



"مقاله پژوهشی"

مدل‌سازی زادآوری گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی

الهه قلاوند^۱، عبدالعلی کرشاهی^۲، مهدی حیدری^۳ و امید کریمی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، (نویسنده مسوول: karamshahi64@yahoo.com)
۳- دانشیار گروه جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۴- مربی آموزشی گروه جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۷
صفحه: ۹۴ تا ۱۰۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: امروزه استفاده از روش‌های مدل‌سازی به‌منظور پیش‌بینی و مدل‌سازی زادآوری برای گونه‌های مختلف در طرح‌های حفاظتی و مدیریتی جنگل در حال افزایش است. با مدل‌سازی زادآوری جنگل می‌توان به یک پیش‌آگهی از وضعیت و تراکم جنگل در آینده رسید و براساس آن سناریوهای مختلف مدیریتی را اتخاذ نمود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و خصوصیات توپوگرافی اولیه، توپوگرافی ثانویه، خصوصیات فیزیکی خاک، خصوصیات شیمیایی خاک و مشخصات ساختاری جنگل به عنوان متغیرهای مستقل به برآورد میزان زادآوری گونه بلوط در بخشی از جنگل‌های بلوط منطقه حفاظت شده مانشت و قلازنگ در استان ایلام پرداخته شد. برای این منظور توابع و مدل‌های مختلف در قالب شبکه عصبی مصنوعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. پس از نمونه‌برداری ۷۰ درصد از نمونه‌های آماربرداری شده از زادآوری بلوط به عنوان نمونه آموزشی برای اجرای مدل شبکه عصب مصنوعی استفاده شد و برای ارزیابی نتایج مدل از ۳۰ درصد مابقی داده‌ها استفاده شد. در نهایت به آنالیز حساسیت مدل زادآوری بلوط پرداخته شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با اشتباه معیار خطای برابر با ۰/۹۹ توانسته است به برآورد زادآوری بلوط در منطقه مورد مطالعه بپردازد. نتایج تجزیه حساسیت مدل نشان داد که کمترین میزان اشتباه معیار خطا مربوط به مدلی با وجود تمام متغیرهای ورودی است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت تمامی پارامترهای ورودی به مدل است. به طوری که با حذف هر یک از متغیرهای ورودی صحت مدل در پیش‌بینی میزان زادآوری کاهش پیدا می‌کند. با این وجود متغیرهای ساختاری جنگل و مشخصات شیمیایی خاک به ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زادآوری بلوط در منطقه مورد مطالعه هستند. کمترین تأثیرگذاری بر روی زادآوری بلوط در مدل تهیه شده متغیرهای توپوگرافی ثانویه است که با اینکه نقش مثبتی در مدل پیش‌بینی تعداد زادآوری بلوط داشته‌اند اما با این حال تأثیر این متغیرها نسبت به سایر متغیرها کمتر بوده است. نتایج نشان داد حدود ۲۱ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه دارای زادآوری کمتر از ۱۰۰ زادآوری در هکتار است. همچنین بیش از ۱۲ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه دارای تعداد زادآوری‌های بیش از ۱۲۰۰ زادآوری در هکتار است.

نتیجه‌گیری: در مجموع استفاده همزمان از کلیه خصوصیات توپوگرافی اولیه و ثانویه، خاک و مشخصات ساختاری جنگل باعث افزایش دقت مدل‌سازی زادآوری جنگل‌های بلوط زاگرس خواهد شد از طرف دیگر، شبکه عصبی مصنوعی به علت انعطاف‌پذیر بودن امکان انتخاب نوع پارامترهای ورودی را نسبت به شرایط منطقه و اطلاعات در دسترس فراهم می‌کند و سبب افزایش دقت مدل‌سازی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ایلام، توپوگرافی ثانویه، تجدید حیات، تجزیه حساسیت، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه

مقدمه

در جهان امروز تغییر و تبدیل اکوسیستم‌ها، معضل مهمی به شمار می‌رود. در این میان انقراض اکوسیستم‌های جنگلی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. به طور کلی سالانه ۱۶ میلیون هکتار از جنگل‌های جهان تخریب می‌شود. جنگل‌های زاگرس با مساحتی حدود ۵ میلیون هکتار به عنوان بخش مهمی از جنگل‌های ایران از دیرباز مورد تعرض انسان واقع شده و این تعرض‌ها به شکل‌های مختلفی زمینه تخریب آن را فراهم آورده است (۳۲). تخریب ناشی از فعالیت‌های انسانی که اغلب شامل دامداری و قطع درخت است، موفقیت تجدید حیات گونه‌های چوبی را که خود ساختار و ترکیب گونه‌های جنگل را معین می‌کند، تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱). تجدید حیات یکی از مهم‌ترین پدیده‌های متغیر در اکوسیستم‌های جنگلی (۲۸)؛ و از مهم‌ترین عوامل توسعه و پایداری تیپ‌های گوناگون جنگل است که برای بقا و استمرار آن ضروری می‌باشد و از ارکان و اصول اصلی رسیدن به مدیریت پایدار جنگل‌ها است (۱۴). در واقع وضعیت کنونی زادآوری در یک منطقه آینده‌ای است که سیمای جنگل را در آن منطقه مشخص می‌سازد، به

همین دلیل هر گونه تغییری که در وضعیت زادآوری به وجود آید، در واقع سیمای توده جنگلی آینده را دگرگون می‌سازد. به‌طور کلی تجدید حیات طبیعی جنگل‌های زاگرس به دلیل حفاظت آب و خاک تنوع زیستی و ارزش‌های پناهگاهی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. امروزه عوامل مختلفی این جنگل‌ها را در معرض تخریب فراوان قرار داده و زادآوری طبیعی را با مشکل مواجه کرده است (۳۳). زادآوری طبیعی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده آینده این جنگل‌ها است که نقش مهمی در استقرار و پویایی اکوسیستم دارد (۴۴) و شناخت و مدیریت زادآوری به یقین یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدیریت پایدار جنگل است. در واقع می‌توان بیان نمود که مشکل اصلی در جنگل‌های زاگرس فقر زادآوری است؛ که مهم‌ترین عامل آن چرای مفرط دام (۳۹) و جمع‌آوری بذر درختان است (۴۳).

با توجه به اینکه زادآوری طبیعی هزینه‌های کاشت و داشت را بسیار کاهش می‌دهد این موضوع سبب شده، محققین به دنبال کشف روابط بین زادآوری و عوامل مختلف مؤثر بر آن باشند و در نهایت به دنبال کشف شرایط و

شبکه‌های عصبی، امتیاز ویژه آن‌ها در مقابل روش‌های آماری است و به آن‌ها این توانایی را می‌دهد که از انواع مختلف داده‌های ورودی با هر توزیع دلخواه، به طور یکسانی استفاده کنند (۴). شبکه عصبی مصنوعی در رابطه با علوم جنگل تاکنون در مطالعات مختلفی جهت برآورد رشد درختان (۳)، (۴۱)، برآورد بیومس و کربن ذخیره شده (۳۵، ۴۴)، ترکیب گیاهی و غنای گیاهی (۱۰)، قطر و ارتفاع درختان (۷، ۵۲) و مدل‌سازی ساختار جنگل (۲۱) به کار رفته است. Gill و همکاران (۱۲) در مطالعه‌ای در ایالات متحده به تهیه نقشه احتمال استقرار نهال‌های صنوبر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و متغیرهایی همانند میزان تابش خورشیدی، بارش، دما و مشخصات گونه‌های مادری پرداختند. نتایج نشان‌دهنده صحت حدود ۶۰ درصدی نقشه میزان زادآوری بود.

