Journal of Structural and Construction Engineering, 12(11), 2026, pp. 19-40

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Prioritization, credit allocation for asphalt pavement maintenance based on multi-criteria decision-making methods (Case study: Malayer city)

Mohammadreza Elyasi*[1], Daryoosh Daryaee[2], Mehdi Vahedian[3]

1. Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Malayer University, Malayer, Iran
2. Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Malayer University, Malayer, Iran
3. Senior Expert in Civil, Hamedan Institute of Civil and Development Higher Education, Hamedan, Iran

ABSTRACT

The most important goals of road management include the use of organized approaches to make decisions within a suitable and specific framework, assessing the condition of roads, and determining the budget and resources required. It also involves choosing appropriate standards for road maintenance and designing related activities, optimal allocation of resources and facilities, and continuous review of policies, standards, and the impact of activities. The timely diagnosis of adverse pavement conditions is a crucial issue in pavement management, and various models have been considered for it in the past. Among the most important indicators in this field are PCI, IRI, and PSR, which reflect the quality of the pavement with a numerical value representing its overall condition. These indicators only indicate the deterioration of the pavement, and there is no index that encompasses all factors, such as traffic volume and user plans for road maintenance. Despite the limited budget in the country, prioritizing the allocation of funds for road maintenance is a very important issue. For this purpose, this research employs AHP methods to present a model aimed at investigating the simultaneous effects of PCI, as one of the indicators for evaluating pavement damage, road traffic volume, road utility value, and road social importance for prioritizing road maintenance and repair. The arterial roads of Malayer city have been selected using these methods to prioritize the repair and maintenance of asphalt pavements. The results of the sensitivity analysis show that although some roads had poor conditions and lower PCI, they were not prioritized for maintenance. This issue indicates that relying on a single criterion cannot provide a correct analysis of the condition of existing roads.

ARTICLE INFO

Receive Date: 23 November 2024
Revise Date: 12 April 2025
Accept Date: 03 May 2025

Keywords:
Repair and maintenance
PCI
Traffic
Social importance and use of the road
Prioritization

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2025.487243.3565

*Corresponding author: Mohammad reza Elyasi
Email address: eliasy@malayeru.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

اولویت‌بندی، تخصیص اعتبار تعمیر و نگهداری روسازی آسفالتی بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی شهر ملایر)

محمدرضا الیاسی*[۱]، داریوش دریایی[۲]، مهدی واحدیان[۳]

۱- استادیار ، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲- استادیار ، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران ، دانشکده فنی و مهندسی، موسسه آموزش عالی عمران و توسعه همدان ،همدان، ایران

چکیده

مهم‌ترین اهداف مدیریت راه، شامل استفاده از رویکردهای سازمان‌یافته برای تصمیم‌گیری در چهارچوبی مناسب و مشخص، ارزیابی وضعیت راه‌ها و تعیین بودجه و منابع مورد نیاز، انتخاب استانداردهای مناسب برای نگهداری راه و طراحی فعالیت‌های مرتبط، تخصیص بهینه منابع و امکانات، بازنگری مداوم سیاست‌ها، استانداردها و نحوهٔ تأثیر فعالیت‌ها است. تشخیص به‌موقع وضعیت نامطلوب روسازی به‌عنوان مسأله مهمی در حوزهٔ مدیریت روسازی مطرح است. درگذشته مدل‌های متفاوتی برای ارزیابی آن در نظر گرفته شده است. از مهم‌ترین شاخص‌هایی که در این زمینه وجود دارد می‌توان به PCI، IRI و PSR اشاره کرد. این شاخص‌ها کیفیت روسازی را با یک عدد که بیانگر وضعیت کلی روسازی است، نمایش می‌دهند. شاخص‌های مذکور تنها خرابی روسازی را نشان می‌دهند و شاخصی که همهٔ عوامل مانند حجم ترافیک و طرح کاربری را برای تعمیر و نگهداری راه منظور نماید وجود ندارد. این در حالی است که باوجود بودجه محدود در کشور، اولویت‌بندی برای تخصیص بودجه به تعمیر و نگهداری راه‌ها موضوع بسیار مهمی به شمار می‌رود. به همین منظور در این تحقیق از روش‌های AHP برای ارائه ی مدلی باهدف بررسی اثر هم‌زمان PCI به‌عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی خرابی روسازی، حجم ترافیک راه، ارزش کاربری راه و اهمیت اجتماعی راه برای اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری راه استفاده شده است و شش قطعه از راه‌های شریانی شهر ملایر با این روش‌ها به‌منظور اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری روسازی‌های آسفالتی انتخاب شده‌اند. نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که اگرچه در بعضی از مسیرها، راه وضعیت نامناسب و PCI پایین‌تری داشت؛ اما برای تعمیر و نگهداری در اولویت قرار نگرفت. این موضوع بیانگر این است که اتکاکردن به یک معیار نمی‌تواند تحلیل درستی از وضعیت راه‌های موجود ارائه نماید.

کلمات کلیدی: تعمیر و نگهداری، PCI ، ترافیک، اهمیت اجتماعی و کاربری راه، اولویت‌بندی

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2025.487243.3565
۱۴۰۳/۰۹/۰۳	۱۴۰۴/۰۱/۲۳	۱۴۰۴/۰۲/۱۳	۱۴۰۴/۰۲/۱۳	۱۴۰۴/۱۱/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2025.487243.3565

*نویسنده مسئول: محمدرضا الیاسی

پست الکترونیکی: Elyasi@malayeru.ac.ir

۱- مقدمه

راه‌ها به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین زیرساخت‌های عمرانی در هر کشور یک سرمایه محسوب می‌شوند. موضوع مدیریت تعمیر و نگهداری راه‌های یکی از مهم‌ترین موارد جهت حفظ راه‌ها باتوجه‌به بودجه موجود است. دو موضوع در مبحث مدیریت تعمیر و نگهداری راه‌ها دارای اهمیت است: ۱- تعیین گزینه مناسب و ۲- زمان بکارگیری آن. در این مقاله سعی شده تا مدلی با بکارگیری ابزار هوش مصنوعی جهت ارائه الگوریتمی در خصوص تصمیم‌گیری در رابطه با گزینه مناسب جهت انجام عملیات تعمیر و نگهداری و نیز زمان مناسب به لحاظ اولویت‌بندی برای اجرای آن توسعه داده شود. در حال حاضر اکثر کشورهای در حال توسعه به دنبال ایجاد یک سیستم مدیریت نگهداری روسازی کارآمد هستند تا بتوانند بیشترین بازدهٔ اقتصادی را از بودجه‌های کلانی که در بخش راه صرف می‌شود، به دست آورند[۱]. مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی یک فرآیند هماهنگ و منظم برای انجام تمام فعالیت های مربوط به فراهم سازی و نگهداری روسازی جاده ها می باشد. هدف عمده مدیریت روسازی، پیش بینی شرایط روسازی و هزینه مرتبط با نگهداری و بازسازی در یک برنامه زمان بندی مشخص و کمک به برنامه ریزی کارها است[۲].

روسازی راه‌ها همواره در معرض انواع تنش‌های ناشی از عواملی همچون بار ترافیکی، تغییر شکل لایه‌های اساس، زیر اساس و بستر، میزان رطوبت و تغییر دما قرار دارند که این تنش‌ها نیز موجب خرابی‌هایی در روسازی راه‌ها می‌شوند. انواع ترک‌ها، چاله‌ها و تغییر شکل لایه‌ها از انواع این خرابی‌ها هستند. به‌منظور مرمت و اصلاح این خرابی‌ها ابتدا باید نوع خرابی شناسایی و ارزیابی شود و سپس باتوجه‌به اولویت‌ها با روش مناسب ترمیم یابد. از آن‌جا که کیفیت روسازی معابر شهری یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در کیفیت سیستم حمل‌ونقل شهری است، ساخت روسازی‌های باکیفیت به همراه تعمیر و نگهداری صحیح روسازی می‌تواند عاملی مهم در تأمین رضایت شهروندان در مورد عملکرد شهرداری باشد. می‌توان راهکارها و پیشگیری در انواع خرابی‌های آسفالتی در روسازی راه‌ها و معابر شهری را این‌گونه تعریف کرد: اجرای روش مناسب برای روسازی‌ها در زمان مناسب، تنها در این صورت است که فایده‌های این روش قابل‌لمس است. راه‌هایی کـه مورد غفلت قرار می‌گیرند باگذشت زمان استفاده از آن‌ها مشکل‌تر شده و در نتیجه باعث افزایش هزینه‌های عملکردی[۱] وسایل نقلیه (تعمیرات پی‌درپی و سوخت مصرفی بیشتر) و کاهش رغبت رانندگان در اسـتفاده از راه می‌شود به‌گونه‌ای که به‌ازای هر مقدار صرفه‌جویی در نگهداری راه هزینه‌های عملکردی وسایل نقلیـه ۲ تا ۳ برابر افزایش پیدا می‌کنند. با به‌کاربردن روش‌های پیشگیرانهٔ مناسب در زمان مناسب، عمر خدمت‌دهی روسازی افزایش چشمگیری پیدا می‌کند که مدیریت اجرایی در سطح پروژه و شبکه‌ای را می‌طلبد. رعایت نکات کلیدی زیر می‌تواند راهگشا در اجرا، پیشگیری و نگهداری در روسازی آسفالتی راه‌ها و معابر شهری باشد: تعداد و نوع وسایل نقلیهٔ عبوری، نوع و جنس مصالح بستر و روسازی، شرایط جوی، شرایط زهکشی، کیفیت اجرا، ضوابط و معیارهای طرح و اجرا و نگهداری . سیستم مدیریت روسازی استفاده شده در کشـور پرتغـال شامل یک مدل بهینه‌سازی باهدف به‌حداقل‌رساندن مجموع هزینه‌ها و حفظ استانداردهای جاده‌ای می‌باشـد. ایـن سیسـتم در بخش نخست (هزینه‌ها)، دو هدف مختلف را دنبال می‌کند کـه شامل به حداقل رسـاندن هزینه های تعمیر و نگهداری و به حداقل رساندن هزینه‌های کاربر راه، می‌باشند[۳].

