

تعیین اولویت‌های عملیات راهداری زمستانی با هدف کاهش هزینه و زمان اجرای عملیات

مقاله علمی - پژوهشی

علی کبریایی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران- حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی،
دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
*حمیدرضا بهنود (نویسنده مسئول)، دانشیار، گروه مهندسی عمران- حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی،
دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hr.behnood@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۷

صفحه ۵۷۰-۵۵۷

چکیده

نگهداری راه‌ها در فصل زمستان شامل وظایف بسیار زیاد و مستلزم تأمین منابع انسانی و مالی زیادی است و تأمین مواد و استقرار نیروهای راهداری و ماشین‌آلات سنگین و نیمه سنگین هزینه بسیار بالایی را به خود اختصاص می‌دهند. بودجه‌بندی بخش نگهداری راه‌ها باید بر اساس نیازها، اولویت‌ها و وضعیت واقعی شبکه راه انجام شود. هدف کلی در این پژوهش به دست آوردن اولویت‌های راهداری زمستانی بر اساس نظر کارشناسان خبره است به طوری که برنامه‌هایی که باعث افزایش راندمان عملیات نگهداری زمستانی و مدیریت هزینه‌ها می‌شود، بررسی شود و در نهایت موارد مورد نیاز که باید در ایران انجام شود را به دست بیاوریم. نمونه مورد مطالعه در این تحقیق ۹۷ نفر از مهندسين ناظر، مهندسين عمران، مهندسين طراح و پیمانکاران بخش خصوصی و ارگان‌های دولتی در استان البرز می‌باشند. قلمرو مکانی این تحقیق استان البرز می‌باشد. پرسشنامه تهیه شده در شش بخش و تعداد ۱۶ سوال در بخش‌های مختلف طراحی شده است. برای بررسی عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی، پرسشنامه دیگری به نام پرسشنامه خبره (پرسشنامه ۹ عاملی AHP) با نظر اساتید محترم و کارشناسان این حوزه جهت بررسی و مقایسه زوجی، میزان اهمیت معیارهای استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی، مسیریابی C VRP، پایین آوردن عمر ماشین‌آلات، استفاده از تجارب جهانی، مدیریت صحیح بر ماشین‌آلات (cmms) و پیش بینی شرایط راهداری نسبت به یکدیگر تهیه و طراحی گردیده است. براساس نتایج، اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بر کاهش زمان و هزینه به ترتیب عبارت است از استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی، پایین آوردن عمر ماشین‌آلات، مدیریت صحیح بر ماشین‌آلات، استفاده از تجارب جهانی، پیش‌بینی شرایط راهداری و مسیریابی C VRP.

واژه‌های کلیدی: راهداری زمستانی، اولویت‌بندی، تحلیل سلسله مراتبی فازی، مسیریابی C VRP

۱-مقدمه

لازم است در سیاست‌های کلی راهداری، به برنامه‌ریزی لازم در خصوص عملیات راهداری زمستانی جهت رسیدن به ترددی ایمن، پیوسته و روان در فصل زمستان پرداخته شود. نگهداری زمستانی مجموعه‌ای از عملیات راهداری است که در فصل زمستان با توجه به شرایط اقلیمی و آب و هوایی و به دلیل

برنامه‌ریزی‌های نگهداری راه در هر کشور، به ویژه برنامه ریزی برای حفظ ایمنی و جریان پیوسته ترافیک در زمستان، از درجه اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار است. از آنجا که بخش مهم و قابل توجهی از وظایف بخش راهداری کشور، مدیریت راهداری زمستانی و ایجاد ترددی روان در فصل زمستان می‌باشد،

برودت هوا به وظایف راهداری اضافه می‌شود. برف و یخبندان یک عامل مهم و تاثیرگذار در ایجاد تاخیرها و تصادفات در شهرها و جاده‌های برون شهری است. به منظور مقابله با این عوامل باید مدیریت درستی برای نگهداری زمستانی راه‌ها، مدیریت هزینه و مدیریت منابع انجام دهیم. به طور کلی نگهداری راه‌ها در فصل زمستان شامل وظایف بسیار زیاد و مستلزم تأمین منابع انسانی و مالی زیادی است و تأمین مواد و استقرار نیروهای راهداری و ماشین آلات سنگین و نیمه سنگین هزینه بسیار بالایی را به خود اختصاص می‌دهند. بودجه‌بندی بخش نگهداری راه‌ها باید بر اساس نیازها، اولویت‌ها و وضعیت واقعی شبکه راه انجام شود. متغیرهای خرابی و استهلاک راه‌ها و وضعیت ترافیک از تقسیم بندی استانی تبعیت نمی‌کند بلکه تابع عواملی مثل کیفیت طراحی و ساخت راه، اقلیم و وضعیت آب و هوایی، ترافیک و نحوه نگهداری راه‌ها است. بر این اساس تخصیص منابع باید تابع این عوامل بوده و بر اساس اطلاعات روزآمدی که از وضعیت راه کسب می‌شود برنامه‌ریزی شود. هنگامی که سطح راه پوشیده از برف و یخبندان باشد باعث بالا رفتن هزینه‌ها و صدمات ناشی از سوانح اتومبیل می‌شود. همه ساله راه‌های کوهستانی شاهد یخبندان، سقوط بهمن، کولاک برف، لغزندگی جاده‌ها، مه‌گرفتگی، اختلال در شبکه راه‌ها و افزایش تصادفات جاده‌ای می‌باشیم. مهم‌ترین وظیفه راهداران تأمین سطح خدمت مطلوب از طریق انجام عملیات راهداری کارا و موثر با بیشترین ضریب ایمنی و کمترین هزینه، رفع مشکلات ناشی از بارش برف و یخبندان و محدودیت دید برای استفاده کنندگان از راه می‌باشد. با به کارگیری سیستم‌های هوشمند حمل و نقل و راهداری نوین می‌توان از این حوادث پیشگیری نموده و خسارات ناشی از این حوادث را کاهش داده و مدیریتی صحیح بر نگهداری منابع، کارکنان و ماشین آلات داشته باشیم. هدف کلی در این پژوهش به دست آوردن اولویت‌های راهداری زمستانی بر اساس نظر کارشناسان خبره است به طوری که برنامه‌هایی که باعث افزایش راندمان عملیات نگهداری زمستانی و مدیریت هزینه‌ها می‌شود، بررسی شود و در نهایت موارد مورد نیاز که باید در ایران انجام شود را به دست بیاوریم.

