مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال شانزدهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۳
ص ۳۶۹-۳۵۷
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2024.382962.1915

تکمیل شبکهٔ جادهٔ جنگلی با هدف توسعهٔ گردشگری با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی و GIS (پژوهش موردی: جنگل خیرود)

مهدی شریفی[۱]، احسان عبدی[۲*]، منیژه طالبی[۳] ، مجید مخدوم[۴] و زهرا کریمی[۵]

[۱]کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۲]استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۳]دکتری، علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۴]استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۵]دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱)

چکیده

مقدمه: گردشگری در جنگل می‌تواند در توسعهٔ طرح‌های جنگلداری به‌ویژه در زمان استراحت مؤثر واقع شود. مناطق جنگلی از مکان‌های مهم برای حفاظت سیستم‌های محیط زیستی و منابع طبیعی و همچنین ارائهٔ فرصت‌های تفرجی برای مردم هستند. از این‌رو تفرج جنگلی به‌عنوان توسعهٔ گردشگری، از عوامل مؤثر و تأمین‌کنندهٔ مزایای مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیطی بسیاری است. هدف این پژوهش طراحی و تکمیل شبکهٔ جادهٔ جنگلی و افزودن مسیرهای پیاده‌روی با هدف توسعهٔ گردشگری در جنگل خیرود با استفاده از قابلیت‌های شبکهٔ عصبی مصنوعی و GIS است.

مواد و روش‌ها: ابتدا لایه‌های شیب، جهت، ارتفاع، زمین‌شناسی، خاک، درصد تاج‌آشکوب و جادهٔ موجود تهیه شد و تک‌تک لایه‌ها طبقه‌بندی داخلی و وزن‌دهی شدند. طبقه‌بندی داخلی لایه‌ها توسط نظر یک کارشناس و محقق در زمینهٔ مهندسی جنگل و گردشگری در جنگل و وزن‌دهی لایه‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام گرفت. با تلفیق لایه‌های مختلف و وزن نظیر هر یک به روش وزن‌دهی خطی (WLC)، نقشهٔ شایستگی بخش پاتم به‌عنوان بخش آموزش شبکهٔ عصبی برای عبور شبکهٔ جاده تهیه شد. ارزش هر سلول از شکل‌ها به‌همراه مختصات، توسط نرم‌افزار ArcGIS استخراج شد و همهٔ داده‌ها به دامنهٔ ۱ تا ۵ نگاشته شدند. در این پژوهش برای مدل‌سازی، از شبکهٔ عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) با ۳۰ نورون در لایهٔ مخفی استفاده شد. داده‌های شیب، جهت، ارتفاع، زمین‌شناسی، خاک، درصد تاج‌آشکوب و جادهٔ موجود به‌عنوان ورودی و دادهٔ شایستگی عبور جادهٔ بخش پاتم به‌عنوان خروجی برای آموزش به شبکه داده شد و شبکهٔ عصبی، میزان مطلوبیت برای هر سه بخش فعال جنگل را براساس بخش پاتم برآورد کرد.

یافته‌ها: نتایج روی‌هم‌گذاری لایه‌های شبکهٔ جادهٔ موجود، نقشهٔ منظر و نقشهٔ شایستگی منطقهٔ پژوهش، نشان داد که شبکهٔ جادهٔ موجود بسیاری از مناطق دارای پتانسیل گردشگری را در دسترس گردشگران قرار داده است؛ بنابراین برای تکمیل شبکهٔ دسترسی به مناطق دارای پتانسیل گردشگری جنگل با استفاده از برنامهٔ جانبی PEGGER در محیط نرم‌افزار ArcView و در نظر گرفتن شکل منظر و شکل شایستگی، مسیرهای پیاده‌روی به طول حدود ۱۴ کیلومتر طراحی شد. در طول طراحی سعی شد که جاده از مناطق مطلوب‌تر (پیکسل‌های دارای ارزش کمتر) عبور کند. طبق نتایج، شبکهٔ عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه با ضریب تبیین (R^2) ۰/۹۰۲ و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) ۰/۱۲۶، توانایی بیشتری از رگرسیون خطی برای برآورد ارزش مطلوبیت عبور جاده نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش قابلیت روش هوشمند مبتنی بر شبکهٔ عصبی مصنوعی و GIS را برای طراحی و برنامه‌ریزی شبکهٔ جاده نشان می‌دهد و نتیجه نشان‌دهندهٔ افزایش توانایی یادگیری شبکهٔ MLP با افزایش تکرار تا تکرار ۷ ام است.

واژه‌های کلیدی: توسعهٔ گردشگری، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شبکهٔ عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP)، شکل شایستگی، مدل‌سازی.

[*]نویسندهٔ مسئول شماره تماس: ۰۲۶۳۲۲۲۴۰۳۳ ایمیل:Abdie@ut.ac.ir

مقدمه

گردشگری در طبیعت از اولویت‌های اصلی در حوزهٔ گردشگری است که به‌ویژه با توجه به رشد چشمگیر آن، به فعالیتی چندمنظوره تبدیل شده است (Deng et al., 2002). توسعهٔ گردشگری در این زمینه هم مزایای اقتصادی دارد و هم مزایای اجتماعی، فرهنگی و محیطی (Mir Arab Razi, 2018). طبیعت و جاذبه‌های آن به‌عنوان منبع اصلی گردشگری مورد توجه قرار گرفته و برای تداوم و استمرار آن، به برنامه‌های مدیریتی جامع و در نظر گرفتن همهٔ جوانب این فعالیت نیاز است.

در این مسیر، روش‌های نوین طراحی جاده با استفاده از GIS می‌توانند تحلیل حجم زیادی از اطلاعات را با دقت زیاد و بهبود کیفیت، سرعت، هزینه و دقت طراحی فراهم کنند (Shahsavand Baghdadi et al., 2011). مدیریت اطلاعات با توجه به عوامل مهم در طراحی جاده با استفاده از قابلیت‌های GIS امکان‌پذیر شده است (Çalışkan, 2013). پژوهش‌های متعددی نیز در زمینهٔ برنامه‌ریزی شبکهٔ جاده در مناطق جنگلی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، GIS و شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام گرفته است (Çalışkan, 2013; Shahsavand Baghdadi, et al., 2011; Javanmard, 2018; Aron, 2003; Talebi et al., 2022). این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که استفاده از این ابزارها در برنامه‌ریزی جاده‌ها و مسیرهای گردشگری در مناطق جنگلی، امکان بهبود بهره‌وری و حفظ زیرساخت‌های دسترسی را فراهم می‌کند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی، نوعی سیستم هوشمند با قابلیت یادگیری و تعمیم اطلاعات هستند که در زمینه‌های مختلف مدل‌سازی مؤثرند. این شبکه‌ها از عناصر عملیاتی ساده‌ای به نام نورون تشکیل شده‌اند که به‌صورت موازی عمل می‌کنند و از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته‌اند. این شبکه‌ها الگوریتم‌های رایانه‌ای هستند که قادرند روابط مهم میان تعداد زیادی پارامتر خطی و غیرخطی را از یک مجموعه داده استخراج و این روابط را برای پیش‌بینی و طبقه‌بندی موارد جدید مانند یک سیستم خبره استفاده کنند (Talebi et al., 2020).