امروزه اقتصاد دان ها شبکه های حمل و نقل از طریق جاده را از مهمترین مؤلفه های پیشرفت کشورها می دانند و هر کشوری که در این زمینه دارای ارتباطات گسترده تری باشد، رفاه بهتری را برای مردم خود فراهم نموده است. سیستم جاده های امروزه با تدابیر مهم و تعمیر و نگهداری مهندسی شده آن به یکی از ارکان مهم در بهبود شرایط زندگی مردم تبدیل شده است و عوامل زمان و هزینه هم برای دولت و هم برای مردم در این سیستم بسیار حائز اهمیت است. جاده های درون و برون شهری سرمایه ملی هر کشوری محسوب شده است و سالانه بودجه های کلان عمرانی صرف ترمیم، بهسازی، حفظ و نگهداری آنها می گردد و عدم توجه به این موارد دوباره کاری و هزینه های هنگفتی را برای دولت در پی خواهد داشت[۴]. سیستم مدیریت روسازی به مجموعه‌ای کامل و هماهنگ از فعالیت‌هایی همچون طراحی، برنامه‌ریزی، ساخت، نگهداری، ترمیم، ارزیابی، بازیابی و تحقیق‌های مربوط به روسازی گویند که هدف آن استفاده ازاطلاعات صحیح و معیارهای تصمیم‌گیری مناسب

[1] Operating Costs.

در چارچوب تشکیلاتی تعریف شده، به منظور ایجاد یک برنامهٔ مقرون به صرفه برای طراحی، ساخت و نگهداری روسازی است. به این ترتیب سیستم مدیریت روسازی ابزاری است هدفمند برای مدیران که به منظور افزایش کارایی در تصمیم‌گیری و یافتن استراتژی مؤثر و اقتصادی برای ارزیابی، ترمیم، تعمیر، حفظ و نگهداری روسازی‌ها در سطح خدمت‌دهی قابل قبول طراحی می‌شود. این سیستم یک سیستم اطلاعاتی، تحلیلی و تکاملی است که اطلاعات آن به طور مستمر با یک برنامه‌ای که بر اساس علوم و فنون نوین مهندسی، فن‌آوری‌ها و تحولات اقتصادی تنظیم شده است بررسی شده تا امکان‌سنجی اقتصادی و استراتژی مهندسی انتخاب شده برای ترمیم، بهسازی، حفظ و نگهداری روسازی‌ها بهینه و به هنگام نمود[۵]. نگهداری راه عبارت است از مجموعه‌ای از عملیات که به صورت دائمی و همیشگی بر روی یک راه و ابنیهٔ فنی، تأسیسات، تجهیزات و حریم مطلوب مربوط به آن انجام می‌شود تا راه همواره در سطحی مطلوب سرویس‌دهی نماید و یا به عبارت دیگر وضعیت راه همواره بر اساس زمان ساخت حفظ شده و یا ارتقاء وضعیت یابد. برای رسیدن به این هدف باید تمهیدات خاصی برای مرمت خرابی‌ها صورت گیرد و یا با تقویت و بهسازی راه وضعیت آن را بهبود بخشید. در یک تعریف کلی‌تر نگهداری راه عبارت است از کارهایی روزانه بر روی جاده که به صورت دستی یا به کارگیری ماشین‌آلات و تجهیزات مهندسی همراه باشد[۶].

نگهداری از زیرساخت ها به همان اندازه ایجاد و توسعه زیر ساخت ها امری ضروری برای توسعه پایدار میباشد. برای نگهداری از شبکه راه ها وجود یک سامانه مدیریت و نگهداری روسازی الزامی است که بتوان از آن به عنوان ابزار تصمیم گیری استفاده کرد. به همین دلیل اکثر کشورهای در حال توسعه به دنبال یک سامانه مدیریت و نگهداری روسازی کارآمد هستند که بتواند بیشترین بازده اقتصادی را از بودجه های کلانی که در بخش راه مصرف می شوند، به دست آورند. راه ها سرمایه ملی هر کشوری محسوب میشوند و سالانه بخش عظیمی از بودجه های عمرانی کشورها صرف ترمیم و نگهداری و بهسازی آنها می شود ، بنابراین در شبکه راه ها ، استفاده از یک سامانه مدیریت و نگهداری که بتوان از آن به عنوان ابزاری برای تصمیم گیری ها و بهینه کردن هزینه های ترمیم و نگهداری استفاده کرد امری ضروری است. تدوین یک رویه تصمیم گیری سیستماتیک و ضابطه مند برای اتخاذ تصمیم های اساسی همواره به عنوان یکی از دغدغه های فکری مدیران، مطرح بوده است. در نتیجه وجود چنین سیستمی ، امکان اعمال نظریات شخصی در فرایند تصمیم گیری را منتفی کرده و قابلیت اطمینان صحت تصمیم افزایش پیدا خواهد کرد. نظر به محدودیت بودجه سالیانه برای اجرای پروژه ها، ناگزیر باید در چارچوب محدودیت بودجه، پروژه های اولویت را دار جهت اجرا انتخاب نمود[۷].

شبکهٔ جاده‌های یک کشور، یکی از دارائی‌های ملی و اصلی آن کشور محسوب می‌شود و نگهداری آن‌ها به عنوان یک ضرورت نیازمند صرف هزینه‌های سنگینی است که از هزینه‌های بسیار سنگین‌تر اضمحلال راه جلوگیری می‌نماید. رشد فزایندهٔ جمعیت و توسعهٔ اقتصادی،سبب افزایش حجم ترافیک، تغییر نوع ترافیک و سرعت حرکت و افزایش ارزش زمان و اهمیت مدیریت بهره‌وری اقتصادی شده است. غفلت و عدم توجه به نگهداری راه‌ها سبب کاهش شاخص کیفیت راه‌ها و کاهش حجم ترافیک و انصراف استفاده کنندگان از راه و همچنین از بین رفتن این سرمایهٔ ملی و محرومیت از آن و بالارفتن هزینه‌های حمل و نقل می‌شود. به طور کلی در فرآیند نگهداری راه‌ها، پارامترهای متعددی دخیل هستند که بی‌توجهی به آن‌ها موجب تصمیم‌گیری نادرست در خصوص برنامه‌ریزی اقتصادی می‌شود. همچنین برای انجام عملیات تعمیر و نگهداری راه‌ها، اعتبارات باید به اندازهٔ کافی و با برنامهٔ زمانی مدون به صورت مستمر تخصیص یابد، تا بتوان با برنامه‌ریزی دقیق و انجام به موقع عملیات نگهداری، سطح خدمت‌دهی راه‌ها را در حد مطلوب حفظ نمود. به طورکلی سازمان و مسئولین متولی امر راهداری باید بدانند که چه میزان اعتبار و در چه مقطع زمانی تخصیص خواهد یافت تا بتوانند بر اساس آن برنامه‌ریزی نمایند. واضح است بدون آگاهی و عدم دسترسی به این اطلاعات، برنامه‌ریزی غیر ممکن شده و سبب ایجاد مشکل‌هایی از قبیل عدم انجام به موقع عملیات تعمیر و نگهداری راه‌ها در زمان مقرر و عدم پرداخت هزینه‌های مربوطه می‌شود و این منجر به تشدید خرابی‌ها و تسریع در روند اضمحلال راه و کاهش کیفیت عملیات تعمیر و نگهداری خواهد شد. به طور کلی مطالعه‌های انجام شده درکشورهای در حال توسعه در خصوص برنامه‌ریزی اقتصادی راه‌ها حاکی از این است که این موضوع در اغلب کشورها مهجور مانده و سبب از بین رفتن سرمایه‌های ملی این کشورها شده است. فقدان نظام سازمانی، سیستم سازماندهی مناسب برای مالکیت، تأمین اعتبار، مدیریت، عدم وجود استانداردها و آئین‌نامه‌های معتبر و معیارهای کنترلی در این کشورها عامل مهمی برای از بین رفتن منابع و امکانات محدود آن‌ها شده است. لذا نظر به اهمیت موضوع و همچنین پیچیدگی از جهت دخالت پارامترهای متعدد در تصمیم‌گیری، لزوم استفاده از یک روش بهینهٔ اقتصادی واضح و

مبرهن می‌نماید[۸]. بنابراین در هر ساختار سازمان یافته ای، این مدیریت است که باید در سطوح مختلف صورت گیرد تا با عنایت به اینکه هر ساله میلیاردها ریال صرف ساخت و نگهداری راه ها می شود، با طراحی سامانه مدیریت اطلاعات روسازی بر اساس اصول صحیح مهندسی و مدیریت این هزینه ها، میزان قابل توجهی از آن را کاهش داد[۹]. نگهداری و تعمیرات(نت) شامل مجموعه فعالیت هایی می باشد که به طور مشخص و برنامه ریزی شده و باهدف جلوگیری از خرابی ناگهانی تجهیزات و تأسیسات انجام می شود. تعمیرات هنگامی صورت می گیرد که تجهیزات از کار می افتد، درست کار نمی کند یا به نحوی آسیب می بیند که فعالیت آنها با تأخیر مواجه می شود[۱۰]. افزایش طول عمر دستگاه ها با حداقل هزینه و افزایش بهره وری آن از اهداف اصلی سیستم نت می باشد که از زمان نصب تجهیزات و در طول بهره وری تعریف می گردد[۱۱]. خصوصیت یک روسازی و یا کلاس یک روسازی اندازه‌های مهمی درخصوص رفتار، کارائی کفایت، هزینه و مقادیر خرابی روسازی را در خود دارد[۱۲].

عملیات نگهداری راه در زمرهٔ عملیات‌های هزینه‌بر محسوب می‌شود که لازم است بر اساس برنامه‌ریزی کاملاً مشخص و بر اساس نیازها و مشکلات راه، تعیین شود. فرآیند کنونی تخصیص بودجهٔ نگهداری راه در کشور برای راه‌های ملی به صورت استانی و بر اساس روش راه هم‌سنگ انجام می‌شود. ادبیات تحقیق در این زمینه نشان دهندهٔ وابستگی فرآیند توزیع بودجه در سطح کلان به پارامترهای وابسته به شرایط راه‌های منطقه‌های مختلف است. شرایط کنونی توزیع بودجه بین راه‌های کشور بر مبنای کمیت‌های مرتبط با راه‌های هر استان بوده و کمتر به مشخصات کیفی آن می‌پردازد. این موضوع موجب عدم حساسیت مدل فعلی به شرایط خرابی راه‌ها گشته است[۱۳]. تعمیر و نگهداری راه های کشور یکی از مراحل ضروری بهبود شرایط فیزیکی راه ها هستند که در تحلیل چرخه عمر روسازی نقش مهمی ندارد و از همان اولین سال بهره برداری آغاز می شود. با در نظر داشتن این امر، سالانه بخش عظیمی از بودجه عمرانی کشور صرف ترمیم و نگهداری و بهسازی راه ها می شود. آنچه که مطرح شد، نیاز اساسی یک برنامه مدون اقتصادی و فنی، به عنوان ابزاری برای تصمیم گیری ها و بهینه سازی هزینه های ترمیم و نگهداری است[۱۴].

