مقایسه فنی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی و اولویت بندی پارامترهای موثر با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: محور سه راهی پلاژ ساری به سمت بهنمیر)

مقاله پژوهشی

رضوان باباگلی*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، مازندران، ایران
کریم عباسپور مرزبالی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی و علوم فناوری آریان، بابل، ایران
زهرا محمدی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی و علوم فناوری آریان، بابل، ایران
علیرضا عاملی، مربی، گروه مهدسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rezvan_babagoli@yahoo.com

دریافت: ۹۷/۰۸/۱۶- پذیرش: ۹۸/۰۲/۰۵
صفحه۳۰۶-۲۹۱

چکیده

انتخاب نوع روسازی یک دانش و روش کامل و دقیق ندارد، ولی برای انتخاب نوع روسازی یک فرد باید فاکتورهای فنی و اقتصادی از قبیل حجم ترافیک، هزینه، نوع خاک، شرایط آب و هوایی، مواد و مصالح، دوام، مقاومت، عمر مفید روسازی، تعمیر و نگهداری و مسائل زیست محیطی را در نظر بگیرد. برای مقایسه فنی در این تحقیق از مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی و برای مقایسه اقتصادی از نقشه اجرایی ابلاغی اداره راه و ترابری استان مازندران استفاده شدند. معیارهای چون عمر مفید روسازی، عمر مفید بهره برداری، دوام، مقاومت، سرعت اجرا، مراحل اجرا، هزینه اجرا (اقتصادی)، تعمیر و نگهداری و عوامل زیست محیطی برای مقایسه فنی انتخاب شدند. در نهایت با مدل تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی مقایسه زوجی شدند و مشخص شد که روسازی آسفالتی با وزن کمتر در رده دوم و روسازی بتن غلتکی با وزن تقریبا سه برابر بیشتر از روسازی آسفالتی به عنوان روسازی برتر در رده اول قرا گرفت و به عنوان گزینه مناسب در محور مورد نظر انتخاب شدند. الویت‌بندی پارامترهای فنی در تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی بدین صورت شد که پارامتر دوام در الویت اول، معیار مقاومت در الویت دوم ، معیار هزینه در الویت سوم، عمر مفید روسازی و عمر مفید بهره‌برداری در الویت چهارم، معیار تعمیر و نگهداری در الویت پنجم، معیار عوامل زیست محیطی در الویت ششم، معیار سرعت اجرا در الویت هفتم و معیار مراحل اجرا در الویت آخر قرار گرفت. با مقایسه اقتصادی هزینه‌ی اجرای روسازی بتن غلتکی و مقایسه آن با روسازی آسفالتی با توجه به نقشه اجرایی ابلاغی اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، هزینه اجرای بتن غلتکی در مقایسه با آسفالتی ٤٥ در صد کمتر برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: روسازی بتن غلتکی، روسازی آسفالتی، تحلیل سلسله مراتبی ، تحلیل سلسله مراتبی فازی

۱-مقدمه

امروزه نظریه پردازان اقتصادی از شبکه‌های حمل و نقل جاده‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای پیشرفت کشورها نام می‌برند. یعنی هر کشوری که از سیستم حمل و نقل شبکه‌های ارتباطی گسترده‌تری برخوردار باشد بهتر و راحت تر نیازهای جامعه خود را تامین می‌نماید. کشورهای پیشرفته طی سال‌های متمادی ضمن گسترش شبکه حمل و نقل خود جهت حفظ محیط زیست نسب به جایگزینی رویه‌های بتنی با رویه‌های آسفالتی اقدام نموده‌اند. بتن پرمصرف‌ترین ماده

جهان است و قابلیت ترکیب آن با اکثر پسماندهای موجود در محیط زیست، آنرا به گزینه مناسبی جهت جایگزینی با مشتقات نفتی می‌کند که اثرات زیان‌بار زیست محیطی را به همراه داشته است. در کشور ما ایران به جهت دارا بودن منابع عظیم نفتی، استفاده از آسفالت هیچ وقت تصمیمی جهت جایگزینی آن با دیگر روسازی‌ها وجود نداشت. طی چند سال گذشته با افزایش ناگهانی قیمت قیر و بالا رفتن هزینه استفاده از آسفالت احتیاج به روی آوردن به روسازی‌های دیگر جهت جایگزینی آسفالت لازم به نظر می‌رسد. یکی از این روسازی‌ها استفاده از روسازی بتن غلتکی (RCC) می-باشد که از تمام جهات جایگزین مناسبی برای آسفالت است مخصوصا اینکه تهیه سیمان به دلیل وجود کارخانه‌های متعدد در استان‌ها به مراتب راحت تر از تهیه قیر می‌باشد. روسازی بتن غلتکی، اقتصادی‌ترین و بادوام‌ترین نوع روسازی است که در سطح گسترده‌ای در روسازی‌های با باربری بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. ویژگی اصلی روسازی بتن غلتکی، کیفیت و خواص بسیار بهتر ان نسبت به رویه آسفالتی و صرفه جویی‌های اقتصادی می‌باشد. طراحی روسازی روش‌های مختلفی دارد ولی برای انتخاب نوع روسازی یک فرد باید فاکتورهایی فنی از قبیل حجم ترافیک، نوع خاک، شرایط آب و هوایی، مواد و مصالح، ملاحظات ساخت و ساز، نگهداری و مسائل زیست محیطی را در نظر بگیرد. برآوردهای مقایسه هزینه می‌تواند در انتخاب طرح‌های مختلف روسازی و تصمیم‌گیری در این خصوص، تعیین کننده باشد.

۲-پیشینه تحقیق

در این تحقیق به پیشینه تحقیق در مورد مقایسه روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی در ایران و جهان پرداخته شدند. محمد کلانی و منصور پرویزی در سال ۱۳۹٤ به استفاده از بتن غلتکی در روسازی راه و مقایسه با روسازی آسفالتی پرداختند. هدف تحقیق کلانی و پرویزی مقایسه و ارزیابی جنبه‌های فنی، اجرائی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی از دیدگاه مدیریت ساخت می باشد و استفاده از این نوع لایه‌های روسازی به عنوان یک الگوی پیشنهادی مناسب در اختیار کارفرمایان، مشاوران و شرکت-های پیمانکاری قرار می‌گیرد .نتایج مطالعات نشان می‌دهد که جایگزینی بتن آسفالتی با بتن غلتکی جهت استفاده به عنوان لایه رویه روسازی راه، می‌تواند یک راه حل مناسب فنی و اقتصادی، برای این مسیر باشد. فرح‌بخش و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با عنوان مقایسه فنی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی و آسفالتی در راهسازی و محوطه‌سازی، به بررسی روسازی RCCP از نظر کیفیت ساخت، اثرات زیست محیطی، طول عمر روسازی و هزینه‌های اقتصادی آن پرداخته و این نوع روسازی را با روسازی‌های آسفالتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار داده‌اند و به نتایج زیر دست یافتند: روسازی بتن غلتکی با فراهم آوردن سطحی صلب، برخلاف سطح انعطاف پذیر آسفالت، با دارا بودن ظرفیت باربری و مقاومت فشاری بالاتر از آسفالت(حدوداً ۱۰ برابر) نیاز به زیر سازی با مقاومت بالا و ضخامت متعارف روسازی آسفالتی ندارد که این نکته باعث کاهش حدوداً ٤۷ درصدی روسازی بتن غلتکی نسبت به آسفالت می‌گردد. این رویه در صورتیکه جهت استفاده در پارکینگ‌ها و محوطه‌های انباری و کانتینری و همچنین جاده‌های با سرعت پایین مورد استفاده قرار بگیرد نیازی به رویه آسفالت نمی‌باشد ولی در صورت استفاده از این روکش در جاده‌های نیازمند سرعت بالا، یه رویه با ضخامت حداقل، کیفیت مطلوبتری را در هنگام رانندگی رقم می‌زند .در این صورت هزینه تمام شده روسازی بتن غلتکی با رویه آسفالت نسبت به روسازی آسفالتی باز هم کاهش ۳۴ درصدی را دارا می‌باشد. علی‌رضا حیدری و حسنعلی تواضع در سال۱۳۹۲ به مقایسه فنی، اجرایی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی و آسفالتی در پروژه های آزادراهی پرداختند. بر اساس نتایج بدست آمده ملاحظه می‌شود که روسازی بتن غلتکی دارای عمر، دوام، مقاومت و سرعت اجرای بیشتر و هزینه اجرا و تعمیر و نگهداری کمتری نسبت به روسازی آسفالتی است. مطالعه موردی که انجام گردید، نشان می‌دهد استفاده از بتن غلتکی همراه با یک لایه روکش آسفالت باعث کاهش هزینه و افزایش سرعت اجرای قابل توجهی در روسازی پروژه‌های آزادراهی می‌گردد. محمدعلی پیرایش و دیگران در سال ۱۳۸۹ به الویت‌بندی تعمیر و نگهداری تابلوهای ترافیکی راه‌ها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. عوامل موثر بر اولویت‌بندی مسیرها یا قطعات راه؛ کیفیت تابلوهای موجود و اهمیت راه می‌باشد. عوامل اصلی برای دریافت

