

## کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه در برآورد تراکم جنگل در جنگل‌های باغان مریوان

ساسان وفایی<sup>۱\*</sup>، مهدی پورهایمی<sup>۲</sup>، مهتاب پیرباوقار<sup>۳</sup> و اقبال جعفری<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان  
<sup>۲</sup> دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور  
<sup>۳</sup> استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان  
<sup>۴</sup> کارشناس ارشد، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۱۰)

### چکیده

بررسی و مدل‌سازی ویژگی‌های کمی جنگل به منظور هدایت اکوسیستم به سوی اهداف مطلوب و اجرای اقدامات حفاظتی و احیایی از اقدامات مهم به‌شمار می‌آید. در پژوهش پیش‌رو، برآورد مشخصه‌های تعداد در هکتار درختان و تاج‌پوشش جنگل که معرف تراکم در اکوسیستم طبیعی جنگل است، با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندگانه و مدل شبکه عصبی مصنوعی، به کمک داده‌های توپوگرافی، خاک‌شناسی، اقلیمی و استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری در بخشی از جنگل‌های باغان مریوان انجام گرفت. ویژگی‌های پستی و بلندی از روی مدل رقومی ارتفاع محاسبه شد. استخراج عامل‌های اقلیمی و ویژگی‌های خاک‌شناسی با استفاده از نقشه‌های اقلیمی و داده‌های مربوط به تجزیه نمونه‌های خاک انجام شد. به منظور بهره‌گیری از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای از تصاویر لندست ۵ و شاخص NDVI استفاده شد. تعداد در هکتار درختان و تاج‌پوشش جنگل با استفاده از ۸۹ قطعه نمونه ۰/۱ هکتاری به صورت تصادفی برداشت شد. در نهایت مدل رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی بین این ویژگی‌ها و متغیرهای تاج‌پوشش و تعداد در هکتار درختان طراحی و سپس اعتبارسنجی شدند. نتایج نشان‌دهنده دقت بیشتر شبکه عصبی مصنوعی در برآورد تاج‌پوشش ( $R^2=0/92$ ،  $RMSE=0/10/20$ ) و تعداد در هکتار درختان ( $R^2=0/84$ ،  $RMSE=0/11/32$ ) در مقایسه با مدل رگرسیون خطی چندگانه (به ترتیب  $R^2=0/81$  و  $RMSE=0/15/02$ ) بود. نتایج کلی پژوهش حاضر نشان‌دهنده پتانسیل استفاده از داده‌های توپوگرافی، خاک‌شناسی، اقلیمی و اطلاعات دورسنجی در برآورد تراکم جنگل بررسی شده بود که در این راستا مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی نسبت به تحلیل رگرسیون خطی چندگانه دارای دقت برآورد بیشتری بود.

**واژه‌های کلیدی:** تاج‌پوشش، تعداد در هکتار درختان، شاخص NDVI، خصوصیات خاک، ویژگی‌های توپوگرافی.

## مقدمه و هدف

شناخت هرچه دقیق‌تر اکوسیستم‌های جنگلی در تشخیص فعل و انفعالات خاص آنها، تشریح پایداری اکوسیستم، طراحی طرح‌های مدیریتی مناسب و اقدامات حفاظتی و احیایی مفید است (Miller et al., 2005). بنابراین کسب اطلاعات به‌هنگام از وضعیت کمی و کیفی جنگل‌ها می‌تواند در تعیین ضوابطی منطقی و علمی به‌منظور اعمال مدیریت صحیح و حفظ و بهره‌برداری هرچه اصولی‌تر از این منابع بسیار ارزشمند باشد؛ اما هزینه‌های زیاد جمع‌آوری اطلاعات عرصه‌ای، در دسترس نبودن برخی مناطق و زمان بر بودن کارهای میدانی، ارائه روش‌هایی را به‌منظور برآورد غیرمستقیم ویژگی‌های جنگل طلب می‌کند. نمونه‌هایی از این روش‌های غیرمستقیم، استفاده از مدل‌های رگرسیونی، شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> و استفاده از مشخصه‌های محیطی، اقلیمی، توپوگرافی و فن‌سنجش‌ازدور در برآورد مشخصه‌های کمی و کیفی توده است. درواقع استفاده از این مدل‌ها، روشی سریع، آسان، ارزان و قابل اعتماد برای پیش‌بینی است.

نحوه توزیع و فراوانی گونه‌های گیاهی در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک به‌طور معمول به تغییرات سه دسته از عوامل: فیزیوگرافی محیط (که مؤثر بر میزان دسترسی آب و رطوبت است)، ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی خاک، و عامل‌های انسانی وابسته است (Enright et al., 2005). پراکنش جغرافیایی پوشش گیاهی در یک محیط کوهستانی تقریباً به تنوع توپوگرافی آن مربوط می‌شود؛ ازاین‌رو مشخصه‌های فیزیوگرافی به‌عنوان عامل‌های تأثیرگذار در تحلیل مکانی و مدل توزیع پوشش گیاهی مهم‌اند (مهدی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۵). فیزیوگرافی یکی از مهم‌ترین عامل‌هایی است که با تأثیر بر مقدار و نوع بارندگی، دما، تبخیر، تعرق، شدت تشعشعات

خورشیدی، تشکیل و تکامل خاک بر نوع و تراک مپوشش گیاهی تأثیر بسزایی دارد (فخیمی ابرقویی، ۱۳۹۰). عناصر اقلیمی نیز از مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر شرایط پوشش گیاهی به‌شمار می‌آیند. بارش، دما و تبخیر و تعرق به‌طور مستقیم بر توازن آب تأثیر می‌گذارند و خود، جزو عامل‌های تغییر رطوبت خاک، رشد و پراکنش گیاهان هستند (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). خاک یکی از ضروری‌ترین عامل‌های ایجاد پوشش‌های گیاهی است و ارتباط ویژگی‌های خاک با پوشش گیاهی مقدم بر ارتباط دیگر عامل‌هاست و تأثیرات متقابل خاک و پوشش گیاهی به اثبات رسیده است (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۱).

پیش‌بینی توزیع مکانی پوشش‌های گیاهی، یکی از مشکلات پایه در دانش بوم‌شناسی گیاهی است (Palo et al., 2005) و پژوهش‌های زیادی به‌منظور پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر پوشش‌های گیاهی مبتنی بر داده‌های توپوگرافی، ویژگی‌های خاک و شرایط آب‌وهوایی انجام گرفته است. در جنگل‌های شمال کشور، امکان به‌کارگیری روش نوین شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی پراکنش مکانی تراکم (تعداد در هکتار) جنگل و تهیه نقشه پیوسته آن در سری یک جنگل شصت‌کلاته گرگان، با استفاده از ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی، با موفقیت همراه بوده است (قنبری و همکاران، ۱۳۸۸). در پژوهشی، ارتباط پراکنش مکانی تیپ‌های جنگلی با مشخصه‌های فیزیوگرافی (شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا و فاصله از آبراهه) و عامل‌های انسانی (فاصله از مناطق مسکونی و جاده) با استفاده از روش رگرسیون لجستیک بررسی شد. نتایج نشان از وجود رابطه قوی میان پراکنش مکانی تیپ‌ها با عامل‌های فیزیوگرافی دارد (مدرس گرجی و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعات تحلیل پراکنش مکانی جنگل‌های کوهستانی و نیمه‌آلپی در آلپ مرکزی در ارتباط با ۲۴ خصوصیت اولیه و ثانویه مشتق‌شده از DTM،

<sup>۱</sup> Artificial Neural Networks (ANN)

ویژگی تاج پوشش و تنوع را بررسی کردند (Gazol and Ibanez, 2009). مطالعات دیگر هم مهم ترین عوامل را در گسترش، احیا و توزیع گونه های جنگل های کوهستانی عسلویه در جنوب ایران، وابسته به ویژگی های خاک و ارتفاع دانستند (Kouhgardi et al., 2011).

تراکم جنگل با استفاده از روش های مختلفی اندازه گیری می شود که مبنای همگی آنها اندازه گیری یا برآورد یکی از متغیرهای توده جنگلی است. روش هایی همانند روش چشمی<sup>۱</sup> و روش رقابت تاجی<sup>۲</sup>، بر اندازه گیری یا برآورد مشخصه تاج پوشش درختان مبتنی اند و روش هایی مانند روش جدول محصول<sup>۳</sup> Bruce و روش درصد ارتفاعی<sup>۴</sup>، بر اندازه گیری یا برآورد متغیرهایی مانند تعداد، سطح مقطع، حجم و ارتفاع درختانی مبتنی اند (Daniel et al., 1979). بنابراین مشخصه های کمی یک توده جنگلی مانند حجم زی توده، متوسط قطر و ارتفاع توده، تعداد در هکتار، مقدار تاج پوشش، سطح مقطع و سن، داده های بااهمیتی برای ارزیابی منابع جنگلی به شمار می روند.