یکی از مطالعات برجسته در این زمینه توسط اوما و همکاران (۲۰۱۵) انجام شده است. این پژوهش با استفاده از رویکرد ترکیبی AHP و TOPSIS فازی به اولویت‌بندی قطعات روسازی شبکه شهری پرداخته است. در این مطالعه، معیارهایی نظیر شاخص وضعیت روسازی(PCI) ، هزینه نگهداری و کیفیت شبکه به‌عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته شدند. وزن‌دهی به معیارها با استفاده از AHP فازی انجام شد و سپس با بهره‌گیری از روش TOPSIS، اولویت‌بندی نهایی صورت گرفت. نتایج نشان داد که این رویکرد ترکیبی می‌تواند به تصمیم‌گیری دقیق‌تر و کاهش هزینه‌ها منجر شود [۱۵]. استفاده از منطق فازی در این مطالعه، توانایی AHP را در مدیریت عدم قطعیت‌ها تقویت کرده است[۱۵].

در مطالعه‌ای که توسط نائوتیال و همکاران (۲۰۲۱) انجام شد، از AHP برای اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری راه‌های روستایی استفاده شد [۱۶]. این پژوهش با در نظر گرفتن معیارهایی نظیر تراکم جمعیت، فاصله از مراکز شهری، وضعیت روسازی و هزینه تعمیر، به رتبه‌بندی بخش‌های مختلف شبکه راه‌های روستایی پرداخت. نتایج نشان داد که استفاده از AHP به تخصیص بهینه منابع و افزایش دسترسی در مناطق محروم کمک کرده است [۱۶].

روش AHP یک رویکرد سیستماتیک و شفاف برای اولویت بندی تعمیر و نگهداری جاده، افزایش بهینه سازی منابع و تصمیم گیری ارائه می دهد. تون و همکاران، با استفاده از روش AHP امکان ارزیابی جامع، ادغام عوامل مختلف، و بهبود پایداری و عملکرد شبکه جاده های روستایی در ایالت شان، میانمار را فراهم کردند[۱۷].

همانطور که از بخش مقدمه پیداست، استفاده از روشهای تصمیم گیری چند معیاره در اولویت بندی پروژه های تعمیر و نگهداری راه قبلا مورد استفاده قرار گرفته است ولی نوآوری این پژوهش در به کارگیری متغیرهای مستقل ترافیک، اهمیت کاربری راه و اهمیت اجتماعی در کنار شاخص کیفیت روسازی(PCI) و مطالع موردی مشخص آن (شریانهای شهر ملایر) می باشد.

در تحقیق اخیر مدلی برای توزیع بودجهٔ نگهداری راه‌های کشور ارائه شد که در آن تا حد زیادی نواقص الگوی گذشته برطرف شده است. در این مدل که خود از چند زیر مدل تشکیل می‌شود، میزان اهمیت و وزن پارامترها در بخش‌هایی که آمار مستندی وجود

نداشت و یا نیاز به تبدیل یک پارامتر کیفی به کمی وجود داشت، بـا طراحی و توزیع فرم‌های نظرسنجی و تحلیل آن‌ها از روش AHP انجام و اعتبارسنجی شد. در این پژوهش به عنوان یک مطالعه موردی در شهرستان ملایر مدلی ارائه شد، وقتی بودجه کمتر از حد مورد نیاز است باید با استفاده از بهترین اولویت‌بندی، گزینهٔ مناسب را برای انجام تعمیر برگزید. به منظور مدیریت بهینه و جامع روسازی راه‌های موجود سایر پارامترهای مهم مانند شاخص وضعیت روسازی، حجم ترافیک، اهمیت کاربری راه و اهمیت اجتماعی راه، مبنای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی گزینه‌های ترمیم و نگهداری قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه در مدل‌های پیشین هر یک از این معیارها به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته بودند. در این پژوهش چهار معیار مورد بررسی قرار گرفت و اثر هم‌زمان آن‌ها بر روی روسازی سنجیده شده است. برای بررسی اثر همزمان چهار معیار مختلف بر روی روسازی از روش چند معیاره استفاده شده که به کمک آن می‌توان داده‌ها را نرمال‌سازی و وزن‌دهی کرد.

۲- معرفی محل انجام پژوهش

اولویت‌بندی معابر این تحقیق مربوط به شهر ملایر واقع در استان همدان است. این معابر شامل مسیرهای رفت و برگشت خیابان‌های آزادی، ملت و انقلاب است. نقشهٔ هوایی خیابان‌های این سه معبر در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. همچنین مشخصات طولی و عرضی هر سه خیابان در جدول ۱ آورده شده است.

با توجه به اینکه شهر ملایر، دارای تعداد شریان های اصلی کمی می باشد و همچنین بر اساس نظر کارشناسان شهرداری ملایر شریانهای معرفی شده در اولویت تعمیر و نگهداری بودند، در این تحقیق سعی شد تا در همین شریان ها با دقت کافی نمونه برداری و تحلیل اولویتها صورت گیرد.

شکل ۱ : عکس هوایی خیابان آزادی شهر ملایر

شکل ۲: عکس هوایی خیابان ملت شهر ملایر

شکل ۳: عکس هوایی خیابان انقلاب شهر ملایر

جدول۱: مشخصات عرضی و طولی خیابان‌های انتخاب شده

نام معبر	مبدأ	مقصد	مسیر رفت					مسیر برگشت					عرض رفیوژ (m)	عرض پوسته (m)	طول کل معبر (m)
			عرض پیاده‌رو (m)	عرض باغچهٔ کناری (m)	عرض جوی آب (m)	عرض خط پارک (m)	عرض کل سواره‌رو (m)	عرض پیاده‌رو (m)	عرض باغچهٔ کناری (m)	عرض جوی آب (m)	عرض خط پارک (m)	عرض کل سواره‌رو (m)			
خیابان آزادی	میدان آزادگان	میدان استقلال	۲/۹	۴	۰	۲/۲	۱۵/۹	۲/۴	۲/۷	۰/۵	۲/۲	۱۵/۷	۳	۵۱/۵	۸۴۴
خیابان ملت	میدان امامزاده عبدالله	میدان تعاون	۵/۲	۰	۰/۶	۳	۱۴/۴	۵/۲	۰	۱/۶	۳	۱۴	۲/۵	۴۹/۵	۶۴۷
خیابان انقلاب	میدان امام حسین (ع)	میدان انقلاب	۴/۷	۲	۰/۶	۱/۶	۱۲	۰	۰	۰/۸	۱/۶	۱۳/۴	۳/۶	۴۰/۳	۱۰۰۵

۳- روش تحلیل

۳-۱-روش تحلیل سلسله مراتبی AHP

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) توسط محققی به نام توماس-ال-ساعتی در سال ۱۹۷۰ بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی پیشنهاد شد. این فرآیند یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین می‌تواند معیارهای مختلف کمی و کیفی را در نظر بگیرد و گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت معیارها را دارد. شناسایی ریسک‌ها با تکنیک مصاحبه‌های ساختاریافته، اولویت‌بندی کیفی ریسک‌ها با نظرسنجی از خبرگان و اولویت‌بندی کمّی ریسک‌ها با تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است [۱۸].

AHP بر مبنای مقایسهٔ زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را آسان می‌کند. تمامی مقایسه‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، به صورت زوجی انجام می‌شود، که در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد. پس از تعیین اهمیت معیارها نسبت به یک‌دیگر، نباید آهنگ سازگاری سامانه از ۰/۱ بیشتر باشد، که CR[2] از تقسیم شاخص سازگاری[3] (بر میانگین شاخص سازگاری) CI محاسبه می‌شود. مقدار CI نیز توسط وارگس و ساعتی برای ماتریس‌های در ابعاد مختلف آماده شده است. روش AHP بر اساس مراحل زیر انجام می شود[۱۹].

۳-۱-۱-ساختار مسأله انتخاب گزینه‌ها بر مبنای معیارها

فرآیند تصمیم‌گیری را از نظر فضای تصمیم را می توان به دو صورت تصمیم‌گیری در فضای گسته و پیوسته تقسیم‌بندی نمود که هر کدام از آن‌ها به دو دستهٔ تک معیاره و چند معیاره تقسیم می‌شوند.

به طور کلی پیاده‌سازی تحلیل سلسله مراتبی در یک تصمیم‌گیری شامل ۴ فاز به شرح ذیل است.

- *تشکیل درخت سلسله مراتبی*

[2] *Consistency Ratio, CR*
[3] *Consistency Index, CI*

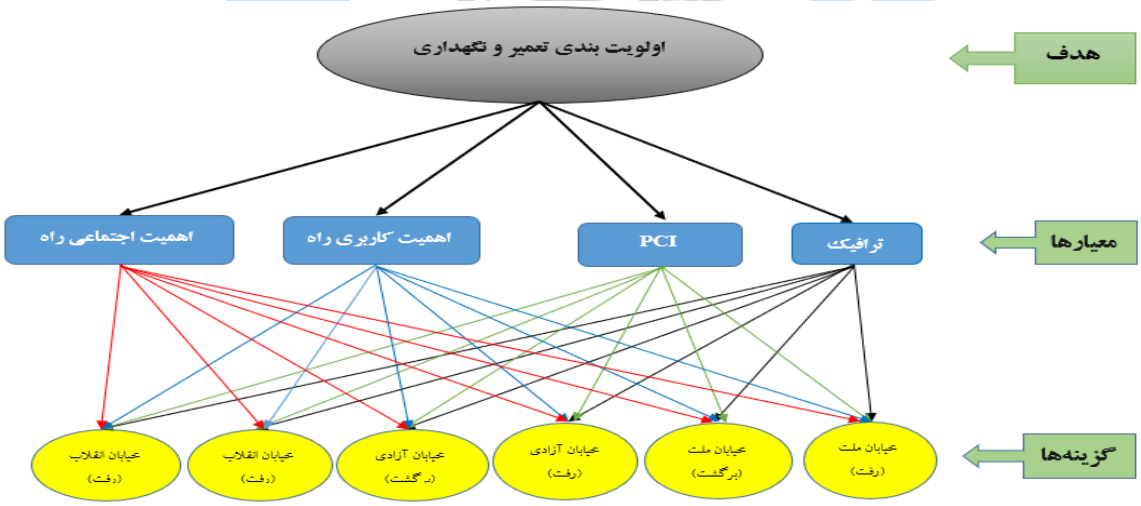
- *انجام مقایسه‌ها زوجی*
- *محاسبهٔ وزن‌ها*
- *سازگازی سسیتم*

۳-۱-۲-پیاده‌سازی مراحل مختلف تحلیل سلسه مراتبی

۳-۱-۲-۱- فاز۱- تشکیل درخت سلسه مراتبی:

در فاز اول باید عواملی که در تصمیم‌گیری مهم هستند را در قالب یک درخت تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی بیان کنیم. درخت سلسله مراتبی درختی است که در سطح اول آن، هدف تصمیم‌گیری و در سطح آخر آن گزینه‌هایی را که باید با هم مقایسه شوند بیان می‌شود و در سطوح میانی نیز معیارهایی که ملاک مقایسه هستند قرار می‌گیرند. به عنوان مثال چنانچه مدیریت یک راهداری بخواهد از میان سه محور یکی را برای بازسازی انتخاب نماید و یک گروه سه نفره از کارشناسان خبره به این منظور تشکیل دهد، مرحلهٔ -اصلی در رسیدن به یک تصمیم مطلوب، تعیین فاکتورهایی است که می‌خواهیم بر اساس آن‌ها گزینه‌های مختلف را با هم مقایسه کنیم.

