مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال هجدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۵
ص ۸۵-۷۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2026.545099.2067
CC BY 4.0

مدل‌سازی مکانی قابلیت عبور جاده‌های جنگلی با رویکرد طبیعت‌گردی با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در جنگل خیرود نوشهر

روح‌الله کوکبی اصل[۱]، سید عطاالله حسینی[۲*]، افشین دانه‌کار[۳] و حسن خسروی[۴]

[۱]دانش‌آموختهٔ دکتری عمران و بهره‌برداری جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
[۲]استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
[۳]استاد گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
[۴]استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۰)

چکیده

مقدمه: افزایش تقاضا برای حضور در فعالیت‌های گردشگری مبتنی بر مناطق جنگلی، شناخت عوامل مؤثر بر انتخاب این مقصدها را ضروری ساخته است. شبکهٔ جاده و طراحی متناسب آن برای گردشگری و طبیعت‌گردی اهمیت بنیادین دارد، زیرا تنها از این طریق است که دسترسی ایمن، راحت و کارآمد به جاذبه‌های طبیعی و فرهنگی فراهم می‌شود. این پژوهش با هدف طراحی شبکهٔ جاده‌های جنگلی و جاده‌های موجود با رویکرد طبیعت‌گردی در جنگل خیرود نوشهر انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش با توجه به معیارهای طراحی مسیر جاده مبتنی بر گردشگری، ابتدا با روش دلفی معیارهای مهم ۱۱ شاخص شیب، فرسایش، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از چشمه، فاصله از گسل، درصد پوشش درختی، جهت شیب، فاصله از جاده، ارتفاع و فاصله از آبادی انتخاب شد. سپس با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای(ANP)، به هر یک از معیارهای انتخابی وزن داده شد. در نهایت با استفاده از عملیات همپوشانی فازی در نرم‌افزار ARC GIS نقشهٔ نواحی مستعد برای ایجاد جاده‌های جنگلی با دیدگاه طبیعت‌گردی محاسبه و ترسیم شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، سه معیار شیب، فرسایش و زمین‌شناسی بیشترین وزن را در طراحی جاده‌های جنگلی با دیدگاه طبیعت‌گردی دارند. شیب زمین نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب مسیر جاده‌های جنگلی دارد، زیرا بر هزینه‌های ساخت، پایداری اکولوژیکی و ایمنی زیرساخت تأثیر می‌گذارد. معیارهای فاصله از رودخانه، چشمه و گسل از اهمیت نسبی متوسط و جهت شیب، فاصله از جاده و ارتفاع از اهمیت کمتری برخوردارند. نتایج همپوشانی فازی لایه‌ها نشان داد که ۲۶/۵ درصد از منطقه دارای قابلیت عبور زیاد و ۱۴ درصد دارای قابلیت خیلی زیاد برای احداث جاده‌های اکوتوریستی است، درحالی که ۱۲/۲ درصد از مساحت به‌دلیل شیب بیشتر از ۶۰ درصد و حساسیت محیط زیستی برای جاده‌سازی نامناسب تشخیص داده شد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نقشه‌های حساسیت‌پذیری نتایج نشان داد که معیارهای شیب، فرسایش و زمین‌شناسی بیشترین تأثیر را در تعیین مسیر بهینه برای طبیعت‌گردی دارند و معیار فاصله از آبادی از اهمیت چندانی برخوردار نیست و حذف شد. همچنین نتایج نشان داد که قابلیت سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند راه حلی مناسب برای تعیین نواحی با قابلیت عبور مناسب بر اساس کاربرد جنگل‌ها با هدف نوآوری برای طبیعت‌گردی به‌صورت پایدار مورد توجه باشد.

واژه‌های کلیدی: جاده‌های جنگلی، جنگل خیرود، عضویت فازی، طبیعت‌گردی.

* نویسنده مسئول
شماره تماس: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۲
ایمیل: At.josseiniut.ac.ir

مقدمه

پوشش گیاهی، مراتع، جنگل‌ها و فضای سبز در هر کشور جزو سرمایه‌ها و ثروت آن جامعه به حساب می‌آیند و حفاظت از جنگل‌ها در توسعه و آبادانی کشور نقش مهمی دارد. حفظ آب و خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، توسعهٔ مراتع و جنگل‌ها، افزایش منابع آب زیرزمینی، رودخانه‌ها، حفظ محیط زیست و مناظر طبیعی و غیره از جمله خدمات جنگل‌ها به شمار می‌رود که در طول تاریخ نیاز بشر را فراهم کرده است و دسترسی به این خدمات ارزشمند، نیازمند رعایت اصول استاندارد زیرساخت‌هاست که اهمیت زیادی در فرایند توسعه دارد. طبیعت‌گردی از خدمات مهم جنگل است که در این تحقیق مورد توجه قرار خواهد گرفت. ارزیابی اکوسیستم‌های طبیعی که خدمات مختلف اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی را برای مجموعهٔ معیارهای گردشگری (زیبایی‌شناختی، تفرج و بوم‌گردی، فرهنگی، پدیده‌های طبیعی و یادگیری و آموزش) در جنگل‌ها فراهم می‌کنند، در سال‌های اخیر مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است (Faverto & Luedeling, 2017). پژوهش حاضر مبتنی بر معیارهای مهم گردشگری، رویکردهای مختلف طبیعت‌گردی و روابط مختلف بین معیارها و شاخص‌های طبیعت‌گردی با مسیرهای دسترسی به چشم‌اندازهای طبیعی و سایر نقاط گردشگری، قابلیت کاربردی است. بر این اساس معیارهای مهم طبیعت‌گردی در جنگل شامل اقلیم، منابع آبی، کاربری اراضی، مالکیت، دسترسی، وضعیت زمین، چشم‌انداز، جذابیت‌های طبیعی و فرهنگی، تقاضای تفرجی، خاک و پوشش جنگلی (Danekar et al, 2019) است و رویکردهای مختلف طبیعت‌گردی (رویکرد Chan et al. 2012 و رویکرد Phougt sound, 2018) بیانگر این است که برنامه‌ریزی مدون در اجرای زیرساخت‌ها به‌خصوص مسیرهای دسترسی به نقاط مختلف طبیعت‌گردی، مدیریت و توسعه پایدار را در پی خواهد داشت. امروزه تفرجگاه‌های طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع ارزش دوچندانی دارند، زیرا در دسترس‌ترین منابع برای مسائل تفرجی و تفریحی مردم به شمار می‌آیند و پیش‌بینی نیازهای تفرجگاهی و اوقات فراغت مردم، کاری است که با وجود دشواری، به‌علت ضرورت باید انجام گیرد (Meriy et al., 2018). گردشگری یکی از بخش‌های اصلی اقتصاد جهانی است، زیرا برای بهبود تراز پرداخت‌ها و همچنین ایجاد درآمد و فرصت‌های شغلی ضروری است (Gezahegn et al., 2024). طبیعت‌گردی بخشی از صنعت گردشگری است که در آن مسافران مسئول مناطق طبیعی، حفظ محیط زیست و همچنین بهبود رفاه مردم محلی با تأمین بودجه برای حفاظت از محیط زیست هستند (Mondino & Beery, 2019). طبیعت‌گردی یکی از خدمات مهم ارائه‌شده توسط منابع جنگلی است. طبیعت‌گردی مبتنی بر جنگل، سفری مسئولانه به مکان‌های جذاب جنگلی است که جنگل را حفظ می‌کند و معیشت جامعهٔ محلی ساکن در اطراف جنگل‌ها را بهبود می‌بخشد (Zacarias & Loyola, 2017). درآمد حاصل از طبیعت‌گردی مبتنی بر جنگل می‌تواند برای حفاظت پایدار از تنوع زیستی، مانند ایجاد و مدیریت مناطق حفاظت‌شده استفاده شود (Gezahegn et al., 2024). بنابراین طبیعت‌گردی مبتنی بر جنگل، افزون‌بر ترویج پایداری محیط زیست و حفاظت از طبیعت، به‌دلیل ماهیت اساسی آن در ایجاد منافع برای جوامع محلی مورد توجه قرار گرفته است (Admasu, 2020). ایجاد و بهبود زیرساخت‌های گردشگری از قبیل شبکهٔ جاده‌های دسترسی ابزاری مفید برای توسعه طبیعت‌گردی است (Tampakis et al., 2019). بنابراین توسعهٔ گردشگری وابسته به زیرساخت‌هایی مانند شبکهٔ جادهٔ حمل‌ونقل تسهیلات دسترسی و غیره است (Talebi et al., 2021). جاده‌های جنگلی از پرهزینه‌ترین سازه‌هایی هستند که در اجرای سیاست‌های جنگلداری مورد نیازند (Yildirim & Kadi, 2022). برنامه‌ریزی و ساخت جاده‌های جنگلی بر بسیاری از فعالیت‌های جنگلداری تأثیر مستقیم می‌گذارد (Kucuker, 2025). برای

