دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

طبقه‌بندی عرصه‌های جنگلی حفاظت شده برای طراحی شبکه جاده (مطالعه موردی: منطقه رویشی ارسباران)

منیژه طالبی[۱]، باریس مجنونیان[۲]، مجید مخدوم[۲]، احسان عبدی[۳] و محمود امید[۴]

۱- دکتری مهندسی جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران (نویسنده مسوول: m_talebi@ut.ac.ir)
۲- استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳- دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۴- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۶
صفحه: ۱۱۵ تا ۱۲۴

چکیده

شبکه جاده از ارکان مهم برای مدیریت پایدار بوم‌سازگان جنگلی است. از طرفی با رعایت مسائل زیست‌محیطی و اصول فنی در طراحی جاده می‌توان کارایی و کیفیت طراحی را بهبود بخشید. لذا این مطالعه با هدف تعیین قابلیت منطقه حفاظت‌شده ارسباران برای عبور جاده و راه‌های ارتباطی به‌منظور استفاده در مدیریت منطقه انجام گرفت. بدین منظور پس از شناسایی معیارهای شیب، جهت، ارتفاع، بافت خاک، سنگ‌شناسی، حساسیت به فرسایش، تراکم پوشش‌گیاهی، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده موجود با استفاده از منابع به‌عنوان معیارهای موثر بر طراحی جاده و تهیه لایه‌های اطلاعاتی، نقشه‌های تهیه شده با روش منطق فازی استانداردسازی شدند. سپس معیارها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وزن‌دهی و در نهایت جهت تهیه نقشه شایستگی جاده‌سازی با روش ترکیب وزن‌دهی خطی (WLC) در نرم‌افزار ArcGIS رویهم‌گذاری شدند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، معیار شیب بیشترین وزن (۰/۲۸۹) و معیار ارتفاع کمترین وزن (۰/۰۳۳) را به خود اختصاص دادند. در نهایت منطقه به چهار کلاس با قابلیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد جهت عبور شبکه جاده طبقه‌بندی شد، که منطقه با قابلیت متوسط بیشترین درصد (۴۹/۸۳٪) را برای عبور جاده دارا می‌باشد. مطالعه حاضر قابلیت‌های GIS و AHP را با توجه به مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی برای تهیه نقشه قابلیت جاده‌سازی جهت استفاده برای مکان‌یابی جاده در منطقه ارسباران به اثبات رساند.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، قابلیت عبور جاده، مدیریت پایدار، منطق فازی

مقدمه

جاده‌های جنگلی ساختارهای اصلی برای مدیریت و دسترسی به مناطق جنگلی هستند (۱۹). در گذشته شبکه جاده جنگلی براساس نقش تولیدی جنگل به‌ویژه تولید چوب برنامه‌ریزی می‌شد (۱۴). امروزه شبکه جاده مناسب و برنامه‌ریزی چندمنظوره برای مدیریت پایدار کارکردهای جنگل از قبیل تولید چوب، گردشگری، ذخیره آب، حفاظت و غیره بسیار مهم می‌باشد (۱۲،۱۳،۳۰). استفاده از کارکردهای جنگل و دسترسی به مناطق مختلف نیازمند شبکه جاده می‌باشد (۱۲)، بنابراین شبکه جاده مناسب از نیازهای اساسی هر منطقه جنگلی است. از طرفی ساخت و نگهداری جاده‌های جنگلی از عملیات پرهزینه و مخرب در جنگل به‌شمار می‌رود (۶،۲۱)، به‌ویژه اگر استانداردهای طراحی رعایت نشده باشند. بنابراین با طراحی مناسب جاده‌ها می‌بایست کمترین خسارت به جنگل وارد شود (۲۳) مدیریت درست منابع‌طبیعی راه‌حل بی‌نظیری برای دستیابی به توسعه پایدار است. در این راستا طراحی و ساخت شبکه جاده سازگار با ارزش‌های زیست‌محیطی برای مدیریت پایدار بوم‌سازگان جنگلی بسیار مهم است (۹). با این وجود، تصمیم‌گیری برای انتخاب محل‌های مناسب برای عبور جاده با کمترین خسارت زیست‌محیطی و هزینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۴). طراحی و ساخت جاده‌های جنگلی در مناطق نامناسب، نه تنها باعث افزایش هزینه‌های ساخت و تعمیر و نگهداری جاده می‌گردد بلکه اثرات زیست‌محیطی فراوانی را نیز در پی دارد (۲۱). برای برنامه‌ریزی اصولی و منطقی و استفاده بهینه از هر عرصه‌ای به‌ویژه عرصه‌های منابع‌طبیعی، ابتدا بایستی استعدادها و قابلیت‌های اراضی مشخص شوند. در این راستا می‌توان از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[۱] با واردسازی نظرات متخصصان در روند تصمیم‌گیری و ارزیابی جهت وزن‌دهی معیارها (۲۶،۱۰) و از ارزیابی چندمعیاری در GIS برای ترکیب و تلفیق مشخصه‌های مختلف و با اهمیت‌های متفاوت با صرف زمان کمتر و دقت بهتر بهره گرفت (۱). در مطالعات متعدد انجام گرفته در رابطه با تهیه نقشه قابلیت عبور و مسئله مکان‌یابی شبکه جاده جنگلی از این روش‌ها بهره گرفته شده است. به طوری‌که رافت‌نیا و همکاران (۲۴) در مطالعه‌ای در حوضه سرخاب خرم‌آباد معیارهای شیب، خطر پهنه‌بندی زمین‌لغزش، کاربری آتی، فاصله از مناطق روستایی، تفرجی و زیارتی را از عوامل تاثیرگذار در مسیریابی معرفی و با استفاده از تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی اقدام به وزن‌دهی هر یک از نقشه‌ها و تلفیق آن‌ها نمودند. آنان دریافتند که این روش به عبور جاده از مناطق با هزینه جاده‌سازی پایین و پوشش شبکه‌بندی قابل قبول کمک کرده و می‌تواند جایگزین روش‌های سنتی باشد. مصطفی و همکاران (۲۲) در پژوهشی به بررسی وضعیت جاده‌های جنگلی موجود و طراحی شبکه جاده حوزه آرمرده بانه در استان کردستان براساس طرح جنگلداری چندمنظوره پرداختند که در این مطالعه لایه‌های شیب، جهت، تیپ و فاصله از مناطق مسکونی و تفریحی به‌عنوان مهمترین عوامل موثر در طراحی مسیر جاده با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی وزن‌دهی شدند. سپس در محیط GIS[۲] با در نظر گرفتن وزن‌های بدست آمده نقشه