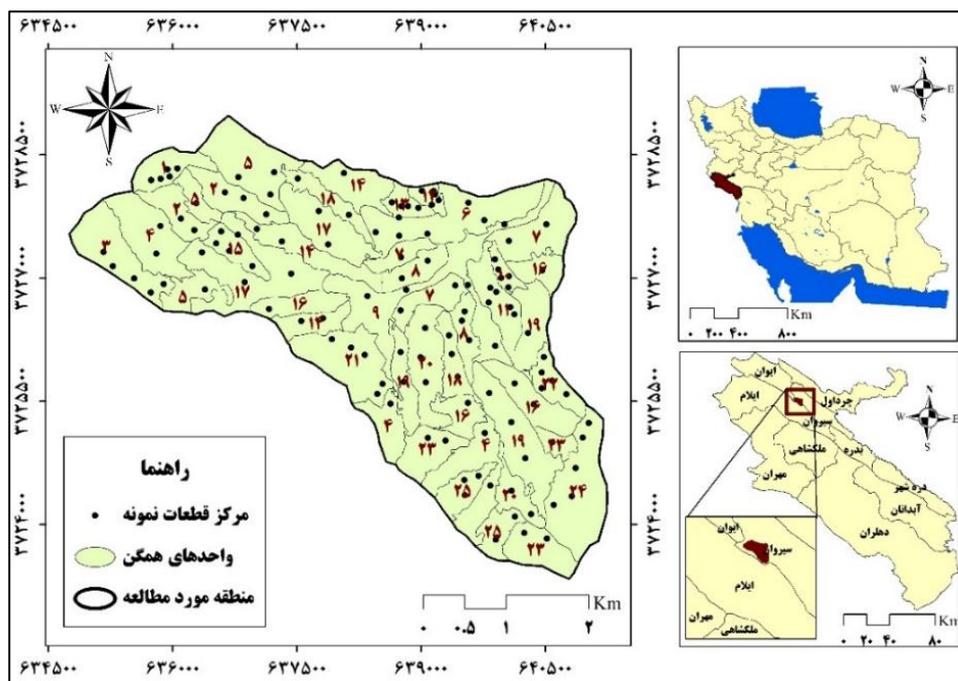
با توجه به اهمیت زادآوری جنگل و رابطه آن با عوامل مختلف توپوگرافی، خاکی و ساختاری جنگل و همچنین برآورد و پیش‌بینی میزان زادآوری که به آن اشاره شده است، در این مطالعه در ابتدا با آماربرداری از زادآوری جنگل و مشخصات ساختاری در بخشی از جنگل‌های شمال شهر ایلام و نمونه‌برداری خاک، امکان تهیه نقشه میزان زادآوری گونه بلوط ایرانی در سطح منطقه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های شمال شهر ایلام در استان ایلام است که در منطقه حفاظت شده مانشت و قلا رنگ قرار دارد. منطقه مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی بین $31^{\circ} 41' 31''$ تا $33^{\circ} 26' 14''$ و $46^{\circ} 22' 31''$ تا $46^{\circ} 31' 22''$ طول شرقی و $31^{\circ} 31' 41''$ تا $33^{\circ} 26' 38''$ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۷۲۶ هکتار است و در ارتفاعی بین ۱۴۰۹ تا ۲۱۱۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. شیب متوسط منطقه مورد مطالعه نیز حدود ۲۹ درصد است. براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی شهر ایلام که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه است میانگین میزان بارندگی بلندمدت سالانه برابر با ۵۷۰/۹ میلی‌متر و میانگین دمای بلندمدت سالانه ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد است.

مکان‌های مناسب برای زادآوری و همچنین پیش‌بینی استقرار زادآوری در جنگل هستند (۲۷). امروزه استفاده از روش‌های مدل‌سازی به‌منظور پیش‌بینی و مدل‌سازی رویشگاه و زادآوری مناسب برای گونه‌های مختلف در طرح‌های حفاظتی و مدیریتی جنگل در حال افزایش است (۸). یکی از روش‌های که به منظور پیش‌بینی و مدل‌سازی به کار گرفته می‌شوند شبکه‌های عصبی مصنوعی است. متغیرهای مدل می‌تواند با استفاده از روش‌های رگرسیون یا شبکه عصبی مصنوعی برآورد شود. از جمله تحقیقاتی که به پیش‌بینی زادآوری جنگل با استفاده از مدل‌های رگرسیونی پرداختند می‌توان به مطالعه Fortin و DeBlois (۱۱) در جنگل‌های سوزنی‌برگ و Klopčic و Boncina (۲۶) در جنگل‌های معتدله اروپا و Rittenhouse (۴۳) در جنگل‌های بلوط ایالات متحده اشاره کرد. در مطالعه دیگری Lynch و همکاران (۳۱) با استفاده از روش حداکثر احتمال به بررسی احتمال وجود زادآوری در جنگل با توجه به متغیرهای محیطی در ایالات متحده آمریکا پرداختند. Kolo و همکاران (۲۷) با استفاده از رگرسیون لجستیک به پیش‌بینی زادآوری طبیعی در جنگل‌های آلمان پرداختند که نتایج این مدل دارای صحت مناسبی بودند. Ibrahim و همکاران (۲۰) نیز با استفاده از رگرسیون لجستیک با صحت ۸۴ درصدی به مدل‌سازی زادآوری گونه سدر لبنانی پرداختند. با این حال سابقه تحقیق نشان داده است که شبکه عصب مصنوعی دارای نتایج دقیق‌تری است (۴۱، ۵۱). شبکه عصبی مصنوعی به جهت توانایی برقراری رابطه پیچیده بین متغیرهای وابسته بیولوژیکی و فاکتورهای غیربیولوژیکی نتایج دقیق‌تری دارد (۶). جهت برآورد متغیرهای شبکه‌های عصبی مصنوعی پدیده‌ای جدید است که در علوم زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به نوعی تقلید از نحوه کار نورون‌های عصبی انسان است مجموعه‌ای از این نورون‌ها که توسط رشته‌های باریکی به هم وصل می‌شود عمل یادگیری را در انسان به عهده دارد از این رو آن را در علوم بیولوژیکی شبکه عصبی و در رشته هوش مصنوعی، شبکه‌های عصبی مصنوعی نامیده‌اند. به هر مجموعه از این نورون‌ها یک لایه گفته می‌شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های عصب مصنوعی، عدم وابستگی آن‌ها به فرضیه‌های اولیه درباره داده‌های ورودی است؛ به این معنا که داده‌های ورودی می‌توانند هر گونه توزیع آماری دلخواهی داشته باشند (۵). این ویژگی مهم



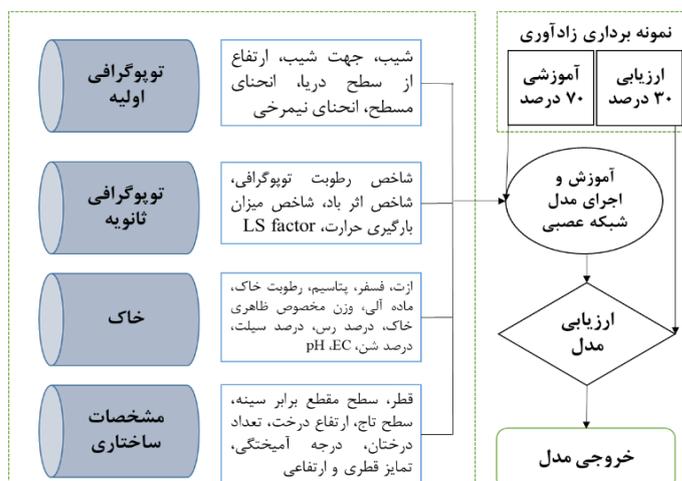
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان، واحدهای همگن و مرکز قطعات نمونه

Figure 1. Location of the study area in the country and province, homogeneous units and the center of sample plots

(%)، هدایت الکتریکی (EC) (ds/m)، اسیدیته (pH) $(-\log[H^+])$ ، قطر برابر سینه (سانتی‌متر)، سطح مقطع برابر سینه (مترمربع)، میانگین سطح تاج درختان (مترمربع)، مجموع سطح تاج درختان (مترمربع)، درجه آمیختگی، تمایز قطری، تمایز ارتفاعی، تعداد درختان و ارتفاع درختان (متر) به عنوان متغیر مستقل استفاده شد. ۷۰ درصد از نمونه‌های آماربرداری شده از زادآوری بلوط به عنوان نمونه آموزشی برای اجرای مدل شبکه عصب مصنوعی استفاده شد و برای ارزیابی نتایج مدل از ۳۰ درصد مابقی داده‌ها استفاده شد.

روش تحقیق

شکل ۲ مراحل انجام این مطالعه را نشان می‌دهد. به این صورت که برای مدل‌سازی زادآوری بلوط به عنوان متغیر وابسته از متغیرهای شیب (%)، جهت شیب (درجه)، ارتفاع از سطح دریا (متر)، انحنای مسطح و نیمرخی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص اثر باد، شاخص میزان بارگیری حرارت، شاخص LS factor، میزان ازت کل (%، میزان ماده آلی (%، فسفر (ppm)، پتاسیم (ppm)، رطوبت خاک (%، وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3)، رس (%، سیلت (%، شن