برنامه‌ریزی اصولی و منطقی و استفادهٔ بهینه از هر عرصه‌ای به‌ویژه عرصه‌های منابع طبیعی، ابتدا باید استعدادها و قابلیت‌های اراضی مشخص شوند (Talebi et al., 2020). ساخت برنامه‌ریزی‌نشدهٔ مسیر جادهٔ جنگلی سبب اختلال در تمام فعالیت‌های جنگلداری می‌شود و پیامدهایی جدی دارد، از جمله تخریب زیستگاه، ایجاد فاجعهٔ زمین‌لغزش، از دست دادن مساحت جنگل، خسارت مالی ناشی از تعمیر و نگهداری جادهٔ جنگلی تخریب‌شده، ناپایداری دامنه و حرکت توده‌ای و آلودگی آب‌های خارج از محل (Yildirim & Kadi, 2022). از این‌رو انتخاب جایگزین مکان‌های مسیر، انتخاب پیشنهادهای معقول در پروژه‌های جاده، انتخاب استانداردهای جاده، مبادلهٔ بین هزینه‌های جاده‌سازی و هزینه‌های برداشت و انتخاب روش‌های حمل‌ونقل باکیفیت از موارد ارزیابی دقیق طراحی جاده‌ها و مسیرهای دسترسی به خدمات مختلف جنگل است (Day wieat et al., 2020). بنابراین با توجه به روش‌های مختلف تصمیم‌گیری در زمینهٔ کاربرد طراحی مسیرهای دسترسی، روش ANP را می‌توان کامل‌ترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نامیدکه دستیابی به هدف پژوهش مدنظر را بر اساس مدل‌سازی مکانی قابلیت عبور جاده با توجه به طبیعت‌گردی ممکن می‌سازد. در زمینهٔ طراحی جاده تا کنون پژوهش‌های زیادی صورت گرفته که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

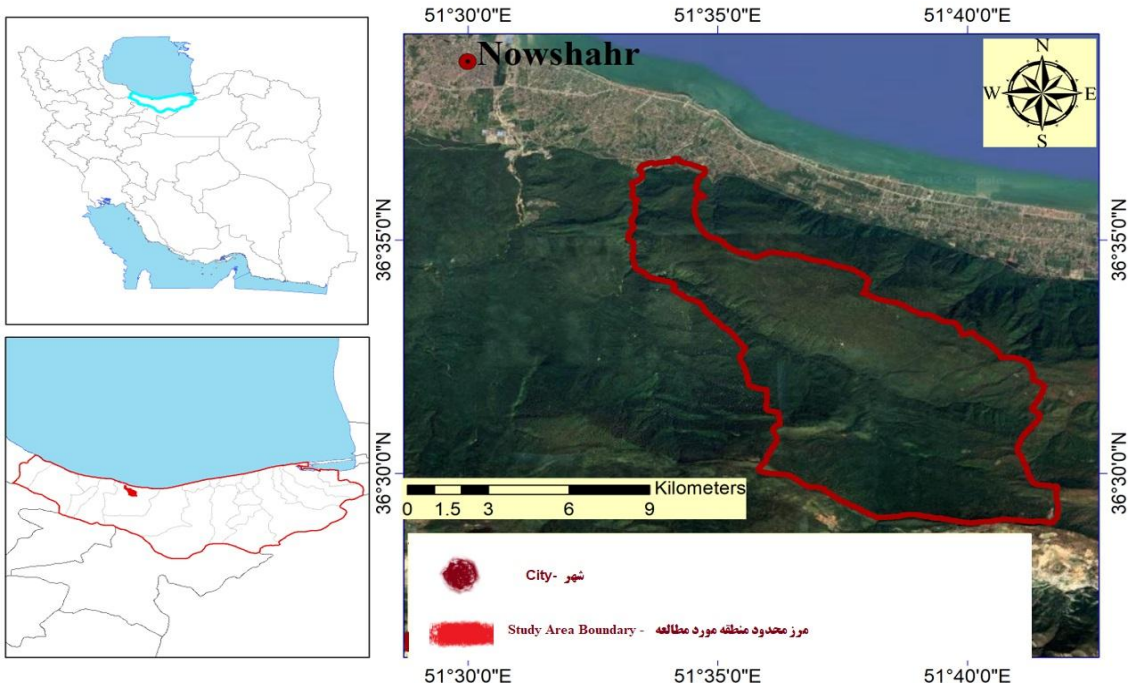
Moghadasi et al. (2015) پژوهشی را با هدف طراحی شبکهٔ جادهٔ جنگلی بر اساس جنگلداری چندمنظوره با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای در سری یک جنگل آموزشی و پژوهشی دارابکلا در هفت کیلومتری شرق ساری انجام دادند. نتایج نشان داد که نقشهٔ قابلیت طبقات پنج‌گانه برای عبور جاده در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار داشته است. آنها بیان داشته‌اند که در مجموع به‌دلیل هم‌پیوندی میان معیارها، برای طراحی جادهٔ جنگلی، به‌کارگیری مدل ANP به سبب توجه به ساختار شبکه‌ای در این مدل کارایی زیادی دارد. Talebi et al. (2020) در پژوهشی سعی کردند نقشهٔ شایستگی جاده‌سازی در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ ارسباران را برای دستیابی به نمونه‌های آموزشی در محیط ArcGIS تهیه کنند. بدین منظور آنها ابتدا با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و روش ترکیب وزن‌دهی خطی (WLC)و به‌کارگیری لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر مسیریابی، نقشهٔ شایستگی جاده‌سازی را برای دستیابی به نمونه‌های آموزشی در محیط ArcGIS تهیه کردند. یافته‌های آنها نشان داد که آنالیز حساسیت متغیرهای ورودی، چهار معیار شیب، سنگ بستر، حساسیت به فرسایش و بافت خاک به‌ترتیب بیشترین تأثیر را در تهیهٔ نقشهٔ شایستگی جاده‌سازی دارد. Sharifi et al. (2024) در پژوهش خود سعی کردند طراحی و تکمیل شبکهٔ جادهٔ جنگلی و افزودن مسیرهای پیاده‌روی را با هدف توسعهٔ گردشگری در جنگل خیرود با استفاده از قابلیت‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی و GIS ارزیابی کنند. آنها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای وزن‌دهی لایه‌های مؤثر استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که شیب زمین و زمین‌شناسی بیشترین اهمیت را در بین عوامل به خود اختصاص می‌دهند. انتخاب جایگزین مکان‌های مسیر، انتخاب پیشنهادهای معقول در پروژه‌های جاده، انتخاب استانداردهای جاده، مبادلهٔ بین هزینه‌های جاده‌سازی و هزینه‌های برداشت و انتخاب روش‌های حمل‌ونقل باکیفیت از موارد ارزیابی دقیق طراحی جاده‌ها و مسیرهای دسترسی به خدمات مختلف جنگل است (Day veath et al., 2020). با توجه به امتیازهای ویژهٔ جنگل خیرود در زمینهٔ خدمات اکوسیستمی و مدیریتی و آموزشی و از طرفی نظر به اعطای فرصت تنفس ده‌ساله به جنگل‌ها از دیدگاه سازمانی، باید منطقه را به‌سمت فعالیت‌های متناسب طبیعت‌گردی سوق داد. از این‌رو روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره برای این منظور بسیار مناسب‌اند. تا کنون تلاش‌هایی برای رفع مشکلات و استفاده از خدمات مختلف و متنوع موجود در جنگل و