1- Analytical Hierarchy Process (AHP)
2- Geographical Information System (GIS)

قابلیت مناطق برای عبور مسیر جاده تهیه شد. عزیزی و نجفی (۴) در مطالعه خود در جنگل‌های لیره‌سر تنکابن با بهره‌گیری از نظریه مجموعه‌های فازی اقدام به طبقه‌بندی عرصه جنگل برای طراحی مسیر جاده‌های جنگلی براساس لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت، خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، موجودی سرپای جنگل و تیپ جنگل نمودند. سیبی و رافت‌نیا (۲۷) در پژوهشی در سری ۸ اسپی رود جهت تهیه نقشه قابلیت عبور جاده، نقشه‌های موثر در طراحی جاده شامل شیب، جهت، خاکشناسی، زمین‌شناسی، تیپ‌بندی، موجودی در هکتار و ارتفاع را با AHP وزن‌دهی و با تلفیق نقشه‌های وزن داده شده، نقشه قابلیت عبور جاده را تهیه کردند. جوانمرد و همکاران (۱۶) در تحقیقی در بخش پاتم جنگل خیرود معیارهای شیب، زمین‌شناسی و بافت خاک را با استفاده از AHP وزن‌دهی و از روش وزن‌دهی خطی (WLC)[1] جهت تهیه نقشه شایستگی عبور شبکه جاده به‌منظور آموزش شبکه عصبی و برآورد میزان مطلوبیت عبور جاده پنج بخش جنگل استفاده کردند. طالبی و همکاران (۲۹) در مطالعه‌ای از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی و برآورد میزان مطلوبیت منطقه حفاظت‌شده ارسباران برای عبور جاده استفاده کردند. اسماعیل و یوسف (۱۵) در مطالعه‌ای در جنگل Sungai Tekai در ایالت Pahang مالزی به ارائه یک روش یکپارچه‌سازی اطلاعات سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی جاده دسترسی برای بهره‌برداری جنگل با توجه به اثرات زیست‌محیطی و هزینه پرداخت. لذا چهار معیار موثر بر ساخت جاده شامل ارتفاع، شیب، فاصله از دریاچه و فاصله از جاده‌های موجود برای طراحی جاده دسترسی به کار گرفته شدند. محمدی سامانی و همکاران (۲۱) در تحقیقی در جنگل‌های شمال کشور با استفاده از GIS و AHP به مکان‌یابی جاده‌های جنگلی پرداختند. در این مطالعه ابتدا مهمترین لایه‌ها در مکان‌یابی جاده‌های جنگلی شامل شیب، نوع خاک، زمین‌شناسی، شبکه هیدروگرافیک، جهت جغرافیایی، حجم در هکتار (مترمکعب)، تیپ درختی و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی وزن‌دهی شدند. در مرحله بعد نقشه‌های عوامل موثر با توجه به وزن آن‌ها تلفیق شده و منطقه مورد مطالعه به پنج کلاس بسیارخوب، خوب، متوسط، بد و بسیار بد جهت ساخت جاده طبقه‌بندی شد. کالیسکان (۶) در مطالعه‌ای در ایالت Artvin ترکیه با استفاده از GIS و بر اساس آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA)، از فاکتورهای شیب، جهت، ارتفاع، میزان رویش، شبکه هیدروگرافیک، خاک، سنگ‌بستر و نقشه حساسیت به زمین‌لغزش استفاده کرد. در نهایت با همپوشانی نقشه‌های وزن‌دار، نقشه قابلیت جنگل برای ساخت جاده را در سه طبقه با قابلیت زیاد، متوسط و کم تهیه کرد. حیاتی و همکاران (۱۳) در مطالعه‌ای در بخش بهاربن جنگل خیرود با استفاده از روش دلفی به انتخاب معیارهای مهم و از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای به‌دست آوردن اهمیت نسبی معیارها پرداختند و نقشه شایستگی برای طراحی جاده را به‌وسیله ترکیب لایه‌های نقشه فازی معیارها با توجه به وزن آن‌ها به‌دست آوردند. بوقدای (۵) در مطالعه‌ای در ترکیه از سیستم عصبی- فازی مبتنی بر ANFIS و GIS برای برنامه‌ریزی و پیش‌بینی نقشه شایستگی استفاده کرد. در این مطالعه ۹ معیار موثر بر شبکه جاده جنگلی ارزیابی و مدل با ترکیب معیارهای ارتفاع، شیب، فاصله از روستا و NDVI به‌عنوان مناسب‌ترین مدل تعیین شد.

در مطالعات قبلی انجام گرفته در مناطق جنگلی، به تهیه نقشه قابلیت و برنامه‌ریزی شبکه جاده برای استفاده از دیگر کارکردهای جنگل کمتر پرداخته شده است. بنابراین برای استفاده بهینه از منطقه به‌ویژه استفاده از پتانسیل گردشگری منطقه وجود زیرساخت‌های دسترسی لازم و ضروری است. لذا هدف از مطالعه حاضر انتخاب مناطق مناسب برای عبور جاده و راه‌های ارتباطی به‌منظور استفاده در برنامه‌ریزی‌های توسعه دسترسی و گردشگری برای مدیریت منطقه می‌باشد.