درست پیام تابلوها و یا به عبارتی کیفیت آن‌ها؛ وضوح، خوانا بودن، قابل فهم بودن و قابل اطمینان بودن تابلوها است. این عوامل خود به پارامترهایی مانند اندازه تابلو، اندازه فونت، بازتابندگی، تضاد، سرعت، آسانی دید و غیره وابسته است. عوامل اثرگذار برکیفیت تابلوها بررسی شده و با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) روشی برای اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری تابلوهای مسیرها پیشنهاد شده است. شهر مک کوری در کانادا برای بخشی از راه‌های خود که باید ترافیک سنگینی را عبور می‌داد، از بتن غلتکی استفاده کرد . زمانی که روسازی انعطافپذیر(آسفالت) مورد استفاده قرار گرفت، به دلیل عبور کامیون‌ها و ایجاد ترک و شیارشدگی و دیگر خرابی‌ها، آن‌ها با مشکلات فراوانی روبرو بودند .آن‌ها به جای اینکه بخش‌های خرابی را با آسفالت جدید پر کنند، از بتن غلتکی که بادوام‌تر از روسازی آسفالتی بود، استفاده کردند. آن‌ها با جایگزین کردن ۱۰ اینچ بتن غلتکی به جای ۲ اینچ آسفالت انعطاف‌پذیر هم از ایجاد ترک و شیارشدگی و هم از ایجاد خرابی های دیگر جلوگیری کردند و هم تعمیر و نگهداری که یکی از مشکلات اصلی آنها بود را حذف کردند.

۳- روش‌شناسی تحقیق

مسیر محور پس از انشعاب درکیلومتر ۲۵ از محور راه اصلی ساری– خزر آباد در محل روستای خزرآباد به سمت غرب یک راه فرعی درجه ۱ است که با توجه به حجم متوسط ترافیک عبوری دارای روسازی آسفالتی می‌باشد. طول این قطعه از محور ۵ کیلومتر است که راه ارتباطی مجموعه پلاژهای تفریحی ساحلی و روستاهای منطقه از جمله طوقادار، گرجپیل، قاجارخیل، جیرهسر، شیرینپول و چند روستای دیگر می باشد. با توجه به روند رو به رشد ساختمان‌سازی در مجموعه‌های تفریحی و افزایش ترافیک این محور با توجه به برنامه‌ریزی انجام شده جهت ارتباط این منطقه به شهر بهنمیر و بابلسر و بهبود سطح ایمنی حمل و نقل این مسیر بعنوان یک نیاز اساسی مطرح و مطالعات مقدماتی افزایش ظرفیت راه توسط مهندسان مشاور انجام و مورد تایید قرار گرفت و در ادامه در قالب طرح بهسازی، چهار خطه نمودن مسیر در دستور کار قرار گرفته است. مسیر قدیم بعرض ۷ متر دارای روسازی آسفالتی بوده اما اکنون طرف راست مسیر و در قسمت شمالی با روسازی بتن غلتکی بعرض ۱۲ متر تعریض شده است که در این تحقیق به مقایسه فنی روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی و اولویت‌بندی پارامترهای فنی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی در منطقه مورد نظر پرداخته خواهد شد. در نهایت دو روسازی بتن غلتکی و روسازی آسفالتی از لحاظ اقتصادی با هم مقایسه می‌شوند. برای مقایسه فنی روسازی بتن غلتکی و روسازی آسفالتی و الویت‌بندی پارامترهای فنی از مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است و برای مقایسه اقتصادی بین روسازی بتن غلتکی و روسازی اسفالتی از نقشه اجرایی ابلاغی اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران برآورد صورت خواهد گرفت.

مقایسه فنی روسازی آسفالتی با روسازی بتن غلتکی

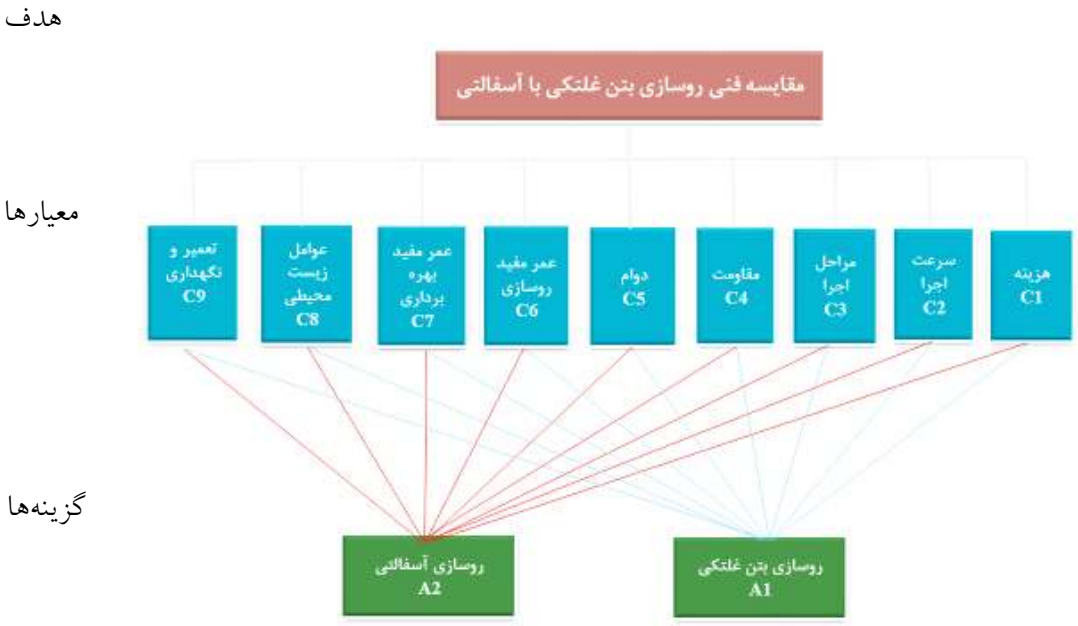
یکی از مهم‌ترین مسائلی که مهندسین راه باید در مورد آن تصمیم‌گیری کند، انتخاب نوع روسازی مسیر مورد بررسی از بین روسازی بتنی و آسفالتی می‌باشد و برای این امر باید پارامترهای فنی مختلفی را مورد بررسی قرار داد. برای مقایسه فنی روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی از مدل-های تصمیم‌گیری چند معیاره تکنیک تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده می‌کنیم که به عنوان بهترین مدل برای تصمیم‌گیری‌های چندگانه متضاد می‌باشند. برای انجام مقایسه فنی بین روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی از طریق مدل تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی ابتدا توسط کارشناسان خبره اداره راه و ترابری استان مازندران و اساتید راهنمای این تحقیق، ۹ معیار برای ارزیابی فنی انتخاب شدند. معیارهای چون عمر مفید روسازی، عمر مفید بهره برداری، دوام، مقاومت، سرعت اجرا، مراحل اجرا، هزینه اجرا (اقتصادی)، تعمیر و نگهداری و عوامل زیست محیطی می‌باشد. بعد از تعریف معیارها برای ارزیابی فنی بین روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی، ۵۰ عدد پرسشنامه برای مدل تحلیل سلسله مراتبی و برای مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی تهیه شد و در میان خبرگان و مشاوران اداره راه قرار گرفت تا سطوح اهمیت این معیارها تعیین شود (مقایسات زوجی انجام گردد) و بعد اوزان هر