در این مثال فرض شده است که مدیریت سازمان می‌خواهد با استفاده از نظرات گروهی متشکل از سه کارشناس، یک محور از سه محور مطرح را برای انجام عملیات بازسازی انتخاب کند. در این راستا عوامل مهم برای مقایسهٔ گزینه‌های این مثال ترافیک، موقعیت محور و وضعیت آن فرض شده است، به عبارت دیگر محورهای ۱، ۲ و ۳ با استفاده از این فاکتورهای سه گانه مورد مقایسه قرار می‌گیرند. حال می‌توان ساختار درخت سلسه مراتبی را برای مثال فوق را به شرح ذیل در شکل ۴ ارائه نمود. در روش AHP برای هر کدام از گزینه‌ها یک امتیاز به دست می‌آوریم و گزینه‌ها بر حسب امتیازی که کسب نموده‌اند رتبه‌بندی می‌شوند. روشی که در AHP برای محاسبهٔ امتیازها به کار می‌رود بر اساس مقایسه‌های زوجی استوار است که در فاز دوم به شرح آن می‌پردازیم.



شکل ۴: روابط سطوح ۱، ۲ و ۳

۳-۱-۲-۲- فاز ۲- مقایسه‌ها زوجی:

در روش AHP هر یک از افراد تصمیم‌گیرنده برای قضاوت‌های شفاهی از مقیاس مندرج در جدول ۲ استفاده می‌کنند. هنگام مقایسهٔ دو به دو در آغاز باید معادل اهمیت دو به دو، از طریق رتبه‌های زیر مشخص شود، سپس مقدار عددی متناظر با آن در جدول مقایسه برآورد شود.

جدول۲: معیار سنجش وضعیت مقایسه‌ای

وضعیت مقایسه	ترجیحاً یکسان	کمی بهتر	بهتر	خیلی بهتر	کاملًا بهتر
ارزش	۱	۳	۵	۷	۹

۳-۲- اولویت‌بندی معابر

معیارهای مورد استفاده برای اولویت‌بندی معابر شامل ترافیک، شاخص PCI، اهمیت راه از نظر کاربری و اهمیت راه از نظر اجتماعی معابر است. بر این اساس معیاری کمّی برای سنجشِ وضعیت مقایسه‌ای این سه معبر برای اولویت‌بندی اهمیت راه از نظر کاربری و از نظر اجتماعی در نظر گرفته شد. به این‌صورت که پس از تهیهٔ پرسش‌نامه، کارشناسان ادارهٔ مهندسی، کنترل و ایمنی ترافیک ادارهٔ راه و شهرسازی و شهرداری شهر ملایر به منظور اولویت‌بندی این سه خیابان از این معیار سنجش برای مقایسهٔ دو به دو هر یک از خیابان‌ها از نظر اهمیت کاربری و از نظر اهمیت اجتماعی راه استفاده نمودند. برای اولویت‌بندی هر سه معبر بر اساس معیار شاخص PCI، از جدول ۳ نیز استفاده شد. همین‌طور از جدول ۴ به منظور اولویت‌بندی معابر بر اساس معیار ترافیک با استفاده از پارامتر TI [4] استفاده شد.

جدول۳: مقادیر PCI

PCI	PCI < 40	41 < PCI < 55	56 < PCI < 70	71 < PCI < 85	86 < PCI < 100
وضعیت	ضعیف	متوسط	خوب	خیلی خوب	عالی
مقادیر کمّی	۱	۳	۵	۷	۹

جدول٤: مقادیر شاخص ترافیک (TI)

TI	TI < 900	900 < TI < 1000	1000 < TI < 1200	1200 < TI < 1400	TI > 1400
ترافیک	روان	سبک	نیمه سنگین	سنگین	خیلی سنگین
مقادیر کمّی	۱	۳	۵	۷	۹

۳-۲-۱-معیار حجم ترافیک (TI)

حجم ترافیک عبارت است از تعداد وسیلهٔ نقلیه‌ای که در مدت زمان مشخص در جهت یا جهات مشخصی در یک یا چند خط از مقطع خیابانی عبور می‌کند. حجم ترافیک در ساعت اوج ترافیک (۱۱/۳۰ تا ۱۲/۳۰ ظهر) به صورت جداگانه در یک روز اداری برای وسایل نقلیهٔ سبک، سنگین و موتورسیکلت‌ها در هر یک از مسیرهای رفت و برگشت محاسبه شده است (جدول ۵). آمار برداری به صورت میدانی به وسیلهٔ شمارش وسایل نقلیه در ساعت اوج ترافیک برداشت شده است. با توجه به جدول ۴ و ۵ مقدار TI را می توان برای هر سطح ترافیک به دست آورد.

[4] Traffic Index

۳-۲-۲- معیار PCI

یکی از ویژگی‌های مهم سیستم مدیریت روسازی آن است که هم توانایی تعیین وضعیت موجود شبکهٔ روسازی را دارد و هم قادر است وضعیت آتی آن را پیش‌بینی نماید. برای آن‌که بتوان وضعیت روسازی را به نحو قابل اعتمادی پیش‌بینی نمود باید از یک سیستم درجه‌بندی عینی و قابل تکرار برای شناسایی وضعیت روسازی استفاده شود. روشی که در این‌جا به منظور درجه‌بندی وضعیت خرابی روسازی‌ها ارائه می‌شود همان روش نشانهٔ وضعیت روسازی (PCI) است که توسط گروه مهندسین ارتش ایالات متحده پیشنهاد شده است. محاسبهٔ PCI بر اساس نتیجه‌های بازرسی روسازی به صورت چشمی یا با استفاده از دستگاه‌های پیشرفته صورت می‌گیرد که در آن نوع، شدت و میزان خرابی مشخص می‌شود. PCI در ابتدا به عنوان نشانه‌ای از انسجام سازه‌ای روسازی و وضعیت عملکردی رویهٔ آن پیشنهاد شده بود. اطلاعاتی که از خرابی‌ها به عنوان بخشی از بررسی وضعیت به دست می‌آیند، شناختی درونی نسبت به علل خرابی و ارتباط آن با بارگذاری یا شرایط جوی به وجود می‌آورند. درجهٔ اضمحلال روسازی تابعی از سه عامل نوع خرابی، شدت خرابی و میزان تراکم خرابی است. به دلیل تعداد زیاد وضعیت‌های ممکن، به دست آوردن نشانه‌ای که هر سه عامل را به صورت هم‌زمان لحاظ نماید بسیار مشکل خواهد بود. برای غلبه بر این مشکل ضریب کاهندگی به عنوان نوعی ضریب وزنی که میزان تأثیر هر یک از عوامل فوق را بر وضعیت روسازی نشان می‌دهد، پیشنهاد شده است.

جدول۵: تعداد وسایل نقلیهٔ سبک معادل برای وسایل نقلیهٔ سنگین و موتورسیکلت‌ها در ساعت اوج ترافیک

مسیر رفت و برگشت	وسایل نقلیهٔ سبک	وسایل نقلیهٔ سبک معادل وسایل نقلیهٔ سنگین	وسایل نقلیهٔ سبک معادل وسایل نقلیهٔ موتورسیکلت‌ها
مسیر رفت خیابان آزادی	۸۵۰	۶۰	۱۰
مسیر برگشت خیابان آزادی	۱۰۵۰	۷۵	۱۲
مسیر رفت خیابان ملت	۱۰۸۵	۶۰	۵۰
مسیر برگشت خیابان ملت	۱۰۹۰	۱۲۰	۳۷
مسیر رفت خیابان انقلاب	۱۲۶۰	۴۲	۲۷
مسیر برگشت خیابان انقلاب	۱۴۹۶	۶۰	۲۲

اولین قدم برای تعیین PCI یک قطعه روسازی تقسیم آن به قطعات کوچکتری به نام واحدهای نمونه است. سپس باید تشخیص داده شود که چه واحدهایی باید مورد بازرسی قرار گیرند. نحوهٔ این تقسیم‌بندی و انتخاب واحدهای مورد بازرسی برای انواع مختلف روسازی‌ها متفاوت است، همچنین برای ثبت نوع سطوح شدت خرابی‌ها و ضرایب کاهندگی مربوطه بر اساس شناخت عمیق رفتار روسازی، تجربیات بسیاری از مهندسین، آزمایشات صحرایی و ارزیابی دستورالعمل‌ها و تعریف دقیق انواع خرابی‌ها به دست آمده‌اند به نحوی‌که امکان تعیین یک نشانهٔ مرکب خرابی PCI به دست آمده است. پس از برداشت و ثبت اطلاعات به دست آمده، با استفاده از روابط موجود مقدار PCI بر اساس خرابی‌های موجود و شدت و تراکم آن‌ها برای یک واحد نمونه و متعاقباً برای قطعهٔ مورد بررسی محاسبه می‌شود.

PCI تمامی معابر مورد نظر محاسبه شد و در جدول شماره ۶ آورده شده است. همان‌طوری که قبلًا نیز اشاره شد شاخص PCI عددی بین صفر تا صد است که این عدد بیانگر کیفیت و وضعیت روسازی در زمان بررسی است.

