استفاده از فناوری رادار
جهت جلوگیری از برخورد قطارها با موانع

یکی از اساسی‌ترین ارکان سیستم‌های حمل‌ونقل در دنیا مقوله «ایمنی» می‌باشد. راه‌آهن نیز بعنوان یک از مدهای حمل‌ونقل ازاین قاعده مستثنی نبوده و با توجه به مکانیزم حرکت و سرعت و کنترل وسایل نقلیه ریلی (علی‌الخصوص قطارهای مسافری) ایمنی نقش اساسی در سیر قطارها ایفا می‌کند. آنچه در ذهن مسافرین از قطار تداعی می‌شود وسیله‌ای با امکانات رفاهی و تجهیزات مناسب است که فرصت لذت بردن از طول مسیر را برای افراد فراهم کرده و بدیهی است که این خاطره شیرین تحت واژه‌ای بنام «ایمنی» تحقق خواهد یافت. کمتر مسافری است که در مقابل پرسش دلیل انتخاب قطار، از ایمن بودن آن یاد نکند. لذا حفظ این شاخصه برای راه‌آهن بسیار مهم و کلیدی بوده و ارتقاء آن خواهد توانست جایگاه راه‌آهن را به عنوان مطمئن‌ترین مد حمل‌ونقل تثبیت نماید.

محمود فخرائی گشتی
رئیس گروه مسافری اداره کل راه‌آهن شمال۲

محمدرضا ملاح
معاون فنی اداره کل راه‌آهن شمال

فرزانه نظری‌زاده، کارشناس مسافری اداره کل برنامه‌ریزی و نظارت بر خدمات مسافری

مجتبی عبداللهی
کارشناس مسافری اداره کل راه‌آهن شمال۲

همانطورکه بیشتر اشاره شد ایمنی، اساسی‌ترین رکن حمل‌ونقل ریلی است و توجه به این موضوع علاوه بر بالا رفتن اقبال عمومی موجب رشد سهم راه‌آهن از بازار حمل‌ونقل می‌گردد. قطعا این افزایش سهم تبعات دیگری از قبیل کاهش بار ترافیک جاده‌ها، مصرف سوخت، تلفات جاده‌ای و ... را به همراه خواهد داشت. لذا می‌توان گفت که ایمنی، کانون توجهات حمل‌ونقل ریلی بوده و ایده پردازی جهت ارتقاء آن و جلوگیری از حوادث ریلی بسیار ارزشمند و گاها راهگشا خواهد بود.

۱. حوادث ریلی

با اینکه از حمل‌ونقل ریلی به عنوان ایمن‌ترین مد حمل‌ونقل یاد می‌شود لیکن در این سیستم نیز ممکن است بدلیل قصور یا اهمال در اجرای مقررات ایمنی سیر و حرکت قطارها، سوانح مختلفی برای وسایل نقلیه ریلی ایجاد شود که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

خروج از خط • آتش سوزی • گسیختگی • فرار • برخورد با عابر • برخورد با حیوانات • برخورد با وسیله مانده بر روی خط • و ....

همانگونه که مشخص است برخورد از شایع‌ترین سوانح ریلی بوده که می‌تواند با موانع مختلفی همچون عابرین، خودروها، ماشین‌آلات و... رخ دهد. لیکن برخورد با عابر به دلیل تبعات اجتماعی و فراوانی که برای راه‌آهن به همراه دارد اهمیتی دوچندان پیدا می‌کند. علیرغم نص صریح مقررات و قوانین حاکم مبنی بر تعیین حریم خطوط ریلی و منع ورود آن، همچنان راه‌آهن درگیر محاکم قضایی و پرونده‌های ناشی از تجاوز به حریم و بروز خسارات مالی و تلفات جانی ناشی از آن می‌باشد. سالانه تعدادی از هموطنان حاشیه شبکه ریلی بدلیل عدم رعایت و تجاوز به حریم ریلی از بین رفته یا دچار آسیب‌های جدی جسمی می‌گردند. معلولیت‌های گسترده، ازکار افتادگی، تحمیل هزینه‌های فراوان بهبود و نگهداری فرد آسیب دیده، بروز آسیب به کانون خانواده، گسترش ناهنجاری‌های اجتماعی از قبیل فروپاشی کانون خانواده، اعتیاد و ... از تبعات برخورد قطار با عابرین می‌باشد.

