

استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت تعمیر و نگهداری روسازی جاده‌های جنگلی

رضا گودرزی^۱، اکبر نجفی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور
۲. دانشیار گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۹

چکیده

امروزه به منظور مدیریت مرمت و نگهداری بهتر جاده‌های جنگلی موجود در کشور لازم است علاوه بر شاخص‌های اقتصادی، عوامل دیگری چون بهبود وضعیت روسازی جاده و تأثیرات جاده بر شرایط اقتصادی طرح‌های جنگلداری، هزینه‌های مجریان طرح، کاربران و تأثیر شرایط طبیعی منطقه نیز در تصمیم‌گیری دخالت داده شود. توجه به موارد مذکور و همچنین میزان تأثیر آنها در اولویت‌بندی گزینه‌ها، نیازمند تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در این تحقیق مطالعه شده است. در این پژوهش ابتدا عوامل مؤثر بر مرمت و نگهداری با نظرخواهی از کارشناسان تعیین شد. سپس ۵۰ کیلومتر از جنگل‌های تحت پوشش شرکت چوب و کاغذ مازندران انتخاب و قطعه‌بندی شد. در مرحله بعد با توجه به گستردگی عوامل کمی و کیفی و تعداد زیاد قطعات، اولویت‌بندی در مدیریت مرمت و نگهداری جاده‌های جنگلی توسعه داده شد. براساس یافته‌های این پژوهش، این روش گرفت و مدلی برای مدیریت مرمت و نگهداری جاده‌های جنگلی توسعه داده شد. نتایج نشان داد که با استفاده از این مدل، قادر است اولویت‌بندی تعمیر و نگهداری جاده را در شبکه انجام دهد. نتایج نشان داد که با استفاده از این مدل، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با آگاهی از دیدگاه‌های تمامی صاحب‌نظران و دخالت میزان تأثیر عوامل مذکور به روش AHP رتبه‌ای، اولویت‌بندی مکانی و زمانی قطعات مختلف جاده‌های جنگلی را انجام دهند.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی نگهداری جاده، برنامه‌ریزی زمانی و مکانی، تعمیر و نگهداری، جاده جنگلی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی رتبه‌ای.

مقدمه

جاده موجب افزایش هزینه‌های مربوط به تعمیرات ماشین‌آلات، کاهش سرعت آنها، کاهش ایمنی و افزایش تولید رسوب می‌شود [۲].

بهبود کیفیت جاده‌های جنگلی و کاهش هزینه‌های کلان احداث و نگهداری و تعمیرات آن در پایداری مدیریت جنگل نقش بسزایی دارد. در مقابل، بی‌توجهی به جاده‌ها و عدم برنامه‌ریزی صحیح و کارآمد نگهداری آنها سبب زوال زودرس جاده‌ها و تحمیل هزینه‌های چشمگیری بر اقتصاد طرح‌های جنگلداری، مجریان طرح‌های جنگلداری و در

هدف از نگهداری جاده‌های جنگلی، حفظ ساختار آنها، تضمین عبور ایمن، حفظ کارایی ماشین‌آلات حمل‌کننده چوب‌آلات و جلوگیری از کاهش کیفیت آب‌ها و محل زیست‌ماهیان، حیات وحش و دیگر مواهب منابع طبیعی است که ممکن است تحت تأثیر جاده‌سازی در جنگل قرار گیرند [۱]. بی‌توجهی به تعمیر و نگهداری به موقع

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۲۱۴۴۲۱

Email: a.najafi@modares.ac.ir

نهایت یک کشور خواهد شد. توجه به این نکته که هزینه تعمیر و بازسازی جاده‌ها در صورت اجرای عملیات نگهداری پیشگیرانه تا یک سوم کاهش می‌یابد [۳]، مدیران را به سمت ایجاد یک سیستم کارا و جامع برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات جاده‌ها مبتنی بر اصول فنی و اقتصادی سوق می‌دهد. در کشور ما همانند بیشتر کشورهای در حال توسعه دورنمایی برای برنامه‌ریزی دقیق جاده‌ها با هدف افزایش کیفیت آنها با کمترین هزینه و با تکیه بر اطلاعات فنی مرتبط به بحث نگهداری و تعمیرات وجود ندارد.

براساس آمار موجود تا سال ۱۳۹۴ در عرصه‌های دارای طرح جنگلداری (شمال کشور)، حدود ۱۰ هزار کیلومتر جاده جنگلی با درجات مختلف احداث و بهره‌برداری شده است. در سال‌های بعد از آن اگرچه ساخت جاده‌های جنگلی متوقف شده، همچنان نگهداری جاده مورد توجه است. برآورد می‌شود این جاده‌ها حجم عظیمی از سرمایه ملی (حدود ۸۰۰۰ میلیارد ریال) را شامل می‌شوند که به واسطه ترافیک، عوامل محیطی، مشخصات هندسی دچار زوال می‌شوند [۴]. از طرفی هزینه تعمیر و نگهداری جاده‌های موجود سالانه، دست‌کم ۳ درصد از هزینه ساخت جاده را شامل می‌شود و با توجه به رقم چشمگیر باید به‌طور جدی به آن توجه شود [۵].

