

طراحی شبکه جاده جنگلی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و GIS

مینا جوانمرد^۱، احسان عبدی^{۲*}، مهدی قطعی^۳ و باریس مجنونیان^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشگاه تهران، کرج

^۲ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

^۳ دانشیار گروه علوم ریاضی دانشگاه امیرکبیر، تهران

^۴ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۲۸)

چکیده

جاده‌های جنگلی به منظور ایجاد دسترسی به جنگل احداث می‌شوند و تأثیر زیربنایی در سازماندهی منطقه دارند. هدف این پژوهش، معرفی راهکاری هوشمند مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی با تلفیق GIS برای طراحی شبکه جاده جنگلی با در نظر داشتن اصول و معیارهای فنی شبکه جاده جنگلی است. ابتدا معیارهای مؤثر با استفاده از روش دلفی شناسایی شد و وزن‌دهی آنها با استفاده از روش AHP، انجام گرفت. با تلفیق لایه‌های مختلف و وزن نظیر هر یک به روش وزن‌دهی خطی، نقشه شایستگی بخش پاتم برای عبور شبکه جاده تهیه شد. ارزش هر پیکسل از نقشه‌ها به همراه مختصات، با استفاده از نرم‌افزار ENVI استخراج شد. به منظور آماده‌سازی داده‌ها برای ورود به نرم‌افزار MATLAB، همه داده‌ها به دامنه ۰ تا ۱ نگاشت شدند. در این مطالعه برای مدل‌سازی، از دو شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و شعاع مینا استفاده شد. شبکه‌های عصبی درجه مطلوبیت عبور جاده برای پنج بخش جنگل را براساس بخش پاتم برآورد کردند. با استفاده از برنامه جانبی PEGGER دو شبکه جاده نیز طراحی شد. در انتها جاده‌های طراحی شده با جاده موجود توسط GIS مقایسه و ارزیابی شد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی پرسپترون چندلایه توانایی بیشتری در برآورد درجه مطلوبیت عبور جاده دارد و ضریب تبیین آن ۰/۹۹۴ به دست آمد. برای مقایسه نتایج شبکه‌های عصبی پیشنهادی از رگرسیون خطی استفاده شد. نتایج نشان داد هر دو شبکه عصبی نتایج بهتری از رگرسیون خطی ارائه دادند و قابلیت لازم را برای تعیین میزان مطلوبیت در طی فرایند طراحی شبکه جاده دارند. براساس نتایج به دست آمده گزینه دوم طراحی شده، برپایه میزان ارزش واحد طول به عنوان شبکه جاده بهینه معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون خطی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شبکه جاده جنگلی، شبکه عصبی مصنوعی، نقشه شایستگی.

مقدمه

کمترین تأثیر منفی بر محیط را داشته باشد و در عین حال همه کارکردهای برنامه‌ریزی شده را ارائه کند. هرگونه اشتباه در طراحی و مکان‌یابی جاده جنگلی ممکن است بسیار پرهزینه و همراه با آثار مخرب باشد؛ از این‌رو جاده‌های جنگلی باید طوری طراحی شوند که با در نظر داشتن استانداردهای فنی

جنگل مجموعه پیچیده زیستی و به تعادل رسیده‌ای است که هرگونه دخالت می‌تواند تعادل آن را بر هم بزند. ساخت جاده، نوعی دخالت شدید در جنگل محسوب می‌شود، بنابراین چالش بزرگ مهندسان جنگل، طراحی شبکه جاده‌ای است که

شبکه‌های MLP قادرند در صورت انتخاب تعداد مناسب لایه‌ها و سلول‌های عصبی، که اغلب هم زیاد نیستند، یک نگاشت غیرخطی را با دقت دلخواه انجام دهند (Menhaj, 2016). در شبکه‌های چندلایه، لایه‌ها به ترتیب به هم متصل می‌شوند. تعداد سلول‌های عصبی لایه پنهان به نظر طراح شبکه بستگی دارد و با آزمون و خطا به دست می‌آید. برای آموزش شبکه MLP از الگوریتم پس‌انتشار خطا استفاده می‌شود. این الگوریتم برای آموزش پرسپترون‌های چندلایه که قادر به حل مسائل غیرخطی‌اند به کار می‌رود (Menhaj, 2016). در این روش از آموزش با ناظر استفاده می‌شود و با استفاده از شیب نزولی سعی می‌شود مربع خطای بین خروجی‌های شبکه و تابع هدف به کمترین حد برسد. شبکه‌های RBF طوری سازمان یافته‌اند که تبدیل‌ها در واحدهای پنهان در حکم مجموعه‌ای از توابع به منظور نگاشت الگوهای ورودی به الگوهای خروجی انجام می‌گیرد. بنابراین باید تعداد واحدها در لایه مخفی، برای محدوده فضایی که درون‌یابی در آن انجام می‌گیرد، کافی باشد (Ghanbari et al., 2009). آموزش پارامترهای شبکه (وزن‌ها) بین لایه‌های مخفی و لایه خروجی به روش نظارت‌شده و براساس خروجی‌های هدف انجام می‌گیرد. شبکه‌های شعاع‌مبنا به نسبت شبکه پس‌انتشار به سلول‌های عصبی بیشتری نیاز دارند، اما مزیت آنها زمان طراحی کوتاه‌تر است.

از شبکه‌های عصبی مصنوعی تاکنون در مطالعات مختلف و برای اهداف متفاوتی در علوم جنگل استفاده شده است. برای مثال در مطالعات داخلی می‌توان به پیش‌بینی پراکنش مکانی تراکم جنگل (Ghanbari et al., 2009)، برآورد مدت زمان قطع درخت (Bayati et al., 2013)، برآورد حجم تنه درختان (Bayati & Najafi, 2013) پیش‌بینی ناپایداری ترانشه جاده جنگلی (Azizi, & Hosseini, 2015)؛ و در مطالعات خارجی به برآورد آسیب‌پذیری توده‌های