شکل ۲- فلوجارت مراحل انجام مطالعه

Figure 2. Flowchart of study steps

خصوصیات ثانویه و یا خصوصیات ترکیبی شامل مشخصه‌هایی هستند که مرکب از ویژگی‌های اولیه به همراه شاخص‌های فیزیکی یا تجربی می‌باشند که تغییرپذیری مکانی فرایندهای خاص در اراضی را تبیین می‌سازند (۳۴). برای تهیه نقشه‌های خصوصیات توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی با اندازه سلول ۲۰ متری که از نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده می‌شود. خصوصیات اولیه توپوگرافی که به طور مستقیم از مدل رقومی ارتفاعی تهیه می‌شوند شامل متغیرهای شیب (گرادیان یا میزان شیب)، جهت شیب (آزیموت شیب)، ارتفاع از سطح دریا (نشان‌دهنده ارتفاع از سطح دریاهای آزاد می‌باشد) و انحنا زمین (تغییر منظر در امتداد یک منحنی میزان) می‌باشد که همگی از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استخراج می‌شوند. خصوصیات ثانویه توپوگرافی مختلفی که در این مطالعه مورد توجه قرار گرفتند با استفاده از نرم‌افزار Saga GIS تهیه می‌شوند این خصوصیات شامل شاخص رطوبت توپوگرافی (پارامتری که توزیع مکانی منطقه اشباع و مقدار آب خاک در زمین را بیان می‌کند)، شاخص اثر باد (میزان در معرض باد قرار گرفتن یک ناحیه با توجه به توپوگرافی منطقه را مشخص می‌کند)، شاخص میزان بارگیری حرارت (میزان حرارت دریافتی سطح زمین با توجه به زاویه تابش خورشید) و LS factor (اثر توپوگرافی بر فرسایش خاک را نشان می‌دهد. L نشان‌دهنده طول شیب و S نشان‌دهنده مقدار شیب است) (۱۸) می‌باشند. جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های ساختاری جنگل متغیرهای قطر برابر سینه، ارتفاع، تعداد درختان، دو قطر کوچک و بزرگ تاج و فاصله بین درختان در هر قطعه‌نمونه اندازه‌گیری شد که در نهایت با توجه به این مشخصات، مشخصه‌های میانگین قطر برابر سینه، سطح مقطع، ارتفاع درخت، میانگین سطح تاج درختان، مجموع سطح تاج درختان، تعداد درختان، درجه آمیختگی، تمایز قطری و تمایز ارتفاعی در هر قطعه‌نمونه محاسبه شد. در این مطالعه شاخص آمیختگی برای بررسی آمیختگی گونه با سایر گونه‌ها استفاده شد که رابطه آن به شرح زیر است (رابطه ۱):

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 1 V_{ij}; \quad M_i \in [0, 1] \quad (1)$$

که در آن مقدار V_{ij} چنانچه گونه شاهد (i) و گونه مجاور (j) یکسان و از نوع بلوط باشند برابر ۱ است و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود. n تعداد درختان است و M_i شاخص آمیختگی است. هر چه این مقدار نزدیک صفر باشد نشان‌دهنده خالص بودن توده است و هر چقدر به ۱ نزدیک شود نشان‌دهنده آمیختگی توده است (۳۸). تمایز قطری از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۲۴):

$$TD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (1 - rd_{ij}); \quad TD_i \in [0, 1] \quad (2)$$

در این رابطه TD_i تمایز قطری، n تعداد درختان و rd_{ij} نسبت قطر کوچک‌ترین درخت به قطر بزرگ‌ترین درخت است. تمایز ارتفاعی نیز از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (۲۴):

$$HD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (1 - rh_{ij}); \quad HD_i \in [0, 1] \quad (3)$$

برای تعیین موقعیت قطعات نمونه از تهیه نقشه واحدهای همگن منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در ابتدا نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریای منطقه مورد مطالعه تهیه شد؛ برای این منظور از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه استفاده شد. به این صورت که پس از تهیه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه مورد مطالعه، نقشه شیب در چهار طبقه ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و بیش از ۴۵ درصد؛ نقشه جهت در چهار طبقه شمالی، شرقی، جنوبی و غربی و نقشه ارتفاع از سطح دریا در چهار طبقه با فواصل یکسان طبقه‌بندی شدند. سپس با روی هم‌گذاری این سه نقشه، نقشه واحدهای همگن منطقه تهیه شد. در منطقه مورد مطالعه ۲۵ واحد همگن شناسایی شدند. سپس در مرحله بعد در هر واحد همگن ۵ قطعه‌نمونه به صورت تصادفی در منطقه (۳۶) انتخاب شد.

پس از تعیین موقعیت قطعات نمونه، با استفاده از GPS موقعیت قطعه‌نمونه‌ها در منطقه مشخص شد. قطعات نمونه به ابعاد ۱۲ آر در منطقه پیاده شده و اقدام به اندازه‌گیری قطر برابر سینه، ارتفاع درختان، دو قطر کوچک و بزرگ تاج و فاصله درختان موجود در قطعه‌نمونه شد. در هر قطعه‌نمونه همه درختان بلوط یک ساله و چندساله دارای قطر برابر سینه کمتر از ۵ سانتی‌متر (۴۹) و ارتفاع کمتر از ۱/۵ متری (۱۶) به عنوان زادآوری بلوط شناسایی و ثبت شدند. همچنین جهت نمونه‌برداری از مشخصه‌های خاک، در این مطالعه از هر قطعه‌نمونه حداقل از مرکز و چهار گوشه قطعه‌نمونه یک نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. پس از نمونه‌برداری ۷۰ درصد نمونه‌ها برای آموزش مدل شبکه عصب و ۳۰ درصد نمونه‌ها نیز برای ارزیابی صحت مدل مورد استفاده قرار گرفتند (۲۳).

یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدل‌سازی، تعیین متغیرهای مستقل جهت پیش‌بینی و برآورد متغیر وابسته است؛ زیرا انتخاب متغیرهای مناسب و تعداد مناسب آن‌ها به ما کمک می‌کند که مدل بهتری طراحی نماییم (۲۲). عوامل متعددی بر روی فراوانی، کیفیت و نحوه پراکنش زادآوری گونه‌های مختلف تأثیرگذار هستند. از جمله عوامل مؤثر می‌توان به عوامل توپوگرافی اولیه، عوامل توپوگرافی ثانویه، خصوصیات خاک و خصوصیات رویشگاهی منطقه مورد مطالعه اشاره کرد. جهت اندازه‌گیری خصوصیات خاک، پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، نمونه‌های خاک ابتدا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده می‌شوند. سپس pH خاک با نسبت ۱ به ۲/۵ با استفاده از دستگاه pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) با نسبت ۱ به ۵، نیتروژن کل با روش کج‌دلال (۵۴)، فسفر خاک با روش اولسن (۳۷)، پتاسیم قابل استفاده با عصاره‌گیری به وسیله آمونیم استات یک نرمال، کربنات کلسیم یا آهک با کاربرد روش خشتی کردن با اسید کلریدریک، میزان مواد آلی با روش اکسیداسیون مواد آلی (۵۳)، تعیین بافت خاک با تعیین درصد رس، شن و سیلت به روش هیدرومتری انجام می‌گیرد.

خصوصیات اولیه توپوگرافی به طور مستقیم از مدل رقومی ارتفاعی محاسبه و به دست می‌آیند. از سوی دیگر

می‌شود (۱۵). عملکرد مدل MLP-Net تحت تأثیر وزن اتصال سه لایه است. این وزن‌ها بر اساس داده‌های آموزشی و ورودی‌های مدل تعیین می‌شود. در این تحقیق از الگوریتم پس انتشار مجدد (۱۷) استفاده شده است زیرا ثابت شده است که این الگوریتم در مسائل پیچیده دنیای واقعی به خوبی کارایی دارد. بر این اساس تعداد نورون‌های ۲۹، میزان یادگیری ۰/۲ و تکرار آموزش ۱۰۰۰ (۵۰) در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه شبکه عصبی در نرم‌افزار Statistica 10 ساخته و آموزش داده و در نهایت اجرا شد و توابع فعال‌سازی نمایی، لجستیک، Tanh، Identity در توابع میانی و نهایی شبکه مورد آزمایش قرار گرفتند. در مرحله بعد با حذف هر یک از متغیرهای ورودی ۶ مدل مختلف حاصل از متغیرهای مستقل ورودی به مدل مورد ارزیابی قرار گرفت تا اثر متغیرهای مختلف بر روی زادآوری جنگل مشخص شود.

در این در این رابطه HD_i تمایز قطری، n تعداد درختان و hd_{ij} نسبت بلندترین درخت به قطر کوتاه‌ترین درخت است. در نهایت پس از تهیه داده‌های مذکور و وارد کردن این داده‌ها به عنوان متغیر مستقل به مدل شبکه عصبی مصنوعی و متغیر تعداد زادآوری بلوط به عنوان متغیر وابسته به مدل، مدل اجرا و در نهایت نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. ANN یک مدل ریاضی است که بر اساس شبکه عصبی انسان ساخته شده است. ANN به طور موفقیت‌آمیزی برای مدل‌سازی مسائل پیچیده دنیای واقعی در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۲)، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP-Net) در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (۴۷). هر MLP-Net از سه لایه ورودی، پنهان و خروجی تشکیل شده است که در آن‌ها یک تابع فعال‌سازی برای اتصال لایه‌های ورودی و پنهان استفاده می‌شود، در حالی که یک تابع خطی برای لایه‌های مخفی و خروجی استفاده

جدول ۱- مدل‌های مختلف مورد بررسی برای زادآوری بلوط (متغیر وابسته) به منظور تجزیه حساسیت مدل شبکه عصب مصنوعی
Table 1. Different models studied to oak regeneration (independent variable) for sensitive analysis of the artificial neural network model

مدل	متغیرهای مستقل
مدل ۱	توپوگرافی اولیه + توپوگرافی ثانویه + فیزیکی خاک + شیمیایی خاک + مشخصات ساختاری جنگل
مدل ۲	توپوگرافی اولیه + توپوگرافی ثانویه + فیزیکی خاک + شیمیایی خاک
مدل ۳	توپوگرافی ثانویه + فیزیکی خاک + شیمیایی خاک + مشخصات ساختاری جنگل
مدل ۴	توپوگرافی اولیه + فیزیکی خاک + شیمیایی خاک + مشخصات ساختاری جنگل
مدل ۵	توپوگرافی اولیه + توپوگرافی ثانویه + شیمیایی خاک + مشخصات ساختاری جنگل
مدل ۶	توپوگرافی اولیه + توپوگرافی ثانویه + فیزیکی خاک + مشخصات ساختاری جنگل