۲- پیشینه تحقیق

راهداری زمستانی یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های مدیریتی در شبکه‌های حمل‌ونقل مناطق سردسیر است که هدف اصلی آن

حفظ ایمنی، تداوم دسترسی و کاهش اختلالات ناشی از برف و یخ‌زدگی است. در این میان، «تخصیص منابع» شامل تصمیم‌گیری درباره نحوه توزیع تجهیزات برف‌روبی، ماشین‌آلات نمک‌پاش، نیروی انسانی، انبارهای مصالح یخ‌زدا و بودجه، همواره یکی از چالش‌های اصلی مدیران راه بوده است. در دهه‌های نخست توسعه راهداری زمستانی، تخصیص منابع عمدتاً مبتنی بر تجربه کارشناسان و روش‌های سنتی انجام می‌شد. در این رویکرد، تعداد ماشین‌آلات و نیروها بر اساس سوابق سال‌های گذشته و دانش عملی مدیران تعیین می‌شد و انعطاف‌پذیری محدودی در مواجهه با تغییرات شدت طوفان‌های زمستانی وجود داشت. با افزایش شبکه‌های راه و رشد تقاضای حمل‌ونقل، ناکارآمدی این روش‌ها آشکار شد و پژوهشگران به سمت توسعه مدل‌های علمی حرکت کردند. از دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات برای حل مسائل راهداری زمستانی آغاز شد. مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی عدد صحیح و مسائل مسیریابی وسایل نقلیه برای تعیین مسیر بهینه برف‌روب‌ها و تخصیص تجهیزات توسعه یافتند. این مدل‌ها تلاش می‌کردند ضمن رعایت محدودیت‌هایی نظیر زمان خدمت‌رسانی، سطح خدمت راه‌ها و ظرفیت ناوگان، هزینه عملیات را کاهش دهند. در دهه ۲۰۰۰، با پیشرفت سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سیستم‌های پیش‌بینی هواشناسی و فناوری‌های ارتباطی، مفهوم تخصیص پویای منابع مطرح شد. در این رویکرد، تصمیمات تخصیص بر اساس اطلاعات لحظه‌ای شرایط جوی و وضعیت راه اتخاذ می‌شد. پژوهش Yu (۲۰۱۰) از نخستین مطالعاتی بود که مسئله بازتخصیص منابع بین مناطق مختلف نگهداری را با در نظر گرفتن پیش‌بینی هوا، طبقه‌بندی راه‌ها و سطح خدمت مورد بررسی قرار داد و نشان داد که برنامه‌های ثابت نمی‌توانند پاسخگوی شرایط متغیر زمستان باشند. از سال ۲۰۲۰ به بعد، پژوهش‌های حوزه تخصیص منابع در راهداری زمستانی وارد مرحله‌ای جدید شدند که ویژگی اصلی آن بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند، تحلیل داده و توجه به پایداری محیط‌زیستی است. الگوریتم‌های پیشرفته مسیریابی، هوش مصنوعی، برنامه‌ریزی مقاوم و یادگیری تقویتی به تدریج جایگزین روش‌های سنتی شده‌اند.

مطالعات جدید نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی موجب افزایش عدم قطعیت در برنامه‌ریزی زمستانی شده و مدیران ناگزیرند تخصیص منابع را به صورت انعطاف‌پذیر طراحی کنند. پژوهش

(Lorentzen ۲۰۲۰) نشان داد که تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت اقلیم تأثیر مستقیمی بر هزینه‌های برف‌روبی و مصرف منابع دارد و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی می‌تواند به بهینه‌سازی بودجه کمک کند. همچنین توسعه الگوریتم‌های مسیریابی پیشرفته، امکان طراحی شبکه‌های خدمت‌رسانی کارآمدتر را فراهم کرده است. پژوهش‌های Fink و همکاران (۲۰۲۰) با ارائه الگوریتم‌های جدید Arc Routing نشان دادند که حتی شبکه‌های بزرگ نیز با استفاده از روش‌های ابتکاری قابل مدیریت هستند و زمان محاسبات به شدت کاهش می‌یابد. در سال‌های اخیر، توجه به پایداری محیط‌زیستی نیز در تخصیص منابع افزایش یافته است. استفاده از اقتصاد چرخشی در مدیریت ساینده‌ها و مواد یخ‌زدا، کاهش مصرف نمک و استفاده مجدد از مواد از جمله موضوعات نوظهور محسوب می‌شوند. مطالعه Blouin و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که رویکرد اقتصاد چرخشی می‌تواند ضمن حفظ سطح خدمت، هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهد.

از سوی دیگر، ظهور خودروهای خودران نیز الزامات جدیدی را برای تخصیص منابع ایجاد کرده است. پژوهش Ødegård و Klein-Paste (2021) بیان می‌کند که خودروهای خودکار برای تشخیص خطوط و زیرساخت‌ها به سطح خدمت بالاتری نیاز دارند و این موضوع ممکن است الگوهای سنتی تخصیص منابع را تغییر دهد. در ادامه، پژوهش‌های جدید بر توسعه مدل‌های مقاوم در برابر عدم قطعیت متمرکز شده‌اند. مطالعه Addressing Climatic Uncertainty through Fleet Optimization (۲۰۲۴) با استفاده از روش تاگوچی و بهینه‌سازی ناوگان نشان داد که طراحی مقاوم ناوگان می‌تواند کارایی تخصیص منابع را در شرایط آب‌وهوایی غیرقابل پیش‌بینی افزایش دهد. همچنین مدل‌های مبتنی بر محدودیت برای بهینه‌سازی مسیر برف‌روب‌ها توسعه یافته‌اند که با در نظر گرفتن ظرفیت ناوگان، محدودیت زمانی و سطح خدمت، زمان عملیات را کاهش می‌دهند. پژوهش Nguyen و همکاران (۲۰۲۴) نمونه‌ای از این رویکرد است. در مجموع، روند تاریخی تخصیص منابع در راهداری زمستانی از تصمیم‌گیری مبتنی بر تجربه به سمت تصمیم‌گیری داده‌محور، هوشمند و پایدار حرکت کرده است. آینده این حوزه احتمالاً با ادغام هوش مصنوعی، یادگیری تقویتی، اینترنت اشیا و سامانه‌های پیش‌بینی دقیق هواشناسی همراه خواهد بود و تخصیص منابع به‌صورت بلادرنگ و خودکار انجام خواهد شد.