ارتقای خدمات شبکهٔ جاده و شبکه‌های دسترسی به مکان‌های تفریحی و گردشگری و تدوین برنامهٔ توسعهٔ گردشگری جنگل‌های شمال کشور انجام گرفته است، اما به تلاش بیشتری در این زمینه نیاز است. علی‌رغم صرف هزینه‌های بسیار برای توسعهٔ گردشگری پایدار و مهار مشکلات آن در شمال کشور، دانش اندکی در خصوص شرایط موجد گردشگری پایدار در دست است. هدف این پژوهش طراحی شبکهٔ جادهٔ جنگلی بر اساس فعالیت‌های طبیعت‌گردی با مدل‌سازی مکانی قابلیت عبور جاده با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در جنگل خیرود نوشهر است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این پژوهش در جنگل‌های آموزشی پژوهشی خیرود از توابع شهرستان نوشهر استان مازندران با مساحت تقریبی ۸۰۰۰ هکتار با میانگین بارش سالانهٔ ۱۲۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۲۰۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. ناحیهٔ رویشی جنگل‌های خیرود در مختصات عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقهٔ شرقی با وسعت ۸۳ کیلومتر مربع جای دارد. خاک‌های این جنگل دارای رژیم رطوبتی یودیک و رژیم‌های حرارتی مزیک و ترمیک هستند و پوشش گیاهی منطقه از نوع درختان پهن‌برگ است. طول شبکه‌های جاده‌ای در منطقه ۱۵۶۷۰ متر و در حال حاضر طول شبکهٔ جاده ۴۰ کیلومتر از نوع درجه دو و سه است که انتهای آن به رودخانهٔ تاشه زه می‌رسد (Javanmard et al., 2018) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ پژوهش

Figure 1. Location of the study area

شیوهٔ اجرای پژوهش

پژوهش حاضر، برای انتخاب شاخص‌ها و معیارهای اثرگذار در تعیین نواحی مستعد برای ایجاد جاده‌های جنگلی با دیدگاه طبیعت‌گردی، از رویکرد دلفی استفاده شد. این روش دارای مراحل زیر است: تشکیل تیم اجرایی و انتخاب کارشناسان، تهیهٔ پرسشنامه و ارسال اولیهٔ آن به کارشناسان متخصص مرتبط با این پژوهش (جنگلداری، محیط زیست و گردشگری)، بررسی و ارسال مجدد به

دفعات لازم، تجزیه‌وتحلیل و در نهایت گزارش (Hayati et al., 2014 Salmeyan et al., 2019).

در اولین گام، ابتدا پرسشنامهٔ روش دلفی تهیه و تعدادی از معیارهای مهم و مؤثر در طراحی جاده‌های جنگلی با دیدگاه طبیعت‌گردی گردآوری و به‌صورت یکنواخت به روش‌های حضوری و مجازی بین کارشناسان توزیع شد و از آنها درخواست شد که موافقت و مخالفت خود را در مورد شاخص‌ها اعلام کنند و افزون‌بر این معیارها، دیگر معیارهای مؤثر در طراحی شبکهٔ جاده را که برای کاهش اثرهای محیط زیستی و افزایش صحت طراحی از نظر فنی و محیط زیستی مهم‌اند و در جدول ذکر نشده‌اند در انتهای فهرست اضافه کنند. بعد از جمع‌آوری پرسشنامه‌های مرحلهٔ اول که یک ماه طول کشید، اطلاعات خلاصه‌سازی، مرتب و طبقه‌بندی شده و در قالب پرسشنامهٔ مرحلهٔ دوم جدول‌بندی شدند. معیارهایی که نقشهٔ آنها قابل تهیه نبود از فهرست حذف و بقیهٔ معیارها بعد از آزمون دوجمله‌ای در محیط SPSS انتخاب شدند. پس از تعیین معیارهای ارزیابی، باید وزن و اهمیت نسبی هر یک از آنها در زمینهٔ هدف مدنظر تعیین شود. در این پژوهش از روش ANP استفاده شد.

ANP را می‌توان در چهار مرحلهٔ اصلی ساخت مدل و تبدیل مسئلهٔ موضوع به یک ساختار شبکه‌ای، تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی و تعیین بردارهای اولویت (جدول ۱)، تشکیل ابرماتریس (ماتریس تصمیم) و محاسبهٔ بردار وزن نهایی خلاصه کرد.

جدول ۱- مقیاسی برای مقایسه‌های زوجی (Malczewski, 1999)

Table 1. A scale for pairwise comparisons (Malczewski, 1999)

امتیاز اهمیت-Importance score	تعریف اهمیت-Definition of importance
1	اهمیت برابر - Equal importance
2	اهمیت برابر تا اهمیت متوسط-Equal importance to medium importance
3	اهمیت متوسط-Medium importance
4	اهمیت متوسط تا قوی-Medium importance to strong importance
5	اهمیت قوی-Strong importance
6	از اهمیت قوی تا اهمیت خیلی قوی- Strong importance to very strong importance
7	اهمیت خیلی قوی-Very strong importance
8	از اهمیت خیلی قوی تا اهمیت فوق‌العاده قوی- Very strong importance to extremely strong importance
9	اهمیت فوق‌العاده قوی-Extremely strong importance

برای یافتن ارتباط بین تأثیر شبکهٔ جاده و متغیرهای طراحی آن با فعالیت گردشگری، پرسشنامه بین متخصصان توزیع شد و پانزده متخصص در حوزه (جنگلداری، گردشگری و محیط زیست) به‌طور کامل به پرسش‌ها پاسخ دادند آنها میزان اهمیت و وابستگی بین خوشه‌ها و گزینه‌ها را تعیین کردند. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions وزن و اهمیت نسبی هریک از شاخص‌ها محاسبه شد. در مرحله بعد برای تلفیق و همپوشانی لایه‌های شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها از منطق فازی استفاده شد. در منطق فازی، میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازهٔ ۱ (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می‌شود. درجهٔ عضویت به‌طور معمول با یک تابع عضویت بیان می‌شود که شکل تابع می‌تواند به‌صورت خطی، غیرخطی، پیوسته یا ناپیوسته باشد (Bonham-Carter, 1991). رسیدن به موفقیت در به‌کارگیری ریاضیات فازی در کاربردهای مختلف تا حد زیادی به تعریف توابع عضویت مناسب بستگی دارد (Sui, 1992) در این تحقیق از روش خطی[1] که یکی از توابع عضویت در درجات فازی است استفاده و در نتیجه لایه‌ها استانداردسازی شد. با این کار ارزش

1. Linear

پیکسل‌ها در نقشه‌های شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها بین صفر تا ۱ قرار می‌گیرد که صفر نشان‌دهندهٔ تأثیر کم و ۱ نشان‌دهندهٔ تأثیر زیاد در تعین نواحی مستعد برای احداث جاده‌های جنگلی با نگاه طبیعت‌گردی است. در پایان با استفاده از عملیات همپوشانی فازی[1] در نرم‌افزار ARC GIS نقشهٔ نواحی مستعد برای ایجاد جاده‌های جنگلی با دیدگاه طبیعت‌گردی و همچنین وابسته به نظر کارشناسان محاسبه و ترسیم شد. بدین منظور پس از تشکیل نقشه‌های عضویت فازی مربوط به هر یک از معیارها، لایه‌ها در وزن‌های به‌دست‌آمده از روش ANP ضرب و سپس با استفاده از عملگر فازی اومگا[2] در نرم‌افزار ARC GIS با یکدیگر ترکیب شدند. عملگر فازی اومگا از حاصل‌ضرب عملگرهای ضرب و جمع فازی به‌صورت رابطهٔ ۱ تعریف می‌شود.

