

بررسی راهکارهای یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی دستگاه سوزن در خطوط ریلی و آرایه راهکار بهینه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

مقاله پژوهشی

احمدرضا جعفریان مقدم*، استادیار، گروه مهندسی راه‌آهن، دانشکده عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
رامین واحدی هویدا، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران و حمل‌ونقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ar.jafarian@trn.ui.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۶ - پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵

صفحه ۱۱۶-۱۰۱

چکیده

امروزه یکی از مسائل و چالش‌های مهم در بخش تعمیر و نگهداری خطوط ریلی بالاستی و به ویژه در محل سوزن‌ها و تقاطع‌های ریلی، مدیریت بحران‌های ناشی از فصل سرما و دفع اثرات مخرب آن می‌باشد. سوزن‌ها و یا تقاطع‌ها در خطوط ریلی نقش بسیار مهمی در مدیریت ترافیک ناوگان ریلی از جمله تلافی و سبقت قطارها ایفا می‌کنند، و عملکرد نادرست و با تاخیر آنها می‌تواند منجر به ایجاد بحران و حوادث ناگوار شود. از طرفی بررسی داده‌های هواشناسی کشور نشان می‌دهد که ۵۱ درصد از شبکه ریلی دماهای کمتر از ۲۰- درجه سانتیگراد و ۹۶ درصد دماهای زیر صفر درجه را در پنجاه سال گذشته تجربه کرده است. بنابراین بکارگیری راهکارها و استفاده از ابزارها و تکنولوژی مناسب به منظور جلوگیری از یخ‌زدگی و یخ‌زدایی سوزن‌های خطوط ریلی در فصول سرد سال امری حیاتی است. بنابراین هدف این مقاله بررسی و تحلیل مشکلات و سوانح ناشی از فصل سرما در کشورهای مختلف و همچنین ارزیابی راهکارها و فناوری‌های نوین به منظور جلوگیری از یخ‌زدگی و انباشت برف در سوزن‌ها و تقاطع‌های ریلی و در نهایت اولویت‌بندی راهکارهای مختلف می‌باشد. این مقاله به منظور آرایه راهکاری بهینه و اقتصادی جهت جلوگیری از یخ‌زدگی سوزن، با نظرخواهی از خبرگان و استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به اولویت‌بندی راهکارهای ارائه شده، پرداخته است. تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار Expert choice منجر به انتخاب فناوری اسپویلر برسی به همراه گرم‌کن به عنوان راهکار بهینه جهت جلوگیری از یخ‌زدگی و انباشت برف در سوزن‌ها شد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت بحران، فصل سرد، زیرساخت‌های ریلی، سوزن، تحلیل سلسله مراتبی

۱- مقدمه

عوامل ساینده، طوفان، برف و باران (به‌عنوان عوامل جوی) و همچنین زمین‌لرزه و سیلاب می‌باشند. بر این اساس بخشی از وظایف و اقدامات مسئولان، در مدیریت بحران و مقابله با وضعیت‌های قابل و غیرقابل پیش‌بینی عوامل جوی، محیطی و بلایای طبیعی خواهد بود. آغاز فصل سرما و به تبع آن وقوع تغییرات جوی، شرایط دشواری را به بهره‌برداری مستمر و سیر و حرکت پایدار ناوگان راه‌آهن تحمیل می‌نماید (Oslakovic et

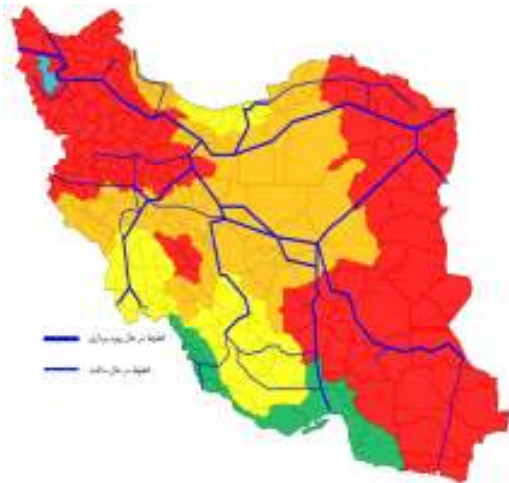
از مشخصه‌های تعیین کننده یک سیستم حمل‌ونقل کارآمد، پایداری و استمرار در ارائه خدمات می‌باشد. این امر در سیستم حمل‌ونقل ریلی که در جهان به عنوان یک سیستم ایمن، کارا و دوستدار محیط زیست (حمل‌ونقل سبز) شناخته می‌شود، از اهمیت بالاتری برخوردار است. راه‌آهن در پهنای شبکه خود، مرزها و لایه‌های مواجهه متعددی با عوامل طبیعی مختلف دارد. زیربنا، تاسیسات و ناوگان در معرض مستقیم نور آفتاب،

حادثه موجب قطع ترافیک ریلی بین شهرهای لندن، پاریس و بروکسل گردید. زمستان بسیار سرد در جنوب فنلاند در سال ۲۰۱۰-۲۰۰۹ باعث تجربه دمای پایین و یخزدگی زمین تا ماه ژوئن و ایجاد مشکلات بسیار زیادی برای زیرساختهای ریلی شد (Fisk, 2017). این موارد برخی از خسارات ناشی از سرما و برف بر زیرساختهای ریلی است.



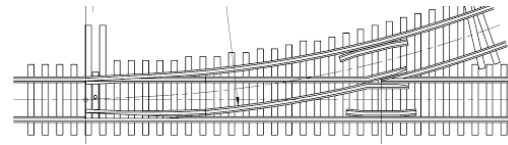
شکل ۲. یخزدگی سوزن در فصل سرد سال

در کشور ایران نیز بررسی‌ها نشان می‌دهد که حدود ۹۶ درصد از شبکه ریلی کشور کمینه دمای زیر صفر درجه سانتیگراد را در پنجاه سال اخیر تجربه کرده است. این در حالی است که ۵۱ درصد از شبکه ریلی لازم است در دماهای کمتر از ۲۰- درجه سانتیگراد فعالیت کنند (واحدی هویدا، ۱۳۹۵). این مهم در شکل (۳) و جدول (۱) ارایه شده است. در این تصاویر ابتدا با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD، شبکه ریلی موجود و درحال ساخت بر روی نقشه کشور پیاده شده است. سپس با استفاده از اطلاعات سازمان هواشناسی در خصوص کمینه دمای ماهانه در پنجاه سال گذشته شکل (۳) ارایه گردید تا بتوان به کمک آن، شکل کلی از شرایط دمایی در نواحی مختلف شبکه ریلی کشور بدست آورد.



شکل ۳. انطباق شبکه ریلی بر شرایط آب‌وهوایی کشور (کمینه دمای ماهانه)

(al., 2013). نزولات جوی تمامی اجزای شبکه راه‌آهن شامل خط، تاسیسات، تجهیزات ارتباطی و علائم الکتریکی، لکوموتیو، واگن، امور و خدمات ایستگاهی و غیره را متاثر می‌سازد. بر این اساس تمامی عوامل ذی‌ربط در اداره کل راه‌آهن مناطق و ادارات کل ستادی، بسته به شرح وظایف و مسئولیت‌های تعریف شده هر بخش، قبل، بعد و در حین وقوع می‌بایست در راستای آمادگی و پشتیبانی جهت مواجهه و مقابله با معضلات و مشکلات شرایط سخت جوی و فصل سرما و کاهش بحران‌های ناشی از آن گام بردارند (راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۳). از طرفی الزام راه‌آهن به ارائه خدمات شبانه‌روزی به مسافران و صاحبان کالا، اهمیت این وظایف را بیشتر نمایان می‌سازد. در شبکه‌های ریلی جهان، سوزن‌ها و تقاطع‌ها نقش مهمی در هدایت و کنترل ترافیک شبکه دارند. سوزن، تقاطعی است که با استفاده از آن می‌توان مسیر حرکت قطارها را تغییر داد و قطار را از یک مسیر ریلی به مسیر ریلی دیگر هدایت نمود (شکل ۱). بنابراین سلامت و عملکرد صحیح سوزن‌ها می‌تواند متضمن ایمنی سیر و حرکت قطارها باشد. در صورتی که سوزن به دلایل مختلف نتواند تغییر مسیر ریلی را به درستی انجام دهد، امکان برخورد قطارها و وقوع حوادث ناگوار وجود خواهد داشت.