پژوهش‌های متعددی در زمینهٔ برنامه‌ریزی شبکهٔ جاده در مناطق جنگلی انجام گرفته است (Çalışkan, 2013; Shahsavand Baghdadi, et al., 2011; Mostafa et al., 2010; Javanmard, 2018; Sibi &s Raafatnia, 2012; Tampekis et al., 2015; Stefanović et al., 2016; Tampekis et al., 2015). در این پژوهش‌ها، برای وزن‌دهی معیارها اغلب از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به کمک روش AHP استفاده شده است. در پژوهش‌های Javanmard et al. (2018) و Aron (2003) نیز از قابلیت‌های شبکهٔ عصبی برای طراحی شبکهٔ جاده با هدف بهره‌برداری چوب استفاده شده است. همچنین در پژوهش Talebi et al. (2018, 2020) از قابلیت شبکهٔ عصبی مصنوعی برای شناسایی و مدل‌سازی مناطق مستعد تفرجی و طراحی شبکهٔ جاده به‌منظور توسعهٔ گردشگری استفاده کردند و به تهیهٔ نقشهٔ قابلیت جاده‌سازی در منطقهٔ ارسباران پرداختند. Aron (2003) به مسیریابی جاده‌های جنگلی با استفاده از شبکهٔ عصبی مصنوعی و GIS پرداخته است. در برنامه‌ریزی و طراحی شبکهٔ جاده برای توسعهٔ گردشگری در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ ارسباران (Talebi et al., 2022)، از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک (GA) و روش معمول (Pegger) برای این منظور استفاده کردند.

یکی از متداول‌ترین و کارآمدترین شبکه‌های عصبی برای استفاده در مدل‌سازی و مدیریت منابع طبیعی، شبکهٔ پیشرو پرسپترون چندلایه (MLP[1]) است که از یک لایهٔ ورودی، یک یا چند لایهٔ پنهان و یک لایهٔ خروجی تشکیل یافته است (Peng & Wen, 1999). Mostafa et al. (2010) در شبکه‌های عصبی پیشرو از الگوریتم انتشار خطا (BP[2]) برای آموزش

1. Multilayer perceptron
2. Back propagation of error

شبکه با هدف آموزش حداقل کردن خطای کلی مشاهده‌شده در لایهٔ خروجی استفاده کردند. بنابراین این شبکه‌ها با هوشمندی و انعطاف‌پذیری جایگاه چشمگیری برای خود ایجاد کرده‌اند و قابلیت مدل‌سازی، برآورد و پیش‌بینی را دارند.

پژوهش حاضر با هدف ارائهٔ رویکردی هوشمند، مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی و GIS برای طراحی و تکمیل شبکهٔ جادهٔ جنگلی و مسیرهای پیاده‌روی با کارکرد گردشگری انجام گرفته است. این تحقیق به‌منظور استفادهٔ اصولی از پتانسیل‌های زیاد و چندگانهٔ جنگل‌های شمال کشور و نیز بهینه‌سازی استفاده از جاده‌های ساخته‌شده در دهه‌های گذشته اغلب با هدف برداشت چوب طراحی و ساخته شده‌اند. از سال ۱۳۹۶ که ایدهٔ تنفس جنگل در جنگل‌های هیرکانی اجرایی شد، برداشت قانونی چوب متوقف شده است. بنابراین حفظ و نگهداری زیرساخت‌های ارزشمند این جنگل‌ها، از جمله عملیات تعمیر و نگهداری زیرساخت‌های دسترسی، نیازمند بودجه‌ای است که تاکنون توسط سازمان متولی تخصیص داده نشده است. بنابراین زیرساخت‌هایی به طول ۸۵۰۰ کیلومتر در جنگل‌های هیرکانی، با ادامهٔ این وضعیت به سمت زوال و نابودی پیش خواهند رفت. به همین دلیل، گردآوری حداقلی منابع مالی از طریق فعالیت‌های گردشگری می‌تواند حداقل مقداری از منابع لازم برای تعمیر و نگهداری جاده‌ها را تأمین کند. بنابراین پژوهش حاضر به دنبال ارائهٔ راهکاری از تکنیک‌های نوین و در دسترس برای تحلیل، تکمیل و بهینه‌سازی این شبکهٔ جاده‌ای گسترده برای کارکرد گردشگری است. تفاوت اصلی این تحقیق با پژوهش‌های مشابه، استفادهٔ همزمان از ارزیابی چندمعیاری و شبکهٔ عصبی به‌جای تمرکز صِرف بر ارزیابی چندمعیاری و تمرکز بر مسیرهای پیاده‌روی به‌عنوان گزینه‌ای با حداقل نیاز به بودجه و عملیات عمرانی است. همچنین تمرکز بر کارکرد گردشگری در کنار برداشت چوب، این تحقیق را از دیگر تحقیقات متمایز می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