پوشش گیاهی موجود در جنگل های زاگرس اغلب به صورت شاخه زاد و جست گروه ظاهر می شود. اندازه گیری حجم این جنگل ها با هزینه های معمول آمار برداری میسر نیست، بنابراین نمی توان از حجم به عنوان عاملی مناسب در بررسی ها استفاده کرد (پیرمحمدی و فقهی، ۱۳۸۷). از طرف دیگر با توجه به نقش این جنگل ها در حفاظت از آب و خاک، هنگامی که هدف برآورد مشخصه ای از این جنگل ها باشد، بیشتر بر تعداد در هکتار و تاج پوشش آنها تکیه می شود (اخوان و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به اهمیت جنگل های شهرستان مریوان از نظر اقتصادی - اجتماعی، حفاظتی و احیایی و از آنجا که در این

ارتفاع، جهت شیب و تا حدودی رطوبت، مهم ترین مشخصه ها برای بیان ویژگی های جنگل عنوان شدند (Horsch et al., 2003). در مطالعات با هدف پیش بینی نقشه های پوشش گیاهی براساس اطلاعات خاک و توپوگرافی در شهر ساره استونی، تأکید بر این بود که برای بهبود نقشه های تولیدی و با حداکثر کارایی، به هماهنگی های بیشتری در بررسی ارتباط پوشش گیاهی و خاک شناسی نیاز است (Palo et al., 2005). تحقیقی در جنگل های برزیل، با هدف مقایسه کارایی شبکه عصبی مصنوعی در تقابل با رگرسیون چندگانه در برآورد مقدار زی توده، با استفاده از داده های سنجنده TM و شاخص های گیاهی صورت گرفت؛ نتایج حاکی از برقراری ارتباط قوی تر بین داده های واقعی و برآورد شده با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی است (Foody et al., 2003). در پژوهشی در جنگل های منطقه میازاکی ژاپن به منظور مدلسازی شاخص رویشگاه برای توده های خالص کاج ژاپنی با روش رگرسیون چندگانه خطی از ۱۴ شاخص طبقه بندی شده تابش خورشید، شاخص رطوبت و شاخص پرتوگیری توپوگرافی بهره گرفته شد. در این پژوهش از پنج نوع مدل رقومی زمین با اندازه تفکیک های مختلف استفاده شد. بهترین مدل در این پژوهش با تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر و با ضریب همبستگی ۰/۶۹۲، و به دنبال آن مدل با اندازه تفکیک ۵۰ متر بود (Mitsuda et al., 2007). در مطالعات پیش بینی خواص خاک مراتع سولونتریک مجارستان با استفاده از روابط خاک و گیاه و به کمک رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی، نتایج حاکی از وجود روابط متقابل خاک و پوشش گیاهی بود، به طوری که می شد از شاخص های پوشش گیاهی برای پیش بینی متغیرهای خاک چون شوری، اسیدی و قلیایی بودن خاک استفاده کرد (Toth et al., 2008). محققان دیگری نیز واکنش های مختلف درختان زیر اشکوب را به عوامل محیطی و متغیرهای مکانی براساس دو

<sup>1</sup>Oculra method

<sup>2</sup>Crown-competition method

<sup>3</sup>Bruce's yield table method

<sup>4</sup>Percent-of-height method

گونه‌های *Acer Fraxinus angustifolia*، *Pyrus*، *Pistacia atlantica monspessulanum* spp.، *Cotoneaster sp.*، *Crataegus spp.*، *Amygdalus spp.* همراه آن مشاهده می‌شوند (بی‌نام، ۱۳۸۳).

#### روش آماربرداری (برداشت اطلاعات خاک، تعداد در هکتار و تاج پوشش درختان)

در این تحقیق، منطقه تحقیق براساس دامنه ارتفاعی به سه طبقه (۱۳۰۰-۱۷۰۰، ۱۷۰۰ تا ۲۱۰۰ و ۲۱۰۰ تا ۲۴۰۰ متر) دسته‌بندی شد. سپس در هر محدوده ارتفاعی، طرح آماربرداری به صورت تصادفی و متناسب با مساحت آن طبقه طراحی شد. در نهایت تعداد ۸۹ قطعه نمونه برای منطقه در نظر گرفته شد.

نمونه برداری از خاک به روش مرکب و از افق سطحی از عمق صفر تا ۱۵ سانتی متر از روی نقاط با مختصات مشخص (در مجموع ۸۹ نمونه) انجام شد. با توجه به اهمیت مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، مقدار هدایت الکتریکی، اسیدیته گل اشباع، درصد کربن آلی، درصد آهک فعال، درصد نیتروژن کل و بافت خاک شامل درصد، رس، لای و شن برای به کار بردن در تجزیه و تحلیل‌ها، اندازه‌گیری شد.

تعداد درختان در هکتار هر قطعه نمونه از طریق شمارش تعداد درختان/جست (قطر بیشتر از پنج سانتی متر) و سپس محاسبه آن در هکتار حاصل شد. سطح تاج کلیه درختان نیز از طریق اندازه‌گیری قطر تاج در دو جهت (به وسیله متر نواری) در هر قطعه نمونه برداشت شد و سپس درصد تاج پوشش قطعات نمونه محاسبه شد. در مجموع تعداد ۸۹ قطعه نمونه ۰/۱ هکتاری برداشت و موقعیت مکانی آنها با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد.

#### تهیه مدل رقومی زمین و محاسبه عامل‌های فیزیوگرافی

به منظور تهیه متغیرهای اولیه و ثانویه توپوگرافی، ابتدا لایه خطوط تراز ارتفاعی از نقشه‌های توپوگرافی

جنگل‌ها، بررسی و ارزیابی مدل‌های برآوردی ویژگی‌های جنگل بسیار کم بررسی شده است، ضرورت دارد که برآورد ویژگی‌های کمی جنگل به عنوان معیاری برای کنترل تغییرات و پایش جنگل، بررسی شود. بنابراین هدف این پژوهش برآورد مقدار تراکم جنگل (مشخصه‌های تعداد در هکتار درختان و تاج پوشش جنگل) با استفاده از داده‌های توپوگرافی، خاک‌شناسی، اقلیمی و تصاویر ماهواره‌ای در بخش باغان از جنگل‌های مریوان است، زیرا آگاهی از مقدار تراکم، برنامه‌ریزان و مدیران را در راستای مدیریت هرچه بهتر این جنگل‌ها کمک می‌کند.

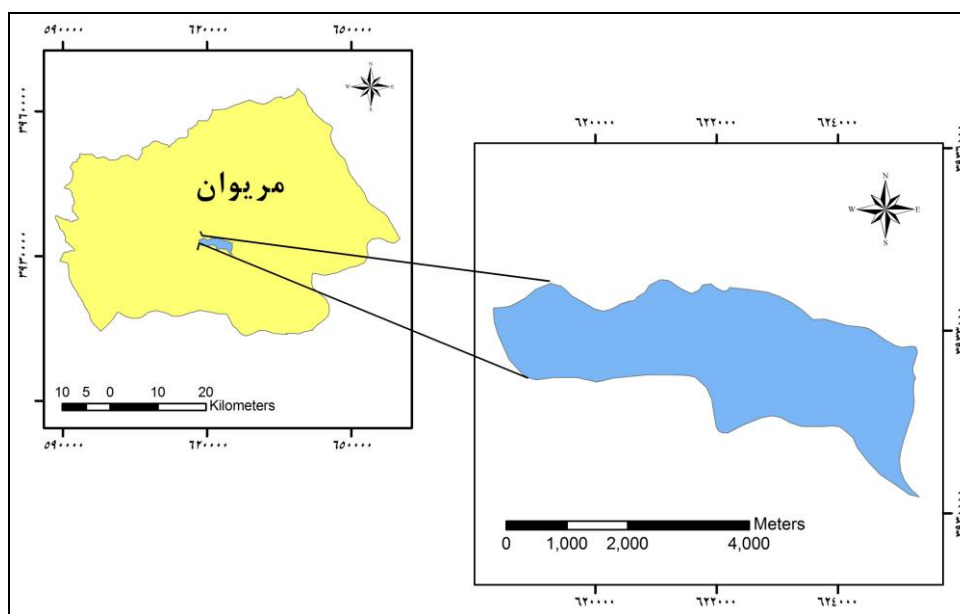
#### مواد و روش‌ها

##### ویژگی‌های منطقه تحقیق

منطقه تحقیق با مساحت ۱۱۴۲ هکتار در جنوب حوزه چناره و باغان شهرستان مریوان و در گستره جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده که در سیستم UTM در زون ۳۸ قرار گرفته است (شکل ۱). کمترین و بیشترین ارتفاع از سطح دریا به ترتیب ۱۳۰۰ و ۲۴۰۰ متر است. براساس مطالعات در این منطقه متوسط بارندگی کل، ۶۰۹/۶ میلی‌متر برآورد شده است، که ۷۲/۴ درصد بارندگی‌ها در شش ماه اول سال آبی رخ می‌دهد و تقریباً برای اکثر ایستگاه‌های معرف منطقه مطالعاتی، بیشترین بارندگی‌ها در اسفند رخ می‌دهد. به اعتبار این توصیه، رژیم بارندگی منطقه مطالعاتی مدیترانه‌ای است، به طوریکه فقط ۰/۱ درصد بارندگی‌های سالانه در فصل تابستان می‌بارد (بی‌نام، ۱۳۸۳). سه شاخص حرارتی حوزه شامل متوسط حداکثر، میانگین و متوسط حداقل دمای سالانه به ترتیب ۱۷/۴، ۱۰/۹ و ۴/۲ درجه سانتی‌گراد است. در محدوده مطالعاتی انواع فرم‌های رویشی شامل درخت، درختچه، بوته و گونه‌های علفی مشاهده می‌شود. تیپ غالب جنگل *Quercus spp.* است که

پنج متغیر فیزیوگرافی اولیه شامل ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، شیب، انحنای مسطحاتی، انحنای قائم و دو متغیر ثانویه فیزیوگرافی شامل شاخص رطوبت و شاخص تابش خورشید با استفاده از مدل رقومی زمین به دست آمد.