شکل ۱. سوزن/تقاطع ریلی

یکی از عوامل تاثیرگذار بر عملکرد سوزن‌ها، دمای بسیار پایین و یخزدگی اجزای متحرک سوزن در فصول سرد سال است که مانع از اجرای صحیح تغییر مسیر در سوزن می‌شوند (شکل ۲) (راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۳). خسارت ناشی از سرما در ساکسونی در سال ۲۰۰۲ موجب آب گرفتگی ایستگاه مرکزی راه‌آهن و تخریب ۲۰ درصد از شبکه ریلی شد. خسارت وارده حدود ۸۰۰ میلیون یورو تخمین زده شد. زمستان سنگین در استکهلم ۲۰۰۱-۲۰۰۲ منجر به بارش برف به عمق ۶۶ تا ۱۰۹ سانتی‌متر شد و دمای هوا در بازه زمانی ۱۹ ام دسامبر تا ۳ ام ژانویه زیر صفر بود و برف انباشت شده باعث ایجاد مشکلات فراوانی شد. بارش سنگین برف در شب ۱۱۸ دسامبر ۲۰۰۹ موجب بسته شدن تونل اروپا گردید. در شب اول، پنج قطار در نزدیکی تونل زمین‌گیر شدند. این

جدول ۱. بخش‌بندی شبکه ریلی کشور از نظر کمینه دمای ماهانه

در پنجاه سال اخیر

کمینه دمای ماهانه	
محدوده دما (°C)	تأثیرات بر شبکه ریلی (درصد)
بالای صفر	۴٪
صفر تا (-۱۰)	۱۳٪
(-۱۱) تا (-۲۰)	۳۲٪
کمتر از (-۲۰)	۵۱٪

در نتیجه به منظور مدیریت بهتر وضعیت خطوط ریلی و جلوگیری از وقوع بحران‌ها، توجه به راهکارهای مناسب جهت مقابله با خرابی‌های ناشی از فصل سرد سال در شبکه ریلی ایران امری ضروری و حیاتی است. مقاله حاضر بر مبنای روش پژوهشی- آماری- تحلیلی، سعی دارد که دستورالعمل‌ها، تجربیات و برخی از پروژه‌های کشورهای پیش‌گام در صنعت ریلی در زمینه یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی سوزن را مورد بررسی و مطالعه قرار دهد، و فناوری‌هایی که شرکت‌های فعال در این حوزه که به سبب تجربیات و آزمایشات خود به آن‌ها دست یافته‌اند را معرفی نماید. در ادامه این مقاله، به منظور پیشنهاد راهکاری مناسب و بهینه جهت مدیریت بهتر سوزن و جلوگیری از وقوع بحران، با استفاده از معیارهای مختلف و با دریافت نظرت خبرگان این حوزه، راهکارهای مختلف را از دیدگاه‌های فنی و اقتصادی اولویت‌بندی کرده است.

ادامه مقاله به صورت ذیل بخش‌بندی شده است: بخش دوم به بررسی پیشینه پژوهش در زمینه یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی سوزن می‌پردازد. در این بخش راهکارها و فناوری‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. بخش سوم به اولویت‌بندی راهکارها با استفاده از روش AHP اختصاص دارد. در این بخش معیارها و زیرمعیارهای مختلف جهت اولویت‌بندی راهکارهای مدیریت سوزن در فصل سرما تعیین و امتیازدهی می‌شود و در نهایت راهکار بهینه معرفی می‌گردد. در بخش پایانی برخی نتایج و پیشنهادات ارائه شده است.

۲- پیشینه پژوهش

۲-۱- بررسی راهکارهای یخ‌زدایی و جلوگیری از

یخ‌زدگی سوزن

یکی از اهداف این مقاله، بررسی و مطالعه روش‌ها و راهکارهای یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی سوزن‌ها است.

بنابراین، این بخش، مروری بر راهکارها و فناوری‌های مربوطه خواهد داشت. زیرا عمده تحقیقات پیرامون تأثیرات تغییرات دما و به ویژه دماهای پایین بر شبکه ریلی، به تأثیرات بر بستر خطوط ریلی اختصاص دارد. این در حالی است که سوزن به عنوان یک جزء مهم و حیاتی در مدیریت ترافیک ریلی کمتر مورد توجه فعالیتهای تحقیقاتی و پژوهشی قرار گرفته است. سوزن و متعلقات آن بحرانی‌ترین قسمت در مجموعه زیرساخت‌های ریلی در فصل زمستان می‌باشد (Nurmikolu, 2005). این موضوع در سیستم‌های ریلی با سرعت بالا اهمیت بسیار ویژه‌ای دارد. از این رو، بیشتر فعالیتهای راه‌آهن‌ها بر ارائه ابزارها و ماشین‌آلات مدیریت سوزن در فصل سرما تمرکز دارند. خرابی‌ها و مشکلات سوزن‌ها در فصل سرما عبارتند از: مشکلات مرتبط با بارش برف و جابجایی برف به وسیله باد، یخ‌زدگی در اجزای مکانیکی؛ مسدودی اجزای متحرک و تعمیر و نگهداری. در ادامه مجموعه اقدامات مربوط به سوزن در چارچوب مواردی چهارگانه فوق، براساس مطالعات کشورهای مختلف بیان می‌شود.

۱) مشکلات مرتبط با بارش برف و جابجایی برف توسط باد: در کشورهای شمالی اروپا، بیشتر سوزن‌ها به وسیله انرژی الکتریسیته گرم می‌شوند تا برف انباشته روی آن‌ها در طول دو ریل ذوب شود. در قسمت‌هایی که سرعت سیر بالا است بیش از ۴۰ کیلووات برق نیاز است تا ریل‌های ثابت، تکیه مرکزی و تیغه‌ها به اندازه کافی گرم شوند (Bettez, 2011). لازم به ذکر است در مواقعی که بارش برف سنگین است سیستم گرمایشی به تنهایی جوابگو نیست و می‌بایست به صورت دستی و یا به وسیله ماشین‌آلات مربوطه توده برف را جارو کرد. پیشنهاد شده است که این عملیات در سرتاسر طول سوزن به اندازه ۲۰ متر در هر دو طرف انجام شود (Silla et al., 2014).

۲) یخ‌زدگی در اجزای مکانیکی: اجزای مکانیکی و الکتریکی سوزن عبارت است از ماشین سوزن، اینترلاکینگ، میله مانور و میله‌های متصل به زبانه سوزن جهت مانور و جابجایی آن. آب‌بندی ماشین سوزن؛ سیستم زهکش در اطراف ماشین سوزن و استفاده از میله‌های مقاوم به سرما از جمله راهکارهای به منظور جلوگیری از بروز بحران در تغییر مسیر توسط سوزن است. در راه آهن سوئد سرعت قطار در چنین قسمت‌هایی به حداکثر 10 km/h محدود می‌شود (Bettez, 2011).

