دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره ششم، شماره دوازدهم، بهار و تابستان ۹۷
http://pec.gonbad.ac.ir

برآورد درصد تاج پوشش مرتعی با تلفیق قابلیت‌های شبکه عصبی مصنوعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مراتع بلده نور

مریم احمدی جولندان [۱]، قاسعملی دیانتی تیلکی*[۲]، وحید غلامی [۳]

[۱] دانش آموخته کارشناس ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
[۲] دانشیار گروه مرتع‌داری، دانشکده منابع‌طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
[۳] استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۷

چکیده

مراتع به دلایل متعدد از جمله تولید علوفه، دامداری، ارزش تفرجگاهی و حفاظت آب و خاک مهم می‌باشند. از طرفی، برای حفاظت و مدیریت بهینه از این منابع‌طبیعی، مطالعات در مورد آن‌ها ضروری است. از آنجا که مطالعات میدانی هزینه بر و زمان بر می‌باشد، استفاده از مدل‌ها در کنار مطالعات صحرایی، برای برآورد ویژگی‌های پوشش گیاهی متداول شده است. در تحقیق حاضر، شبکه عصبی مصنوعی و مدلسازی آماری، جهت شبیه‌سازی درصد تاج پوشش مرتعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان پیش‌پردازنده و پس‌پردازنده در شبیه‌سازی در سطح مراتع بلده واقع در جنوب شهرستان نور (استان مازندران) استفاده گردیدند. جهت شبیه‌سازی درصد تاج پوشش مرتعی از روش رگرسیون چند متغیره و شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) استفاده شد. فرآیند مدلسازی با نمونه‌برداری و برآورد تاج پوشش در ۱۲۷

[۱] نویسنده مسئول: dianatig@modares.ac.ir

مکان مرتع مطالعاتی (متغیر وابسته) و کمی نمودن عوامل اقلیمی، توپوگرافی، ادافیک و انسانی (متغیرهای مستقل) مؤثر در میزان پوشش مرتعی، انجام گردید. مدلسازی آماری در محیط نرم‌افزار SPSS با روش رگرسیون چند متغیره انجام شد. به‌منظور شبیه‌سازی در شبکه عصبی، ارائه شبکه بهینه، تست یا اعتباریابی شبکه و تائید کارایی آن انجام پذیرفت. همچنین در محیط GIS، سطح مراتع مطالعاتی به پیکسل‌های صد در صد متری به فرمت رستری تفکیک شد و از تلفیق لایه‌های ورودی مدل، لایه زمین مرجع عوامل مؤثر در میزان تاج پوشش مرتعی تهیه گردید. مقادیر کمی برای هر پیکسل به‌همراه مختصات به محیط شبکه عصبی وارد گشت و شبیه‌سازی درصد تاج پوشش برای مکان‌های فاقد آمار با شبکه بهینه اعتباریابی شده، انجام پذیرفت. نتایج تحقیق نشان داد که از دو روش به‌کار رفته، شبکه عصبی با دست‌یابی مقادیر ضریب تبیین (Rsqr) ۰/۷۲ و ارائه خطای کمتر در مرحله آزمون یا تست (روش رگرسیون چند متغیره ضریب تبیین ۰/۶)، دقت و کارایی بیشتری دارا می‌باشد. همچنین، ارزیابی کارایی شبکه عصبی در محیط GIS به‌واسطه آنالیز هم‌پوشانی مقادیر واقعی و نقشه درصد تاج پوشش حاصله، دلالت بر دقت و کارایی تلفیق شبکه عصبی و GIS در مطالعات داشته است. در نهایت، نتایج شبکه عصبی به محیط GIS وارد و نقشه درصد تاج پوشش مرتعی براساس نتایج شبیه‌سازی شبکه عصبی تهیه گشت.

***واژه‌های کلیدی*: استان مازندران، اعتباریابی، پوشش مرتعی، مدلسازی، MLP**

مقدمه

مراتع از جمله باارزش‌ترین منابع‌طبیعی و زیربنای تشکیل جوامع اولیه انسانی است و شامل اجزای مختلفی است که از جنبه‌های مختلفی نظیر تولید علوفه، دامداری و زنبورداری، حفاظت آب و خاک، ارزش تفرجگاهی و مواردی دیگر دارای اهیمت می‌باشند. با توجه به اهمیت مراتع در حفاظت آب و خاک، تولیدات دامی و ارزش تفرجگاهی مراتع و همچنین سایر مزایای مراتع، انجام مطالعات به‌منظور حفاظت و بهره‌برداری بهینه از آن‌ها ضروری است. از طرفی، انجام مطالعات میدانی و نمونه‌برداری‌ها، زمان‌بر و هزینه‌بر است و متخصصین علوم مرتع به‌خصوص در ایران، با محدودیت‌های دسترسی به عرصه‌های مرتعی و منابع مالی روبرو می‌باشند (بیگدلی، ۱۳۷۶). امروزه با گسترش فناوری نوین در زمینه مدلسازی و امکان استفاده از نرم‌افزارهای متعدد، می‌توانیم اقدام به شبیه‌سازی داده‌ها با در نظر گرفتن تمامی عوامل تأثیرگذار در مدت زمانی کوتاه، با دقت بالا و با هزینه کمتر نماییم. در مطالعات دهه‌های اخیر، برآورد ویژگی‌های گیاهی با استفاده از مدل‌ها متداول شده است. شبکه عصبی مصنوعی (ANN[2]) ابزاری کارآمد در مدلسازی و برآورد پارامترهای محیطی می‌باشد (Maier and Dandy, 2000)، اما این شبکه قابلیت ارائه نتایج به‌صورت زمین مرجع و گرافیک را ندارد و این امر به‌کارگیری