جدول۶: مقادیر به دست آمده شاخص (PCI)

نام خیابان	از	تا	PCI
خیابان آزادی	میدان آزادگان	میدان استقلال	۷۵/۵
خیابان آزادی	میدان استقلال	میدان آزادگان	۹۲/۲۵
خیابان ملت	میدان امامزاده عبدالله	میدان تعاون	۵۲/۲۵
خیابان ملت	میدان تعاون	میدان امامزاده عبدالله	۷۱/۲۵
خیابان انقلاب	میدان امام حسین (ع)	میدان انقلاب	۷۷/۷۵
خیابان انقلاب	میدان انقلاب	میدان امام حسین (ع)	۸۰/۵

۳-۲-۳- اهمیت راه از نظر کاربری

به طور کلی تعیین چگونگی استفاده از زمین را کاربری می‌نامند. به این معنی که چه درصدی از اراضی حاشیهٔ معبر به تفکیک تجاری، مسکونی، اداری و خدماتی، پارک و فضای سبز، تاریخی، آموزشی، فرهنگی و هنری، نظامی و انتظامی، تفریحی و گردشگری، صنعتی و باغ و کشاورزی هستند. انواع کاربری‌های شهری بر اساس طرح جامع و طرح تفصیلی که در راه‌های مورد بررسی در این تحقیق قرار دارند به شرح ذیل هستند:

۱) کاربری مسکونی: شامل تراکم‌های مختلف مسکونی

۲) کاربری تجاری: شامل مغازه، عمده‌فروشی و خرده‌فروشی‌ها

۳) کاربری آموزشی: مهد کودک، کودکستان، دبستان، دبیرستان و دانشگاه

۴) کاربری بهداشتی- درمانی: شامل درمانگاه، کلینیک و بیمارستان

۵) خدمات شهری: شامل پمپ بنزین، آتش‌نشانی، دفتر پست، کلانتری و نواحی شهری

۶) فضای سبز: شامل پارک، فضای سبز، میدان‌ها و کمربند سبز شهری

پرسشنامه خام مربوط به مقایسات زوجی اهمیت کاربری معابر در جدول ۷ آورده شده است.

۳-۲-۴- اهمیت راه از نظر اجتماعی

تعریف اهمیت راه از نظر اجتماعی به صورت زیر است:

۱) در اصطلاح تعریف، بستری برای ارتباط‌های اجتماعی نظیر کار، گردش، بازی و ملاقات است.

۲) در تعریف دیگر به این‌صورت است که هرچه پیاده‌ها دوچرخه سواران بتوانند آسان‌تر از عرض خیابان عبور کنند نقش اجتماعی خیابان بیشتر است.

۳) نشان‌دهندهٔ این است که هر کدام از این راه‌ها چه مسیرهایی را به هم مرتبط می‌سازند و چه ابنیه و مکان‌هایی (شامل شهرک‌ها، دانشگاه‌ها و پمپ بنزین) در مجاورت آن واقع شده‌اند. پرسشنامه خام مربوط به مقایسات زوجی اهمیت اجتماعی معابر در جدول ۸ آورده شده است.

جدول۷: پرسش‌نامهٔ تهیه شده برای سنجش وضعیت مقایسه‌ای از نظر اهمیت کاربری

اهمیت راه از نظر کاربری	خیابان آزادی (مسیر رفت)	خیابان ملت (مسیر رفت)	خیابان انقلاب (مسیر رفت)	خیابان آزادی (مسیر برگشت)	خیابان ملت (مسیر برگشت)	خیابان انقلاب (مسیر برگشت)
خیابان آزادی (مسیر رفت)	۱					
خیابان ملت (مسیر رفت)		۱				
خیابان انقلاب (مسیر رفت)			۱			
خیابان آزادی (مسیر برگشت)				۱		
خیابان ملت (مسیر برگشت)					۱	
خیابان انقلاب (مسیر برگشت)						۱

جدول۸: پرسش‌نامهٔ تهیه شده برای سنجش وضعیت مقایسه‌ای از نظر اهمیت اجتماعی

اهمیت راه از نظر اجتماعی	خیابان آزادی (مسیر رفت)	خیابان ملت (مسیر رفت)	خیابان انقلاب (مسیر رفت)	خیابان آزادی (مسیر برگشت)	خیابان ملت (مسیر برگشت)	خیابان انقلاب (مسیر برگشت)
خیابان آزادی (مسیر رفت)	۱					
خیابان ملت (مسیر رفت)		۱				
خیابان انقلاب (مسیر رفت)			۱			
خیابان آزادی (مسیر برگشت)				۱		
خیابان ملت (مسیر برگشت)					۱	
خیابان انقلاب (مسیر برگشت)						۱

۳-۳- معرفی نرم‌افزار Expert choice

نرم‌افزار Expert choice یک ابزار قوی برای تصمیم‌گیری چند معیاره بر اساس فرآیند تحلیل سلسه مراتبی است که اولین بار توسط توماس ال ساعتی (SAATY) یکی از پایه‌گذاران Expert choice در دانشگاه پنسیلوانیا مطرح شد. مراحل زیر در نرم‌افزار Expert choice انجام شده است.

- ساختن مدل سلسه مراتبی
- دادن قابلیت تصمیم‌گیری گروهی به مدل‌ها

- مقایسهٔ دو به دو معیارها و زیر معیارها برای تعیین اهمیت آن‌ها در تصمیم‌گیری
- سنتز و تلفیق برای تعیین بهترین گزینه‌ها
- انجام آنالیز حساسیت

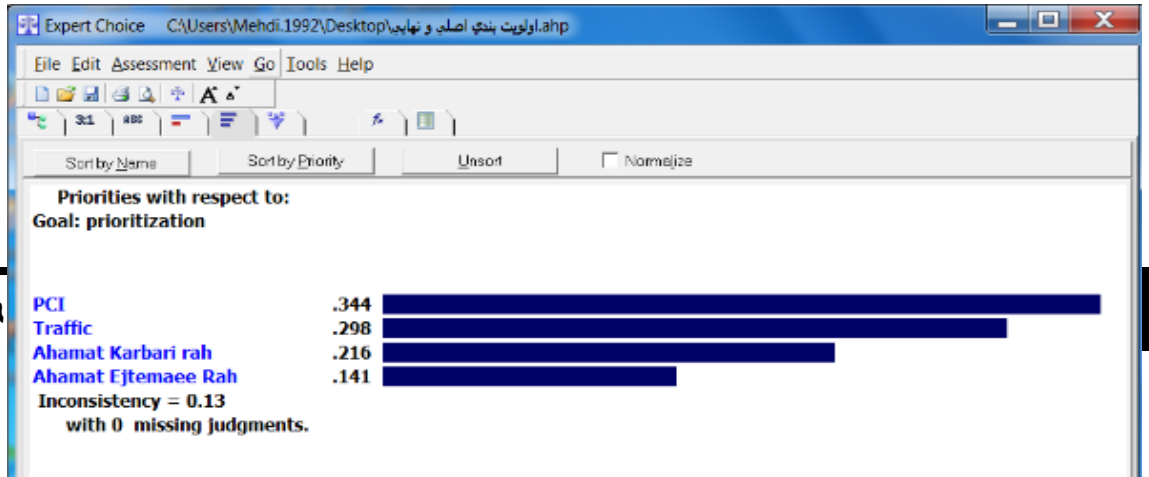
برای رسیدن به اهداف این تحقیق، روند ایجاد مدل در نرم‌افزار Expert choice انجام شده است و در ادامه در خصوص نتیجه‌های حاصل شده از نرم‌افزار Expert Choice به منظور اولویت‌بندی بعضی از خیابان‌های پر اهمیت و در اولویت بالاتر شهر ملایر اختصاص دارد، پرداخته شده است.

۴- نتایج و بحث

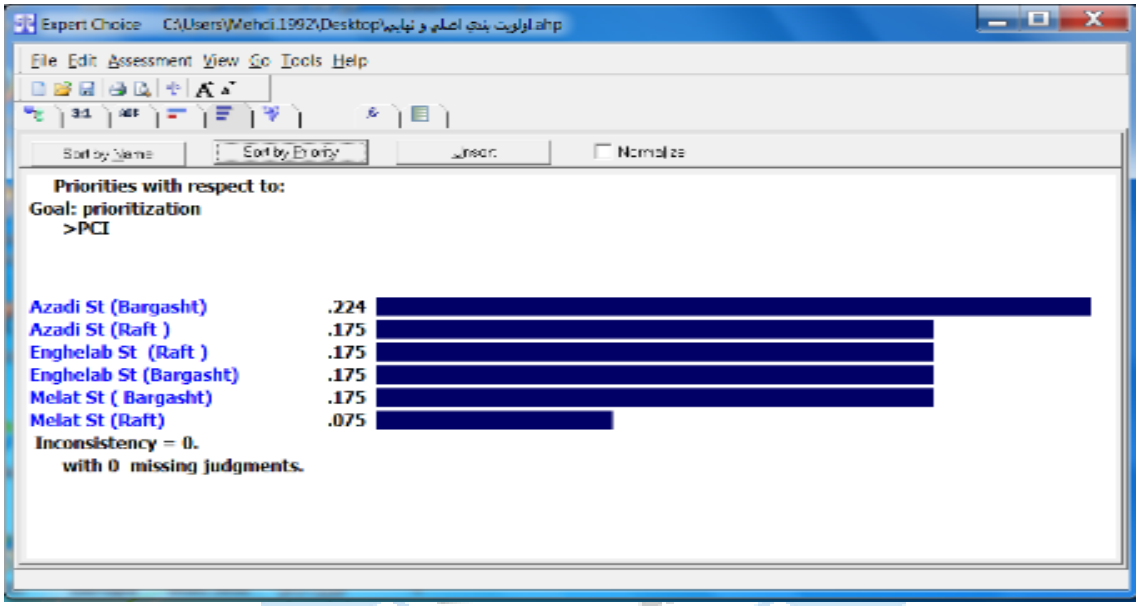
۴-۱- بررسی و تحلیل نتایج

در این بخش که به بحث و بررسی در خصوص نتیجه‌های حاصل شده از نرم‌افزار Expert Choice به منظور اولویت‌بندی است، پرداخته شده، از همین‌رو در ادامه به ارائه بحث و بررسی و نتایج حاصل از آنالیزهای حساسیت کارایی، دینامیک، گرادیانی، سر به سر و دو بعدی بر روی گرهٔ هدف، حساسیت گزینه‌ها نسبت به تمام معیارهای در نظر گرفته شده از جمله PCI، ترافیک، اهمیت کاربری و اهمیت اجتماعی راه پرداخته شده است.