منطقهٔ پژوهش، سه بخش اول جنگل آموزشی-پژوهشی خیرود واقع در نه کیلومتری شرق نوشهر در استان مازندران در مختصات '۳۲ و °۵۱ تا '۳۵ و °۵۱ طول جغرافیایی شرقی و '۳۴ و °۳۶ تا '۳۷ و °۳۶ عرض شمالی است. پایین‌ترین قسمت این جنگل که مرز شمالی را نیز تشکیل می‌دهد با ارتفاع حدود ۱۰ متر بالاتر از سطح دریای آزاد از مجاورت روستای نجارده شروع می‌شود و تا ارتفاع حدود ۲۲۰۰ متری در ییلاق بالا می‌رود. میانگین بارندگی سالانه ۱۳۳۰ میلی‌متر است. توزیع بارندگی در ماه‌های مختلف سال متفاوت است که حداقل آن در تیر و حداکثر آن در مهر روی می‌دهد. دورهٔ خشکی حدود صفر یا خیلی کوتاه است (Sarmadian, 2001). رشته‌کوه البرز در دوران اول، اواخر دوران دوم تا اوایل دوران سوم به وجود آمده و گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های فاز تکتونیک آلپ موجب شکل‌گیری نهایی آن شده است (Sarmadian, 2001). جنگل خیرود از سه واحد سنگی پوشیده شده است که واحد غالب آن از آهک و آهک دولومیتی است که سبب تشکیل تعداد زیادی از پدیده‌های کارستی شده است .در منطقهٔ پژوهش، شیوهٔ جنگل‌شناسی قبل از ایدهٔ تنفس، همگام با طبیعت بوده است. بهره‌برداری از قسمت‌های دارای جاده با استفاده از سیستم چوبکشی زمینی به روش گرده‌بینه انجام می‌گرفت. در قسمت‌هایی که جاده در دسترس نبود، از روش سنتی استفاده شده و چوب با قاطر از جنگل خارج می‌شد. شبکهٔ جادهٔ این جنگل آموزشی با هدف تولید چوب طراحی شده است، ولی گردشگران هم از آن استفاده می‌کنند. در مجموع حدود ۶۰ کیلومتر جادهٔ درجه ۲ و ۳ در جنگل

ساخته شده است. تراکم سری‌های مختلف حدود ۱۵ تا ۲۰ متر در هکتار است.

شیوهٔ اجرای پژوهش

در این پژوهش معیارهای مؤثر در برنامه‌ریزی شبکهٔ جاده با استفاده از مرور منابع (Mir Arab Rezi, 2018; Talabi et al., 2020; Mohammadi Samani et al., 2010; Javanmard et al., 2018; Hayati et al., 2013; Acer et al., 2017; Çalışkan, 2013) شناسایی و هفت معیار قابل دسترس و دارای نقشهٔ مکانی شامل زمین‌شناسی، خاک، شیب، جهت جغرافیایی، تراکم تاج‌پوشش، شبکهٔ جادهٔ موجود و ارتفاع از سطح دریا برای طراحی شبکهٔ جاده با هدف گردشگری استفاده شد. نقشه‌های استفاده‌شدهٔ معیارها در جنگل خیرود همگی دارای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بودند. کلاسه‌های داخلی نقشهٔ عوامل مؤثر در مسیریابی جاده براساس نظر کارشناسان بین بازهٔ یک تا پنج طبقه‌بندی شدند. اساس این طبقه‌بندی بحث طراحی و برنامه‌ریزی شبکهٔ جاده با هدف گردشگری است. براساس این طبقه‌بندی، نقشه‌ها در پنج دسته قرار گرفته‌اند. به مناطق مطلوب برای عبور جاده، مقدار کمتر (۱) و به مناطق نامطلوب، مقدار بیشتر (۵) اختصاص یافت. بنابراین در نقشهٔ نهایی ارزش کمتر به‌معنای مطلوبیت بیشتر است.

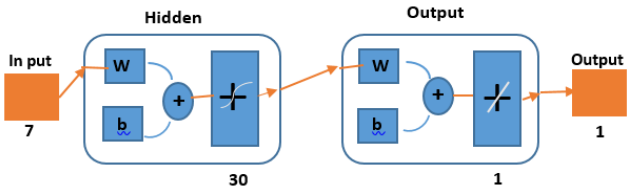
به‌منظور دخالت دادن معیارها با توجه به تأثیر و اهمیت هر یک در روند ارزیابی، وزن‌دهی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام گرفت (Mostafa et al., 2010; Çalışkan, 2013; Sibi & Raafatnia, 2012; Tampekis et al., 2015; Hayati et al., 2013; Javanmard et al., 2018; Stefanovic et al., 2016). روش تحلیل سلسله‌مراتبی مبتنی بر مقایسهٔ زوجی و دوبه‌دوی معیارها و گزینه‌ها و همچنین محاسبهٔ ارزش نسبی معیارها و گزینه‌هاست (Hayati et al., 2013). پس از تهیه و وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی، لایه‌ها با استفاده از روش WLC[1] در محیط ArcGIS روی‌هم‌گذاری شدند و در آخر خروجی نهایی به‌صورت شکل شایستگی جاده برای تهیهٔ نمونه‌های آموزشی شبکهٔ عصبی به‌دست آمد. همهٔ مراحل طراحی و اجرای شبکه‌های عصبی مصنوعی در محیط نرم‌افزار MATLAB2016b انجام گرفت.

ایجاد شبکهٔ عصبی

در این پژوهش برای مدل‌سازی از شبکهٔ MLP (شکل ۱) به‌عنوان کارآمدترین شبکه در مدل‌سازی و مدیریت منابع طبیعی استفاده شد (Talebi et al., 2020؛ Safi & bouroumi, 2013). نقشه‌های زمین‌شناسی، خاک، شیب، جهت، ارتفاع، تراکم تاج‌پوشش و جادهٔ موجود بخش پاتم به‌عنوان ورودی (inpute) و لایهٔ شایستگی عبور جادهٔ همین بخش به‌عنوان خروجی (target) برای آموزش به شبکهٔ عصبی داده شد. سپس عملکرد شبکه با تعداد نورون‌های مختلف در یک لایهٔ پنهان ارزیابی و در نهایت شبکه با ۳۰ نورون برای آموزش شبکه انتخاب شد. در پایان شبکه میزان مطلوبیت عبور جاده را برای هر سه بخش تحت پژوهش، براساس داده‌های بخش پاتم برآورد کرد. برای به‌دست آوردن حداکثر کارایی به‌منظور اعمال آستانه برای هر لایهٔ شبکهٔ عصبی، از تابع انتقال تانژانت هیپربولیک (tansig) برای نورون‌های لایهٔ مخفی و تابع انتقال خطی (purelin) برای نورون‌های لایهٔ خروجی استفاده شد. در شبکهٔ MLP از الگوریتم Levenberg-Marquardt به‌منظور آموزش استفاده شد و برای اجرای شبکه، داده‌های ورودی به‌صورت تصادفی به سه مجموعه به‌شرح زیر تقسیم شد:

- ۷۰ درصد داده‌ها در مجموعه آموزشی؛
- ۱۵ درصد داده‌ها در مجموعه ارزیابی؛
- ۱۵ درصد داده‌ها در مجموعه آزمون برای بررسی کارایی شبکهٔ نهایی.