معیار و گزینه مشخص می‌گردد تا الویت‌بندی بین معیارهای فنی مشخص شود و بهترین گزینه (روسازی ارجح) انتخاب شود. در نهایت دو مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی با هم مقایسه می‌شوند.

ساخت نمودار سلسله مراتبی و سلسله مراتبی فازی

ابتدا نمودار سلسله مراتبی و سلسله مراتبی فازی مساله را تشکیل می‌دهیم. مساله مورد بررسی به یک ساختار سلسله مراتبی مهم‌ترین قسمت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی محسوب می‌شود. زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی آن‌ها را به شکل ساده، که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل می‌کند. شکل (۱) ساختار سلسله مراتبی تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر درخت سلسله مراتبی فازی درسه سطح هدف، معیارها و گزینه‌ها تشکیل شده است. به منظور مقایسه فنی و انتخاب روسازی برتر(هدف) در منطقه مورد مطالعه دو گزینه A1: روسازی بتن غلتکی ، A2: روسازی آسفالتی به عنوان گزینه‌های ممکن مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای انتخاب گزینه مناسب نه معیار در نظر گرفته شده‌اند:

C1: هزینه، C2: سرعت اجرا، C3: مراحل اجرا، C4: مقاومت، C5: دوام، C6: عمر مفید روسازی، C7: عمر مفید بهره‌برداری، C8: عوامل زیست محیطی،C9 : تعمیر و نگهداری



شکل ۱. درخت سلسله مراتبی

ماتریس مقایسات زوجی معیارها برای تحلیل سلسله مراتبی

این روش بر اساس نحوه تحلیل انسان از مسائل فازی توسط محققی به نام saaty در سال ۱۹۷۷ پیشنهاد گردید. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مبنی بر سه اصل " تجزیه "، " قضاوت مقایسه‌ای"، " ترکیب الویت‌ها" می‌باشد. اصل تجزیه نیاز به تجزیه مسائل تصمیم گیری به عناصر مختلف به صورت سلسله مراتبی دارد، یعنی مرحله اول ایجاد ساختار درختی برای معیارها و زیر معیارها است. اصل قضاوت مقایسه‌ای نیز به مقایسه دوتایی عناصر موجود در یک سطح ساختار سلسله مراتبی با در نظر گرفتن منشاء آن در سطح بالاتر اشاره دارد، به این ترتیب که عناصر هر سطح نسبت به عناصر همان سطح به صورت دوتایی براساس جدول ۱ مقایسه شده و اهمیت نسبی آن‌ها محاسبه می‌شود که به آن وزن نسبی گفته می‌شود. این وزن‌ها می‌تواند بصورت فردی محاسبه شده باشد و یا تلفیقی از قضاوت کارشناسان باشد که در این حالت جهت ترکیب نظرات مختلف کارشناسان در قضاوتی خاص، جواب‌ها با استفاده از میانگین هندسی تبدیل به یک جواب می‌شود.

جدول۱. مقدار عددی قضاوت‌ها

اهمیت یک معیار نسبت به دیگری	مقدار عددی
کاملا مرجح	۹
ترجیح خیلی قوی	۷
ترجیح قوی	۵
کمی مرجح	۳
ترجیح یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲،٤،٦،۸

بعد از انجام مقایسه دوتایی و استفاده از میانگین هندسی برای میانگین گیری از نظرات کارشناسان اعداد مقایسه دوتایی حاصل را در غالب ماتریسی، با عنوان ماتریس مقایسه در می‌آوریم. در این ماتریس درایه a_{ij} در حقیقت نتیجه مقایسه معیار A_i م با معیار A_j م با توجه به جدول ۱ می‌باشد. این روش یک مقیاس اساسی را با مقادیر از ۱ تا ۹ برای تعیین میزان اولویت‌های نسبی دو معیار بکار می گیرد: ابتدا فرض می کنیم که ماتریس مقایسه دو طرفه باشد. یعنی اگر معیار A دو برابر معیار B ارجحیت داشته باشد، معیار B به اندازه نصف معیار A ارجح است. بنابراین اگر معیار A به امتیازی برابر ۲ نسبت به معیار B برسد، معیار B در مقایسه با A معادل ۰/۵ (معکوس عدد ۲) خواهد گرفت. این منطق برای کلیه گوش‌های چپ پایینی ماتریس مقایسه‌های دوتایی بکار گرفته می‌شود و بدین ترتیب جدول تکمیل خواهد شد. و مقیاس هر معیار با خودش امتیاز ۱ را منجر می شود. بنابراین عدد ۱ در قطر اصلی ماتریس منظور می شود. برای انتخاب بهترین گزینه‌ی مناسب (روسازی بتن غلتکی یا روسازی آسفالتی) و الویت‌بندی پارامترهای فنی برای انتخاب روسازی برتر (الویت‌بندی معیارها) به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پس از تهیه پرسشنامه، این فرم در اختیار ۵۰ نفر از خبرگان اداره راه و ترابری استان مازندران، مشاوران و اساتید راهنما قرار گرفت و توسط آنان فرم نظر سنجی تکمیل گردید. در نهایت فرم جامعی از میانگین نظرات کارشناسان تهیه شد و به کمک آن ماتریس مقایسات زوجی بین معیارهای اصلی این تحقیق، برای تحلیل سلسله مراتبی طبق جدول (۲) تکمیل گردید.