رقومی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج و سپس مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه سلول ۱۰ متر تهیه شد. در ادامه مدل رقومی ارتفاع به دست آمده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ به عنوان ورودی در نرم‌افزار TAS و DIGEM استفاده شد و در نهایت



شکل ۱- موقعیت منطقه تحقیق در شهرستان مریوان

استفاده شد. به منظور دستیابی به شاخص یادشده، داده‌های ماهواره لندست ۵ مربوط به خرداد ۲۰۱۱ میلادی از منطقه تحقیق به شماره گذر ۱۶۸ و ردیف ۳۵ در سطح تصحیحات (LIT<sup>۲</sup>) برای اجرای مدل استفاده شد. این سطح از تصحیحات شامل تصحیح رادیومتری در سطح سیستماتیک، تصحیح هندسی با استفاده از نقاط کنترل زمینی و همچنین تصحیح خطای جابه‌جایی ناشی از توپوگرافی منطقه است.

#### استخراج اطلاعات

پس از تهیه نقشه شاخص‌های توپوگرافی، تبخیر و تعرق و شاخص NDVI، نقشه موقعیت جغرافیایی قطعه‌نمونه‌ها با توجه به سطح آنها (۱۰ آری) و اندازه

#### محاسبه شاخص‌های اقلیمی

به منظور شرکت دادن شاخص‌های اقلیمی در مدل‌سازی از دو شاخص مهم یعنی بارش و تبخیر و تعرق استفاده شد، بدین صورت که نقشه توزیع مکانی بارش و تبخیر-تعرق برای منطقه با استفاده از منحنی‌های هم‌بارش و هم‌تبخیر - تعرق (نقشه‌های موجود در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور) تهیه شد.

#### شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده<sup>۱</sup>

در این پژوهش، شاخص گیاهی معروف تفاضلی نرمال شده به دلیل اینکه همبستگی زیادی را با درصد تاج‌پوشش گیاهی نشان می‌دهد (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۸؛ Suzuki et al., 2011; Lu et al., 2005) به عنوان متغیر مناسب در برآورد سطح تاج‌پوشش،

<sup>1</sup>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

<sup>2</sup>Level 1 Terrain Corrected (LIT)

رابطه ۴  $Purelin(n) = n$

در مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی، اطلاعات خاک، ویژگی‌های فیزیوگرافی استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع، اطلاعات اقلیمی، شاخص NDVI به‌عنوان ورودی و تعداد در هکتار درختان و درصد تاج پوشش به‌عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شد (شکل ۲). در واقع شبکه‌ای با ۱۸ نرون در لایه ورودی (اطلاعات خاک، ویژگی‌های فیزیوگرافی، اطلاعات اقلیمی، شاخص NDVI) برای پیش‌بینی هر متغیر (درصد تاج‌پوشش، تعداد در هکتار درختان) طراحی شد.

نکته شایان ذکر این است که در شبکه‌های از نوع پس‌انتشار خطا، قاعده مشخصی برای انتخاب تعداد لایه‌های پنهان و همچنین تعداد نرون‌ها در لایه پنهان وجود ندارد (ولی و همکاران، ۱۳۸۹). روش عمومی برای به دست آوردن آنها روش سعی و خطا و البته تجربیات دیگر محققان است (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۶). به‌منظور آموزش و ارزیابی شبکه، کل داده‌ها به‌طور تصادفی به سه بخش آموزشی<sup>۳</sup>، اعتبارسنجی<sup>۴</sup> و آزمون<sup>۵</sup> دسته‌بندی شد. به‌این‌ترتیب که ۲۵ درصد از کل داده‌ها برای آزمون مدل کنار گذاشته شد، ۶۰ درصد برای آموزش داده‌ها و ۱۵ درصد آنها به‌عنوان داده‌های اعتبارسنجی انتخاب شد (Amiryousefi et al., 2012).

#### رگرسیون خطی چندگانه

به‌منظور مقایسه تخمین‌های شبکه عصبی با مدل‌های رگرسیون خطی و برآورد دقت آنها در تخمین مشخصه‌های تعداد در هکتار درختان و مقدار تاج‌پوشش جنگل، مدلسازی این مشخصه‌ها با استفاده از تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام و انتخاب بهترین

تفکیک تصاویر ماهواره‌ای (۳۰ متر)، ۳۰×۳۰ متر تهیه شد. برای استخراج اطلاعات هر یک از نقشه‌های توپوگرافی، بارش، تبخیر و تعرق و شاخص NDVI، نقشه قطعه‌نمونه‌ها بر روی هر کدام از نقشه‌های تولیدشده قرار گرفت و متوسط ارزش نه پیکسل واقع در محل قطعه‌نمونه استخراج شد.

#### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و ارزیابی مدل‌ها

##### شبکه عصبی مصنوعی

مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از نرم‌افزار NeuroSolution انجام گرفت و از شبکه عصبی با ساختار پرسپترون که بهترین و کارآمدترین عملکرد را دارند، استفاده شد. ساختارهای متفاوت از شبکه نظیر قانون یادگیری<sup>۱</sup>، توابع انتقال<sup>۲</sup> استفاده شده، تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون در لایه پنهان طراحی شدند و بهترین آنها براساس معیارهای ارزیابی انتخاب شدند. با توجه به محدودیت توابع انتقالی نرون‌ها، ارائه نمونه‌های آموزشی و آزمایشی به‌صورت داده‌های خام، موجب کاهش دقت و سرعت شبکه می‌شود، از این‌رو با استفاده از رابطه ۱ داده‌ها استانداردسازی شدند.

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

که  $X$ : داده خام،  $X_{min}$ : حداقل داده‌ها و  $X_{max}$ : حداکثر داده‌هاست.

از توابع انتقال لجستیک سیگموئید و تانژانت سیگموئید (رابطه‌های ۲ و ۳) که رایج‌ترین توابع انتقال در شبکه عصبی مصنوعی هستند در لایه‌های پنهان و از تابع پرلاین (رابطه ۴) در لایه خروجی استفاده شد (Santiago et al., 2013).

$$\text{logsig}(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{tansig}(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1 \quad \text{رابطه ۳}$$

<sup>1</sup>Learning rule

<sup>2</sup>Transition Function

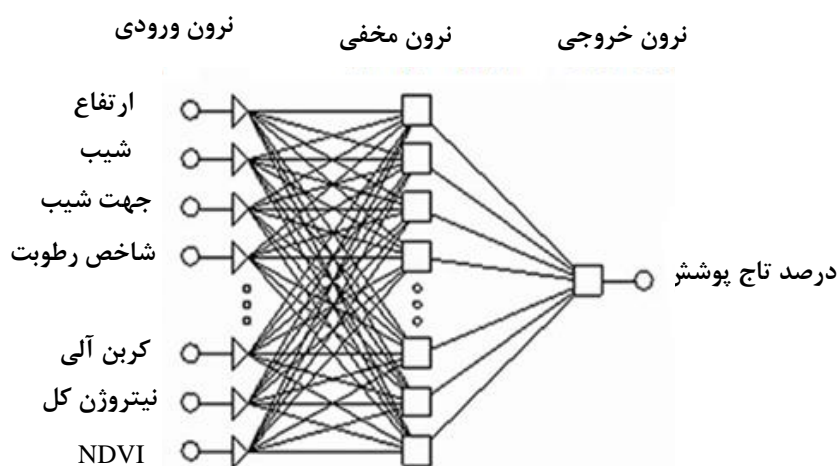
<sup>3</sup>Terrain

<sup>4</sup>Validation

<sup>5</sup>Test

و اطلاعات خاک، ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی، اطلاعات اقلیمی و شاخص NDVI به‌عنوان متغیرهای مستقل به‌کار گرفته شدند. از تعداد کل قطعه‌نمونه‌ها حدود ۲۰ درصد به‌طور تصادفی انتخاب و به‌عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی برای اعتبارسنجی مدل کنار گذاشته شد و تجزیه و تحلیل‌های لازم با ۸۰ درصد باقی‌مانده قطعه‌نمونه‌ها انجام شد.