۳) مسدودی اجزای متحرک: حرکت زبانه سوزن می‌تواند به دلایل مختلف مختل شود. رایج‌ترین دلیل آن ریخته شدن

(Kloow and Jenstav, 2011). در توشیشیج سال ۲۰۰۲ مشخص شد که سیستم تعبیه شده در آنجا در حد انتظارات موثر واقع نشد. برای مثال، در خط توکایدو، قطارها می‌بایست سرعت خود را تا ۷۰ کیلومتر بر ساعت کاهش می‌دادند تا از پرتاب شدن یخ و برف جلوگیری شود (Bettez, 2011; Kloow and Jenstav, 2011).

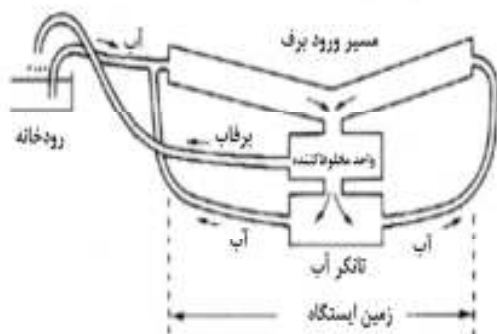
• سیستم پمپاژ برفاب

این سیستم نیز برای اولین بار سال ۱۹۸۳ در ژاپن راه‌اندازی شد (Kloow and Jenstav, 2011). این سیستم آب را با برف مخلوط می‌کند و این برفاب را در زهکش‌های کناری خط می‌ریزد (شکل ۵). این سیستم فقط به شش نفر خدمه نیاز دارد، در حالی‌که قبل از به‌وجود آمدن این تکنولوژی، برای انجام این فرآیند، پنجاه نفر خدمه به صورت یک روز کامل نیاز بود.



شکل ۵. پمپاژ برفاب

این سیستم می‌تواند ۵/۲ تن آب را با ۱/۰۵ تن برف در هر دقیقه مخلوط کند. در ضمن آب باقیمانده از این فرآیند نیز به مخزن برمیگردد تا در چرخه‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرد (Kloow and Jenstav, 2011). در شکل (۶) مکانیزم سیستم پمپاژ برفاب مشاهده می‌شود. همچنین جدول (۲) مزایا و معایب دو سیستم آب‌پاش و پمپاژ برفاب را ارائه کرده است.



شکل ۶. مکانیزم سیستم پمپاژ برفاب (Kloow and Jenstav, 2011)

برف و یخ از روی قطار در حال حرکت بر روی سوزن است. برای این منظور راهکارهای مختلفی در مطالعات پیشین پیشنهاد شده است که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

۴) تعمیر و نگهداری: برای کاهش مشکلات در زمستان لازم است گرم‌کننده‌های الکتریکی قبل از شروع هر زمستان بازرسی شوند و روغن‌کاری نقاط مختلف می‌بایست در زمستان افزایش یابد. به منظور مدیریت بخش‌های مختلف سوزن در چارچوب موارد چهارگانه فوق، جلوگیری از خرابی آن و بروز بحران‌های شدید، ابزارها و فناوری‌هایی جهت مقابله با یخ‌زدگی و یخ‌زدایی از زیرساخت‌های ریلی به‌خصوص در سوزن‌ها ارائه شده است. از جمله این ابزارها و فناوری‌ها عبارتند از:

• آب‌پاش

استفاده از آب‌پاش‌ها برای ذوب کردن برف و یخ، به دلیل نیاز به گرم کردن آب، رایج نمی‌باشد. با این حال در کشور ژاپن از سال ۱۹۶۶ از این روش، به دلیل پرهیز از تخریب چرخ‌ها و کاهش تاخیرات در سیر و حرکت ناوگان استفاده می‌شود. به دلیل بارش برف سالانه ۲۰۰ سانتی‌متری و دمای کمتر از ۲۰- درجه سانتی‌گراد، ناحیه‌ی جوتسو ژاپن نیاز به یک تکنولوژی موثر و قابل اطمینان برای دفع برف داشت. آب‌پاش‌های جوتسو در ۷۶ کیلومتر از مسیر استفاده شد (Kloow and Jenstav, 2011). مکانیزم این سیستم بدین صورت است که آب داغ بر روی خطوط پاشیده می‌شود. سپس این آب جمع‌آوری شده و پس از گرم شدن در مخازن تعبیه شده، مجدداً از آن استفاده می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴. فرآیند آب‌پاشی

ذوب کردن برفی که در روز حدود یک متر می‌شود، نیاز به سیستم آب‌پاشی با ظرفیت زیاد می‌باشد. ظرفیت آب‌پاش جوتسو ۰,۷۷ لیتر در هر متر مکعب در دقیقه می‌باشد که این میزان آب معادل ۴۲ میلی‌متر باران در ساعت است. با این حال مهم‌ترین سیستم آب‌پاش استفاده شده روی ۳ کیلومتر از خط توهوکو ظرفیتی معادل ۷۳ میلی‌متر باران در ساعت را دارد

جدول ۲. مزایا و معایب سیستم‌های آب‌پاشی و پمپاژ برفاب

مسدودی خط ندارد	مزایا	سیستم آب‌پاشی
تکنولوژی پیچیده‌ای نیست و قابل ساخت است.		
آب مصرفی تا حد زیادی مجدداً استفاده می‌شود در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف آب بیشتر است.		
امکان یخ زدن آب مصرفی و یخ‌زدگی مجدد در زیرساخت‌ها و ناوگان وجود دارد.	معایب	سیستم آب‌پاشی
نیاز به سیستم گرمایشی و مصرف برق یا گاز برای گرمایش مجدد آب مصرفی وجود دارد.		
امکان یخ‌زدگی مجدد وجود ندارد.	مزایا	سیستم پمپاژ برفاب
نیاز به سیستم گرمایشی ندارد.		
مسدودی خط دارد.	معایب	
امکان ساخت آن از روش قبلی سخت‌تر است و نیاز به واردات دارد.		
نیاز به محلی برای تخلیه برفاب وجود دارد.		
در محل سوزن‌ها و خصوصاً بین تیغه‌های آن کاربرد چندانی ندارد.		
آب مصرفی قابل استفاده مجدد نیست در نتیجه مصرف آب آن بیشتر است.		

• ضد یخ

در طولانی مدت، جلوگیری از تشکیل یخ بر روی ریل‌ها، مقاومت در برابر برف، باران و تگرگ، و همینطور کمک به خدمت‌دهی ناوگان در دماهای زیر ۲۵- سانتی‌گراد داده است که پلان اجرایی این راهکارها در انحصار این شرکت می‌باشد (Kloow and Jenstav, 2011). شکل (۷) استفاده از ضد یخ در سوزن خطوط ریلی را نشان می‌دهد.

دکتر فاستر نشان داد که با تکنولوژی ضد یخ می‌توان بر مشکلات ناشی از برف و یخ‌زدگی غلبه کرد که فرمول شیمیایی آن در انحصار شرکت کیل فراست می‌باشد. فرآورده‌های شیمیایی از زمانی برای صنعت راه‌آهن توسعه پیدا کرد که ادوات راه‌آهنی می‌بایست در دمای زیر صفر، بدون کوچک‌ترین اتصال کوتاه در رساناهای الکتریکی کار می‌کرد. شرکت کیل فراست ریل پیشنهاداتی را برای حفاظت از ریل‌ها



شکل ۷. استفاده از ضد یخ در سوزن خطوط ریلی

(Kloow and Jenstav, 2011)

• فنس برف‌گیر

خطوط، علاوه بر زیبایی مسیر سیر ناوگان، در حفظ خطوط از بهمن با این موانع طبیعی تاثیرگذار بود. برای مقابله با خطر بهمن، می‌توان با منحرف کردن آن از مسیر خود با اجرای شیب ملایم در زمین طبیعی از سرعت آن کاست تا بدین ترتیب نیروی کمتری به دیوارهای محافظ اطراف خط وارد شود. در

یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از انباشته شدن برف بر روی خطوط، طراحی دقیق خط و اطراف آن است. برای مثال، تعبیه یک فنس در مسیر هجوم برف می‌تواند از سرعت آن بکاهد و آن را متوقف کند. استفاده از فنس‌های بهمن‌گیر می‌تواند با حفظ و ایجاد پوشش‌های گیاهی در اطراف

نیروی وارده به فنس‌ها می‌شود که با توجه به این موضوع، می‌بایست در طراحی فنس‌ها به جهت وزش بادها در آن منطقه توجه کرد. فنس‌ها می‌توانند به صورت یک سازه و یا به صورت موانع طبیعی از قبیل درخت، درختچه و یا بوته‌ها باشند. در شکل (۹) نمای کلی از نصب فنس با در نظر گرفتن جهت باد ارائه شده است.