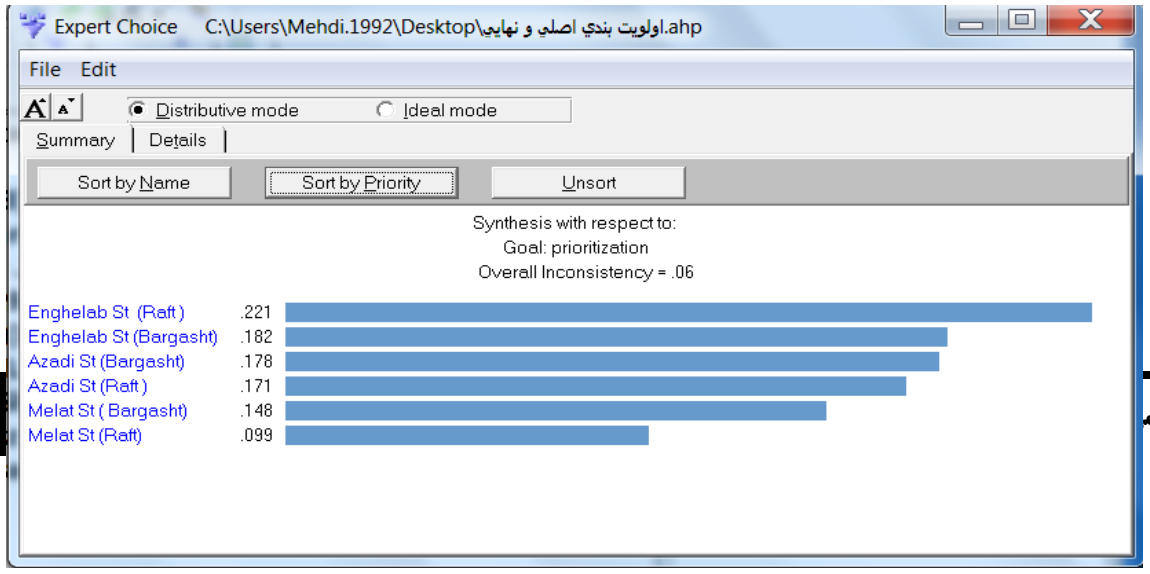
مطالعه موردی انجام شده حاکی از آنست که معیار شاخص وضعیت روسازی (PCI) مطابق شکل ۵ مهم‌ترین پارامتر تاثیرگذار بر انتخاب روش ترمیم و نگهداری راه هاست و سپس معیارهای حجم ترافیک، اهمیت کاربری راه و اهمیت اجتماعی راه به ترتیب دارای بیشترین اهمیت در تصمیم گیری‌ها هستند. بنابراین هیچ یک از عوامل یاد شده به تنهایی نمی‌توانند معیار مناسبی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها و انتخاب روش نگهداری باشند. یکی از مسائل مهم تصمیم سازی، چگونگی انتخاب کردن یک گزینه از بین گزینه‌های موجود است. حتی در صورتی‌که انتخاب کردن در میان نباشد ممکن است نیاز باشد دانست اولویت گزینه‌ها نسبت به یکدیگر چگونه است. در مطالعهٔ موردی این پژوهش مطابق شکل ۶ با وجود اینکه در بعضی از مسیرها خرابی بیشتر بود (PCI پایین‌تر بود) اما مطابق شکل ۷ برای تعمیر و نگهداری در اولویت قرار نگرفتند. زیرا با لحاظ کردن تأثیر همزمان معیارها به دلیل داشتن اهمیت کمتر در سایر معیارها نهایتاً در اولویت پایین‌تر قرار گرفتند. همان طور که در جدول ۶ مشاهده می شود، PCI مسیر خیابان ملت (میدان امامزاده عبدالله به میدان تعاون) ۵۲/۵ و PCI مسیر خیابان آزادی (میدان استقلال به میدان آزادگان) ۸۷ است. اما مطابق شکل ۷ که نشان دهنده تاثیر همزمان کلیه پارامترها بر اولویت بندی مسیرها می باشد، خیابان آزادی (میدان استقلال به میدان آزادگان) دارای وزن بالاتر و در اولویت بالاتری برای تعمیر و نگهداری قرار گرفت.



شکل ۵: وزن و اولویت‌بندی معیارها بر اساس مقایسات زوجی



شکل ۶: اولویت‌بندی گزینه ها بر اساس شاخص وضعیت روسازی PCI



شکل ۷: اولویت‌بندی نهایی گزینه ها

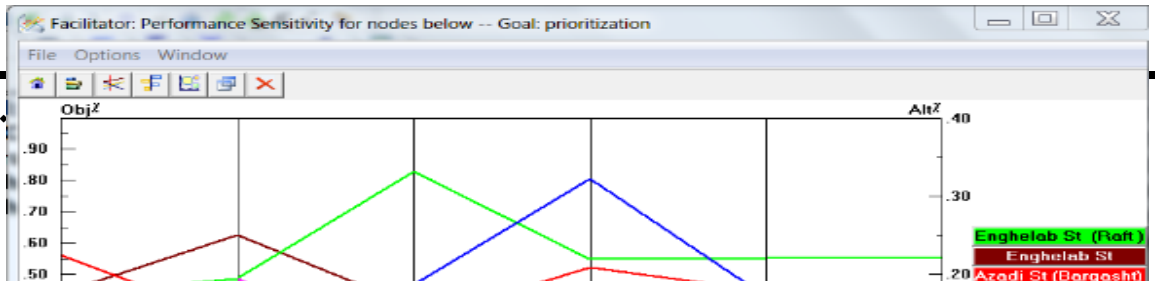
معیار PCI بر اساس نشریه شماره ۲۹۶ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور با عنوان " راهنمای بهسازی رویه های آسفالتی و شنی " انتخاب شده است که ملاک مناسبی برای ارزیابی شرایط روسازی می باشد. همچنین استفاده هم زمان از سایر روشهای ارزیابی روسازی باعث سوگیری و افزایش وزن بخش خرابی در تعیین اولویتها خواهد شد. در ضمن سایر معیارهای موثر در بخش تعمیر ونگهداری راه مانند ترافیک، اهمیت کاربری راه و اهمیت اجتماعی راه علاوه بر PCI در این تحقیق آورده شده است.

۴-۱-۱- تحلیل حساسیت کارایی

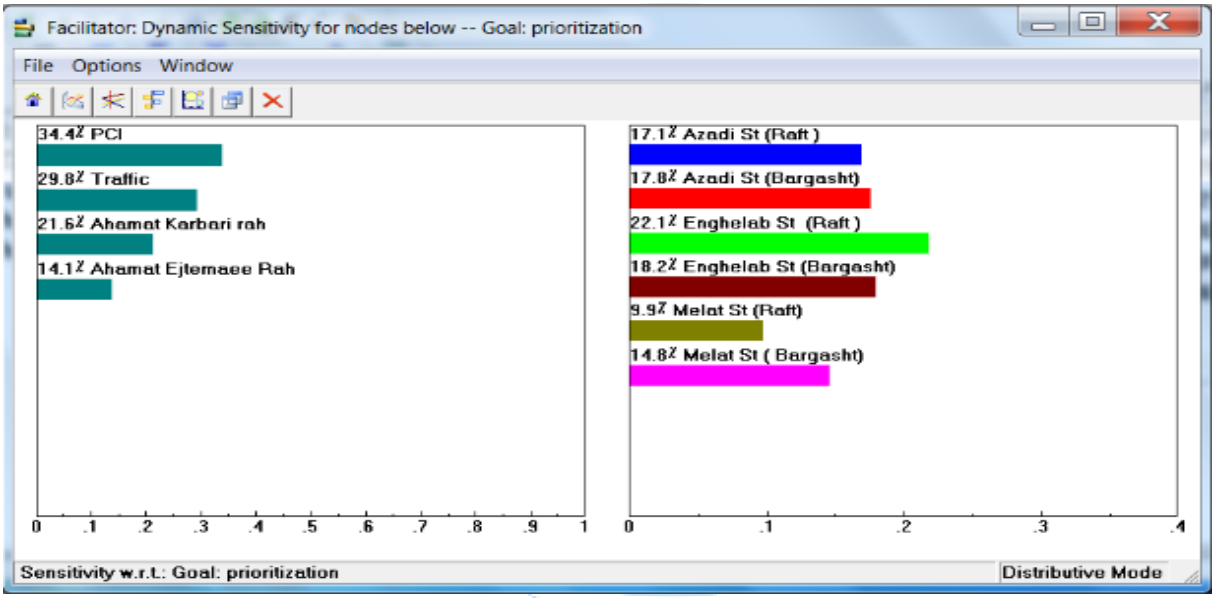
شکل ۸ نشان می‌دهد که هر کدام از گزینه‌ها با توجه به معیارهای مختلف چه اولویتی نسبت به یکدیگر دارند. با بررسی مسیر و نتیجهٔ نهایی هر کدام از گزینه‌ها روی اشکال، روشن است که با اتکا به یک معیار نمی‌توان تحلیل صحیحی از مقایسهٔ گزینه‌ها ارائه داد. این شکل نشان می‌دهد که چگونه گزینه‌ها با توجه به هر معیار و حالت کلی نسبت به هم اهمیت‌بندی شده است. همان‌طور که از شکل ۸ پیداست مسیر رفت و برگشت خیابان انقلاب در اولویت بالاتری نسبت به دیگر گزینه‌ها قرار دارند. با توجه به این موضوع مهمترین راه‌ها برای اولویت‌بندی و تعمیر خیابان انقلاب رفت، خیابان انقلاب برگشت، خیابان آزادی برگشت، خیابان آزادی رفت، خیابان ملت برگشت و مسیر رفت خیابان ملت است که درصد هرکدام در شکل مشخص است.

۴-۱-۲- تحلیل حساسیت دینامیک

شکل ۹ نتیجهٔ نهایی گزینه‌ها و معیارها را بر اساس تحلیل دینامیک نشان می‌دهد. در تحلیل حساسیت دینامیک می‌توان میزان اهمیت معیارها را تغیر داده و تأثیر آن بر اولویت‌بندی گزینه‌ها را بررسی کرد. سمت چپ معیارها و وزن هر معیار و سمت راست گزینه‌ها و وزن نهایی هر گزینه نشان داده شده است.