شده است. بیشترین پراکنش نقاط حول محور تطابق میزان داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های برآورد شده است که نشان‌دهنده همبستگی بالای مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآورد شده است. بیشترین پراکنش نقاط در حول تعداد ۱۵۰ تا ۶۰۰ زادآوری ثبت شده است. در این مطالعه جهت تجزیه حساسیت متغیرهای مختلف به پیش‌بینی میزان زادآوری گونه بلوط، انواع ورودی‌های مختلف به مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کمترین میزان اشتباه معیار خطا مربوط به مدلی با وجود تمام متغیرهای توپوگرافی، اداپیک و ساختاری است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت تمامی پارامترهای ورودی به مدل است به طوری که با حذف هر یک از متغیرهای ورودی صحت مدل در پیش‌بینی میزان زادآوری کاهش پیدا می‌کند. براساس نتایج کمترین صحت مدل مربوط به مدل ۲ یعنی عدم استفاده از مشخصات ساختاری جنگل است که نشان می‌دهد بین متغیرهای مورد بررسی این مشخصات مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر زادآوری درختان بلوط در جنگل است. همچنین نتایج نشان داد که کمترین تأثیرگذاری بر روی زادآوری بلوط در مدل تهیه شده متغیرهای توپوگرافی ثانویه هستند که با اینکه نقش مثبتی در مدل پیش‌بینی تعداد زادآوری بلوط داشته‌اند اما با این حال تأثیر این متغیرها نسبت به سایر متغیرها کمتر بوده است (شکل ۳-ب).

در نهایت با مقایسه بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده و استفاده از اشتباه معیار خطا کیفیت برآورد تعداد زادآوری بلوط در منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (۲۵).

نتایج و بحث

آمار توصیفی متغیرهای برداشت شده در این مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. به طور مثال میانگین تعداد زادآوری‌های بلوط در هکتار ۴۵/۵۹ اصله است و بیشترین مقدار ثبت شده در هکتار ۲۰۸۴ اصله زادآوری بلوط است. پس از اجرای شبکه عصب مصنوعی با استفاده از توابع فعال‌سازی مختلف در محیط نرم‌افزار Statistica، میزان خطا و ضریب همبستگی توابع مختلف اجرا شده در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج حاصله بیشترین میزان ضریب همبستگی و کمترین خطا در تابع میانی لجستیک و تابع خروجی نمایی (ردیف ۱) و همچنین توابع میانی Tanh و خروجی لجستیک (ردیف ۵) شکل گرفته است که نشان‌دهنده نتایج بهتر اجرای این توابع در مدل‌سازی میزان تجدید حیات طبیعی گونه بلوط است. نتایج ارزیابی مدل شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که اشتباه معیار خطا و ضریب تبیین (R^2) مدل شبکه عصبی مصنوعی در این مطالعه به ترتیب برابر با ۰/۹۹ و ۰/۹۷ است که نشان‌دهنده صحت مناسب مدل ارزیابی شده است. همان‌طور که در شکل ۳-الف نشان داده

جدول ۲- آمار توصیفی متغیرهای مورد بررسی

Table 2. Descriptive statistics of the studied variables

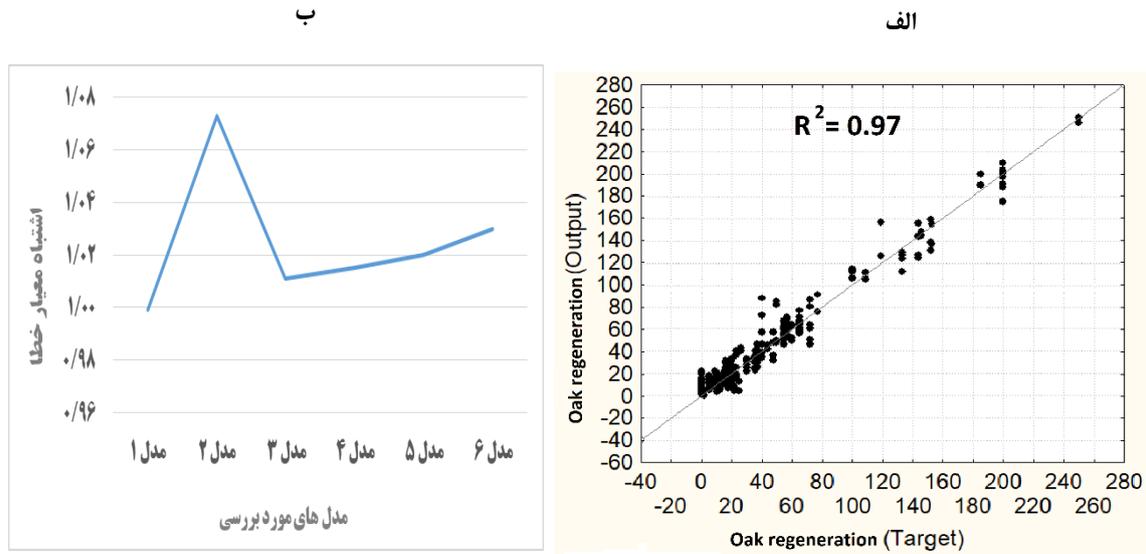
متغیرهای اندازه گیری شده	میانگین	کمینه	اشتباه معیار	بیشینه	ضریب تغییرات
زادآوری بلوط (اصله در هکتار)	۴۵۶/۱۳	۰/۰۰	+۴۶/۰۷۶	۲۰۸۴/۰۰	۱/۲۰
اسیدیته (-log[H ⁺])	۷/۴۹	۰/۰۰	+۱/۰۹	۷/۹۰	۰/۱۵
رطوبت خاک (%)	۳۴/۸۷	۱۹/۵۳	+۰/۷۲	۵۸/۰۰	۰/۲۰
هدایت الکتریکی (ds/m)	۰/۱۹	۰/۰۸	+۰/۰۱۳	۱/۱۱	۰/۶۵
وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	۱/۳۹	۰/۳۱	+۰/۰۳۷	۱/۹۸	۰/۲۶
ازت کل (%)	۲۳/۲۵	۱/۲۵	+۱/۶۶۶	۵۵/۵۰	۰/۷۱
ماده آلی (درصد)	۶/۶۷	۲/۱۹	+۰/۱۶۷	۹/۰۰	۰/۲۵
پتاسیم (ppm)	۶۸۰/۵۵	۵۸/۰۰	+۴۱/۰۰۶	۱۹۲۴/۸۷	۰/۶۰
شن (%)	۵۰/۱۸	۳۸/۰۰	+۰/۶۳۶	۶۷/۰۰	۰/۱۲
رس (%)	۲۸/۳۷	۱۵/۰۰	+۰/۵۰۹	۴۲/۰۰	۰/۱۸
سیلت (%)	۲۱/۶۱	۸/۵۰	+۰/۳۵۹	۲۸/۰۰	۰/۱۶
فسفر (ppm)	۲۲/۹۴	۱۴/۰۰	+۰/۵۶۴	۳۷/۵۱	۰/۳۴
تعداد درختان (اصله در هکتار)	۱۲۵/۳۴	۲۵/۰۰	+۱۰/۶۵۲	۴۱۷/۰۰	۰/۸۴
قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	۳۹/۰۴	۷/۵۵	+۱/۲۲۶	۶۳/۲۰	۰/۴۲
سطح مقطع (مترمربع)	۱/۰۰	۰/۱۴	+۰/۰۶	۳/۳۴	۰/۵۹
مجموع تاج پوشش درختان (مترمربع)	۲۷۸/۲۸	۲۶/۶۹	+۱۶/۳۶۶	۹۰۱/۳۰	۰/۵۸
میانگین سطح تاج درختان (مترمربع)	۲۷/۸۵	۲/۳۸	+۲/۰۰۹	۸۷/۲۵	۰/۷۱
ارتفاع درختان (متر)	۷/۳۳	۲/۹۹	+۰/۱۷۶	۱۴/۸۳	۰/۲۴
درجه آمیختگی	۰/۱۰	۰/۰۰	+۰/۰۲۱	۰/۷۵	۲/۰۹
تمایز قطری	۰/۳۳	۰/۰۴	+۰/۰۱۴	۰/۷۱	۰/۰۴۳
تمایز ارتفاعی	۰/۲۷	۰/۰۶	+۰/۰۱۱	۰/۵۹	۰/۴۰
شیب (%)	۳۲/۹۳	۳/۰۳	+۱/۴۶	۶۰/۵۱	۰/۴۹
جهت (درجه)	۱۵۶/۳۳	۴/۳۳	+۹/۶۸۳	۳۵۹/۲۱	۰/۶۰
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۶۹۴/۰۶	۱۴۵۰/۱۹	+۱۲/۰۰۹	۲۰۰۴/۹۱	۰/۰۷
انحنا نیمرخ	-۰/۰۱	-۱/۸۰	+۰/۰۲۷	۰/۳۹	-۴۸/۸۷
انحنا مسطح	-۰/۰۱	-۱/۳۹	+۰/۰۲۲	۰/۷۹	۱۴/۶۲
شاخص رطوبت توپوگرافی	۱۱/۳۷	۴/۶۱	+۰/۲۱۱	۱۶/۷۳	۰/۱۸
شاخص میزان بارگیری حرارت	۱/۱۴	۰/۹۴	+۰/۰۰۷	۱/۲۵	۰/۰۶
شاخص اثر باد	۱/۰۵	۰/۸۳	+۰/۰۱۲	۱/۲۷	۰/۱۱
LS factor*	۱۶/۹۲	۰/۰۶	+۰/۹۳۸	۶۱/۵۸	۰/۶۲

