University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Prioritizing forest road maintenance using spatial multi-criteria decision making and the Unsurfaced Road Condition Index

Ehsan Abdi[1*] | Seyed Hossein Mosavi[2] Seyed Ata ollah Hosseini[3]

1. Corresponding Author, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: abdie@ut.ac.ir
2. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: h.mosavi71@ut.ac.ir
3. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: at.hosseini@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 15 February 2025
Revised: 21 April 2026
Accepted: 01 May 2026
Published online: 10 June 2026

Keywords:
Analytic Hierarchy Process (AHP),
Delphi method,
Maintenance planning,
Preventive maintenance,
Road quality assessment.

ABSTRACT

Introduction: Prioritizing maintenance needs in forest road maintenance operations is one of the most challenging aspects of road management. On the one hand, available budgets are often insufficient relative to maintenance costs, and on the other hand, the unpredictable conditions of forest environments create a high risk of new road problems occurring and disrupting planned schedules. This study aimed to prioritize forest road maintenance operations and compare the efficiency of two common approaches—Spatial Multi-Criteria Decision Making and the Unsurfaced Road Condition Index—for prioritizing maintenance needs.

Method: The study area was the second district of the Kheyrud Educational and Research Forest, where 11,720 m of the main road network was divided into 50 segments based on the spatial locations of culverts. Field data for both methods were collected simultaneously. In the multi-criteria approach, the effective criteria were identified using the Delphi method and then weighted through the Analytic Hierarchy Process (AHP). The criteria were integrated in GIS to produce a road maintenance suitability map. In the URCI method, the type and density of seven major road problems were measured in each segment, and the condition index was calculated after completing the required computations. The Wilcoxon signed-rank test was used for the pairwise statistical comparison of the two methods, while Cohen's Kappa coefficient was employed to evaluate the level of agreement between the results of the two approaches.

Results: After completing three rounds of the Delphi process, expert opinions converged and the criteria for prioritizing road maintenance were identified. The results of the multi-criteria process showed that drainage had the highest weight in prioritizing maintenance operations, accounting for approximately 30% of the total weight. Only 22% of the road segments were classified in the high and very high maintenance-priority classes, indicating that most of the network was in relatively acceptable condition. The URCI results revealed a high surfacing quality, with 94% of the segments classified as excellent or very good. The Wilcoxon test indicated a statistically significant difference between the overall results of the two methods. Although descriptive results showed agreement between the two methods in 34% of the segments, this agreement could be attributed to chance. Cohen's Kappa analysis further demonstrated that the agreement between the segment classifications of the two methods was weak and statistically insignificant.

Conclusion: Overall, the URCI method primarily evaluates existing and observable road problems, whereas the multi-criteria approach, depending on the selected criteria, emphasizes the potential and likelihood of future deterioration. Consequently, the influence of previous maintenance operations is less evident in the multi-criteria approach, which may explain the discrepancy between the results of the two methods. The URCI method can therefore serve as an accurate basis for assessing current road conditions and supporting short-term planning and on-demand maintenance strategies, while the Spatial Multi-Criteria process is more suitable for preventative maintenance strategies, optimal allocation of limited resources, and the consideration of multiple technical and environmental objectives.

Cite this article: Abdi, E., Musavi, S. H., Hosseini, S.A.O. (2026). Prioritizing forest road maintenance using spatial multi-criteria decision making and the Unsurfaced Road Condition Index. *Journal of Forest and Wood Products*, 79 (1), 109-120. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2026.411262.1390

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2026.411262.1390

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب
سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir
دانشگاه تهران
شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

اولویت‌بندی عملیات تعمیر جاده‌های جنگلی با استفاده از ارزیابی چند معیاری مکانی و نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته

احسان عبدی[1*] | سید حسین موسوی[2] | سیدعطاالله حسینی[3]

۱. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: abdie@ut.ac.ir
۲. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: h.mosavi71@ut.ac.ir
۳. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: at.hosseini@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰

کلیدواژه:
ارزیابی کیفیت جاده، برنامه‌ریزی تعمیر، تحلیل سلسله‌مراتبی، تعمیر پیشگیرانه، روش دلفی.

چکیده

مقدمه: اولویت‌بندی نیازها در عملیات تعمیر جاده‌های جنگلی یکی از چالش برانگیزترین قسمت‌های مدیریت جاده است. زیرا از طرفی میزان بودجه با هزینه‌ها تناسب ندارد و از طرف دیگر در شرایط غیرقابل پیش‌بینی جنگل، ریسک رخ دادن ایرادهای جدید و به هم خوردن نظم برنامه‌ریزی بسیار بالاست. پژوهش حاضر با هدف اولویت‌بندی عملیات تعمیر جاده‌های جنگلی و مقایسهٔ کارایی دو روش رایج ارزیابی چندمعیاری مکانی و نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته در اولویت‌بندی نیازهای تعمیر انجام شد.

روش پژوهش: منطقهٔ مورد مطالعه بخش نمخانهٔ جنگل آموزشی–پژوهشی خیرود بود که ۱۱۷۲۰ متر شبکه جادهٔ اصلی آن با استفاده از موقعیت مکانی آبروها به ۵۰ قطعه تقسیم و داده‌های میدانی برای هر دو روش به‌طور همزمان برداشت شد. در ارزیابی چندمعیاری، معیارهای مؤثر با استفاده از روش دلفی تعیین و سپس با فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی وزن‌دهی و در محیط GIS تلفیق و نقشه شایستگی تعمیر جاده ایجاد شد. در روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته، نوع و تراکم هفت نوع ایراد اصلی جاده در هر قطعه اندازه‌گیری و بعد از انجام تحلیل‌ها، نمایه وضعیت محاسبه شد. برای مقایسهٔ آماری نتایج دو روش از آزمون رتبهٔ علامت‌دار ویلکاکسون و به‌منظور بررسی میزان توافق نتایج دو روش، ضریب کاپای کوهن استفاده شد.

یافته‌ها: پس از انجام سه مرحله فرآیند دلفی، نظرهای کارشناسان نزدیک و معیارها برای اولویت‌بندی تعمیر جاده مشخص شدند. نتایج تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که معیار زهکشی بیشترین وزن را در اولویت‌بندی عملیات تعمیر داشته و حدود ۳۰ درصد از وزن کل را به خود اختصاص داد. با توجه به نقشهٔ شایستگی تنها ۲۲ درصد قطعه‌ها در کلاسه‌های اولویت زیاد و خیلی زیاد برای تعمیر قرار گرفته، و بخش عمدهٔ شبکه در وضعیت نسبتاً مناسب است. نتایج روش نمایهٔ وضعیت بیانگر کیفیت بالای روسازی بود، به‌طوری‌که ۹۴ درصد قطعه‌ها در وضعیت عالی و خیلی خوب قرار داشتند. نتایج آزمون ویلکاکسون نشان داد که بین نتایج کلی دو روش اختلاف معنی‌دار وجود دارد. هر چند نتایج توصیفی نشان داد که در ۳۴ درصد قطعه‌ها بین نتایج دو روش تطابق وجود دارد ولی این تطابق‌ها می‌تواند تصادفی باشد. نتایج بررسی تطابق دو روش با ضریب کاپای کوهن نشان داد که تطابق بین نتایج قطعه‌ها در دو روش ضعیف بوده و از نظر آماری معنی‌دار نیست.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته ایرادهای عینی موجود را برداشت می‌کند، در صورتی که روش ارزیابی چند معیاری با توجه به نوع معیارها، بیشتر پتانسیل و احتمال بروز تخریب را لحاظ می‌کند که این امر می‌تواند دلیل تفاوت نتایج این دو باشد. روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته می‌تواند به‌عنوان مبنایی دقیق برای ارزیابی شرایط موجود و برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت و راهبرد تعمیر مورد نیاز به‌کار رود، در حالی‌که ارزیابی چندمعیاری مکانی ابزاری مناسب برای راهبرد تعمیر پیشگیرانه، تخصیص بهینهٔ منابع محدود و در نظر گرفتن اهداف چندگانه فنی و محیط‌زیستی باشد.