اگر عملیات تعمیر و نگهداری به‌موقع انجام نگردد، به بهسازی (عملیات اصلاحی) و حتی بازسازی (ترمیم و ساخت دوباره) گسترده‌ای نیاز است، که اغلب هزینه آن بیشتر از تعمیر و نگهداری ساده‌ای است که زودتر باید انجام گیرد [۳]. مراقبت از شبکه موجود و نگهداری آن در شرایط مطلوب، امر مهمی است و اغلب در تخصیص بودجه‌های جدید اولویت دارد [۶]. احداث و نگهداری جاده در نواحی کوهستانی به‌سبب پیچیدگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، بسیار مشکل و هزینه‌بر است. بنابراین نگهداری بهنگام جاده‌ها در نواحی کوهستانی به دلیل تعداد محدود آنها و نبود مسیرهای جایگزین برای

رسیدن به مقصد، حیاتی است. از طرفی با توجه به مشکلات موجود و پیش‌رو، اتخاذ عملکردهای مناسب به‌منظور به حداقل رساندن خسارات وارد به سرمایه‌گذاری انجام‌گرفته در جاده‌های جنگلی و محیط زیست، به‌منزله یکی از ارکان توسعه پایدار ضروری به‌نظر می‌رسد. از این‌رو اهمیت تعمیر و نگهداری به‌موقع از نظر کاهش هزینه و صدمات زیست‌محیطی در پروژه‌های جاده‌سازی زیاد است. بنابراین همواره نیاز به راه‌حل مناسب برای کاهش هزینه نهایی تعمیر و نگهداری در حد بودجه مشخص احساس می‌شود. یافتن زمان و مکان بهینه عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای مجموعه‌ای از طول‌های جاده پیچیده است [۷].

تحقق اهداف تعمیر و نگهداری پیشگیرانه شامل ارزیابی کارا و مؤثر وضعیت موجود شبکه روسازی جاده‌ها و پیش‌بینی عملکرد و عمر مفید روسازی‌ها، هماهنگی کلیه فعالیت‌های طرح، ساخت و نگهداری روسازی جاده، اولویت‌بندی فعالیت‌های ساخت، ترمیم و بازسازی روسازی‌ها، تخصیص بهینه بودجه در فعالیت‌های تعمیر و نگهداری، صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری و امکان انتخاب بهترین زمان و روش ترمیم و نگهداری با اجرای صحیح سامانه مدیریت جاده‌های جنگلی در کشور امکان‌پذیر خواهد بود.

مطالعات پژوهشگران مختلف نشان می‌دهد که متغیرهای مختلف کمی و کیفی بر زوال جاده مؤثرند و باید در عملیات تعمیر و نگهداری مدنظر قرار گیرند [۸-۱۲]. این متغیرها یا طبیعی‌اند، مانند ریزشی یا لغزشی بودن دامنه، دوری یا نزدیکی به رودخانه یا دره، شرایط فیزیوگرافی، بارش، جهت دامنه، نوع خاک، تراکم تاج‌پوشش در حاشیه و سطح جاده یا به خود جاده برمی‌گردند مانند ضخامت و نوع مصالح روسازی، استاندارد جاده و نوع مصالح یا به شرایط استفاده از جاده مربوط‌اند، مانند میزان بار وارده به جاده و شرایط ترافیک [۴].

تصمیم‌گیری در مورد تأثیر عوامل مذکور روی جاده و برنامه‌ریزی برای تعمیر آن در نظر گرفته شود [۵].

استفاده از روش AHP به دلیل امکان ورود نظرهای متخصصان در روند تصمیم‌گیری و ارزیابی و همچنین توانایی آن برای استفاده در مواردی که امکان کمی کردن اطلاعات دشوار است، می‌تواند در مدیریت نگهداری جاده‌های جنگلی کارایی مناسبی داشته باشد، ولی هنگامی که تعداد گزینه‌ها بیش از نه عدد باشد، از نظر تکنیکی در محاسبه وزن نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌ها دچار مشکل می‌شود. برای رفع این مشکل ساعتی روش رتبه‌ای را محاسبات AHP ارائه کرد [۱۵].

با توجه به تعدد گزینه‌های تصمیم‌گیری (قطعات جاده برای تعمیر و نگهداری) که اغلب بیش از نه قطعه جاده در مدیریت یک طرح جنگلداری است، هدف پژوهش حاضر، توسعه مدل برنامه‌ریزی عملیات تعمیر و نگهداری، با استفاده از AHP رتبه‌ای است. این پژوهش مدل کاربردی اولویت‌بندی زمانی و مکانی رسیدگی و نگهداری جاده‌های جنگلی را براساس ویژگی‌های متعدد منطقه، شاخص‌های کنترل کیفیت جاده و میزان و نحوه استفاده از آن و قطعات زیاد جاده‌های جنگلی (گزینه‌ها) نشان خواهد داد.