موجود، کمترین حجم عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی را دارا باشند. برای یک منطقه مشخص، تعداد زیادی گزینه شبکه جاده می‌توان طراحی کرد؛ بنابراین باید با روش‌های علمی، گزینه بهینه انتخاب و اجرایی شود. ارزیابی گزینه‌های مختلف شبکه جاده جنگلی و تعیین مناسب‌ترین گزینه می‌تواند در کاهش هزینه‌های جاده‌سازی مؤثر باشد. در گذشته، طراحی شبکه جاده جنگلی به روش سنتی صورت می‌گرفت که از معایب آن می‌توان به سرعت کم، قابلیت به کارگیری اطلاعات و داده‌های مکانی کم اشاره کرد. این عوامل سبب ایجاد روش‌های نوین و استفاده از رایانه‌ها در طراحی جاده‌های جنگلی شد. تاکنون از روش‌های مختلفی برای این هدف استفاده شده که یکی از آنها شبکه‌های عصبی مصنوعی است (Aron, 2003). شبکه‌های عصبی مصنوعی از عناصر عملیاتی ساده‌ای ساخته می‌شوند که به صورت موازی در کنار هم عمل می‌کنند. این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته‌اند. شبکه‌های عصبی به دلیل افزایش سرعت محاسبات و مدل‌سازی، یکی از الگوریتم‌های جدیدی است که استفاده از آن در سال‌های اخیر افزایش یافته است. دلیل برتری شبکه‌های عصبی بر محاسبات کلاسیک، عملکرد سریع‌تر و راحت‌تر آنهاست (Menhaj, 2016). شبکه‌های عصبی از دو ویژگی اساسی یادگیری یا نگاشت‌پذیری براساس ارائه داده‌های تجربی و قدرت توانایی تعمیم‌پذیری و ساختارپذیری موازی برخوردارند، بنابراین برای مسائل کنترل، به‌ویژه سیستم‌های پیچیده که مدل‌سازی این سیستم‌ها به سختی انجام می‌گیرد بسیار مناسب‌اند (Menhaj, 2016). از بین شبکه‌های عصبی، شبکه پرسپترون چندلایه (MLP)^۱ و شبکه تابع پایه شعاعی^۲ (RBF) در زمینه‌های مختلف علوم بیشترین کاربرد را داشته‌اند.

1 Multi-Layer Perceptron

2 Radial Basis Function

جاده به سیستم زهکشی سنگینی نیاز ندارد. خاک منطقه از نظر بافت اغلب ریزدانه و دارای تنوع بوده و بیشتر شامل چهار طبقه CH، CL، MH و ML است. حدود ۶۰ درصد منطقه شیب کم تا متوسط و کمتر از ۴۰ درصد دارد. دسترسی به جنگل خیرود از پایین دست از جاده احداثی طرح‌های جنگلداری پاتم، نم‌خانه و گرازبن امکان‌پذیر است. طول این شبکه جاده در حدود ۴۰ کیلومتر و انتهای‌ترین نقطه آن در حال حاضر ابتدای سری تاشه‌زه (رودخانه تاشه‌زه) است. بیشتر جاده‌ها درجه دو (اصلی جنگلی) هستند و شاخه‌های محدودی از جاده درجه سه به‌منظور نفوذ در پارسل‌ها ساخته شده است.

روش پژوهش

تهیه لایه‌های اطلاعاتی

در این پژوهش همانند برخی مطالعات قبل (Hayati et al., 2012)، به‌منظور انتخاب معیارهای مؤثر در طراحی شبکه جاده جنگلی، از روش دلفی و نظر هشت نفر از استادان مهندسی جنگل استفاده شد. شرط انتخاب معیارها، وجود یا امکان تهیه اطلاعات مکانی با صحت مناسب برای تمامی بخش‌های مورد بررسی بود. سه معیار زمین‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی خاک و شیب برای مطالعه انتخاب شد و سپس به جمع‌آوری و تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز اقدام شد. در جدول ۱ اطلاعاتی در مورد متادیتای معیارها آمده است.

نقشه معیارها براساس نظر کارشناسان (دو نفر از استادان مهندسی جنگل) بین بازه یک تا پنج طبقه‌بندی داخلی شد (جدول‌های ۲ تا ۴).

بر اساس این طبقه‌بندی، به بهترین مناطق برای عبور جاده ارزش کمتر (مقدار یک) و به بدترین مناطق ارزش بیشتری (مقدار پنج) داده شد. به‌منظور دخالت دادن معیارها با توجه به میزان تأثیر و اهمیت هر یک در روند ارزیابی، وزن‌دهی آنها با فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام گرفت (Hayati et al., 2012).

جنگلی در مقابل باد (Hasenauer et al., 2001)، طبقه‌بندی مراحل احیای جنگل (Kuplich, 2006)، طراحی مسیر برای خاموش کردن آتش (Sivaram Kumar & Rajasekaran, 2012) و مدل‌سازی برای باران‌ریایی (Yurtseven & Zengin, 2013) اشاره کرد. تنها مورد استفاده از شبکه عصبی در طراحی جاده جنگلی، تحقیق Aron (2003) است که به طراحی جاده جنگلی با ترکیب شبکه عصبی مصنوعی پیش‌خور و GIS پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی قادر به پیش‌بینی مناسب و قابل قبول برای طراحی است. تا کنون در ایران از روش‌ها و ابزار مختلفی از جمله فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، GIS، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر و روش دلفی در فرایند طراحی جاده‌های جنگلی استفاده شده، ولی قابلیت‌های شبکه عصبی برای این منظور آزمون نشده است. بنابراین پژوهش حاضر در نظر دارد قابلیت‌های شبکه عصبی مصنوعی به‌همراه GIS در طراحی جاده‌های جنگلی را بررسی کند.

با توجه به مطالب ذکرشده، هدف اصلی پژوهش حاضر، معرفی راهکاری هوشمند مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی با تلفیق GIS برای طراحی شبکه جاده جنگلی با در نظر داشتن اصول و معیارهای فنی شبکه جاده جنگلی بود.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

منطقه تحقیق، جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود دانشگاه تهران است که در مختصات 32° و 51° تا 35° و 51° طول شرقی و 34° و 36° تا 37° و 36° عرض شمالی واقع شده است. این پژوهش در پنج بخش پاتم، نم‌خانه، گرازبن، چلیبر و بهاربن انجام گرفت. جنگل خیرود از سه واحد سنگی تشکیل شده که واحد غالب آن از آهک و آهک دولومیتی است که سبب تشکیل تعداد زیادی از پدیده‌های کارستی شده است که به زهکشی کمک می‌کند و در نتیجه شبکه

بیشترین وزن را در طراحی جاده جنگلی به خود اختصاص می‌دهند (Abdi et al., 2009; Hayati et al., 2012). این نقشه برای فراهم کردن خروجی جهت آموزش شبکه عصبی استفاده شد.