شکل (۸) نمای کلی از یک راهکار مبتنی بر موانع سازه‌ای و طبیعی نشان داده شده که در راه‌آهن ژاپن مورد استفاده قرار گرفته است. در بحث استفاده از فنس‌های برف‌گیر، وزش باد می‌تواند از سرعت و انرژی حاصل از حرکت برف که بر فنس‌ها نیرو وارد میکند بکاهد. البته اگر بادی که می‌وزد در جهت استقرار فنس و حرکت برف باشد، موجب افزایش



شکل ۸. جانمایی فنس، گالری، دیوار و پوشش گیاهی (Kloow and Jenstav, 2011)



شکل ۹. فنس و جهت وزش باد (Kloow and Jenstav, 2011)

برخی از مزایای کلی فنس‌های برف‌گیر به شرح زیر می‌باشد (Kloow and Jenstav, 2011):

- ✓ کاهش ورود برف‌های حمل شده ناشی از وزش باد بر روی خط
- ✓ مهار برف با هزینه‌ی کم
- ✓ کاهش حوادث در شرایط برفی و بادی
- ✓ ایجاد شرایط ایمن‌تر برای سیر و حرکت
- ✓ کاهش اثرات ذوب و انجماد بر روی خطوط
- ✓ کاهش هزینه‌های ناشی از زدودن برف
- ✓ افزایش مسافت دید.

اطراف خط فضای کافی را برای دپوی این حجم از برف دارا باشند و همین‌طور زهکش مناسب در کنار خط برای دفع آب ناشی از ذوب این برف‌ها طراحی و اجرا شده باشد. بدیهی‌است، اطراف خط باید به‌گونه‌ای طراحی شود تا هدایت آب به این زهکش‌ها ممکن باشد و از ورود آب به سایر قسمت‌های خطوط ریلی جلوگیری شود (Silla et al., 2014).

آماری که دو شرکت ان اس بی و کارگونت منتشر کرده‌اند، بیشترین استفاده از فنس‌ها در خط ریلی اسلو برکن کشور نروژ است که در آن برف‌هایی که با باد جابجا می‌شوند یکی از مهم‌ترین مشکلات آن‌ها در بحث مقابله با فصل سرما است.

• کنار زدن برف

در این روش می‌توان با نصب یک سپر برف‌شکن در پیشانی لکوموتیو و یا ماشین‌آلات مخصوص برف را به طرفین خط منتقل کرد. برای موثر بودن این روش می‌بایست محل‌های

• گرم‌کن سوزن

این سیستم به منظور گرم کردن ریلها و در نهایت ذوب کردن برفها و یخها طراحی و ساخته شده است (Widmer, 1987). سیستم گرم‌کن سوزن شامل اجزای مختلف به شرح زیر است.

- گرم‌کننده اتوماتیک سوزن: این سیستم تا بحال در برخی از سوزن‌های راه‌آهن و متروهای کشور نصب و بهره‌برداری شده

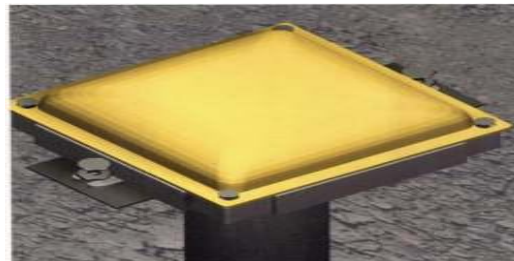
است. گرم‌کننده در اندازه‌های مختلف با توجه به طول سوزن تولید می‌شوند. غلاف استیل و آب‌بندی کامل در انتها و طریقه نصب سریع از مشخصات این گرم‌کننده است. هر گرم‌کننده سوزن به وسیله گیره چدنی و فنر خاصی به ریل متصل می‌شود. شکل (۱۰) نمونه‌ای از گرم‌کن و گیره چدنی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. گرم‌کن و گیره چدنی آن (شرکت رامکار ماشین، ۱۳۹۰)

- جعبه اتصالات: به منظور اتصال کابل‌های المنت‌ها به برق، یک جعبه آلومینیومی طراحی شده که داخل آن ۶ عدد ترمینال نمره ۶ از نوع نسوز بر روی فیبر نسوز نصب شده که این فیبر بین ترمینال‌های مذکور و جعبه برق را نیز کاملاً عایق می‌نماید. در کف جعبه آلومینیومی ۴ عدد گلند ۱/۵ پی چی

نصب می‌شود تا کابل‌های المنت پس از عبور از آن‌ها به داخل جعبه هدایت شود. درب جعبه دارای واشر آب‌بندی است و آن را آب‌بندی می‌نماید. شکل (۱۱) جعبه آلومینیومی مورد بحث را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. جعبه آلومینیومی برای کابل‌های المنت‌ها

(شرکت رامکار ماشین، ۱۳۹۰)

- سیستم کنترل اتوماتیک: یک سیستم کنترل اتوماتیک با دو سنسور مقایسه‌ای برای ثبت درجه حرارت ریل و محیط، و مقایسه آن‌ها با هم به همراه کنترلر الکتریکی، ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روش کنترل المنت‌ها را تامین نموده است.

سنسورها با فنر به ریل متصل می‌شود و در نهایت به داخل جعبه کنترلر هدایت شده و در محل مورد نظر به سادگی نصب می‌شوند. در شکل (۱۲) جعبه کنترل این سیستم را نشان داده شده است.



شکل ۱۲. جعبه کنترل گرم‌کن سوزن

(شرکت رامکار ماشین، ۱۳۹۰)

الف) سنسور ریل: این سنسور دارای غلاف برنجی است که به وسیله یک کابل ۲x۲/۵ به جعبه کنترل کننده وصل می گردد و قسمت برنجی به وسیله فنر زیر ریل در محل هیترا به ریل متصل می شود.

ب) سنسور هوا: این سنسور دارای غلاف مسی است و به وسیله یک کابل ۲x۲/۵ به جعبه کنترل کننده وصل می شود و قسمت مسی به صورت ایستاده به یک وسیله ثابت در محل نصب می شود. مطابق شکل (۱۳) می توان با عایق کردن سوزن ها با پوشش های پلاستیکی و چوبی، گرمای ایجاد شده در سوزن ها را برای مدت بیشتری حفظ کرد. با بکارگیری این تکنولوژی می توان سرعت ناوگان را تا ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت افزایش داد (Kloov and Jenstav, 2011).