مواد و روش

منطقه تحقیق

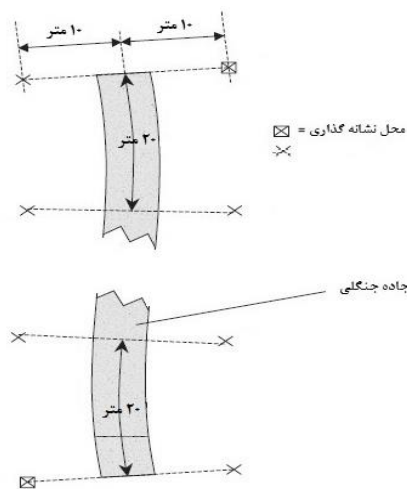
پژوهش حاضر در جنگل‌های تحت مدیریت شرکت چوب و کاغذ مازندران، حوزه غرب هراز، واقع در شهرستان آمل انجام گرفت. براساس اطلاعات موجود در کتابچه‌های طرح-های جنگلداری طول شبکه جاده‌های جنگلی بالغ بر ۱۲۰ کیلومتر جاده‌های درجه یک، دو و در سری‌های آشرو، زنگال‌دره، انگنارود، سنگ‌درکا و همسوا با سابقه مدیریت چهل ساله ساخته شده‌اند. دامنه ارتفاعی ۸۰۰-۱۰۰ متر از سطح دریا، متوسط بارندگی سالانه منطقه معادل ۸۶۷ میلی‌متر

تصمیم‌گیری از مهم‌ترین و اساسی‌ترین وظایف مدیریت است و تحقق اهداف سازمانی به کیفیت آن بستگی دارد. یکی از روش‌های تصمیم‌گیری استفاده از داده‌های کمی تصمیم‌گیری چندمعیاره است. با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان با در نظر گرفتن معیارهای متفاوت برای تصمیم‌گیری که گاهی با یکدیگر تعارض دارند، به طریقی عقلایی تصمیم‌سازی کرد. تاکنون در فرایند بهینه‌سازی سیستم تعمیر و نگهداری جاده، از روش‌های متفاوتی برای به دست آوردن اولویت و زمان‌بندی پروژه‌ها استفاده شده است. برای مثال می‌توان به روش‌های برنامه‌ریزی بر مبنای برآورد مستقیم (روش کارشناس) و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP^۱)، روش-های مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی LP^۲، برنامه‌ریزی عدد صحیح MIP^۳، برنامه‌ریزی پویا PD^۴، منطق فازی FL^۵ و الگوریتم‌های فراابتکاری MH^۶ اشاره کرد [۱۳].

تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مورد استفاده در این تحقیق، از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمنظوره است. از این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبه‌روست، می‌توان استفاده کرد [۱۴].

به دلیل حجم زیاد و تنوع داده‌های مربوط به وضعیت فعلی جاده، محدود بودن زمان عملیات، بودجه و دیگر منابع انسانی و تجهیزات از سوی دیگر، امکان رسیدگی همزمان همه جاده‌های موجود برای مجری، کاری سخت و حتی غیرممکن است. در نتیجه، وجود برنامه اولویت‌بندی برای انتخاب و برنامه‌ریزی زمانی و مکانی قسمت‌های مختلف جاده برای رسیدگی‌های اصلاحی مهم و ضروری است. به این منظور باید روش مناسبی برای

1. Analytic hierarchy process
2. Linear Programming
3. Mixed Integer Programming
4. Dynamic programming
5. Fuzzy Logic
6. Metaheuristic Algorithms



شکل ۱. نحوه قطعه‌بندی جاده به منظور بررسی وضعیت جاده‌های جنگلی

در این تحقیق پس از بررسی تحقیقات پیشین و بررسی معیارهای متعدد با توجه به تجربه کارشناسان جاده با نظرخواهی مستقیم از پنج کارشناس (یک عضو هیأت علمی، یک دانشجوی دکتری مهندسی جنگل و سه کارشناس) مهم‌ترین معیارهای ارزیابی فنی و اقتصادی گزینه‌ها به شرح زیر انتخاب شدند.

الف) نسبت N/C (ارزش خالص فعلی به هزینه)

پس از بررسی عملکرد قطعات در طول دوره، زمان فعالیت‌های تعمیر و نگهداری و هزینه‌های مرتبط با هر گزینه، قطعات باید در طول دوره تجزیه و تحلیل مقایسه شوند. به طور معمول برای بررسی و تجزیه و تحلیل از ارزش خالص فعلی (NPV) استفاده می‌شود [۱۶]. ارزش خالص فعلی با تعدیل تمامی هزینه‌های پروژه حاضر یا هزینه‌های مربوط به یک سال (به طور معمول سال جاری، سال ساخت و سال مجوز) تعیین می‌شود؛ بنابراین کل پروژه را می‌توان به عنوان هزینه یک سال پایه یا سال جاری بیان کرده و گزینه‌ها را با مقایسه هزینه‌ها با سال پایه مقایسه کرد. در واقع هر یک از قطعات با توجه به سال تأسیس و عملیات تعمیر و نگهداری مربوط مقایسه می‌شوند. ارزش خالص فعلی یک محاسبه اقتصادی رایج

و متوسط درجه حرارت سالانه $۱۶/۶$ درجه سانتی‌گراد است. شبکه جاده موجود چندمنظوره است، به طوری که علاوه بر استفاده‌های معمول طرح‌های جنگلداری، مورد استفاده گردشگران سیاحتی و زیارتی و نیز معدن است. تمامی جاده‌ها با استفاده از بولدوزر ساخته شده‌اند و مصالح به کاررفته در آنها کوهی یا رودخانه‌ای است.