سپس با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده برای لایه‌های زمین‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی خاک و شیب و با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی، نقشه درجه مطلوبیت برای عبور جاده بخش پاتم تهیه شد. مطالعات قبل نیز نشان داده‌اند که این معیارها

جدول ۱- متادیتای معیارهای مورد بررسی

محدوده طول‌ها	محدوده عرض‌ها	سال تهیه	تهیه‌کننده	واحد	مبنا	سامانه	مقیاس	معیار
-۴۰۲۵۷۲۲ ۴۰۵۳۵۸۰	-۵۴۴۶۹۵ ۵۶۷۲۷۶	۱۳۸۶	سازمان زمین‌شناسی	متر	WGS 1384	UTM Zone 39N	۱/۲۵۰۰۰	زمین‌شناسی
-۴۰۳۷۶۵۷ ۴۰۵۲۰۴۴	-۵۴۹۴۸۳ ۵۶۲۴۱۹	۱۳۸۰	دانشکده منابع طبیعی	متر	اروپایی ۱۹۵۰	UTM Zone 39N	۱/۲۵۰۰۰	خاک
-۴۰۳۱۷۵۰ ۴۰۵۳۳۲۴	-۵۴۷۵۵۲ ۵۶۵۲۲۰	۱۳۸۳	سازمان نقشه‌برداری	متر	WGS 1384	UTM Zone 39N	۱/۲۵۰۰۰	شیب (تهیه‌شده از لایه توپوگرافی)

جدول ۲- کلاسه‌بندی طبقات داخلی معیار شیب دامنه

رتبه مطلوبیت	درصد شیب
۱	۰-۲۰
۲	۲۰-۴۰
۳	۴۰-۵۰
۴	۵۰-۶۰
۵	>۶۰

جدول ۳- کلاسه‌بندی طبقات داخلی معیار زمین‌شناسی

رتبه مطلوبیت	توضیحات	طبقه زمین‌شناسی
۱	سازند الیکا	TR _e ^{dl}
۲	سنگ آهک روشن	K _t ^l
	سنگ آهک روشن	K _t
	سنگ آهک ندول	P _n
۳	همراه با مارن خاکستری	K ₂ ^{lm}
	لایه‌های خاک رس	K ₂ ^l
۴	شیل زغال‌دار	J _s ^{Sh,s}
	سنگریزه با رسوبات آبراهه‌ای	Q _s
۵	ذخایر دلتایی	Q _d
	رسوبات آبراهه‌ای	Q ^{al}

جدول ۴- کلاسه‌بندی طبقات داخلی معیار ویژگی‌های فیزیکی خاک

رتبه مطلوبیت	عمق خاک	نفوذپذیری	بافت خاک
۲	خیلی کم عمق	متوسط	سطحی سنگین
۱	خیلی عمیق	آهسته	سطحی سنگین
۳	عمیق	آهسته	سطحی سنگین تا خیلی سنگین
۳	عمیق	آهسته	سطحی سنگین
۳	عمیق	آهسته	سطحی سنگین
۱	خیلی عمیق	آهسته	سطحی سنگین
۱	متوسط	متوسط تا آهسته	سطحی متوسط، حدود ۲۵-۱۵٪ سنگریزه
۱	متوسط	آهسته	سطحی خیلی سنگین، حدود ۷۵-۳۵٪ سنگریزه در خاک تحتانی، با مقدار زیادی آهک در خاک زیرین
۱	کم عمق	آهسته	سطحی سنگین، حدود ۷۰-۳۵٪ سنگریزه در خاک تحتانی
۳	عمیق	آهسته	سطحی سنگین
۲	خیلی کم عمق	آهسته	سطحی متوسط

منبع: سرمدیان و جعفری (۱۳۸۰)، ستون آخر توسط کارشناسان ارزش‌گذاری شده است.

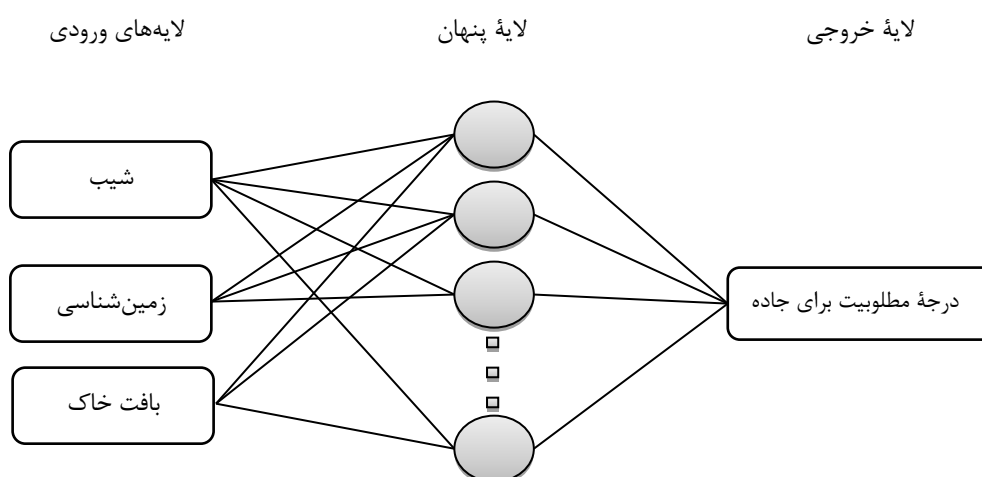
\bar{X} : داده نرمال شده، X_i : داده مورد استفاده،
 X_{min} : کمترین داده مشاهده شده در منطقه و
 X_{max} : بیشترین داده مشاهده شده در منطقه مورد
 نظرند.

داده‌های زمین‌شناسی، خاک و شیب بخش پاتم به عنوان ورودی و داده درجه مطلوبیت برای عبور جاده همین بخش به عنوان خروجی برای آموزش به شبکه‌ها داده شد (شکل ۱) و شبکه‌ها میزان مطلوبیت عبور جاده در هر پنج بخش تحت مطالعه را براساس این بخش تخمین زدند. در شبکه MLP از الگوریتم آموزش Levenberg-marquardt استفاده شد و بردارهای ورودی به صورت تصادفی به سه مجموعه به شرح زیر تقسیم شدند: ۷۰ درصد داده‌ها در مجموعه آموزشی، ۱۵ درصد داده‌ها در مجموعه ارزیابی و ۱۵ درصد داده‌ها در مجموعه آزمون برای بررسی کارایی شبکه نهایی. تعداد سلول‌های عصبی مربوط به لایه‌های میانی شبکه RBF و تعداد لایه‌های میانی (لایه پنهان)، تابع انتقال مناسب و همچنین تعداد سلول‌های عصبی مربوط به لایه‌های میانی در شبکه MLP با آزمون و خطا تعیین شدند (Ghanbari et al. 2009).

آماده‌سازی داده‌ها برای وارد کردن به MATLAB و مدل‌سازی شبکه‌های عصبی

به منظور آماده‌سازی داده‌ها برای وارد کردن به نرم‌افزار MATLAB از نرم‌افزار ENVI استفاده شد. ارزش هر سلول از نقشه به همراه مختصات آن سلول برای نقشه درجه مطلوبیت برای عبور جاده بخش پاتم و نیز نقشه‌های شیب، زمین‌شناسی و ویژگی فیزیکی خاک پنج بخش مورد مطالعه، توسط این نرم‌افزار استخراج شد. سپس برای افزایش دقت و سرعت فرایندهای شبکه‌های عصبی داده‌های مربوط به درجه مطلوبیت برای عبور جاده نرمال شدند. به این منظور در این پژوهش از نرمال‌سازی خطی براساس رابطه ۱ استفاده شد (Ghanbari et al. 2009). با استفاده از این رابطه، همه داده‌ها در بازه صفر تا یک قرار گرفتند که عدد یک نشان‌دهنده عدم مطلوبیت و صفر نشان‌دهنده مطلوبیت مطلق برای عبور جاده است. به این ترتیب داده‌ها آماده واردسازی به نرم‌افزار MATLAB شدند.

$$\bar{X} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad \text{رابطه ۱}$$



شکل ۱- ساختار شبکه های عصبی طراحی شده

عبور ضعیف (مقدار بیشتر) کاسته شود تا هزینه ساخت جاده طراحی شده کاهش یابد و همچنین جاده دارای کیفیت بهتری باشد. در نهایت به منظور انتخاب بهترین شبکه، شبکه های جاده های طراحی شده و موجود برای ارزیابی به محیط ArcGIS منتقل شد.