جدول ۲. میانگین ماتریس مقایسات زوجی بین معیارها به روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

معیارها	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	۱	۳	۳	۱	۱	۱	۱	۳	۳
C2	۰،۳۳	۱	۰،۳۳	۰،۳۳	۰،۳۳	۰،۳۳	۰،۳۳	۰،۲۰	۰،۳۳
C3	۰،۳۳	۱	۱	۰،۲۰	۰،۲۰	۰،۳۳	۰،۳۳	۰،۳۳	۰،۳۳
C4	۱	۳	۵	۱	۱	۱	۱	۵	۳
C5	۱	۳	۵	۱	۱	۳	۳	۳	۳
C6	۱	۳	۳	۱	۰،۳۳	۱	۱	۳	۱
C7	۱	۳	۳	۱	۰،۳۳	۱	۱	۳	۱
C8	۰،۳۳	۵	۳	۰،۲۰	۰،۳۳	۰،۳۳	۰،۳۳	۱	۰،۳۳
C9	۰،۳۳	۳	۳	۰،۳۳	۰،۳۳	۱	۱	۳	۱
مجموع	٦،۳۲	۲۵	۲٦،۳۳	٦،۰٦	٤،۸۵	۸،۹۹	۸،۹۹	۲۱،۵۳	۱۲۱،۹۹

محاسبه وزن معیارها به روش AHP در این تحقیق به دو روش محاسبه شدند.

۱- محاسبات دستی ۲- با استفاده از نرم افزار Expert choice

این مرحله که برای محاسبه‌ی وزن معیارهای که بصورت دستی می‌باشد ، شامل مراحل زیر است:

جمع کردن مقادیر هرستون ماتریس مقایسه دوتایی (سطر آخر جدول۲).

تقسیم نمودن هر مولفه ماتریس بر مجموع ستونش، ماتریس حاصل " ماتریس مقایسه دوتایی نرمال شده" نام دارد.

محاسبه میانگین مولفه‌ها در هر ردیف از ماتریس نرمال شده، وزن معیار است (جدول ۳).

جدول ۳. محاسبه وزن معیارها به روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

معیارها	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	وزن معیارها
C1	۰,۱۵۸	۰,۱۲۰	۰,۱۱٤	۰,۱٦٥	۰,۲۰٦	۰,۱۱۱	۰,۱۱۱	۰,۱۳۹	۰,۲۳۱	۰,۱۵۱
C2	۰,۰۵۲	۰,۰٤۰	۰,۰۱۳	۰,۰۵٤	۰,۰٦۸	۰,۰۳۷	۰,۰۳۷	۰,۰۰۹	۰,۰۲۵	۰,۰۳۷
C3	۰,۰۵۲	۰,۰٤۰	۰,۰۳۸	۰,۰۳۳	۰,۰٤۱	۰,۰۳۷	۰,۰۳۷	۰,۰۱۵	۰,۰۲۵	۰,۰۳۵
C4	۰,۱۵۸	۰,۱۲۰	۰,۱۹۰	۰,۱٦٥	۰,۲۰٦	۰,۱۱۱	۰,۱۱۱	۰,۲۳۲	۰,۲۳۱	۰,۱٦۹
C5	۰,۱۵۸	۰,۱۲۰	۰,۱۹۰	۰,۱٦٥	۰,۲۰٦	۰,۳۳٤	۰,۳۳٤	۰,۱۳۹	۰,۲۳۱	۰,۲۰۸
C6	۰,۱۵۸	۰,۱۲۰	۰,۱۱٤	۰,۱٦٥	۰,۰٦۸	۰,۱۱۱	۰,۱۱۱	۰,۱۳۹	۰,۰۷۷	۰,۱۱۸
C7	۰,۱۵۸	۰,۱۲۰	۰,۱۱٤	۰,۱٦٥	۰,۰٦۸	۰,۱۱۱	۰,۱۱۱	۰,۱۳۹	۰,۰۷۷	۰,۱۱۸
C8	۰,۰۵۲	۰,۲۰۰	۰,۱۱٤	۰,۰۳۳	۰,۰٦۸	۰,۰۳۷	۰,۰۳۷	۰,۰٤٦	۰,۰۲۵	۰,۰٦۸
C9	۰,۰۵۲	۰,۱۲۰	۰,۱۱٤	۰,۰۵٤	۰,۰٦۸	۰,۱۱۱	۰,۱۱۱	۰,۱۳۹	۰,۰۷۷	۰,۰۹٤

٤-۲-۱- تخمین نسبت توافق

بعد از وزن‌دهی و قبل از بکارگیری وزن‌ها بایستی نسبت به سازگاری مقایسات اطمینان حاصل شود و نرخ ناسازگاری، چنانچه این مقدار کمتر از ۰,۱ باشد مقایسات از سازگاری قابل قبولی برخوردار است و در غیر این صورت باید درمقایسات تجدید نظر به عمل آورد .این مرحله شامل سه بخش است:

الف) محاسبه بردار ویژه(λ_{max})

مرحله۱- ضرب ماتریس در بردار وزن

مرحله ۲- تقسیم اعداد بدست آمده از مرحله بالا بر وزن پارامترهای مربوطه

مرحله ۳- میانگین‌گیری از کلیه اعداد بدست آمده

جدول (٤) مراحل محاسبه بردار ویژه را برای محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری را نشان می‌دهد.

جدول ٤. محاسبه بردار ویژه

پارامتر	مرحله ۱	مرحله ۲	مرحله ۳
C1	۱,٤۷۰	۹,۷٥٤	۹,٥۷۸
C2	۰,۳٤٦	۹,۲۸۹	
C3	۰,۳۳۰	۹,۳۱۰	
C4	۱,٦۷۷	۹,۸۹٥	
C5	۲,۰۱۳	۹,٦٥٤	
C6	۱,۱٤۲	۹,٦٥۷	

C7	۱,۱٤۲	۹,٦٥۷	
C8	۰,٦۲۲	۹,۱٤۱	
C9	۰,۹۲۷	۹,۸٤۷	

ب) شاخص ناسازگاری (I.I)

شاخص ناسازگاری بر طبق فرمول زیر برای ماتریس‌های n بعدی بدست می‌آید.

$$I.I = \frac{\lambda max - n}{n-1}$$

$$I.I = \frac{9.578-9}{9-1} = 0.072$$

ج) نرخ ناسازگاری (I.R)

نرخ ناسازگاری با تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (R.I)، طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود .

که $\mathbf{I.I}$ در آن شاخص ناسازگاری می‌باشد و $\mathbf{R.I}$ شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی و $\boldsymbol{I.R}$ نرخ ناسازگاری می‌باشد.

$$I.R = \frac{I.I}{R.I}$$

R.I مقدار شاخص ناسازگاری است که برای ماتریس‌های n بعدی با اعداد کاملا تصادفی محاسبه و در جدول (۵) نشان داده شده است [۲۰].

جدول ۵. مقدار شاخص ناسازگاری

۵۷ :

N	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥
RI	۰	۰	۰/٥۲	۰/۸۸	۱/۱۰	۱/۲٤	۱/۳٤	۱/٤	۱/٤٤	۱/٤۸	۱/٥۱	۱/٥۳	۱/٥٥	۱/٥۷	۱/٥۸

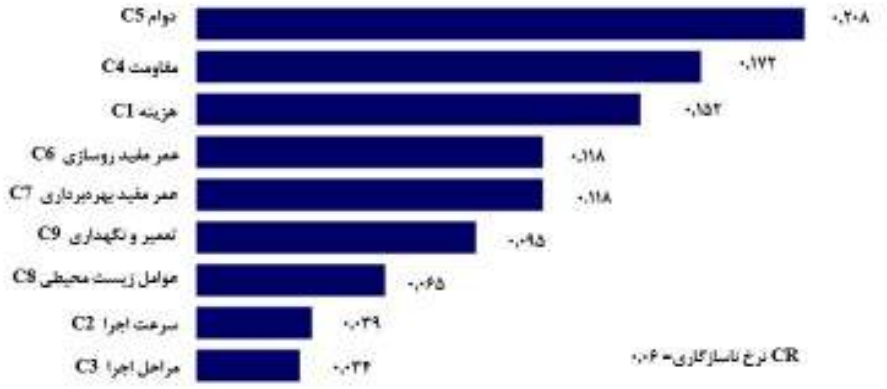
R.I شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی که طبق جدول (۳-۳) ، ۱/٤٤ می باشد.

$$I.R = \frac{0.072}{1.44} = 0.052$$

چون نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ می‌باشد پس قضاوت کارشناسی صحیح می باشد.