[2]Artificial Neural Network

نتایج را برای عموم متخصصان دشوار و محدود می‌نماید. این شبکه به‌عنوان سامانه‌ای برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای مسائلی به‌کار می‌روند که بتوان آن‌ها را تا حد یک مسئله ساده طبقه‌بندی نمود (Gangopadhyay et al., 1999; Dayhoff, 1990). از طرفی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[3]) یک سیستم قدرتمند در مدیریت و پردازش داده‌های مکانی می‌باشد. این سیستم به‌طور گسترده‌ای در علوم مختلف جهت ذخیره داده‌ها، تلفیق داده‌ها و انجام مطالعات به‌کار گرفته شده‌است؛ اما سیستم مذکور فقط توان مدلسازی‌های فیزیکی و یا اجرای مدل‌های اعتباریابی شده را دارا است (جوکار و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین، با تلفیق قابلیت‌های شبکه عصبی مصنوعی (مدلسازی) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (پردازش داده‌های زمین مرجع)، نتایج یک مدلسازی دقیق، به‌صورت گرافیکی زمین مرجع ارائه خواهد شد. تعیین وضعیت پوشش گیاهی مراتع، نقشی تعیین‌کننده در ارزیابی ساختار و عملکرد مراتع دارد (ابراهیمی، ۱۳۹۶). مطالعات متعددی در زمینه عوامل مؤثر در پارامترهای مراتع و همچنین مدلسازی این پارامترها در سطح دنیا انجام شده است (زارع‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). پورنعمتی و همکاران (۱۳۹۶) رابطه بین تولید گیاهان مرتعی با فرم‌های رویشی مختلف را با عوامل توپوگرافی (شیب، جهت شیب و ارتفاع) در مراتع سبلان در محدوده استان اردبیل بررسی نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که تولید مرتع مطالعاتی با شیب رابطه مستقیم دارد، اما تولید بوته‌ای‌ها با افزایش شیب کاهش پیدا می‌کند. همچنین، ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی بر تغییرات تولید مرتع تأثیر گذارند. ملس (Melesse, 2005)، با به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی و تعدادی از پارامترهای اکولوژیکی به ارائه مدل و شبیه‌سازی تولید کربن در یک اکوسیستم، اقدام نمودند. نتایج آن‌ها دلالت برای کارایی شبکه عصبی در برآورد کمی مقادیر تولید کربن داشت. کاریشنا و همکاران (Krishna et al, 2008 a,b) با انجام مطالعه‌ای بیان نمودند که تلفیق قابلیت‌های دو سیستم شبکه عصبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی نتایج مناسبی در مدلسازی آب زیرزمینی خواهد داشت. زارع چاهوکی و همکاران (Zare Chahouki et al., 2012)، از سه روش رایج مدلسازی شامل شبکه عصبی، رگرسیون لجستیک و روش تحلیل همبستگی بنیادی برای مدلسازی توزیع مکانی گونه‌های مرتعی استفاده نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که شبکه عصبی و سپس رگرسیون لجستیک دارای بیشترین کارایی در پیش‌بینی توزیع مکانی گونه‌های مرتعی می‌باشند. در تحقیق حاضر روش مدلسازی آماری (رگرسیون چند متغیره) و شبکه عصبی مصنوعی جهت مدلسازی میزان تاج پوشش و سیستم اطلاعات