رابطهٔ ۱
$$\mu(x) = (Fuzzy\ Algebric\ Sum)^{\gamma} \times (Fuzzy\ Algebric\ Product)^{1-\gamma}$$

در رابطهٔ ۱، γ عددی بین صفر تا یک است. انتخاب صحیح و آگاهانهٔ γ، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهندهٔ سازگاری انعطاف‌پذیر میان گرایش‌های کاهشی ضرب فازی و گرایش‌های افزایشی جمع فازی است (Bonham-Carter, 1991). در این تحقیق γ=۰/۹ در نظر گرفته شد (Heydari Alamdarloo et al., 2020).

نتایج

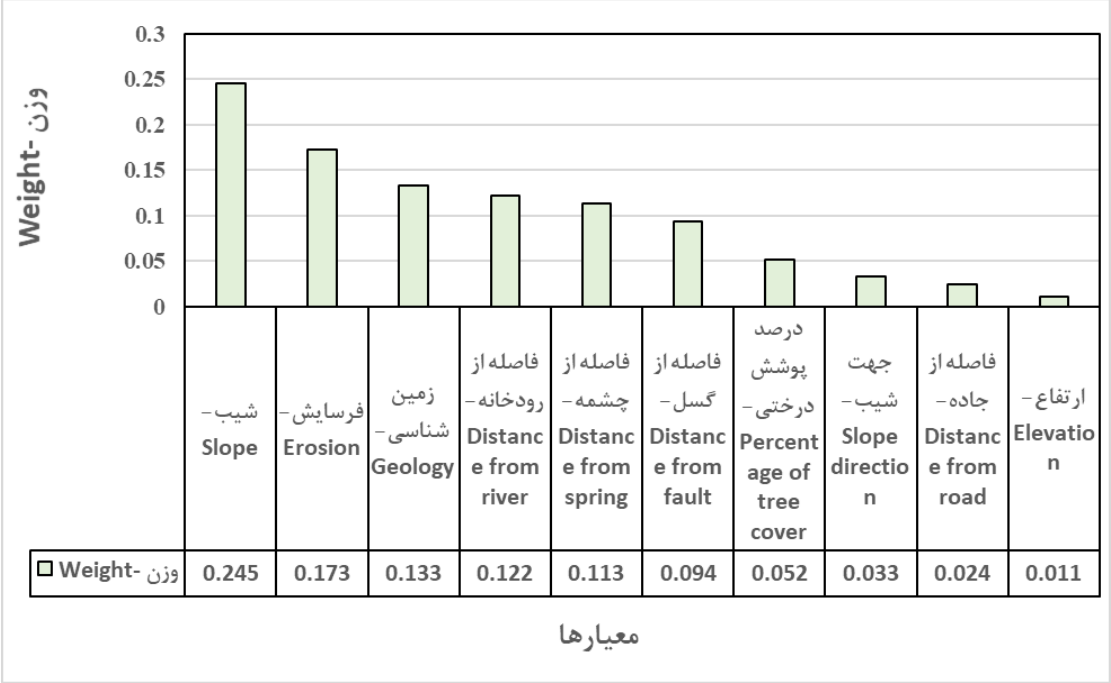
به‌طور کلی ۱۱ معیار مورد تأکید کارشناسان و متخصصان بود که از این تعداد ۱۰ معیار به کمک روش دلفی انتخاب شد (جدول ۲). در این بررسی پرسشنامه‌ها توسط ۲۰ نفر شامل متخصصانی از استادان دانشگاه و دانشجویان دکتری و کارشناسان مجرب اجرایی ادارات منابع طبیعی تکمیل شدند. در جدول ۲، نتایج هر یک از معیارهای بررسی‌شده توسط آزمون دوجمله‌ای و وضعیت آنها مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که معیار فاصله از آبادی نامناسب تشخیص داده و حذف شد. (Salmalian et al., 2020) در پژوهشی با هدف ارزیابی معیارهای مؤثر بر طراحی شبکهٔ جاده جنگلی در جنگل‌های لاکوبن، عباس‌آباد مازندران نیز معیار فاصله از آبادی را برای طراحی جاده غیرضروری دانستند. این مطلب نشان می‌دهد که فاصله از آبادی‌ها و روستاها در طراحی جاده‌های جنگلی، در مقایسه با معیارهای فنی و محیط زیستی مانند شیب و فرسایش، اهمیت کمتری دارد.

جدول ۲- اعتبارسنجی معیارهای تأثیرگذار (دلفی)[1]

Table 2. Validation of influential criteria (Delphi)

ردیف-Row	معیارها-Criteria	آزمون دوجمله‌ای-Binomial Test	وضعیت-Status
1	شیب-Slope	0.000	مناسب-Suitable
2	فرسایش-Erosion	0.000	مناسب-Suitable
3	زمین‌شناسی-Geology	0.000	مناسب-Suitable
4	فاصله از رودخانه-Distance from river	0.000	مناسب-Suitable
5	فاصله از چشمه-Distance from spring	0.000	مناسب-Suitable
6	فاصله از گسل-Distance from fault	0.000	مناسب-Suitable
7	درصد پوشش درختی-Percentage of tree cover	0.000	مناسب-Suitable
8	جهت شیب-Slope direction	0.005	مناسب-Suitable
9	فاصله از جاده-Distance from road	0.008	مناسب-Suitable
10	ارتفاع-Elevation	0.007	مناسب-Suitable
11	فاصله از آبادی-Distance from settlement	0.077	نامناسب-Unsuitable

1. Fuzzy Overlay
2. Fuzzy Operation Gamma



شکل ۲- وزن و اولویت‌بندی معیارهای تأثیرگذار

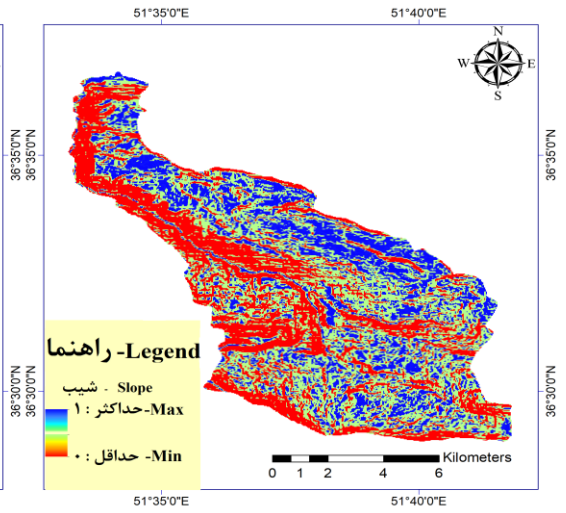
Figure 2. Weight chart and prioritization of influential criteria