در صورتی که نرخ ناسازگاری بیشتر از ۰,۱ باشد نشان دهنده این است که در مقایسات زوجی که توسط کارشناسان انجام دادیم، درست قضاوت نکردیم و باید قضاوت زوجی از نوع انجام گیرد و یکبار دیگر نرخ ناسازگاری را محاسبه کنیم که

در هر صورت باید کوچکتر از ۰/۰۱ باشد تا نشان دهنده یک قضاوت صحیح باشد. شکل (۲) وزن معیارها و الویت‌بندی پارامترهای فنی را که از طریق نرم افزار Expert Choice محاسبه شده است نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است وزنی که از هر دو روش بدست آوردیم برابر هم می‌باشد.



شکل۳. الویت‌بندی پارامترهای فنی در نرم‌افزار Expert choice

همانطور که در شکل (۲) مشخص است پارامتر دوام با وزن ۰,۲۰۸ در الویت اول، معیار مقاومت با وزن ۰,۱۷۲ در الویت دوم ، معیار هزینه با وزن ۰,۱۵۲ در الویت سوم، عمر مفید روسازی و عمر مفید بهره‌برداری با وزن ۰,۱۱۸ در الویت چهارم، معیار تعمیر و نگهداری با وزن ۰,۰۹۵ در الویت پنجم، معیار عوامل زیست محیطی با وزن ۰,۰٦۵ در الویت ششم، معیار سرعت اجرا با وزن ۰,۰۳۹ در الویت هفتم و معیار مراحل اجرا با وزن ۰,۰۳٤ در الویت آخر قرار گرفت. چون نرخ ناسازگاری ۰,۰٦ می باشد و کمتر از ۰,۱۰ است پس قضاوت کارشناسی صحیح می‌باشد.

مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار

پس از تعیین وزن هر یک از معیارها در گام بعد باید گزینه‌ها بصورت زوجی براساس هر معیار مقایسه شوند. هر کدام از گزینه‌ها (روسازی بتن غلتکی و روسازی آسفالتی) باید براساس هر یک معیارها مورد مقایسه زوجی قرار بگیرند تا در نهایت با محاسبه وزن هر گزینه نسبت به هر معیار و اوزان معیارها بتوانیم بهترین گزینه (روسازی برتر) را انتخاب کرد. در جدول (٦) میانگین ماتریس مقایسات زوجی بین گزینه‌ها نسبت به معیارها، که میانگین نظرات کارشناسان خبره می‌باشد، ارائه شده است.

جدول٦. میانگین ماتریس مقایسات زوجی بین گزینه‌ها نسبت به معیار C1 تا C9 به روش AHP

C3	A1	A2	وزن
A1	۱	۰,۲۰	۰,۱٦٦
A2	٥	۱	۰,۸۳۳
مجموع	٦	۱,۲۰	

C2	A1	A2	وزن
A1	۱	۳	۰,۷۵۰
A2	۰,۳۳	۱	۰,۲۵۰
مجموع	۱,۳۳	٤	

C6	A1	A2	وزن
A1	۱	۵	۰,۸۳۳
A2	۰,۲۰	۱	۰,۱٦٦
مجموع	۱,۲۰	٦	

C5	A1	A2	وزن
A1	۱	۵	۰,۸۳۳
A2	۰,۲۰	۱	۰,۱٦٦
مجموع	۱,۲۰	٦	

C4	A1	A2	وزن
A1	۱	۳	۰,۷۵۰
A2	۰,۳۳	۱	۰,۲۵۰
مجموع	۱,۳۳	٤	

C9	A1	A2	وزن
A1	۱	۰,۲۰	۰,۱٦٦
A2	۵	۱	۰,۸۳۳
مجموع	٦	۱,۲	

C8	A1	A2	وزن
A1	۱	۷	۰,۸۷٦
A2	۰,۱٤	۱	۰,۱۲٤
مجموع	۱,۱٤	۸	

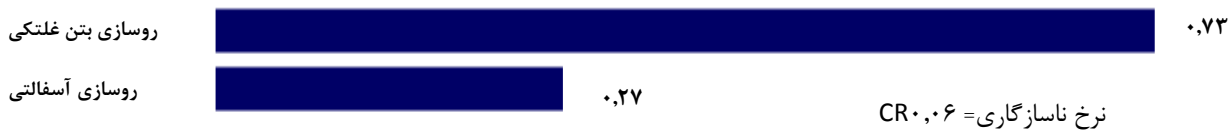
C7	A1	A2	وزن
A1	۱	۵	۰,۸۳۳
A2	۰,۲۰	۱	۰,۱٦٦
مجموع	٦	۱,۲	

جدول ۵. وزن نهایی گزینه‌ها به روش مدل AHP

نهایت برای محاسبه وزن نهایی گزینه‌ها باید وزن تک‌تک گزینه‌ها نسبت به هر معیار در جدول (٦) را در وزن معیارها مربوط جدول (۳) ضرب کرده و در اخر جمع کنیم. در جدول (۷) وزن نهایی گزینه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی ارائه شده است.

مولفه	وزن قطعی گزینه‌ها	الویت‌بندی براساس وزن قطعی
A1 (روسازی بتن غلتکی)	۰,۷۳۳	۱
A2(روسازی بتن غلتکی)	۰,۲۶۷	۲

در شکل (۳) وزن نهایی گزینه‌ها (روسازی بتن غلتکی و روسازی آسفالتی) را که از طریق نرم افزار اکسپرت چویس محاسبه شده است را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص شده وزن گزینه‌ها در هر دو حالت یکسان می‌باشد.



شکل۳. وزن نهایی روسازی بتن غلتکی و روسازی آسفالتی به روش تحلیل سلسله مراتبی

همانطور کـه در جـدول (۵) و شـکل (۳) مشـخص اسـت روسازی بتن غلتکی با وزن ۰,۷۳ و روسازی آسفالتی با وزن ۰,۲۷ طبـق مقایسـات زوجـی کارشناسـان محاسـبه شـد و روسازی بتن غلتکی با وزن بیشتر به عنوان روسازی برتـر از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انتخاب شد.

ماتریس مقایسات زوجی معیارها برای تحلیل سلسله مراتبی فازی

هر چند هدف از به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آوردن نظر کارشناسان و متخصصین است، با این وجود روش تحلیل سلسله مراتبی معمولی به درستی نحوه‌ی تفکر انسانی را منعکس نمی‌کند، زیرا در مقایسه‌های زوجی این روش از اعداد دقیق استفاده می‌شود. از دیگر مواردی که اغلب روش تحلیل سلسله مراتبی به خاطر آن‌ها مورد نکوهش قرار می‌گیرد عبارتند از:

تصمیم‌گیرندگان اغلب به علت طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی قادر نیستند به صراحت نظرشان را در مورد برتری‌ها اعلام کنند. به همین دلیل در قضاوت‌هایشان ارائه یک بازه را به جای عدد ثابت ترجیح می‌دهند. برای غلبه بر این مشکلات روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه شده است.