در حال حاضر تنها عامل رصد مسیر ریلی، راهبر قطار است که میدان دید آن در بهترین شرایط (از نظر روشنایی هوا، مه‌آلود بودن، شیب و فراز، قوس و ...) از چند صد متر تجاوز نکرده و در زمان تاریکی شب و شرایط نامساعد جوی به چند ده متر تقلیل می‌یابد. حال اگر این شرایط را درکنارِ طول خط ترمز قطارها که با افزایش سرعت، گاهاً به بیش از ۱۰۰۰ متر می‌رسد قرار دهیم بر وخامت مشکل افزوده خواهد شد. با توجه به مطالب فوق‌الذکر لزوم پیش‌بینی سیستم‌های هشدار دهنده و فرماندهی جهت جلوگیری از برخورد قطار با موانع (خصوصا با عابرین) بیش از پیش احساس می‌گردد. اهمیت این موضوع با افزایش سرعت قطارها در بلاک‌ها (حدفاصل دو ایستگاه) که امری اجتناب ناپذیر است دوچندان می‌شود.

۲. فناوری‌های رایج برای جلوگیری از برخورد

با توجه به اینکه از خودرو به عنوان نزدیکترین رقیب حمل‌ونقل ریلی یاد می‌شود لذا ابتدا فناوری‌های بکار رفته در بخش حمل‌ونقل جاده‌ای را که به منظور جلوگیری از برخورد با موانع بکارگیری شده‌اند را نام می‌بریم:

ترمز اضطراری خودکار
تثبیت سرعت تطبیقی
سیستم هشدار دهنده خروج از مسیر
سیستم تشخیص نقطه کور
هشدار و تطبیق سرعت هوشمند

در یک سیستم معمولی هشداردهنده سرعت مجاز، زمانی که سرعت خودرو از یک حد مشخص شده (به عنوان مثال ۱۲۰ km/h) تجاوز کند یک هشدار دهنده صوتی/ بصری به راننده اعلام خطر می‌کند. اما در سیستم تطبیقی، سقف سرعت مجاز با توجه به تابلوهای محدودیت سرعت هر محدوده تنظیم می‌شود و به راننده هشدار لازم را می‌دهد. در صورتی که راننده به پیغام هشدار توجه نکند سیستم می‌تواند از افزایش سرعت خودرو جلوگیری کند. تشخیص محدودیت سرعت از دو طریق «پردازش تصویر تابلوهای مسیر بوسیله دوربین» و یا «استفاده از نقشه تابلوهای سرعت و GPS» انجام می‌شود.

همانطورکه اشاره شد در خودرو، مکانیزم‌های مختلفی برای جلوگیری از برخورد با موانع و رانندگی ایمن پیش‌بینی شده که عموما بر پایه رادار و دوربین طراحی شده‌اند. با بررسی بعمل آمده مشخص گردید در راه‌آهن نیز می‌توان به منظور افزایش ایمنی حرکت و کاهش ریسک ناشی از زیاد شدن سرعت حرکت و عدم توانایی راهبر در کنترل مطمئن حرکت قطارها از تجهیزات مکانیزه تحت عنوان «سیستم‌های کنترل اتوماتیک قطار» استفاده نمود. این سیستم‌ها که به تدریج در راه‌آهن‌های دنیا تکامل یافته‌اند دارای مراحل و سطوح مختلفی هستند:

ATS : این سیستم هشدار دهنده ساده‌ترین سیستم کنترلی است که در یک مسیر علایمی استفاده می‌شود. این سیستم در فاصله مناسبی قبل از محل خطر نصب شده و توسط آلارم مخصوصی نزدیک شدن قطار به محل خطر را به اطلاع راننده می‌رساند. اولین قدم، سیگنالینگ کردن داخل کابین ATS است. این سیستم بر عملکرد راننده در هنگام عبور از چراغ قرمز نظارت داشته و در صورت عملکرد اشتباه وی با به‌کارگیری ترمز اضطراری قطار را متوقف می‌نماید.