استناد: عبدی؛ احسان، موسوی؛ سید حسین، حسینی؛ سیدعطاالله (۱۴۰۵). اولویت‌بندی عملیات تعمیر جاده‌های جنگلی با استفاده از ارزیابی چند معیاری مکانی و نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۹ (۱)، ۱۲۰–۱۰۹. DOI: https://10.22059/jfwp.2026.411262.1390

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
https://doi.org/10.22059/jfwp.2026.411262.1390

۱. مقدمه

دسترسی، اولین ضرورت برای هر نوع استفاده از منابع است و شبکهٔ جاده‌های جنگلی این نیاز را در جنگل رفع می‌کنند [۱]. جاده‌های جنگلی از اصلی‌ترین ارکان مدیریت و زیرساخت‌های طرح‌های مدیریت واحدهای جنگلی محسوب می‌شوند و بدون وجود آنها جنگلداری و مدیریت پایدار عملی نخواهد بود [۲]. در واقع جاده‌ها به‌عنوان تأسیسات زیربنایی نقش اساسی در سازماندهی و حفاظت از جنگل و بهره‌برداری از محصولات و خدمات بر عهده دارند [۳] که در صورت عدم توجه و رسیدگی به آنها، تحقق این اهداف دور از دسترس خواهد بود. از آنجا که جاده‌های جنگلی در محیطی غیرقابل کنترل و تحت تأثیر شرایط متغیر اقلیمی (از جمله بارندگی و تغییرات دما) قرار دارند و همچنین مصالح محلی مورد استفاده فاقد استانداردهای فنی کافی هستند، احتمال استهلاک و تخریب آنها بیشتر خواهد بود [۲]. بنابراین علاوه بر هزینه‌های ساخت جاده‌ها، تعمیر آنها نیز از پرهزینه‌ترین فعالیت‌ها در بخش جنگلداری محسوب می‌گردد [۴]. ساخت جاده‌های جنگلی باعث تغییر و به هم خوردن تعادل دامنه‌ها می‌گردد. این عدم تعادل نه تنها باعث افزایش نرخ ناپایداری‌ها و فرسایش در دامنه‌های جنگل می‌شود، بلکه باعث زوال و تخریب جاده‌ها نیز می‌شود. بنابراین برای حفظ استاندارد و سرویس‌دهی جاده باید عملیات منظم تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی و اجرا شود. تعمیر و نگهداری را می‌توان مجموعه فعالیت‌هایی برای کاهش زوال و به تعویق انداختن بروز ایرادها، تشخیص به هنگام ایرادها و در پایان برطرف کردن آنها دانست تا علاوه بر حفاظت از سرمایه، جاده‌ها نیز بتوانند خدمات خود را به‌صورت پایدار ارائه دهند. عملیات معمول تعمیر و نگهداری اغلب باعث صرفه‌جویی هزینه‌ها در بلندمدت و نیز کاهش خطر زوال جاده و افزایش سرسام‌آور هزینه‌ها یا غیرقابل عبور شدن جاده می‌شود. هدف اصلی از تعمیر و نگهداری، حفاظت از سازهٔ جاده، عبور ایمن و اقتصادی، کاهش تأثیر منفی بر جریان آب، زیستگاه ماهی‌ها، حیات وحش و دیگر منابع است که امکان دارد تحت تأثیر جاده قرار بگیرند. از طرفی، تعمیر نکردن جاده و نگهداری نکردن از آن باعث افزایش هزینهٔ تعمیر ماشین‌ها، کاهش سرعت و ایمنی، افزایش تولید رسوب و وقوع حرکت‌های توده‌ای و در نهایت غیرقابل استفاده شدن جاده می‌شود [۱]، پدیده‌هایی که در جاده‌های جنگلی ایران به فراوانی قابل مشاهده‌اند.

در عمل، پس از تشخیص موارد تعمیر مورد نیاز، برنامه‌ریزی برای اجرای عملیات‌های تعمیر باید انجام پذیرد [۵]. برنامه‌ریزی تعمیر، نوع عملیات‌هایی که باید انجام شوند، زمان‌بندی هر یک از آنها، منابع لازم برای عملیات و روش‌های مورد استفاده را دربرمی‌گیرد. در برنامه‌ریزی، اولویت‌ها باید مشخص باشد و بالاترین اولویت به قسمت‌هایی تخصیص یابد که سرویس‌دهی جاده در کمترین مقدار است و یا وضعیت جاده نامناسب‌تر است [۱]. اولویت‌بندی نیازها در عملیات تعمیر یکی از چالش‌برانگیزترین قسمت‌های برنامه‌ریزی است [۵]، زیرا از طرفی، میزان بودجه با هزینه‌ها تناسب ندارد و از طرف دیگر در شرایط غیرقابل پیش‌بینی جنگل، ریسک رخ دادن ایرادهای جدید و به هم خوردن برنامه‌ریزی بسیار بالاست [۱]. از آنجا که هرساله باید مبالغ زیادی صرف تعمیر شبکهٔ جادهٔ جنگلی شود، تعیین اولویت و تخصیص اعتبار با توجه به محدودیت منابع مالی یکی از مسائل مهم در تعمیر جاده است [۱]. بنابراین به‌منظور استفادهٔ بهینه از بودجه و اعتبارات ضروری است اولویت‌بندی نیازها انجام و مطابق با آنها اقدام‌های لازم انجام گیرند. وجه دیگر مسأله که حتی در کشورهای پیشرفته نیز مشاهده می‌شود، عدم وجود بودجهٔ کافی برای کل موارد اصلاحی لازم و در نتیجه نیاز به اولویت‌بندی و استفادهٔ بهینه از بودجهٔ موجود است [۵]. حتی در صورت عدم محدودیت بودجه، اولویت‌بندی نیازهای تعمیر جاده در مهندسی جنگل امری ضروری است، چراکه ممکن است در اثر رخدادهای پیش‌بینی نشده همچون سیل و توفان ایراداتی به‌وجود آید که توازن بودجهٔ مورد نیاز را به هم بزنند [۱] و با توان محدود اجرایی مجری همخوانی نداشته باشد. اولویت‌بندی نیازهای تعمیر پیشینه‌ای طولانی در دنیا دارد [۳] و تاکنون روش‌هایی مختلف برای اولویت‌بندی نیازهای تعمیر جاده‌ها پیشنهاد شده که در سنتی‌ترین حالت، اولویت‌ها در حین بازرسی چشمی و تنها به کمک تجربهٔ کارشناس [۱] یا ارزیابی‌های کیفی [۶] تعیین می‌شوند و در حالت‌های علمی‌تر از تکنیک‌ها و روش‌هایی مانند رتبه‌بندی ریسک [۱]، تکنیک‌های ابتکاری [۳]، تحلیل سلسله‌مراتبی [۶]، ارزیابی چند معیاری مکانی [۵، ۷] و دستور العمل‌های دقیق و مشروح فنی [۶، ۸] برای اولویت‌بندی استفاده می‌شود. پیشروترین و توسعه‌یافته‌ترین روش‌ها نیز متکی بر ارزیابی‌های خودکار وضعیت جاده‌ها با استفاده از تجهیزات ویژهٔ جمع‌آوری داده‌ها مانند پهپادها [۹]، برنامه‌های تلفن‌های هوشمند، تصاویر ماهواره‌ای و لایدار، دوربین‌های روی