در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از تصمیم گیرنده (یا تصمیم گیرندگان) خواسته می‌شود تا عناصر هر سطح را نسبت به هم مقایسه کنند و اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند. به طور مثال در جدول (٦) نمونه‌ای از اعداد فازی مثلثی تعریف شده و توابع عضویت آن‌ها درج شده است.

جدول ٦. اعداد فازی مثلثی

کد	کلامی عبارات	فازی ٦عدد
۱	ترجیح برابر	(۱,۱,۱)
۲	ترجیح کم	(۱,۳,۵)
۳	ترجیح زیاد	(۳,۵,۷)
۴	ترجیح خیلی زیاد	(۵,۷,۹)
۵	ترجیح کاملا زیاد	(۷,۹,۹)

مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به روش چانگ به شرح زیر است:

مرحله۱؛ ترسیم درخت سلسله مراتبی.

مرحله۲؛ تشکیل ماتریس مقایسات زوجی $\tilde{A}$ با بکارگیری اعداد فازی:

با استفاده از نظرات تصمیم گیرنده، ماتریس مقایسات با بهره‌گیری از اعداد فازی مثلثی $\tilde{t}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ را بر اساس نظرات چندین تصمیم‌گیرنده تشکیل می‌شود.

مرحله ۳؛ میانگین حسابی نظرات: میانگین حسابی نظرات تصمیم گیرندگان را به صورت ماتریس زیر محاسبه کنید:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12} & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

میانگین حسابی نظرات تصمیم‌گیرندگان

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{p_{ij}} a_{ijk}}{p_{ij}} \qquad i,j = 1,2,\dots,n \qquad (1)$$

مرحله ٤؛ محاسبه مجموع عناصر سطر: مجموع عناصر سطرها را محاسبه کنید:

$$\tilde{s}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{a}_{ij} \qquad i = 1,2,\dots,n$$

مرحله ٥؛ نرمالایز کردن: مجموع سطرها را به شیوه زیر نرمالایز کنید.

$$\tilde{M}_i = \tilde{s}_i \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \tilde{s}_i\right]^{-1} \quad 1 = 1,2,\dots,n$$

مرحله ٦؛ تعیین درجه احتمال بزرگتر بودن

مرحله ٧؛ نرمالایز کردن: با نرمالایز کردن بردار وزن‌ها، وزن‌های نرمالایز به دست می‌آیند.

$$w = \left[\frac{d'(A_1)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_i)}, \frac{d'(A_2)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_i)}, \dots, \frac{d'(A_n)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_n)}\right]^T$$

مرحله ٨: ترکیب اوزان: با ترکیب وزن‌های گزینه و معیارها، وزن‌های نهایی به دست می‌آید.

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^{n} \tilde{w}_i \tilde{r}_{ij} \qquad \forall i$$

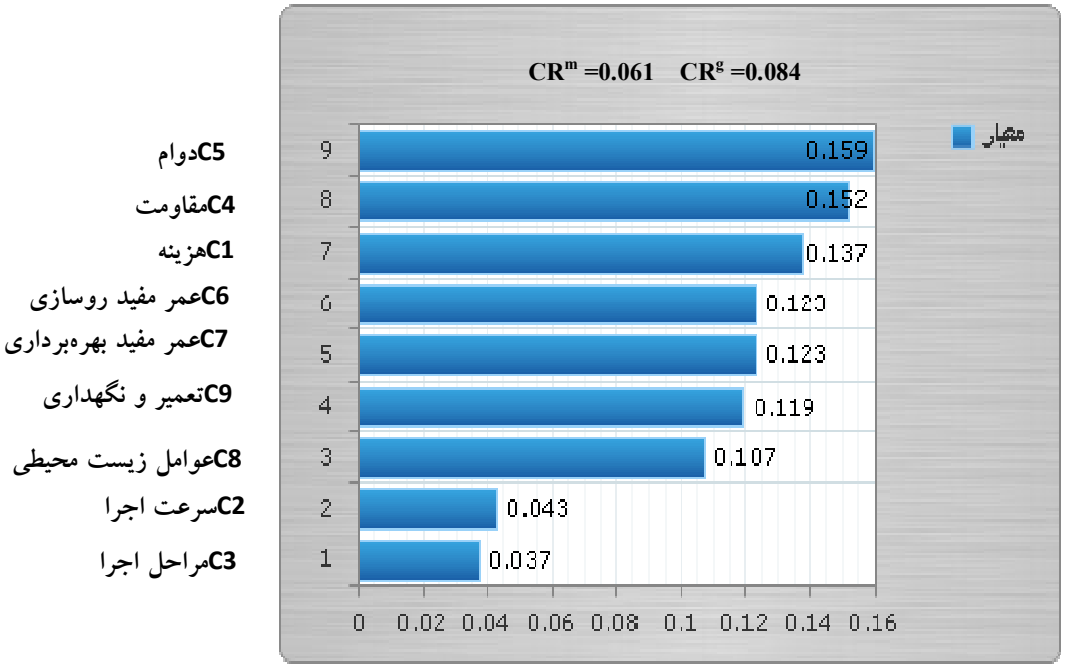
برای انتخاب بهترین گزینه‌ی مناسب (روسازی بتن غلتکی یا روسازی آسفالتی) و الویت‌بندی پارامترهای فنی برای انتخاب روسازی برتر (الویت‌بندی معیارها) به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FUZZY AHP) پس از تهیه پرسشنامه، این فرم در اختیار ۵۰ نفر از خبرگان اداره راه و ترابری استان مازندران، مشاوران و اساتید راهنما قرار گرفت و توسط آنان فرم نظر سنجی تکمیل گردید.

در نهایت فرم جامعی از میانگین نظرات کارشناان تهیه شد و به کمک آن ماتریس مقایسات زوجی بین معیارهای اصلی این تحقیق به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، طبق جدول (٦) تکمیل گردید.

معیار	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	(۱و۱و۱)	(۵و۳و۱)	(۵و۳و۱)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۵و۳و۱)	(۵و۳و۱)
C2	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۳۳،۰و۲۰،۰و۱۴،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)
C3	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۳۳،۰و۲۰،۰و۱۴،۰)	(۳۳،۰و۲۰،۰و۱۴،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)
C4	(۱و۱و۱)	(۵و۳و۱)	(۷و۵و۳)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۷و۵و۳)	(۵و۳و۱)
C5	(۱و۱و۱)	(۵و۳و۱)	(۷و۵و۳)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۵و۳و۱)	(۵و۳و۱)	(۵و۳و۱)	(۵و۳و۱)
C6	(۱و۱و۱)	(۵و۳و۱)	(۵و۳و۱)	(۱و۱و۱)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۵و۳و۱)	(۱و۱و۱)
C7	(۱و۱و۱)	(۵و۳و۱)	(۵و۳و۱)	(۱و۱و۱)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۵و۳و۱)	(۱و۱و۱)
C8	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۷و۵و۳)	(۵و۳و۱)	(۳۳،۰و۲۰،۰و۱۴،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۱و۱)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)
C9	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۵و۳و۱)	(۵و۳و۱)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۱و۳۳،۰و۲۰،۰)	(۱و۱و۱)

در نهایت میانگین ماتریس مقایسات زوجی جدول (٦) را وارد نرم افزاری فازی چانگ کرده و اوزان معیارهای فنی محاسبه شدند.