شکل ۸: تحلیل حساسیت کارایی متغیرها به تفکیک هر معیار و تحلیل کلی



شکل ۹: تحلیل حساسیت دینامیک

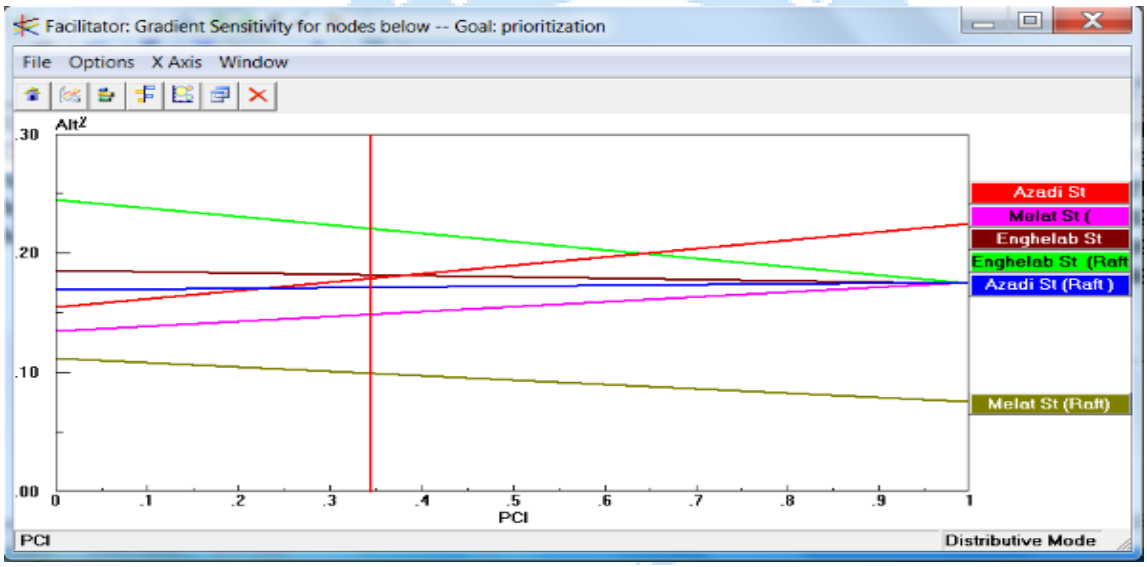
۴-۱-۳- تحلیل حساسیت شیبی

شکل های ۱۰ و ۱۱ ارجحیت گزینه‌ها را همزمان نسبت به یک معیار نشان می‌دهد. در تحلیل حساسیت شیبی می‌توان انتخاب کرد کدام گزینه روی محور X نمایش داده شود. خط عمودی قرمز رنگ نشان دهندهٔ اولویت و وزن معیار انتخاب شده است. شیب این شکل ها نشان دهندهٔ آن است که تا چه اندازه این معیار باعث افزایش یا کاهش اولویت نهایی گزینهٔ مورد نظر شده است. در نقاطی خطوط یکدیگر را قطع می‌کنند بیشترین حساسیت نسبت به تغییر معیارها وجود دارد و نشان دهندهٔ این است که در این بازه تغیر مقادیر معیار مورد نظر بیشترین تأثیر را بر وزن نهایی گزینه ها میگذارد. در شکل ۱۰ ارجحیت گزینه ها نسبت به PCI سنجیده شده است. بیشترین

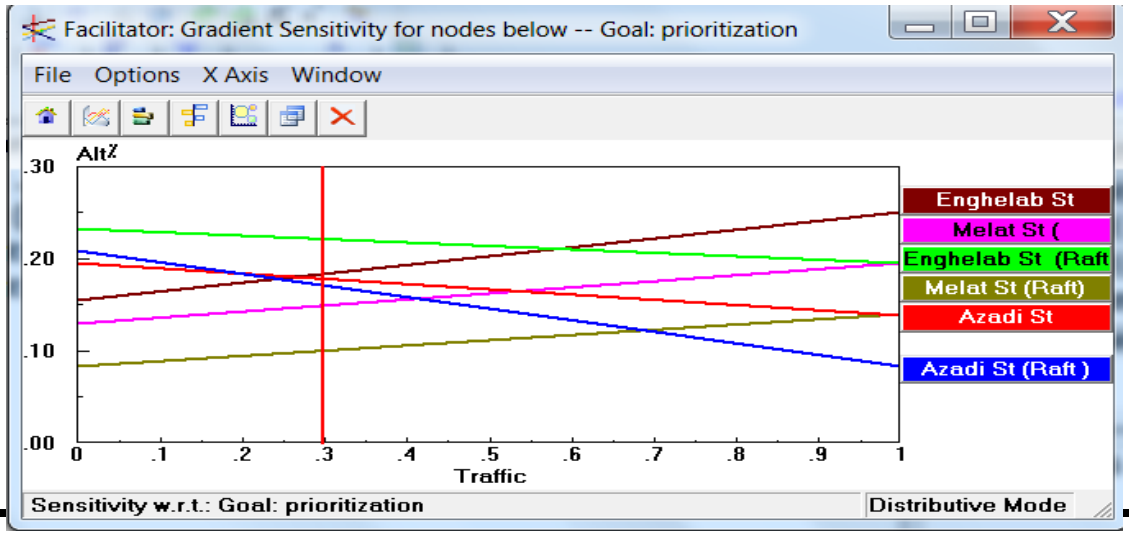
اولویت را به ترتیب خیابان آزادی برگشت، خیابان‌های انقلاب برگشت، انقلاب رفت، آزادی رفت و ملت برگشت و خیابان ملت رفت دارا هستند. PCI باعث افزایش اولویت نهایی خیابان‌های آزادی و ملت برگشت شده و باعث کاهش اولویت نهایی سایر گزینه‌ها شده است. در نقاط ۰/۲۳، ۰/۳۹و ۰/۶۶ روی شکل، بیشترین حساسیت نسبت به تغییر مقدار PCI وجود دارد. در شکل ۱۱ ارجحیت گزینه نسبت به حجم ترافیک سنجیده شده است. بیشترین اولویت را به ترتیب خیابان انقلاب برگشت و انقلاب رفت خیابان ملت برگشت، خیابان ملت رفت، خیابان آزادی برگشت خیابان آزادی رفت دارند. حجم ترافیک باعث کاهش اولویت نهایی گزینه‌های خیابان انقلاب رفت، خیابان آزادی رفت و برگشت شده اما اولویت نهایی سایر گزینه‌ها را افزایش داده است. در نقاط ۰/۲۵، ۰/۴و ۰/۵۵ و ۰/۶ و ۰/۷ روی شکل، بیشترین حساسیت نسبت به تغییر مقدار حجم ترافیک وجود دارد.

۴-۱-۴-تحلیل حساسیت سر به سر

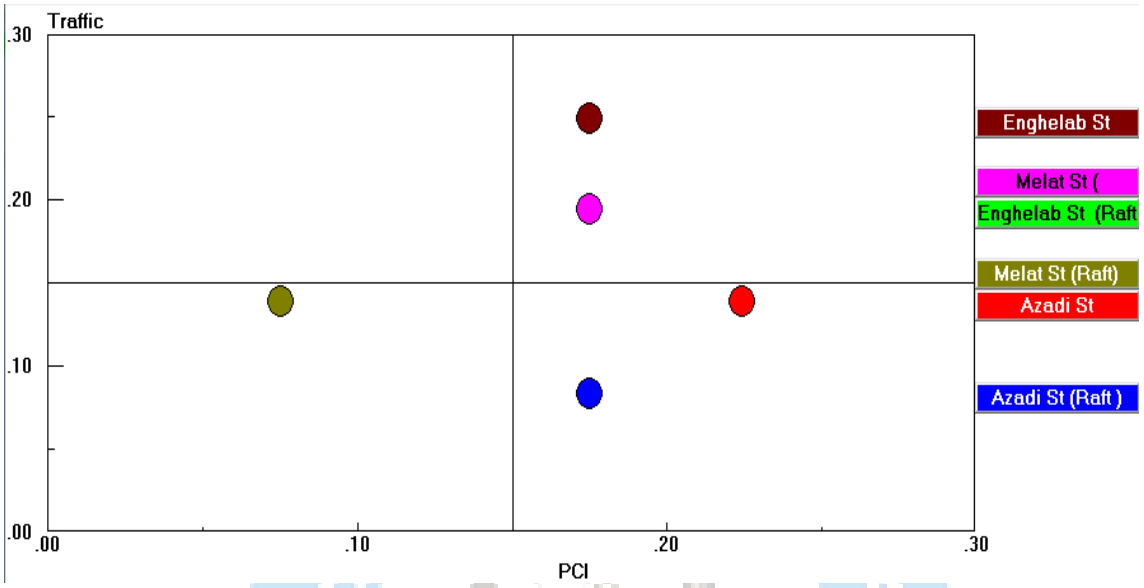
در شکل ۱۲ تحلیل حساسیت سر به سر یک گزینه در سمت چپ و یک گزینه در سمت راست وجود دارد. گزینهٔ سمت چپ همواره ثابت است. تحلیل حساسیت سر به سر دو خیابان آزادی رفت و ملت برگشت به عنوان نمونه بر اساس هر معیار باهم مقایسه شده اند و نتایج مطابق شکل ۱۲ نشان داده شده است. در شکل ۱۲ خیابان ملت برگشت از نظر ترافیک نسبت به خیابان آزادی رفت ارجحیت دارد ولی از نظر دو عامل اهمیت کاربری و اهمیت اجتماعی راه خیابان آزادی ارجحیت دارد و هر دو خیابان از نظر PCI دارای ارجحیت یکسان هستند. درکل خیابان آزادی رفت نسبت به خیابان ملت برگشت دارای ارجحیت است.



شکل ۱۰: تحلیل حساسیت شیبی بر حسب PCI



شکل ۱۱: تحلیل حساسیت شیبی بر حسب حجم ترافیک



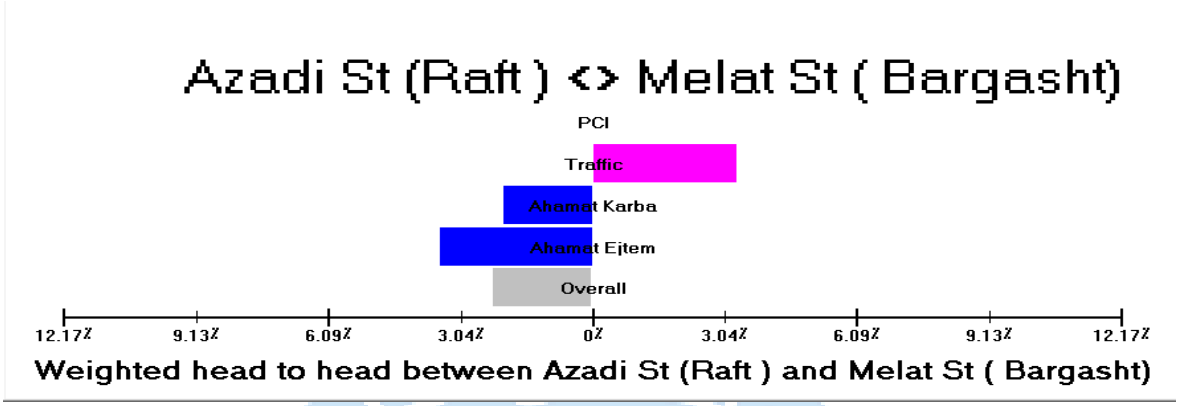
شکل ۱۲: تحلیل حساسیت سر به سر مسیر خیابان آزادی رفت و خیابان ملت برگشت

۴-۱-۵- تحلیل حساسیت دو بعدی

در تحلیل حساسیت دوبعدی، ارجحیت گزینه‌ها نسبت به دو معیار به صورت هم‌زمان نشان داده می شود. مطلوب‌ترین گزینه بالا سمت راست و بدترین گزینه پایین سمت چپ قرار دارد. به عنوان نمونه تحلیل حساسیت دو بعدی PCI-ترافیک در شکل ۱۳ ارائه شده است.