داشبورد ماشین[۱] و وسایل نقلیهٔ نقشه‌برداری پیشرفته برای انجام سریع ارزیابی‌های عینی وضعیت جاده‌ها است [۶]. از منظر اهداف تعمیر نیز در گذشته هدف تنها حفظ شبکهٔ جاده و خدمات‌دهی آن بوده اما به مرور اهداف بوم‌شناختی، محیط‌زیستی و اجتماعی نیز به آن افزوده شده است [۵]. برای مقایسه، تاکنون در ایران هیچگونه دستورالعملی در خصوص تعمیر و اولویت‌بندی نیازها توسط سازمان متولی منتشر نشده و اندک اطلاعات در دسترس هم منحصر به پژوهش‌های علمی دانشگاهی می‌باشد. از آن جمله می‌توان به استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی در اولویت‌بندی قطعه‌های جاده برای تعمیر [۱۰]، مدل‌سازی زوال روسازی با استفاده از شبکهٔ عصبی [۱۱] و استفاده از پهپاد برای پایش وضعیت روسازی جاده جنگلی و تعیین استراتژی مناسب عملیات تعمیر [۱۲] اشاره کرد. این در حالی است که در بسیاری کشورها، راهنما و دستورالعمل‌های ملی جاده‌های شن‌ریزی و جاده‌های کم‌ترافیک توسط بخش اجرا از سالیان دور در دسترس است [۶].

با توجه به مطالب ذکر شده، در پژوهش حاضر اولویت‌بندی نیازهای تعمیر قسمت‌های مختلف یک شبکهٔ جاده ثابت با دو روش تحلیل مکانی و فنی یعنی روش‌های ارزیابی چندمعیاری مکانی (MCDM[۲]) و نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته (URCI[۳]) انجام و مقایسه شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقهٔ مورد پژوهش

جنگل آموزشی-پژوهشی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران در ۷ کیلومتری شرق نوشهر در حوزهٔ آبخیز ۴۵ جنگل‌های شمال واقع شده است. این منطقه در عرض ′۲۷ °۳۶ تا ′۴۰ °۳۶ عرض شمالی و ′۳۲ °۵۱ تا ′۴۳ °۵۱ طول شرقی، از شمال به جلگه مازندران و از جنوب به روستای کلیک محدود است و از ارتفاع حدود ۴۰ تا ۲۵۰۰ متری از سطح دریا گسترش دارد. مساحت کل منطقه حدود ۸۸۰۰ هکتار است که رودخانهٔ خیرود، زهکش اصلی این حوزه به‌شمار می‌آید [۲]. این پژوهش در بخش دوم یعنی نم‌خانه، انجام شد که حدود ۵۹ درصد وسعت آن شیب زیر ۳۵ درصد دارد. خاک این منطقه عمدتاً رسی و سیلتی و در طبقه‌بندی یونیفاید CH، CL، MH و ML می‌باشد که برای زیرسازی جاده‌ها مشکلات زیادی داشته که اغلب با تثبیت با آهک مرتفع شده است. متوسط بارندگی حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر و حداکثر بارندگی مربوط به مهر ماه و ۲۵۴ میلی‌متر می‌باشد [۲] که پتانسیل تخریب سازهٔ جاده و زهکش‌های با قطر کم را دارد. برای این بررسی تنها جاده‌های اصلی جنگلی (درجه ۲) با طول ۱۱۷۲۰ متر در نظر گرفته شدند تا وضعیت روسازی یکسان باشد. ساخت این جاده‌ها در اوایل دههٔ ۶۰ شمسی انجام گرفته و مخلوط مورد استفاده شن رودخانه‌ای بوده است. آخرین عملیات تعمیر جدی مربوط به سال ۱۳۹۳ بود که عملیات روکش کردن سطح در جاده‌های بخش با مخلوط کوهی با نسبت باربری کالیفرنیای (CBR) ۱۲، درصد شکستگی ۹۴ درصد، و سایش لس آنجلس ۲۹ درصد انجام شد [۱۳]. تعداد ماشین‌های سبک و سنگین ورودی به طرح در سال ۱۳۹۶ به‌ترتیب ۳۲۱۰ و ۱۳۷ و در سال ۱۳۹۷ به‌ترتیب ۲۷۶۰ و ۳۹ دستگاه توسط نگهبانی طرح ثبت شده که البته مشخص نیست از این تعداد دقیقا چند دستگاه وارد بخش دوم (نم‌خانه) هم شده‌اند. به‌دلیل حضور داشتن کارگران دایمی در طرح، تاکنون تعمیر و نگهداری منظم انجام شده است.

۲-۲. روش پژوهش

برای اجرای پژوهش و اولویت‌بندی نیازهای تعمیر از دو روش ارزیابی چندمعیاری مکانی [۵] و نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته [۸] استفاده شد. قابل ذکر است که این نمایه با شاخص UPCI [۱۲] که قبلاً در پژوهش‌های دیگر در ایران استفاده شده است، متفاوت بوده و تنها منحصر به وضعیت روسازی جاده نیست و جوی کناری را نیز به‌عنوان زهکش طولی در نظر می‌گیرد. برای قطعه‌بندی جاده، از موقعیت آبروها (لوله‌های عرضی زیر سطح جاده) استفاده شد [۱، ۳]. یعنی هر قطعه، حدفاصل بین دو آبرو

[۱] DashCam

[۲] Multi criteria decision making

[۳] Unsurfaced road condition index

متوالی در نظر گرفته شد. در کل با توجه به موقعیت آبروها شبکهٔ جاده به ۵۰ قطعه تقسیم شد و برداشت‌های میدانی برای هر دو روش مطابق با فرم‌های آماربرداری انجام و اطلاعات لازم برای هر روش در طبیعت برداشت شد. آماربرداری کامل شبکهٔ جاده هشت روز کاری به طول انجامید که در آن اندازه‌گیری‌های مربوط به هر دو روش به‌صورت همزمان در هر قطعه انجام گرفت. تیم آماربرداری این پژوهش شامل سه نفر یعنی یک نفر مهندس جنگل و دو نفر کارگر جنگل همراه بود.