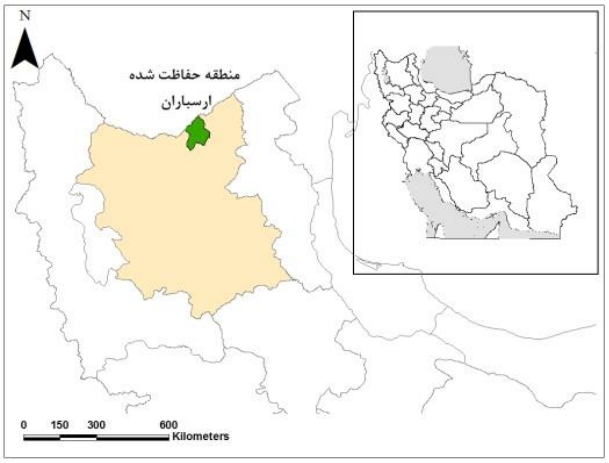
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه حفاظت شده ارسباران در محدوده حوزه‌های ایلگنه‌چای و کلیبرچای جنگل‌های ارسباران بین ′۴۰ °۳۸ تا ′۰۹ °۳۹ عرض شمالی و ′۴۲ °۴۶ تا ′۰۳ °۴۷ طول شرقی قرار گرفته است (۳۱، ۲۵) (شکل ۱). این منطقه در محدوده شهرستان کلیبر واقع شده است که از شمال به رودخانه ارس، از شرق به رودخانه کلیبر، از غرب به رودخانه ایلگنه و از جنوب به کوه‌های سایگرام، توپخانه و قره‌موت منتهی می‌شود (۲۵) و با توجه به نقشه‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست دارای مساحت ۸۰۶۵۴ هکتار است. ارتفاع منطقه حفاظت‌شده ارسباران از ۲۶۰ تا ۲۸۸۰ متر متغیر بوده، بنابراین به‌دلیل شرایط توپوگرافی، تنوع آب‌وهوایی و موقعیت جغرافیایی؛ در این منطقه تنوع گیاهی و ذخیره‌گاه ژنتیکی فون و فلور بسیار غنی تشکیل یافته است و این منطقه به‌عنوان یکی از ذخایر نه‌گانه بیوسفر ایران در یونسکو به ثبت رسیده است (۲۰). بارندگی سالانه در منطقه ارسباران حدود ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر است، با این وجود تعداد روزهای مه‌خیز این منطقه زیاد است و نقش عمده‌ای در بیلان آب جنگل دارد. متوسط حرارت سالانه در ارتفاعات کوهستانی پنج درجه و در حاشیه رود ارس ۱۷ درجه است (۲،۳۱). منطقه ارسباران از نظر زمین‌شناسی متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی است و قسمت عمده سنگ‌شناسی منطقه را واحدهای آهکی و آذرین تشکیل می‌دهد. خاک منطقه در نقاط جنگلی اغلب از نوع خاک قهوه‌ای جنگلی و خاک قهوه‌ای آهکی است. این خاک‌ها بیشتر بر روی سنگ مادری آهکی سخت، مارن و ماسه‌سنگ واقع شده‌اند (۲،۲۸). از نظر پوشش‌گیاهی، در منطقه ارسباران ۱۳۳۴ گونه گیاهی از ۴۹۳ جنس و ۹۷ تیره رویش دارند. علاوه‌بر فلور خاص این منطقه تعداد زیادی از فلور منطقه هیرکانی، منطقه غرب ایران و قفقاز مشاهده می‌شود که این منطقه با مساحت نسبتاً کم، بیش از ۱۰ درصد گونه‌های گیاهی کل کشور را در خود جای داده است (۳۱). سه گونه ممرز، بلوط سفید و بلوط سیاه مهم‌ترین درختان جنگل‌های ارسباران را تشکیل می‌دهند و مهم‌ترین گونه‌های درختچه‌ای این جنگل‌ها شامل انار، سیاه تلو، اسپیره، سیاه تنگرس، ازگیل

1- Weighted Linear Combination (WLC)

و زغال‌اخته می‌باشد (۱۱). این منطقه دارای ۵۲۰/۱۱ کیلومتر جاده با تراکم ۶/۵ متر در هکتار و درصد شبکه‌بندی ۷۴ درصد است که حدودا ۱۵۰ کیلومتر این جاده‌ها به‌صورت آسفالته و شوسه می‌باشند. عمدتاً تهیه نقشه قابلیت برای طراحی جاده و اصلاح جاده‌های خاکی شبکه مد نظر قرار گرفت.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of the study area

روش پژوهش

در این مطالعه از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1] و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای تهیه نقشه قابلیت عبور جاده استفاده شد. پس از شناسایی معیارها با استفاده از منابع (۲۷،۱۹،۱۶،۱۳،۶،۴) و تهیه نقشه‌های اطلاعاتی، نقشه‌های تهیه شده قبل از ترکیب استاندارد و یکسان‌سازی شدند. به این منظور برای استانداردسازی نقشه‌ها از روش منطق فازی استفاده گردید. سپس نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع تهیه شده از نقشه‌های رقومی DGN 3D سازمان نقشه‌برداری، طبقه‌بندی شدند. سایر لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از قبیل سنگ‌شناسی، حساسیت به فرسایش، خاک، کاربری اراضی، رودخانه و جاده از سازمان جنگل‌ها تهیه شدند. همچنین معیارهای منابع آبی و جاده‌های موجود از نقشه‌های DGN تهیه شده استخراج و نقشه‌های رودخانه و جاده تهیه شده از سازمان جنگل‌ها برای منطقه ارسباران با توجه به این نقشه‌ها تکمیل شدند. بدین ترتیب نقشه تراکم پوشش‌گیاهی از نقشه کاربری اراضی تهیه شده استخراج گردید. با توجه به عدم وجود نقشه بافت خاک برای منطقه، این نقشه با استفاده از لایه سنگ‌بستر و نقشه رده خاک تهیه گردید.

نقشه حساسیت به فرسایش، تراکم پوشش‌گیاهی، سنگ‌شناسی، بافت خاک تهیه شده، نقشه فاصله از رودخانه و نقشه فاصله از شبکه جاده موجود تهیه شده در محیط ArcGIS 10.2 طبقه‌بندی و به فرمت رستری به محیط IDRISI Taiga وارد شدند تا استاندارد گردند. در این رابطه از توابع تعریفی کاربر[1] استفاده شد و معیارها در محدوده اعداد صفر (نامطلوب) و یک (مطلوب) و مطابق با طبقه‌بندی معیارهای اکولوژیکی برای مدل‌سازی (۱۷) به‌صورت فازی استانداردسازی شدند. با توجه به اینکه معیارها و لایه‌های موثر ارزش متفاوتی دارند، پس بایستی معیارهای مختلف با توجه به اهمیتی نسبی که دارند استفاده شوند. بنابراین از روش مقایسه زوجی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در نرم‌افزار Expert choice 11 برای وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی استفاده شد. برای مقایسه معیارها یک مقیاس عددی ۹-۱ در نظر گرفته شد و معیارها با استفاده از این مقیاس دو به دو مورد مقایسه قرار گرفتند. عدد یک به‌معنای برابر بودن اهمیت هر دو معیار و اعداد بزرگ‌تر و نزدیک به نه نشان دهنده اهمیت بیشتر معیار می‌باشد. بدین منظور پس از طراحی پرسشنامه از نظرات هفت نفر از متخصصین مهندسی جنگل برای ارزش‌گذاری لایه‌ها استفاده گردید. بدین ترتیب نتایج پرسشنامه‌ها به نرم‌افزار وارد و معیارهای مورد نظر وزن‌دهی و اولویت‌بندی شدند. بعد از وارد کردن نظر هر متخصص مقدار ناسازگاری تعیین شده توسط نرم‌افزار، کنترل و در مواردی که نرخ ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ بود از روش مندوزا و همکاران (۱۸) استفاده گردید (۳) و ارزش فاکتورهای ماتریس مقایسه زوجی تغییر یافتند تا سرانجام نرخ ناسازگاری حدودا به ۰/۱ یا کمتر برسد. سپس برای تلفیق قضاوت‌ها، از نظرات کارشناسان برای هر یک از فاکتورها میانگین هندسی گرفته شده و در نهایت وزن نسبی معیارها در نرم‌افزار تعیین شدند. بنابراین اهمیت نسبی معیارها با کاربرد مقایسه‌های زوجی توسط متخصصان در قالب AHP تعیین گردید. پس از تهیه و وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی ادغام لایه‌ها با استفاده از روش رویهم‌گذاری در محیط ArcGIS 10.2 انجام گردید که با رویهم‌گذاری این لایه‌ها، نقشه خروجی نهایی به صورت نقشه قابلیت مسیریابی برای جاده‌سازی به‌دست آمد. بنابراین به منظور تلفیق مشخصه‌ها با توجه به اهمیت نسبی آن‌ها از روش ترکیب وزن‌دهی خطی (WLC) استفاده شد (رابطه ۱). در ترکیب وزن‌دهی خطی هر مشخصه در وزن خود ضرب می‌شود و سپس همه آن‌ها با هم جمع می‌شوند تا یک نقشه شایستگی را شکل دهند (۸).