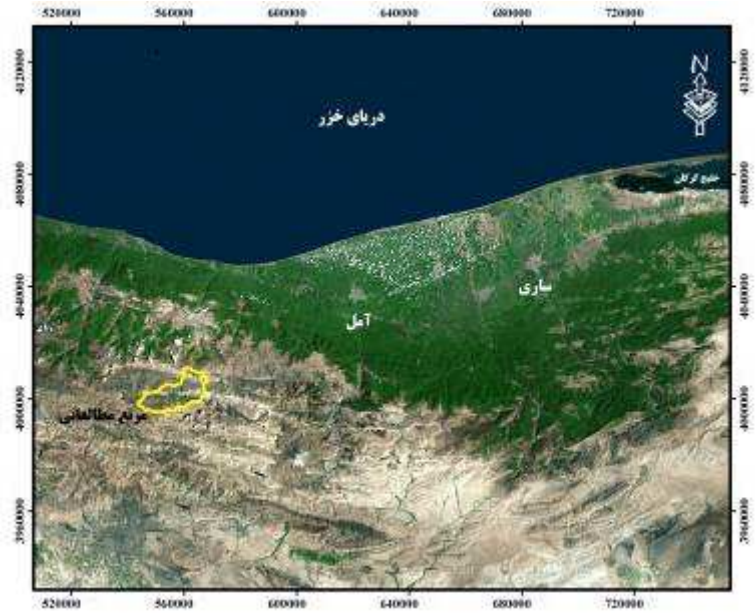
[3] Geographic Information System

جغرافیایی (GIS) به‌عنوان پیش‌پردازنده و پس‌پردازنده در برآورد عوامل یا ورودی‌های و همچنین نمایش نتایج در سطح منطقه مطالعاتی استفاده خواهد شد و کارایی دو روش مذکور در مدلسازی تاج پوشش مرتعی مقایسه قرار خواهد گرفت (Gholami et al., 2016). هدف از این مطالعه تلفیق قابلیت‌های شبکه عصبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت مدلسازی و ارائه یک روش کارآمد (دقت مناسب، سرعت بالا و هزینه کم) در برآورد درصد تاج پوشش مرتعی در سطح مراتع کوهستانی بلده نور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی مرتع مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از مراتع ییلاقی بلده با مساحت حدود ۲۰۰۰۰ هکتار در جنوب شهرستان نور (استان مازندران) می‌باشد. از نظر موقعیت جغرافیایی این حوضه در محدوده ′۲۹ °۵۱ تا ′۴۵ °۵۱ طول شرقی و ′۰۵ °۳۶ تا ′۱۴ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). روستاهای انگه‌رود، یاسل، ناحیه، پیچده، خجیرکلا، کوم، اوزکلا، اوز و یوش از مراکز جمعیتی حوضه به‌شمار می‌روند. مراتع مورد مطالعه، شامل اراضی حوزه آبخیز انگه رود می‌باشند. حداکثر ارتفاع ۴۱۹۲ متر و حداقل ارتفاع حوضه ۲۱۱۴ متر است. متوسط بارش سالانه ۵۸۰ میلی‌متر، حداقل بارش ماهانه مربوط به شهریور (۶/۲ میلی‌متر) و حداکثر آن مربوط به فروردین (۵۰/۵ میلی‌متر) بوده و از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه نوع اقلیم نیمه مرطوب سرد است. همچنین، دمای متوسط سالانه ۵/۳ درجه سانتی‌گراد، شیب متوسط حوضه ۲۴/۶ درجه و بیش از هفتاد درصد مساحت حوضه را اراضی مرتعی تشکیل می‌دهند. مابقی سطح حوضه، شامل اراضی مسکونی، راه‌ها، توده‌های سنگی (حداقل پوشش) و اراضی کشاورزی اطراف رودخانه‌ها (دره‌ها) می‌باشند.

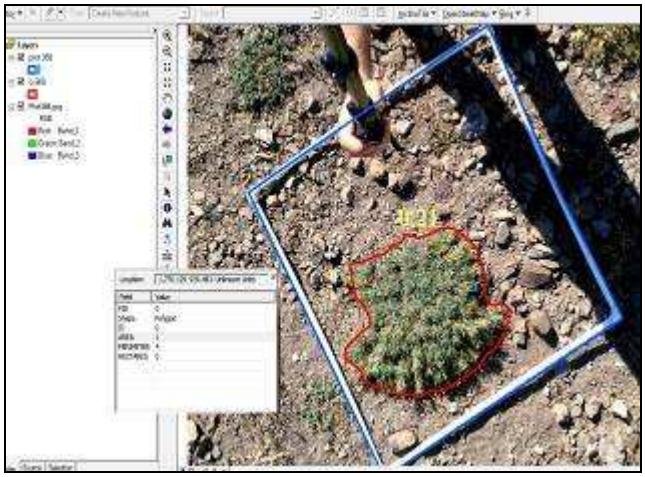


شکل ۱- موقعیت مراتع مطالعاتی در سطح استان مازندران و ایران

نمونه‌برداری و تعیین درصد تاج پوشش مرتعی

به‌منظور برآورد درصد تاج پوشش مرتعی، اقدام به برداشت تعدادی نمونه کافی در سطح مراتع مطالعاتی گشت. تعداد نمونه کافی براساس تغییرات وضعیت مرتع و تیپ پوشش گیاهی در واحد سطح منطقه مطالعاتی تعیین شد. نمونه‌برداری با انتخاب واحدهای همگن درصد تاج پوشش مرتعی (شرایط مشابه اقلیمی، توپوگرافی و خاک) با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات صحرایی اولیه صورت پذیرفت. جهت تعیین مکان‌های مناسب نمونه‌برداری، واحدهای همگن درصد تاج پوشش براساس تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای Quickbird سال ۲۰۱۵ با قدرت تفکیک یک متر و بازدیدهای میدانی ارائه شد. هدف از استفاده از واحدهای همگن، انجام نمونه‌برداری در تمامی طبقات درصد تاج پوشش مرتعی و در تمامی سطح منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در نهایت در سطح ۱۲۷ مکان، درصد تاج پوشش مرتعی با استفاده از پلات‌گذاری برآورد گردید. برای هر یک از این مکان‌ها، تعداد بیست پلات به‌طور تصادفی در دو جهت عمود بر هم (در طول دامنه و عرض دامنه) با پلات گذاری به‌صورت