۲-۲-۱. ارزیابی چندمعیاری مکانی

چارچوب ارزیابی چندمعیاری مکانی مورد استفاده شامل تلفیق تکنیک‌های دلفی، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، ارزیابی چندمعیاری و GIS بود [۱۴]. این چارچوب قبلاً نیز در طراحی و ارزیابی شبکهٔ جادهٔ جنگلی آزموده شده و نتایج قابل‌قبولی ارائه داده است [۱۵]. به‌طور کلی برای انتخاب معیارهای تأثیرگذار در اولویت‌بندی نیازهای تعمیر جاده‌های جنگلی از روش دلفی، به‌منظور وزن‌دهی معیارهای انتخاب شده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و برای تلفیق لایه‌های مکانی معیارها و وزن‌های نظیر آنها و رسیدن به نقشهٔ شایستگی اولویت‌بندی از ارزیابی چندمعیاری استفاده شد. ابتدا به‌منظور انتخاب معیارهای تأثیرگذار در اولویت‌بندی نیازهای تعمیر از روش دلفی استفاده شد. با استفاده از سه مرحلهٔ متوالی ارسال پرسشنامه به متخصصان (۵ نفر استاد مهندسی جنگل) و تجزیه‌وتحلیل پاسخ‌ها، سپس ارسال مجدد پرسشنامهٔ پردازش شده، انتخاب معیارها انجام شد. پس از مشخص شدن معیارها، به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز آنها (مانند شیب جوی، شیب طولی و عرضی جاده، شیب ترانشه‌ها و ...) برداشت میدانی انجام شد. در مرحلهٔ بعد با توجه به اینکه معیارهای انتخابی دارای اهمیت و تأثیر متفاوتی در اولویت‌بندی نیازهای تعمیر جاده بودند، وزن‌دهی آنها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام گرفت. لازم به ذکر است که کارشناسان این مرحله همان کارشناسان روند دلفی بودند. سپس کلاسه‌های داخلی معیارها در دامنهٔ ۹-۱ استاندارد شدند [۱۵]. به این ترتیب که مطلوب‌ترین کلاسه‌ها برای عبور جاده که مستعد تخریب کمتر هم بودند در صورت وجود، کوچکترین عدد (عدد ۱) و نامطلوب‌ترین کلاسه‌های معیارها بزرگترین عدد و کلاسه‌های میانی اعداد حد واسط دریافت کردند. سپس معیارها و وزن‌های مربوطه با روش ترکیب خطی وزنی تلفیق و نقشهٔ شایستگی تعمیر جاده شکل گرفت [۱۵]. در روند ترکیب خطی وزنی، ابتدا نقشهٔ هر معیار در وزن خود (وزن حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی) ضرب و سپس نقشه‌های معیارهای وزن‌دار شده با یکدیگر جمع شدند. این روند با استفاده از تابع Raster calculator و در نرم‌افزار ArcGIS نسخهٔ ۱۰/۸ انجام شد. لازم به ذکر است که در نقشهٔ شایستگی، سلول‌هایی که بیشترین پتانسیل تخریب را داشتند دارای بالاترین ارزش بوده بنابراین اولویت انجام عملیات تعمیر در آنها نیز بیشترین بود.

۲-۲-۲. نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته

در روش دوم یعنی روش تعیین نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته که به‌دلیل دقت و سابقهٔ طولانی در بسیاری از کشورها مورد استفاده است [۶]، مطابق با دستورالعمل هفت ایراد اصلی جاده در قطعه‌ها بررسی و در صورت وجود اندازه‌گیری و ثبت شدند. این ایرادها شامل ضعف عملکرد الگوی عرضی، ضعف عملکرد جوی کناری، موج‌دار شدن سطح جاده، وجود گردوغبار، چاله، رد چرخ و مصالح شل و سست بودند [۸]. ارزیابی عملکرد الگوی عرضی و جوی به‌صورت کیفی، موج‌دار شدن با اندازه‌گیری عمق یا ارتفاع موج، چاله‌ها با اندازه‌گیری عمق و قطر چاله، ردچرخ با اندازه‌گیری عمق شیار، مصالح شل و سست با اندازه‌گیری ارتفاع مصالح انباشته شده و گرد و غبار با اندازه‌گیری طول غبار پشت ماشین در حال حرکت با سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت اندازه‌گیری می‌شود. قابل ذکر است که گرد و غبار به‌دلیل وجود رویهٔ درشت دانه شنی در منطقه مشاهده نشد. از فرم آماربرداری ویژه این روش استفاده و نوع و تراکم هر ایراد در هر قطعه برداشت شد. محاسبه بعد از برداشت و در چهار گام به‌ترتیب شامل: محاسبهٔ تراکم برای هر نوع ایراد در هر قطعه، استخراج ارزش معکوس از منحنی‌های ارزش معکوس هر ایراد، تعیین ارزش معکوس کل و عدد q و در پایان استخراج نمایهٔ وضعیت جاده با توجه به ارزش معکوس کل از روی منحنی نمایهٔ وضعیت انجام می‌شود که نشانگر وضعیت کیفی جاده خواهد بود (جدول ۱).

جدول ۱. کلاسه‌های وضعیت کیفی نظیر اعداد مختلف نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته [۸]

نمایهٔ وضعیت	۱۰-۰	۲۵-۱۰	۴۰-۲۵	۵۵-۴۰	۷۰-۵۵	۸۵-۷۰	۱۰۰-۸۵
کیفیت جاده	از بین رفته	خیلی ضعیف	ضعیف	نسبتاً خوب	خوب	خیلی خوب	عالی

۲-۲-۳. روش آماری

از آنجا که نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته برای منطقه چهار کلاسه داشت، برای ایجاد قابلیت مقایسهٔ مستقیم، نقشهٔ شایستگی هم به چهار کلاسه تقسیم شد [۶]. بنابراین جهت مقایسهٔ آماری نتایج دو روش، مقیاس رتبه‌ای ۴-۱ انتخاب و در نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته قطعه‌ها با بهترین وضعیت رتبهٔ ۱ و بقیه با توجه به کیفیت به‌ترتیب رتبه‌های ۲، ۳ و ۴ گرفتند. در مورد روش ارزیابی چندمعیاری قطعه‌های با کمترین شایستگی برای دریافت عملیات تعمیر (وضعیت مناسب‌تر) رتبهٔ ۱ و بقیهٔ کلاسه‌ها به‌ترتیب رتبه‌های بعدی را دریافت کردند. برای مقایسهٔ نتایج دو روش ارزیابی از آزمون رتبهٔ علامت‌دار ویلکاکسون[۱] استفاده شد. همچنین به‌منظور بررسی میزان توافق نتایج دو روش، ضریب کاپای کوهن بررسی شد. کاپای کوهن توافق بین دو ارزیاب یا روش ارزیابی در مورد یک متغیر را بررسی می‌کند و در محاسبات اثر تصادفی بودن تطابق را لحاظ می‌کند. تمامی تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۶ انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. ارزیابی چندمعیاری