در شکل (٤) اوزان معیارهای فنی روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی ارائه شده است.



شکل٤. نمودار اوزان نهایی معیارها نسبت به هدف

دو شاخص $CR^m(CR^g)$ داریم که اگر هر دوی این شاخص‌ها کمتر از ۰/۱ بودند، ماتریس فازی سازگار است. در صورتی که هر دو بیشتر از ۰/۱ بودند، از تصمیم‌گیرنده تقاضا می‌شود تا در اولویت‌های ارائه شده تجدید نظر نماید و در صورتی که تنها $CR^m(CR^g)$ بیشتر از ۰/۱ بود، تصمیم‌گیرنده تجدید نظر در مقادیر میانی (حدود) قضاوت‌های فازی را انجام می‌دهد.در این تحقیق این دو

شاخص کمتر از ۰/۱ شدند که نشان‌دهنده قضاوت درست کارشناسان می‌باشد.

براساس نتایج جدول، اولویت بندی معیارها نسبت به هدف مساله عبارت است از :

۱_دوام c5 ۲_مقاومت c4 ۳_هزینه c1 ٤_عمر مفید روسازی c6 ٥_عمر مفید بهره برداری c7 ٦_تعمیر و نگهداری c9 ۷_عوامل زیست محیطی c8 ۸_سرعت اجرا c2 ۹_مراحل اجرا c3

مقایسه زوجی گزینه‌ها بر اساس معیار

پس از تعیین وزن هر یک از معیارها در گام بعد باید گزینه‌ها بصورت زوجی براساس هر معیار مقایسه شوند.
هر کدام از گزینه‌ها (روسازی بتن غلتکی و روسازی آسفالتی) باید براساس هر یک معیارها مورد مقایسه زوجی قرار بگیرند تا در نهایت با محاسبه وزن هر گزینه نسبت به هر معیار و اوزان معیارها بتوانیم بهترین گزینه (روسازی برتر) را انتخاب کرد. در جدول (۷) میانگین ماتریس مقایسات زوجی بین گزینه‌ها نسبت به معیارها به همراه درجه ارجحیت هر یک از گزینه‌ها ارائه شده است.

جدول ۷. میانگین ماتریس مقایسات زوجی بین گزینه‌ها نسبت به معیار C1 تا C9 به روش فازی

مراحل اجرا C۳	A1	A2
A1	(۱,۱,۱)	(۱,۳,۵)
A2	(۰.۲,۰.۳۳۳,۱)	(۱,۱,۱)

سرعت C۲	A1	A2
A1	(۱,۱,۱)	(۰.۱۴۳,۰.۲,۰.۳۳۳)
A2	(۳,۵,۷)	(۱,۱,۱)

هزینه C۱	A1	A2
A1	(۱,۱,۱)	(۳,۵,۷)
A2	(۰.۱۴۳,۰.۲,۰.۳۳۳)	(۱,۱,۱)

عمر مفید C۶	A1	A2
A1	(۱,۱,۱)	(۳,۵,۷)
A2	(۰.۱۴۳,۰.۲,۰.۳۳۳)	(۱,۱,۱)

دوام C۵	A1	A2
A1	(۱,۱,۱)	(۳,۵,۷)
A2	(۰.۱۴۳,۰.۲,۰.۳۳۳)	(۱,۱,۱)

مقاومت C۴	A1	A2
A1	(۱,۱,۱)	(۱,۳,۵)
A2	(۰.۲,۰.۳۳۳,۱)	(۱,۱,۱)

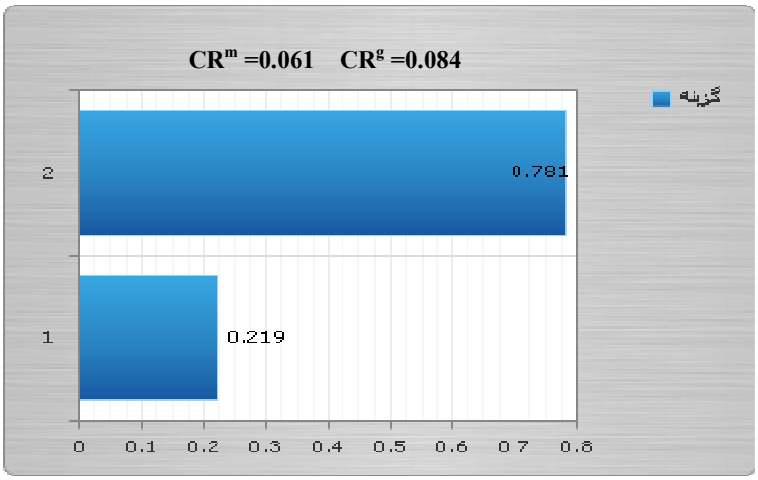
تعمیر و نگهداری C۹	A1	A2
A1	(۱,۱,۱)	(۰.۱۴۳,۰.۲,۰.۳۳۳)
A2	(۳,۵,۷)	(۱,۱,۱)

محیطی C۸	A1	A2
A1	(۱,۱,۱)	(۵,۷,۹)
A2	(۰.۱۱۱,۰.۱۴۳,۰.۲)	(۱,۱,۱)

عمر برداری C۷	A1	A2
A1	(۱,۱,۱)	(۳,۵,۷)
A2	(۰.۱۴۳,۰.۲,۰.۳۳۳)	(۱,۱,۱)

در جدول (۸) و شکل (۵) وزن نهایی گزینه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه شده است.

مولفه	وزن قطعی نهایی گزینه‌ها	اولویت بندی بر اساس وزن قطعی
A1 روسازی بتن غلتکی	**۰.۷۸۱**	**۱**
A2 روسازی آسفالتی	**۰.۲۱۹**	**۲**



شکل ۵. نمودار اوزان نهایی گزینه ها نسبت به هدف مساله

همانطور که از جدول (٤) و شکل (٥) مشخص است روسازی بتن غلتکی با وزن ۰,۷۸۱ و روسازی آسفالتی با وزن ۰,۲۱۹ طبق مقایسات زوجی کارشناسان محاسبه شد و روسازی بتن غلتکی با وزن بیشتر به عنوان روسازی برتر از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انتخاب شد.

مقایسه

به توجه به نتایج مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی مشخص شد که در هر دو مدل روسازی بتن غلتکی بهترین گزینه با توجه به پارامترهای فنی انتخاب شدند و در هر دو مدل الویت‌بندی بین پارامترهای فنی مثل یکدیگر شدند تنها فرق در اوزان پارامترهای فنی است.

مقایسه اقتصادی

یکی از عوامل موثر در ارزیابی پروژه‌های مهندسی، پارامترهای اقتصادی است . امروزه بسیاری از طراحان و سازمان‌های تدوین‌کننده آیین‌نامه، در جهت صرفه‌جویی در انرژی و هزینه‌های سرویس‌دهی و در پی آن بهبود عمر مفید روسازی، روش‌های موجود را مورد بازنگری قرار داده‌اند . همچنین بسیاری از سازمان‌ها علاوه بر هزینه‌های اولیه، هزینه‌های مصرف کننده از قبیل تاخیر در ترافیک هنگام تعمیر و یا بهسازی، استهلاک وسیله نقلیه و غیره را نیز به عنوان هزینه‌های موثر در طراحی در نظر می‌گیرند. با بررسی‌های صورت گرفته بر روی هزینه‌ی اجرای روسازی بتن غلتکی و مقایسه آن با روسازی آسفالتی با توجه به نقشه اجرایی ابلاغی اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، هزینه اجرای بتن غلتکی در مقایسه با آسفالتی ٤٥ در صد کمتر برآورد گردید. جدول (۹) هزینه اجرای روسازی بتن غلتکی با احتساب لایه تونان و روسازی بتن غلتکی بدون احتساب تونان و روسازی آسفالتی را نشان می‌دهد.