تصادفی در فواصل حدود ده متر انجام پذیرفت و میزان متوسط درصد تاج پوشش گیاهی به‌عنوان درصد تاج پوشش آن مکان یا نمونه در نظر گرفته شد. در عمده سطح مراتع مطالعاتی از پلات یک در یک مترمربعی استفاده شد و در سطح محدودی از مراتع مطالعاتی با گونه‌های درختچه‌ای از اندازه-گیری در سطح پلات پنج در پنج مترمربعی استفاده گردید. جهت تعیین درصد تاج پوشش مرتعی، از تصاویربرداری عمودی از پلات و رقومی نمودن تصویر در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد (شکل ۲). پلات‌گذاری و تصویربرداری به‌منظور تعیین درصد تاج پوشش گیاهی همراه با ثبت مختصات پلات‌ها انجام پذیرفت. جهت مدلسازی، نیاز به یک جامعه آماری کامل و معرف می‌باشد. به-عبارتی، می بایست از تمامی طبقات یا مقادیر تاج پوشش مرتعی نمونه تهیه شود. بدین منظور درصد تاج پوشش تعدادی نمونه در سطوح دور از دسترس (خط الراس‌ها یا خط القعرها) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا (Qickbird) برآورد گشت و جهت مدلسازی به‌کار گرفته شد.



شکل ۲- روش پلات‌گذاری، تصویربرداری و تعیین درصد تاج پوشش مرتعی

برآورد عوامل مؤثر در تاج پوشش مرتع (ورودی‌های شبکه عصبی و مدلسازی آماری)

در این تحقیق ابتدا اطلاعات گسترده‌ای شامل نقشه‌های توپوگرافی، خاک‌شناسی، شبکه آبراهه‌ها، شبکه جاده‌ها و مناطق مسکونی و همچنین اطلاعاتی دیگری تهیه شدند. در ابتدای کار با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و قابلیت‌های سیستم اطلاعات

جغرافیایی لایه یا نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) بیست متر و نقشه شیب و جهت شیب عرصه تهیه گردید. همچنین، آمار ایستگاه‌های هواشناسی منطقه (شکل ۳) جهت برآورد توزیع مکانی پارامترهای اقلیمی (بارش و دما) استفاده شد. در نهایت لایه‌های رستری زمین مرجع با اندازه سلولی بیست متر حاوی مقادیر بارش، دما (بارش سالانه، بارش فصل رشد، دمای سالانه، دمای فصل رشد) برای هر سلول با روش‌های مختلف ارائه گشت. روش بهینه جهت برآورد پارامترهای اقلیمی از طریق مقایسه مقادیر برآوردی با مقادیر ایستگاه‌های هواشناسی بلده، گرم رودبار، منجیر، نساء، نمارستاق، کندوان شمالی و معدن گاجره و بررسی وجود روابط معنی‌دار با وضعیت پوشش مرتع انتخاب گردید. روش مناسب برای دما، گرادیان دما و روش مناسب برای برآورد توزیع مکانی بارش، روش رگرسیون چند متغیره با به‌کاریگری ارتفاع مکان و فاصله از دریای خزر (موقعیت جغرافیایی) بوده‌است. همچنین، براساس داده‌های مطالعات پایه (وزارت نیرو و اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان مازندران) و مطالعات میدانی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی منطقه بررسی شد. تعدادی پروفیل خاک در منطقه مطالعاتی حفر شده است که براساس واحدهای همگن خاک (تلفیق زمین‌شناسی و واحد ژئومرفولوژیک)، نقشه خاک‌شناسی منطقه مطالعاتی تهیه گردید. ورودی‌های شبکه یا عوامل مؤثر در پوشش مرتعی جهت مدلسازی شامل عوامل اقلیمی، توپوگرافیک، ادافیک، هیدرولوژیک و عوامل انسانی (فاصله از جاده و مناطق مسکونی) است. عوامل توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب زمین و جهت دامنه می-باشند. از میان عوامل خاک یا ادافیک، پارامترهای عمق خاک، شوری خاک و بافت خاک (درصد سیلت، رس و شن) با تهیه نقشه واحدهای خاک‌شناسی رقومی منطقه بررسی شدند و نقشه خاک‌شناسی منطقه نیز با مطالعات میدانی و کنترل واحد اراضی و زمین‌شناسی کنترل گردید (جدول ۱). در نهایت نقشه رقومی داده‌های خاک‌شناسی برای برآورد پارامترهای خاک‌شناسی نظیر بافت خاک (درصد شن، رس، سیلت)، عمق خاک و شوری خاک استفاده شد. برای بررسی نقش عوامل انسانی، فاصله از راه‌ها و مناطق مسکونی در نظر گرفته شد و در محیط GIS لایه رستری حریم آن‌ها تهیه گردید که حاوی رقوم فاصله از جاده‌ها و مناطق مسکونی در هر مکان می‌باشد. برای بررسی نقش شرایط هیدرولوژیک نیز، فاصله از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها بررسی گردید و براساس تراکم آبراهه، نقشه حریم یا بافر آبراهه‌های منطقه تهیه شد. برای هر یک از نمونه‌ها یا مکان‌های مورد مطالعه، عوامل مؤثر در تاج پوشش یا ورودی‌های شبکه (متغیر های مستقل) با به‌کارگیری نقشه‌های رقومی عوامل توپوگرافی، اقلیمی، ادافیک و انسانی برآورد گشت. داده‌های ورودی و خروجی به محیط از نرم‌افزارهای SPSS و

NeuroSolutions برای مدلسازی وارد شدند. پس از ورود داده‌ها به محیط نرم‌افزارهای مذکور، ابتدا داده‌ها نرمال و تصادفی شدند (درواری و همکاران، ۱۳۹۰).