رفع مشکلات ناشی از بارش برف و باران، بروز کولاک و محدودیت دید و تأمین ایمنی در طول راه‌ها خصوصاً در نقاط کوهستانی مهم‌ترین مشکل راهداران در نگهداری از شبکه راه-های کشور می‌باشد (پورمعلم، ۱۳۹۰). عملیات پیشگیرانه نگهداری زمستانی به دو روش انجام می‌شود: روش‌هایی که برای پیش‌بینی شرایط راهداری به کار می‌روند و دیگری روش‌های انجام عملیات پیشگیرانه. سیستم‌های اطلاع‌رسانی آب و هوای راه‌ها شبکه‌هایی متشکل از جمع‌آوری اطلاعات آب و هوایی و سیستم‌های نمایش شرایط راه به همراه ارتباطات مربوطه و ماشین‌آلات در حال کار و تسهیلات نمایشگر می‌باشند که اطلاعاتی را برای تصمیم‌گیری مدیران راهداری فراهم می‌نماید (شهرکی ثانوی و همکاران، ۱۳۹۵). در روش‌های انجام عملیات پیشگیری، می‌بایست از یک طرف مانع از نشست برف زیاد در روی سطح رویه راه گردید و از طرف دیگر، به انجام عملیات پیشگیری از یخ زدن پرداخت. حفاظ‌های کولاک گیر، پاسخ مناسبی برای کاهش هزینه پاکسازی دپوهای برف و برف‌روبی است. در گذشته از لودرها و گریدرها برای انجام عملیات اضطراری نگهداری زمستانی استفاده می‌گردید. اما امروزه با تجهیزات مختلفی که برای انجام عملیات‌های خاص جهت نصب بر روی کامیون‌ها ساخته شده‌اند، دیگر نیاز زیادی به این نوع وسایل احساس نمی‌گردد. هر چند که هنوز هم جایگاه خود را به خوبی در میان ماشین‌آلات راهداری حفظ کرده‌اند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴).

موضوع مسیریابی وسیله‌نقلیه، یکی از مفاهیم آشنا در زمینه تحقیق در عملیات است که در دو دهه اخیر تلاش‌ها و به دنبال آن پیشرفت‌های بزرگی در این زمینه انجام گرفته است. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه به مجموعه‌ای از مسائل اطلاق می‌شود که در آن ناوگانی متشکل از چندین وسیله نقلیه از یک یا چند انبار به ارائه خدمت به مشتریان مستقر در نقاط مختلف جغرافیایی می‌پردازند و این امر را به نحوی انجام می‌دهند که هزینه‌های انجام این کار به حداقل برسد (Toth و همکاران، ۲۰۰۲). مدل‌ها و الگوریتم‌های معرفی شده برای حل مسائل برنامه‌ریزی و مسیریابی ارائه شده‌اند، نه تنها برای استفاده در مسائل مربوط به پخش و جمع‌آوری کالاها بلکه برای بسیاری از مسائل مختلف صنعت حمل‌ونقل در دنیای واقعی، نیز می‌توان استفاده نمود و به طور عمده مورد استفاده از این دست مسائل به عنوان مثال، در جمع‌آوری زباله‌های خشک، پاکیزه‌سازی خیابان‌ها، مسیریابی اتوبوس مدرسه، سیستم‌های جابه‌جایی معلولین، مسیریابی فروشنده دوره‌گرد و واحدهای نگهداری و تعمیرات

یعنی ریختن مخلوط شن و نمک جامد بر روی آسفالت تنها روش مورد استفاده در ایران بوده است (خلیفه، ۱۳۹۰).

جعفری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان اولویت‌بندی گزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی راه با رویکرد محدودیت بودجه (مطالعه موردی: محور کلازآباد-عباس‌آباد) باتوجه به شاخص ارزش خالص فعلی (NPV) گزینه‌ای که هم برای کاربران راه و هم برای کارفرما به‌عنوان مقرون به صرفه‌ترین گزینه تناوبی تعمیر و نگهداری روسازی است، برای محور کلازآباد - عباس‌آباد معرفی گردید. با توجه به خروجی‌های بدست آمده، نرم‌افزار با بودجه نامحدود، گزینه وصله- درزگیری ترک و بازسازی با روکش ۱۰ سانتی‌متر را پیشنهاد کرد. همچنین با رویکرد بودجه محدود، نرم‌افزار راهکار پایه که شامل (وصله و درزگیری ترک) می‌باشد را پیشنهاد نمود. قاسمی نژاد و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی با عنوان سیستم‌های نوین نگهداری زمستانی زیر ساخت حمل و نقل جاده دریافتند در کشورهای پیشرفته، تحقیقات و بررسی‌های فراوانی به منظور بهبود روش‌های راهداری زمستانی خصوصاً در مناطق سردسیر و کوهستانی صورت گرفته است. لذا بهره‌گیری از این دستاوردها و تجارب باعث ایجاد تحولی در شناخت موضوع و عمل به آن خواهد بود. طباطبائی و رحمن (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان اهمیت و جایگاه نگهداری راه‌ها در ایران دریافتند با توجه به محدودیت‌های منابع مالی و فن آوری باید با صرف هزینه کمتر سعی در حفظ و نگهداری وضعیت راه‌های موجود و بهسازی آن‌ها نمود. تحقیق حاضر در پی آن است تا با ارائه تصویری روشن از تجارب جهانی، ضمن تاکید بر ضرورت تامین منابع مالی کافی برای نگهداری راه‌ها، راهکارهای عملی جهت بهبود وضعیت نگهداری راه‌ها در ایران را ارائه نماید.

مصلی‌نژاد (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان مقایسه روش‌های مدیریت -نگهداری زمستانی راه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP دریافت نگهداری زمستانی مجموعه‌ای از عملیات راهداری است که در طول زمستان با توجه به شرایط اقلیمی و آب و هوایی و به دلیل بروود هوا به وظایف راهداری اضافه می‌شود.

۳-روش تحقیق

پژوهش حاضر از لحاظ نوع پژوهش کاربردی و توصیفی است. برای اطمینان از روایی محتوایی با نظر خبرگان و کارشناسان این حوزه پرسشنامه‌ای تهیه شد و پایایی پژوهش از روش آلفای کرونباخ محاسبه شد. با توجه به موضوع هدف آن و همچنین با مدنظر قرار دادن نوع روش تحقیق مهم‌ترین ابزار جمع‌آوری اطلاعات برای آزمون سوالات در تحقیق حاضر پرسشنامه

می‌باشد. پخش کالاها در برگیرنده خدمت‌دهی به دسته‌ای از مشتریان، در یک بازه زمانی داده شده توسط دسته‌ای از وسایل نقلیه می‌شود که در یک یا چند مرکز قرار دادند و توسط دسته‌ای از رانندگان هدایت می‌شوند و جابجایی‌ها در یک شبکه مسیر مناسب انجام (شهرکی ثانوی و همکاران، ۱۳۹۵). در مسیریابی وسایل نقلیه، بحث کلیدی مربوط به مدیریت ناوگانی از وسایل می‌باشد که خدمات تحویل یا جمع‌آوری و یا ترکیبی از آن دو را به مجموعه‌ای از مشتریان انجام می‌دهد. مدیر برنامه ریزی علاوه بر این که در مورد تعداد و نوع وسایل باید تصمیم‌گیری نماید، هم چنین بایستی مشخص نماید که مشتریان با چه وسیله و با چه ترتیبی دنبال شوند تا هزینه حمل و نقل کاهش یابد. بنابر این پژوهشگران در تلاش هستند روش‌هایی که منجر به کاهش هزینه حمل و نقل در این سیستم می‌گردد را ارائه نمایند.