زیرمجموعه‌ها بین داده‌ها با استفاده از آماره‌های اشتباه معیار مدل برازش‌یافته، میانگین مربعات خطای برآورد، تحلیل واریانس رگرسیون، بررسی هم‌خطی متغیرهای مستقل (عامل تورم واریانس) و آزمون انفرادی ضرایب مدل انجام شد. در مدل رگرسیونی چندگانه، داده‌های مربوط به تاج‌پوشش و تعداد در هکتار درختان اندازه‌گیری‌شده به‌عنوان متغیر وابسته



شکل ۲- شمایی از طرح شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی درصد تاج‌پوشش

### معیارهای ارزیابی

ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف به کمک آماره‌های RMSE، RMSE% و  $R^2$  امکان‌پذیر است. این آماره‌ها زمانی می‌توانند ارزش برتری مدل‌ها را تعیین کنند که بین مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده محاسبه شوند. توجه به مقادیر RMSE و  $R^2$  مزیت نسبی مدل‌ها را نشان می‌دهد. بیشترین ضریب تبیین معنی‌دار و کمترین میزان خطا، بهترین روش را معرفی می‌نماید. بنابراین به‌منظور ارزیابی نتایج مدل شبکه عصبی و مقایسه آن با برآوردهای رگرسیونی، از معیارهای میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد (رابطه‌های ۵، ۶ و ۷).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - y_{pi})^2}{n}} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$RMSE \% = \frac{RMSE}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100 \quad \text{رابطه ۶}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - \bar{y}_p)^2}{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - \bar{y}_o)^2} \quad \text{رابطه ۷}$$

در این رابطه‌ها؛  $n$ : تعداد مشاهده‌ها،  $y_{oi}$ : مقدار مشاهده‌شده،  $\bar{y}_p$ : مقدار برآوردشده،  $\bar{y}_o$ : میانگین مشاهده‌شده،  $y_p$ : میانگین برآوردشده،  $y_{\max}$ : حداکثر مقدار مشاهده‌شده و  $y_{\min}$ : حداقل مقدار مشاهده‌شده است.

## نتایج

## بررسی کیفیت و تصحیح هندسی تصاویر

بررسی کیفیت رادیومتری تصاویر نشان داد که تصاویر از کیفیت مطلوب برخوردار است و هیچ‌یک از خطاهای راه‌راه شدگی، خطای دسته‌های ۱۶ تایی و پیکسل‌های تکراری، در تصاویر وجود ندارد. با روی هم‌گذاری لایه‌های وکتوری جاده‌ها و آبراهه‌های استخراج‌شده از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰، مشخص شد که تصاویر با لایه‌های مذکور همخوانی مکانی دارند و تصاویر نیازی به تصحیح هندسی مجدد ندارند.

## آمار توصیفی مشخصه‌های کمی جنگل

بررسی داده‌های برداشت‌های زمینی نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین میزان مشخصه تاج‌پوشش و

تعداد در هکتار درختان در قطعات برداشت‌شده به ترتیب ۵ و ۸۸ درصد برای تاج‌پوشش و ۶۰ و ۱۲۸۰ پایه برای مشخصه تعداد درختان درختان است. جدول ۱، خلاصه‌ای از آمار توصیفی مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده در قطعات نمونه را در منطقه تحقیق نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۱ نشان داد که مشخصه تاج‌پوشش و تعداد درختان درختان، تغییرپذیری به نسبت زیادی از خود نشان دادند. آزمون نرمالیتسه کولموگروف - سمیرنوف نشان داد که مشخصه‌های ذکرشده دارای توزیع نرمال است. نتایج ضریب چولگی بین +۱ و -۱ نیز این مطلب را تأیید می‌کند.

جدول ۱- آمار توصیفی مشخصه‌های کمی جنگل (n= ۸۹)

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
تاج‌پوشش (درصد)	۵	۸۸	۴۸/۱۹	۲۲/۶۵	-۰/۱۸۹	-۰/۹۴۷
تعداد در هکتار درختان	۶۰	۱۲۸۰	۶۵۲	۳۲۰	-۰/۱۱۹	-۰/۸۷۵

## مدل رگرسیون خطی چندگانه

نتایج مدل‌سازی تعداد درختان در هکتار و مقدار تاج‌پوشش با استفاده از تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام و انتخاب بهترین زیرمجموعه‌ها بین متغیرهای مستقل و وابسته در جدول ۲ ارائه شده است. از آنجایی که معناداری آزمون تساوی ضریب‌های رگرسیون و مقدار ثابت با مقدار صفر، کوچک‌تر از پنج درصد است، بنابراین فرض تساوی ضریب‌های رگرسیون و مقدار ثابت با مقدار صفر رد می‌شود و نیازی به خارج کردن آنها از معادله رگرسیون نیست.

بر پایه جدول ۲ متغیرهای مستقل مدل رگرسیونی برازش یافته در برآورد مقدار تاج‌پوشش، شامل درصد نیتروژن کل، درصد کربن آلی، بارش، شاخص NDVI، جهت و شیب است و ضریب تبیین بین مشخصه تاج‌پوشش و متغیرهای یادشده برابر با ۰/۷۹ است. همچنین در مدل برازش یافته برای

برآورد تعداد درختان در هکتار درختان، متغیرهای درصد نیتروژن کل، شاخص NDVI، جهت و شیب به عنوان متغیرهای مستقل تأثیرگذار در نظر گرفته شده‌اند. بر اساس نتایج تحلیل واریانس رگرسیون نیز می‌توان گفت که دست‌کم یکی از متغیرهای مستقل دارای رابطه خطی با متغیرهای وابسته است.

ارتباط بین مقادیر مشاهده‌شده با مقادیر پیش‌بینی‌شده مقدار تاج‌پوشش و تعداد درختان درختان برای داده‌های ارزیابی در جدول ۳ و شکل‌های ۳ و ۴، نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بین مقدار تاج‌پوشش و تعداد درختان درختان اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده، ضرایب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا دو مدل به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۶۸، ۱۰/۶۹ (۱۵/۰۲ درصد) و ۱۹۱/۵۴ (۱۶/۵۲ درصد) است.



جدول ۲- ضرایب مدل رگرسیون خطی چندگانه برای برآورد تاج پوشش و تعداد در هکتار درختان

شاخص‌های اعتبارسنجی	R <sup>2</sup>	b <sub>6</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>0</sub>	مدل
P < ۰/۰۱									CC% = b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> TN% + b <sub>2</sub> OC% - b <sub>3</sub> Rain + b <sub>4</sub> NDVI + b <sub>5</sub> Slo - b <sub>6</sub> As
Std. Error = ۱۱/۰۰۵	۰/۷۹	-۰/۱۴۸*	۰/۰۲۷*	۹۶/۴۳۵*	-۰/۸۰۴*	۳۷۹/۱۴*	۱۲۷/۴۸۱*	۵۰۶/۶۸۴*	
MSE = ۱۲۱/۱۰									
VIF شاخص	--	۱/۱۲	۱/۱۹	۲/۱۴	۱/۲۱	۱/۱۶	۳/۴۸	--	
N = b <sub>0</sub> + b <sub>1</sub> TN% + b <sub>2</sub> NDVI - b <sub>3</sub> As + b <sub>4</sub> Slo									
P < ۰/۰۱									
Std. Error = ۱۷۳/۵۷	۰/۷۱	--	--	۲۱۸/۹۸۳*	-۲/۳۲۹*	۰/۴۳۷*	۱۲۵۵/۶۰۷*	۲۱۸/۹۸۳*	
MSE = ۳۰۱۲۸/۷۷									
VIF شاخص	--	--	--	۱/۰۸۳	۱/۰۲۹	۲/۰۳۲	۲/۰۳۴	--	

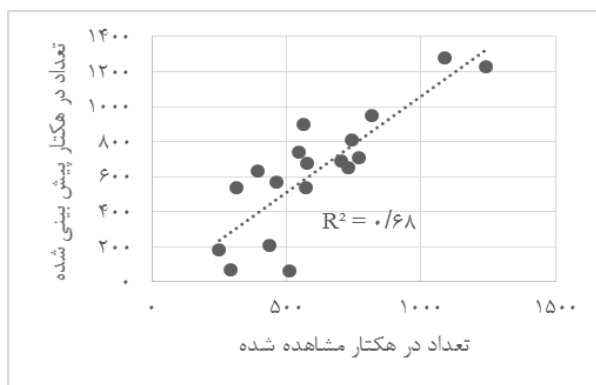
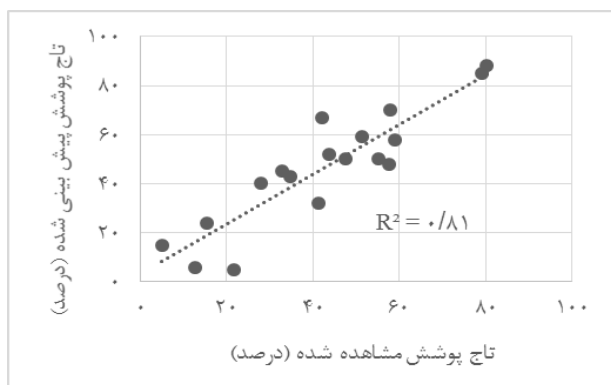
\* معنی‌داری در سطح ۵ درصد. CC%: درصد تاج پوشش، N: تعداد در هکتار، TN%: درصد نیتروژن کل، OC%: درصد کربن آلی، Rain: مقدار بارش، NDVI: شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده، Slo: شیب، As: جهت شیب R<sup>2</sup>: ضریب تبیین، VIF: شاخص همخطی چندگانه، MSE: میانگین مربعات خطا، Std. Error: اشتباه معیار تخمین