1. Weighted Linear Combination



شکل ۱- ساختار شبکهٔ عصبی (MLP)

Figure 1. The structure of the neural network (MLP)

ارزیابی عملکرد شبکهٔ عصبی

به‌منظور ارزیابی بهترین پردازش شبکه برای یافتن بهترین ساختار شبکه، از شاخصه‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد (Talebi et al., 2020، Javanmard et al., 2018 و Aron, 2003) که هدف کاهش مقدار خطاست. برای ارزیابی عملکرد شبکهٔ عصبی مصنوعی، داده‌ها با روش آماری رگرسیون خطی چندمتغیره در نرم‌افزار SPSS تجزیه‌وتحلیل شد و نتایج شبکهٔ عصبی مصنوعی با نتایج حاصل از رگرسیون مقایسه شد.

تهیهٔ نقشهٔ منظر و طراحی مسیر جاده

برای تهیهٔ نقشهٔ منظر، انتخاب معیارها و شاخص‌ها به کاربری و منطقهٔ تحقیق بستگی دارد. بدین منظور با بررسی منابع و سوابق، مشاهدات میدانی، تجارب کارکنان اجرایی و همچنین جمع‌بندی نظر استادان گروه جنگلداری دانشگاه تهران که شناخت به‌نسبت کاملی از این منطقه دارند، مختصات مکان‌های دارای جاذبه و پتانسیل گردشگری که بیشترین استقبال گردشگران از آنها صورت می‌گیرد، برداشت و به نرم‌افزار ArcGIS منتقل و نقشهٔ آنها ایجاد شد. هدف از تهیهٔ این نقشه، تمرکز بر شناسایی جاذبه‌های گردشگری منطقه که در واقعیت اقبال به آنها وجود دارد به‌منظور ایجاد دسترسی مناسب برای این مناطق با توجه به هدف اصلی پژوهش است.

روش تحلیل

در این پژوهش برای طراحی مسیرهای پیاده‌روی گردشگری، با توجه به نقشهٔ شایستگی عبور جاده برآوردشده با شبکهٔ MLP و استانداردهای فنی لازم در طراحی شبکهٔ جادهٔ جنگلی و مسیرهای پیاده‌روی، با استفاده از PEGGER در محیط ArcView مسیر پیاده‌روی با محدودهٔ شیب مجاز (۸+ تا ۶- درصد) طراحی شد. ازآنجا که استفاده از مناطق پرشیب، محدود به گردشگران خاص است، استفاده از مناطق با شیب‌های تند محدود می‌شود و شیب بیشتر از ۵۰ درصد برای تفرج گسترده، محدودیت در نظر گرفته شد (Makhdom, 2003).

نتایج

معیارهای انتخاب‌شده برای این تحقیق با روش مقایسه‌های زوجی AHP مقایسه و سپس در نرم‌افزار Export choice وزن هر معیار مشخص شد (جدول ۱). همان‌طور که جدول نشان می‌دهد شیب و ارتفاع به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن را دارند.

در شکل ۲ کاهش میانگین مربع خطا (MSE) برای داده‌های آموزشی برحسب تعداد تکرار ارائه شده است. با افزایش تعداد تکرار، خطای شبکه برای داده‌های ارزیابی، آزمون و آموزش کاهش می‌یابد که نشان‌دهندهٔ افزایش توانایی یادگیری شبکه با افزایش تکرار تا تکرار ۷ ام است.

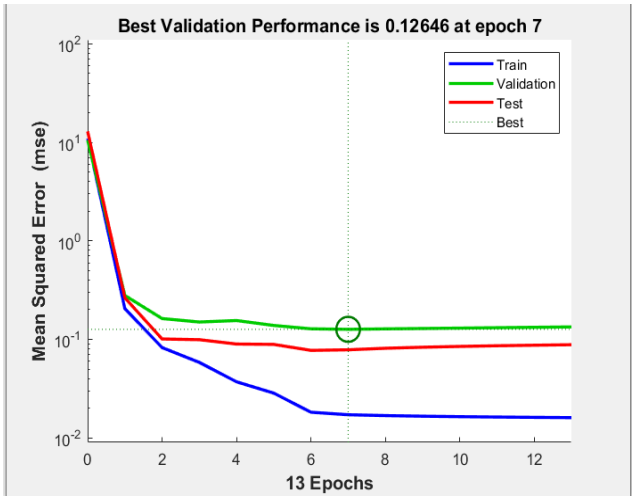
برای درک بهتر شبکه، شکل‌هایی از عملکرد این شبکه (MLP) رسم شد.

در شکل ۳ مقادیر خروجی واقعی (Target) و خروجی پیش‌بینی‌شده (Output) در مقابل هم رسم شده‌اند تا میزان همبستگی بین خروجی واقعی و پیش‌بینی‌شده بررسی شود. هرچه خروجی پیش‌بینی‌شده به مقدار واقعی نزدیک باشد نتیجهٔ شبکه بهتر و مقدار ضریب همبستگی (R) بیشتر خواهد بود.

جدول ۱- وزن‌دهی نهایی معیارها به روش AHP

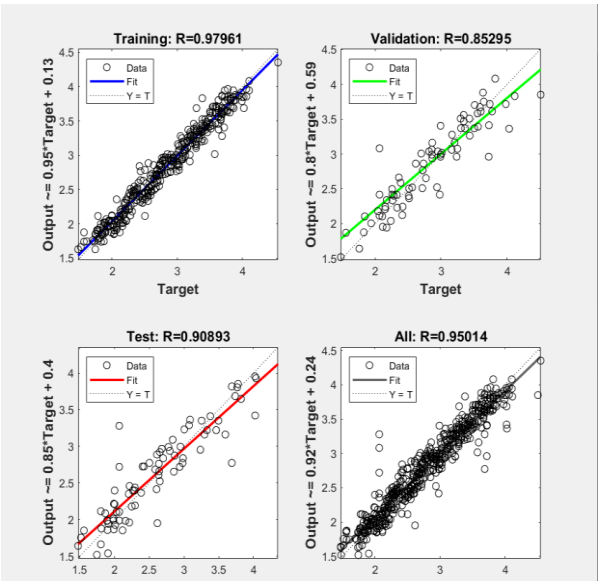
Table 1. Final weighting of criteria using AHP