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) نامی کلی است که به تمامی کلاس مسائلی که شامل ملاقات مشتری‌ها با وسیله نقلیه است، اطلاق می‌شود. در مقالات، تحت عنوان زمان بندی وسیله نقلیه، توزیع وسیله نقلیه یا به بیان ساده‌تر به صورت مسئله تحویل نیز بیان شده است. یکی از حالت‌های مسئله VRP، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی نامیده می‌شود که در این مسئله علاوه بر محدودیت ظرفیت، هر یک از مشتریان یا پایانه‌ها دارای فواصل زمانی جهت ارائه خدمات می‌باشند. در این مسئله زمان ارسال کالا از پایانه ممکن است در ساعات با فواصل زمانی خاصی صورت گیرد که در چنین حالتی گفته می‌شود پایانه دارای پنجره زمانی می‌باشد (مسرورنیا و همکاران، ۱۳۹۵). مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با چند پایانه (MDVRP) «نوعی مسئله مسیریابی با محدودیت ظرفیت است که در آن چندین پایانه مرکزی جهت استقرار وسایل وجود دارد و هر وسیله با یکی از این چندین پایانه حرکت خود را آغاز نموده و پس از ارائه خدمات به مشتریان، به همان پایانه یا پایانه‌های مرکزی دیگر باز می‌گردد. در این مسئله بیش از یک پایانه وجود دارد که باعث پیچیده‌تر شدن مسئله می‌گردد. ممکن است که کالاها در این چند مرکز نگهداری شده و از این مراکز برای مشتریان ارسال شوند (Gamayanti و همکاران، ۲۰۱۵).

از گذشته تا به حال راه‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین پل‌های ارتباطی بین مراکز جمعیتی به شمار می‌رود لذا نگهداری از راه به خصوص در فصول سرد سال و لزوم شناخت فناوری‌های نوین نگهداری زمستانی بسیار حایز اهمیت است. در ایران حمل و نقل جاده‌ای بالغ بر ۹۰٪ جابجایی بار و مسافر را پوشش می‌دهد و با توجه به شرایط اقلیمی و آب و هوایی ایران نگهداری زمستانی راه امری اجتناب ناپذیر است. در حال حاضر حذف یخ

عنوان نمونه انتخاب می‌شود. اطلاعات در نرم افزار SPSS با استفاده از آزمون‌های لازم وارد می‌گردد.

برای بررسی عوامل موثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی با استفاده از روش سلسله مراتبی نیز پرسشنامه دیگری به نام پرسشنامه خبره (پرسشنامه ۹ عاملی AHP) با نظر اساتید محترم و کارشناسان این حوزه جهت بررسی و مقایسه زوجی، میزان اهمیت معیارهای استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی، مسیریابی C VRP، پایین آوردن عمر ماشین آلات، استفاده از تجارب جهانی، مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms) و پیش بینی شرایط راهداری نسبت به یکدیگر تهیه و طراحی گردیده است. این پرسشنامه شامل یک جدول می‌باشد که بر اساس مقایسه زوجی میزان اهمیت هر یک از آن‌ها بر اساس امتیازدهی سنجیده می‌شود. میزان اهمیت هر یک از عامل‌ها نسبت به عامل دیگر از ۱ تا ۹ امتیاز داده می‌شود. بر اساس پاسخ‌های دریافت شده محاسبات آن بر اساس نرم افزار اکسل با استفاده از آزمون‌های لازم انجام می‌شود. پرسشنامه مورد استفاده در این پژوهش شامل دو دسته پرسش‌های عمومی و تخصصی است. پرسش‌های عمومی خود شامل پرسش پیرامون ویژگی‌های فردی پاسخ دهندگان است. این پرسش‌ها عبارتند از: تحصیلات، سن و سابقه کاری. نمره گذاری پرسشنامه بصورت طیف لیکرت ۵ نقطه‌ای می‌باشد که برای گزینه‌های «کاملاً مخالفم»، «مخالقم»، «مخالقم ندارم»، «موافقم» و «کاملاً موافقم» به ترتیب امتیازات ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ در نظر گرفته می‌شود. گویه‌های شماره ۳، ۵، ۹ و ۱۲ بصورت معکوس نمره گذاری می‌شود و طبق جدول زیر عمل می‌شود. خرده مقیاس‌ها و سوالات پرسشنامه محقق ساخته در جدول (۱) آمده است.

معمولاً دامنه ضریب اعتماد آلفای کرونباخ از ۰/۰۰ (عدم پایداری) تا ۱/۰۰ (پایایی کامل) قرار می‌گیرد. که هرچه مقدار به دست آمده به ۱/۰۰ نزدیک‌تر باشد، قابلیت اعتماد پرسشنامه بیشتر است. معمولاً برای آزمون با اهداف پژوهشی، حصول پایایی بین ۰/۶ تا ۰/۸ کافی می‌باشد. (مقدار قابل قبول در اکثر منابع ۰/۷ می‌باشد). جدول (۲) نتایج آزمون آلفای کرونباخ را نشان می‌دهد.

می‌باشد و بیشترین داده‌ها و اطلاعات لازم جهت تجزیه و تحلیل سوالات و آزمون فرضیات از طریق جمع آوری داده‌های میدانی از آزمودنی‌ها با بارگیری ابزار پرسشنامه حضوری صورت گرفته است. نمونه مورد مطالعه در این تحقیق ۹۷ نفر از مهندسین ناظر، مهندسین عمران، مهندسین طراح و پیمانکاران بخش خصوصی و ارگان‌های دولتی در استان البرز می‌باشند که واجد مشخصات زیر بودند:

- دارای مدرک کاردانی یا بالاتر در یکی از رشته های مهندسی مرتبط با پروژه‌های عملیات راهداری زمستانی.

- در یکی از بخش‌های مربوط به پروژه‌های ساخت و نگهداری جاده ای مشغول به کار.

- دارای حداقل ده سال سابقه کار در محیط تحقیق.

قلمروهای تحقیق نیز شامل موارد زیر می‌باشند:

- قلمرو مکانی: قلمرو مکانی این تحقیق استان البرز می‌باشد.

- قلمرو زمانی: قلمرو زمانی این تحقیق بهار سال ۱۴۰۰ می‌باشد.

- قلمرو موضوعی: قلمرو موضوعی این تحقیق در حیطه پروژه‌های ساخت و نگهداری جاده‌ای می‌باشد که به مطالعه بررسی عوامل موثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی می‌پردازد.

ابزار جمع آوری اطلاعات در تحقیق حاضر پرسشنامه است. برای اطمینان از روایی محتوایی با نظر اساتید محترم و کارشناسان این حوزه دو پرسشنامه برای تحقیق تهیه شد و پایایی پژوهش از روش آلفای کرونباخ محاسبه شد. برای سنجش متغیرهای تخصصی از مقیاس پنج گزینه‌ای لیکرت استفاده شده است.

ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه پژوهشگر ساخته بود که در شش بخش تنظیم گردیده است. در ابتدای بخش به سوالات مربوط به مشخصات دموگرافیک گروه‌های مورد پژوهش پرداخته شده است. پرسشنامه تهیه شده همانطور که گفته شد در ۶ بخش و تعداد ۱۶ سوال در بخش‌های مختلف طراحی شده است. بخش اول مربوط به بخش استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی که مشتمل بر ۴ سوال، بخش دوم در برگیرنده‌ی ۳ سوال مبنی بر مسیریابی C VRP، بخش سوم مشتمل بر ۳ سوال جهت پایین آوردن عمر ماشین آلات، بخش چهارم مشتمل بر ۲ سوال جهت سنجش استفاده از تجارب جهانی، بخش پنجم مشتمل بر ۲ سوال جهت سنجش مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms) و بخش ششم مشتمل بر ۲ سوال جهت سنجش پیش بینی شرایط راهداری می‌باشد. برای تعیین اعتبار ابزار از روش اعتبار محتوا و پرسشنامه‌ی محقق مبتنی بر پرسشنامه‌های استاندارد طیف لیکرت استفاده می‌شود که براساس مبانی نظری موضوع تنظیم شده است و جهت کسب پایایی از تعداد کل جامعه آماری با استفاده از فرمول کوکران به

جدول ۱. خرده مقیاس‌ها و سوالات پرسشنامه محقق ساخته

ردیف	خرده مقیاس	سوالات	تعداد سوال
۱	استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی	۱ تا ۴	۴
۲	مسیریابی C VRP	۵ تا ۷	۳
۳	پایین آوردن عمر ماشین آلات	۸ تا ۱۰	۳
۴	استفاده از تجارب جهانی	۱۱ تا ۱۲	۲
۵	مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms)	۱۳ تا ۱۴	۲
	پیش بینی شرایط راهداری	۱۵ تا ۱۶	۲

جدول ۲. نتایج آزمون آلفای کرونباخ

شاخص	مقدار آلفای کرونباخ
استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی	۰/۷۱۷
مسیریابی C VRP	۰/۸۲۰
پایین آوردن عمر ماشین آلات	۰/۸۷۸
استفاده از تجارب جهانی	۰/۷۵۲
مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms)	۰/۷۵۳
پیش بینی شرایط راهداری	۰/۸۷

۳-۱. فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در هنگامی که عمل تصمیم گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم گیری روبروست می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم آغاز می‌کند. متغیرهای وابسته شامل استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی، مسیریابی CVRP، پایین آوردن عمر ماشین آلات، استفاده از تجارب جهانی، مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms) و پیش بینی شرایط راهداری و متغیر مستقل شامل عوامل موثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی می‌باشد.

انجام مقایساتی بین گزینه‌های مختلف تصمیم، بر اساس هر شاخص و قضاوت در مورد اهمیت شاخص تصمیم با انجام مقایسات زوجی، بعد از طراحی سلسله مراتب مساله تصمیم، تصمیم گیرنده می‌بایست مجموعه ماتریسهایی که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها

اندازه‌گیری می‌نماید، ایجاد کند. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد.

۳-۲. فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی

گام‌های روش تحلیل و انجام محاسبات FAHP از دیدگاه چانگ عبارتند از:

گام اول) برای هر یک از سطرها ماتریس مقایسات زوجی، ارزش S_i را که خود یک عدد فازی مثلثی است؛ محاسبه می‌کنیم. این ارزش به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \quad \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m M_{gi}^j$$

که در آن i بیان‌گر شماره سطر و j نشان دهنده شماره ستون است. در ضمن M_{ij} در فرمول فوق‌الذکر، اعداد مثلثی موجود در جداول مقایسات زوجی هستند.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^i = \sum_{i=1}^n 1_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i$$

به منظور محاسبه می توان از فرمول زیر استفاده نمود.

گام دوم) پس از محاسبه $\square\square$ باید درجه بزرگی آن ها را نسبت به هم به دست آورد. به طور کلی اگر M_1 و M_2 دو عدد فازی مثلثی باشند؛ درجه بزرگی M_2 بر M_1 به صورت زیر تعریف می شود:

$$\sum_{j=i}^m m_{gi}^i = \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j$$

همچنین برای محاسبه و معکوس آن می توان از فرمول های زیر نیز استفاده کرد.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{m_1 - l_1} & \text{otherwise} \end{cases}$$

از سوی دیگر میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از $\square$ عدد فازی مثلثی دیگر از رابطه زیر به دست می آید:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] \\ = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k$$

کارشناسی با درصد فراوانی ۵۸ درصد و کمترین فراوانی مربوط به دکترا و بالاتر با درصد فراوانی ۱۰ درصد می باشد. در این نمونه، بیشترین فراوانی مربوط به سابقه کار ۲۱ تا ۳۰ سال با درصد فراوانی ۳۶ درصد و کمترین فراوانی مربوط به سابقه کار ۳۰ سال به بالا با درصد فراوانی ۹ درصد می باشد.

به منظور بررسی نرمال بودن متغیرهای پژوهش و انتخاب آزمون آماری مناسب، از آزمون کالموگروف-اسمیرنف استفاده شد. همانگونه که در جدول ۴-۴ مربوط به آزمون کالموگروف-اسمیرنف مشاهده می شود، مقدار سطح معناداری بزرگتر از سطح خطای ۰,۰۵ می باشد، بنابراین، با ۹۵ درصد اطمینان می توان گفت که متغیرهای پژوهش دارای توزیع نرمال می باشند. به این ترتیب، برای بررسی ارتباط بین این متغیرها می توان از آزمون-های پارامتریک استفاده کرد. در جدول ۴ فرضیات مربوط به تحقیق و در جدول ۵ نتایج آزمون $\square$ برای شش فرضیه نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۵ مشاهده می شود، در هر شش فرضیه مقدار معناداری ۰,۰۰۰ بدست آمده که کوچکتر از ۰,۰۵ است و بر اساس مقدار میانگین ها می توان گفت فرض صفر رد می شود. همچنین حد بالا و حد پایین فاصله اطمینان مقداری بزرگتر از صفر بوده (مثبت) و ادعای آزمون تایید می شود. بنابراین با اطمینان ۹۵٪ می توان هر شش فرضیه ($\square_1$) را مورد تایید قرار داد.