جدول ۳- نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های رگرسیونی

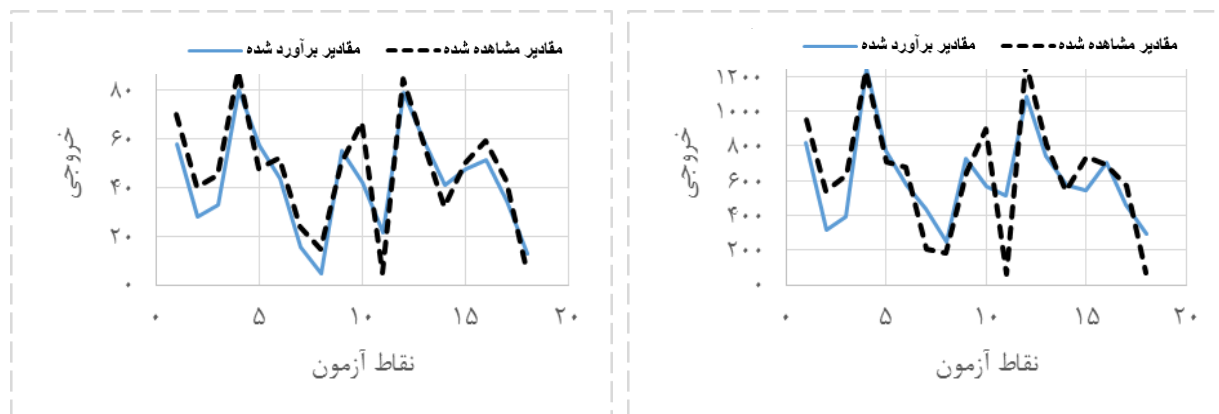
متغیر پاسخ	R <sup>2</sup>	RMSE	RMSE %
تاج پوشش	۰/۸۱	۱۰/۶۹	٪ ۱۵/۰۲
تعداد در هکتار درختان	۰/۶۸	۱۹۱/۵۴	٪ ۱۶/۵۲

مدل شبکه عصبی مصنوعی نرون‌های هر لایه و توابع انتقال، پس از مرحله آزمون و خطا به شرح جدول ۴ است.

### نتایج و مشخصات بهترین شبکه‌های طراحی و انتخاب شده از نظر تعداد لایه‌های پنهان، تعداد



شکل ۳- ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیر شده و پیش‌بینی شده در مدل رگرسیون خطی (سمت چپ: تاج پوشش، سمت راست: تعداد در هکتار درختان)



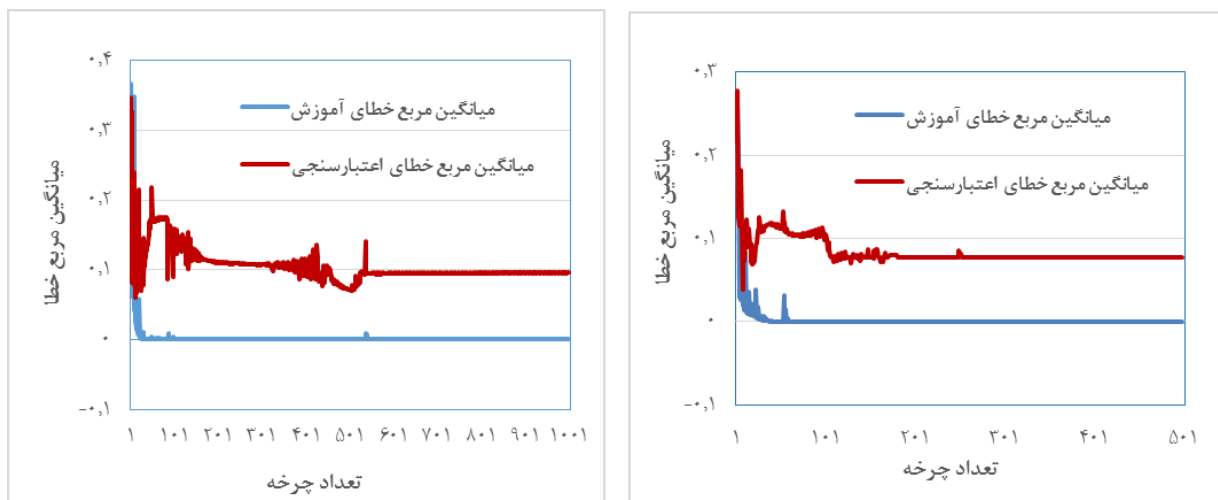
شکل ۴- مقایسه اختلاف خطای بین مقادیر اندازه‌گیر شده و پیش‌بینی شده در مدل رگرسیون خطی (سمت چپ: تاج پوشش، سمت راست: تعداد در هکتار درختان)

جدول ۴- نتایج حاصل از آموزش و اعتبارسنجی شبکه بهینه برای تخمین تاج‌پوشش و تعداد درختان درختان

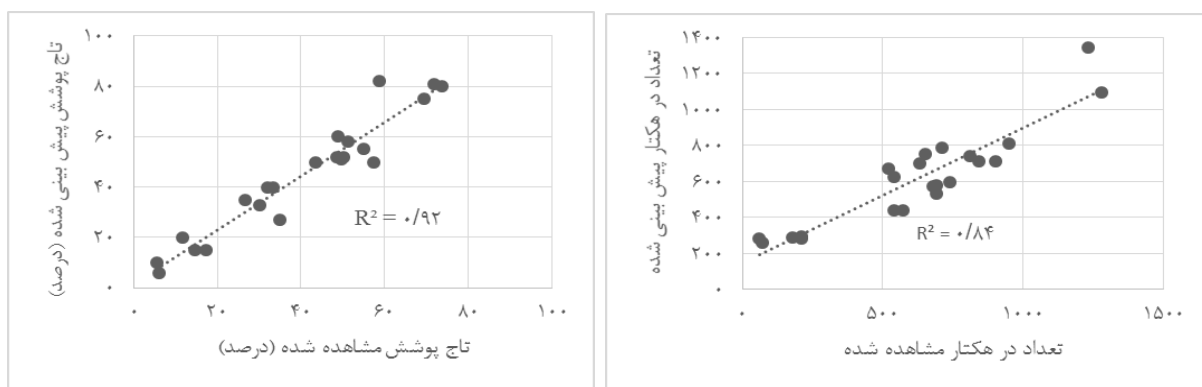
مجموعه آزمایشی			مجموعه آموزشی			تعداد تکرار چرخه	تعداد تابع انتقال	تعداد نرون در لایه مخفی دوم	تعداد نرون در لایه مخفی اول	تعداد لایه مخفی	متغیر
$R^2$	RMSE%	RMSE	$R^2$	RMSE%	RMSE						
۰/۹۲۴۴	۱۰/۲۰	۷/۷۵	۰/۸۶	۱۱/۳۲	۸/۶۰	۹۹۹	Tansig-Tansig	۶	۱۳	۲	
۰/۸۷	۱۲/۶۷	۹/۶۳	۰/۸۸	۱۲/۳۱	۹/۳۶	۱۲۸۰	Tansig	--	۱۸	۱	تاج‌پوشش
۰/۸۱	۱۵/۷۲	۱۱/۹۵	۰/۸۳	۱۵/۰۶	۱۱/۴۵	۸۹۵	Tansig - Logsig	۴	۱۶	۲	
۰/۸۴	۱۱/۳۲	۱۳۱/۴۰	۰/۸۸	۹/۸	۱۰۳/۱۶	۴۷۵	Tansig-Tansig	۶	۱۰	۲	تعداد در هکتار
۰/۸۰	۱۲/۴۲	۱۴۴/۱۱	۰/۸۲	۱۲/۰۱	۱۳۹/۲۲	۷۳۷	Tansig-Tansig	۴	۸	۲	درختان

نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است، مدل شبکه عصبی به‌صورت مناسبی توانسته است رابطه‌های میان تاج‌پوشش و تعداد درختان درختان را با متغیرهای مستقل مشخص و پیش‌بینی کند.