* LS factor: فاکتوری که نشان دهنده طول و مقدار شیب است و اثر توپوگرافی بر فرسایش را نشان می دهد

جدول ۳- نتایج ارزیابی توابع فعال‌سازی در ساختار شبکه عصبی مصنوعی

Table 3. Results of evaluation of activation functions in the structure of artificial neural network

ردیف	نام شبکه	میانگین خطا (ME)				توابع فعال‌سازی	
		(داده‌های آموزشی)	(داده‌های ارزیابی)	(داده‌های آموزشی)	(داده‌های ارزیابی)	لایه میانی	لایه خروجی
۱	MLP 41-45-1	۰/۰۰۰۵۰۲	۰/۰۰۳۰۵	۰/۹۹۳	۰/۹۵۲	Logistic	Exponential
۲	MLP 41-25-1	۰/۰۰۱۲۵۸	۰/۰۰۴۲۵۴	۰/۹۸۲	۰/۹۳۴	Logistic	Identity
۳	MLP 41-12-1	۰/۰۰۰۴۶۷	۰/۰۰۴۱۴۷	۰/۹۹۴	۰/۹۳۳	Logistic	Logistic
۴	MLP 41-19-1	۰/۰۰۰۷۶۲	۰/۰۰۵۳۹۷	۰/۹۸۸	۰/۹۱۲	Exponential	Logistic
۵	MLP 41-40-1	۰/۰۰۰۳۳۱	۰/۰۰۳۸۰۵	۰/۹۹۷	۰/۹۳۹	Tanh	Logistic

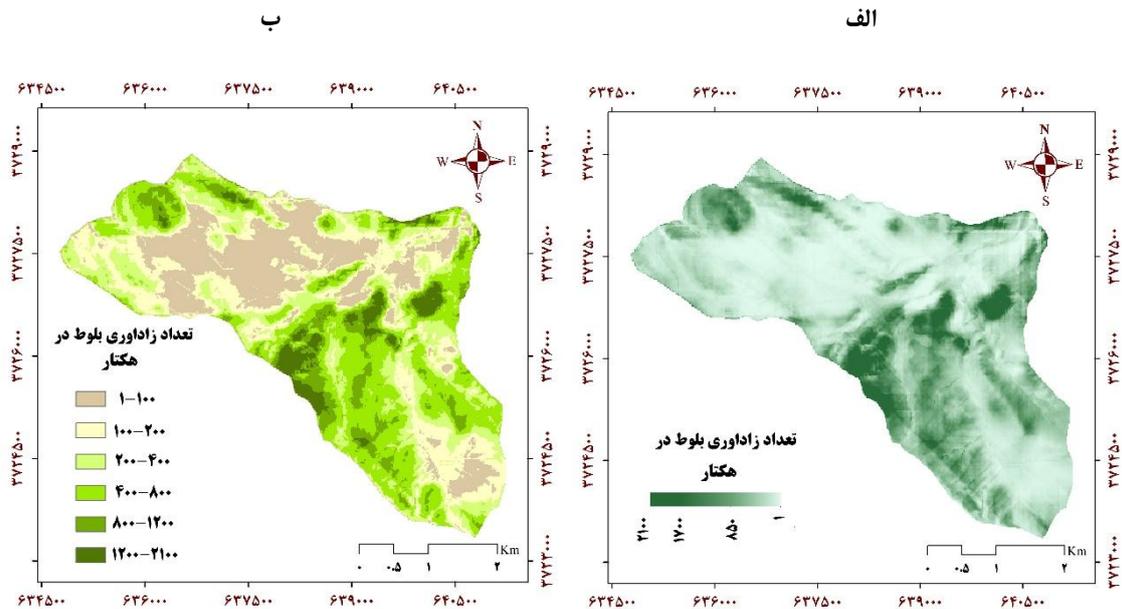


شکل ۳- الف: رابطه همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده و متغیرهای برآورد شده (در مدل شماره ۱)؛ ب: میزان صحت مدل‌های مختلف اجرا شده جهت برآورد زادآوری گونه بلوط: مدل ۱: زادآوری = توپوگرافی اولیه + توپوگرافی ثانویه + فیزیکی خاک + شیمیایی خاک + مشخصات ساختاری جنگل؛ مدل ۲: زادآوری = توپوگرافی اولیه + توپوگرافی ثانویه + فیزیکی خاک + شیمیایی خاک؛ مدل ۳: زادآوری = توپوگرافی ثانویه + فیزیکی خاک + شیمیایی خاک + مشخصات ساختاری جنگل؛ مدل ۴: زادآوری = توپوگرافی ثانویه + شیمیایی خاک + مشخصات ساختاری جنگل؛ مدل ۵: زادآوری = توپوگرافی اولیه + توپوگرافی ثانویه + شیمیایی خاک + مشخصات ساختاری جنگل؛ مدل ۶: زادآوری = توپوگرافی اولیه + توپوگرافی ثانویه + فیزیکی خاک + مشخصات ساختاری جنگل

Figure 3. A: Correlation relationship between measured and estimated variables (in model 1); B: Accuracy of different models implemented to estimate oak species regeneration; Model 1: Regeneration = Primary topography + Secondary topography + Soil physics + Soil chemistry + Structural characteristics; Model 2: Regeneration = Primary topography + Secondary topography + Soil physics + Soil chemistry; Model 3: Regeneration = Secondary topography + Soil physics + Soil chemistry + Forest structural characteristics; Model 4: Regeneration = Primary topography + Soil physics + Soil chemistry + Forest structural characteristics; Model 5: Regeneration = Primary topography + Secondary topography + Soil chemistry + Forest structural characteristics; Model 6: Regeneration = Primary topography + Secondary topography + Soil physics + Structural characteristics of forest

منطقه مورد مطالعه دارای زادآوری بسیار کم یا به عبارتی تعداد کمتر از ۱۰۰ زادآوری در هکتار است. همچنین بیش از ۱۲ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه دارای تعداد زادآوری‌های بیش از ۱۲۰۰ زادآوری در هکتار است (جدول ۴).

در نهایت خروجی مدل شبکه عصبی در نرم‌افزار Statistica در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 به نقشه تبدیل شد که نقشه به دو صورت پیوسته (شکل ۴-الف) و طبقه‌بندی شده (شکل ۴-ب) ارائه شد. جهت طبقه‌بندی نقشه حاصله از روش طبقه‌بندی فواصل طبیعی (Natural breaks (Jenks)) استفاده شد. براساس نتایج حاصله حدود ۲۱ درصد از سطح



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی برآورد میزان زادآوری بلوط؛ الف: نقشه پیوسته، ب- نقشه طبقه‌بندی شده
Figure 4. Zoning map of regeneration estimating rate of oak, A: Continuous map, B: Classified map

جدول ۴- مساحت طبقات مختلف نقشه برآورد تعداد زادآوری‌های بلوط در منطقه مورد مطالعه
Table 4. Area of different classes of the Estimating map of the number of oak regenerations in the study area

سطح (درصد)	سطح (هکتار)	تعداد زادآوری در هکتار	طبقه
۲۱/۰۹	۳۶۳/۹۴	۱۰۰ - ۰	۱
۲۱/۷۲	۳۷۴/۸۳	۲۰۰ - ۱۰۰	۲
۱۹/۹۸	۳۴۴/۸۵	۴۰۰ - ۲۰۰	۳
۲۴/۲۴	۴۱۸/۳۵	۸۰۰ - ۴۰۰	۴
۸/۸۷	۱۵۳/۱۸	۱۲۰۰ - ۸۰۰	۵
۴/۱۰	۷۰/۸۵	۲۱۰۰ - ۱۲۰۰	۶
۱۰۰	۱۷۳۶	مجموع	