- سیستم کنترل و سنسورها: به منظور کنترل حرارت ریل، سیستم کنترل المنتها توسط دو سنسور قابل کنترل می شود. یک سنسور درجه حرارت محیط را ثبت می کند و سنسور دیگر درجه حرارت ریل را مشخص می کند. تفاضل این دو درجه حرارت وجود برف و یخ را روی سوزن مشخص می سازد (شرکت رامکار ماشین، ۱۳۹۰). یک دستگاه تنظیم کننده الکترونیکی قادر است دستورات لازم را به المنتها بدهد. درجه حرارت دلخواه برای روشن شدن المنتها انتخاب و روی دستگاه تنظیم می شود و با تنظیم درجه حرارت دلخواه دیگر برای خاموش کردن المنتها می توان سیستم را به صورت خودکار در درجه دماهای مختلف روشن و خاموش کرد. دو نوع سنسور در این گرمکن ها وجود دارد (شرکت رامکار ماشین، ۱۳۹۰):



شکل ۱۳. انواع پوشش ها در سوزن (Kloov and Jenstav, 2011)

• اسپویلرهای بررسی

است، مطابق شکل (۱۴) با برس هایی رو به بالا و رو به پایین، اجرا شده است. این برس ها تاثیر خوبی در حفظ سوزن از برفی که با باد جابجا می شود و همچنین کمک به حفظ گرمایی که به سوزن ها داده شده را دارد. این روش، آسان، اقتصادی و از نظر بهره برداری برای خطوط کم سرعت و پر سرعت مناسب است (Osborn Co., 2017). جدول (۳) انواع اسپویلرهای بررسی از نظر روش نصب، و همچنین مزایا و معایب آن ها را ارائه کرده است (Osborn Co., 2017).

با استفاده از این برس ها در سوزن، با جریان هوایی که قطارها موقع حرکت ایجاد می کنند، موجب پاک شدن خط از برف می شود. این تکنولوژی جدید که توسط شرکت بین المللی آذربون توسعه یافته و در انحصار این شرکت است، با همکاری اداره کل راه آهن بین المللی سوئد و به عنوان یک استاندارد بر روی خط بوتنیا در سوئد اجرا شده است. این برس ها در عین سادگی، بسیار موثر هستند. این محصول از برس هایی تشکیل شده که در کنار خط آهن و در تمام طولی که سوزن در آن



شکل ۱۴. برس های بالایی و پایینی در اسپویلر بررسی

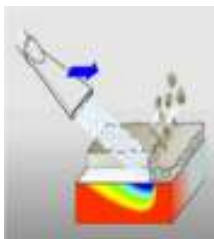
جدول ۳. انواع اسپولرهای بررسی از نظر روش نصب، مزایا و معایب آن‌ها (Osborn Co., 2017)

نوع خطوط ریلی	خطوطی که برقی نیستند و یا از برق شبکه بالاسری تغذیه می‌کنند.	
محل نصب	نصب بر پاشنه ریل	نصب بر پیچ تراورس
مزایا و معایب	ابتدایی‌ترین و اصلی‌ترین روش نصب	محدودیتی در جانمایی محل اتصال گیره یا قلاب به پاشنه ریل وجود ندارد
	کمترین اجزای مورد نیاز جهت نصب	تصمیم‌گیری برای محل ثابت کردن پابندها راحت‌تر و سریع‌تر می‌شود.
	محدودیت در محل جانمایی پابندها (تراورس‌ها و در نتیجه پیچ‌های آن در فواصل ۶۰ سانتی متری هستند)	بر خلاف روش نصب بر پیچ تراورس، در این روش محل قرارگیری ریل و ادوات آن دچار تغییر نمی‌شود.
		هزینه تهیه اجزای آن بیشتر است ولی زمان مونتاژ و نگهداری آن کمتر است.

-مونتاژ و سر هم کردن این برس‌ها تنها زمانی در حدود دو ساعت لازم دارد که از این منظر زمان خیلی کمی می‌باشد.

• یخ خشک

یکی از روش‌های نوینی که در مورد پاک‌سازی به روش دستی مطرح است، استفاده از یخ خشک می‌باشد که در مقایسه با جاروهای معمولی، پاک‌سازی کامل‌تری را انجام می‌دهد. این روش خاصیت خورنده یا ساینده ندارد، غیر رسانا است، نه نیازی به آب دارد و نه نیاز به جداسازی قطعات و به‌صورت کاملاً خشک انجام می‌شود (Bettez, 2011; Kloow and Jenstav, 2011). در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) دستگاه پاشش یخ خشک و نحوه عملکرد آن و شرایط سوزن قبل و بعد از استفاده از آن مشاهده می‌شود.



شکل ۱۵. دستگاه پاشش یخ خشک و عملکرد آن (Bettez, 2011; Kloow and Jenstav, 2011)

(Kloow and Jenstav, 2011)

این سیستم به‌همراه گرم‌کننده‌های برقی یا گازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته گفتنی است که در برخی مناطق، بسته به شرایط و موقعیت موجود می‌توان از فنس‌ها در اطراف محل مورد نظر استفاده کرد تا از هجوم برف به وسیله باد تا حد زیادی جلوگیری شود. بنابراین، این محصول نوعی مانع برف‌گیر برای قسمت‌های متحرک سوزن خصوصاً تیغه سوزن می‌باشد که در جهت حفظ گرمای تولید شده توسط گرم‌کننده‌ها و همینطور به حداقل رساندن ورود برف به داخل سوزن عمل می‌کند. بدین ترتیب پاک‌سازی سوزن از برف و یخ به روش دستی بطور کامل حذف می‌شود. این روش دارای مزایایی به شرح ذیل است (Wickström, 2017):

-این تکنولوژی برف را از سوزن دور نگه می‌دارد و همینطور گرمای ایجاد شده در خط را تا حد زیادی حفظ می‌کند. برای سرعت سیر بالای ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت معتبر است. این برس‌ها را می‌توان در تمام طول سال بر روی خط نگه داشت و در صورتی که نیاز به بازرسی خط باشد لازم به جداسازی قطعات آن نیست.

-اولین نسخه آزمایشی آن در جایی نصب شده که بیش از ۸ زمستان سخت را پشت سر گذاشته و هنوز کارایی اولیه خود را دارد. بدین ترتیب کمترین میزان تعمیر و نگهداری را لازم دارد.

جدول ۴. دسته‌بندی راهکارها و فناوری‌ها به صورت کنش‌پذیر و کنش‌گر (Andersen and Landex, 2010; Bettez, 2011; Fujii et al., 2002)

کنش‌پذیر	کنش‌گر
فنس‌ها	آب‌پاشی
پوشش‌های پلاستیکی و چوبی	گرم‌کننده‌ها
اسپویلرها	پاشیدن یخ خشک
در نظر گرفتن دیو اطراف خط در طراحی مسیر	پمپاژ برفاب
سیستم شبکه بالاسری بدون یخ‌زدگی	نزدیک کردن دمای داخل و بیرون تونل
پل دره گذر	ضد یخ

۳- اولویت‌بندی راهکارهای یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی سوزن

این بخش سعی دارد با توجه به راهکارها و ابزارهای مقابله با فصل زمستان و اثرات ناشی از آن که در بخش قبل به آن‌ها اشاره شد، راهکار مناسب با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم افزار Expert choice ارائه دهد. دلیل انتخاب این روش، قابلیت فهم آسان و کاربرد وسیع روش AHP در حوزه‌های مختلفی تولیدی و خدماتی است (Das, Goyal, and Gautam, 2019). در این روش استفاده از نظرات و تجارب کارشناسان حوزه راه‌آهن در قالب مقایسه گزینه‌های مورد نظر به صورت زوجی در قالب معیارهای تعیین شده و نهایتاً نتیجه‌گیری کلی از این مقایسات مورد توجه است. پس از طی این فرایند و تعیین اولویت‌ها، راهکار بهینه معرفی می‌شود.