در بسیاری از مطالعات انجام گرفته در زمینهٔ ارزیابی چندمعیاری، پژوهشگران معیارها را مشخص و کارشناسان معیارهای از پیش تعیین شده را وزن‌دهی می‌کنند [۵]. در این مطالعه سعی شد این نقص برطرف و به‌جای ارائهٔ چارچوب بسته‌ای از معیارها، به کارشناسان فرصت اعلام نظر، همفکری و تعیین معیارهای مورد نظر در چارچوب باز دلفی داده شد [۱۵]. در مرحلهٔ اول دلفی کارشناسان در مجموع ۱۰ دسته معیار برای اولویت‌بندی تعمیر جاده را پیشنهاد دادند. از این بین، سه دسته معیار شامل: الف. جنس مواد زیرسازی و روسازی، ب. تعداد لایه‌های زیرسازی و روسازی و ج. میزان ترافیک جاده، وضعیت آب و هوا، فصل مورد استفاده، نوع و وزن ماشین‌ها، تعداد روزهای مرطوب و بارانی و سابقهٔ عملیات تعمیر و نگهداری که برای کل جاده‌های بخش نمخانه یکسان بودند، حذف شدند و در نهایت پس از جمع‌بندی، هفت معیار شامل: زهکش‌ها (طولی و عرضی)، شیب طولی جاده، پایداری دامنه، الگوی سطح جاده، جهت جغرافیایی دامنه، شیب دامنه و قوس‌های با شعاع کم، انتخاب و وارد مرحلهٔ دوم دلفی شدند. در مرحلهٔ دوم دلفی، کارشناسان با ارائهٔ درصد اهمیت برای هریک از معیارها (مجموع اهمیت‌ها برابر ۱۰۰)، هفت معیار پیشنهادی در مرحلی اول را به‌ترتیب اولویت‌بندی کردند. در مرحلهٔ سوم میانگین اهمیت هر معیار محاسبه و برای کاهش تفاوت نظرها پرسشنامهٔ مرحلهٔ سوم با توجه به درصدهای پیشنهادی هر متخصص و میانگین محاسبه شده برای هر معیار ارسال شد تا هر کارشناس با ملاحظهٔ مقادیر میانگین در صورت تمایل اولویت‌بندی جدیدی را انجام دهند. پس از این مرحله، نظرات به هم نزدیک و واریانس نظرات نسبت به مرحلهٔ قبل حدود ۷۰ درصد کاهش یافت. پژوهش‌های پیشین نیز نشان داده‌اند که با انجام چند مرحلهٔ دلفی واریانس نظرات بسیار کمتر و قضاوت‌ها به یکدیگر نزدیک خواهند شد و اغلب در مرحلهٔ سوم تا پنجم نتایج مطلوب حاصل می‌شود [۱۵]. در پژوهش حاضر نیز مرحلهٔ سوم، نتایجی با واریانس مناسب در اختیار قرار داد. اولویت نهایی معیارها در روش دلفی به‌ترتیب اهمیت شامل: زهکشی، پایداری دامنه، شیب طولی جاده، الگوی سطح جاده، شیب دامنه، جهت جغرافیایی و قوس‌های با شعاع کم شد (جدول ۲).

جدول ۲. درصد اهمیت پیشنهادی توسط متخصصان پس از مشاهده مقادیر میانگین و تجدیدنظر (مرحله سوم دلفی)

معیار	متخصص ۱	متخصص ۲	متخصص ۳	متخصص ۴	متخصص ۵	میانگین	واریانس
زهکشی	۲۸	۳۵	۲۵	۲۵	۲۸	۲۸/۲	۷/۱۶
پایداری دامنه	۱۷	۲۰	۲۳	۲۳	۱۹	۱۸/۸	۲/۹
شیب طولی جاده	۱۸	۱۶	۱۵	۱۵	۱۵	۱۶/۸	۷/۴
الگوی سطح جاده	۱۷	۱۳	۱۰	۱۰	۱۱	۱۲/۲	۷/۸
شیب دامنه	۸	۱۰	۱۲	۱۲	۱۳	۱۱/۶	۳/۷
جهت جغرافیایی	۶	۴	۷	۷	۶	۶/۶	۸/۴
قوس های با شعاع کم	۶	۲	۸	۸	۸	۵/۸	۳/۶

[۱] Wilcoxon signed rank test

در مرحلهٔ بعد با محاسبهٔ درصد و درجهٔ اهمیت هر معیار، معیارهای با اثر کم حذف شدند [۱۵] که این معیارها شامل جهت جغرافیایی دامنه و قوس‌های با شعاع کم بودند. وزن پنج معیار باقی‌مانده که برای وزن‌دهی وارد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شده بودند، در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. وزن تعلق گرفته به هر معیار توسط کارشناسان بر اساس روش AHP

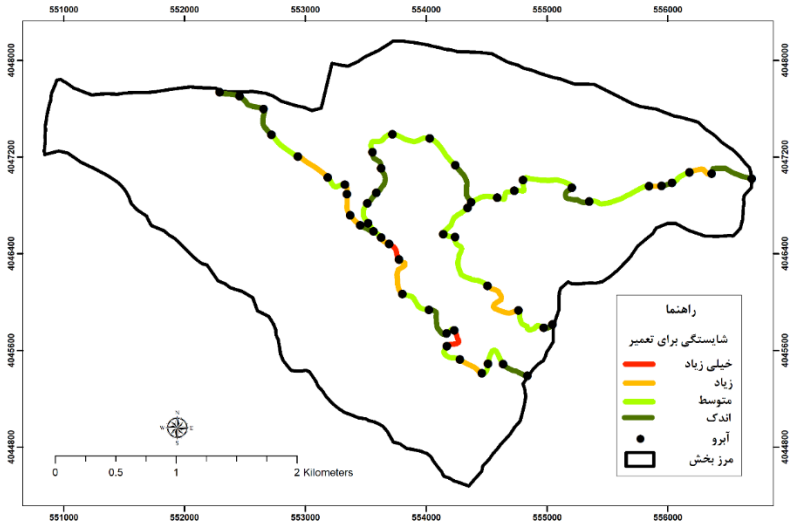
معیار	زیرمعیار (وزن)	وزن
زهکشی	جوی کناری (۰/۱۸۴) آبرو (۰/۱۲۳)	۰/۳۰۷
پایداری دامنه	–	۰/۲۵۲
شیب طولی جاده	–	۰/۲۱۶
شیب عرضی دامنه	–	۰/۱۵۰
الگوی سطحی جاده	–	۰/۰۷۵
نرخ ناسازگاری		۰/۰۵