آن خصوصیات شیمیایی خاک از مدل حذف شده‌اند بعد از مدل ۲ کمترین میزان صحت را داراست که نشان می‌دهد بعد از خصوصیات ساختاری جنگل، خصوصیات شیمیایی خاک مهم‌ترین پارامترها در مدل‌سازی زادآوری بلوط هستند و بیشترین تأثیر را بر زادآوری بلوط دارند. به همین ترتیب بعد از این دو عامل متغیرهای توپوگرافی اولیه همانند شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا و سپس خصوصیات فیزیکی خاک همانند بافت خاک کمترین اهمیت را در زادآوری بلوط در منطقه مورد مطالعه دارند. در نهایت خصوصیات ثانویه توپوگرافی با وجود اینکه اثر مثبتی بر روی مدل‌سازی زادآوری بلوط دارند، با این حال نسبت به سایر متغیرها دارای اهمیت کمتری در استقرار زادآوری بلوط در منطقه مورد مطالعه هستند. از جمله متغیرهایی ساختاری که بر زادآوری بلوط تأثیر دارند و در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند می‌توان به قطر برابر سینه، سطح مقطع برابر سینه، ارتفاع درختان، سطح تاج، درجه آمیختگی، تعداد درختان، تمایز قطری و تمایز ارتفاعی اشاره کرد. با مساوی در نظر داشتن اثر سایر متغیرها، قطر برابر سینه بالاتر به احتمال زیاد استقرار تجدید حیات طبیعی را افزایش می‌دهد. Klopčic و همکاران (۲۶) رابطه معکوسی را بین زادآوری و قطر برابر سینه گزارش داد و استدلال کرد که

در اثر عوامل مخرب گوناگون در ناحیه رویشی زاگرس، زادآوری گونه‌های مختلف از جمله گونه‌های جنس بلوط که شاخص جنگل‌های زاگرس است دچار اختلال شدید شده است. تداوم و تحول یک جنگل وابسته به استقرار و تحول زادآوری طبیعی گونه‌های موجود در آن دارد؛ بنابراین شناخت عوامل مؤثر بر زادآوری و دستیابی به اطلاعاتی در این زمینه می‌تواند راهگشایی برای حفاظت و احیا اکوسیستم‌های جنگلی باشد. نتایج تجزیه حساسیت مدل به ورودی‌های مدل (شکل ۳) نشان داد که بیشترین صحت مدل مربوط به زمانی است که کلیه متغیرهای مختلف توپوگرافی اولیه و ثانویه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و خصوصیات ساختاری جنگل در مدل لحاظ شده‌اند؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کلیه متغیرهای مستقل ورودی به مدل دارای نقش مثبتی در برآورد زادآوری بلوط در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. براساس نتایج حاصله مدل ۲ که شامل متغیرهای توپوگرافی اولیه و ثانویه، مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک به عنوان متغیرهای مستقل است کمترین میزان صحت را نسبت به سایر مدل‌ها دارد که این نشان‌دهنده اهمیت بسیار زیاد خصوصیات ساختاری جنگل در مدل‌سازی زادآوری بلوط نسبت به سایر متغیرهای ورودی است. مدل شماره ۶ که در

مستقل برای آموزش و اجرای مدل شبکه عصب مصنوعی استفاده شد اما هنوز متغیرهایی وجود دارند که در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود مورد استفاده قرار گیرند. به نظر می‌رسد که همان‌طور که هر یک از این فاکتورها سبب بهبود مدل شده است استفاده از متغیرهایی همانند فاکتورهای اقلیمی سبب بهبود عملکرد مدل و افزایش صحت پیش‌بینی گردد. در این مطالعه به علت یکنواختی اقلیم در سطح منطقه امکان استفاده از این متغیرها در مدل بکار گرفته شده وجود نداشت. این مهم در مدل‌هایی شبکه عصب مصنوعی به راحتی امکان‌پذیر است زیرا این تکنیک چون یک روش غیرپارامتریک است برخلاف روش‌های پارامتریک به نحوه توزیع داده‌ها وابسته نیست و افزایش متغیرهای ورودی سبب کاهش کارایی مدل نمی‌شود. (۵۱)

Hyppönen و همکاران (۱۹) اظهار داشت که به علت تنوع در متغیرهای استفاده شده در مطالعات مختلف، مقایسه مستقیم این مطالعات دشوار می‌کند. با این وجود می‌توان از شاخص‌های صحت سنجی برای مقایسه مدل‌ها استفاده نمود. در این مطالعه مدل شبکه عصبی مصنوعی با اشتباه معیار خطای برابر با ۰/۹۹ و ضریب تبیین برابر با ۰/۹۷ درصد توانسته است میزان زادآوری طبیعی جنگل را برآورد کند. این مقدار صحت در کاربردهای علمی و عملی نشان‌دهنده صحت و کارایی مدل استفاده شده در برآورد استقرار زادآوری طبیعی بلوط در جنگل است. در ادبیات تحقیق مطالعات اندکی هستند که با مدل‌های مختلف توانسته است به این چنین صحت مناسبی در برآورد میزان زادآوری دست پیدا کنند. از میان مطالعاتی که با هدف پیش‌بینی استقرار زادآوری طبیعی انجام شده است، Kolo و همکاران (۲۷) صحت مدل رگرسیون لجستیک در برآورد میزان زادآوری در جنگل‌های بلوط برابر با ۷۳/۵۱ درصد ذکر شد که نشان‌دهنده کارایی مدل بکار رفته است. Hallikainen و همکاران (۱۳) با صحت ۶۱ درصدی توانستند میزان تجدید حیات طبیعی را برآورد نمایند، در حالی که Sterba و Schweiger (۴۸) میزان صحت مدل رگرسیونی بکار رفته جهت برآورد زادآوری را ۸۷ درصد را گزارش کرد. تفاوت این مطالعه با مطالعه قبل که هر دو در آلمان صورت گرفته‌اند در تعداد و نوع متغیرهای مؤثر بکار گرفته شد در استقرار زادآوری است. در مطالعه Richit و همکاران (۴۲) در برزیل شبکه عصبی مصنوعی روش بسیار مناسبی برای مدل‌سازی تجدید حیات طبیعی جنگل معرفی شده است.

با وجود اینکه مدل استفاده شده در این مطالعه با استفاده از متغیرهای رویشگاهی به خوبی می‌تواند صحت و نحوه استقرار زادآوری در طبیعت را نشان دهد اما این مدل نمی‌تواند به طور دقیق نشان‌دهنده وضعیت جنگل در آینده با توجه به میزان تجدید حیات در جنگل باشد؛ زیرا عوامل مختلفی همانند آتش‌سوزی جنگل، خشکسالی‌های مقطعی و شدید، وجود دام و انسان در عرصه مانع از تبدیل این نهال‌ها و زادآوری‌ها به درختان بالغ می‌شوند. با توجه به متغیرهای مؤثر بر زادآوری طبیعی می‌توان نتیجه گرفت که زادآوری طبیعی بلوط در جنگل‌های غرب زاگرس تنها وابسته به عوامل

قطر زیاد، میزان دسترسی به نور را در سطح زمین کاهش می‌دهد، بنابراین احتمال ظهور تجدید حیات را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، قطر برابر سینه معیار سنجش بلوغ درختان است و قطر بالاتر می‌تواند نشان‌دهنده افزایش توانایی تولید نسل باشد. با توجه به وضعیت کنونی درختان بلوط منطقه مورد مطالعه به نظر می‌رسد درختانی با قطر برابر سینه بیشتر دارای توان تولید بذر بیشتر و در نتیجه احتمال ایجاد زادآوری را بیشتر می‌کنند. سطح مقطع درختان تراکم درختان را توصیف می‌کند. در بسیاری از مطالعات ذکر شده است که تراکم پایه بالاتر از طریق سایه زنی و رقابت برای آب و مواد مغذی خاک از تجدید حیات جلوگیری می‌کند. این دلایل در مطالعات Larsen و همکاران (۲۹) و Lynch و همکاران (۳۱) ذکر شده است. اگرچه این رابطه معمول بین سطح مقطع و بقا و رشد نهال مربوط به اکوسیستم‌های اروپا است، اما این رابطه تحت شرایط خاصی قابل نقض است. Lucas-Borja و همکاران (۳۰) شواهدی یافت که نشان می‌دهد تراکم متوسط درخت می‌تواند حداقل در سال‌های خشک‌تر باعث رشد و نمو نهال شود. این نشان می‌دهد که تعداد پایه زیاد می‌تواند به حفظ شرایط مناسب برای نهال و نهال در شرایط بسیار خشک و گرم کمک کند. از طرف دیگر، Pretzsch (۴۰) گزارش داد که تراکم تاج باعث کاهش نفوذ نور در فضای جنگل می‌شود و بنابراین از تجدید حیات طبیعی جلوگیری می‌کند که در جنگل‌های مخلوط بیشتر باعث افزایش رقابت در تاج و در نتیجه کاهش استقرار زادآوری شود. با توجه به مشاهدات نویسندگان این تحقیق به نظر می‌رسد این مسئله در جنگل‌های غرب کشور که جنگل‌ها اصولاً دارای تراکم کمی هستند قابل نقض کردن است و تراکم تاج و به طور کلی تراکم تعداد درختان به علت ایجاد پناه و ایجاد شرایط مناسب برای استقرار زادآوری‌ها، تأثیر مثبتی بر افزایش زادآوری دارد. از طرف دیگر ارتفاع درختان نشان‌دهنده و شاخص بلوغ و همچنین شرایط رویشگاهی برای رشد درخت است. این متغیر می‌تواند اثر مستقیمی بر روی استقرار زادآوری داشته باشد (۲۷). اهمیت درجه آمیختگی، تمایز قطری و تمایز ارتفاعی نیز در مطالعه جعفری افراپلی و همکاران (۲۴) نشان داده شده است. با اینکه متغیرهای ساختاری جنگل (قطر برابر سینه، ارتفاع، سطح مقطع، تراکم و ...) اهمیت بسیار زیادی در تجدید حیات طبیعی جنگل دارند. با این حال به نظر می‌رسد که مکانیسم تجدید حیات درختان جنگلی پیچیده‌تر و مرتبط با متغیرهای متعددی است. Hallikainen و همکاران (۱۳) پیچیدگی مشابهی را در رابطه بین تجدید حیات طبیعی و متغیرهای مختلف گزارش کرد. این نشان می‌دهد که تجدید حیات طبیعی تنها تحت تأثیر عوامل ساختاری جنگل نیست. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که زادآوری بلوط تحت تأثیر متغیرهای مختلفی است و با وجود اینکه متغیرهای ساختاری جنگل مهم‌ترین متغیرها در این رابطه هستند اما سایر متغیرها نیز بر روی زادآوری بلوط تأثیرگذار هستند.