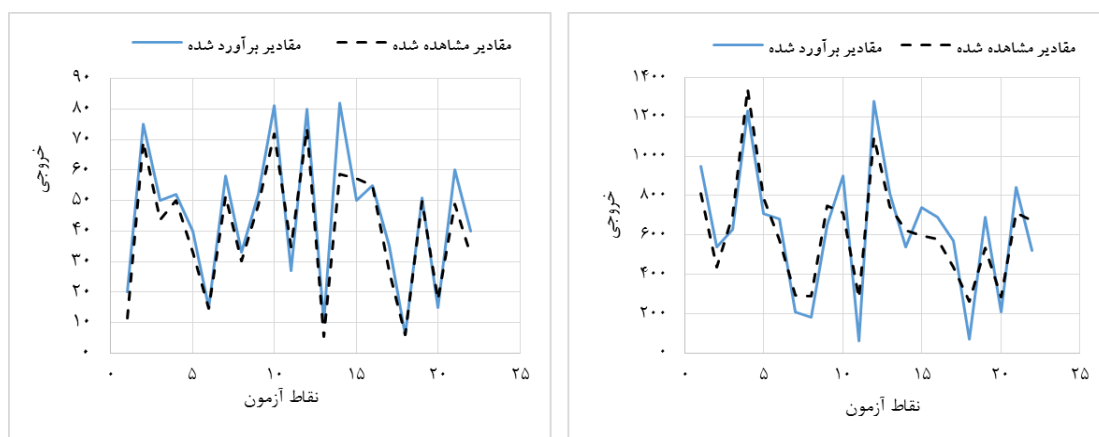
نتایج تغییرات مقدار میانگین مربعات خطای خروجی بهینه شبکه مدنظر برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی در شکل ۵ نشان داده شده است. نمودارهای خروجی عملکرد بهینه شبکه مدنظر برای مجموعه داده‌های ارزیابی در شکل‌های ۶ و ۷



شکل ۵- میانگین مربع خطای آموزش و خطای ارزیابی در مقابل تعداد چرخه (سمت چپ: تاج پوشش، سمت راست: تعداد در هکتار درختان)



شکل ۶- ارتباط بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده در مدل شبکه عصبی مصنوعی (سمت چپ: تاج پوشش، سمت راست: تعداد در هکتار درختان)



شکل ۷- مقایسه اختلاف خطای بین مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده در مدل شبکه عصبی مصنوعی (سمت چپ: تاج پوشش، سمت راست: تعداد در هکتار درختان)

## بحث

در جنگل‌های زاگرس به دلیل شاخه‌زاد بودن و غیرتجاری بودن چوب آنها، مشخصه حجم مطرح نیست و مشخصه تعداد در هکتار و تاج پوشش که به نوعی مشخصه‌های مکمل هم هستند، به عنوان شاخص‌های برآورد تراکم جنگل مهم هستند و برآورد این مشخصه‌ها با صحت بالا در برنامه‌ریزی برای مدیریت جنگل بسیار مهم است. در این مناطق جنگلی برآورد تاج پوشش و تعداد در هکتار درختان با تصاویر ماهواره‌ای (با توجه به ویژگی‌های منطقه، انواع کاربری و پوشش موجود، چگونگی پراکنش و الگوی مکانی آنها، تشابه بازتاب طیفی بعضی از پوشش‌ها، انبوهی به نسبت کم اراضی جنگلی و تأثیر بازتاب خاک در آنها) اغلب با صحت کمی همراه است (پیرباوقار و همکاران، ۱۳۹۰، وفایی و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین از آنجا که مشخصه‌های کمی جنگل تحت تأثیر عوامل مختلف فیزیوگرافی، اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قرار دارند (Enright et al., 2005)، برای بهبود مدل‌های برآوردی، افزودن داده‌های کمکی تأثیرگذار مدنظر است. به ویژه اینکه در بسیاری از مطالعات محیطی و پروژه‌های اجرایی به این دلیل که نقشه و ویژگی‌های خاک منطقه از اساسی‌ترین نقشه‌های مطالعاتی است در بیشتر تحقیقات و پروژه‌ها تهیه می‌شود، بنابراین با استفاده از داده‌های موجود و استفاده از این نقشه‌ها می‌توان از آنها در برآورد تراکم جنگل بهره برد.

همان‌گونه که در این بررسی نشان داده شده است، با توجه به کمترین مقدار RMSE و بیشترین مقدار  $R^2$  مربوط به مجموعه داده‌های آزمون، برآوردهای شبکه عصبی در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی دقت به نسبت بیشتری داشته و توانسته است مشخصه‌های تعداد در هکتار درختان و تاج پوشش جنگل را برپایه داده‌های خاک، ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی، شاخص‌های رطوبتی و شاخص NDVI، بهتر از مدل رگرسیون خطی چندگانه برآورد کند. اگرچه مقدار

دقت برآورد در مدل شبکه عصبی مصنوعی بیشتر است، باید توجه داشت که این مدل‌ها همیشه مطلوب و مناسب نیستند و به وسیله برخی عوامل از قبیل آزمون اجزای مختلف ساختار شبکه نظیر قانون یادگیری، توابع انتقال مورد استفاده و تعداد نرون در لایه پنهان به روش سعی و خطا عملکردشان محدود می‌شود. به علاوه شبکه‌های عصبی مصنوعی در توصیف رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌ها، رویکردی صریح ارائه نمی‌کنند و اصطلاحاً به صورت "جعبه سیاه" می‌باشند. به عبارت دیگر رابطه‌ای در مورد شکل عملکردی ارتباط بین متغیرهای ورودی و لایه خروجی ارائه نمی‌دهد و ماتریس وزن‌های شبکه هیچ معنی مستقیمی ندارند.

در پژوهش حاضر مدل شبکه عصبی مصنوعی به منظور برآورد مشخصه تراکم جنگل (تعداد در هکتار درختان و مقدار تاج پوشش) با توابع آستانه مختلف و تعداد نرون‌های مختلف در لایه (ها)ی پنهان آزمون شد. مطابق با جدول ۴، توابع انتقال نقش مهمی در برآورد خروجی‌ها دارند و مدل شبکه عصبی مصنوعی با تابع انتقال تانژانت سیگموئید در لایه (ها)ی پنهان، با کمترین مقدار RMSE و بالاترین مقدار  $R^2$  بهترین خروجی‌ها را ارائه داده است. به طوریکه شبکه با دو لایه میانی و تابع محرک تانژانت سیگموئید با ۱۹ نرون در لایه میانی بهترین برآورد را برای مشخصه تاج پوشش با  $R^2$  برابر با ۰/۹۲ و RMSE برابر با ۷/۷۵ (۱۰/۲۰ درصد) و شبکه مشابهی با ۱۶ نرون در لایه میانی بهترین پیش‌بینی را برای تعداد در هکتار درختان با  $R^2$  برابر با ۰/۸۴ و RMSE برابر با ۱۳۱/۴۰ (۱۱/۳۲ درصد) ارائه کرده است.

تغییرات مقدار میانگین مربعات خطای بهینه شبکه مدنظر در چرخه‌های مختلف، برای داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی (شکل ۵) نشان می‌دهد که میزان خطای شبکه با افزایش تعداد تکرار، سیر نزولی دارد و در نهایت به مقدار ثابتی می‌رسد که بیان‌کننده تأثیر تعداد تکرار بر روی توانایی یادگیری شبکه است.

سطح خاک است، بنابراین در تاج‌پوشش‌های بیشتر، تجمع این دو ماده در سطح خاک نیز بیشتر می‌باشد. در این راستا (Gallardo, 2003) با بررسی اثرهای تاج‌پوشش جنگل‌های بلوط همیشه‌سبز (*Quercus ilex*) بر پراکنش مکانی مواد غذایی در منطقه نیمه‌خشک دهسا در حوزه مدیریتانه بیان کرد که مقدار نیتروژن کل خاک همانند مواد آلی در ارتباط با تاج‌پوشش درختان می‌باشد و این نتایج با مطالعات دیگر نیز همخوانی دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Gazol and Ibanez, 2009; Zare et al., 2011).

اگرچه در بیشتر نواحی ریشی زاگرس، به‌واسطه داشتن برخی ویژگی‌های خاص منطقه، استفاده از داده‌های لندست با اشکالاتی مواجه است (وفایی و همکاران، ۱۳۹۲)، اما با توجه به انبوهی مناسب منطقه مورد تحقیق، تصحیحات و آنالیزهای با دقت هرچه بیشتر بر روی تصاویر، شاخص NDVI محاسبه‌شده نقش مهمی در مدل‌سازی مشخصه‌های کمی جنگل (تاج‌پوشش و تعداد در هکتار درختان) داشت و به‌عنوان یک متغیر مستقل مهم در پیش‌بینی این ویژگی‌های انتخاب شد.