معیار Ceriterion	وزن معیار Ceriterion Weight
شیب Slope	0.435
زمین‌شناسی Geology	0.243
خاک Soil	0.143
جادهٔ موجود Existing roads	0.066
درصد تاج‌آشکوب Canopy cover	0.048
جهت Aspect	0.042
ارتفاع از سطح دریا Elevation	0.024
ضریب ناسازگاری Inconsistency Ratio	0.090



شکل ۲- کاهش خطای شبکهٔ MLP در مقابل تعداد تکرار

Figure 2. Network error reduction of MLP versus number of iterations



شکل ۳- شکل رگرسیون شبکهٔ عصبی MLP

Figure 3. MLP Neural network regression diagram

جدول ۲- ارزیابی عملکرد شبکهٔ عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی برای برآورد میزان مطلوبیت عبور جاده

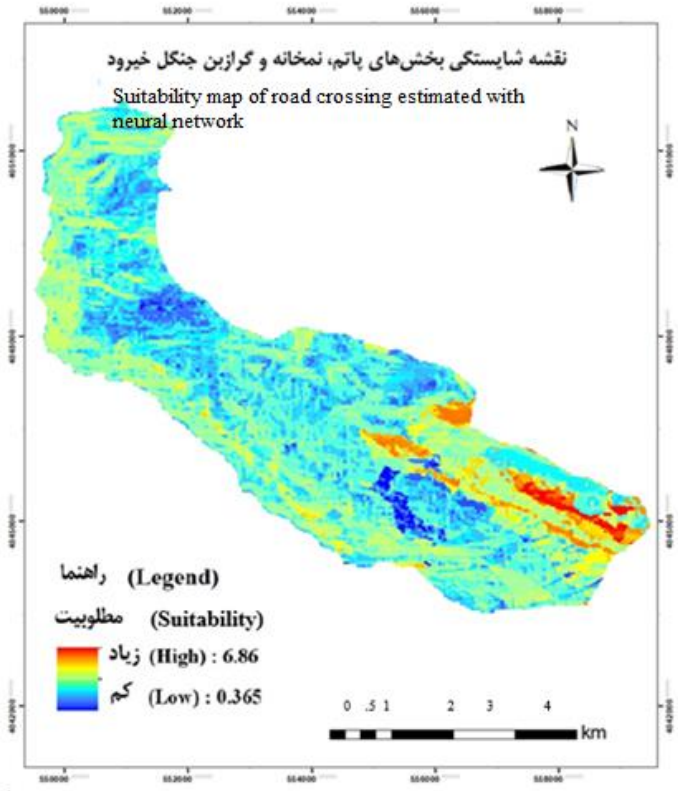
Table 2. Evaluation of the performance of artificial neural network and linear regression to estimate suitability of road crossing

R^2	RMSE	
0.904	0.205	Linear regression رگرسیون خطی
0.902	0.126	MLP network ,MLP شبکهٔ

با توجه به جدول ۲ می‌توان بیان کرد که هر دو روش شبکهٔ عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی عملکرد خوبی برای برآورد میزان مطلوبیت عبور جاده نشان دادند، ولی شبکهٔ عصبی دارای عملکرد به‌نسبت بهتری با میزان خطای کمتر از رگرسیون خطی است. در نهایت بعد از آموزش شبکه با داده‌های بخش پاتم، داده‌های شیب، جهت، ارتفاع، درصد تاج‌پوشش، جادهٔ موجود، خاک و زمین‌شناسی سه بخش مورد پژوهش جنگل خیرود به بهترین مدل شبکه وارد شدند تا میزان مطلوبیت عبور جاده برای هر سه بخش برآورد شود. نتایج برآوردشده برای هر سلول از شبکه استخراج شد و وارد محیط ArcGIS شده و به نقشهٔ شایستگی تبدیل شد (شکل ۴). در نقشهٔ تهیه‌شده مناطق مطلوب‌تر برای عبور جاده دارای ارزش کمتر (حداقل ارزش ۰/۳۶) و مناطق با مطلوبیت کم برای عبور جاده دارای ارزش بیشتر (حداکثر ارزش ۶/۸۶) هستند.

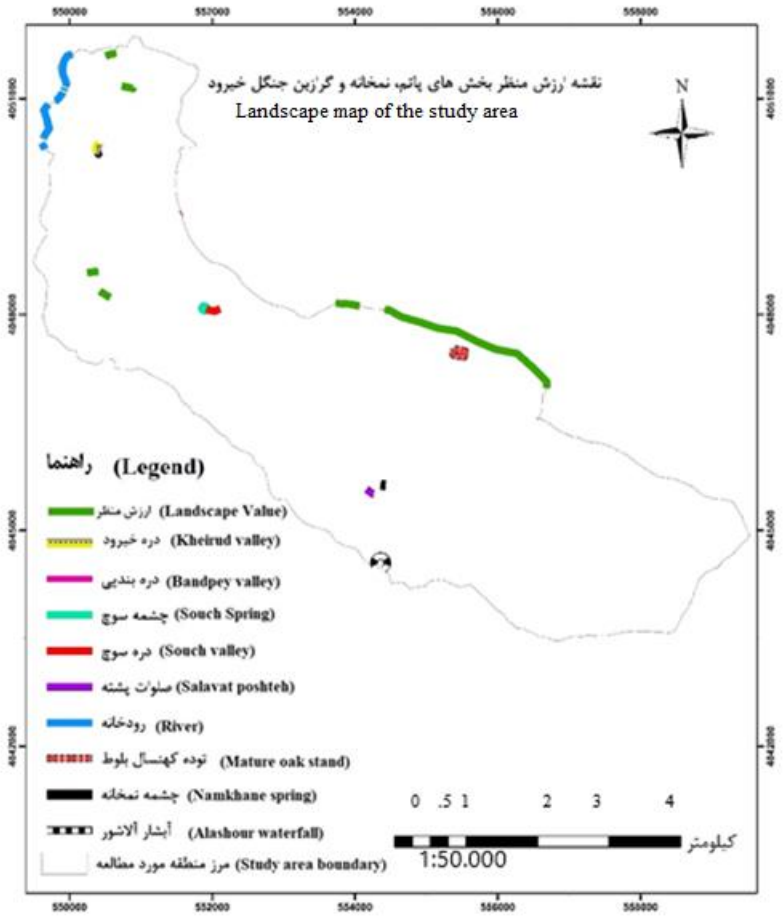
تهیهٔ نقشهٔ منظر

در خصوص تهیهٔ شکل منظر مختصات مکانی این مناظر و پدیده‌ها برداشت شد (شکل ۵).