ارزیابی و قطعه‌بندی جاده

به منظور جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، ابتدا حدود ۵۰ کیلومتر (نایب‌نسته) جاده درجه دو از بین جاده‌های موجود در منطقه مورد تحقیق به عنوان نماینده‌ای از کل جاده‌های درجه دو انتخاب شد. سپس با توجه به وضعیت توپوگرافی، پیچ، محل دپو، تقاطع، تغییر ناگهانی جهت و شیب، وجود معدن و عوامل کم‌اهمیت دیگر مثل تاج‌پوشش روی جاده و وجود آثار تعمیر و نگهداری جاده، قطعه‌بندی و استخراج اطلاعات انجام گرفت. روش آماربرداری به صورت منظم تصادفی و طول قطعه‌ها با توجه به مشخصات ذکر شده، از ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر متغیر بود. برای انتخاب نقطه شروع در هر قطعه، ابتدا یک عدد تصادفی بین صفر تا ۲۰ انتخاب شد و به اندازه عدد تصادفی روی جاده حرکت صورت گرفت و نقطه شروع آماربرداری مشخص شد و با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS^1) Garmin 64s با صحت ± 5 متر که برای تحقیق حاضر مناسب بود، ثبت شد. سپس یک ترانسکت خطی عمود بر محور وسط جاده در نظر گرفته شد و ترانسکت‌های بعدی با فاصله ۲۰ متر از یکدیگر، روی جاده پیاده شدند و این کار تا انتهای قطعه تحت بررسی ادامه یافت (شکل ۱).

معیارهای ارزیابی فنی و اقتصادی قطعات

برای ارزیابی کیفی روسازی، وضعیت خرابی‌های ظاهری سطح جاده لحاظ می‌شود، درحالی که در ارزیابی سازه‌ای، توانایی در تحمل بارهای وارد از وسایل نقلیه بررسی می‌شود.

1. Global Position System

تأثیرگذار بر عملکرد جاده‌های جنگلی و طول عمر مفید آن، ویژگی‌های طبیعی منطقه است. پارامترهای به‌کاررفته برای این ویژگی، ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت و تاج پوشش موجود بر روی سطح جاده در دوره طرح است که برای هر یک از گزینه‌ها به صورت یک ویژگی کلی (نمره صفر تا نه) محاسبه می‌شود.

د) شاخص کیفیت جاده: تأثیر هر یک از گزینه‌ها بر شاخص کیفیت جاده (نوع مصالح، ضخامت روسازی، وضعیت ترانشه (ریزشی یا سالم) و وضعیت کانال (پرشده یا خیر)) مستقیماً به کمک قضاوت مهندسی اولویت‌بندی و امتیازدهی (صفر تا نه) می‌شوند.

با مقایسه‌های زوجی به روش AHP (شکل ۲)، ضرایب اهمیت معیارها تعیین و ماتریس وزن معیارها محاسبه شدند.

ساختار مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در مدیریت جاده‌های جنگلی

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که قابلیت مقایسه همزمان گزینه‌های کمی و کیفی را دارد. اگرچه به منظور پرهیز از افزایش حجم فرم‌های پرسش چهار معیار مهم نمره‌دهی شد، زیرمعیارهای هر معیار هم به منظور قضاوت بهتر در اختیار پرسش‌شوندگان قرار گرفت.

ماتریس تصمیم

برای اولویت‌بندی ۱۸۵ قطعه آماربرداری شده در قبالی معیارهای اصلی یک ماتریس تصمیم طراحی شد (شکل ۲). در نهایت به منظور کاربردی شدن تحقیق چهار عامل ارزش فعلی خالص به هزینه، معیار میزان استفاده از جاده، ویژگی‌های طبیعی منطقه و شاخص کیفیت جاده که معیار اصلی همراه با هزینه مربوط به عملیات تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی است، در اولویت‌بندی گزینه‌ها به روش رتبه‌ای استفاده شدند.

است و برای جاده‌های جنگلی با رابطه ۱ بیان می‌شود [۱۷]:

$$NPV = \sum_{k=1}^N A + M_k \left[\frac{1}{(1+i)^{nk}} \right] \quad (1)$$

i = نرخ تعدیل

n = سال هزینه

A = هزینه ساخت

M = هزینه سرمایه‌گذاری

$$\left[\frac{1}{(1+i)^{nk}} \right] = \text{فاکتور ارزش فعلی}$$

NPV پس از محاسبه، برای تعیین اثرهای نسبی ورودی، باید توزیع مقادیر ورودی و توزیع احتمال تجزیه و تحلیل شود. این تجزیه و تحلیل کمک می‌کند که گزینه‌های بهتری در شرایط مختلف انتخاب شوند و مقرون به صرفه‌تر باشد. به طور کلی، تجزیه و تحلیل باید تجزیه و تحلیل حساسیت و تحلیل ریسک باشد که در این تحقیق از شاخص نسبت N/C استفاده شده است.

این شاخص برای تمام گزینه‌ها استفاده شده و به عنوان شاخص معیار اقتصادی ارزیابی می‌شود و براساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود [۱۶]:

$$E_{ij} = NPV / Cost \quad (2)$$

در رابطه ۲، NPV نشان‌دهنده ارزش خالص فعلی گزینه‌ها و Cost نیز بیانگر هزینه عملیات آنهاست.