همان‌طور که از نتایج پیداست، معیار زهکشی (با دو زیرمعیار) دارای بالاترین وزن یعنی حدود ۰/۳۰ است یعنی به‌تنهایی حدود ۳۰ درصد وزن کل (مجموع وزن‌ها ۱ می‌شود) را به‌خود اختصاص داده است. در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که زهکشی وزنی معادل ۰/۳۱ داشته و دارای بیشترین وزن در بین ۹ معیار مؤثر بر تخریب جاده‌های غیرآسفالته بود [۶]. بالاتر بودن وزن سیستم زهکشی مطابق با نظریه‌های کلاسیک جاده‌سازی است که مهمترین عامل در موفقیت طراحی، ساخت و تعمیر جاده‌های جنگلی را سیستم زهکشی می‌داند [۱]. از مزایای تحلیل سلسله‌مراتبی در وزن‌دهی معیارها برای اهداف طراحی، ارزیابی و تعمیر جاده‌ها، در منابع به سیستماتیک و استاندارد بودن روش و عینی بودن خروجی اشاره شده است [۵، ۶]. باید در نظر داشت که داشتن ابزاری برای صحت‌سنجی قضاوت‌ها یعنی نرخ ناسازگاری در این روش نیز از قابلیت‌های کاربردی آن است [۱۵]. در پژوهشی دیگر در ایران که تنها با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی اولویت‌بندی قطعات جاده برای عملیات تعمیر انجام شد؛ از بین چهار دسته معیار اقتصادی (نسبت ارزش خالص فعلی به هزینه)، میزان ترافیک (تعداد و بار وارده)، ویژگی‌های طبیعی منطقه (ارتفاع، شیب، جهت و تاج‌پوشش) و کیفیت جاده (نوع مصالح، ضخامت روسازی، پایداری ترانشه و عملکرد جوی کناری)، معیار اقتصادی بیشترین وزن (۰/۴۶۰) و کیفیت جاده کمترین وزن (۰/۱۷۴) را دریافت کردند [۱۰]. لازم به ذکر است که در پژوهش ذکر شده در قسمت معیار کیفیت جاده، زهکش‌های عرضی به‌عنوان مهمترین قسمت سیستم زهکشی در نظر گرفته نشده‌اند. البته از آنجا که در مطالعهٔ حاضر تنها معیارهای فنی و مرتبط با جاده در نظر گرفته شده‌اند، مقایسهٔ مستقیم نتایج دو مطالعه مقدور نمی‌باشد.

تلفیق معیارها و وزن‌های نظیر در پژوهش حاضر در چارچوب ارزیابی چندمعیاری انجام شد که مزایای فراوانی در تلفیق معیارهای کمی و کیفی دارد [۱۵]. از آنجا که در فرآیند اولویت‌بندی تعمیر، معیارهای مختلف کمی و کیفی مختلفی دخیل هستند، ارزیابی چند معیاری می‌تواند راه‌حل مفیدی برای در نظر گرفتن طیف مناسبی از معیارها [۱۵] و نیز بهینه کردن نتایج با توجه به اهداف چندگانه باشد [۵]. روش‌های ارزیابی چند معیاری و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان دو زمینهٔ مطالعاتی می‌توانند در این چارچوب از قابلیت‌های یکدیگر بهره‌مند [۱۵] و چهارچوبی پرقدرت و انعطاف‌پذیر در اختیار قرار دهند، زیرا از یک‌سو GIS نقش مهمی را در تحلیل اطلاعات مکانی داشته و از سوی دیگر ارزیابی چند معیاری از فنون و روش‌هایی برای نشان دادن اولویت‌های تصمیم‌گیران و ترکیب آنها بر پایهٔ GIS در اختیار قرار می‌دهد و در تبیین دامنهٔ وسیعی از موقعیت‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۶]. نقشهٔ شایستگی کلاسه‌بندی شده قطعه‌های مختلف برای دریافت عملیات تعمیر در شکل ۱ نشان داده شده است.

در این شکل جادهٔ مورد نظر در چهار کلاسهٔ شایستگی نیاز خیلی زیاد، زیاد، متوسط و اندک به‌ترتیب با ۳، ۱۹، ۴۶ و ۳۲ درصد فراوانی و مجموع ۲۲ درصد در دو کلاسهٔ نیاز خیلی زیاد و زیاد طبقه‌بندی شده است. البته در این روش در مقایسه با روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته اجزای بیشتری از جاده بررسی شده‌اند و علاوه بر جوی، آبرو و سطح جاده (الگوی عرضی)، وضعیت

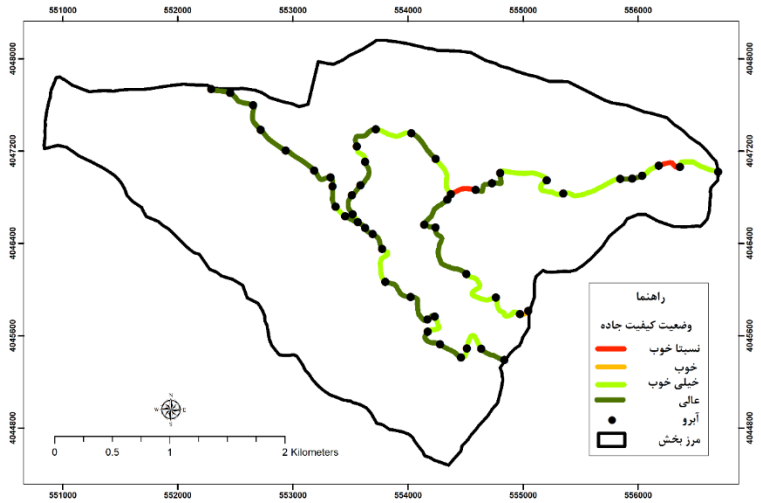
شیب و پایداری دامنه هم در نظر گرفته شده که در نتیجهٔ نهایی بی تأثیر نبوده است. درصد بالایی از جاده (حدود۸۰ درصد) در وضعیت مناسب و نیاز به تعمیر متوسط و اندک قرار دارد. علت وضعیت کلی مناسب جاده می‌تواند به‌دلیل کارا بودن سیستم زهکشی و بدون گرفتگی قابل توجه و آبروهای سالم و با اندازهٔ مناسب، دامنهٔ پایدار، شیب طولی جادهٔ مناسب و رعایت سایر استانداردها در حین طراحی و ساخت جاده و به‌ویژه اجرای عملیات تعمیر و نگهداری دوره‌ای منظم و مستمر باشد.



شکل ۱. نقشهٔ شایستگی دریافت عملیات تعمیر قطعه‌های مختلف با روش‌های ارزیابی چندمعیاری مکانی

۳-۲. تعیین نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته

با توجه به نتایج، کلاسه‌های تخریب شده، خیلی ضعیف و ضعیف در شبکهٔ جادهٔ نمخانه مشاهده نشد و در کل وضعیت کیفی قطعه‌ها مناسب و حدود ۶۱، ۳۳، ۲ و ۴ درصد قطعه‌ها به‌ترتیب وضعیت عالی، خیلی خوب، خوب و نسبتاً خوب داشتند. وضعیت‌های عالی و خیلی خوب، ۹۴ درصد فراوانی کل را شامل می‌شدند که بیانگر کیفیت بسیار مناسب جاده‌ها می‌باشد. نتایج وضعیت کیفی قطعه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. وضعیت کیفیت قطعه‌های جاده با روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته

در همین راستا Musiime و همکاران (۲۰۲۵)، روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته را یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده در دنیا می‌دانند که هر چند زمان‌بر هستند، اما دقیق و دارای نتایج ملموس‌اند [۶]. در ایران تاکنون از شاخص‌های دیگر همچون UPCI [۱۲] و PCI و FRPCI [۱۱، ۱۷] برای بررسی وضعیت روسازی جاده‌های جنگلی استفاده شده است که به‌دلیل تفاوت معیارهای بررسی، نحوهٔ محاسبه و کلاسه‌بندی نهایی جاده قابلیت مقایسهٔ مستقیم نتایج وجود ندارد، ولی به‌نظر می‌رسد که روند محاسبهٔ شاخص‌های ذکر شده سریع‌تر و آموزش دادن آنها ساده‌تر می‌باشد.