1- User defined

رابطه (۱) $S = \Sigma W_i X_i$

در این رابطه S: شایستگی، W_i: وزن معیار i و X_i: معیار i است.

بنابراین نقشه شایستگی تهیه شده برای مکان‌یابی شبکه جاده در منطقه و ارزیابی واریانت‌های مختلف شبکه جاده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت با تقسیم‌بندی میزان مطلوبیت نقشه به طبقات با بازه یکسان نقشه شایستگی به قابلیت های مختلف جهت عبور جاده طبقه بندی شد.

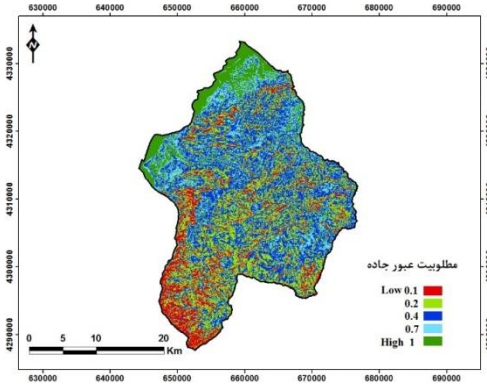
نتایج و بحث

در جدول ۱ طبقه‌بندی معیارها با توجه به نظر کارشناسی برای تهیه نقشه قابلیت عبور جاده ارائه شده است. همچنین در شکل‌های ۱۰ – ۲ نقشه‌های استاندارد شده معیارها نشان داده شده‌اند. در نقشه‌های تهیه شده ارزش‌های کمتر (نزدیک به صفر) مطلوبیت کمتر و ارزش‌های بیشتر (نزدیک به یک) مطلوبیت بیشتری را برای ساخت جاده دارند.

جدول ۱– طبقه‌بندی معیارها برای تهیه نقشه قابلیت عبور جاده

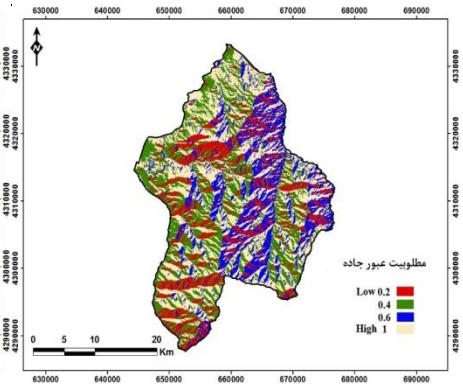
Table 1. Classification of the criteria for developing the road capability map

معیارها	طبقات	طبقات استاندارد شده
شیب	٪۰–۱۰	۱
	٪۱۰–۲۰	۰/۷
	٪۲۰–۴۰	۰/۴
	٪۴۰–۶۰	۰/۲
	٪۶۰ <	۰/۱
جهت	شمال	۱
	شرق	۰/۶
	غرب	۰/۴
	جنوب	۰/۲
ارتفاع	۰–۸۰۰	۱
	۸۰۰–۱۶۰۰	۰/۶
	۱۶۰۰–۲۴۰۰	۰/۴
	۲۴۰۰ <	۰/۲
حساسیت به فرسایش	کم	۰/۹
	متوسط	۰/۷
	زیاد	۰/۵
	خیلی زیاد	۰/۳
	شدید	۰/۱
تراکم پوشش‌گیاهی	٪۵۰ <	۰/۹
	٪۲۵–۵۰	۰/۸
	٪۵–۲۵	۰/۷
	٪۵ >	۰/۶
سنگ‌شناسی	رسوبات رودخانه‌ای و دره‌ای	۱
	سنگ‌های درجه پایین، دگرگونی منطقه‌ای (شیست سبز)	۰/۸
	ماسه‌سنگ، سنگ آهک، کنگلومرا	۰/۶
	گرانیت، بازالت و آندزیت آتشفشانی	۰/۴
	سنگ آهگ رسی، شیل سیلتی، مارن، سنگ رس آهگی، رس سیلتی	۰/۲
بافت خاک	شنی	۱
	شنی، شنی لومی، شنی رسی، شنی رسی لومی	۰/۸
	شنی، شنی لومی	۰/۷
	شنی، شنی لومی با تجمع رس و آهک در لایه‌های زیرین	۰/۶
	شنی لای، شنی رسی، رسی	۰/۴
	لای رسی، لای رسی لومی، رسی، رسی لومی، لای لومی، لومی، لومی رسی	۰/۲
فاصله از رودخانه	۰–۵۰	۰
	۵۰–۱۰۰	۱
	۱۰۰ <	۰/۵
فاصله از جاده	۰–۲۵۰	۰
	۲۵۰–۵۰۰	۱
	۵۰۰ <	۰/۵