در مرحلهٔ بعد به‌منظور استانداردسازی معیارها، نقشهٔ عضویت فازی هر معیار آماده شد. *Talebi et al.* (2018; 2020) نیز در پژوهش‌های خود از منطق فازی برای استانداردسازی معیارها استفاده کردند. بنابراین با توجه به طبقه‌بندی داخلی معیارها ارزش تمام لایه‌ها برای مقایسه در محدودهٔ صفر و ۱ قرار گرفتند. شکل۳ به‌ترتیب شامل الف: شیب دامنه، ب: فرسایش، پ: زمین‌شناسی، ت: فاصله از رودخانه، ث: فاصله از چشمه، ج: فاصله از گسل، چ: پوشش درختی، ح: جهت شیب، خ: فاصله از جاده، و د: ارتفاع است و هر کدام از نقشه‌ها خود استانداردشده عضویت فازی معیار را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه‌ها، پارامترهای شیب، جهت و ارتفاع از جمله عوامل زمینی هستند که در وقوع پدیده‌ها، طراحی شبکهٔ جاده جنگلی برای فعالیت گردشگری در طبیعت نقش دارند. تغییرات ارتفاعی نیز نه‌تنها به‌طور مستقیم در تکامل خاک نقش دارد، بلکه پارامترهای مهم جوی از جمله دما و بارش را تحت تأثیر قرار می‌دهد و عامل تغییردهندهٔ کلیما در سطح ناحیه‌ای و عامل پایه در تخریب سرزمین محسوب می‌شود. با توجه به نامناسب بودن استقرار فعالیت‌های انسانی در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر، این محدوده یکی از معیارهای استقرار فعالیت‌های گردشگری پایدار در طبیعت قلمداد شد و تأکید شد که تأسیسات و مراکز جمعیتی و تولیدی در ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر استقرار یابد. مطلوبیت هر منطقه برای توسعهٔ فیزیکی در طبقات شیب کمتر از ۱۵ درصد تأمین می‌شود. حد مجاز شیب برای تفرج گسترهٔ تا ۵۰ درصد است و در مناطق دارای شیب زیاد، ناگزیر باید عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی را انجام داد. از این‌رو بهتر است تا حد امکان از شیب‌های بسیار تند برای استقرار تأسیسات زیربنایی اجتناب شود. جهت‌های مختلف جغرافیایی از نظر جذب آفتاب، نقش مهمی در مقدار رطوبت دریافتی، تحول خاک و استقرار پوشش گیاهی و در نهایت وضعیت تخریب و فرسایش دارد. نقشهٔ شیب به پنج طبقهٔ صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰ و ۶۰ درصد به بالا طبقه‌بندی شد. بیشترین امتیاز مربوط به نواحی با

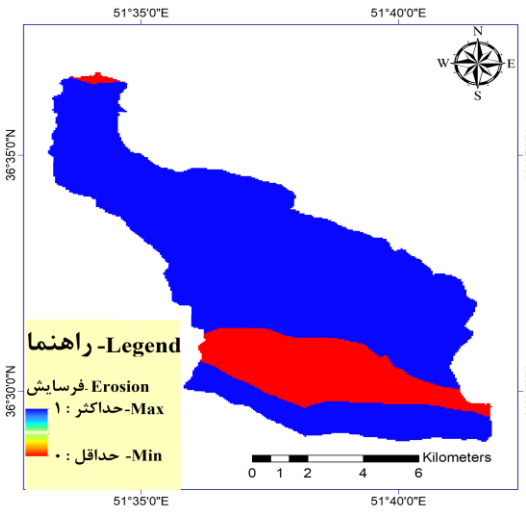
شیب کمتر از ۱۰ درصد و کمترین امتیاز مربوط به نواحی با شیب بیش از ۶۰ درصد است. نواحی دارای بیشترین امتیاز اغلب در مناطق شمال غربی تا شمال شرقی محدوده واقع شده است. نواحی مرزی نیمهٔ غربی و جنوبی نیز کمترین امتیاز را دارند. با توجه به نقشهٔ فرسایش محدوده، نواحی جنوب و بخش کمتری در نواحی شمال غرب بیشترین فرسایش‌پذیری را به خود اختصاص می‌دهند و به همین دلیل کمترین امتیاز را دارند. نتایج بررسی نقشهٔ زمین‌شناسی نشان داد که نواحی جنوب و همچنین شمال شرق حساس‌ترین سازندها و در نتیجه کمترین امتیاز و عبور از سطح جاده را به خود اختصاص داده‌اند. نقشهٔ فاصله از رودخانه نیز بر اساس تحقیقات Talebi et al. (2020) به سه طبقه تقسیم می‌شود: فواصل کمتر از ۵۰ متر که حریم رودخانه است و اجازهٔ احداث جاده در این طبقه وجود ندارد؛ طبقهٔ بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر که بهترین محل برای احداث جاده با هدف گردشگری است و بیشترین امتیاز را از نظر احداث جاده دارد و طبقهٔ بیش از ۱۰۰ متر که از نظر احداث جاده نسبت به دو طبقهٔ مذکور در سطح متوسط است. در نقشهٔ فاصله از چشمه نیز حریم رعایت شده و بقیهٔ نواحی محدوده دارای پتانسیل مناسب برای احداث جاده است. با توجه به نقشهٔ پوشش گیاهی، گیاهان نخستین و مهم‌ترین تولیدکننده‌ها در هر اکوسیستم محسوب می‌شوند که نقش مهمی در حفظ تعادل اکوسیستم دارند. تخریب پوشش گیاهی ممکن است در اثر فرایندهای طبیعی یا انسانی اتفاق بیفتد. تغییر اقلیم یکی از عواملی است که ممکن است موجب از بین رفتن برخی گونه‌ها یا زیستگاه‌ها شود و اغلب از طریق کاهش رطوبت سبب کاهش زی‌تودهٔ گیاهی یا غلبهٔ گونه‌های مهاجم می‌شود. پوشش گیاهی منطقه از نظر تراکم و تنوع گونه‌ای و عوامل دیگر نقش بسزایی در طبیعت‌گردی دارد و طراحی مسیرهای دسترسی به مناظر مختلف خود می‌تواند سبب ایجاد رضایت گردشگران شود و در غیر این‌صورت تأثیر نامطلوب بر گردشگری طبیعت در مناطق جنگلی را ایجاد می‌کند؛ به‌طوری که مناطق مطلوب‌تر برای عبور جاده دارای اثرهای سوء محیط زیستی و هزینهٔ کمتری است. بنابراین معیارهای شیب، ارتفاع و سنگ‌شناسی با تأثیر غیرمستقیم بر هزینه مورد توجه واقع شدند. دامنه‌های با شیب کمتر (حجم خاک‌برداری کمتر)، ارتفاعات پایین‌تر به‌دلیل خطر کمتر یخبندان و تورم سطح جاده و مناطقی با پایداری مناسب برای خاک‌برداری و تهیهٔ مصالح جاده‌سازی، دارای هزینهٔ احداث و تعمیر و نگهداری کمتر و در نتیجه مطلوب‌تر برای عبور جاده هستند.

در نهایت با استفاده از عملگر فازی اومگا در نرم‌افزار ARC GIS همپوشانی فازی نقشه‌های عضویت فازی معیارها انجام گرفت و با استفاده از روش شکست طبیعی، پنج دسته به دست آمد و در نهایت نقشهٔ قابلیت عبور جاده تهیه شد (شکل۴). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، نواحی جنوبی و شمال غربی، اغلب در طبقهٔ قابلیت عبور خیلی کم قرار گرفته‌اند و برای مسیر جاده با دیدگاه گردشگری مناسب نیستند. ۱۲/۲ و ۲۰/۸ درصد مساحت محدوده به‌ترتیب در طبقهٔ قابلیت عبور خیلی کم و کم قرار گرفته‌اند. نواحی مرکزی تا شمال و شرق اغلب در طبقهٔ قابلیت عبور خیلی زیاد و زیاد جای گرفته‌اند. ۱۴ و ۲۶/۵ درصد از مساحت محدوده به‌ترتیب در طبقه‌های قابلیت عبور خیلی زیاد و زیاد قرار می‌گیرند (جدول ۳). در مجموع نتایج نشان داد که معیارهای شیب، فرسایش و زمین‌شناسی مؤثرترین نقش را در مکان‌یابی جاده‌های جنگلی با رویکرد طبیعت‌گردی دارند و نواحی مرکزی و شمالی خیرود بیشترین قابلیت را برای عبور جاده دارا هستند.