۳-۱- تحلیل سلسله مراتبی و تعیین معیارها و زیرمعیارها

تکنیک AHP توسط ساعتی در سال ۱۹۸۳ معرفی شد. هدف تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی انتخاب بهترین گزینه براساس معیارهای مختلف از طریق مقایسه زوجی است. این تکنیک برای وزن دهی به معیارها نیز استفاده می‌شود. چون افزایش تعداد عناصر مقایسه زوجی را دشوار می‌کند بنابراین معمولاً معیارهای تصمیم‌گیری را به زیرمعیارهایی تقسیم‌بندی می‌کنند. گام‌های اصلی در تحلیل سلسله مراتبی عبارت است از



شکل ۱۶. قبل و بعد از بکارگیری یخ خشک

- ماشین‌های برف‌روب
این ماشین‌ها در پنج دسته زیر شناخته می‌شوند که عبارت‌اند از: مکانیکی، مکشی، دمشی، چرخشی و برسی. شکل (۱۷) چند نمونه از ماشین‌های برف‌روب را نشان می‌دهد.



برف‌روب برسی



برف‌روب مکشی



برف‌روب مکانیکی



برف‌روب دمشی

شکل ۱۷. انواع ماشین‌های برف‌روب

(Bettez, 2011; RPM Tech, 2019)

جدول (۴) راهکارها و فناوری‌های معرفی شده در این بخش را در دو دسته کنش‌پذیر و کنش‌گر دسته‌بندی کرده است. هدف از این دسته‌بندی آگاهی از نوع و زمان بکارگیری ابزارها و راهکارهای مطرح شده در مواجهه با برف و یخ‌بندان در زیرساخت‌های ریلی و خصوصاً سوزن می‌باشد. به طوری که اقدامات کنش‌پذیر مربوط به قبل از فرارسیدن شرایط برف و یخ‌بندان است و معمولاً نیازی به برچیدن آن بعد از این شرایط نیست. ولی اقدامات کنش‌گر فقط در حین این شرایط، استفاده و فعال می‌شوند (Fisk, 2017).

بندی و تعریف این نمره‌ها به شرح جدول (۶) است (Darko et al., 2019):

جدول ۶. نمره‌دهی در تحلیل سلسله مراتبی

شاخص	ترجیح یکسان	کمی	بهر	خیلی	کاملا
امتیاز	۱	۳	۵	۷	۹
		بهر		بهر	بهر

در این مقاله، پرسشنامه به کمک ده نفر از کسانی که در بخش بهره‌برداری و ساخت راه‌آهن کشور هستند و یا قبلاً بوده‌اند (مسئولیت‌های کارشناس مسئول خط، ناظر روسازی، سرناظر روسازی، مدیر پروژه روسازی چند پروژه ریلی و مدیرکل ناحیه دو راه‌آهن در سالیان گذشته) تکمیل شده و میانگین حسابی تمام پرسشنامه‌ها ارائه شده است. جداول (۷) تا (۹) امتیازدهی معیارها و زیرمعیارها را نشان می‌دهند. اعداد این جداول پس از میانگین‌گیری به نزدیک‌ترین عدد صحیح تبدیل شده است. لازم به ذکر است که اعداد منفی در این جداول به معنی معکوس آن عدد است. به عنوان مثال، عدد ۶- به معنای ۱/۶ کسری می‌باشد. دلیل این نوع فرمت، یکسان شدن این اعداد با اعداد وارده در نرم‌افزار تحلیلی می‌باشد.

جدول ۷. میانگین پرسشنامه‌های خبره در بخش معیارها

معیارها	اثربخشی	اجرایی	اقتصادی
اثربخشی	۱	۳	-۳
اجرایی	-۳	۱	-۸
اقتصادی	۳	۸	۱

جدول ۸. میانگین پرسشنامه‌های خبره در بخش زیرمعیارهای اجرایی

زیر معیار اجرایی	سهولت ساخت	نیروی اجرایی
سهولت ساخت	۱	۷
نیروی اجرایی	-۷	۱

جدول ۹. میانگین پرسشنامه‌های خبره در بخش زیرمعیارهای اقتصادی

زیر معیار اقتصادی	هزینه نت	هزینه اولیه
هزینه نت	۱	۵
هزینه اولیه	-۵	۱

(قدسی پور، ۱۳۹۵): (۱) تعیین هدف؛ (۲) تشکیل ساختار تصمیم‌گیری؛ (۳) تخصیص معیارها؛ (۴) مقایسه؛ و (۵) انتخاب گزینه نهایی

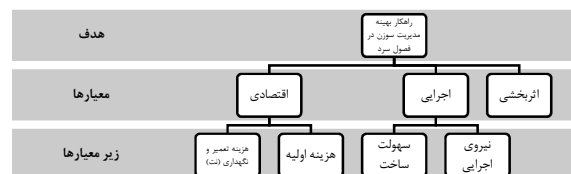
همانطور که اشاره شد، هدف مورد نظر در این مقاله بررسی راهکارهای یخ زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی در سوزن و اولویت‌بندی راهکارها از دیدگاه فنی و اقتصادی است. معیارها و زیرمعیارهایی که در این تحلیل در نظر گرفته شده است عبارت‌اند از:

اثربخشی: کارایی و عملکرد راهکار در یخ زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی سوزن مورد توجه است.

عوامل اجرایی که خود شامل دو زیر معیار سهولت ساخت و نیروی اجرایی است. هدف از این معیار سهولت استفاده و ساخت راهکار مورد نظر است.

عامل اقتصادی که شامل دو زیرمعیار هزینه اولیه و هزینه نت (نگهداری و تعمیر) است.

جدول (۵) ساختار تصمیم‌گیری در این پژوهش بر مبنای معیارها و زیرمعیارها را ارائه کرده است. مبنای انتخاب این معیارها و زیرمعیارها، بررسی مطالعات پیشین، وضعیت اقتصادی و شرایط تحریم کشور، نظرسنجی از نخبگان و متخصصان، دستیابی به اهداف تحقیق جهت ارائه راهکارهای بهینه و قابل استفاده و همچنین توجه به الزامات مدیریت بحران و پیشگیرانه می‌باشد.



شکل ۱۸. ساختار تصمیم‌گیری در AHP (معیارها و زیرمعیارها)

گزینه‌های موجود نیز عبارت است از: اسپویلر بررسی به همراه گرم‌کن، پوشش با گرم‌کن، پاشیدن یخ خشک، ضدیخ، گرم‌کن و ماشین برف‌روب.

۳-۲- وزن‌دهی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها

در تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از تعاریف جدول (۶)، مقایسات زوجی معیارها و سپس به تبع آن مقایسه زوجی در گزینه‌ها انجام و نمره‌دهی می‌شود. این نمره‌دهی توسط پرسشنامه‌ای موسوم به پرسشنامه خبره انجام می‌شود. سطح

جدول ۱۰. برآورد کلی هزینه‌ها (Machineseker, 2019; Osborn

2019; Overaasen, 2019; Co., 2017; شرکت رامکار ماشین، ۱۳۹۰)

ابزار و فناوری	هزینه
اسپویلر برسی	۴۰۰۰ یورو (برای هر دستگاه سوزن)
دستگاه یخ خشک	۱۰۰۰۰ دلار
یخ خشک	۰,۱۲۵ دلار (برای هر لیتر)
گرم‌کن	۵۰ میلیون تومان (برای هر دستگاه سوزن)
ضد یخ	۱۵ هزار تومان (برای هر لیتر)
ماشین برف‌روب	۴۵۰۰۰۰ یورو

در ادامه میانگین امتیاز متخصصان برای هر یک از گزینه‌ها در معیارها و زیرمعیارها پژوهش، ارائه گردیده است.