شبیه‌سازی درصد تاج پوشش با استفاده از شبکه عصبی

معماری معمول شبکه‌های عصبی مصنوعی متشکل از سه لایه است. لایه ورودی که وظیفه دریافت ورودی‌ها را بر عهده دارد، لایه پنهان که داده‌ها را پردازش نموده و لایه خروجی که نتایج خروجی شبکه را ارائه می‌دهد (Nielsen, 1990; McCoord and Illingworth, 1990). در تحقیق حاضر شبکه پرسپترون چند لایه یا MLP۴ برای شبیه‌سازی درصد تاج پوشش مرتعی استفاده شده است. شبکه پرسپترون چند لایه با افزودن یک یا چند لایه پنهان به شبکه پرسپترون تک لایه ساخته می‌شود و این توپولوژی توانایی حل مسائل پیچیده را دارا می‌باشد (طهماسبی و همکاران، ۱۳۸۸). مدل عمومی شبکه پرسپترون چند لایه، شبکه جلو رونده (FF۵) با روال تعلیم انتشار به عقب می‌باشد. (۶BP). شبکه جلورونده شبکه‌ای است که ورودی‌های لایه اول نرون‌های آن به لایه بعدی متصل است و در هر سطح این امر صدق می‌کند تا به لایه خروجی برسد. انتشار به عقب به این معنی است که پس از رسیدن به خروجی شبکه، ابتدا وزن‌های لایه آخر تصحیح شده و بعد به‌ترتیب وزن‌های لایه‌های قبلی تصحیح می‌گردند (درواری و همکاران، ۱۳۹۰). برای ارائه ساختار بهینه شبکه عصبی و اعتباریابی آن، مطابق مطالعات گذشته داده‌ها به سه دسته تقسیم شدند: ۶۵ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای مرحله صحت‌سنجی یا Cross Validation و حدود ۲۵ درصد برای مرحله تست (آزمون) یا اعتباریابی تفکیک شدند. در این تحقیق، توابع انتقال متعددی برای شبیه‌سازی استفاده شده است. مقایسه نتایج در مرحله آموزش (روش آزمون و خطا)، استفاده از تابع انتقال تانژانت هیبربولیک را به‌عنوان تابع انتقال بهینه تعیین نمود. همچنین، با روش آزمون و خطا و ارزیابی کارایی هر یک از تکنیک‌های یادگیری (LM۷، CG۸، GDX۹، Momentum)، تکنیک یادگیری Momentum به‌عنوان تکنیک یادگیری بهینه انتخاب گردید. آموزش شبکه یکی از گام‌های مهم در مدلسازی با شبکه

4 Multi Layer Perceptron
5 Feed Forward
6 Back-Propagation
7Levenberg Marquart.
8Conjugate Gradient.
9Gradient Descent

عصبی می‌باشد که در واقع همان فرآیند بروزرسانی ضرایب وزنی در لایه(های) میانی و خروجی است. نرون‌ها باید از اشتباهات خود درس گرفته و در جهت بهبود نتیجه حرکت کنند. روند آموزش شبکه به‌طور معمول به دو گونه متفاوت الگو به الگو (حالت متوالی) و گروهی (حالت دسته‌ای) انجام می‌شود. تجربه نشان داده که روش دوم به نتایج بهتری می‌رسد (Nielsen et al., 1990). مبنای تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین شبکه در هر بار اجرای برنامه، ضریب تبیین (Rsqr) و متوسط قدر مطلق خطا (MSE) بوده است:

رابطه ۱- حداقل مربع خطا (MSE[10])

$$MSE = \frac{\sum(Pi - \hat{Pi})}{n}$$

رابطه ۲- ضریب تعیین بین خروجی‌های و مقادیر واقعی (Rsqr[11])

$$Rsqr = [\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi - \overline{Pi}).(\hat{P}i - \tilde{P}i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Pi - \overline{Pi})^2 . \sum_{i=1}^{n}(\hat{P}i - \tilde{P}i)^2}}]^2$$

که در آن Pi مقادیر واقعی یا اندازه‌گیری شده تولید، $\tilde{P}i$ مقادیر متوسط برآوردی تولید، $\overline{P}i$ مقادیر متوسط واقعی یا اندازه‌گیری شده تولید، $\hat{P}i$ مقادیر برآوردی یا شبیه‌سازی شده و n برابر تعداد داده‌ها در هر مرحله از آزمون می‌باشد. برای تعیین معماری بهینه شبکه از روش سعی و خطا و با انجام آزمون‌های مختلف، شبکه‌ای با حداقل میزان خطا و کارایی مناسب، انتخاب گردید. در تعیین معماری بهینه سعی گشته از ساختارهای ساده با تعداد ورودی‌های مؤثر استفاده شود (درواری و همکاران، ۱۳۹۰). هدف از آموزش شبکه دست‌یابی به شبکه‌ای است که بتواند روابط بین ورودی و خروجی مدل را بهبود بخشد. به‌علت این‌که قوانین خاصی جهت طراحی شبکه‌های عصبی مصنوعی موجود نیست، ساختارهای مختلفی (تغییر در تابع انتقال، تکنیک یادگیری، تعداد نرون و ورودی‌ها یا عوامل مؤثر در وضعیت پوشش مراتع) مورد بررسی قرار گرفت.

