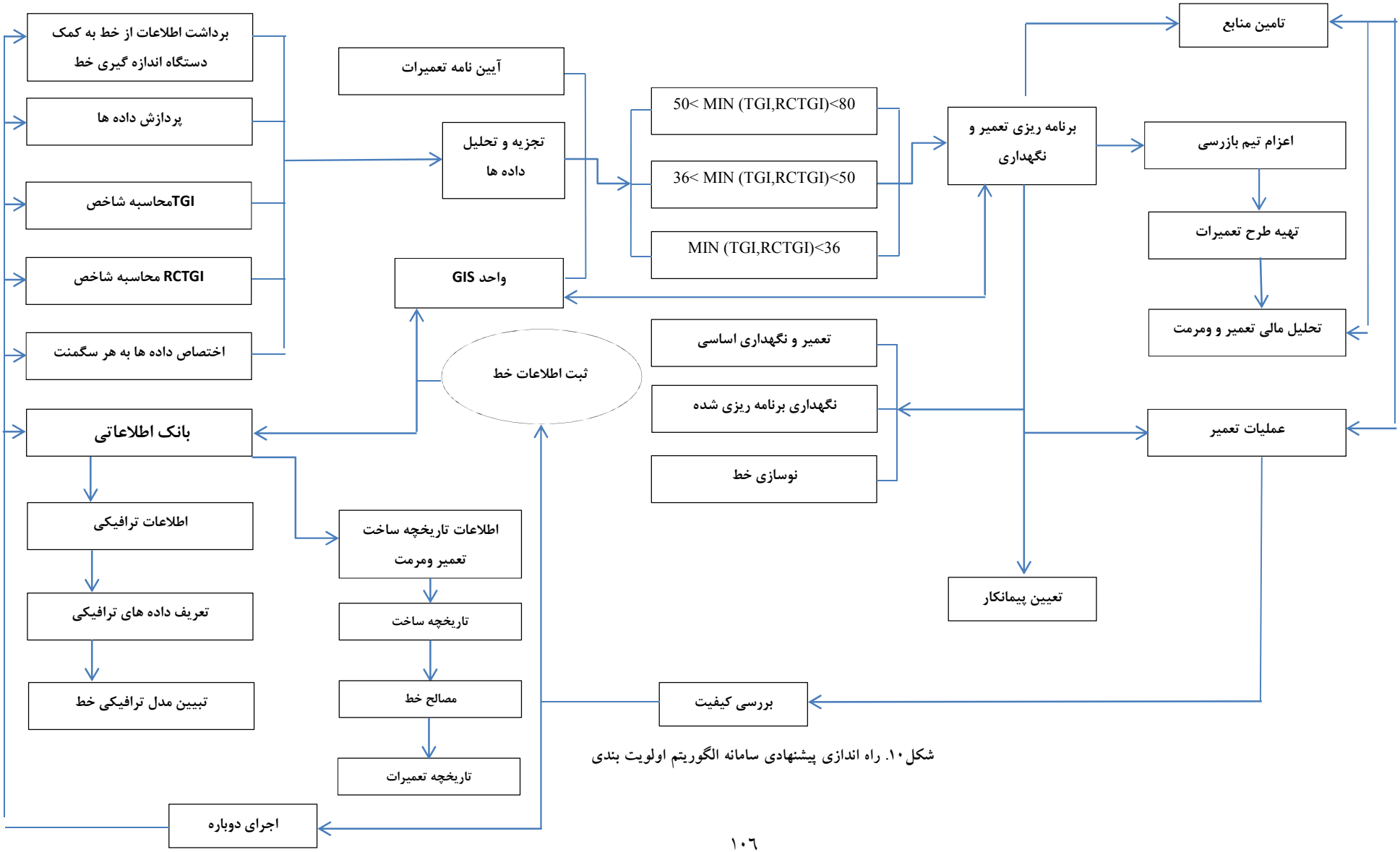
Archive of SID

جدول ٦. مقایسه نتایج شاخص هایTGI وRCTGI

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	۸۳.۷۴	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)