جداول (۱۱) تا (۱۵) میانگین امتیاز خبرگان و متخصصان برای هر یک از گزینه‌ها در معیارها و زیرمعیارها مرتبط را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که به منظور تعیین امتیاز گزینه‌های مختلف در چارچوب معیار اقتصادی، علاوه بر توجه به نظرات خبرگان و متخصصان، هزینه‌های واقعی تجهیزات نیز مورد توجه قرار گرفته است. در جدول (۱۰) هزینه تمام شده خرید هر یک از ابزارهای معرفی شده در بخش قبل بیان شده است. این اطلاعات با استعلام از شرکت‌های سازنده و استخراج از سایت‌های اینترنتی معتبر بدست آمده است. هزینه‌ها در صورت استعلام از شرکت یا سایت ایرانی به تومان و شرکت یا سایت خارجی به دلار یا یورو بیان شده است.

جدول ۱۱. میانگین پرسشنامه‌های خبره در مورد معیار اثربخشی

اثربخشی	اسپویلر برسی+گرم‌کن	پوشش+گرم‌کن	یخ خشک	ضد یخ	گرم‌کن	ماشین برف‌روب
اسپویلر برسی+گرم‌کن	۱	۵	۸	۹	۶	۷
پوشش+گرم‌کن	-۵	۱	۴	۵	۲	۳
یخ خشک	-۸	-۴	۱	۲	-۳	-۲
ضد یخ	-۹	-۵	-۲	۱	-۵	-۳
گرم‌کن	۶	-۲	۳	۵	۱	۲
ماشین برف‌روب	۷	-۳	۲	۳	-۲	۱

جدول ۱۲. میانگین پرسشنامه‌های خبره در مورد معیار اجرایی / زیرمعیار سهولت ساخت

زیرمعیار سهولت ساخت	اسپویلر برسی+گرم‌کن	پوشش+گرم‌کن	یخ خشک	ضد یخ	گرم‌کن	ماشین برف‌روب
اسپویلر برسی+گرم‌کن	۱	۲	-۴	-۵	۳	۲
پوشش+گرم‌کن	۲	۱	۳	-۴	-۲	۳
یخ خشک	۴	۳	۱	-۲	۲	۵
ضد یخ	۵	۴	۲	۱	۳	۶
گرم‌کن	۳	۲	-۲	-۳	۱	۴
ماشین برف‌روب	-۲	-۳	-۵	-۶	-۴	۱

جدول ۱۳. میانگین پرسشنامه‌های خبره در مورد معیار اجرایی / زیرمعیار نیروی اجرایی

ماشین برف‌روب	گرم‌کن	ضدیخ	یخ خشک	پوشش+گرم‌کن	اسپویلر برسی+گرم‌کن	زیرمعیار نیروی اجرایی
۴	۳	۶	۵	۲	۱	اسپویلر برسی+گرم‌کن
۳	۲	۵	۴	۱	-۲	پوشش+گرم‌کن
-۲	-۳	۲	۱	-۴	-۵	یخ خشک
-۲	-۴	۱	-۲	-۵	-۶	ضدیخ
۲	۱	۴	۳	-۲	-۳	گرم‌کن
۱	-۲	۲	۲	-۳	-۴	ماشین برف‌روب

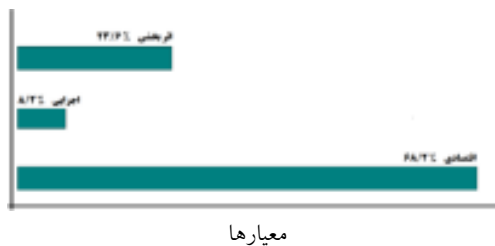
جدول ۱۴. میانگین پرسشنامه‌های خبره در مورد معیار اقتصادی / زیرمعیار هزینه نت

ماشین برف‌روب	گرم‌کن	ضدیخ	یخ خشک	پوشش+گرم‌کن	اسپویلر برسی+گرم‌کن	زیرمعیار هزینه تعمیر و نگهداری
۸	۳	۶	۴	۳	۱	اسپویلر برسی + گرم‌کن
۷	۲	۵	۳	۱	-۳	پوشش+گرم‌کن
۵	-۲	۳	۱	-۳	-۴	یخ خشک
۳	-۳	۱	-۳	-۵	-۶	ضدیخ
۶	۱	۳	۲	-۲	-۳	گرم‌کن
۱	-۶	-۳	-۵	-۷	-۸	ماشین برف‌روب

جدول ۱۵. میانگین پرسشنامه‌های خبره در مورد معیار اقتصادی / زیرمعیار هزینه اولیه

ماشین برف‌روب	گرم‌کن	ضدیخ	یخ خشک	پوشش+گرم‌کن	اسپویلر برسی+گرم‌کن	زیرمعیار هزینه اولیه
۵	-۳	-۵	-۴	-۲	۱	اسپویلر برسی+گرم‌کن
۶	-۲	-۴	-۳	۱	۲	پوشش+گرم‌کن
۷	۲	-۲	۱	۳	۴	یخ خشک
۸	۳	۱	۲	۴	۵	ضدیخ
۶	۱	-۳	-۲	۲	۳	گرم‌کن
۱	-۶	-۸	-۷	-۶	-۵	ماشین برف‌روب

شده‌ی میانگین هندسی هر یک از ردیف‌های جداول بالا بدست آمده است.



شکل ۱۹. نمودار وزندهی درصدی معیارها

۳-۳- اولویت‌بندی راهکارهای یخ‌زایی و جلوگیری از

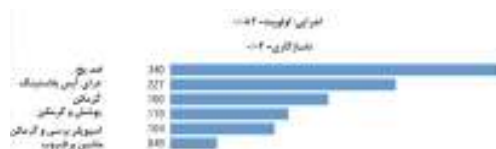
یخ‌زدگی سوزن

پس از تکمیل پرسشنامه‌ها و محاسبه میانگین هر کدام، این نتایج در نرم‌افزار Expert choice تجزیه و تحلیل شد. لازم به ذکر است نرخ ناسازگاری قابل قبول در تحلیل سلسله مراتبی می‌بایست کمتر از ۰/۱ باشد که در خروجی‌های نرم‌افزار اکسپرت چویس مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از اجرای روش تحلیل سلسله مراتبی توسط نرم‌افزار در شکل‌های (۱۹) تا (۲۲) ارائه شده است. اعداد بدست آمده در این تصاویر از نرمال

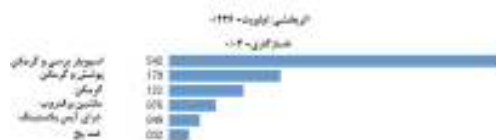
قطارها از کنار یکدیگر توسط سوزن‌ها صورت می‌گیرد. ارائه خدمات بصورت شبانه‌روزی در سیستم ریلی، اهمیت سلامت سوزن‌ها و عملکرد صحیح آنها را دو چندان می‌کند. از طرفی بررسی‌ها نشان داد که در پنجاه سال اخیر، حدود ۵۱ درصد از شبکه ریلی کشور دماهای کمتر از منفی بیست درجه سانتی‌گراد و ۹۶ درصد دمای زیر صفر را تجربه کرده‌اند. بنابراین ارائه راهکارهای مناسب برای مواجهه با شرایط آب و هوایی سرد، جلوگیری از خرابی سوزن‌ها در فصول سرد و ممانعت ایجاد بحران در ترافیک شبکه ریلی، امر حیاتی و ضروری است. مقاله حاضر نیز ۶ راهکار مناسب در زمینه یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی سوزن‌ها و تقاطع‌های ریلی را معرفی نمود. این راهکارها، ابزارها و فناوری‌هایی هستند که در کشورهای مختلف دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP، راهکارهای مختلف با یکدیگر مقایسه و اولویت‌بندی شدند و سپس بهترین راهکار از دیدگاه فنی، عملکرد و اقتصادی ارائه گردید. با توجه به نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی، استفاده از اسپویلر برسی به همراه گرم‌کن با درصد وزنی ۳۸٪ مناسب‌ترین راهکار شناخته شد. لازم به ذکر است که فناوری اسپویلر برسی به عنوان یک راهکار اقتصادی و کاربردی در کشورهای سردسیر اروپا بکار گرفته شده و نتایج مطلوبی داشته است. علاوه بر بکارگیری فناوری اسپویلر برسی، استفاده از گرم‌کننده‌ها در اجزای متحرک سوزن و همینطور فنس‌ها در اطراف سوزن‌هایی که در معرض هجوم بهمن و یا انباشت برف ناشی از وزش باد هستند توصیه می‌شود تا عملکرد این فناوری بهبود یابد. با همت و همکاری راه‌آهن کشور و همینطور بخش خصوصی، پیشنهاد می‌شود که نمونه بومی فناوری اسپویلر برسی ساخته شود و پس از انجام تست‌های لازم، در سوزن‌های مورد نیاز شبکه ریلی کشور بکار گرفته شود.