گام سوم) برای محاسبه وزن شاخص ها و گزینه ها در ماتریس مقایسات زوجی، با توجه

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad \text{به گام دوم، داریم:} \\ \square \neq \square, \square = 1, 2, 3, \dots, \square$$

بنابراین بردار وزن غیر بهنجار به صورت زیر خواهد شد:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$$

گام چهارم) در انتها، بردار وزن حاصل از گام سوم را نرمالیزه می کنیم و بردار وزن نهایی به صورت زیر خواهد بود:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T$$

۴- نتایج

۴-۱- تحلیل استنباطی

در نمونه مورد بررسی بیشترین فراوانی مربوط به بازه سنی بالای ۵۰ سال با درصد فراوانی ۴۳ درصد و کمترین فراوانی مربوط به بازه سنی ۲۰ تا ۳۰ سال با درصد فراوانی ۱۲ درصد می باشد. در مورد مدرک تحصیلی، بیشترین فراوانی مربوط به مدرک

جدول ۳. آزمون کالموگروف-اسمیرنف برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها

متغیرها	۰۰۰۰ (۲-۰۰۰۰۰۰۰)
استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی	۰,۲۰۰
مسیریابی ۰۰۰۰	۰,۲۰۰
پایین آوردن عمر ماشین آلات	۰,۰۶
استفاده از تجارب جهانی	۰,۱۷۰
مدیریت صحیح بر ماشین آلات (۰۰۰۰۰)	۰,۰۶۸
پیش بینی شرایط راهداری	۰,۰۷۵

جدول ۴. فرضیات تحقیق

فرضیه	H ₀	H ₁
۱	استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی نیست.	استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی هست.
۲	مسیریابی ۰۰۰۰ از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی نیست.	مسیریابی ۰۰۰۰ از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی هست.
۳	پایین آوردن عمر ماشین آلات از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی نیست.	پایین آوردن عمر ماشین آلات از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی هست.
۴	استفاده از تجارب جهانی از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی نیست.	استفاده از تجارب جهانی از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی هست.
۵	مدیریت صحیح بر ماشین آلات (۰۰۰۰۰) از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی نیست.	مدیریت صحیح بر ماشین آلات (۰۰۰۰۰) از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی هست.
۶	پیش بینی شرایط راهداری از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی نیست.	پیش بینی شرایط راهداری از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی هست.

جدول ۵. نتایج آزمون ۰ برای شش فرضیه

فرضیه	متغیر	آماره ۰	مقدار معناداری	میانگین	حد پایین	حد بالا
۱	استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی	۱۷,۳۹	۰,۰۰	۳,۴۲	۰,۸۲	۱,۰۳
۲	مسیریابی C VRP	۱۶,۵۷	۰,۰۰	۳,۵۶	۰,۹۳	۱,۱۹
۳	ذخیره‌سازی مناسب	۲۸,۳۵	۰,۰۰	۳,۶۳	۱,۰۵	۱,۲۱
۴	استفاده از تجارب جهانی	۲۰,۴۸	۰,۰۰	۳,۵۲	۰,۹۲	۱,۱۲
۵	مدیریت صحیح بر ماشین آلات	۲۴,۸۱	۰,۰۰	۳,۶۲	۱,۰۳	۱,۲۱
۶	پیش بینی شرایط راهداری	۱۹,۰۳	۰,۰۰	۳,۵۵	۰,۹۴	۱,۱۶

۲-۴. وزن دهی در AHP فازی

به منظور وزن دهی الزامات ذینفعان، هر شش معیار استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی، مسیریابی C VRP، پایین آوردن عمر ماشین آلات، استفاده از تجارب جهانی، مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms) و پیش بینی شرایط راهداری در نظر گرفته شده است. مقیاس فازی مثلثی به کار رفته برای مقادیر

زبانی در جدول ۶ نشان داده شده است. در جدول ۷ نیز نام و علامت اختصاری گزینه‌ها آمده است. لازم به ذکر است مقایسات زوجی توسط یک تیم خبره ۱۵ نفره طی فرایند تصمیم‌گیری اجماع انجام گرفته است. جدول ۸ ماتریس مقایسه زوجی معیارها را با نظر خبرگان نشان می‌دهد. جدول ۹ محاسبه درجه ارجحیت معیارها نسبت به هدف را نشان می‌دهد.

جدول ۶. عبارات کلامی برای ارزیابی معیارها و گزینه‌ها

کد	عبارات کلامی	مقدار فازی مثلثی
۱	اهمیت برابر	(۱,۱,۲)
۲	اهمیت برابر تا نسبتاً مهم‌تر	(۱,۲,۳)
۳	نسبتاً مهم‌تر	(۲,۳,۴)
۴	نسبتاً مهم‌تر تا مهم‌تر	(۳,۴,۵)
۵	مهم‌تر	(۴,۵,۶)
۶	مهم‌تر تا بسیار مهم‌تر	(۵,۶,۷)
۷	بسیار مهم‌تر	(۶,۷,۸)
۸	بسیار مهم‌تر تا شدیداً مهم‌تر	(۷,۸,۹)
۹	شدیداً مهم‌تر	(۸,۹,۹)

جدول ۷. نام گزینه‌ها و علامت اختصاری آنها در معیارهای اصلی

علامت اختصاری	نام گزینه
A	استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی
B	مسیریابی C VRP
C	پایین آوردن عمر ماشین آلات
D	استفاده از تجارب جهانی
E	مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms)
F	پیش بینی شرایط راهداری

جدول ۸. ماتریس مقایسه زوجی معیارها

	A			B			C		
A	۱.	۱.	۱.	۱,۲۹	۱,۸	۲,۷	۰,۶۸	۱,۰۶	۱,۵
B	۰,۳۷	۰,۵۶	۰,۷۸	۱.	۱.	۱.	۰,۳۷	۰,۵۶	۰,۹۴
C	۰,۶۷	۰,۹۴	۱,۴۶	۱,۰۶	۱,۷۸	۲,۷	۱.	۱.	۱.
D	۰,۴۶	۰,۵۸	۰,۷۶	۰,۷۴	۱,۰۸	۱,۶۴	۰,۶۱	۰,۷۷	۱,۰۸
E	۰,۴۱	۰,۵۷	۰,۹۲	۱,۷۸	۲,۸۶	۳,۹	۰,۶۹	۰,۸۸	۱,۱۵
F	۰,۷۶	۱,۰۶	۱,۶۶	۱,۱۲	۱,۵۲	۱,۹	۰,۶۶	۰,۸	۱.

	D			E			F		
A	۱,۳۲	۱,۷۲	۲,۱۷	۱,۰۸	۱,۷۴	۲,۴۶	۰,۶	۰,۹۴	۱,۳۲
B	۰,۶۱	۰,۹۲	۱,۳۵	۰,۲۶	۰,۳۵	۰,۵۶	۰,۵۳	۰,۶۶	۰,۸۹
C	۰,۹۲	۱,۲۹	۱,۶۴	۰,۸۷	۱,۱۴	۱,۴۴	۱.	۱,۲۵	۱,۵۲
D	۱.	۱.	۱.	۱,۳۸	۱,۹۵	۲,۴۷	۰,۷۲	۰,۸۷	۱.
E	۰,۵۶	۰,۷۲	۱,۰۵	۱.	۱.	۱.	۰,۹۱	۱,۳۲	۱,۸۴
F	۱.	۱,۱۵	۱,۳۸	۰,۵۴	۰,۷۶	۱,۱	۱.	۱.	۱.