در این مطالعه اگرچه متغیرهای مختلف مربوط به ساختار جنگل، توپوگرافی اولیه و ثانویه و اداپتیکی به عنوان متغیر

شده‌اند) که این خصوصیت کاربرد این روش را گسترش می‌دهد. اهمیت مدل‌سازی زادآوری جنگل به مجموعه‌ای از عوامل مربوط می‌شود و با توجه به متغیر بودن بسیاری از متغیرهای ورودی در طی زمان و یا امکان لحاظ نشدن بسیاری از متغیرهای مؤثر بر زادآوری، نمی‌توان با اطمینان کامل از نتایج مدل‌سازی صحبت کرد. با این حال نتایج مدل‌سازی می‌تواند به طور مؤثری به کمک مدیریت جنگل و تصمیم‌گیری در این حوزه بیاید؛ زیرا مدیریت می‌تواند با پیش‌بینی نتایج آینده سناریوهای مدیریت فعلی را بهبود دهد و هزینه‌ها و خسارات مربوط به اقدامات غیرموثر و اثرات پیش‌بینی نشده را به طور قابل‌توجهی کاهش دهد. این تحقیق یک چارچوب کلی به منظور افزایش درک روند تجدید حیات طبیعی در قالب مکان و با توجه به اثر عوامل مختلف را ارائه داده است که می‌تواند به ارائه پیش‌بینی وضعیت درختان جنگلی برای سال‌ها یا دهه‌های آینده کمک نماید. از طرفی مدیران می‌توانند با توجه به عوامل مؤثر بر روی تجدید حیات طبیعی جنگل به ارائه نسخه مناسب در رابطه با عملیات پرورش جنگل بپردازند.

غیرقابل تغییر توسط انسان نیست و عواملی مانند قطر، تاج درختان، ارتفاع و سطح مقطع نتیجه مدیریت جنگل توسط انسان هستند که می‌توانند بر روی زادآوری طبیعی جنگل اثر مستقیمی داشته باشند. در واقع نتیجه و برآمد اجرای شیوه‌های جنگل‌شناسی و پرورش جنگل است که می‌تواند بر خصوصیات ذکر شده اثر بگذارد.

نتیجه‌گیری کلی

روش پیشنهادی دو نتیجه اصلی را در زمینه تجدید حیات طبیعی بلوط در جنگل‌های غرب کشور فراهم می‌کند: (الف) نقشه پیش‌آگهی تراکم جنگل. (ب) پارامترهای مؤثر بر رشد و تجدید حیات طبیعی بلوط در جنگل‌های زاگرس. نقطه قوت اصلی نتایج این است که آن‌ها به شدت به داده‌های ورودی متکی هستند. یادگیری ماشینی مدل، توصیف نتایج مدل، کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل نسبت به نوع داده‌های ورودی وابسته است. به علاوه، شبکه عصبی مصنوعی به علت انعطاف‌پذیر بودن امکان انتخاب نوع پارامترهای ورودی را نسبت به شرایط منطقه و اطلاعات در دسترس فراهم می‌کند (نه لزوماً مواردی که در این مقاله در نظر گرفته

منابع

1. Alijanpour, A., A. Banj Shafiei and J. Eshaghi Rad. 2010. Investigation of natural regeneration characteristics in west oak forests within different levels of site factors (case study: Piranshahr region), Iranian Journal of Forest, 2(3): 208-219 (In Persian).
2. Ascione, F., N. Bianco, C. De Stasio, G.M. Mauro and G.P. Vanoli. 2017. Artificial neural networks to predict energy performance and retrofit scenarios for any member of a building category: a novel approach. Energy, 118: 999-1017.
3. Ashraf, M.I., F. Meng, C.P.A. Bourque and D.A. MacLean. 2015. Novel modeling approach for predicting forest growth and yield under climate change. PLoS One, 10(7).
4. Benediktsson, J.A., P.H. Swain and O.K. Erosy. 1990. Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote Sensing data. IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, 28: 540-551.
5. Civco, D.L. and Y. Wanug, 1994. Classification of multispectral, multitemporal, multisource spatial data using artificial neural networks. ASPRS/ACSM.
6. da Rocha, S.J.S.S., C.M.M.E. Torres, L.A.G. Jacovine, H.G. Leite, E.M. Gelcer, K.M. Neves and J.C. Zanuncio. 2018. Artificial neural networks: Modeling tree survival and mortality in the Atlantic Forest biome in Brazil. Science of the total environment 645: 655-661.
7. Diamantopoulou, M.J., R. Özçelik, F. Crecente-Campo and Ü. Eler. 2015. Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods. Biosystems Engineering, 133: 33-45.
8. Dobrowski, S.Z., J.A. Greenberg, C.M. Ramirez and S.L. Ustin. 2006. Improving image derived vegetation maps with regression based distribution modeling. Ecological Modeling, 192:126-142.
9. Ferguson, D.E. 1996. Modeling natural regeneration establishment in the northern Rocky Mountains of the USA. In: Conference on modeling regeneration success and early growth of forest stands 30-40.
10. Foody, G.M. and M.E.J. Cutler. 2006. Mapping the species richness and composition of tropical forests from remotely sensed data with neural networks. Selected Papers from the Third Conference of the International Society for Ecological Informatics (ISEI) 195. Ecological Modelling 37-42.
11. Fortin, M. and J. DeBlois, 2007. Modeling tree recruitment with zeroinflated models: the example of hardwood stands in Southern Quebec, Canada. Forest Science, 53(4): 529-539.
12. Gill, N.S., F. Sangermano, B. Buma and D. Kulakowski. 2017. Populus tremuloides seedling establishment: An underexplored vector for forest type conversion after multiple disturbances. Forest Ecology and Management 404: 156-164.
13. Hallikainen, V., M. Hyppönen, J. Hyvönen and J. Niemelä. 2007. Establishment and height development of harvested and naturally regenerated Scots pine near the timberline in North-East Finnish Lapland. Silva Fennica. doi:10.14214/sf.308