۳-۳. مقایسهٔ نتایج دو روش

نتایج توصیفی نشان داد که تنها در ۳۴ درصد قطعه‌ها بین نتایج دو روش تطابق وجود دارد (جدول ۴) ولی از آنجا که این تطابق‌ها می‌تواند تصادفی باشد، برای کسب نتایج دقیق، تطابق با ضریب کاپای کوهن بررسی شد. نتایج ضریب کاپای کوهن نشان داد که تطابق بین نتایج قطعه‌ها در دو روش ضعیف بوده و معنی‌دار نیست ($P<۰/۰۵$، k=۰/۰۰۳) و بنابراین دو روش در تشخیص اولویت در هر قطعه با یکدیگر تطابق خوبی ندارند.

جدول ٤. جدول تطابق روش‌های ارزیابی چند معیاری مکانی و نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته

		تعداد				
		نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته (رتبه)				
		نسبتاً خوب (۴)	خوب (۳)	خیلی خوب (۲)	عالی (۱)	کل
ارزیابی چندمعیاری (رتبه)	خیلی زیاد (۴)	۰	۰	۱	۱	۲
	زیاد (۳)	۱	۰	۳	۶	۱۰
	متوسط (۲)	۱	۰	۸	۱۴	۲۳
	اندک (۱)	۰	۱	۵	۹	۱۵
	کل	۲	۱	۱۷	۳۰	۵۰

همچنین نتایج آزمون رتبهٔ علامت‌دار ویلکاکسون نشان داد که بین نتایج کلی دو روش اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($P<۰/۰۵$)، بنابراین به‌جز تطابق نتایج قطعه‌ها، نتایج کل شبکه نیز با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند. در پژوهشی در کشور اوگاندا، نتایج اولویت‌بندی حاصل از ارزیابی چشمی با یک روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته که با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی توسعه یافته بود، مقایسه شدند [۶]. این محققان گزارش کردند که به‌دلیل اینکه هر دو سیستم دارای پنج وضعیت کیفی بودند، مقایسهٔ مستقیم امکان‌پذیر بود و نتایج مشاهده‌های میدانی نشان داد که روش توسعه‌یافته همخوانی خوبی با روش ارزیابی چشمی دارد [۶]. در پژوهش حاضر نیز برای ایجاد قابلیت مقایسهٔ مستقیم نقشهٔ ارزیابی چندمعیاری مکانی متناسب با نتایج روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته به چهار کلاسه تقسیم شد. هر چند در پژوهش Musiime و همکاران (۲۰۲۵) از روشی آماری برای تطابق نتایج استفاده نشد، اما این پژوهشگران پیشنهاد کردند که در پژوهش‌های آینده از آمار و به‌طور خاص از آزمون t جفتی برای مقایسهٔ نتایج استفاده شود [۶]. اما از آنجا که نتایج روش‌های ارزیابی جاده اغلب کیفی هستند بنابراین استفاده از آزمون t جفتی گزینهٔ مناسبی نخواهد بود و به‌همین دلیل در پژوهش حاضر برای تحلیل از آزمون رتبهٔ علامت‌دار ویلکاکسون و ضریب کاپای کوهن استفاده شد و برخلاف نتایج توصیفی Musiime و همکاران (۲۰۲۵)، در نهایت اختلاف معنی‌دار آماری و عدم تطابق بین نتایج دو روش مورد استفاده در مطالعهٔ حاضر تأیید شد. به‌نظر می‌رسد که در روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته نگرانی‌های مربوط به تکرارپذیری اجرا به‌عنوان یک عامل مهم و تأثیرگذار در مهندسی [۶]، نسبت به روش ارزیابی چندمعیاری کمتر است. به‌ویژه اینکه در روش ارزیابی چند معیاری انتخاب معیارها و کلاسه‌بندی داخلی معیارها می‌تواند بین متخصصان مختلف تغییرپذیری و تفاوت داشته باشد [۱۵]، ولی روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته چارچوبی بسته و مشخص در اختیار قرار می‌دهد. از طرفی، روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته منحصر به روسازی و جوی کناری بوده و تنها به هفت ایراد مرتبط با آنها توجه می‌شود، ولی با توجه به معیارهای تعریف شده، روش ارزیابی چند معیاری توانایی در نظر گرفتن اجزای فراتر از جاده مانند ترانشه‌ها و مسألهٔ