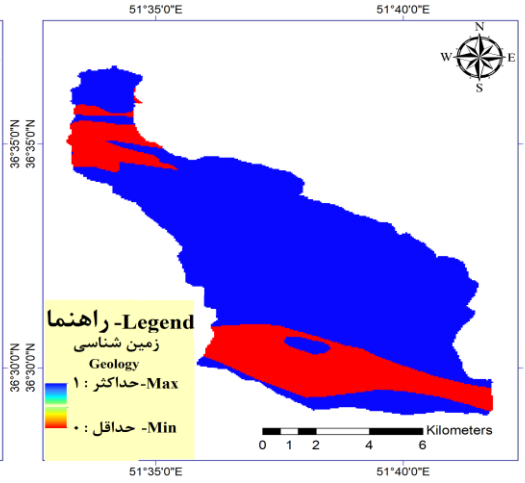
الف a



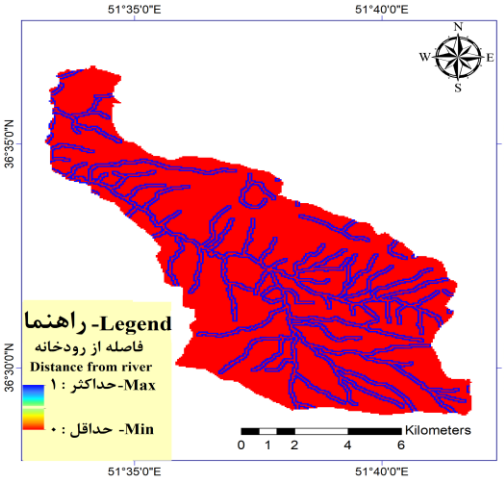
ب b



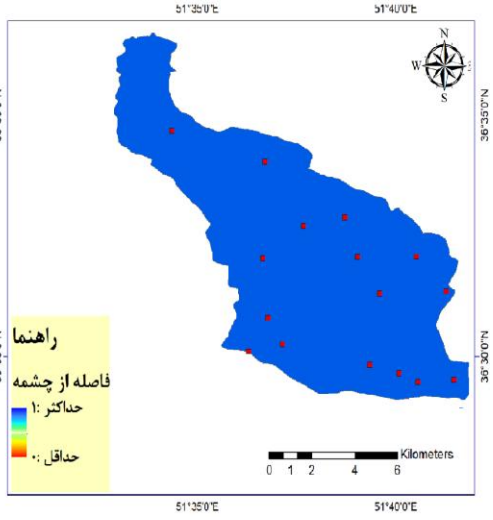
پ c



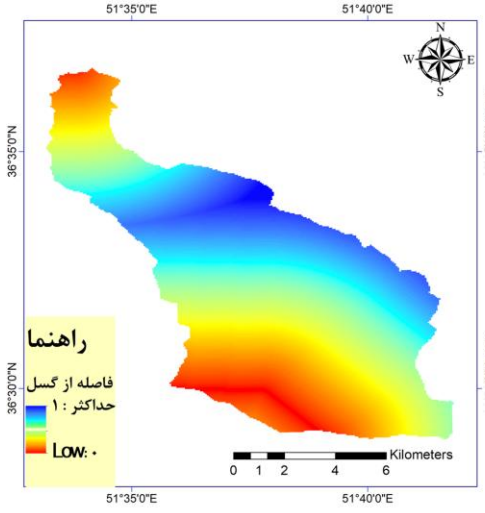
ت d



ث e

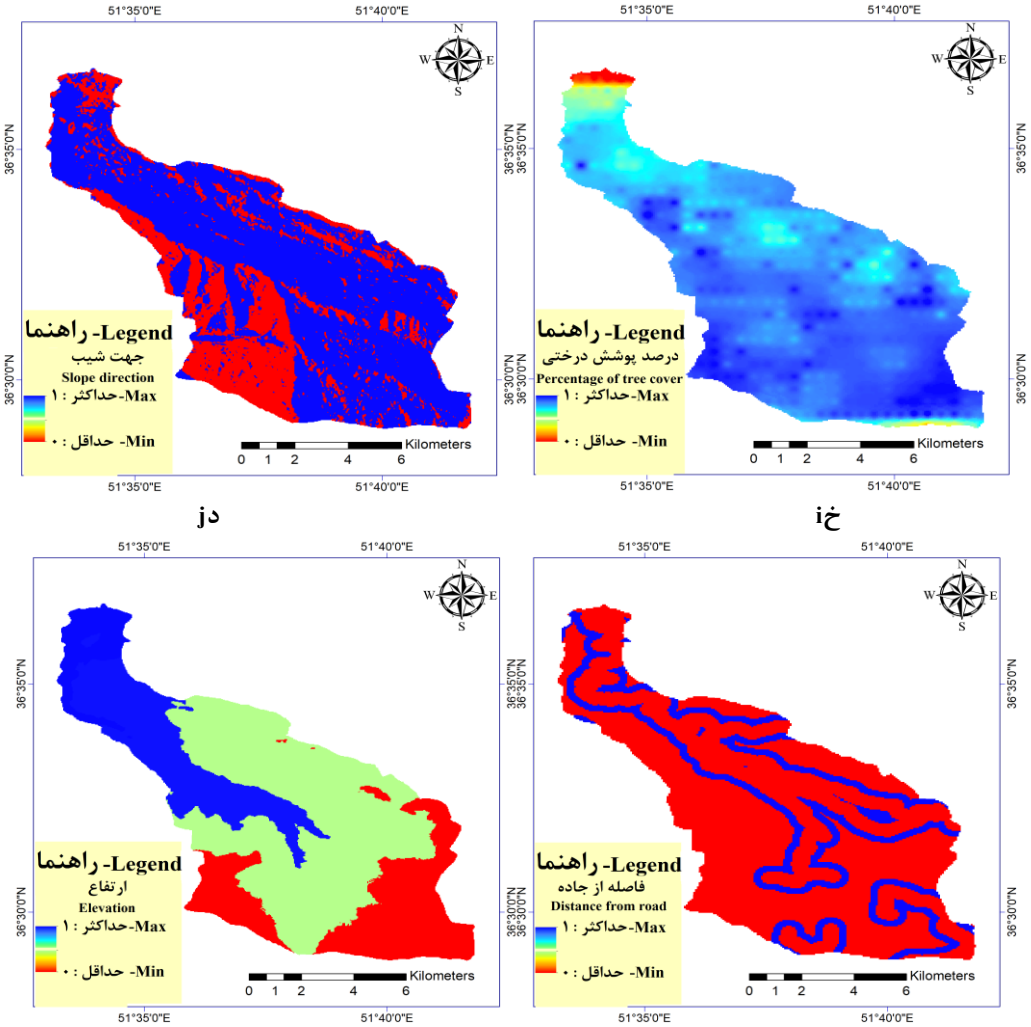


ج f



چ g

ح h



شکل ۳- نقشهٔ عضویت فازی معیارهای تأثیرگذار (الف: شیب دامنه ، ب: فرسایش، پ: زمین‌شناسی، ت: فاصله از رودخانه، ث: فاصله از چشمه، ج: فاصله از گسل، چ: پوشش درختی، ح: جهت شیب، خ: فاصله از جاده، د: ارتفاع)