باید اذعان کرد که خصوصیات کمی و کیفی هر جنگل تابعی از عامل‌های توپوگرافی، میکروکلیمای منطقه، مدیریت و بهره‌برداری از جنگل، موقعیت جغرافیایی، عامل‌های محیطی و خاک، نوع گونه‌ها و سایر عامل‌ها است. بنابراین بدلیل تفاوت عامل‌های اشاره‌شده در اکوسیستم‌های مختلف، مقایسه نتایج پژوهش پیش‌رو با نتایج دیگر پژوهش‌های مشابه چندان صحیح نیست؛ اما با توجه به نتایج این پژوهش و سایر محققان می‌توان بیان کرد که ویژگی‌های توپوگرافی اهمیت زیادی در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل دارند (مهدی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۵؛ قنبری و همکاران، ۱۳۹۱؛ Horsch, 2003; Canton et al., 2004). به علاوه نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی با نتایج تحقیقات قنبری و همکاران (Toth et al. (2007), Foody et al. (2003)؛ (۱۳۸۸)

با توجه به مدل بهینه (جدول ۵) و مقدار میانگین مربعات خطای شبکه در چرخه‌های مختلف (شکل ۵) می‌توان دریافت که بهترین خطای شبکه مربوط به مرحله آموزش و اعتبارسنجی در برآورد تاج‌پوشش درختان به ترتیب با ۰/۰۱۵ و ۰/۰۹۵ در ۱۲ و ۴۷۵ و ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۷ در ۸ چرخه است. زمانی روند آموزش شبکه صحیح می‌باشد که مقدار میانگین مربعات خطای بهترین خطای شبکه به مقدار ثابتی برسد و دو خطی که روند آزمایش و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد نیز به هم نزدیک باشند (قنبری و همکاران، ۱۳۸۸). بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که خطای موردنظر به حد معقولی رسیده و این شبکه قادر است به‌طور صحیح رابطه بین مشخصه‌های ورودی و خروجی را تشخیص دهد.

با توجه به نتایج تحلیل رگرسیون، ترکیب خطی درصد نیتروژن کل، درصد کربن آلی، بارش، شاخص NDVI، جهت و شیب به ترتیب به‌عنوان متغیرهای مستقل در مقایسه با دیگر متغیرها و ترکیبات استفاده‌شده بهتر می‌توانند مقدار تاج‌پوشش را برآورد نمایند. در رابطه با مشخصه تعداد در هکتار درختان نیز ترکیب متغیرهای نیتروژن کل، شاخص NDVI، جهت و شیب، مقدار واریانس متغیر وابسته (تعداد در هکتار) را بهتر تبیین کرده است. ارزیابی مدل‌های رگرسیونی نشان داد که ۸۱ درصد از تغییرات میزان تاج‌پوشش (با RMSE حدود ۱۵/۰۲ درصد) و ۶۸ درصد تغییرات تعداد در هکتار درختان (با RMSE برابر با ۱۶/۵۲ درصد) در منطقه به‌وسیله این مدل‌ها توجیه شده است که این مقدار توجیه واریانس توسط چنین مدلی، مناسب است.

همان‌طور که روابط رگرسیونی نشان داد، درصد نیتروژن کل و کربن آلی رابطه مستقیمی با مقدار تاج‌پوشش و تعداد در هکتار درختان دارند. نیتروژن و کربن جزء مهمی از مواد آلی خاک هستند و مواد آلی خاک خود حاصل تجمع لاشبرگ و تجمع مواد در

عصبی مصنوعی با دیگر سیستم‌های هوشمند و مدل‌های مفهومی از جمله؛ سیستم استنتاج عصبی - فازی، رگرسیون غیرخطی و ... به‌منظور افزایش دقت برآورد، مورد مقایسه قرار گیرد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با دقت قابل‌قبولی امکان استفاده از ترکیب داده‌های توپوگرافی، اقلیمی، خاکی و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد مشخصه مهم تراکم جنگل در جنگل‌های مورد تحقیق وجود دارد و می‌توان از مدل شبکه عصبی مصنوعی که دقت بیشتری نسبت به مدل رگرسیون خطی چندگانه در برآورد این مشخصه مهم داشت، بهره برد. از این‌رو در صورت صحت مناسب به‌کارگیری این نوع داده‌ها و مدل شبکه عصبی مصنوعی در رویشگاه‌های مشابه و دیگر رویشگاه‌ها، این داده‌ها را می‌توان در آماربرداری جنگل به‌منظور کسب اطلاعات هرچه دقیق‌تر مورد استفاده قرار داد.

### منابع

- اخوان، رضا، منا کرمی خرم‌آبادی و جواد سوسنی، ۱۳۹۰. کاربرد دو روش کریجینگ و IDW در پهنه‌بندی تراکم تاج پوشش جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط (مطالعه موردی: منطقه کاکارضای خرم‌آباد لرستان)، مجله جنگل ایران، ۴(۴): ۳۰۵-۳۱۶.
- بی‌نام، ۱۳۸۳. طرح جنگلداری چندمنظوره حوزه باغان و چناره شهرستان مریوان، ۱۲۰ ص.
- پیرباوقار، مهتاب، لقمان قهرمانی و پرویز فاتحی، ۱۳۹۰. ارزیابی قابلیت داده‌های SPOT-HRG به‌منظور برآورد تراکم درختان در جنگل‌های زاگرس شمالی، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۹ (۲): ۲۴۲-۲۵۳.
- پیرمحمدی، زیبا و جهانگیر فقهی، ۱۳۸۷. کاربرد فتوگرامتری در بررسی وضعیت جنگل‌های زاگرس، در: مجموعه مقالات چهارمین همایش زمین‌شناسی و محیط زیست، ۲۱-۲۲ اسفند، اسلامشهر، ۷ ص.

همخوانی دارد و در تحقیقات ذکرشده، مدل شبکه عصبی مصنوعی نتایج بهتری نسبت به مدل رگرسیونی ارائه کرده است.

در رابطه با تحلیل رگرسیون خطی چندگانه باید توجه داشت که روابط بین عامل‌های محیطی به-کاررفته در مدل و مشخصه‌های تاج‌پوشش و تعداد در هکتار درختان را به‌طور خطی بیان می‌کند، درحالی‌که بعضی از متغیرها باهم دارای ارتباط ساده خطی نیستند. بنابراین این نکته را باید در نظر داشت که مشخصه‌های جنگل در ارتباط با عامل‌های توپوگرافی همیشه به‌طور منظم و خطی تغییر نمی‌یابند، مثلاً تأثیر جهت‌های مختلف یا ارتفاع بر مشخصه‌های پوشش گیاهی یکسان نیست (Solon et al., 2007; Kouhgard et al., 2011). پس انتخاب بهترین مدل نباید صرفاً بر اساس نتایج آماری باشد؛ بلکه توجه به روابط بیولوژیک و اکولوژیک متغیرها نیز بسیار حائز اهمیت است. در تحقیق حاضر نیز مطابق با بهترین مدل رگرسیون خطی برازش یافته، مشخص شد که عامل بارندگی به‌صورت معکوس در برآورد میزان تاج‌پوشش جنگل تأثیر دارد.

مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌دلیل در نظر گرفتن روابط غیرخطی موجود میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته و به‌دنبال آن افزایش دقت در برآورد پیش‌بینی‌ها می‌تواند جایگزین مناسبی برای مدل‌های مرسوم رگرسیون خطی در مدلسازی مؤلفه‌های جنگل باشد (پله‌ور شهری و همکاران، ۱۳۸۹). به‌علاوه با توجه به اینکه در سال‌های اخیر استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی کاربرد زیادی در حل مسایل مختلف منابع آب و خاک پیدا کرده است، توصیه می‌شود که در مطالعات منابع طبیعی از این مدل‌ها و مزایای مهم آن مانند؛ یادگیری روابط غیرخطی بین متغیرها بهره برد و از آن برای مدلسازی ویژگی‌های گوناگون استفاده شود. همچنین با توجه به روابط غیرخطی متغیرهای رویشگاهی پیشنهاد می‌شود که مدل شبکه

قنبری، فریبا، شعبان شتایی جویباری، امیر احمد دهقانی و شمس‌الله ایوبی، ۱۳۹۱. بررسی امکان برآورد مکانی تعداد در هکتار و متوسط قطر درختان جنگل با استفاده از آنالیز زمین (مطالعه موردی: سری ۱ طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا، گرگان، ایران)، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۹ (۴): ۴۱-۵۸.

قنبری، فریبا، شعبان شتایی جویباری، امیر احمد دهقانی و شمس‌الله ایوبی، ۱۳۸۸. برآورد مشخصه تراکم درختان جنگل با استفاده از آنالیز زمین و شبکه عصبی مصنوعی، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۶ (۴): ۲۵-۴۲.

مدرس گرجی، هوار، مهتاب پیرباوقار و لقمان قهرمانی، ۱۳۹۲. مدل‌سازی پراکنش تیپ‌های جنگلی با استفاده از رگرسیون لجستیک در جنگل‌های آرمرده بانه، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱ (۴): ۶۲۹-۶۴۲.

مهدی‌نیا، تقی، حمید اجتهادی و عادل سپهری، ۱۳۸۵. بررسی همبستگی متغیرهای فیزیوگرافی و بارندگی با جوامع گیاهی موجود در حوزه آبخیز بابلرود استان مازندران با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳ (۱): ۹۹-۱۰۷.