ATP : سیستم پیشرفته‌تر ATP یک سیستم‌ایمن است که با توجه به اطلاعات ارسالی از سیستم اینترلاکینگ مبادرت به نظارت دائمی و پیوسته بر حرکت قطار می‌کند. تجهیزات این سیستم بر روی قطار نصب است و لذا گاهاً در سیستم سیگنالینگ به آن ATP On board نیز

گفته می‌شود. سیستم حفاظت اتوماتیک قطارها بر روی بسیاری از پارامترهای حرکت نظارت دائمی دارد که از جمله می‌توان به «سرعت حرکت قطار»، «وضعیت درها» و « اطلاعات نقطه هدف » اشاره کرد.

ATC : این سیستم پیش از رسیدن قطار به محدوده خطر، سرعت قطار را بر اساس منحنی سرعت و برحسب فاصله از محدوده خطر به گونه‌ای نظارت می‌نماید تا در هنگام رسیدن به محدوده خطر، سرعت قطار به حد مجاز رسیده باشد.

ATO : در سیستم‌هایی پیشین کلیه فرامین و محدودیت‌های سیر و حرکت قطارها به محدودیت‌های سرعت تبدیل شده‌اند. لذا در این سیستم بخش کنترل ترمز اضطراری و سرویس جزء ضروریات سیستم بوده و کنترل سرعت قطار نیازمند تجهیزات اندازه‌گیری موقعیت و سرعت در خود قطار می‌باشد. بدیهی است که فرامین کنترلی تنها محدودیت سرعت نیست و افزایش سرعت نیز می‌تواند جزو فرامین کنترلی باشد. بنابراین برای بهره‌برداری بهتر و عملکرد بهینه‌تر سیستم باید گاز هم در اختیار سیستم کنترل اتوماتیک قطار قرارگیرد که این قابلیت در سیستم‌های عملیات اتوماتیک قطار (ATO) اضافه شده و بدین ترتیب کنترل حرکت قطار بدون راننده نیز میسر می‌گردد.

ATS : در سیستم‌های پیچیده‌تری که ATS نامیده می‌شود تمامی اطلاعات مسیر و تمامی اطلاعات وضعیتی قطارها در یک مرکز کنترل جمع‌آوری شده و علاوه بر کنترل اتوماتیک ترمز و گاز قطارها اعمالی چون مسیرگیری نیز در آنها صورت می‌گیرد. با این سیستم هدایت اتوماتیک ناوگان نیز میسر خواهد شد.

۳. اهمیت رادار

دراین مقاله با بررسی مستندات و مطالب مرتبط با ایمنی سعی گردید سیستم‌هایی که به منظور افزایش سطح ایمنی و جلوگیری از برخورد با موانع در خودروها بکار رفته (به عنوان نزدیکترین رقیب راه‌آهن) را مختصراً تشریح نمود تا با شناسایی مکانیزم‌های آن‌ها، امکان معادل‌سازیشان را در قطار جهت حل معضل برخورد ارزیابی کرد. قطعاً اقدامات و مطالعات دیگری نیز دراین زمینه در حال انجام بوده که با توجه به سرانجام نرسیدن آن‌ها، نتایجشان قابل دسترس نیست. لیکن آنچه که در مقالات خودروسازی و صنایع ریلی به عنوان دستاورد کاربردی منتشر شده دراین مقاله اشاره گردیده است.