ب) معیار میزان استفاده از جاده: این معیار مربوط به میزان و نحوه استفاده از جاده‌های جنگلی است و عواملی همچون ترافیک (روزانه، ماهانه و سالیانه) و میزان بار وارد به جاده را شامل می‌شود. این معیارها به صورت کمی نمره‌ای از صفر تا نه را با توجه به نظر کارشناسان برای هر یک از گزینه‌های تعمیر و نگهداری اختصاص می‌دهند.

ج) ویژگی‌های طبیعی منطقه: از مهم‌ترین عوامل

های جنگلی شامل شناخت قیدها و محدودیت‌های موجود، اطلاع از تاریخچه ساخت و نگهداری است.

اولویت‌بندی گزینه‌ها برای تعمیر و نگهداری

تابع هدف تصمیم‌گیری در مدل، با توجه به رابطه ۳ تعریف می‌شود:

$$Z = \alpha_1(C/N) + \alpha_2(T) + \alpha_3(N) + \alpha_4(Q) \quad (3)$$

در رابطه ۳، Z تابع هدف و $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ضرایب اهمیت معیارهاست و با در نظر گرفتن نظر کارشناسان مربوطه و تشکیل ماتریس معیارها به دست می‌آید. در هر قطعه، با محاسبه وزن آن در هر معیار و ضریب وزنی معیارها (از مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف محاسبه شده بودند) در تابع هدف، امتیاز هر گزینه مشخص شده و گزینه‌ها به ترتیب امتیاز اولویت‌بندی می‌شوند. گزینه‌ای که کمترین امتیاز را به دست می‌آورد، از نظر فنی و اقتصادی ضعیف‌تر بوده و مناسب‌ترین گزینه برای ترمیم و نگهداری جاده مورد نظر است. با کنار هم گذاشتن اولویت‌های به دست آمده برای هر یک از بخش‌های جاده تحت بررسی و با در نظر گرفتن مسائل اجرایی، روش نگهداری هر بخش از پروژه انتخاب می‌شود. در نهایت توابع هدف تصمیم‌گیری برای قطعات جاده‌های جنگلی با ماکزیمم‌سازی تابع هدف به دست می‌آیند.

به منظور تعیین تأثیر هر کدام از عملیات نگهداری در کارایی قطعه مورد نظر با قرار دادن مقادیر به دست آمده برای شاخص معیارها و ضریب وزنی معیارها در نرم‌افزار Expert Choice نسخه ۱۱، امتیاز نهایی گزینه‌ها محاسبه شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ اهمیت معیارهای برگزیده مؤثر در زوال جاده جنگل مورد تحقیق را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج ارزش فعلی خالص به هزینه و ویژگی‌های طبیعی منطقه به ترتیب بیشترین و کمترین اهمیت را دارند.

	N/C	میزان استفاده از جاده	ویژگی‌های طبیعی منطقه	شاخص کیفیت جاده	W α_1 α_2 α_3 α_4
N/C	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	
میزان استفاده از جاده	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	
ویژگی‌های طبیعی منطقه	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	
شاخص کیفیت جاده	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	

شکل ۲. نحوه وزن‌دهی به ماتریس معیارها

فرایند سلسله‌مراتبی رتبه‌ای

در این تحقیق ۱۸۵ قطعه با چهار معیار بررسی شد که حجم زیادی از مقایسات را شامل می‌شد. در صورت افزایش تعداد گزینه‌ها و معیارها، ناگزیر مقایسه‌های زوجی در پی آن افزایش می‌یابد. همچنین زمان محاسبات افزایش می‌یابد و پرسش‌های پرسشنامه زیاد می‌شود و پرسش‌شوندگان تمایلی به پر کردن فرم‌ها ندارند و هنگامی که تعداد گزینه‌ها بیش نه مورد باشد، به دلیل نزدیکی وزن آنها روش AHP از نظر فنی دچار محدودیت می‌شود [۱۷]. به منظور غلبه بر مشکلات یادشده و پرهیز از محدودیت‌های مذکور در این تحقیق از روش AHP رتبه‌ای استفاده شد. در AHP رتبه‌ای محاسبات اولویت‌های معیار یا زیرمعیار همان است که در روش AHP نسبی باقی مانده است. تفاوت اصلی در آخرین سطحی است که در طول ارزیابی جایگزین رخ می‌دهد. استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی رتبه‌ای در این تحقیق شامل تعیین هدف، انتخاب گزینه‌ها، انتخاب معیارهای تصمیم‌گیری، تعیین وزن معیارها، بررسی و ساخت تابع هدف و اولویت‌بندی گزینه‌هاست که به آنها پرداخته می‌شود.

در این تحقیق، مدلی برای مدیریت روسازی تهیه شد که در آن با به‌کارگیری تحلیل هزینه عمر جاده جنگلی و AHP رتبه‌ای روند اولویت‌بندی گزینه‌ها و تصمیم‌گیری در مدیریت روسازی بهبود می‌یابد. ساختار کلی مدل طراحی شده در این تحقیق با عنوان سیستم مدیریت جاده-

جواب مسئله قابل قبول بوده و مبنایی برای سنجش عملکرد روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه محسوب می‌شود. اولویت تعمیر و نگهداری صرفاً بر مبنای وضعیت خرابی قطعات است و قطعه‌ای که اولویت بیشتری برای تعمیر داشته باشد، صرف نظر از مکان قطعه، زودتر تعمیر می‌شود. برای مثال، قطعه ۱۰۱ که بیشترین وزن را در بین دیگر قطعات به خود اختصاص داده است، از لحاظ خرابی در اولویت‌های اولیه تعمیر و نگهداری قرار دارد.