بررسی و تجزیه و تحلیل شبکه جاده های پیشنهادی و پیش بینی شده در طرح بر پایه نقشه مطلوبیت عبور جاده ها و هزینه واحد طول جاده انجام گرفت. با استخراج مجموع ارزش های هر گزینه شبکه جاده از نقشه مطلوبیت برای عبور جاده، هزینه گزینه ها حاصل شد و از تقسیم هزینه هر گزینه به طول آن، هزینه واحد طول هر گزینه شبکه جاده به دست آمد (Abdi et al., 2009). چون طبقه بندی داخلی نقشه ها براساس مطلوبیت انجام گرفته یعنی ارزش کمتر، مطلوبیت بیشتری (هزینه کمتر) دارد. هرچه هزینه واحد طول جاده ارزش کمتری داشته باشد مطلوب تر است.

نتایج

براساس نتایج روش دلفی سه عامل شیب، زمین شناسی و خاک به عنوان مهم ترین عوامل (و دارای داده برای تمام بخش ها) انتخاب شدند و نقشه این عوامل تهیه شد. وزن معیارهای شیب، خاک و زمین شناسی

به منظور ارزیابی مدل ها از میانگین مربع خطا^۱ (MSE) و مجذور میانگین مربع خطا^۲ (RMSE) استفاده شد (Hanewinkel et al., 2004; Yurtseven & Zengin, 2013). برای ارزیابی کیفیت شبکه های عصبی، رگرسیون خطی محاسبه و نتایج آن با دو شبکه عصبی مقایسه شد تا بهترین مدل انتخاب و برای ساخت نقشه مطلوبیت عبور جاده برای کل منطقه از آن استفاده شود. سپس نتایج به دست آمده از بهترین مدل به همراه مختصات تمام نقاط، وارد نرم افزار ArcGIS شد تا نقشه یکپارچه قابلیت عبور جاده برای پنج بخش مورد مطالعه ایجاد و در طراحی مسیر از آن استفاده شود.

طراحی مسیره های پیشنهادی و ارزیابی آنها

به منظور انتخاب بهترین گزینه

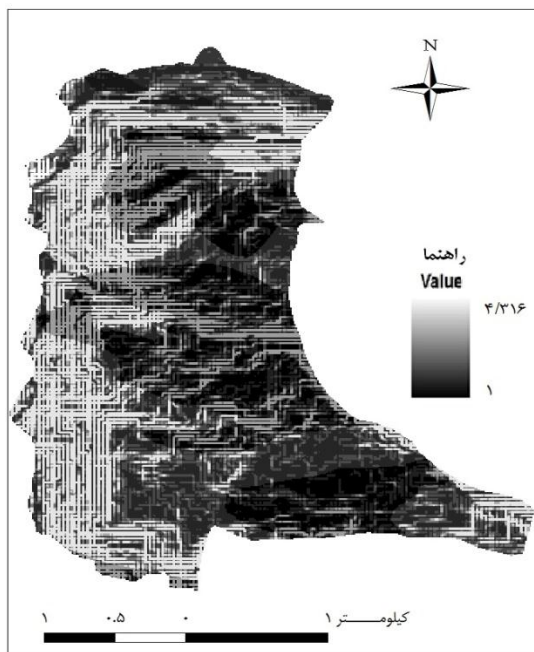
در این مطالعه برای طراحی گزینه ها با توجه به گزینه موجود و تکمیل آن، از نرم افزار ضمیمه PEGGER استفاده شد. در طول طراحی مسیر، به نقشه مطلوبیت عبور جاده توجه شد و سعی شد جاده از مناطقی با قابلیت عبور قوی (مقدار عددی کمتر) عبور کند و در مقابل از طراحی در مناطق با قابلیت

1. Mean Squared Error

2. Root Mean Squared Error

آمد (شکل ۲). دامنه شایستگی در این نقشه بین ۱ (مطلوب‌ترین) تا ۴/۳۱۶ (نامطلوب‌ترین) است.

به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۳۴ و ۰/۰۸ به دست آمد. نقشه‌های طبقه‌بندی شده داخلی با توجه به وزن‌هایشان با هم تلفیق شدند و نقشه شایستگی برای بخش پاتم به دست



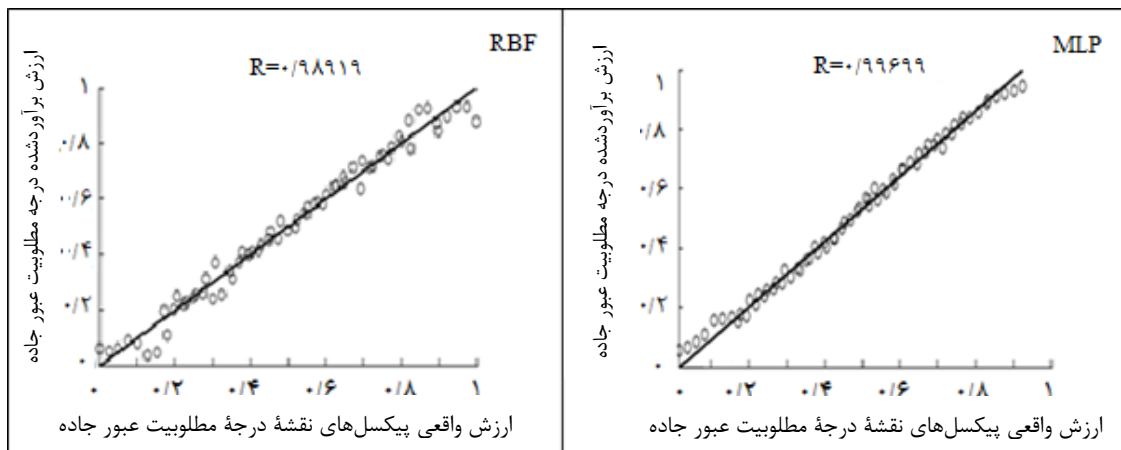
شکل ۲- نقشه درجه مطلوبیت عبور جاده بخش پاتم حاصل از ارزیابی چندمعیاری (قسمت‌های تیره‌تر نشان‌دهنده مطلوبیت بیشتر برای توسعه شبکه جاده است).