با بررسی سیستم‌های بکار رفته در خودروها مشخص می‌شود بطورگسترده‌ای از دوربین، سنسور و رادار جهت تامین امنیت سیر خودرو و جلوگیری از برخورد استفاده شده است. لیکن آنچه مبرهن است در سیستم‌های ایمنی قطار، نقطه اشتراک همه آن‌ها بکارگیری ترمز قطار بر اساس دریافت آلارم از یک نقطه ثابت یا رسیدن به یک نقطه مشخص (از یک مبداء) که برای قطار تعریف شده می‌باشد. این بدین معنا است که هیچ مکانیزمی برای تشخیص موانع موجود در مسیر قطار وجود نداشته و تمام سیستم‌های فوق الذکر محدود به فاکتورهای مشخصی از قبیل سیستم علائم، محدوده مشخص تقلیل سرعت، سیگنالینگ، مشخص بودن یک نقطه ثابت در مسیر (یک فرستنده در محل مشخص) و ... می‌باشند. لذا عملاً شرایطی برای جلوگیری از برخورد با موانع متحرک مانند خودرو، عابر، جانوران و ... روی خط فراهم نگردیده است. مشکل برخورد با موانع عموماً حدفاصل بین ایستگاه‌ها اتفاق می‌افتد؛ زیرا هوشمندسازی راهبری قطارها فقط محدود به نقاط مشخص ثابت نظیر محدوده ورود و خروج ایستگاه‌ها بوده و هیچ مکانیزمی برای جلوگیری از برخورد در طول مسیر برای قطارها پیش‌بینی نگردیده یا حداقل عملیاتی نگردیده است. با بررسی سیستم‌های بکار رفته در خودروها به نظر می‌رسد رادارها و دوربین‌ها از نظر بُرد موثر، سطح پوشش، کارایی در شرایط نامساعد جوی و ... کاربردی‌تر از سایر ابزارها باشند.

شاید در گام نخست استفاده از فناوری‌های روز برای ایمن‌تر نمودن سیر قطارها اقتصادی و با اولویت نباشد. لیکن باید توجه داشت که برخورد قطار یا هر وسیله نقلیه ریلی، خسارات مالی آشکار و پنهانی زیادی را به راه‌آهن تحمیل می‌نماید. هزینه‌هایی از قبیل آسیب به لکوموتیو، خط، سوزن، از بین رفتن خودروها، ماشین آلات و مهمتر از همه صدمات جانی و تلفات انسانی که جزء هزینه‌های آشکار ناشی از برخورد قطارها محسوب می‌شوند. از طرفی نباید از هزینه‌های پنهانی که ممکن است آثار مخرب‌تری برای راه‌آهن (به عنوان ایمن‌ترین مُد حمل‌ونقل) در پی داشته باشد غافل بود. از آن جمله کاهش اعتماد اجتماعی به راه‌آهن، کاهش ارزش تجاری برند راه‌آهن، تبعات ناشی از فوت یا ازکار افتادگی سرپرستان خانوارها و هزینه‌هایی که به دولت و سازمان‌های حمایتی تحمیل می‌گردد. البته درکنار این موارد هزینه فرصت از دست رفته ناشی از اتلاف زمان لکوموتیو، خط و واگن که باعث کاهش بهره‌وری و در نهایت ترافیک شبکه می‌گردد را نیز باید اضافه نمود. با عنایت به موارد فوق‌الذکر به وضوح مشخص است هزینه‌هایی که استفاده از فناوری‌های روز ممکن است برای راه‌آهن به همراه داشته باشد نوعی سرمایه‌گذاری محسوب شده و در کوتاه مدت مستهلک خواهد شد.