پایداری دامنه را نیز دارد [۱] و چارچوبی از پیش بسته نیست. به‌طور کلی روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته ایرادهای عینی موجود را برداشت می‌کند، در صورتی که روش ارزیابی چند معیاری با توجه به نوع معیارها، پتانسیل و احتمال بروز تخریب را لحاظ می‌کند و تأثیر عملیات‌های تعمیر قبلی در آن کم‌رنگ‌تر خواهد بود که می‌تواند دلیل تفاوت نتایج این دو باشد. از آنجا که Musiime و همکاران (۲۰۲۵)، روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته را زمان‌بر اما دقیق گزارش کرده‌اند [۶]، بنابراین به‌نظر می‌رسد می‌توان این روش را در مورد ایرادهای رخ داده به‌عنوان مبنا قرار داد. از طرفی Pellegrini و همکاران (۲۰۱۳) ارزیابی چندمعیاری را زمانی که اهداف چندگانه و متفاوت باشند، چارچوبی مناسب برای اولویت‌بندی نیازهای تعمیر می‌دانند [۵]. شاید بتوان یکی دیگر از دلایل اختلاف را وضعیت مناسب جادهٔ مورد بررسی و تنوع پایین تخریب‌های رخ داده دانست (کلاسه‌های تخریب شده، خیلی ضعیف و ضعیف در جاده مشاهده نشد) که ممکن است با محدود کردن دامنهٔ ارزش‌های نقشهٔ شایستگی بر قابلیت روش ارزیابی چند معیاری تاثیر منفی گذاشته باشد. البته قابل پیش‌بینی نیست که اگر تعداد کلاسه‌ها بیشتر می‌شد آیا میزان تطابق باز هم کمتر می‌شد یا افزایش می‌یافت که نیاز به بررسی در پژوهشی جداگانه در منطقه‌ای با تنوع بیشتر وضعیت جاده می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف اولویت‌بندی نیازهای تعمیر جاده‌های جنگلی با به‌کارگیری دو رویکرد متفاوت، یعنی ارزیابی چندمعیاری مکانی و روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته، نشان داد که هر یک از این روش‌ها ابعاد متمایزی از مسئلهٔ تعمیر جاده را پوشش می‌دهند. نتایج ارزیابی چندمعیاری مکانی بیانگر آن بود که معیار زهکشی به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر اولویت تعمیر شناخته شد و در مجموع بخش عمده‌ای از شبکهٔ جاده در کلاسه‌های نیاز متوسط تا اندک به تعمیر قرار گرفت که نشان‌دهندهٔ کارایی نسبی طراحی اولیه و اجرای منظم عملیات تعمیر است. در مقابل، نتایج روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته کیفیت مناسب روسازی قطعه‌ها را نشان داد و حاکی از آن بود که اغلب قطعه‌ها در وضعیت خوب تا عالی قرار دارند. مقایسهٔ آماری نتایج دو روش نشان داد که بین آنها توافق معنی‌داری وجود ندارد و اختلاف آماری معنی‌داری بین نتایج دو روش مشاهده می‌شود. این اختلاف را می‌توان ناشی از تفاوت ماهیت دو رویکرد دانست؛ به‌طوری‌که روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته عمدتاً بر وضعیت عینی و ایرادهای موجود جاده تکیه دارد، در حالی‌که ارزیابی چندمعیاری مکانی بیشتر بر پتانسیل تخریب و عوامل زمینه‌ای مؤثر بر بروز آسیب تمرکز می‌کند. بنابراین هر روش به جنبهٔ متفاوتی از مسئلهٔ تعمیر جاده می‌پردازد: یکی وضعیت فعلی روسازی را توصیف می‌کند (مناسب راهبرد تعمیر مورد نیاز) و دیگری ریسک و اولویت محتمل آینده (مناسب راهبرد تعمیر پیشگیرانه) را پیش‌بینی می‌نماید. روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته می‌تواند به‌عنوان مبنایی دقیق برای ارزیابی شرایط موجود و برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت به‌کار رود، در حالی‌که ارزیابی چندمعیاری مکانی ابزاری مناسب برای برنامه‌ریزی راهبردی، تخصیص بهینهٔ منابع محدود و در نظر گرفتن اهداف چندگانه فنی و محیط‌زیستی است. براساس نتایج، استفاده از روش ارزیابی چندمعیاری در مواردی که اهداف چندگانه وجود دارد پیشنهاد می‌شود و در خصوص تک هدف حداقل کردن تخریب جاده، استفاده از روش نمایهٔ وضعیت جاده‌های غیرآسفالته مطلوب‌تر خواهد بود. با توجه به محدود بودن دامنهٔ تخریب در منطقهٔ مورد مطالعه و تمرکز پژوهش بر یک شبکهٔ جاده خاص، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده این مقایسه در شبکه‌هایی با شرایط متفاوت مدیریتی و با سطوح تخریب متنوع تکرار شود. همچنین توسعهٔ دستورالعمل‌های بومی برای ارزیابی و اولویت‌بندی تعمیر جاده‌های جنگلی در کشور، با بهره‌گیری از نتایج پژوهش‌ها، می‌تواند گامی مؤثر در جهت مدیریت پایدار و اقتصادی شبکه جاده‌های جنگلی باشد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید آنها است.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حمایت مالی

حمایت از این پژوهش از طرف دانشگاه تهران، دانشکدهٔ منابع طبیعی در قالب پژوهانهٔ پایان‌نامهٔ دانشجویی انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، نگارش، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله.

نویسنده دوم: دانشجو: اندازه‌گیری‌های میدانی، گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج.

نویسنده سوم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش و مطالعه مقاله.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

References

[1] Abdi, E., & Majnounian, B. (2018). Forest Road Maintenance. *University of Tehran Press*. 327 p.

[2] Majnounian, B. & Etter, H. (1992). Management plan revision for the district of Patom. *Iranian Journal of Natural Resources*, Special Issue, 104 p.

[3] Coulter, E.D., Sessions, J. & Wing, M.G. (2006). Scheduling forest road maintenance using the analytic hierarchy process and heuristics. *Silva Fennica*, 40(1): 143-160.

[4] Akay, A. E. (2006). Minimizing total costs of forest roads with computer-aided design model. *Sadhana*, 31(5): 621-633.

[5] Pellegrini, M. & Grigolato, S. (2013). Spatial multi-criteria decision process to define maintenance priorities of forest road network: an application in the Italian Alpine region. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 34(1): 31-42.

[6] Musiime, R., Ferriz-Papi, J. & Marshall-Ponting, A. (2025). Developing a pavement condition assessment method for unpaved roads using the analytic hierarchy process (AHP). *International Journal of Pavement Research and Technology*, 18(1): 1-16.

[7] Fawzy, M. M., Elsharkawy, A. S., Hassan, A. A., & Khalifa, Y.A. (2025). Prioritization of Egyptian road maintenance using analytic hierarchy process. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 18(2): 391-404.

[8] Eaton, R., Sidney, G., & Cate, D. (1987). Rating unsurfaced roads: A field manual for measuring maintenance problems (No. CRREL-SR-87-15). Cold Regions Research and Engineering Lab Hanover. *US Army Corps of Engineers*, 38 p.

[9] Zhang, C., & Elaksher, A. (2012). An unmanned aerial vehicle- based imaging system for 3D measurement of unpaved road surface distresses. *Computer- Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 27(2): 118-129.

[10] Goudarzi, R., & Najafi, A. (2018). Multi-criteria decision-making methods in the management of forest road maintenance. *Journal of Forest and Wood Products*, 70(4): 627-636.

[11] Heidari, M. J., Najafi, A., & Alavi, S. J. (2018). Pavement deterioration modeling for forest roads based on logistic regression and artificial neural networks. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 39(2): 271-287

[12] Motlagh, A.R., Parsakhoo, A., Najafi, A., & Mohammadi, J. (2024). Development of a Sustainable Maintenance Strategy for Forest Road Wearing Courses in Different Climate Zones. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 45(1): 139-156.

[13] Abdi, E., & Musavi, F. (2017). Evaluation of mechanical properties and strength of river and mine aggregate for pavement and maintenance of forest roads. *Iranian Journal of Forest*, 9(1): 15-27

[14] Berenji, F., Azhdari, F., Abdi, E., & Majnounian, B. (2017). Prioritizing road maintenance operations using. *SSAFR symposium on systems analysis in forest resources*. Suquamish, Washington. 8 p.

[15] Hayati, E., Majnounian, B., Abdi, E., Sessions, J., & Makhdoum, M. (2013). An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation. *Environmental monitoring and assessment*, 185(2):1767-1776.

[16] Malczewski, J. (1999) GIS and Multi criteria Decision Analysis. New York: *John Wiley*. 305 p.

[17] Abdollahi, M., Hosseini S.A., & Najafi, A. (2022). Predicting the decline of forest road pavement during the logging ban period in the north mountain forests of Iran. *Journal of Natural Environment*, 75(3): 502-514.