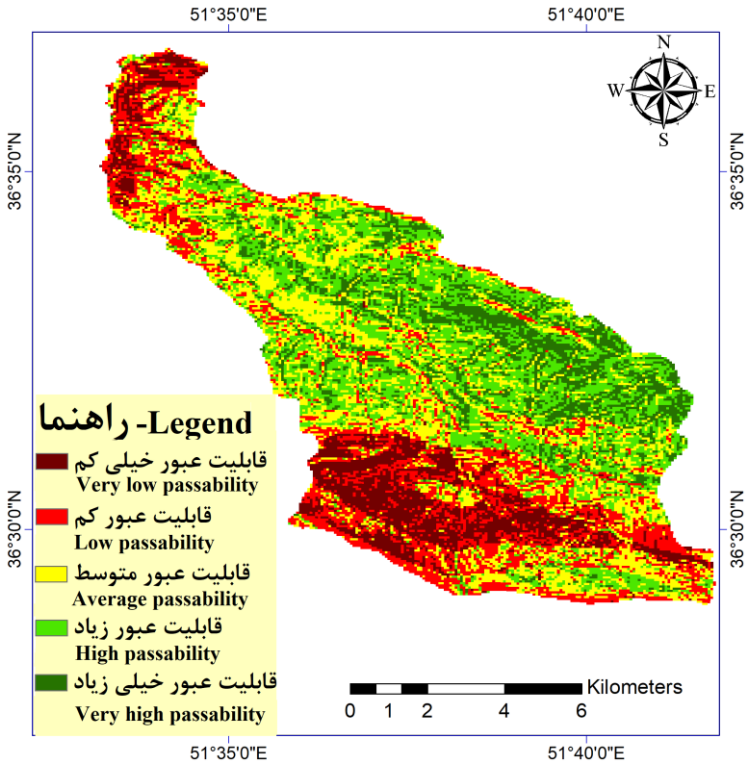
Figure 3. Fuzzy membership map of influential criteria

A: Slope, B: Erosion, C: Geology, D: Distance from river, E: Distance from spring, F: Distance from fault, G: Tree cover, H: Slope direction, I: Distance from road, J: Elevation

جدول ۳- درصد مساحت طبقات قابلیت عبور جاده

Table 3. Percentage of area of road possibility classes

Row-ردیف	Class-طبقه	Area Percentage-درصد مساحت
1	Very low possibility -قابلیت عبور خیلی کم	12.2
2	Low possibility-قابلیت عبور کم	20.8
3	Average possibility -قابلیت عبور متوسط	26.5
4	High possibility-قابلیت عبور زیاد	26.5
5	Very high possibility-قابلیت عبور خیلی زیاد	14



شکل ۴- نقشهٔ قابلیت عبور جاده با رویکرد طبیعت‌گردی

Figure 4. Road pass ability map based on tourism approach

بحث

جنگل‌ها از مهم‌ترین منابعی هستند که امروزه توجه برنامه‌ریزان حوزهٔ طبیعت‌گردی را به خود معطوف کرده‌اند. جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود در استان مازندران با برخورداری از جاذبه‌های طبیعی و بکر، قابلیت بسیار مناسبی برای جذب گردشگران دارد به نظر می‌رسد با توجه به سیاستگذاری مبتنی بر ایدهٔ تنفس جنگل در سال‌های اخیر، تفرج برنامه‌ریزی‌شده در عرصهٔ جنگل از راهکارهای مناسب برای مدیریت جنگل‌های تحت بررسی به‌منظور کاهش عوامل تخریب و حفاظت پایدار آنها باشد. با توجه به شرایط منطقه، برنامه‌ریزی دسترسی و توسعهٔ گردشگری یکی از راه‌های توسعهٔ پایدار محدودهٔ پژوهش است. این پژوهش به مسئلهٔ برنامه‌ریزی برای احداث جاده‌های جنگلی با نگاهی نوین و پایدار، یعنی رویکرد طبیعت‌گردی، پرداخته است. در نهایت، این تحقیق به‌روشنی ثابت می‌کند که رویکردهای نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در کنار قابلیت‌های تحلیل مکانیGIS ، روش‌شناسی متکی بر ترکیب تکنیک دلفی، فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) مزیت اصلی آن محسوب می‌شود. به‌طوری که طراحی جاده افزون‌بر دیدگاه گردشگری، با در نظر گرفتن این مسائل سبب کاهش تخریب محیط زیست و هزینه‌های ساخت و تعمیر و نگهداری جاده می‌شود. به‌کارگیری روش دلفی موجب شد تا معیارهای اثرگذار با اجماع نظر متخصصان شناسایی و غربالگری و همچنین حذف معیارهای ناکارآمد، استفاده از روش ANPسبب اهمیت معیارها و روابط پیچیده و وابستگی‌های متقابل بین آنها را نسبت به روش‌های ساده‌تر مانند AHP نشان می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر همانند پژوهش‌های پیشین (Arabatzis et al., 2024, Talebi et al., 2020, Talebi et al., 2018 & Lang et al., 2023 قابلیت GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را در طراحی شبکهٔ جادهٔ جنگلی به اثبات رساند. همچنین در این پژوهش همسو با دیگر پژوهش‌ها Long et al., 2023; Talebi et al., 2018; Talebi et al., 2020; Gavanmard et

(al., 2018) به مکان‌یابی شبکهٔ جاده با توجه به اثرهای زیست‌محیطی و هزینه پرداخته شد. به‌طوری که طراحی جاده افزون‌بر دیدگاه گردشگری، با در نظر گرفتن این مسائل سبب کاهش تخریب محیط زیست و هزینه‌های ساخت و تعمیر و نگهداری جاده می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تعیین وزن معیارها آشکار کرد که سه معیار شیب، فرسایش و زمین‌شناسی به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل در تعیین مسیر بهینهٔ جاده و منطبق بر اصول مهندسی و اکولوژیک است که بر هزینه‌های ساخت، ایمنی و پتانسیل فرسایش تأثیر مستقیم می‌گذارد و ناپایداری زمین‌شناسی می‌تواند خطرهایی چون رانش زمین را در پی داشته باشد. از سوی دیگر معیارهایی مانند ارتفاع و جهت شیب هم مؤثرند، اما اهمیت کمتری دارند. پیاده‌سازی منطق فازی برای استانداردسازی همهٔ لایه‌ها در یک بازهٔ واحد (۰ تا ۱) و سپس تلفیق آنها با عملگر مناسب (عملگر اومگا)، نقشهٔ قابلیت عبور جاده را از دقت و انعطاف زیادی برخوردار کرد. این نقشه نشان داد که حدود ۴۰/۵ درصد از منطقه (اغلب در نواحی مرکزی، شمالی و شرقی) از پتانسیل «زیاد» و «خیلی زیاد» برای احداث جاده برخوردارند. در مقابل، حدود ۳۳ درصد از مساحت (در جنوب و شمال غربی) به‌دلیل شیب زیاد، حساسیت زیاد فرسایشی و ناپایداری زمین‌شناسی، برای این منظور نامناسب‌اند. در نهایت، این تحقیق به‌روشنی ثابت می‌کند که رویکردهای نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در کنار قابلیت‌های تحلیل مکانی GIS، در زمینهٔ توسعه ابزاری ضروری و کارآمد است. بنابراین به برنامه‌ریزان و مدیران منابع طبیعی، توصیه می‌شود که پروژه‌های توسعه‌ای مانند شبکهٔ جاده‌های جنگلی را به‌گونه‌ای پیش ببرند که افزون‌بر تأمین اهداف اقتصادی و گردشگری، پایداری اکوسیستم‌های حساس جنگلی را نیز برای نسل‌های آینده تضمین کنند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های مشابه داخلی و بین‌المللی همخوانی کامل دارد و صحت روش‌شناسی به‌کارگرفته‌شده را تأیید می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه تهران بابت حمایت مالی (گرنت) و همکاری در زمینهٔ امور اجرایی مقاله و همچنین از داوران ارجمند بابت کمک در بهبود و ارتقای این پژوهش سپاسگزاری به عمل می‌آورند.

References

Admasu, S. (2020). Ecotourism as a tool to substantially funding conservation endeavors in Ethiopia. *Journal of Tourism and Hospitality, 9*(3), 432. (In Persian).

Amir Ahmadi, A., Shekari Badi, A., Motamedi Rad, M., & Binalood, M. (2015). Landslide hazard zoning using the ANP model (case study: Pivehgen basin, southern slope of Binalood). *Quantitative Geomorphology Research, 4*(3), 214-230. (In Persian)

Bonham-Carter, G.F. (1991). Geographic Information System for Geoscientists: Modeling with GIS . Computer Methods in the Geosciences, 398 P.