چندمعیاری) و برآورد دقیق‌تر مدل است. شکل ۴ نیز مقایسه ارزش واقعی و مقادیر برآورد شده درجه مطلوبیت برای عبور جاده توسط هر دو شبکه را نشان می‌دهد. محور x نشان‌دهنده شماره نمونه و محور y نشان‌دهنده میزان مطلوبیت برای عبور جاده است.

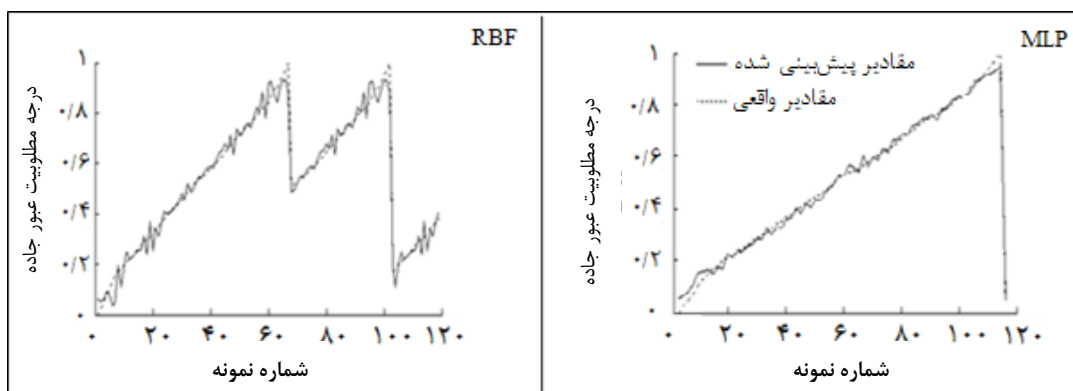
هیستوگرام خطای هر دو شبکه در شکل ۵ رسم شده است. محور افقی، میزان خطا و محور عمودی تعداد تکرار آن خطا را نشان می‌دهد. هرچه نمودار در اطراف خطای صفر متمرکزتر و نمودار نوک‌تیزتر باشد، عملکرد شبکه بهتر است. با مقایسه هیستوگرام خطای دو شبکه مشاهده می‌شود که هر دو توزیع نرمال دارند. اما تجمع خطا در شبکه RBF در بازه ۰/۱- تا ۰/۱ است، اما در شبکه MLP در بازه ۰/۰۶- تا ۰/۰۶ است؛ بنابراین خطا در شبکه MLP به صفر نزدیک‌تر و بازه خطا بسیار کمتر است.

نتایج حاصل از شبکه‌های عصبی طراحی شده

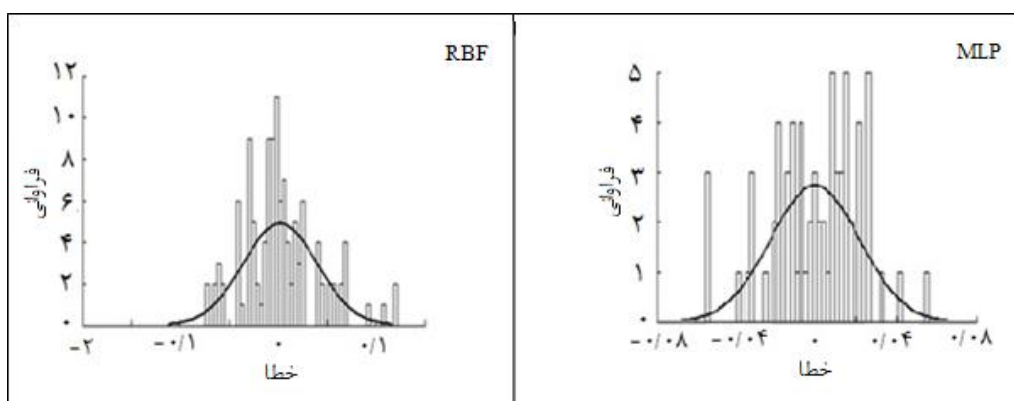
در این پژوهش نوع قاعده آموزشی، تابع انتقال و همچنین تعداد نورون لایه مخفی برای هر شبکه آزمایش شد. شبکه MLP با ترکیب ۱-۹-۳ و شبکه RBF با ترکیب ۱-۱۲-۳ به عنوان مدل‌های دارای مناسب‌ترین ترکیب ساخته شدند. برای مقایسه بهتر دو شبکه، نمودارهایی از عملکرد هر دو رسم شد (شکل‌های ۳ تا ۵). در شکل ۳ ارزش واقعی پیکسل‌های نقشه درجه مطلوبیت برای عبور جاده (محور x) و ارزش برآورد شده درجه مطلوبیت برای عبور جاده (محور y) در مقابل هم رسم شده‌اند تا میزان همبستگی بین این مقادیر بررسی شود. نزدیک‌تر بودن نمودارها به خط ۱:۱، نشان‌دهنده انحراف کمتر مقادیر برآورد شده از مقادیر واقعی (نقشه درجه مطلوبیت برای عبور جاده حاصل از روش ارزیابی



شکل ۳- میزان همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی برای دو شبکه



شکل ۴- مقایسه خروجی واقعی و خروجی برآورد شده توسط دو شبکه در نمونه‌ها



شکل ۵- هیستوگرام خطای دو شبکه عصبی مصنوعی

توجه به نتایج می‌توان بیان کرد که عملکرد شبکه‌های عصبی بهتر از رگرسیون خطی است و شبکه MLP نیز بهترین عملکرد را داراست.

جدول ۵ بیانگر نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی دقت مدل‌های ساخته‌شده با استفاده از روش رگرسیون خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی است. با

جدول ۵- نتیجه رگرسیون خطی و دو شبکه MLP و RBF برای برآورد مطلوبیت عبور جاده

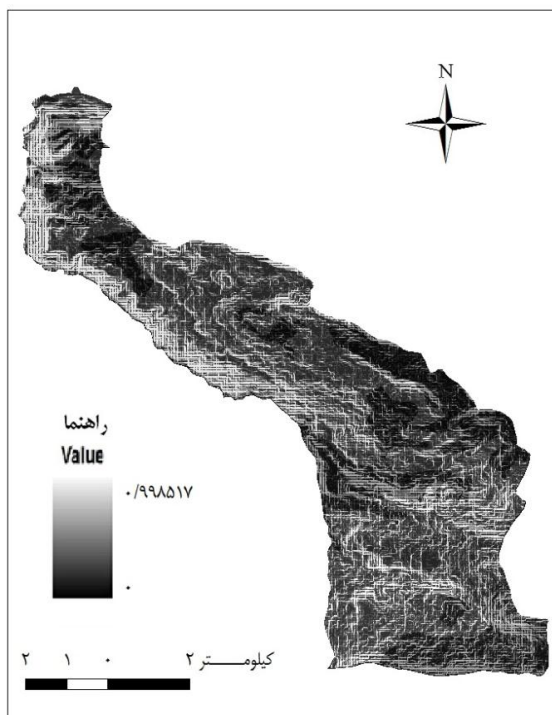
نوع روش	RMSE	MSE	R	R ²
رگرسیون خطی	۰/۰۸۴۴	۰/۰۰۷۱	۰/۸۹۷۱	۰/۸۰۴۸
شبکه MLP	۰/۰۲۲۱	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹۶۹	۰/۹۹۳۸
شبکه RBF	۰/۰۳۷۹	۰/۰۰۱۴	۰/۹۸۹۲	۰/۹۷۸۵

نتیجه نشان می‌دهند. بدین ترتیب مشخص می‌شود که شبکه MLP نیز مهم‌ترین عامل در هزینه ساخت جاده را شیب و کم اهمیت‌ترین عامل را زمین‌شناسی برآورد کرده است.