در شکل ۱۳ گزینه‌ها نسبت به دو معیار ترافیک و PCI با هم مقایسه شده اند که مطلوب‌ترین گزینه مطابق توضیحات خیابان انقلاب برگشت و بدترین گزینه خیابان ملت رفت است. در کشور ما انواع و اقسام ترکها، موجها و چاله ها در سطح آسفالت های درون و برون شهری نمایان است . یکی از معضلات سرنشینان وسایل نقلیه، عبور بر بستر ناهموار این معابر است . با پیشرفت تکنولوژی و توسعه صنایع در امر خودروسازی، آسایش و راحتی مسافر بیش از پیش مورد توجه طراحان قرار گرفت و این امر با یک بستر مناسب و هموار، امکان پذیر است .

در مدل‌های پیشین هر یک از این شاخص‌ها به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته بودند. در این پژوهش چهار معیار (شاخص ترافیک، شاخص PCI، شاخص اهمیت کاربری راه و شاخص اهمیت اجتماعی راه) مورد بررسی قرار گرفته و اثر هم‌زمان آن‌ها بر روی روسازی سنجیده شده است. برای بررسی اثر همزمان چهار معیار مختلف بر روی روسازی از روش چند معیاره استفاده شده که به کمک آن می‌توان داده‌ها را نرمال‌سازی و وزن‌دهی کرد. هر چند مدل ارائه شده ویژه مدیریت روسازی در سطح پروژه است، اما به دلیل انعطاف پذیری بسیار زیاد آن، و با در نظر گرفتن معیارها و گزینه‌های مناسب، درسطح شبکه راه‌ها نیز قابل استفاده است.



شکل ۱۳: تحلیل حساسیت دو بعدی PCI- ترافیک

با توجه به اینکه نهاد ها و ارگانهای دولتی و فنی و اجرایی کشور(در این تحقیق شهرداری ملایر)، ابتدا پروژه های خود را بر اساس متغیرهایی مانند مسائل فنی وتخصصی،اجتماعی، سیاسی و ... اولویت بندی کرده و سپس بر اساس اولویتها نسبت به برآورد آن اقدام و بودجه بندی می کنند، لذا تعیین اولویتها معمولا یک مرحله قبل از مسایل اقتصادی است. در این پژوهش نیز شهرداری پس از برآورد هزینه اجرای عملیات تعمیر و نگهداری در محورهای اولویت بندی شده مذکور و با توجه به میزان درآمد و تخصیص اعتبار به بخش تعمیر و نگهداری، اقدامات لازم را بعمل آورد.

۵- خلاصه و نتیجه گیری

در این پژوهش به عنوان یک مطالعه موردی در شهرستان ملایر مدلی ارائه شد، وقتی بودجه کمتر از حد مورد نیاز است باید با استفاده از بهترین اولویت‌بندی، گزینهٔ مناسب را برای انجام تعمیر برگزید. به منظور مدیریت بهینه و جامع روسازی راه‌های موجود سایر پارامترهای مهم مانند شاخص وضعیت روسازی، حجم ترافیک، اهمیت کاربری راه و اهمیت اجتماعی راه، مبنای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی گزینه‌های ترمیم و نگهداری قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه در مدل‌های پیشین هر یک از این معیارها به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته بودند. در این پژوهش چهار معیار مورد بررسی قرار گرفت و اثر هم‌زمان آن‌ها بر روی روسازی سنجیده شده است. برای بررسی اثر همزمان چهار معیار مختلف بر روی روسازی از روش چند معیاره استفاده شده که به کمک آن می‌توان داده‌ها را نرمال‌سازی و وزن‌دهی کرد. مهمترین نتایج این تحقیق عبارتند از:

۱- در این پژوهش مدلی ارائه شد که با استفاده از آن به منظور مدیریت بهینه و جامع روسازی راه‌های موجود سایر پارامترهای مهم مانند شاخص وضعیت روسازی، حجم ترافیک، اهمیت کاربری راه و اهمیت اجتماعی راه، مبنای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی گزینه‌های ترمیم و نگهداری قرار گیرند.

۲- مهمترین دستاورد این پژوهش ارائهٔ مدلی جدید با استفاده از خروجی نرم‌افزار Expert Choice در تصمیم‌گیری چند معیاره است که این کار به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عملی شده است.

۳- برخی از مسیرهایی که وضعیت بدتری از نظر PCI داشتند ، در اولویت تعمیر و نگهداری قرار نگرفتند، این نشان میدهد که در تصمیم گیری چندمعیار های دیگر مانند حجم ترافیک،و اهمیت اجتماعی ممکن است وزن بیشتری نسبت به خرابی روسازی داشته باشند.

۴- تحلیل حساسیت انجام شده در مقاله نشان داده است که اتکا به یک معیار واحد میتواند منجر به تصمیمات نادرستی شود. بنابراین، استفاده از روش های چند معیاره مانند AHP برای تخصیص منابع و اعتبار در پروژه های عمرانی پیشنهاد شده است.

۵- مطالعه موردی انجام شده حاکی از آنست که هیچ یک از عوامل یاد شده به تنهایی نمی‌توانند معیار مناسبی برای اولویت‌بندی گزینه ها و انتخاب روش نگهداری باشند.

۶- با استفاده از این مدل تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با تغییر در وزن معیارهای تصمیم‌گیری، و همچنین با آگاهی از دیدگاه‌های تمامی صاحب‌نظران به روش AHP گروهی، مناسب‌ترین و بهینه‌ترین راه حل ممکن را برای مدیریت بهتر راه‌ها انتخاب کنند.

البته لازم به ذکر است که استفاده از روش های مختلف دیگر مانند ANP،TOPSIS و .... می تواند در تثبیت تصمیم گیری و معرفی اولویت ها با اطمینان بیشتر نقش مهمی داشته باشد، ولی در این مقاله نویسندگان از روش AHP استفاده کرده اند و سایر روش ها به عنوان پیشنهاد در مطالعات آینده معرفی می گردد.

۶-مراجع

[1] Nadimi, N., Shahbazi, H., gheibi, A., zare mirhosseini, A. (2019). 'Presenting a model to determine the method and priority of maintenance for flexible pavements by Fuzzy Inference System- Case study: Fars County', Quarterly Journal of Transportation Engineering, 10(3), pp. 459-481.

[2] Javadian, S., aminnejad, B., Lork, A. Determining the critical status of bridges for allocating the repair and maintenance using hybrid fuzzy multi-criteria decision-making methods (Case study: Tehran urban overpass bridges). Journal of Structural and Construction Engineering, 2022; 9(10): 152-174. doi: 10.22065/jsce.2022.315155.2642

[3] Behbahani, H., Nadimi, N., Khaleghi, M. Introducing a New Method for the Pavements' Maintenance and Rehabilitation Planning. Amirkabir Journal of Civil Engineering, 2021; 53(7): 2801-2820. doi: 10.22060/ceej.2020.17506.6585

[4] Zolfegharifar, S. Y., Shanbedi, N. Investigating and Prioritizing Factors Affecting the Useful Service Life of Suburban Road Pavements with a Fuzzy Hierarchical Approach (Case Study: Shiraz- Ghaemieh Road). Road, 2023; 31(117): 107-118. doi: 10.22034/road.2023.375216.2126

[5] Haas, R., Hudson, W. and Zaniewski, J. (1994) Modern Pavement Management. vol 1, Krieger Publishing Company, Malabar, FL: Krieger Publishing Company.

[6] Fakhri, M., Alaleh, M., Edrisi, A. Pavement Maintenance and Rehabilitation Optimization Model by Considering User Costs for Iran. Quarterly Journal of Transportation Engineering, 2016; 7(3): 523-540.

[7] Saud A. Sultan, Zhongyin Guo, Evaluating life cycle costs of perpetual pavements in China using operational pavement management system, International Journal of Transportation Science and Technology, Volume 5, Issue 2, 2016, Pages 103-109, ISSN 2046-0430, https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2016.09.007.

[8] Koks, E. E., Rozenberg, J., Zorn, C., Tariverdi, M., Vousdoukas, M., Fraser, S. A., & Hallegatte, S. (2019). A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets. Nature communications, 10(1), 1-11.

[9] Silva, R. J. Simoes, F. & Ferreira, A. (2022), Mechanical-Empirical Pavement Design Guide Applied to Portuguese Pavement Structures, Appl. Sci. 2022, 12(11), 5656. doi.org/10.3390/app12115656

[10] Shi, H., & Zeng, J. (2016). "Real-time prediction of remaining useful life and preventive opportunistic maintenance strategy for multi-component systems considering stochastic dependence". Computers & Industrial Engineering, 93, 192-204.

[11] Hosseini Firouz, M., & Ghadimi, N. (2016). "Optimal preventive maintenance policy for electric power distribution systems based on the fuzzy AHP methods", Complexity. 21(6), 70-88.

[12] Chootinan, Piya et al., (2006). A multi-year pavement maintenance program using a stochastic simulation-based genetic algorithm approach, Transportation research Part A 40 725-743.

[13] Gauri, R. Mahajan, B. Radhika & Krishna Prapoorna Biligiri. (2022), A critical review of vehicle-pavement interaction mechanism in evaluating flexible pavement performance characteristics, Road Materials and Pavement Design, Vol. 23-Issue 4

[14] Jafari, M., Janzadeh, H., Divandari, H.(2018), Prioritization of Road Pavement Repairing and Maintenance Options with Budget Constraint Approach (Case Study: Kelarabad-Abbasabad Road). Road, 26(95): 1-11.

[15] Ouma, Yashon, Opudo, J. ,Nyambenya, S. – 2015, Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS for Road Pavement Maintenance Prioritization: Methodological Exposition and Case Study , 2015, doi:10.1155/2015/140189, advances in Civil Engineering.

[16] Nautiyal A, Sharma S. Scientific approach using AHP to prioritize low volume rural roads for pavement maintenance. Journal of Quality in Maintenance Engineering] 2021; Available from: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JQME-12-2019-0111/full/html.

[17] Tun, N., Kyaing, K., & Aye, M. T. T. (2024). An Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach to Road Maintenance Prioritization: A Case Study in Shan State, Myanmar. Innovation in Engineering, 1(2), 60–72. https://doi.org/10.58712/ie.v1i2.9.

[18] Mohajeri B.G., Pourrostam, R. , Sharifloo M., Majrouhi S. J., Safa, E. (2020) Reviewing Causes of Delay From the Risk Management Perspective in Execution Stage in Road Construction Projects (Case Study: Garmsar-Simin Dasht Road). Civil Infrastructure Researches; 5(2): 69-82. doi: 10.22091/cer.2020.5274.1196

[19] Saaty, T, L., Vargas L. and Cahyono St, 2022, The Analytic Hierarchy Process. Springer ISBN: 978-1-4614-3597-6.