پس از به دست آمدن ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از روش AHP به رتبه‌بندی گزینه‌ها پرداخته شده است. اولین مرحله برای به دست آمدن رتبه‌ها به دست آمدن ماتریس نرمال‌شده است. پس از نرمال کردن ماتریس مقایسات زوجی، میانگین سطری ماتریس نرمال‌شده به دست آمد و وزن (میزان کارایی نسبی) قطعات محاسبه شد (جدول ۲). شایان ذکر است ماتریس به دست آمده یک ماتریس سازگار است؛ بنابراین جواب حاصل، به عنوان

جدول ۱. ماتریس معیارهای برگزیده مؤثر در زوال جاده‌های جنگلی

معیارها	N/C	میزان استفاده از جاده	ویژگی‌های طبیعی منطقه	شاخص کیفیت جاده	W
N/C	۱	۱/۷	۳/۲	۵/۵	-/۰۴۶۰
میزان استفاده از جاده		۱	۲	۵/۱	-/۰۳۰۴
ویژگی‌های طبیعی منطقه			۱	۰/۲۶	-/۰۰۶۲
شاخص کیفیت جاده				۱	-/۰۱۷۴

جدول ۲. وضعیت فعلی قطعات جاده‌های جنگلی و اولویت تعمیر و نگهداری آنها

رتبه	وزن محاسبه شده	رتبه	قطعه	وزن به ترتیب اولویت	رتبه
۱	-/۰۳۹۷۸۰۹	۲۲	۱۰۱	-/۰۴۵۰۲۶۵۴۷	۱
۲	-/۰۴۲۴۵۴۸۰۳	۵	۱۰۲	-/۰۴۵۰۲۲۷۸۹	۲
۳	-/۰۴۱۶۴۰۷۷۱	۱۰	۱۰۳	-/۰۴۲۸۵۱۴۱۷	۳
۴	-/۰۳۹۳۵۶۲۸۲	۲۴	۱۰۴	-/۰۴۲۰۳۹۳۳۳	۴
۵	-/۰۴۱۰۵۶۹۷۹	۱۷	۱۰۵	-/۰۴۲۴۵۴۸۰۳	۵
۶	-/۰۴۰۵۵۳۳۶	۲۱	۱۰۶	-/۰۴۲۳۹۱۰۳۱	۶
۷	-/۰۴۱۲۶۰۶۲۵	۱۴	۱۰۷	-/۰۴۲۲۴۹۲۶۷	۷
۸	-/۰۴۳۰۳۹۳۳۳	۴	۱۰۸	-/۰۴۱۷۸۱۷۷۲	۸
۹	-/۰۴۵۰۲۲۷۸۹	۲	۱۰۹	-/۰۴۱۷۵۷۱۲	۹
۱۰	-/۰۴۱۰۸۴۱۹۴	۱۶	۱۱۰	-/۰۴۱۶۴۰۷۷۱	۱۰
۱۱	-/۰۴۲۳۹۱۰۳۱	۶	۱۱۱	-/۰۴۱۶۲۹۴۶۷	۱۱
۱۲	-/۰۴۱۴۶۵۲۰۹	۱۲	۱۱۲	-/۰۴۱۴۶۵۲۰۹	۱۲
۱۳	-/۰۴۳۸۵۱۴۱۷	۳	۱۱۳	-/۰۴۱۲۶۲۸۶۴	۱۳
۱۴	-/۰۴۰۶۲۹۰۱۸	۲۰	۱۱۴	-/۰۴۱۲۶۰۶۲۵	۱۴
۱۵	-/۰۴۱۷۵۷۱۲	۹	۱۱۵	-/۰۴۱۰۹۸۲۷۴	۱۵
۱۶	-/۰۴۱۷۸۱۷۷۲	۸	۱۱۶	-/۰۴۱۰۸۴۱۹۴	۱۶
۱۷	-/۰۴۱۰۹۸۲۷۴	۱۵	۱۱۷	-/۰۴۱۰۵۶۹۷۹	۱۷
۱۸	-/۰۴۱۰۲۲۷۰۴	۱۸	۱۱۸	-/۰۴۱۰۲۲۷۰۴	۱۸
۱۹	-/۰۴۵۰۲۶۵۴۷	۱	۱۱۹	-/۰۴۰۹۰۲۹۶۴	۱۹
۲۰	-/۰۳۹۶۷۳۳۳۴	۲۳	۱۲۰	-/۰۴۰۶۲۹۰۱۸	۲۰
۲۱	-/۰۴۱۲۶۲۸۶۴	۱۳	۱۲۱	-/۰۴۰۵۵۳۳۳۶	۲۱
۲۲	-/۰۴۲۳۴۹۲۶۷	۷	۱۲۲	-/۰۳۹۷۸۰۹	۲۲
...	-/۰۴۱۲۹۴۶۷	۱۱	...	-/۰۳۹۶۷۳۳۳۴	۲۳
۱۰۰	-/۰۴۰۹۰۲۹۶۴	۱۹	۱۸۵	-/۰۳۹۳۵۶۳۸۲	۲۴

در جدول ۳ قطعات با توجه به وزنشان در پنج طبقه ۳۷ تایی دسته‌بندی شدند. نتیجه تحلیل سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد که گزینه پنجم (اجرای یک لایه روسازی ۱۰ سانتی متری) به‌عنوان اولویت نخست در بیشتر قطعات شناخته شده است. بنابراین با در نظر گرفتن تمام جوانب فنی اقتصادی، این گزینه به‌منظور اجرا در جاده‌های جنگلی انتخاب می‌شود.