شکل ۴- نقشهٔ مطلوبیت عبور جادهٔ برآوردشده با شبکهٔ عصبی

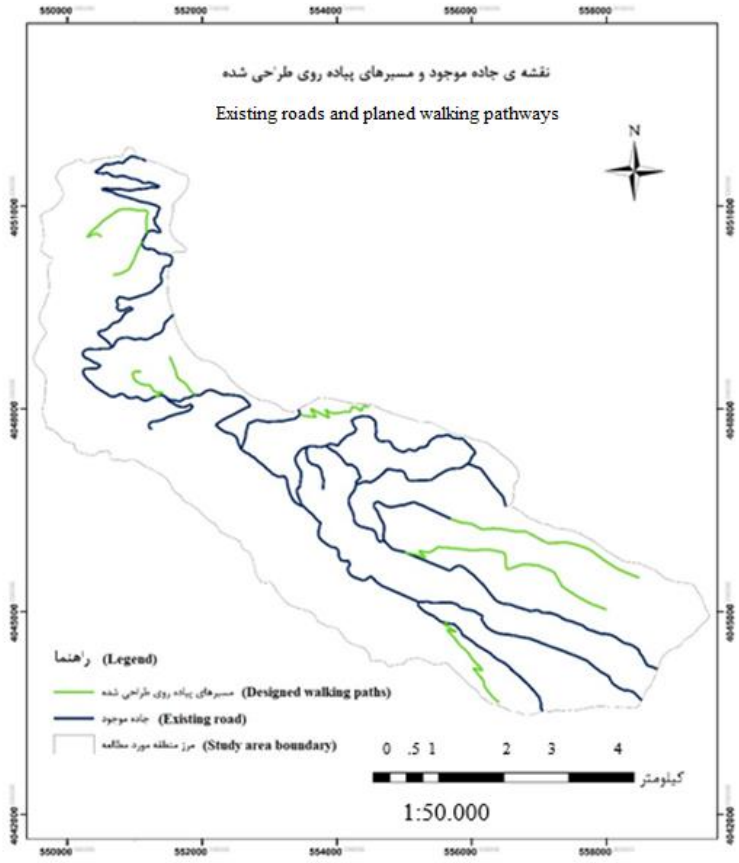
Figure 4. Suitability map of road crossing estimated with neural network



شکل ۵- نقشهٔ منظر منطقهٔ پژوهش
Figure 5. Landscape map of the study area

طراحی جاده و مسیر پیاده‌روی

با مدنظر قرار دادن مناظر و جاذبه‌های گردشگری شناسایی‌شده به‌عنوان نقاط اجباری مثبت جهت عبور جاده و توجه به نقشهٔ شایستگی، مسیرها طراحی و تکمیل شدند. افزون‌بر این، از لایه‌های اطلاعاتی دیگر مثل منظر، شیب، جهت و ... نیز با باز کردن همزمان این چند لایه در طراحی مسیر استفاده شد و طراحی با توجه به این لایه‌ها انجام گرفت. به‌منظور طراحی مسیر، نقشهٔ مطلوبیت عبور جاده به‌دست‌آمده از نتایج شبکهٔ عصبی برای کل منطقه، وارد نرم‌افزار ArcView شد. در طول طراحی مسیر به نقشهٔ شایستگی و نقشهٔ منظر توجه شد و سعی شد مسیرهای پیاده‌روی در جنگل از مناطق با قابلیت عبور قوی (ارزش سلول کمتر) و مناطق دارای پتانسیل گردشگری (مناظر موجود) عبور کند و در مقابل از طراحی در مناطق دارای مطلوبیت کم (ارزش سلول بیشتر) کاسته شد. اندازهٔ استاندارد عرض مسیرهای پیاده‌روی در جنگل براساس عرض قابل عبور فیزیولوژیک بدن انسان در نظر گرفته می‌شود. که به‌طور معمول برای مسیرهای یکطرفه ۷۵ سانتی‌متر و برای مسیرهای دوطرفه ۱/۵ متر است. در مجموع طول مسیر جادهٔ موجود و مجموع مسیرهای پیاده‌روی طراحی‌شده در منطقه به‌ترتیب ۴۳۴۲۱ و ۱۴۱۱۶ متر هستند (شکل ۶).



شکل ۶- شکل جادهٔ موجود و مسیرهای پیاده‌روی طراحی‌شده
Figure 6. Existing roads and planed walking pathways

بحث

جنگل‌ها از مهم‌ترین منابعی هستند که امروزه توجه برنامه‌ریزان حوزهٔ گردشگری را به خود معطوف کرده‌اند. جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود واقع در استان مازندران با برخورداری از جاذبه‌های خوب تفرجی همچون طبیعت بکر، چشمه، رودخانه، مسیرهای مالرو، گونه‌های متعدد گیاهی، تخریب بسیار اندک و تنوع زیستی ویژه و نیز امنیت زیاد قابلیت بسیار مناسبی برای جذب گردشگران دارد. به نظر می‌رسد که تفرج جنگلی بهترین سیاست برای مدیریت جنگل‌ها به‌منظور کاهش عوامل تخریب و حفاظت پایدار آنها باشد.

در این تحقیق تلاش شد از فرصت گردشگری به‌عنوان رویکردی استفاده شود که در زمان استراحت طرح‌های جنگلداری، بتوان سازگاری و حفاظت از منابع طبیعی را نیز محقق کند. معیارهای مدنظر این تحقیق، برمبنای بررسی تحقیقات خارجی و داخلی گذشته در زمینهٔ گردشگری در جنگل و طراحی جاده‌های جنگلی و همچنین اطلاعات موجود دربارهٔ منطقه صورت گرفت. در پژوهش حاضر مسیرهای پیاده‌روی با هدف ایجاد دسترسی به مناطق دارای مناظر و جاذبه‌های گردشگری طراحی شد. با توجه به نقشهٔ جادهٔ موجود، نقشهٔ شایستگی تهیه‌شده برای منطقه و نقشهٔ مناظر تهیه‌شده، نتیجه‌گیری شد که جادهٔ موجود بخش‌های زیادی از مناطق دارای جاذبهٔ گردشگری را پوشش می‌دهد؛ بنابراین مسیرهای پیاده‌روی به‌عنوان مسیرهایی با حداقل نیاز به بودجه و عملیات خاکی به‌منظور تکمیل جاده و مسیرهای دسترسی موجود به مناطق دارای جاذبه و پتانسیل گردشگری در جنگل طراحی شد.