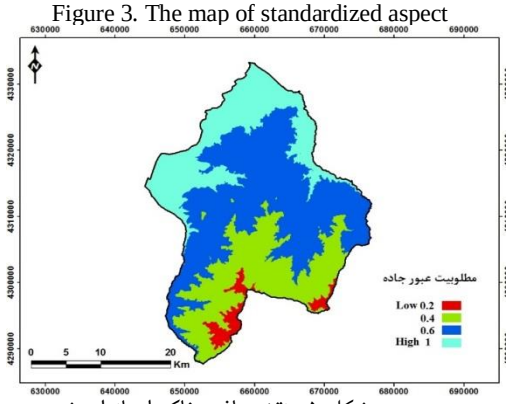
شکل ۳- نقشه جهت استاندارد شده

Figure 3. The map of standardized aspect



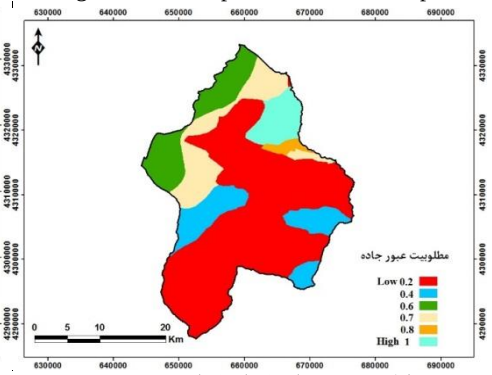
شکل ۲- نقشه شیب استاندارد شده

Figure 2. The map of standardized slope



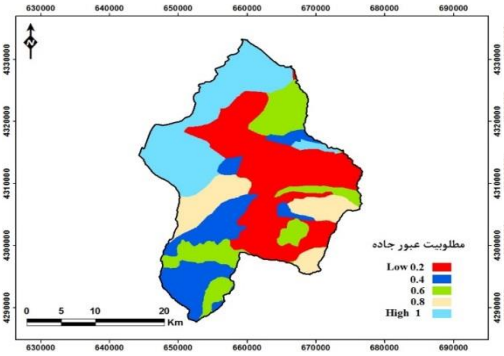
شکل ۵- نقشه بافت خاک استاندارد شده

Figure 5. The map of standardized soil texture



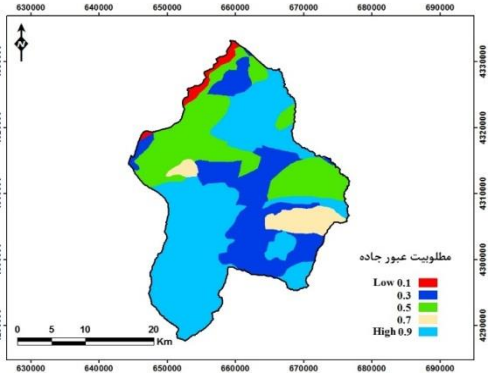
شکل ۴- نقشه ارتفاع استاندارد شده

Figure 4. The map of standardized altitude



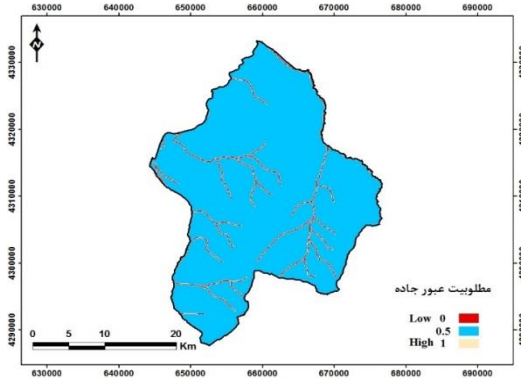
شکل ۷- نقشه حساسیت به فرسایش استاندارد شده

Figure 7. The map of standardized erosion susceptibility



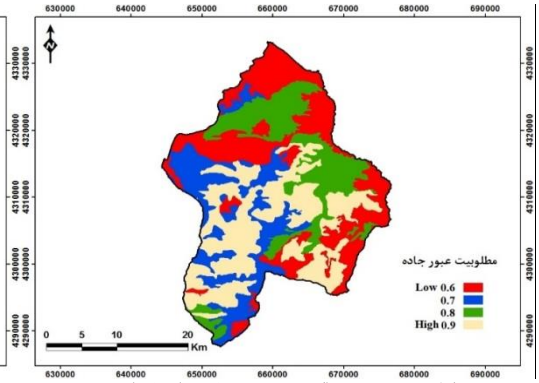
شکل ۶- نقشه سنگ‌شناسی استاندارد شده

Figure 6. The map of standardized lithology map



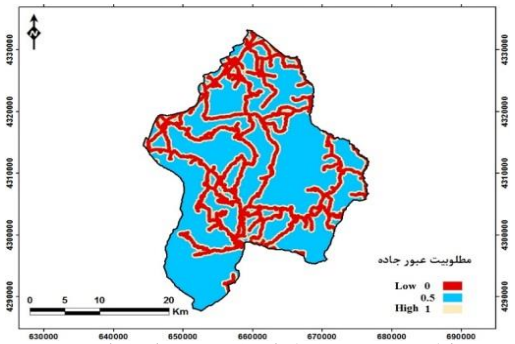
شکل ۹- نقشه فاصله از رودخانه استاندارد شده

Figure 9. The map of standardized distance to stream



شکل ۸- نقشه تراکم پوشش گیاهی استاندارد شده

Figure 8. The map of standardized vegetation density



شکل ۱۰- نقشه فاصله از جاده موجود استاندارد شده

Figure 10. The map of standardized distance to existing road

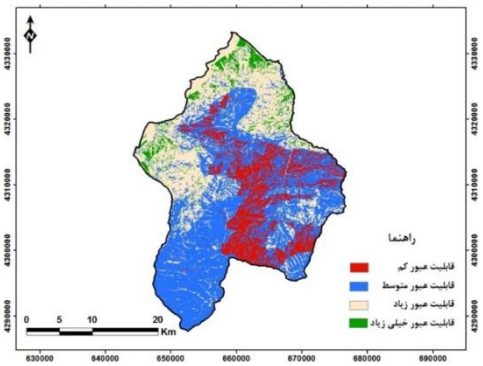
سپس معیارها با استفاده از روش مقایسه زوجی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی وزن‌دهی شدند. طبق نتایج به‌دست آمده، معیار شیب بیشترین و معیار ارتفاع کمترین وزن را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۲). سه معیار شیب، حساسیت به فرسایش و سنگ‌شناسی به‌ترتیب بیشترین تاثیر را برای ساخت جاده جنگلی نشان دادند. در واقع معیار شیب مهمترین عامل برای ساخت جاده تعیین شد، به‌طوری‌که این معیار بیشترین تاثیر را در هزینه جاده‌سازی دارد و معیار حساسیت به فرسایش بیشتر از لحاظ اثرات زیست‌محیطی مورد توجه می‌باشد.