$CR^m = ۰.۰۲۶۷۰۹۰۲۴$ $CR^g = ۰.۰۷۵۰۸۲۴۶۶$

سازگار

جدول ۹. محاسبه درجه ارجحیت معیارها نسبت به هدف

	درجه ارجحیت S_k بر S_0					درجه ارجحیت
A	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰
B	۰,۴	۰,۴۸	۰,۶۲	۰,۴۹	۰,۶۱	۰,۴
C	۰,۹۱	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۹۱
D	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۸۵	۰,۸۵	۱,۰۰	۰,۷۵
E	۰,۹	۱,۰۰	۰,۹۹	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۹
F	۰,۷۶	۱,۰۰	۰,۸۵	۱,۰۰	۰,۸۶	۰,۷۶

جدول ۱۰. اوزان نهایی معیارها

مؤلفه	وزن قطعی نهایی مؤلفه‌ها
استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی	۰,۲۱۲
مسیریابی C VRP	۰,۰۸۴
پایین آوردن عمر ماشین آلات	۰,۱۹۳
استفاده از تجارب جهانی	۰,۱۵۹
مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms)	۰,۱۹۲
پیش بینی شرایط راهداری	۰,۱۶

رتبه بندی از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی است. عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی عبارتند از: استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی، مسیریابی C VRP، پایین آوردن عمر ماشین آلات، استفاده از تجارب جهانی، مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms) و پیش بینی شرایط راهداری. با توجه به نتایج تحلیل در خصوص شاخص‌های مربوط به اولویت‌بندی بدین صورت می‌باشد: استفاده از مواد پیشگیری از یخ‌زدگی با وزن نرمال ۰,۲۱۲، پایین آوردن عمر ماشین آلات با وزن نرمال

براساس نتایج جدول فوق، اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بر کاهش زمان و هزینه عبارت است از:
 -استفاده از مواد پیشگیری از یخ‌زدگی
 -پایین آوردن عمر ماشین آلات
 -مدیریت صحیح بر ماشین آلات
 -استفاده از تجارب جهانی
 -پیش‌بینی شرایط راهداری
 -مسیریابی C VRP
 این نتایج در جدول ۱۰ خلاصه شده است.

۰،۱۹۳، مدیریت صحیح بر ماشین آلات با وزن نرمال ۰،۱۹۲، استفاده از تجارب جهانی با وزن نرمال ۰،۱۵۹، پیش بینی شرایط راهداری با وزن نرمال ۰،۱۶ و مسیریابی C VRP با وزن نرمال ۰،۰۸۴ از کمترین اولویت برخوردار است.

۵- نتیجه گیری

استفاده از مواد پیشگیری از یخ زدگی از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی است. برای تبیین و توجیه این فرضیه می توان اذعان کرد که عملیات استفاده از ضدیخ به منظور ممانعت از شکل گیری یا گسترش توده برف و یخ انجام می شود. در حالی که عملیات یخ زدایی به منظور از بین بردن توده برف و یخ تشکیل شده و موجود مورد استفاده قرار می گیرد. برای پرسنل نگهداری راهها درک کاربردها و محدودیت هر یک از مواد شیمیایی و تکنیک هایی که مورد استفاده قرار می گیرد، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. با توجه به فرضیه دوم، مسیریابی CVRP از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی است. برای تبیین و توجیه این فرضیه می توان گفت با توجه به این نکته که مسیریابی CVRP برقراری محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه را در هر شرایط ممکن می سازد و باعث می شود که ظرفیت وسایل در مسیر رفت و برگشت هیچ وقت از حد مجاز تجاوز ننماید و عملیات راهداری به بهترین نحو ممکن انجام پذیرد. فرضیه سوم بیان می کند که پایین آوردن عمر ماشین آلات از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی است. برای توجیه این فرضیه می توان گفت بسیاری از تیغه های برف رویی از فولاد ساخته می شوند (به این تیغه ها، تیغه های معمولی گفته می شود). مواد دیگری نیز برای افزایش عمر تیغه برای انجام عملیات در محل های خاص به کار برده می شوند. تیغه های فولادی در محیط های پر برف خیلی زود فرسوده می شوند و از بین می روند، و باید برای جلوگیری از ایجاد مشکل

در فرایند راهداری به موقع برای تعویض این تجهیزات اقدام نمود. بر اساس فرضیه چهارم، استفاده از تجارب جهانی از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی است. بر این اساس لازم است که از تجربه موفق روش های یخ زدایی کشورهایی که اقلیمی مشابه ایران دارند؛ استفاده نماییم. مدیریت صحیح بر ماشین آلات (cmms) از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی است. استفاده از نرم افزار مدیریت نگهداری ماشین آلات سیستمی جامع برای مدیریت کامل انواع کارکرد، تعمیرات و نگهداری ماشین آلات و خودروها می باشد که با توجه به جامعیت بخش های مختلف این سیستم و ارائه گزارش ها و نمودارهای تحلیلی کمک زیادی به کاهش و مدیریت هزینه و ارائه دیدی بهتر به مسئول ماشین آلات به منظور تصمیم گیری های کارآمدتر در پروژه ها و کارگاه ها خواهد نمود. در نهایت، پیش بینی شرایط راهداری از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه و زمان در اجرای عملیات راهداری زمستانی است. استفاده از اطلاعات مربوط به شرایط سطح جاده و آب و هوا برای تصمیم گیری های مربوط به عملیات کنترل و مهار برف و یخ زدگی بسیار مفید است. برای مثال، درک رابطه میان شرایط آب و هوایی موجود و دمای سطح جاده و شرایط آبی می تواند به اخذ تصمیمات مناسبی جهت استفاده یا عدم استفاده از مواد شیمیایی، انتخاب مواد شیمیایی مناسب و تشخیص نرخ کاربرد کمک کند.

این تحقیق نیز همانند سایر پژوهش ها در کنار مزایا دارای معایبی نیز می باشد که عبارتند از محدود بودن تعداد مهندسين شاغل در پروژه های راهداری در استان و عدم همکاری تعدادی از افراد جامعه پژوهش. برای تحقیقات آتی بررسی کردن این تحقیق یا تحقیقی مشابه با این موارد در سایر شهرها پیشنهاد می شود. همچنین اضافه کردن متغیرهای مرتبط دیگر در زمینه ی راهداری و استفاده از متخصصینی که سابقه درخشانی در زمینه راهداری دارند پیشنهاد می گردد.