برای تعیین میزان اهمیت هر یک از معیارها در نتایج عملکرد شبکه منتخب (MLP)، وزن هر کدام از متغیرهای مستقل در میزان برآورد در جدول ۶ آورده شده است. وزن‌ها میزان اهمیت آن عامل را در برآورد

جدول ۶- وزن متغیرهای ورودی در مدل‌سازی شبکه

مطلوبیت	متغیرهای مستقل
۰/۱۸۷	خاک
۰/۰۵۵	زمین‌شناسی
۰/۴۷۵	شیب

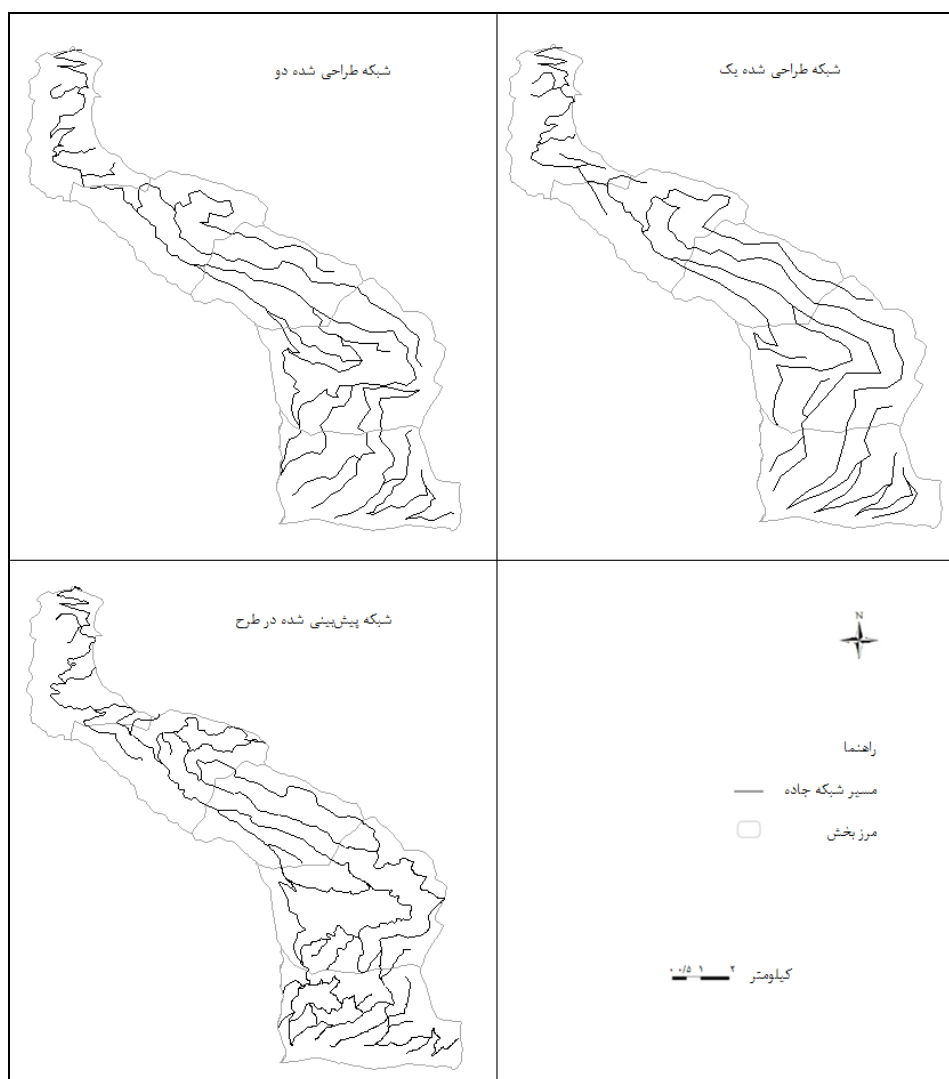


شکل ۶- نقشه مطلوبیت عبور جاده حاصل از شبکه عصبی (قسمت‌های تیره‌تر نشان‌دهنده مطلوبیت بیشتر برای توسعه شبکه جاده‌اند)

بهترین مدل، براساس نتایج به‌دست‌آمده انتخاب شد. بعد از پایان آموزش، داده‌های شیب، خاک و زمین‌شناسی شش بخش مورد مطالعه به شبکه منتخب (شبکه MLP) داده شد تا میزان مطلوبیت عبور جاده برای هر پیکسل را برای تمام پنج بخش مشخص کند. نتایج برآوردشده برای هر سلول از شبکه استخراج و وارد محیط ArcGIS شده و به نقشه تبدیل شد (شکل ۶). مقدار صفر نشان‌دهنده مطلوبیت مطلق و مقدار ۰/۹۹۸ نشان‌دهنده مطلوب نبودن برای عبور جاده است.

طراحی شبکه جاده

با توجه به نقشه مطلوبیت عبور جاده حاصل از شبکه MLP و دامنه شیب مجاز با استفاده از PEGGER در محیط ArcView دو شبکه جاده جدید برای شش بخش طراحی شد که در شکل ۷ ارائه شده‌اند.



شکل ۷- شبکه جاده‌های طراحی شده (گزینه‌های ۱ و ۲) و شبکه پیشنهادی موجود در طرح

نتایج ارزیابی جاده‌های طراحی شده

برای ارزیابی و مقایسه جاده‌های طراحی شده و پیش‌بینی شده در طرح، ارزش واحد طول برای هر یک از شبکه‌ها محاسبه شد که در جدول ۷ نشان داده شده

است. مقدار عددی کمتر نشان‌دهنده مطلوبیت بیشتر است، بنابراین هر شبکه‌ای که دارای ارزش واحد طول کمتری است، شبکه مطلوب‌تری محسوب می‌شود.