حال با توجه به اولویت‌بندی انجام گرفته می‌توان به برنامه‌ریزی بودجه در طول دوره طرح جنگلداری اقدام کرد. چنانچه در سال اولیه طرح جنگلداری، برنامه‌ریزی با کسری بودجه یا مشکلات اقتصادی مواجه شود، می‌توان از گزینه بعدی که اولویت بیشتر و هزینه کمتری دارد

(برای مثال ترمیم شیار) استفاده کرد. همچنین نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که پر کردن چاله و اصلاح بیرون‌زدگی دارای کمترین اولویت و روسازی جدید، ترمیم جاده و شیار به ترتیب دارای بیشترین اولویت‌اند که این موضوع نشان‌دهنده وضعیت نامناسب جاده جنگلی است. شایان ذکر است از آنجا که طول جاده‌های مورد بررسی حدود ۵۰ کیلومتر است، باید با توجه به اولویت‌بندی صورت گرفته، به گونه‌ای برنامه‌ریزی کرد که بتوان نیروی کار و هزینه‌ها را متمرکز ساخت، به این صورت که ابتدا قطعاتی که دارای بیشترین اولویت هستند، تعمیر شده و پس از آن اولویت‌ها با توجه جوانب فنی و اقتصادی تنظیم شوند.

جدول ۳. گزینه‌های بهینه ترمیم و نگهداری جاده‌های جنگلی برای قطعات ۱ تا ۱۸۵

گزینه‌ها	قطعات رتبه ۱ تا ۳۷ (گروه یک)		قطعات رتبه ۳۷ تا ۷۴ (گروه دو)		قطعات رتبه ۷۴ تا ۱۱۱ (گروه سه)		قطعات رتبه ۱۱۱ تا ۱۴۸ (گروه چهار)		قطعات رتبه ۱۴۸ تا ۱۸۵ (گروه پنج)	
	امتیاز	شماره	امتیاز	شماره	امتیاز	شماره	امتیاز	شماره	امتیاز	شماره
	نهایی	اولویت	نهایی	اولویت	نهایی	اولویت	نهایی	اولویت	نهایی	اولویت
پر کردن چاله‌ها	۰/۰۳۹	۵	۰/۱۷۸	۴	۰/۰۳۷	۵	۰/۱۸۰	۴	۰/۱۷۵	۴
ترمیم شیارها	۰/۱۹۷	۲	۰/۱۸۵	۳	۰/۱۹۰	۳	۰/۱۸۴	۳	۰/۱۸۰	۴
اصلاح بیرون‌زدگی	۰/۱۹۲	۳	۰/۰۴۰	۵	۰/۱۷۵	۴	۰/۰۴۹	۵	۰/۰۳۵	۵
روسازی ۵ سانتی متری	۰/۱۷۶	۴	۰/۲۰۵	۱	۰/۲۰۴	۱	۰/۱۸۵	۲	۰/۱۹۵	۳
روسازی ۱۰ سانتی متری	۰/۲۰۲	۱	۰/۱۹۷	۲	۰/۲۰۶	۱	۰/۲۱۳	۱	۰/۲۱۶	۱
ترمیم جاده	۰/۱۹۳	۳	۰/۱۹۶	۲	۰/۱۷۸	۴	۰/۱۸۹	۲	۰/۱۹۹	۲

نتیجه‌گیری

در این تحقیق عوامل مؤثر بر زوال جاده‌های جنگلی به‌طور کلی شامل چهار معیار اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و مشخصات فنی جاده در نظر گرفته شد و مهم‌ترین عوامل با استفاده از نظرهای کارشناسان شناسایی شد. مهم‌ترین دستاورد این تحقیق ارائه مدلی جدید در تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌کمک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است که به دلیل انعطاف‌پذیری بسیار زیاد آن و با در نظر گرفتن معیارها و گزینه‌های مناسب، در سطح شبکه جاده‌های جنگلی قابل استفاده است.

تحقیق موردی انجام گرفته حاکی از آن است که معیار ارزش فعلی خالص به هزینه مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر انتخاب روش ترمیم و نگهداری جاده‌هاست و سپس میزان استفاده از جاده، ویژگی‌های طبیعی منطقه و شاخص کیفیت جاده به ترتیب بیشترین تأثیر و اهمیت را در تصمیم‌گیری‌ها دارد. بنابراین هیچ‌یک از عوامل یادشده به تنهایی معیار مناسبی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها و انتخاب روش نگهداری نیستند.

در این روش نه تنها سعی در کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده‌ها می‌شود، بلکه تلاش می‌شود کیفیت

خدمات تعمیر و نگهداری، رضایت‌مندی کاربران از جاده
 نیز افزایش یابد، زیرا خرابی‌ها به صورت‌های کمی و کیفی
 روی رضایت‌مندی استفاده‌کنندگان و ایمنی جاده اثرگذارند.
 در نتیجه مدل ارائه‌شده برای ایجاد یک سیستم مدیریت
 جاده برای پوشش مشکلات سازمانی و غیرسازمانی در
 برنامه‌ریزی جاده‌های جنگلی پیشنهاد می‌شود.