جدول ۲- اهمیت نسبی معیارهای نقشه قابلیت عبور جاده به‌دست آمده با AHP

Table 2. The relative criteria importance of road possibility map optioned with AHP

معیارها	وزن نهایی
شیب	۰/۲۸۹
حساسیت به فرسایش	۰/۱۵۵
سنگ‌شناسی	۰/۱۴۴
بافت خاک	۰/۱۲۳
فاصله از رودخانه	۰/۰۹۸
تراکم پوشش‌گیاهی	۰/۰۵۸
جهت	۰/۰۵
فاصله از جاده موجود	۰/۰۵
ارتفاع	۰/۰۳۳

در مرحله بعد پس از وزن‌دهی، معیارها با استفاده از روش ترکیب وزن‌دهی خطی در ArcGIS تلفیق شدند و نقشه شایستگی عبور جاده به‌دست آمد. سپس با توجه به میزان مطلوبیت قسمت‌های مختلف نقشه، نقشه شایستگی تهیه شده به چهار طبقه با قابلیت‌های مختلف جهت عبور جاده تقسیم بندی شد. به طوری‌که با توجه به استانداردسازی نقشه‌ها، ارزش های بالاتر مطلوبیت بیشتر و در نتیجه اثرات زیست‌محیطی و هزینه کمتری را برای جاده‌سازی نشان می‌دهند. در شکل ۱۱ نقشه شایستگی طبقه‌بندی شده قابل مشاهده می‌باشد. در جدول ۳ درصد قابلیت‌های منطقه برای عبور جاده آورده شده است. طبق جدول منطقه با قابلیت عبور متوسط دارای درصد بیشتر و منطقه با قابلیت عبور خیلی زیاد دارای درصد کمتر است.



شکل ۱۱- نقشه قابلیت عبور جاده

Figure 11. Capability map for road passing

جدول ۳- درصد قابلیت‌های منطقه برای عبور جاده

Table 3. Percentage of region capabilities for road passing

مناطق	درصد
منطقه با قابلیت عبور کم	۱۵/۱۴
منطقه با قابلیت عبور متوسط	۴۹/۸۳
منطقه با قابلیت عبور زیاد	۳۰/۱۱
منطقه با قابلیت عبور خیلی زیاد	۴/۹۲

منطقه حفاظت‌شده ارسباران با توجه به این‌که یک منطقه حفاظتی است و عملاً برای تولید چوب استفاده نمی‌شود، بنابراین جاده‌های دسترسی موجود در این منطقه بیشتر جنبه دسترسی، ارتباطی و حفاظتی دارند. از طرفی با توجه به عدم بهره‌برداری چوب از این جنگل‌ها، بهره‌گیری از سایر کارکردهای این جنگل‌ها از قبیل پتانسیل گردشگری می‌تواند با برنامه‌ریزی و توسعه زیرساخت‌های دسترسی مورد توجه قرار گیرد. بنابراین جهت برنامه‌ریزی دسترسی و توسعه گردشگری بایستی به مسئله پایداری منطقه با توجه به حفاظتی بودن منطقه توجه ویژه‌ای داده شود. از این‌رو، به‌منظور کاهش پیامدهای منفی بر پایداری منطقه حفاظت‌شده، بایستی سیاست دسترسی با توجه به پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی اعمال شود (۷). نتایج مطالعه حاضر همانند مطالعات پیشین انجام گرفته (عبدی (۱)، محمدی سامانی و همکاران (۲۱)، شاهسوند بغدادی و همکاران (۲۶)، سیبی و رافت‌نیا (۲۷)، کالیسکان (۶) و حیاتی و همکاران (۱۳)) قابلیت GIS و AHP را برای طراحی شبکه جاده به اثبات رساند. همچنین در این پژوهش مطابق با مطالعه اسماعیل و یوسف (۱۵)، حیاتی و همکاران (۱۳) و جوانمرد و همکاران (۱۶) به مکان‌یابی شبکه جاده با توجه به اثرات زیست‌محیطی و هزینه پرداخته شد. به‌طوری‌که طراحی جاده با در نظر گرفتن این مسائل باعث کاهش تخریب محیط‌زیست و هزینه‌های ساخت و تعمیر و نگهداری جاده می‌شود. جهت تهیه نقشه قابلیت عبور جاده، معیارهای شیب، جهت، ارتفاع، بافت خاک، سنگ‌شناسی، حساسیت به فرسایش، تراکم پوشش‌گیاهی، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده موجود مورد توجه واقع شدند. بدین منظور این معیارها جهت مقایسه و یکسان‌سازی، فازی و با عدم قطعیت زیاد استانداردسازی شدند. عزیزی و نجفی (۴) و حیاتی و همکاران (۱۳) در مطالعات خود از منطق فازی برای استانداردسازی معیارها استفاده کردند. بنابراین با توجه به طبقه‌بندی داخلی معیارها، ارزش تمام لایه‌ها جهت مقایسه در محدوده صفر و یک قرار گرفتند. با توجه به نتایج فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزن‌دهی مشخصه‌ها، معیارهای شیب، حساسیت به فرسایش و سنگ‌شناسی به‌ترتیب با بیشترین وزن به‌عنوان مهمترین عامل جاده‌سازی انتخاب شدند. مطابق با تحقیقات انجام گرفته شیب مهمترین عامل در برنامه‌ریزی و طراحی شبکه جاده جنگلی تعیین شد (عبدی (۱)، رافت‌نیا و همکاران (۲۷)، شاهسوند بغدادی و همکاران (۲۶)، جوانمرد و همکاران (۱۶)، کالیسکان (۶) و حیاتی و همکاران (۱۳)). به‌طوری‌که در مطالعه عبدی (۱) و جوانمرد و همکاران (۱۶) دو معیار شیب و بافت خاک به‌ترتیب بیشترین اهمیت را به‌دست آوردند و در مطالعه حیاتی و همکاران (۱۳) از بین معیارهای مختلف، معیارهای شیب، بافت خاک و حساسیت به زمین‌لغزش به‌عنوان سه معیار اصلی مطرح شدند. همچنین در مطالعه کالیسکان (۶) معیار شیب و شبکه هیدروگرافی با بیشترین اهمیت در طراحی جاده تعیین شدند. بنابراین مطابق با مطالعات انجام گرفته به‌دلیل اینکه منطقه ارسباران یک منطقه کوهستانی و پرشیب است و غالباً شیب منطقه بالای ۲۵ درصد است، معیار شیب به‌عنوان مهم‌ترین عامل برای ساخت جاده مورد توجه قرار گرفت. در نقشه شایستگی حاصله بیشتر معیارهای اقتصادی و زیست‌محیطی بکار گرفته شدند، به‌طوری‌که مناطق مطلوب‌تر برای عبور جاده دارای اثرات زیست‌محیطی و هزینه کمتری است. بنابراین معیارهای شیب، ارتفاع و سنگ‌شناسی با تاثیر غیرمستقیم بر هزینه مورد توجه واقع شدند. در واقع مناطق با شیب‌های کمتر (حجم خاکبرداری کمتر)، ارتفاعات پایین‌تر به دلیل خطر کمتر یخبندان و تورم سطح جاده و مناطق با پایداری مناسب جهت خاکبرداری و تهیه مصالح جاده‌سازی دارای هزینه احداث و تعمیر و نگهداری کمتر و در نتیجه مطلوبیت بیشتر برای عبور جاده هستند. معیارهای حساسیت به فرسایش، بافت خاک، جهت دامنه و فاصله از رودخانه نیز از نظر تاثیرات زیست‌محیطی مهم هستند. لذا مناطق با حساسیت کم به فرسایش و دارای خاک نسبتا درشت‌دانه (خطر کمتر لغزش)، دارای جهات مرطوب‌تر و خنک‌تر شمالی و شرقی به دلیل تاج پوشش و اثر باران‌ربایی بیشتر و در نتیجه فرسایش کمتر و مناطق با فاصله مناسب نسبت به رودخانه به‌علت عدم قرارگیری در خطر طغیان و تاثیر کمتر رسوبات جاده بر رودخانه دارای اثرات زیست‌محیطی کمتری خواهد بود. در منطقه ارسباران به‌دلیل تراکم کم پوشش‌گیاهی، در رابطه با جهت دامنه بیشتر مسئله فرسایش مورد توجه می‌باشد. به همین دلیل جهات شمالی و شرقی نسبت به جهات جنوبی و غربی (مورد توجه برای جنگل‌های شمال کشور) برای عبور جاده مطلوبیت بیشتری دارند. با توجه به معیار تراکم پوشش‌گیاهی، مناطق دارای تراکم بیشتر برای عبور جاده ارجحیت دارد و معیار فاصله از جاده موجود از جهت رعایت فاصله مناسب عبور جاده نسبت به جاده موجود (۲۵۰ متر) از نظر پوشش و کیفیت شبکه‌بندی مورد توجه قرار گرفت. بنابراین با توجه به طبقه‌بندی نقشه قابلیت عبور جاده و با توجه به اثرات زیست‌محیطی و هزینه حدودا ۵۰٪ منطقه دارای قابلیت متوسط برای عبور جاده است و درصد کمی از منطقه قابلیت خیلی زیاد برای عبور جاده دارد.