جدول ۷- طول، تراکم و ارزش واحد طول شبکه جاده‌ها

شبکه جاده	طول (کیلومتر)	تراکم (m/ha)	مجموع ارزش	ارزش واحد طول
پیش‌بینی شده در طرح	۱۱۵	۱۸/۰۹۱	۵۹۲۳/۰۳	۵۱/۵
گزینه طراحی شده ۱	۹۷	۱۶/۱۷	۴۷۸۷/۷۸	۴۹/۳۶
گزینه طراحی شده ۲	۱۱۶/۴	۱۹/۰۱	۴۵۲۰/۲۵	۳۸/۸۳

برابر در هزینه ساخت جاده جنگلی نبودند با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی وزن‌دهی انجام گرفت. در مطالعات پیشین نیز از این روش برای وزن‌دهی معیارهای مؤثر در طراحی جاده جنگلی استفاده شده است (Abdi et al., 2008; Emani et al., 2012). با این تفاوت که در این مطالعه به‌جای اینکه معیارها توسط تیم پژوهش مشخص و بعد وزن‌دهی شوند، انتخاب معیارها نیز توسط کارشناسان انجام گرفت. براساس نتایج مقایسه زوجی معیارها توسط کارشناسان، معیارهای شیب، ویژگی‌های فیزیکی خاک و زمین‌شناسی به‌ترتیب دارای بیشترین تا کمترین اهمیت بودند که با یافته‌های (Emani et al., 2012) مطابقت دارد. با توجه به نتایج این پژوهش و یافته‌های محققان دیگر، می‌توان مهم‌ترین عامل در طراحی شبکه جاده جنگلی را شیب اعلام کرد (Abdi et al., 2008). شایان ذکر است که معیارهای دیگری نیز مانند تیپ، جهت جغرافیایی و حجم در هکتار در برخی مطالعات گذشته در نظر گرفته شده‌اند (Sibi & Raafatnia, 2012)؛ اما اهمیت آنها نسبت به معیارهای شیب و نوع خاک به‌حدی کم است که در نظر نگرفتن آنها لطمه‌ای به روند ارزیابی وارد نخواهد کرد (Hayati et al., 2012). در این مطالعه این‌گونه معیارها در مرحله دلفی توسط روش درصد اهمیت و درجه اهمیت معیارها که در (Hayati et al., 2012) ذکر شده حذف شد.

در این تحقیق به‌منظور تعیین مناطق مطلوب و نامطلوب برای عبور جاده از سه مدل MLP و RBF و رگرسیون خطی استفاده شد. ضریب تبیین برای شبکه MLP، RBF و رگرسیون خطی به‌ترتیب ۰/۹۹۴، ۰/۹۷۸ و ۰/۸۰۵ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که هر دو شبکه عملکرد مناسب از خود نشان دادند، اما شبکه MLP توانست برآورد بهتری انجام دهد. مقایسه رگرسیون خطی با خروجی شبکه‌ها، نشان‌دهنده توانایی بهتر مدل‌های عصبی نسبت به رگرسیون خطی است که با یافته‌های دیگر محققان

همان‌طور که از داده‌های جدول پیداست، گزینه طراحی شده ۲ کمترین هزینه واحد طول را داراست و حتی با وجود تراکم بیشتر، نسبت به گزینه‌های دیگر کمترین مجموع ارزش استخراج‌شده را دارد.

بحث

شبکه جاده جنگلی باید طوری طراحی و ساخته شود که کارکردهای مختلف خود را ارائه کند و بر مبنای هدف، بیشترین سود را برای مدیریت جنگل داشته باشد. طراحی شبکه جاده با روش‌های سنتی پرهزینه و وقتگیر است، اما امروزه با بهره‌گیری از ابزار و روش‌های نوین می‌توان با سرعت و دقت مناسب اقدام به طراحی کرد. یکی از ابزارهای پرکاربرد در طراحی جاده‌های جنگلی، سامانه اطلاعات جغرافیایی است که استفاده از آن سبب افزایش سرعت و کیفیت طراحی شبکه جاده و کاهش هزینه‌ها می‌شود. علاوه بر سامانه اطلاعات جغرافیایی، روش‌های جدید دیگری برای طراحی جاده جنگلی به‌کار گرفته شده است که سبب افزایش کارایی و طراحی بهینه، پایداری بیشتر و هزینه کمتر شبکه جاده‌های جنگلی شده‌اند، به‌عنوان مثال (Jourgholmi et al., 2011). NETWORK 2000 (Emani et al., 2012)، الگوریتم کوتاه‌ترین فاصله، (Hayati et al., 2012) از ترکیب دلفی، AHP و GIS و (Aron, 2003) از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرده و کارایی این روش‌ها در طراحی شبکه جاده جنگلی را مثبت ارزیابی کردند.

در این مطالعه با توجه به گستره وسیع منطقه (شامل پنج بخش جنگل خیرود) سه معیار شیب، خاک و زمین‌شناسی که از نظر کارشناسان از مهم‌ترین معیارها در طراحی معرفی و نقشه آنها برای تمام بخش‌ها موجود بود استفاده شد. این نتایج با مطالعات دیگر نیز همخوانی دارد. (Emani et al., 2012) نیز این عوامل را مؤثر دانسته و در طراحی مسیر از آنها استفاده کرده‌اند. از آنجا که عوامل مورد بررسی دارای اهمیت

نشان‌دهنده این است که طول بیشتری از جاده‌های طراحی شده از مناطق بهتر و مناسب‌تر با توجه به نقشه مطلوبیت برای عبور کرده است. در این نقشه ارزش هر سلول بین صفر تا یک است که صفر نشان‌دهنده مطلوبیت مطلق و یک نشان‌دهنده نامطلوب بودن برای عبور جاده است. بر همین اساس بیشتر بودن ارزش هر واحد طول بیانگر عبور مسیر طراحی شده از مناطق با مطلوبیت کمتر است.

گزینه دوم شبکه جاده طراحی شده و گزینه شبکه جاده پیش‌بینی شده در طرح به ترتیب دارای کمترین ارزش واحد طول هستند (در هر دو دارای تراکم به نسبت برابر است). از بین این دو، گزینه دوم حتی با وجود بیشتر بودن تراکم، ارزش کل کمتری نسبت به گزینه موجود در طرح دارد، بنابراین می‌توان آن را به عنوان گزینه بهینه معرفی کرد.

البته ذکر این نکته ضروری است که در مورد شبکه جاده‌های جنگلی گزینه بهینه نهایی بعد از کنترل مسیر در عرصه و اجرای اصلاحات لازم قطعی خواهد بود. در پژوهش حاضر چارچوبی متشکل از روش دلفی، تحلیل سلسله‌مراتبی، شبکه عصبی مصنوعی و GIS برای طراحی شبکه جاده جنگلی تشکیل و معرفی شد. نتایج نشان داد که این چارچوب به روند طراحی و ارزیابی شبکه جاده کمک شایانی می‌کند و می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی باشد.