- ۱۰۴ مدل‌سازی زادآوری گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی
14. Hamann, A. and T. Wang, 2006. Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in British Columbia. *Ecology*, 87: 2773-2786.
 15. Haykin, S. 1998. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2nd Edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
 16. Heydari, M., J. Mirzaei, R. Omidipoor, M. Naderi and T. Abdi. 2017. Effect of heterogeneity of field on natural regeneration of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) using diversity and composition indices of plant species. *Iranian Journal of forest and poplar research*, 25(2): 220-231 (In Persian).
 17. Hirose, Y., Yamashita, K. and Hijjiya, S. 1991. Back-propagation algorithm which varies the number of hidden units. *Neural Networks*, 4: 61-66.
 18. Hong, H., P. Tsangaratos, I. Ilia, J. Liu, A.X. Zhu and C. Xu. 2018. Applying genetic algorithms to set the optimal combination of forest fire related variables and model forest fire susceptibility based on data mining models. The case of Dayu County, China. *Science of the Total Environment*, 630: 1044-1056.
 19. Hyppönen, M., V. Alenius and S. Valkonen. 2005. Models for the establishment and height development of naturally regenerated *Pinus sylvestris* in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20(4): 347-357.
 20. Ibrahim, A., E. Koubaily and A. Thabeet. 2020. Modeling the natural regeneration of *Cedrus libani* A. Richard in Slenfeh, Syria, using binary logistic regression. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(3): 1-15.
 21. Ingram, J.C., T.P. Dawson and R.J. Whittaker. 2005. Mapping tropical forest structure in southeastern Madagascar using remote sensing and artificial neural networks. *Remote Sensing of Environment* 94(4): 491-507.
 22. Ismail, R., O. Mutanga and L. Kumar. 2010. Modeling the potential distribution of pine forests susceptible to siren noctilio infestations in Mpumalanga, South Africa. *Transactions in GIS*, 14: 709-726.
 23. Jaafari, A., D.M. Gholami and E.K. Zenner. 2017. A Bayesian modeling of wildfire probability in the Zagros Mountains, Iran. *Ecological Informatics*, 39: 32-44.
 24. Jafari Afrapoly, M., K. Sefidi, S. Varamesh and S.M. Waez-Mousavi. 2019. Structural Characteristic of English Yew (*Taxus baccata* L.) Stands in the Afratakhteh Forests Reserve. *Iranian Journal of forest ecology*, 7(13): 11-19 (In Persian).
 25. Karami, O., A. Fallah, S.H. Shataei and H. Latifi. 2018. Assessment of geostatistical and interpolation methods for mapping forest dieback intensity in Zagros forests. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(1): 71-84.
 26. Klopčič, M. and A. Boncina. 2012. Recruitment of tree species in mixed selection and irregular shelterwood forest stands. *Annals of Forest Science*, 69(8): 915-925.
 27. Kolo, H., D. Ankerst and T. Knoke. 2017. Predicting natural forest regeneration: a statistical model based on inventory data. *European Journal of Forest Research*, 136(5-6): 923-938.
 28. Kolstrom, T. 1993. Modeling the development of an uneven-aged stand of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 8: 373-383.
 29. Larsen, D.R., M.A. Metzger and P.S. Johnson. 1997. Oak regeneration and overstory density in the Missouri Ozarks. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(6): 869-875.
 30. Lucas-Borja, M.E., D. Candel-Pérez, F.G.A. Morote, T. Onkelinx, P.A. Tíscar and P. Balandier. 2016. *Pinus nigra* Arn ssp *salzmannii* seedling recruitment is affected by stand basal area, shrub cover and climate interactions. *Annals of Forest Science*, 73(3): 649-656.
 31. Lynch, T.B., J. Nkouka, M.M. Huebschmann and J.M. Guldin. 2003. Maximum likelihood estimation for predicting the probability of obtaining variable shortleaf pine regeneration densities. *Forest Science*, 49(4): 577-584.
 32. Marvi Mohajer, M.R. 2005. *Silviculture*. Tehran University Press, 387 pp (In Persian).
 33. Mirzaei, J., M. Akbari Nia, S.M. Hosseini, M. Tabari KuchakSarai and S.G.M. Jallali. 2007. Comparison of natural regenerative density of wood species in relation to physiographic and soil factors in Zagros forests (Case Study: a Protected Area in the North of Ilam). *Journal of Research and Construction in Natural Resources*, 77: 16-23 (In Persian).
 34. Moore, I.D., P. Gessler, G. Nielsen and G. Peterson. 1993. Soil attributes prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 443-452.
 35. Nandy, S., R. Singh, S. Grosh, T. Watham, S.P.S. Kushwaha, A.S. Kumar and V.K. Dadhwal. 2017. Neural network-based modeling for forest biomass assessment. *Carbon Manage*, 8(4): 305-317.

36. Nimvari, J., M. Zobeiri, H. Sobhani and H. Pourshafi Zanganeh. 2003. Comparison of random systematic with circular sample plots and linear method in terms of accuracy and cost in western oak forests, Iran, *Journal of Natural Resources* 56(4): 383-396 (In Persian).
37. Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1990. Phosphorous. In: Page A.L., *Method of soil Analysis. Part 2. 2nd Agron Monoger*, ASA, Madison, WI. 403-431.
38. Pommerening, A. 2006. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management*, 224(3): 266-277.
39. Pourhashemi, M., M.R. Mohajer. M. Zobeiri, GZ. Amiri and P. Panah. 2004. Identification of forest vegetation units in support of government management objectives in Zagros forests, Iran. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19: 72-77.
40. Pretzsch, H. 2014. Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. *Forest Ecology and Management*, 327: 251-264.
41. Reis, L.P., A.L. Souza, P.C.M. dos Reis, L. Mazzei, C.P.B. Soares, C.M.M.E. Torres, L.F. Silva, A.R. Ruschel, L.J.S. Rêgo and H.G. Leite. 2018. Estimation of mortality and survival of individual trees after harvesting wood using artificial neural networks in the amazon rain forest. *Ecological Engineering*, 112:140-147.
42. Richit, L.A., C. Bonatto, T. Carlotto, R.V. da Silva and J. M.V. Grzybowski. 2017. Modeling forest regeneration for performance-oriented riparian buffer strips. *Ecological Engineering*, 106: 308-322.
43. Rittenhouse, J. 2020. Sustaining mixed-oak forests: A multifaceted approach to modeling advance oak regeneration and recruitment in young forests. A Thesis in Forest Resources, Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, 62 pp.
44. Safari, M., K. Sefidi, A. Alijanpour and M. Elahian. 2018. Study of natural regeneration in *Quercus macranthera* stands in different physiographic conditions in Arasbaran forests. *Iranian Journal of forest ecology*, 6(12):1-8 (In Persian).
45. Salehi, A., E. Wilhelmsson and U. Soderberg. 2008. Landcover changes in a forested watershed, Southern Zagros, Iran. *Land Degradation and Development*, 19: 542-553.
46. Santi, E., S. Paloscia, S. Pettinato, G. Fontanelli, M. Mura, Zolli, C., Maselli, F., Chiesi, M., Bottai, L. and Chirici, G. 2017. The potential of multifrequency SAR images for estimating forest biomass in Mediterranean areas. *Remote Sensing of Environment* 200: 63-73.
47. Satir, O., S. Berberoglu, and C. Donmez. 2015. Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1-14.
48. Schweiger, J. and H. Sterba. 1997. A model describing natural regeneration recruitment of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) In Austria. *Forest Ecology and Management*, 97(2): 107-118.
49. Shokri, R., R. Basiri and H. Talashi. 2017. The effect of fire on the structure and regeneration of oak trees in Lorestan province (Case study: Tang Qaleh region-Kouhdasht). *Iranian Journal of Forest Research and Development*, 3(2): 163-174 (In Persian).
50. Tien Bui, D., Q.T. Bui, Q.P. Nguyen, B. Pradhant, H. Nampak and P. Trong Trinh. 2017. A hybrid artificial intelligence approach using GIS-based neural-fuzzy inference system and particle swarm optimization for forest fire susceptibility modeling at a tropical area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233: 32-44.
51. Vahedi, A.A. 2016. Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixedbeech forests of Iran. *Biomass Bioenergy*, 88: 66-76.
52. Vieira, G.C., A.R. Mendonça, G.F. Silva, S.S. Zanetti, M.M. Silva and A.R. Santos. 2018. Prognoses of diameter and height of trees of eucalyptus using artificial intelligence. *Science of the Total Environment*, 619-620:1473-1481.
53. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 34: 29-38.
54. Westerman, R.E.L. 1990. *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America, Mandison Wisconsin, USA.

Modeling of Iranian Oak Regeneration in Zagros Forests using Artificial Neural Network Algorithm

Elahe Ghalavand¹, Abdolali Karamshahi², Mehdi Heydari³ and Omid Karami⁴

1- Candidate Ph.D., Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2- Associate Professor of Forestry Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran,
(Corresponding Author: karamshahi64@yahoo.com)

3- Associate Professor of Forestry Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

4- Graduated Ph.D., Instructor of Forestry Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Received: November 16, 2020

Accepted: January 26, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Today, the use of modeling methods to predict and modeling of regeneration for different species in forest conservation and management plans is increasing. It is possible to predict the condition and density of forests in the future by forest regeneration modeling and based on that, adopted different management scenarios.

Materials and Methods: With regard to importance of the subject, in this study the regeneration rate of oak species in a part of oak forests of Manesht and Qalarang protected area-Ilam province was estimated using artificial neural network (ANN) and environmental variables such as primary topographic properties, secondary topography, soil physical properties, soil chemical properties and forest structural characteristics as independent variables. For this purpose, various functions and models were evaluated. After sampling, 70% of the, oak regeneration samples was used as training samples to implement the ANN model and the remaining 30% of the data was used to evaluate the model results. Finally, the sensitivity of the oak regeneration model was analyzed.

Results: The results showed that the artificial neural network with error standard error equal to 0.99 was able to estimate the oak regeneration in the study area. The results of sensitivity analysis showed that the highest R^2 is related to the model with all input variables, which indicates the positive effect of all input parameters to the model, so that by removing each of the input variables, the accuracy of the model in predicting oak regeneration decreases. However, the results also showed that forest structural and soil chemical characteristics are the most important factors affecting oak regeneration in the study area. The least effect on oak regeneration in the prepared model are secondary topographic variables, which although had a positive role in predicting the regeneration. However, the effect of these variables was less than other variables. The results showed that about 21% of the study area has less than 100 regenerations per hectare. Also, more than 12% of the study area has more than 1200 regenerations per hectare.

Conclusion: In general, the simultaneous use of all primary and secondary topographic features, soil and forest structural characteristics increase the accuracy of regeneration modeling of Zagros oak forests. On the other hand, ANN due to its flexibility, allows the selection of the various variables according to the study area conditions and the available information, as a result, it increases the accuracy of modeling.

Keywords: Ilam, Multilayer perceptron neural network, Regeneration, Secondary topography, Sensitivity analysis