در کل می‌توان نتیجه گرفت روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی از روش‌های پرکاربرد برای تهیه نقشه شایستگی جاده‌سازی و مکان‌یابی شبکه جاده هستند. همچنین در مطالعات اخیر از

تکنیک‌های هوش مصنوعی از قبیل شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی و برآورد میزان مطلوبیت عبور جاده استفاده شده است. بنابراین شبکه‌های عصبی مصنوعی روش‌های متداولی هستند که در زمینه‌های مختلف و مدل‌سازی نقشه قابلیت عبور جاده بکار گرفته می‌شوند. صحت نتایج به‌دست آمده از این روش‌ها به صحت اطلاعات لایه‌های ورودی بستگی دارد و هرچه صحت اطلاعات لایه‌های ورودی بیشتر باشد، نتایج حاصل قابل اعتمادتر خواهد بود (۲۶). لذا بررسی بیشتر و کنترل صحت لایه‌های مورد استفاده پیشنهاد می‌شود. در کل با توجه به عدم قابلیت برداشت صنعتی چوب از جنگل‌های ارسباران و با توجه به این‌که این جنگل‌ها بیشتر حفاظتی و حمایتی و دارای پتانسیل گردشگری هستند، با این وجود استفاده از سایر کارکردهای این جنگل‌ها به‌ویژه گردشگری می‌تواند برای مدیریت و حفاظت منطقه مد نظر قرار گیرد. لذا نتایج مطالعه و نقشه قابلیت عبور جاده تهیه شده می‌تواند برای برنامه‌ریزی زیرساخت‌های دسترسی و مدیریت منطقه استفاده شود.