جدول شماره ٤. مقایسه هزینه اجرای روسازی بتن غلتکی و روسازی آسفالتی

شماره فصل	شرح فصول	خاکبرداری+خاکریزی+زیراساس + بتن غلتکی+ آسفالت توپکا 6 سانت	خاکبرداری+خاکریزی+ تونان +زیراساس + بتن غلتکی + آسفالت توپکا 6 سانت	خاکبرداری+خاکریزی+ تونان 2 لایه +زیراساس 2 لایه +آسفالت بیندر 12 سانت + آسفالت توپکا 4 سانت
2	عملیات خاکی بادست	848,880	848,880	848,880
3	عملیات خاکی باماشین	991,587,896	1,237,840,613	2,051,183,792
11	کارهای فولادی سبک	54,200,000	54,200,000	54,200,000
12	بتن درجا	10,188,282,719	10,188,282,719	12,932,719
14	زیراساس،اساس وبالاست	1,632,900,000	2,693,032,500	8,072,220,000
15	آسفالت	10,565,366,400	10,565,366,400	25,591,910,400
18	ساختمان‌ها،علایم و تجهیزات ایمنی	178,510,000	178,510,000	178,510,000
19	متفرقه	2,260,000	2,260,000	2,260,000
20	حمل و نقل	243,957,377	243,957,377	603,973,397
جمع ردیف‌های فوق		23,857,913,272	25,164,298,489	36,568,039,188
جمع ردیفهای فوق با احتساب ضریب بلاسری ۱،۳		31,015,287,254	32,713,588,036	47,538,450,944
جمع ردیف‌های فوق با احتساب ضریب تجهیز ۱،۰٤		32,255,898,744	34,022,131,557	49,439,988,982

هزینه اجرای روسازی یتن غلتکی با در نظر گرفتن روکش آسفالتی به ضخامت ٦ سانتیمتر برابر با۳۲،۲۵۵،۸۹۸،۷٤۳ریال برآورد شده است .همچنین هزینه اجرای این محور به روش روسازی آسفالتی برابر با ٤۹،٤۳۹،۹۸۸،۹۸۲ ریال است که در مقایسه با اجرای روسازی به روش بتن غلتکی ٤٥درصد کمتر است.

۵- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی فنی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی با روسازی آسفالتی می‌باشد که برای این ارزیابی فنی ۹ معیار توسط کارشناسان خبره اداره راه و ترابری استان مازندران و اساتید راهنما انتخاب شدند. معیارهای چون عمر مفید روسازی، عمر مفید بهره برداری، دوام، مقاومت، سرعت اجرا، مراحل اجرا، هزینه اجرا (اقتصادی)، تعمیر و نگهداری و عوامل زیست محیطی می‌باشد. در نهایت با مدل تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی مقایسه زوجی شدند و مشخص شد که روسازی آسفالتی با وزن کمتر در رده دوم و روسازی بتن غلتکی با وزن تقریبا سه برابر بیشتر از روسازی آسفالتی به عنوان روسازی برتر در رده اول قرا گرفت و به عنوان گزینه مناسب در محور مورد نظر انتخاب شدند. الویت‌بندی پارامترهای فنی در تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی بدین صورت شد که پارامتر دوام در الویت اول، معیار مقاومت در الویت دوم ، معیار هزینه در الویت سوم، عمر مفید روسازی و عمر مفید بهره‌برداری در الویت چهارم، معیار تعمیر و نگهداری در الویت پنجم، معیار عوامل زیست محیطی در الویت ششم،

معیار سرعت اجرا در الویت هفتم و معیار مراحل اجرا در الویت آخر قرار گرفت. با مقایسه اقتصادی هزینه‌ی اجرای روسازی بتن غلتکی و مقایسه آن با روسازی آسفالتی با توجه به نقشه اجرایی ابلاغی اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، هزینه اجرای بتن غلتکی در مقایسه با آسفالتی ٤٥ در صد کمتر برآورد گردید. بنابراین هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ اقتصادی روسازی بتن غلتکی بهترین نوع روسازی در منطقه مورد پژوهش انتخاب شدند.

پیرو مطالب ارائه شده در این پژوهش، پیشنهادات زیر به عنوان تحقیقات آتی به خوانندگان و علاقمندان ارائه می‌گردد:

-برای مقایسه فنی بین روسازی بتن غلتکی و روسازی آسفالتی در این تحقیق بهتر بود پارامترهای فنی دیگری مثل حجم ترافیک وسایل نقلیه سبک و سنگین در نظر گرفته می‌شد.

-برای مقایسه فنی بین روسازی بتن غلتکی و روسازی آسفالتی و الویت‌بندی پارامترهای موثر از تکنکیک تاپسیس و فازی تاپسیس نیز بکار گرفته شود و نتایج با هم مقایسه شوند.

٦- مراجع

- نویل ،آ. (١٣٦٨)، "بتن شناسی(خواص بتن)"، جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، شماره ٣١٤.

- کلانی، م. و پرویزی، م.، (١٣٩٤) "استفاده از بتن غلتکی در روسازی راه و مقایسه با روسازی آسفالتی از دیدگاه مدیریت ساخت" ، دومین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی، ترکیه، استانبول.

- فرح‌بخش، ف. و مارینی، ا. و کراتیان، ع.، (١٣٩١) "مقایسه فنی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی و آسفالتی در راهسازی و محوطه‌سازی"، همایش ملی یافته‌های نوین در مهندسی عمران، یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج.

- حیدری، ع. و تواضع، ح.، (١٣٩٢)، "مقایسه فنی، اجرایی و اقتصادی روسازی بتن غلتکی و آسفالتی در پروژه‌های آزادراهی" ، پنجمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران.

- پیرایش، م.، و محمدزاده ، ا. و صادقی ، ع.، (١٣٨٩) " الویت‌بندی تعمیر و نگهداری تابلوهای ترافیکی راه‌ها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی" ، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد ، مشهد.

– زبردست، ا.، (١٣٨٠)، "کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه ریزی شهری و منطقه ای"، مجله هنرهای زیبا، شماره ١٠، تهران.

– عظیمی حسینی، م. و نظری فر، م.، (١٣٩٢) " کاربرد GIS در مکانیابی"، مهرگان قلم.

– لی،ک.، (١٣٦٦)، "مدل‌ها در برنامه‌ریزی شهری (مقدمه‌ای بر کاربرد مدل‌های کمی در برنامه‌ریزی)"، ترجمه مصطفی عباس زادگان، انتشارات دانشگاه علم و صنعت تهران، ایران.

– زنجیرچی، م.، (١٣٩٤)، "فرایند سلسله مراتبی فازی"، نشر صانعی شهمیرزادی، تهران.

- Van den Boogaard, A.H. (2013) , “ Contact elements for geometrically nonlinear analysis”. TNO building and Construction Research report 95-NM-R1003.TNO, the Hague.

- Dias, M., Thoresen, T., Martin, T., Hore Lacy, W. and Linnard, K. (2014) , “ Freight Axle Mass Limits Investigation Tool (FAMLIT) User Guide”, Austroads Publication, AP-R265/14, Austroads, Sydney,NSW, Australia.