۴. جمع‌بندی

همانطور که اشاره شد به منظور ایمنی سیر خودروها و جلوگیری از برخورد با موانع مکانیزم‌های مختلفی استفاده شده که عمدتاً بر پایه رادار و دوربین می‌باشند. این تکنولوژی دارای مزایای فراوانی بوده و معادل‌سازی آن‌ها جهت بکارگیری در قطارها می‌تواند از برخورد با موانع جلوگیری نماید. آنچه که استقرار این سیستم در قطارها را امکان‌پذیر می‌سازد استفاده از لکوموتیوهای جدید با فناوری‌های روز خصوصاً بکارگیری رایانه‌ها و سنسورها درکنترل و راهبری قطارها می‌باشد. این سیستم‌ها تمام عملکرد لکوموتیو را در سیر قطار مورد ارزیابی قرار داده و به فراخور شرایط، عملکرد کلیه سیستم‌های قطار را هماهنگ می‌کنند تا بهترین خروجی با بالاترین بهره‌وری را در اختیار سیر قطار قرار دهند. لذا پیشنهاد می‌گردد لکوموتیو قطارها (ترجیحاً زیمنس) به رادار و دوربین مجهز شده و بر اساس دامنه تعریف شده، اقدام به رصد این دامنه شود. در دامنه تعریف شده کلیه جابجایی‌های اجسام در محدوده فضایی به دقت ارزیابی و کوچکترین تغییر بر اساس سرعت جابجایی، سرعت قطار، احتمال ورود مانع به محدوده دارای ریسک بالای برخورد و ... مورد ارزیابی قرارگیرد و داده‌های حاصل از آن در یک برنامه رایانه‌ای ثبت شود. این برنامه نیز تمامی پیشامدهای احتمالی را بررسی نموده و اقدامات پیشگیرانه از قبیل کاهش سرعت، ترمز اضطراری، نواختن سوت ممتد خبری و ... را در دستور کار قرار دهد. از طرفی چنانچه ارتباطی بین این رایانه و پردازشگر مسیر حرکت برقرار شود، فرامین متخذه پردازشگر (براساس آنالیز مسیر) به سیستم مرکزی کنترل لکومو تیو فرستاده شده تا فرامین را جهت اجرا به بخش‌های مختلف لکوموتیو از قبیل کشش، ترمز و ... ارسال نماید. مزیت رادار این است که اولا برد موثر آن زیاد بوده و نقاط کور آن نسبت به سایر پردازشگرهای محیطی (انواع دوربین‌ها) بیشتر می‌باشد؛ از طرفی شرایط نامساعد جوی تاثیری کمتری بر دقت داده‌های محیطی آن دارد. بر همین اساس با آغاز سیر قطار، رادار نیز به طور خودکار شروع به فعالیت نموده و بصورت مستمر به رصد مسیر می‌پردازد. سپس داده‌های استخراج شده را بصورت یک جریان مستمر به پردازشگر محیطی ارسال کرده و دائما مورد ارزیابی قرار می‌دهد.. مادامی‌که شرایط سیر نرمال است و مانعی در سیر قطار وجود نداشته باشد هیچگونه عکس العملی از سیستم صورت نخواهد گرفت. لیکن به محض آنکه سیگنال‌های ارسالی از وجود مانعی در مسیر (با ریسک برخورد) حکایت کند به سرعت مکانیزم‌های لازم جهت جلوگیری از برخورد فعال می‌گردد.

درگام نخست با ایجاد آلارم راهبر قطار را از وجود خطر مطلع ساخته و در یک بازه زمانی مشخص، فرصت عکس‌العمل را در اختیار راهبر قطار قرار می‌دهد. اما چنانچه واکنشی از سوی راهبر صورت نگیرد سیستم هوشمند راساً اقدامات ضروری از قبیل نواخت سوت خبری، کاهش سرعت، ترمز اضطراری و ... را انجام خواهد داد. البته برای تکمیل این پروژه می‌توان از سیستم‌هایی از قبیل دوربین دید در شب و دوربین مادون قرمز نیز استفاده نمود تا در مواردی که به دلیل تاریکی شب (علی‌الخصوص در مناطق مسکونی) دید راهبر قطار محدود است امکان رصد بیشتر مسیر برای راهبر قطار تا حدودی فراهم شده و به عنوان تکمیل کننده فرآیند ایمنی حرکت قطار عمل نماید. البته علیرغم تمام مزایای سیستم‌های هوشمند نباید از توانایی‌های انسان در پردازش و تحلیل مسیر غافل بود.

منابع و مراجع در دفتر انجمن موجود است.