منابع

1. Abdi, E. 2005. Planning forest road network with lowest construction cost using GIS (Case study: Kheirood kenar Forest-Namkhaneh District). MSc thesis, Tehran University, Karaj, Iran, 84 pp (In Persian).
2. Alijanpour, A., J. Eshaghi Rad and A. Banj Shafiei. 2009. Investigation and comparison of two protected and non-protected forest stands regeneration diversity in Arasbaran. Iranian Journal of Forest, 1(3): 209-217 (In Persian).
3. Azhdari, F. 2014. Prioritize the needs of forest road maintenance using multi-criteria decision making (Case Study: The Patom Kheyrood). MSc thesis, Tehran University, Karaj, Iran, 79 pp (In Persian).
4. Azizi, Z. and A. Najafi. 2011. Fuzzy classification in forest area for road design (Case study: Lirehsar forest, Tonekabon). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(1): 42-54 (In Persian).
5. Bugday, E. 2018. Application of artificial neural network system based on ANFIS using GIS for predicting forest road network suitability mapping. Fresenius Environmental Bulletin, 27(3): 1656-1668.
6. Caliskan E. 2013. Planning of forest road network and analysis in mountainous area. Life science journal, 10(2): 2456-2465.
7. Clius, M., A. Teleuca, O. David and A. Morosanu. 2011. Trail accessibility as a tool for sustainable management of protected areas: Case study Ceahlau National Park, Romania. Procedia Environmental Sciences, 14: 267-278.
8. Deputy of Strategic Supervision. 2012. Forest road manual guideline for the design, construction and operation of forest roads, 131-159 (In Persian).
9. Enache, A., K. Stampfer, V. Ciobanu, O. Branzea and C. Duta. 2011. Forest road network planning with state of the art tools in a private forest district from Lower Austria. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering, 4(2): 34-40.
10. Fazlollahi Mohammadi, M., A. Najafi, S. Ezati, A. Soleiman and A. Sepahvand. 2014. Selection of the most suitable species in order to forestation in southern zagros forests using AHP & TOPSIS techniques. Ecology of Iranian Forest, 2(4): 45-55 (In Persian).
11. Forest, Range and Watershed Organization. 2016. National forest plan, 47 pp (In Persian).
12. Gumus, S., H.H. Acar and D. Toksoy. 2008. Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting. Environmental Monitoring and Assessment, 142: 109-116.
13. Hayati, E., B. Majnounian, E. Abdi, J. Sessions and M. Makhdoum. 2013. An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation. Environmental Monitoring and Assessment, 185: 1767-1776.
14. Hribernik, B. and I. Potocnik. 2013. Forest opening in multipurpose private forest – case study. Research article- Znanstveni rad, Nova meh. Šumar, 34: 29-37.
15. Ismail, M.H. and Hj.K. Jusoff. 2009. Planning of access road using satellite technology and best path modeling. Modern Applied Science, 3(3): 83-95.
16. Javanmard, M., E. Abdi, M. Ghatee and B. Majnounian. 2018. Forest road planning using artificial neural network and GIS. Iranian Journal of Forest, 10(2): 139-152 (In Persian).
17. Makhdoum, M., A.A. Darvishsefat, H. Jafarzadeh and A. Makhdoum. 2001. Environmental evaluation and planning by geographic information system. Tehran University press, 304 pp (In Persian).
18. Mendoza, G.A., P. Macoun, R. Prabhu, D. Sukadri, H. Purnomo and H. Hartanto. 1999. Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators. Center for international forestry research (CIFOR), Washington, USA, 85 pp.
19. Moghadasi, P., S.A. Hosseini, A. Fallah and M. Lotfalian. 2013. Locating the best areas to pass forest roads with environmental consideration using GIS and multi-criteria evaluation. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 6(3): 144-150.

20. Mohammad-Dustar-Sharaf, M., Sh. Mirfakhraie, M.R. Zargaran and N. Azimi. 2016. Species diversity of edaphic mesostigmatid mites (Acari: Mesostigmata) of Arasbaran Forest. Forest Research and Development, 2(1): 85-96 (In Persian).
21. Mohammadi Samani, K., S.A. Hosseiny, M. Lotfalian and A. Najafi. 2010. Planning road network in mountain forests using GIS and Analytic Hierarchical Process (AHP). Caspian Journal of Environmental Science, 8(2): 151-162.
22. Mostafa, M., N. Raafatnia, Sh. Shatabe and H. Ghazanfar. 2010. Forest road networks design in a multiple used forestry plan using GIS, Armardah forests of Baneh. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 17(1): 129-133 (In Persian).
23. Naghdi, R., H. Pourbabaei, M. Heidari and M. Nouri. 2014. The effects of forest road on vegetation and some physical and chemical properties of soil, case study: Shafarood forests, district no.2. Iranian Forests Ecology, 2(3): 49-64 (In Persian).
24. Raafatnia, N., O. Abdi and Sh. Shataee. 2006. Determining proper method of preliminary forecasting of mountain and forest roads using GIS. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 14(3): 244-257 (In Persian).
25. Sarhangzadeh, J. and M. Makhdoum. 2002. Land use planning of Arasbaran protected region. Journal of Environmental Studies, 28(30): 31-42 (In Persian).
26. Shahsavand Baghdadi, N., M. Pir Bavaghar and H. Sobhani. 2011. Forest road network planning based on environmental, technical and economic considerations using GIS and AHP (Case study: Baharbon district in Kheyroud forest). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(3): 380-395 (In Persian).
27. Sibi, A. and N.A. Raafatnia. 2012. Consideration of effective factors in design of forest roads using Geographic Information System (GIS). Journal of Renewable Natural Resources Research, 3(1): 1-12 (In Persian).
28. Talebi, M., B. Majnounian, E. Abdi and M. Elahian. 2015. Quantitative and qualitative assessment of road construction standards in Arasbaran region. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 22(2): 19-34 (In Persian).
29. Talebi, M., B. Majnounian, E. Abdi and M. Omid. 2020. Preparing of capability map for road construction using artificial neural network and GIS (Case study: Arasbaran area). Journal of Forest Research and Development, 6(1): 121-134 (In Persian).
30. Tampeski, S., F. Samara, S. Sakellarious, A. Sfougaris and O. Christopoulou. 2015. Mapping the optimal access to the natural resources based on spatial planning, the case study of Thassos Island, Greece. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 5(3): 63-66.
31. Zabardast, L., H.R. Jafari, Z. Badehyan and M. Asheghmoala. 2011. Assessment of the trend of changes in land cover of Arasbaran protected area using satellite images of 2002, 2006 and 2008. Environmental Researches, 1(1): 23-33.

Classification of Protected Forest Areas for Road Network Planning (Case Study: Arasbaran Area)

Manijeh Talebi[1], Baris Majnounian[2], Majid Makhdoum[2], Ehsan Abdi[3] and Mahmoud Omid[4]

1- Forest Engineering, PhD. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran (Corresponding author: m_talebi@ut.ac.ir)
2- Professor, Department of Forestry and forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
3- Associate Professor, Department of Forestry and forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
4- Professor, Department of Mechanical Engineering Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
Received: May 19, 2018 Accepted: July 27, 2020

Abstract

The road network is an important element for sustainable forest ecosystem management. On the other hand, efficiency and quality of road design can be improved by considering of environmental and technical principles. Therefore, this study was performed to determine the capability of Arasbaran protected area for road passing and communication routes in order to use in the area management. For this purpose, criteria of the slope, aspect, height, soil texture, lithology, erosion susceptibility, vegetation density, distance to stream, and distance to existing road as the effective criteria for road design were identified by literature review, and their prepared maps were standardized with the fuzzy logic method. Then, the criteria were weighted using of analytical hierarchy process (AHP) and finally were combined to prepare suitability map for road planning by weighted linear combination (WLC) method. According to results, the highest weight (0.289) and the lowest weight (0.033) were belonged to slope and height criterion, respectively. Finally, the area was classified into four classes with the capability of low, medium, high and very high for road network passing, that region with medium passing capability has the highest percent (49.83%). The study proved GIS and AHP capabilities considering to economic and environmental problems for developing the road capability map in order to use for road locating in Arasbaran area.

Keywords: Analytical hierarchy process, Fuzzy logic, Multi-criteria decision making, Road possibility, Sustainable management