www.SID.ir

Archive of SID



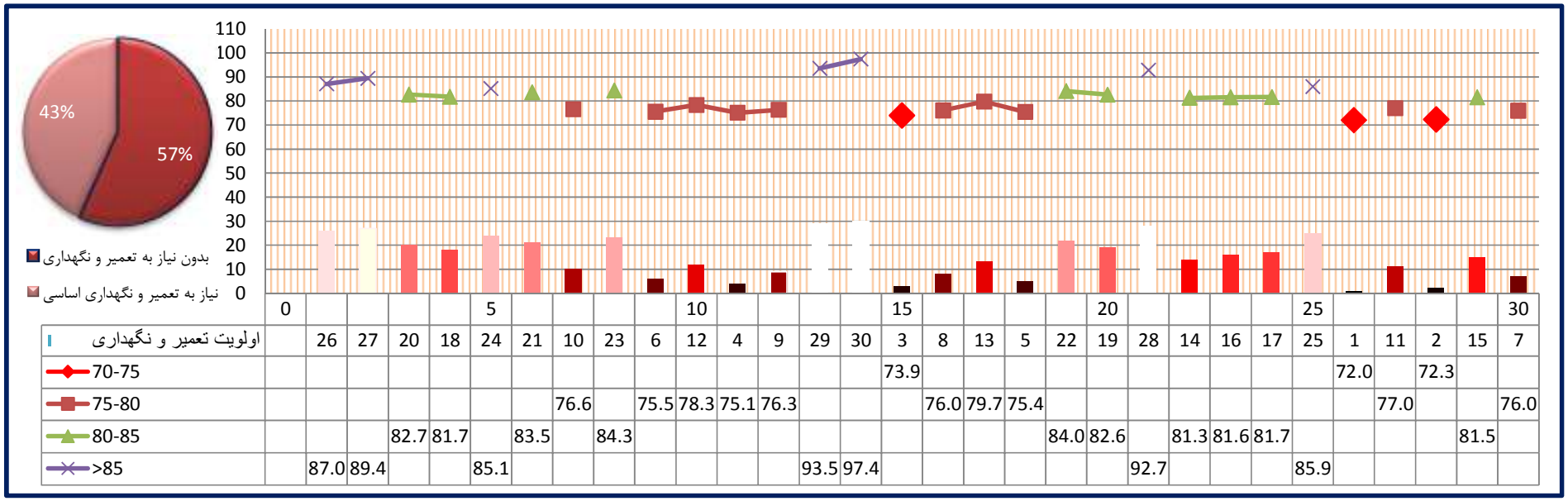
شکل ۱۰. راه اندازی پیشنهادی سامانه الگوریتم اولویت بندی

www.SID.ir

Archive of SID

٦-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 ٤٣ درصد مسیر نیاز به تعمیر و نگهداری اساسی دارد. وهمچنین محلهایی که در اولویت تعمیر و نگهداری می‌باشند با رنگ تیره مشخص می‌گردد و بترتیب با کم رنگ شدن از اولویت آنها کاسته خواهد شد.



0					5					10					15					20					25					30
اولویت تعمیر و نگهداری		26	27	20	18	24	21	10	23	6	12	4	9	29	30	3	8	13	5	22	19	28	14	16	17	25	1	11	2	15	7
70-75																73.9											72.0		72.3		
75-80								76.6		75.5	78.3	75.1	76.3				76.0	79.7	75.4									77.0			76.0
80-85				82.7	81.7		83.5		84.3											84.0	82.6		81.3	81.6	81.7				81.5	
>85		87.0	89.4			85.1								93.5	97.4							92.7				85.9					

شکل ۱۱. نمودار نتایج نهایی برای بخش های انتخابی مسیر

www.SID.ir

Archive of SID

۷-مراجع

-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 راه‌آهن 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 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.

www.SID.ir