برای تهیهٔ نقشهٔ شایستگی برای تکمیل مسیرهای دسترسی منطقه، وزن‌دهی معیارها به روش AHP انجام گرفت. با توجه به طبقه‌بندی داخلی معیارها، ارزش همهٔ لایه‌ها برای مقایسه در محدودهٔ یک تا پنج قرار گرفتند. در بسیاری از پژوهش‌های پیشین (Hayati et al., 2013; Javanmard, 2015; Mostafa et al., 2010) نیز وزن‌دهی معیارها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام گرفته است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، معیار شیب بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و معیار زمین‌شناسی و خاک به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی نسبت به معیارهای دیگر قرار گرفتند. بنابراین مطابق با برخی تحقیقات (Abdi, 2005; Shahsavand Baghdadi et al., 2011; Javanmard, 2015; Çalışkan, 2013; Hayati et al., 2013; Talebi et al., 2020) شیب مهم‌ترین عامل در برنامه‌ریزی و طراحی شبکهٔ جادهٔ جنگلی است. در پژوهش Abdi (2005) و Javanmard (2015) دو معیار شیب و بافت خاک به‌ترتیب بیشترین اهمیت را به‌دست آوردند و در پژوهش Talebi et al. (2020) از بین معیارهای مختلف، معیارهای شیب، حساسیت به فرسایش و سنگ‌شناسی، سه معیار اصلی معرفی شدند. در پژوهش Çalışkan (2013) شیب و شبکهٔ هیدروگرافی مهم‌ترین معیارها در طراحی جاده معرفی شدند. معیارهای ارتفاع و جهت در پژوهش حاضر همانند پژوهش Talebi et al. (2020) و Mir Arab Razi (2018) کمترین وزن را به خود اختصاص دادند.

در این تحقیق از ترکیب روش ارزیابی چندمعیاری و شبکهٔ عصبی مصنوعی همانند پژوهش‌های (Talebi et al., 2020; Acer et al., 2017) برای برنامه‌ریزی شبکهٔ جاده استفاده شد. به‌طوری‌که نتایج این تحقیق همانند پژوهش‌های انجام‌گرفته (Abdi, 2005; Shahsavand Baghdadi et al., 2011; Çalışkan, 2013; Hayati et al., 2013; Talebi et al., 2020) قابلیت GIS و AHP را برای طراحی شبکهٔ جاده به‌خوبی نمایش می‌دهد. در نقشهٔ شایستگی حاصل، بیشتر معیارهای فنی ساخت جاده، همراه با معیارهای گردشگری به‌کار گرفته شدند که این نقشه همانند تحقیق Talebi et al. (2020) با آموزش داده‌ها به شبکهٔ MLP در شبکهٔ عصبی مصنوعی تهیه شد. در واقع مناطق دارای شیب‌های کمتر، تاج‌پوشش متراکم‌تر و ارتفاعات پایین‌تر، مطلوبیت بیشتری برای عبور جاده دارند. شیب عاملی است که به‌طور مستقیم در برنامه‌ریزی جادهٔ جنگلی تأثیر می‌گذارد (Çalışkan, 2013Talebi et al., 2020;). با توجه به معیار تراکم پوشش گیاهی، مناطق دارای تراکم بیشتر برای عبور جاده ارجح‌اند و برای گردشگران لذت‌بخش‌تر خواهند بود. معیار فاصله از جادهٔ موجود همانند تحقیق Talebi et al. (2020) از جهت رعایت فاصلهٔ مناسب عبور جاده نسبت به جادهٔ موجود از نظر پوشش و کیفیت شبکه‌بندی مورد توجه قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که ذکر شد در تحقیق حاضر ترکیبی از روش ارزیابی چندمعیاره و روش شبکهٔ عصبی مصنوعی برای تهیهٔ نقشهٔ شایستگی طراحی جاده و مسیر پیاده‌روی در جنگل خیرود ارائه شد. به‌طوری که مدل ارائه‌شده برای این منطقه یا مناطقی با اطلاعات ورودی مشابه کاربرد خواهد داشت. شبکهٔ عصبی مصنوعی توانست با خطای قابل قبولی (مجذور میانگین مربعات خطا ۰/۱۲۶ و ضریب تعیین ۰/۹۰۲) مقدار مطلوبیت منطقه را برای عبور شبکهٔ جاده و مسیر پیاده‌روی پیش‌بینی کند و در نهایت نقشهٔ شایستگی برای کمک به مسیریابی در منطقه با در نظر گرفتن معیارهای مؤثر در نحوهٔ طراحی شبکهٔ جاده ارائه شد. به‌طوری که نتایج رضایت‌بخش این تحقیق، قابلیت روش هوشمند شبکهٔ عصبی مصنوعی را برای مدلسازی نقشهٔ پتانسیل طراحی جاده به اثبات رساند؛ بنابراین استفاده از روش‌های جدید دقیق و سریع می‌تواند جایگزین روش‌های قبلی برای مسئلهٔ مکان‌یابی مسیرهای جاده و پیاده‌روی باشد.

References

Abdi, E, (2005). Planning forest road network with minimum construction cost using GIS. master's thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, http://dx.doi.org/10.29252/jwmr.9.18.197 (In Persian).

Aron, I.A. (2003). Optimal path, neural network approaches to modeling of forest road design for use in automated GIS systems. University TRANSILVANIA, Brasov, Romania, 89 p.

Çalışkan, E. (2013). Planning of forest road network and analysis in mountainous area. *Life science journal, 10*(2), 2456-2465

Deng, J., King, B., & Bauer, T. (2002). Evaluating natural attractions for tourism. *Annals of Tourism Research, 29*(2), 422e438. https://doi.org/10.1016/S0160-7383%2801%2900068-8

Hayati, E., Majnounian, B., Abdi, E., Sessions, J., & Makhdoum, M. (2013). An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment*, *185*, 1767–1776. http://dx.doi.org/10.1007/s10661-012-2666-1

Javanmard, M., Abdi, E., Ghatee, M., & Majnounian, B. (2018). Forest road planning using artificial neural network and GIS. *Iranian Journal of Forest, 10*(2), 139-152. (In Persian)

Kia, S.M. (2015). Neural Networks in MATLAB. Kian University Press, 408 p. (In Persian)

Mir Arab Razi, J. (2018). Optimizing the management of forest areas through the development of ecotourism. PhD Thesis, Gilan University. http://dx.doi.org/10.5937/tehnika1802293V. (In Persian)

Mohammadi Samani, K., Hosseiny, S.A., Lotfalian, M., & Najafi, A. (2010). Planning road network in mountain forests using GIS and Analytic Hierarchical Process (AHP). *Caspian Journal of Environmental Science*, *8*(2), 151-162.