۷- مراجع

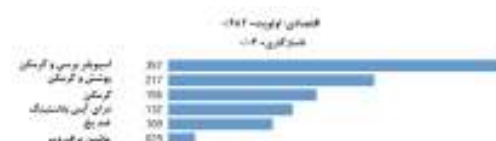
- "راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران"، (۱۳۹۳الف)، دستور العمل تمهیدات ایمنی فصل سرما. تهران.
- "راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران" (۱۳۹۳ب)، دستورالعمل تمهیدات و اقدامات لازم برای فصل سرما. تهران.
- "شرکت رامکار ماشین"، (۱۳۹۰)، گرم‌کن سوزن راه‌آهن با المنت‌های شمشیری. تهران.



شکل ۲۰. نمودار معیار اثربخشی و وزندهی گزینه‌ها

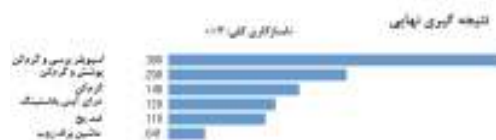


شکل ۲۱. نمودار معیار اجرایی و وزندهی گزینه‌ها



شکل ۲۲. نمودار معیار اقتصادی و وزندهی گزینه‌ها

در شکل (۲۳) نتیجه نهایی در خصوص انتخاب بهترین گزینه برای یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی در سوزن مشخص شده است.



شکل ۲۳. امتیازدهی نهایی گزینه‌ها

بدین ترتیب گزینه اسپویلر برسی و گرم‌کن بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده، به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت خرابی‌های ناشی از فصول سرد سال به زیرساخت‌های حمل‌ونقلی در مدیریت بحران، این مقاله نیز به بررسی راهکارهای مقابله با یخ‌زدایی و جلوگیری از یخ‌زدگی سوزن‌های خطوط ریلی پرداخت. سوزن و متعلقات آن یکی از بحرانی‌ترین نقاط در شبکه ریلی، بخصوص در فصل زمستان می‌باشد. زیرا سوزن‌ها و یا تقاطع‌های ریلی نقش بسزایی در ایمنی ترافیک ریلی دارند. عملیات تغییر مسیر، تلاقی و سبقت

- Kloow, L., and Jenstav, M., (2011), "High-speed train operation in winter climate", Transrail Publication BVF5. Vol. 2, pp. 2011.
- Machineseeker, (2019), "Construction machinery for sale Retrieved from <https://www.machineseeker.com/Construction-machinery/ci-8>.
- Nurmikolu, A., (2005), "Degradation and frost susceptibility of crushed rock aggregates used in structural layers of railway track", Tampere University of Technology.
- Osborn Co., (2017), "Solutions for Turnout Protection against Sand and Snow", Retrieved from <https://www.osborn.com/media/PDF/literature-de/Osborn-TurbFly-English.pdf>.
- Oslakovic, I.S., ter Maat, H., Hartmann, A., and Dewulf, G., (2013), "Risk assessment of climate change impacts on railway infrastructure". No.14.
- Overaasen, (2019), "Rail Snow Blowers. Retrieved from https://overaasen.no/518/rail_snow_blowers.
- RPM Tech., (2019), "Rapid Snow Removal System", Retrieved from <http://www.grouperpmtch.com/en/rail-and-metro-equipment.aspx>.
- Silla, A., Jaroszweski, D., Quinn, A., Baker, C., Hooper, E., Kochsiek, J., and Schulz, S., (2014), "Guidebook for Enhancing Resilience of European Rail Transport in Extreme Weather Events". No 87.
- Wickström, M., (2017), "Product description and assembly instruction: Snow and sand protection with brushes", Retrieved from <https://www.osborn.com/media/PDF/products-de/TurbFly%20assembly%20and%20product%20description%202017.03.01.pdf>.
- Widmer, S.W., (1987), "Railroad track switch covers and heater", In: Google Patents.
- قدسی پور، س.ح.، (۱۳۹۵)، "فرایند تحلیل سلسله مراتبی"، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- واحدی هویدا، ر.، (۱۳۹۵)، "بررسی محدودیت‌های نگهداری خطوط بالاستی در مناطق سردسیر"، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- Andersen, J.L.E., and Landex, A., (2010), "Alignment analysis of urban railways based on passenger travel demand", Paper presented at the 12th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and other Transit Systems.
- Bettez, M., (2011), "Winter technologies for high speed rail". Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for... .
- Darko, A., Chan, A.P.C., Ameyaw, E.E., Owusu, E.K., Pärn, E., and Edwards, D.J., (2019), "Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction". International journal of construction management, Vol. 19. No. 5. pp. 436-452 .
- Das, T.K., Goyal, N.K., and Gautam, A., (2019), "Prediction of restoration factor for various maintenance types of railway systems using analytical hierarchy process", Journal of Quality in Maintenance Engineering. No.8.
- Fisk, G., (2017), "Climate risks and adaptation pathways for coastal transport infrastructure". Guidelines for planning and adaptive responses, National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast. No.95.
- Fujii, T., Kawashima, K., Iikura, S., Endo, T., and Izunami, R., (2002), "Preventive measures against snow for high-speed train operation in Japan. In Cold Regions Engineering: Cold Regions Impacts on Transportation and Infrastructure, pp. 448-459.

Studying strategies for Preventing Frost, and Defrosting the Railroads Switch and Presenting Optimal Solution using Analytical Hierarchy Process

Ahmad Reza Jafarian-Moghaddam, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Ramin Vahedi Hoveyda, M.Sc., Grad., Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

E-mail: ar.jafarian@trn.ui.ac.ir

Received: September 2021-Accepted: August 2021

ABSTRACT

Nowadays, one of the most important issues associated with the maintenance and repairing procedure of ballasted tracks, especially at the switches and rail crossings, is to cope with the frosty weather conditions, crisis management and repel its destructive influences. Switches on railroads play an important role in the management of rail fleet traffic, and their improper and delayed operation can lead to crises and disasters. Examination of the meteorological data shows that 51 percent of domestic railway network area experience temperature less than -20 centigrade and 96 percent less than zero centigrade in past 50 years. Accordingly, it is vital to hire proper approaches and consume regarding instruments and technologies in the frosty seasons. Therefore, this paper firstly investigates the instructions, proceedings, methods, and approaches which are commonly performed in frosty seasons, and then, by preparing a related questionnaire and utilizing Analytical Hierarchy Process (AHP) and Expert Choice software following by the consults and comments of experts, suggests the brush spoiler technology in addition to the heater as an optimal method to prevent freezing, icing, and snow heaping in switches.

Keywords: Crisis Management, Frosty Season, Rail Infrastructure, Switch, Analytical Hierarchy Process