10 Mean Squared Error

11 Coefficient of correlation

شبیه‌سازی درصد تاج پوشش مرتع با استفاده از مدلسازی آماری

پس از برآورد میزان درصد تاج پوشش در ۱۲۷ مکان نمونه‌برداری و تعیین مقادیر کمی عوامل مؤثر در پوشش مرتعی در این مکان‌ها، از روش رگرسیون چند متغیره در محیط نرم‌افزار SPSS به‌منظور مدلسازی آماری استفاده شد. در این مرحله، پس از نرمال‌سازی و تصادفی نمودن داده‌ها، آن‌ها به دو دسته داده‌های مدل (۷۰ درصد داده‌ها) و داده‌های تست (۳۰ درصد داده‌ها) تفکیک شدند. درصد تاج پوشش مرتع به‌عنوان متغیر وابسته است و عوامل اقلیمی، توپوگرافی، خاک و عوامل انسانی (راه و مسکونی) به‌عنوان متغیرهای مستقل یا عوامل مؤثر در میزان تاج پوشش مرتعی می‌باشند. رگرسیون چند متغیره با روش Stepwise به‌منظور ورود عوامل اصلی و دارای رابطه معنی‌دار با پوشش مرتعی، اجرا شد. پس از ارائه یک مدل خطی چند متغیره، بررسی معنی‌دار بودن (.Sig) و کارایی مدل (Rsqr) انجام پذیرفت. همچنین، ارزیابی کارایی مدل یا اعتبارسنجی مدل از طریق مقایسه مقادیر برآوردی با مقادیر واقعی و برآورد مقادیر خطا صورت گرفت. در نهایت، نتایج مدلسازی آماری جهت مقایسه با نتایج مدلسازی شبکه عصبی و انتخاب روش مناسب‌تر به‌کار گرفته شد که دلالت بر کارایی و دقت بیشتر شبکه عصبی در مدلسازی مقادیر تاج پوشش مرتعی داشت.

تلفیق قابلیت‌های شبکه عصبی (ANN) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

در تحقیق حاضر شبکه عصبی به‌عنوان سامانه‌ای برای شبیه‌سازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان سامانه پیش‌پردازنده و پس‌پردازنده داده‌ها به‌کار گرفته شد. در این مرحله، آموزش داده‌ها و سپس تست یا اعتباریابی شبکه انجام پذیرفته و در نهایت شبکه عصبی بهینه اعتباریابی شده ارائه گشته است. در گام بعدی، سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش پیش‌پردازنده را ایفاء خواهد نمود. هدف از تحقیق، استفاده از شبکه عصبی برای شبیه‌سازی میزان تاج پوشش برای مکان‌های فاقد آمار آن هم به‌صورت گرافیکی زمین مرجع می‌باشد. براساس نتایج، ساختار بهینه شبکه عصبی برای شبیه‌سازی میزان تاج پوشش نیاز به هفت ورودی بارش متوسط سالانه، بارش متوسط فصل رشد، جهت شیب، میزان رس و شن، عمق خاک و فاصله از جاده‌ها و مناطق مسکونی دارد. در این مرحله، لایه‌های رستری هفت عامل مذکور تهیه شدند و با آنالیز هم‌پوشانی با پیکسل سایز صد در صد متر با یک‌دیگر تلفیق شدند. میزان تاج پوشش در سطح یک دامنه، بسیار متغیر است. بنابراین، اقدام به تهیه بیست نمونه در سطح یک دامنه (مکان نمونه) و تعیین میانگین درصد تاج پوشش گردید و در نتیجه اندازه

سلولی ۱۰۰ متر (ده نمونه با فاصله حدود ده متر در طول و عرض دامنه) خللی در دقت نتایج وارد نخواهد نمود. از طرفی، دقت داده‌های خاک و اقلیمی بالا نمی‌باشد و برای دست‌یابی به نتیجه مطلوب، اندازه سلولی لایه‌های اولیه (۲۰×۲۰ متر) به‌منظور کاهش حجم محاسبات در محیط شبکه عصبی و تطابق به مقادیر متوسط درصد تاج پوشش، به اندازه سلولی ۱۰۰ متر تغییر یافت. بنابراین، سطح مراتع مطالعاتی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به حدود ۲۰ هزار پیکسل زمین مرجع دارای رقوم هفت عامل ورودی مدل تفکیک شد. داده‌های این پیکسل‌ها (ورودی‌های مدل) و مختصات که به‌طور خودکار برای هر پیکسل درج گردیده بود؛ از محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی خروجی گرفته شد و به محیط شبکه عصبی وارد گشت. در محیط شبکه عصبی با به‌کارگیری شبکه بهینه اعتباریابی شده، درصد تاج پوشش برای تمامی ۲۰ هزار پیکسل برآورد گشت. سپس، مقادیر تاج پوشش برآوردی به همراه مختصات از محیط شبکه عصبی به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد شد. در این مرحله سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش پس‌پردازنده را ایفا می نماید. مقادیر تاج پوشش به‌واسطه مختصات (عامل کمکی برای تشخیص موقعیت جغرافیایی) همراه با آن و قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌صورت لایه رستری میزان تاج پوشش مرتعی ارائه شد. سپس، مقادیر میزان تاج پوشش ۱۲۷ مکان نمونه‌برداری شده بر روی لایه رستری مقادیر تاج پوشش شبیه‌سازی شده هم‌پوشانی گردید تا صحت و دقت نتایج از طریق مقایسه اعداد مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر واقعی ارزیابی و تائید گردد.