Mostafa, M., Raafatnia, N., Shatabe, Sh., & Ghazanfar, H. (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)

Peng, C., & Wen, X. (1999). Recent applications of artificial neural networks in forest resource management: an overview. From: AAAI Technical Report WS-99-07, 8 p.

Safi, Y., Bouroumi, A. (2013). Prediction of forest fires using artificial neural networks. *Applied Mathematical Sciences*, *7*(6), 271-286. http://dx.doi.org/10.12988/ams.2013.13025

Shahsavand Baghdadi, N., Pir Bavaghar, M., & Sobhani, H. (2011). Forest road network planning based on environmental, technical and economical considerations using GIS and AHP. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19*(3), 380-395. https://doi.org/10.22092/ijfpr.2011.107549. (In Persian)

Sibi, A., & Raafatnia, N.A. (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)

Stefanović, B., Stojnić D. & Danilović, M. (2016). Multi-criteria forest road network planning in fire-prone environment: a case study in Serbia. *Journal of Environmental Planning and Management*, *59*(5), 911-926. https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1045971

Talebi, M., Majnounian, B., Abdi, E., & Omid, M. (2020). Preparing of capability map for road construction using artificial neural network and GIS. *Journal of Forest Research and Development, 6*(1), 121-134. (In Persian) https://doi.org/10.30466/jfrd.2020.120831

Talebi, M., Majnounian, B., Makhdoum, M., Abdi, E., & Omid, M. (2018). Forest road network designing for tourism development in Arasbaran protected area using GIS. *RS & GIS for Natural Resources, 9*(1), 93-112. (In Persian)

Talebi, M., Nickabadi, A., Majnounian, B., Abdi, E., Safabakhsh, R., Izadyar, N., & Laschi, A. (2022). Forest road planning to improve tourism accessibility: a comparison of different methods applied in a real case study, Geocarto International, DOI: 10.1080/10106049.2022.2032389

Makhdom, M. (2003). Fundamentals of land use Planning, University of Tehran Press, Tehran. 300 pp.

Talebi, M., Majnounian, B., Abdi, E., & Omid, M. (2020). Preparing of capability map for road construction using artificial neural network and GIS. *Journal of Forest Research and Development, 6*(1), 121-134. (In Persian), DIO: 10.30466/jfrd.2020.120831

Acar, H.H., Dursun, E., Gulci, S., & Gumus, S. (2017). Assessment of road network planning by using GIS-based multi-criteria evaluation for conversion of coppice forest to high forest. *Fresenius Environmental Bulletin, 26*(3), 2380-2388

Azizi, Z., & Najafi, A., (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)

Sarmadian, F., & Jafari, M. (2001). Investigation of forest soils at the Educational Research Station of the University of Natural Resources, University of Tehran (Khairud Kenar Noshahr). *Iranian Natural Resources, 54*(Special Issue), 110-111. SID. https://sid.ir/paper/432691/fa

Iranian Journal of Forest
Vol. 16, No. 3, Autumn 2024
pp. 357-369
Research Article

DOI: 10.22034/ijf.2024.382962.1915

Developing the forest road network to promote tourism using artificial neural network and GIS (Case study: Kheirud Forest)

M. Sharifi[1], E. Abdi[2*], M. Talebi[3], M. Makhdom[4] , and Z. Karimi[5]

[1]M.Sc. of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.
[2]Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.
[3]Ph.D. Forest Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.
[4]Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.
[5]Ph.D. Student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

(Recived: 10 April 2023; Accepted: 21 January 2024)

Abstract

Introduction: Tourism in forests can be effective in developing forest management plans, specially during forest rest periods. Forest areas are important for the protection of ecosystems and natural resources, as well as providing recreational opportunities for people. Therefore, forest recreation, as a form of tourism development, is a significant factor that provides many direct and indirect economic, social, cultural, and environmental benefits. The aim of this research is to design and complete the forest road network and add walking paths with the goal of tourism development in Kheyrud Forest using the capabilities of artificial neural networks and GIS.

Material and methods: Initially, layers of slope, aspect, elevation, geology, soil, canopy cover percentage, and existing roads were prepared, and each layer was internally classified and weighted. The internal classification of the layers was done based on the opinion of an expert and researcher in the field of forest engineering and forest tourism, and the weighting of the layers was performed using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. By integrating the various layers and their corresponding weights using the Weighted Linear Combination (WLC) method, a suitability map of the Patam section was prepared as the training section for the neural network to pass the road network. The value of each cell from the shapes, along with coordinates, was extracted using ArcGIS software, and all data were mapped to a range of 1 to 5. In this research, a Multilayer Perceptron (MLP) neural network with 30 neurons in the hidden layer was used for modeling. The data on slope, aspect, elevation, geology, soil, canopy cover percentage, and existing roads were used as inputs, and the suitability data for the Patam section road passage was used as the output for training the network. The neural network estimated the suitability for each of the three active forest sections based on the Patam section.

Results: The overlaying of the existing road network layers, landscape map, and suitability map of the research area showed that the existing road network has made many areas with tourism potential accessible to tourists. Therefore, to complete the access network to areas with tourism potential in the forest, using the PEGGER extension in the ArcView software environment and considering the landscape shape and suitability shape, walking paths of approximately 14 kilometers were designed. During the design, efforts were made to ensure that the road passes through more desirable areas (pixels with lower values). According to the results, the MLP artificial neural network, with a coefficient of determination (R^2) of 0.902 and a root mean square error (RMSE) of 0.126, showed greater ability than linear regression in estimating the suitability value for road passage.

Conclusion: The results of this research demonstrate the capability of the intelligent method based on artificial neural networks and GIS for designing and planning the road network. The findings indicate an increase in the learning ability of the MLP network with an increase in iterations up to the 7th iteration.

Keywords: Competency Map, Geographic Information System (GIS), Multilayer Perceptron Artificial Neural Network (MLP), Modeling,Tourism Development.

* Corresponding author Tel: 9802632223044 Email: abdie@ut.ac.ir