Reference

- [1]. Demir, M. (2012). Interactions of Forest Road, Forest Harvesting and Forest Ecosystems. In *Forest Ecosystems-More than Just Trees*, InTec, 415-431.
- [2]. Morgan, R.P.C., and Nearing, M.A. (2011). *Handbook of Erosion Modelling*. John Wiley & Sons, Pondicherry, India.
- [3]. Fakhri, M., Alaleh, M., and Edrisi, A. (2016). Pavement Maintenance and Rehabilitation Optimization Model by Considering User Costs for Iran. *Transport Engineering* 7(3): 523-540.
- [4]. Heidari, M.J., Najafi, A., and Alavai, S.J. (2017). Detecting the warning level of forest roads pavement using the genetic algorithm. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 24(4): 577-586.
- [5]. Safari, A. (2010). Optimum primary transport network assessment and evaluation economic investment stakeholder (Case study: vaston distric Mazandaran province). 5th Nation conference of Civil Engineering.
- [6]. Peshkin, D.G. (2011). *Guidelines for the Preservation of High-traffic-volume Roadways*. Transportation Research Board, USA.
- [7]. Grace III, J.M., and Clinton, B.D. (2007). Protecting Soil and Water in Forest Road Management. *Transactions of the ASABE*, 50(5):1579-1584.
- [8]. Martin, T., Choummanivong, L., and Thoresen, T. (2013). Deterioration and maintenance of local roads. *International Public Works Conference*, Darwin, Northern Territory, Australia.
- [9]. Aricak, B. (2015). Using remote sensing data to predict road fill areas and areas affected by fill erosion with planned forest road construction: a case study in Kastamonu Regional Forest Directorate (Turkey). *Environmental monitoring and assessment*, 187(7): 417.
- [10]. Martínez-Zavala, L., López, A.J., and Bellinfante, N. (2008). Seasonal variability of runoff and soil loss on forest road backslopes under simulated rainfall. *Catena* 74(1):73-79.
- [11]. Teramoto, Y., Shimokawa, E., Ezaki, T., Chun, K.W., and Kim, S. (2015). Factors controlling sediment production from a yarding road and its temporal pattern in an abandoned clear-cut plantation forest in the Shirasu (pyroclastic flow deposits) area, Kagoshima Prefecture, Japan. *Forest Science and Technology*, 11(1): 54-60.
- [12]. Visser, R., McGregor, R., and Fairbrother, S. (2009). Forest Road Pavement Design in New Zealand. In: 32nd Annual Meeting of the Council on Forest Engineering (COFE 09). University of Canterbury. School of Forestry, USA, pp 15-18.
- [13]. Babashamsi, P., Golzadfar, A., Yusef, N.I.M., Ceylan, H., and Nor, G.M.N. (2016). Integrated fuzzy analytic hierarchy process and VIKOR method in the prioritization of pavement maintenance activities. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(2): 112-120.
- [14]. Triantaphyllou, E., and Mann, SH. (1995). Using The Analytic Hierarchy Process for Decision Making in: *Engineering Applications: Some Challenges*. *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, 2(1): 35-44.
- [15]. Ahmed, S., Vedagiri, P., and Krishna, Rao, K.V.K. (2017). Prioritization of pavement maintenance sections using objective based Analytic Hierarchy Process. *10(2): 157-170*.
- [16]. Coulter, E.D., Sessions, J., and Wing, M.G. (2006). Scheduling forest road maintenance using the analytic hierarchy process and heuristics. *Silva Fennica*, 40(1): 143-160.
- [17]. Meneses, S., and Ferreira, A. (2013). Pavement maintenance programming considering two objectives: maintenance costs and user costs. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(2): 206-221.

Multi-criteria decision-making methods in the management of forest road maintenance

R. Goudarzi; M.Sc., Department of Forestry, Faculty of Natural Resource and Marine Science, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran

A. Najafi*; Assoc. Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resource and Marine Science, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran

(Received: 18 November 2016, Accepted: 27 February 2017)

ABSTRACT

In order to better management of existing forest roads maintenance in the country in addition to economic indicators, it is essential to contribute other effective factors such as improvements in road pavement, road effects on economic conditions of forestry plans, cost of forest operation, users and natural conditions. Considering the above-mentioned factors as well as their impact on the prioritization of options requires multi-criteria decision-making, which has been investigated in this study. For this purpose, factors affecting the maintenance were first determined by experts' opinion. Then 50 km of forest road under the management of Mazandaran wood and paper company was selected. Due to the wide range of quantitative and qualitative factors and a large number of alternatives, Analytical Hierarchical Process (AHP) was developed to prioritize the repair and maintenance of forest roads. According to the results, the mentioned method is able to prioritize the forest network in term of the maintenance operation. The result of the current study also showed that the decision makers are able to prioritize the forest roads from different spatial and temporal point of view using the generated model according to expert knowledge and effectiveness of these factors.

Keywords: Temporal and spatial planning, Maintenance, Forest roads, AHP rating, Prioritizing road maintenance.

* Corresponding author, Email: a.najafi@modares.ac.ir