سازگار است (Vafaei et al. 2016). توانایی زیاد شبکه عصبی در برآورد ارزش‌ها با نتایج Aron (2003) همسوسست. براساس نتایج Aron (2003) شبکه عصبی توانایی تخمین وجود یا نبود جاده در هر یک از سلول‌های نقشه را داراست. در کل می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی سبب افزایش دقت پیش‌بینی می‌شود که با یافته‌های پژوهشگران دیگر مطابقت دارد (Maeda, et al., 2009; Yuryseven and Zengin, 2013). برای مسیریابی همانند آنچه در مطالعات دیگر انجام گرفته است (Tan, 1999; Musa & Mohamed, 2002)، حداکثر طول مسیر از سلول‌های با مطلوبیت بیشتر (در این تحقیق ارزش کمتر، نشان‌دهنده مطلوبیت بهتر و بیشتر است) عبور داده شد. شایان ذکر است که در تعیین مسیر، برای به‌کارگیری شیب‌های مجاز جاده‌های جنگلی مورد نظر سعی شد و تلاش شد که میزان عبور مسیر هادی از نقاط با مطلوبیت بهتر، افزایش یابد. در نهایت دو شبکه جاده براساس قابلیت عبور برای جاده‌سازی با پوششی مناسب طراحی شد. مسیرهایی که از نقاط مثبت بیشتری عبور می‌کند، به دلیل حجم کمتر خاک‌برداری و خاک‌ریزی یا شرایط مساعدتر برای احداث جاده و ... دارای هزینه‌های ساخت و تعمیر و نگهداری کمتری خواهند بود.

بررسی میزان عبور جاده‌های پیش‌بینی شده در طرح و طراحی شده بر روی نقشه مطلوبیت،

References

- Abdi E, Majnounian, B., & Darvishsefat A.A. (2008). Evaluating Forest Road Net Using Multi Criteria Evaluation in GIS Environment, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(44), 279-289.
- Abdi, E., Majnounian, M., Darvishsefat, A., Mashayekhi, Z., & Sessions, J. (2009). A GIS-MCE based model for forest road planning, *Journal of forest science*, 55 (4), 171-176.
- 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.
- Azizi, Z., & Hosseini, A. (2015). Evaluation of slope failure potential in forest roads (Case study: 46th

- watershed, North of Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3), 573-582.
- Bayati, H., & Najafi A. (2013). Performance Comparison Artificial Neural Networks with Regression Analysis in Trees Trunk Volume Estimation. *Journal of Forest and Wood Products*, 66 (2), 177-191
- Bayati, H., Najafi, A. & Abdolmaleki, P. (2013). Comparison between artificial neural network (ANN) and regression analysis in tree felling time estimation. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(4), 595-607
- Ghanbari, F., Shataee, Sh., Dehghani, A. & Ayoubi, Sh. (2009). Tree Density Estimation of Forests by Terrain Analysis and Artificial Neural Network. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 16(4), 25-42.
- Hanewinkel, M., Zhou, W., & Schill, Ch. (2004). A neural network approach to identify forest stands susceptible to wind damage, *Forest ecology and management*, 196, 227-243.
- Hasenanuer, H., Merkl, D., & Weingartner, M. (2001). Estimating tree mortality of noreway spruce stands with neural networks, *Advances in Environmental Research*, 5(4), 405-414.
- Hayati, E., Majnounian., M. Abdi, E., Sessions, J., & Makhdoum, M. (2012). An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation, *Environmental monitoring and assessment*, 185 (2), 1767-1776.
- Imani, P., Najafi, A. & Ghajar, S. (2012). Planning Forest Road Alignment Using a Shortest Path Algorithm and Geographic Information System. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(3), 460-471.
- Jourgholmi, M., Abdi, E., Chung, W. & Majnounian, B. (2011). Forest road planning considering road and skidding costs. *Iranian Journal of Forest*, 3(2), 99-107.
- Kuplich, M.T. (2006). Classifying regeneration forest stages in Amazonia using remotely sensed imaged and a neural network. *Forest Ecology and Management*, 234, 1-9.
- Maeda, E.E., Formaggio, A.R., Shimabkuro, Y.E., Arcoverde, G.F.B., & Hansrn M.C. (2009). Predicting forest fire in the Brazilian Amazon using MODIS imagery and artificial neural networks, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 11, 265-272.
- Menhaj. B. (2016). Computational Intelligence-Volume I: Fundamentals of Neural Networks. AmirKabir University of Technology Publication.
- Musa, M.K., & Mohamed A.N. (2002). Alignment and locating forest road network by best-path modeling method, *Malaysian center for remote sensing*, 7 p.
- Sibi, A. & Raafatnia, N. (2012). Consideration of effective factors in design of forest roads using Geographic Information System. *Natural Resources Researches*, 3(1), 1-12
- Sivaram Kumar, M.P., & Rajasekaran, S. (2012). A neural network based path planning algorithm for extinguishing forest fire, *International journal of Computer Science Issues*, 9(2), 1694-0814.
- Tan, J. (1999). Locating forest roads by a spatial and heuristic procedure using microcomputers, *International journal of forest engineering*, 10, 91-100.
- Vafaei, S., Pourhashemi, M., Pirbavaghar, M. & Jafari, E. (2016). Applying artificial neural network and multiple linear regression models for estimation of forest density in Marivan forests. *Iranian Journal of Forest*, 7(4), 539-555.
- Yurtseven, I., & Zengin, M. (2013). Neural network modelling of rainfall interception in four different forest stand, *Annals of Forest Research*, 56(2), 351-362.



Forest road planning using artificial neural network and GIS

M. Javanmard¹, E. Abdi^{2*}, M. Ghatee³, and B. Majnunian⁴

¹ M.Sc. student, Dept. of Forestry, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

² Associate Prof., Dept. of Forestry, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

³ Associate Prof., Amir Kabir University, Tehran, I. R. Iran

⁴ Prof., Dept. of Forestry, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

(Received: 21 June 2016; Accepted: 19 October 2016)

Abstract

Forest roads are constructed to facilitate forest protection, reforestation, logging operations and maximizing the value of forest products. Therefore forest roads are key infrastructures in the development of the region. This study aims to plan forest road network using artificial neural network and GIS regarding forest road technical principles. First the criteria were chosen using Delphi method and then they were weighted regarding their importance in road planning. After that the criteria were combined with corresponding weights to achieve suitability map based on the degree of suitability for road allocation. Value and coordinates of each pixel were extracted by ENVI software and were normalized in the range of 0-1 for modeling by MATLAB software. In this study two neural networks were used for modeling, including multilayer perceptron (MLP) and radial-bases functions (RBF). The neural networks estimated suitability of different pixels in other districts based on the Patom district results. Using an ArcView GIS extension, PEGGER, two forest road networks were planned. The results showed that MLP provides better ability for estimating suitability of pixels for road passage in comparison with RBF with the R^2 of 0.994. A linear regression was also used to compare the results of the proposed neural networks. The results revealed that neural network improves the results in comparison with the linear regression and results showed that the second road alternative was optimum network with regard to the unit cost.

Keywords: Artificial neural network, Forest road network, GIS, Linear regression