۶-مراجع

- Blouin, F., Audy, J. F., & Lamghari, A. (2022). Circular Economy in Winter Road Maintenance: A Simulation Study. *Sustainability*, 14(23), 15635.
- Campbell, J. F., & Langevin, A. (1995). The Snow Disposal Problem in Urban Areas. *Transportation Science*, 29(2), 104–110.
- Fink, J., & Loeb, M. (2020). Arc-routing for winter road maintenance. *arXiv:2001.08416*.
- Fink, J., Loeb, M., & Pelikánová, P. (2020). A New Arc-Routing Algorithm Applied to Winter Road Maintenance. *arXiv:2001.10828*.
- Fu, L., & Sayed, T. (2001). Intelligent Snow and Ice Control Technologies for Winter Road Maintenance. *Journal of Transportation Engineering*.
- Fu, L., & Usman, T. (2011). Maintenance Scheduling and Optimization of Winter Road Operations. *Journal of Transportation Engineering*.
- Gamayanti, N., Alkaff, A., & Mangatas, R. (2015). Optimisasi multi depot vehicle routing problem (MDVRP) dengan variabel travel time menggunakan algoritma particle swarm optimization. *JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 13(1).
- Handa, H., & Nagata, T. (2012). Local Search for Winter Road Maintenance Scheduling. *Evolutionary Computation*.
- Lorentzen, T. (2020). Climate change and winter road maintenance. *Climatic Change*, 161, 225–242.
doi.org/10.1007/s10584-020-02662-0
- Malovrh Rebec, K., & Turk, J. (2023). Pathway toward Sustainable Winter Road Maintenance (Case Study). *Intech Open*.
- Mbiyana, K., Kans, M., Campos, J., & Håkansson, L. (2023). Literature Review on Gravel Road Maintenance: Current State and Directions for Future Research. *Transportation Research Record*, 2677(5), 688–705.
- Nguyen, P. H. D., et al. (2024). Constraint-Based Snowplow Optimization Model for Winter Maintenance Operations.
- پورمعلم، ناصر (۱۳۹۰). راهنمای مدیریت نگهداری زمستانی راه‌ها. وزارت راه و مسکن و شهرسازی.
- جعفری، محمدحسین، حسین‌جان‌زاده، حسین و دیواندری، حسن (۱۳۹۷). اولویت‌بندی گزینه‌های تعمیر و نگهداری روسازی راه با رویکرد محدودیت بودجه (مطالعه موردی: محورکلا، آباد - عباس آباد). فصلنامه جاده، دوره: ۵۰، شماره: ۹۵، ۱۱-۱.
- رحیمی، مهرباب، امام قلی بابادی، منوچهر و نیلی پورطباطبائی، سیداکبر (۱۳۹۴). راه‌داری و نگهداری راه‌ها در راه‌های روستایی. اولین همایش علمی پژوهشی افق‌های نوین در علوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی ایران.
- شهرکی ثنائی، حمیدرضا، حاجی هاشمی، شیوا، محسن رکنی (۱۳۹۵). مدیریت نگهداری زمستانی راه‌ها با بکارگیری RWIS و MDSS و اثرات زیست محیطی. دومین همایش سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند جاده‌ای.
- طباطبایی، سیدعباس و رحمن، سیدعباس (۱۳۸۸). اهمیت و جایگاه نگهداری راه‌ها در ایران. اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها.
- قاسمی‌نژاد، حسین، جاجرمی، حسن و سرداریان، صفورا (۱۳۹۲). سیستم‌های نوین نگهداری زمستانی زیرساخت حمل‌ونقل جاده. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری.
- مسرورنیا، وجیهه، رشیدی کمیجان، علیرضا (۱۳۹۵). مسیریابی وسایل نقلیه در زنجیره تامین دوسطحی همراه با پنجره زمانی و برنامه‌ریزی نیروی انسانی. دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت.
- مصلی‌نژاد، مونا (۱۳۸۸). مقایسه روش‌های مدیریت نگهداری زمستانی راه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی AH. نهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران.
- Addressing Climatic Uncertainty through Fleet Optimization for Robust Winter Road Maintenance Policy Design. (2024). *Journal of Policy Modeling*.

- Xie, Y., Xu, Z., Beazley, W., & Iida, F. (2026). Bi-level RL-Heuristic Optimization for Real-world Winter Road Maintenance. *arXiv:2602.24097*.
- Xu, S., Wu, M., Kwon, T. J., & Perchanok, M. (2022). Optimization Models for Snowplow Routes and Depot Locations: A Real-World Implementation. *Transportation Research Record*, 2676(7), 372–384.
- Yu, Z. (2010). Winter Road Maintenance Resource Allocation Models. *University of Missouri*.
- Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 179, 103911.
- Ødegård, I., & Klein-Paste, A. (2021). Do We Need a Change in Road Winter Maintenance to Accommodate for Automated Vehicles? *Transportation Research Record*, 2675(10), 629–639.
- Perrier, N., Langevin, A., & Campbell, J. F. (2006). Vehicle routing for urban snow plowing operations. *Transportation Science*, 40(1), 87–95.
- Strong, C. K., & Schaefer, J. L. (2002). Optimizing Snow Removal Operations. *Public Works Management & Policy*.
- Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). The vehicle routing problem. *Society for Industrial and Applied Mathematics*.

Determining Priorities for Winter Road Maintenance Operations with the Aim of Reducing the Cost and Time of Operation

*Ali Kebriaei, Ph.D., Grad., Department of Civil Engineering,
Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Hamid Reza Behnood, Associate Professor, Department of Civil Engineering,
Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

E-mail: hr.behnood@gmail.com

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

The maintenance of roads in the winter season includes many tasks and requires the provision of human and financial resources, and the provision of materials and the deployment of road forces and heavy and semi-heavy machinery are very expensive. The budgeting of the road maintenance department should be done based on the needs, priorities and the actual condition of the road network. The overall goal of this research is to obtain winter road priorities based on the opinion of experts so that programs that increase the efficiency of winter maintenance operations and cost management are reviewed and finally we obtain the required items that should be done in Iran. The sample studied in this research is 97 supervising engineers, civil engineers, design engineers and contractors of the private sector and government agencies in Alborz province. The geographical area of this research is Alborz province. The prepared questionnaire is designed in six sections and 16 questions in different sections. In order to investigate the factors affecting the reduction of cost and time in the implementation of winter road operations using the fuzzy hierarchical method, another questionnaire called the expert questionnaire (9-factor AHP questionnaire) has been prepared and designed with the opinion of respected professors and experts in this field to examine and compare the importance of the criteria of using anti-icing materials, routing C VRP, reducing the life of machines, using global experiences, correct management of machines (cmms) and predicting road conditions relative to each other. Based on the results, the prioritization of the criteria effective in reducing time and cost is, respectively, the use of antifreeze materials, reducing the life of machines, proper management of machines, using global experiences, predicting road conditions and C VRP routing.

Keywords: Winter Road Maintenance, Prioritization, Fuzzy Hierarchical Analysis, C VRP Routing