نتایج

مقادیر کمی عوامل مؤثر در وضعیت پوشش مراتع بر اساس داده‌ها و نقشه‌های رقومی برآورد گشت. پس از برآورد کمی میزان تاج پوشش و عوامل مؤثر در آن برای ۱۲۷ مکان مطالعاتی، ورود داده‌ها و به‌کارگیری آن‌ها در محیط SPSS و شبکه عصبی انجام شد. ابتدا در مورد شبکه عصبی، آموزش شبکه و صحت‌سنجی انجام پذیرفت و در نهایت تست یا آزمون شبکه انجام شد. در مرحله آموزش شبکه، تغییر الگوی‌های داده‌های ورودی و آنالیزهای آماری (ضرایب همبستگی پیرسون در جدول شماره ۲) نشان داد که پارامترهای بارش فصل رشد، بارش سالانه، میزان رس و شن خاک، عمق خاک، جهت شیب و فاصله از مناطق مسکونی و جاده‌ها بهترین ورودی‌ها یا عوامل اصلی تأثیرگذار در میزان تاج پوشش می‌باشند (Jafari et al., 2004; تقی‌پور و رستگار، ۱۳۸۹؛ عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۰؛ انجام و همکاران،۱۳۹۲؛ محمدی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴). براساس ضرایب همبستگی پیرسون و نتایج تکرار

روش آزمون و خطا در شبکه عصبی، بارش فصل رشد مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده در وضعیت مراتع در منطقه مطالعاتی می‌باشد. بارش در فصل سرد سال (بارش سالانه) دارای اهمیت کمتری است. زیرا شرایط دمایی مناسبی برای رشد طی فصول سرد سال وجود ندارد. جهت شیب به‌دلیل ایجاد یک میکروکلیما نیز دارای اهیمت بالایی است. کاملاً واضح است که در دامنه‌های رو به جنوب به‌دلیل شرایط دمایی مناسب‌تر، شرایط رویشی مناسب‌تری وجود دارد؛ اما دما جزء ورودی‌های بهینه شبکه نمی‌باشد. علت این امر، دقت کم داده‌های دمایی مورد استفاده می‌باشد. نکته مهم دیگر، اهمیت نقش انسان در روند تخریب پوشش مرتعی است. در اراضی مرتعی اطراف روستاها و جاده‌ها به‌دلیل فعالیت بشر و دسترسی برای چرای دام‌ها، درصد تاج پوشش کمتری مشاهده می‌گردد. عمق و بافت خاک نیز در وضعیت مراتع عامل تعیین‌کننده‌ای است. در تحقیق حاضر، دامنه گسترده‌ای از عوامل محیطی در تجزیه و تحلیل آماری و مدلسازی به‌کار گرفته شد، اما در جدول شماره ۲ خلاصه‌ای از پارامترهای مهم دارای رابطه معنی‌دار، ارائه شده است. همچنین، خطوط هم‌دما و هم‌باران و نقشه رقومی خاک در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شدند که در اشکال شماره ۳ تا ۵ مشاهده می‌گردد. در مرحله مدلسازی، نتایج ارزیابی کارایی شبکه در شبیه‌سازی میزان تاج پوشش مرتعی در مرحله آموزش در جداول شماره ۳ و ۴ ارائه شده است. در مرحله آموزش، ضریب تبیین بین داده‌های واقعی و داده‌های شبیه‌سازی شده (Rsqr) برای الگوی بهینه ورودی‌ها برابر ۰/۹ بوده است. جدول (۳) که منعکس‌کننده میزان خطا در مرحله آموزش می‌باشند که براساس آن‌ها، نتایج مناسبی در مرحله آموزش حاصل آمده است. ساختار بهینه شبکه شامل شبکه پرسپترون چند لایه با هفت ورودی، تابع انتقال تانژانت هیپربولیک، تکنیک یادگیری ممنتوم و تعداد دو نرون جهت شبیه‌سازی میزان تاج پوشش مرتع بوده که با روش آزمون و خطا و ارزیابی کارایی شبکه تعیین گشت. در مرحله بعد، تست یا ارزیابی کارایی شبکه بهینه انجام شد و نتایج ارزیابی مرحله تست از طریق مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر واقعی ارزیابی و در اشکال (۶) و (۷) ارائه شده است. مقادیر پارامترهای MSE و Rsqr در مرحله تست یا آزمون ارزیابی شدند و نتایج در جدول (۴) ارائه شده‌اند. نتایج مذکور دلالت بر کارایی شبکه عصبی در مدلسازی میزان تاج پوشش مرتعی دارد.

به‌منظور ارزیابی و مقایسه با کارایی شبکه عصبی در مدلسازی پوشش مرتعی، روش رگرسیون چند متغیره جهت مدلسازی درصد تاج پوشش با همان داده‌های مدلسازی در شبکه عصبی به‌کار گرفته شد.