ولی، عباسعلی، مسعود معیری، محمدحسین رامشت و ناصر موحدی‌نیا، ۱۳۸۹. تحلیل مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی رسوب معلق (مطالعه موردی: حوضه آبخیز اسکندری واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۱ (۱): ۲۱-۳۰.

وفایی، ساسان، علی‌اصغر درویش‌صفت و مهتاب پیرباوقار، ۱۳۹۲. پایش و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM (مطالعه موردی: منطقه مریوان)، مجله جنگل ایران، ۵ (۳): ۳۲۳-۳۳۶.

Amiryousefi, M.R., M. Zarei, M. Azizi, and M. Mohebbi, 2012. Modelling some physical characteristics of pomegranate (*Punica granatum* L.) Fruit during ripening using artificial neural network, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14: 857-867.

پله‌ور شهری، احمدرضا، شمس‌الله ایوبی و حسین خادمی، ۱۳۸۹. مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره در پیش‌بینی کربن آلی خاک به کمک داده‌های آنالیز سطح زمین (مطالعه موردی: منطقه ضرغام آباد سمیرم)، نشریه آب و خاک، ۲۴ (۶): ۱۱۵۱-۱۱۶۳.

جعفریان، زینب، حسین ارزانی، محمد جعفری، قوام‌الدین زاهدی‌امیری و حسین آذرنیوند، ۱۳۹۱. تعیین ارتباط بین گونه‌های گیاهی غالب با عوامل محیطی و داده‌های ماهواره‌ای به کمک رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: مراتع رینه استان مازندران)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹ (۳): ۳۷۱-۳۸۳.

حسینی، وحید، رضا اخوان و مریم طهماسبی، ۱۳۹۰. تأثیر تاج درخت بنه بر نحوه پراکنش مکانی عناصر غذایی در خاک (مطالعه موردی: منطقه سروآباد کردستان)، مجله جنگل ایران، ۴ (۱): ۱۳-۲۴.

رنگرن، کاظم، سعدی خورشیدی و احسان آبشیرینی، ۱۳۸۸. تلفیق شاخص NDVI و باند ترمال تصاویر ماهواره ای برای استخراج نقشه تراکم تاج‌پوشش گیاهی با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی حوضه آبریز کمستان)، در: مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، تهران، ۱۰ ص.

فخیمی ابرقویی، الهام، منصور مصداقی، پرویز غلامی و حسین نادری نصرآباد، ۱۳۹۰. اثر برخی از خصوصیات توپوگرافی بر تنوع گیاهی (مطالعه موردی: مراتع استپی ندوشن یزد)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۸ (۳): ۴۰۸-۴۱۹.

فرج‌زاده، منوچهر، امان‌اله فتح‌نیا، بهلول علیجانی و پرویز ضیایان، ۱۳۹۰. ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر رشد پوشش گیاهی در مراتع متراکم ایران با استفاده از تصاویر AVHRR، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۵ (۱): ۱-۱۴.

فیض‌نیا، سادات، حسین محمدعسگری و محمد معظمی، ۱۳۸۶. بررسی کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی در تخمین رسوب معلق روزانه (بررسی موردی: حوضه آبخیز زرد رامهرمز، استان خوزستان)، نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۶۰ (۴): ۱۱۹۹-۱۲۱۰.

- Canton, Y., G.D. Barrio, A. Sole-Benet, and R. Lazaro, 2004. Topographic controls on the spatial distribution of ground cover in the Tabernas badlands of SE Spain, *Catena*, 55: 341–365.
- Daniel, T.W., J.A. Helms, and F.S. Baker. 1979. Principles of silviculture, 2nd ed., McGraw\_Hill. New York, NY. 500 pp.
- Enright, N.J., B.P. Miller, and R. Akhter, 2005. Desert vegetation and vegetation–environment relationships in Kirthar National Park, Sindh, Pakistan, *Arid Environments*, 61: 397–418.
- Foody, G.M., D.S. Boyd, and M.E.J. Cutler, 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions, *Remote Sensing of Environment*, 85: 463–474.
- Gallardo, A., 2003. Effect of tree canopy on the spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean Dehesa, *Pedobiologia*, 47: 117–125.
- Gazol, A., and R. Ibanez, 2009. Different response to environmental factors and spatial variables of two attributes (cover and diversity) of the understory layers, *Forest Ecology and Management*, 258: 1267–1274.
- Horsch, B., 2003. Modeling the spatial distribution of mountain and sub alpine forests in the central Alps using digital elevation models, *Ecological Modeling*, 168: 267–282.
- Kouhgard, E., G. Zahedi-Amiri, K. Sagheb-Talebi, and M. Akbarzadeh, 2011. The effects of soil characteristics and physiographic factors on the establishment and distribution of plant species in mountain forests (Case study: Asalouyeh, South of Iran), *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 3(9): 456–466.
- Lu, D., M. Batistella, and E. Moran, 2005. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(8): 967–974.
- Miller, T.F., D.J. Maladenoff, and M.K. Clayton, 2005. Old growth northern hardwood forests: Spatial autocorrelation and patterns of understory vegetation, *Ecological Monographs*, 72 (4): 478–503.
- Mitsuda, Y., S. Ito, and S. Sakamoto, 2007. Predicting the site index of Sugi plantations from GIS-derived environmental factors in Miyazaki Prefecture, *Forest Research*, 12: 177–186.
- Palo, A., R. Anuap, and U. Mander, 2005. Predictive vegetation mapping based on soil and topographical data: A case study from Saare County, Estonia, *Nature Conservation*, 13: 197–211.
- Santiago T. Pérez Suárez, C.M. Travieso González, and J.B. Alonso Hernández, 2013. Design methodology of an equalizer for unipolar non return to zero binary signals in the presence of additive white Gaussian Noise using a time delay neural network on a field programmable gate array, *Sensors*, 13: 16829–16850.
- Solon, J., M. Degórski, and E. Roo-Zielińska, 2007. Vegetation response to a topographical–soil gradient, *Catena*, 71: 309–320.
- Suzuki, R., H. Kobayashi, N. Delbart, L. Asanuma, and T. Hivama, 2011. NDVI responses to the forest canopy and floor from spring to summer observed by airborne spectrometer in eastern Siberia, *Remote Sensing of Environment*, 115: 3615–3624.
- Toth, T., M.G. Schaap, and Z. Molnar, 2008. Utilization of soil–plant interrelations through the use of multiple regression and artificial neural network in order to predict soil properties in hungarian solonchic grasslands, *Cereal Research Communications*, 36: 1447–1450.
- Zare, S., M. Jafari, A. Tavili, H. Abbasi, and M. Rostampour, 2011. Relationship between environmental factors and plant distribution in arid and semiarid area (Case study: Shahriyar rangelands, Iran), *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 10(1): 97–105.



## Applying artificial neural network and multiple linear regression models for estimation of forest density in Marivan forests

S. Vafaei<sup>1\*</sup>, M. Pourhashemi<sup>2</sup>, M. Pirbavaghar<sup>3</sup>, and E. Jafari<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student of Forestry, University of Lorestan, I.R. Iran

<sup>2</sup>Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R. Iran

<sup>3</sup>Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, I.R. Iran

<sup>4</sup>M.Sc. of forestry, Faculty of Natural Resources, University of Gorgan, I.R. Iran

(Received: 15 March 2015, Accepted: 01 December 2015)

### Abstract

Studying and modeling the quantitative characteristics of forest in order to develop and direct the ecosystem toward optimal aims and conservative activities is considered as an eminent operation. For this purpose, tree density and forest canopy cover, as a representative of density in natural forest ecosystem, were estimated by using linear regression models and artificial neural network through various variables including topographic attributes, soil properties, climatic parameters and remote sensing data in some parts of the Baghan forests in Marivan region. The topographic attribute maps were derived from DEM. Climatic parameters and soil properties were extracted using climatic maps and data from soil analysis. In order to use satellite imagery data, Landsat 5 images and NDVI index were used. Forest inventory was performed in order to determine the quantitative characteristics based on obtained data from 89 sample plots, each one 0.1 ha. The relationship between the forest characteristics and these attributes was analyzed and modeled using multiple linear regression and artificial neural network models. Coefficient of determination ( $R^2$ ) and RMSE for the neural network method to predict the canopy cover and trees density were as follows:  $R^2=0.92$ ,  $RMSE=10.20\%$  and  $R^2=0.84$ ,  $RMSE=11.32\%$  for canopy cover and tree density, respectively. The amounts of the mentioned parameters for estimation with multiple linear regression model were:  $R^2=0.81$ ,  $RMSE=15.02\%$  and  $R^2=0.68$ ,  $RMS=16.52\%$ , respectively. Results indicated that there is an appropriate potential of using the topographic attributes, soil properties, climatic parameters and remote sensing data in estimating the forest density and the linear regression model can be replaced by artificial neural networks model regarding to its high performance.

**Keywords:** Canopy Cover, NDVI, ANN, Topographic attribute, Zagros forests.