Danekar, A., Asadollahi, Z., Alizadeh, A., & Javanshir, A. (2019). Nature-based tourism planning using spatial multi-criteria assessment. Natural Environment Journal. *Iranian Journal of Natural Resources,* 65(1), 53-66. (In Persian)

De Witt, A., Boston, K., & Leshchinsky, B. (2020). Predicting aggregate degradation in forest roads in Northwest Oregon. *Forests, 11*, 729.

Favretto, N., Luedeling, E. (2017). Valuing ecosystem services in semi-arid rangelandsthrough stochastic simulation. *Land Degrad Devm, 28*(1), 65-73.

Gezahegn, B., Girma, Z., & Debele, M. (2024). Local community attitude towards forest-based ecotourism development in Arbegona and Nensebo Woredas, southern Ethiopia. International *Journal of Forestry Research, 2024*(1), 4617793.

Hayati, E., Abdi, E., Majnunian, B., & Makhdoom, M. (2014). Performance and sensitivity of Delphi and AHP decision-making methods to the response of decision-making groups in natural resource research. *Journal of Forest and Wood Products, 67*(2), 173-186. doi: 10.22059/j fwp.2014.51539. (In Persian)

Heydari A., Khosravi, H., Nasabpour, S., & Gholami, A. (2020). Assessment of drought hazard, vulnerability and risk in Iran using GIS techniques. *Journal of Arid Land, 12*(6), 984-1000. (In Persian)

Hosseini, S.A., Moghadasi, P., & Gorgandipur, M. (2014). Application of some perceptive factor in the design of the forest road path of Darabkola, International conference on New finding in agricultural sciences, Natural Resources and the EnrironMent, 11p. (In Persian)

Javanmard, M., Abdi, A., Ghati, M., & Majnoonian, B. (2018). Designing a forest road network using an artificial network. *Iranian Forest Journal, 10*(2), 139-152. (In Persian)

Kucuker, D.M. (2025). Analyzing landslide susceptibility of forest roads by analytical hierarchy process (AHP) in of forest planning unit of Turkiye. *Natural Hazards, 121*(2), 2323-2345.

Long, C., Pang, Y., & Wang, Z. (2023). Study of the sustainability of a forest road network using GIS-MCE. *Forests, 14*(12), 2410.

Merry, K., Bettinger, P., Siry, J., Bowker, J.M., Weaver, S., & Ucar, Z. (2018). Mapping potential motorised sightseeingrecreation supply across broad privately-owned landscapes of the Southern United States. *Landsc Resourche, 43*(5), 721-34.

Moghadasi, P., Hosseini, S.A., & Fallah, A. (2015). Application of Analytical Network Process (ANP) in Designing Forest Road Network Based on Multipurpose Forestry. *Journal of Forest and Wood Products, 68*(2), 383-394. doi: 10.22059/jfwp.2015.54839 124. SID. https://sid.ir/paper/387075/fa (In persian)

Mondino, E., & Beery, T. (2019). Ecotourism as a learning tool for sustainable development. The case of Monviso Transboundary Biosphere Reserve, Italy. *Journal of ecotourism, 18*(2), 107-121.

Salmalian, M., Mousavimirkola, S.R., Erfanian, M., & Hosseinzadeh, O. (2020). Applying Delphi Technique and TOPSIS Method in Designing Forest Road Network Using GIS (Case Study: Lakoban Forests, Abbasabad, Mazandaran). *Forest Research and Development, 6*(4), 695-713. doi: 10.30466/jfrd.2020.120868(In Persian)

Sharifi, M., Abdi, E., Talebi, M., Makhdoom, M., & Karimi, Z. (2024). Completing the forest road network with the aim of developing tourism using artificial neural network and GIS (Case study: Khairud forest). *Iranian Forest Journal, 16*(3), 357-369. doi: 10.22034/ijf.2024.382962.1915(In Persian)

Sui, D.Z. (1992). A fuzzy GIS modeling approach for urban land evaluation. *Computers, environment and urban systems, 16*(2), 101-115.

Talebi, M., Majnunian, B., Makhdoom, M., Abdi, E., & Omid, M. (2021). Design and improvement of forest road network for tourism and rural development in Arasbaran region. *Iranian Forest Journal, 13*(4), 361-377. doi: 10.22034/ijf.2021.141078(In Persian)

Talebi, M., Majnunian, B., Makhdoom, M., Abdi, E., & Omid, M. (2018). Designing a forest road network for the development of tourism in the Arasbaran protected area using a geographic information system. *Remote Sensing and Geographic Information Systems in Natural Resources, 1*(9), 93-112. (In Persian)

Talebi, M., Majnunian, B., Makhdoom, M., Abdi, E., & Omid, M. (20۲۱). Classification of protected forest areas for road network design (Case study: Arasbaran vegetation region). *Forest Ecology of Iran, 8*(16), 115-122. (In Persian)

Tampakis, S., Andrea, V., Karanikola, P., & Pailas, I. (2019). The growth of mountain tourism in a traditional forest area of Greece. *Forests, 10*(11), 1022.

Yildirim, F., & Kadi, F. (2022). Production of optimum forest roads and comparison of these routes with current forest roads: a case study in Maçka, Turkey. *Geocarto International, 37*(8), 2175-2197.

Zacarias, D.A., & Loyola, R. (2017). How ecotourism affects human communities, Ecotourism's Promise and Peril, Springer, Cham, Switzerland, 133–151.

Iranian Journal of Forest
Vol. 18, No. 1, Spring 2026
pp. 71-85
Research Article

DOI: 10.22034/ijf.2026.545099.2067
CC BY 4.0

Spatial modeling of forest road pass ability with an Eco- tourism approach using multi-criteria decision-making methods in Kheyrud Forest, Nowshahr

R. Kokabiasl[1], S.A. ollah Hosseini [2*], A. Danekar[3], and H. Khosravi [4]

[1]Ph.D. student, Dept. of Forestry and Forest Economics, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran , I. R. Iran
[2]Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran , I. R. Iran
[3]Prof., Dept. of Environment, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran , I. R. Iran
[4]Prof., Dept. of Desert Restoration and Areas, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 4 September 2025; Accepted: 2 October 2025)

Abstract

Introduction: The increasing demand for participation in forest-based tourism activities has made it necessary to understand the factors affecting the choice of these destinations. The road network and its appropriate design are of fundamental importance for tourism and ecotourism, because only in this way safe, convenient, and efficient access to natural and cultural attractions can be provided. This research was conducted with the aim of designing a forest road network with an ecotourism approach in the Kheyrud Forest, Noshahr.

Materials and Methods: In this study, according to the design criteria of a tourism-based road designing, first, the important 11 criteria including slope, erosion, geology, distance from the river, distance from the spring, distance from the fault, percentage of tree cover, slope direction, distance from the road, height and distance from the settlement were selected using the Delphi method. Then, using the Analytical Network Process (ANP), weight was assigned to each of the selected criteria. Finally, using the fuzzy overlap operation in ARC GIS software, a map of the areas susceptible to creating forest roads with a view to nature tourism was calculated and drawn.

Results: According to the results obtained, the three criteria of slope, erosion and geology have the highest weight in the designing of forest roads with an ecotourism perspective. The slope of the land plays a decisive role in the selection of forest road routes, because it affects construction costs, ecological sustainability and infrastructure safety. The results of the fuzzy layer overlap showed that 26.5% of the area has high pass ability and 14% has very high potential for the construction of ecotourism roads, while 12.2% of the area was considered unsuitable for road construction due to a slope above 60% and environmental sensitivity.

Conclusion: Based on the sensitivity maps, the results showed that the slope, erosion, and geology criteria had the greatest impact on determining the optimal route for nature tourism, and the distance from the settlement criterion was not very important and was eliminated. The results also showed that the capabilities of GIS and multi-criteria decision-making methods can be a suitable solution for determining areas with suitable pass ability.

Keywords: Forest roads, Ecotourism, Kheyrud forest, Fuzzy membership.

[*]Corresponding author: Tel: +98 2632249312 Email: at.hosseini@ut.ac.ir