در مدلسازی با روش رگرسیون چند متغیره، با به‌کارگیری روش گام به گام یک مدل خطی برای برآورد درصد تاج پوشش گیاهی حاصل آمد که در رابطه (۳) ارائه شده است:

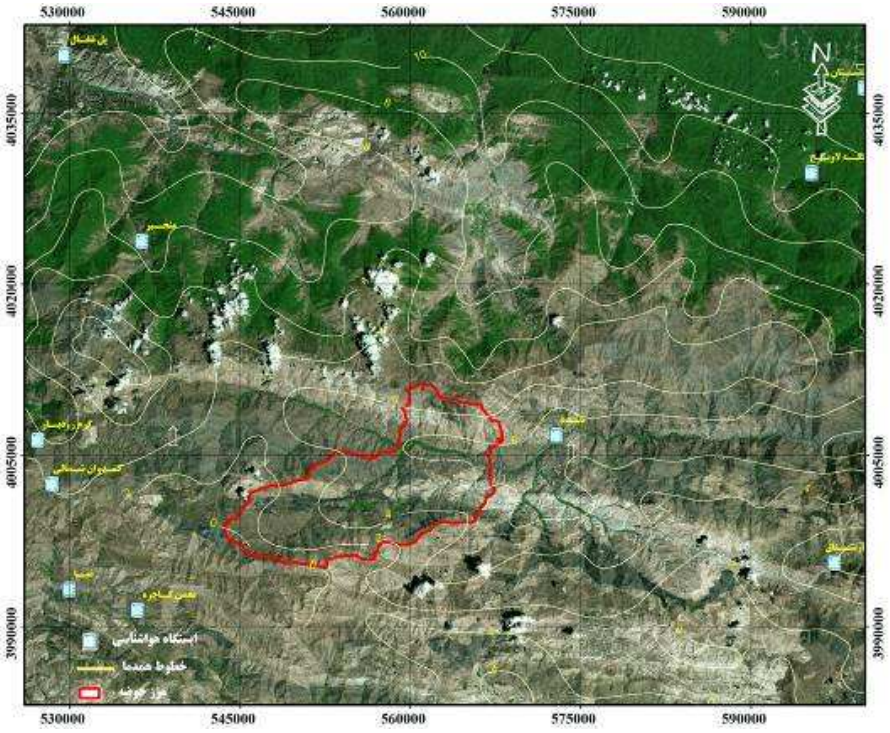
$$CVLog= 9.51Log\ Soildepth+ 5.44\ Log\ LR -153.82LogH + 520.58LogPgrowth -708.06$$

رابطه ۳

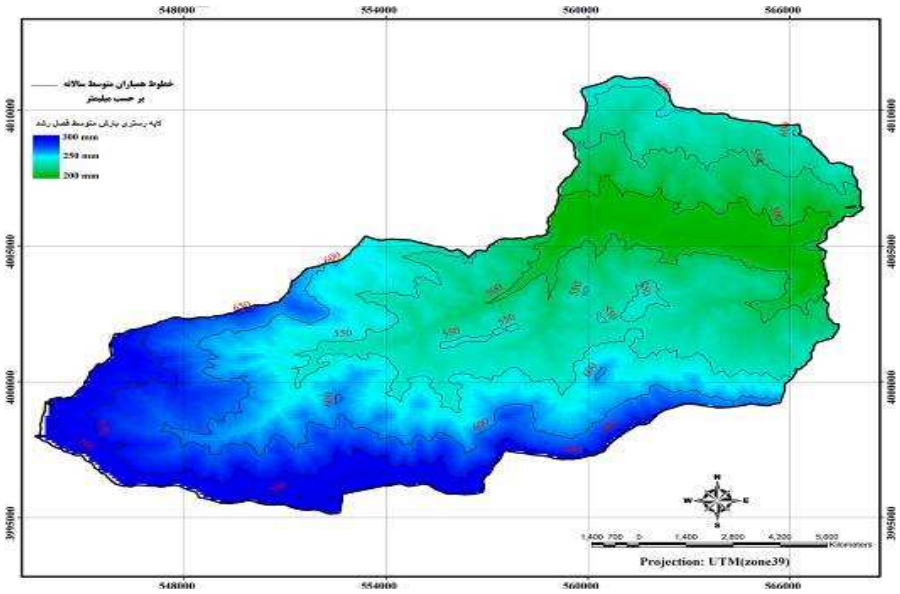
در مدل خطی فوق: CV درصد تاج پوشش گیاهی، Soildepth عمق خاک به سانتی‌متر، LR فاصله از جاده و مناطق مسکونی به متر، H ارتفاع مکان به متر و Pgrowth بارش فصل رشد به میلی-متر می‌باشند. ارزیابی مدل خطی چند متغیره نشان داد که مدل معنی‌دار و قابل قبول می‌باشد (Rsqr>07, Sig <0.05). سپس، در مرحله اعتبارسنجی، مدل برای ۳۰ درصد داده‌هایی که در فرآیند ارائه مدل به‌کار گرفته نشدند، جهت برآورد درصد تاج پوشش مرتعی به‌کار گرفته شد. ارزیابی کارایی مدل به‌واسطه مقایسه مقادیر برآوردی مدل با مقادیر واقعی در مرحله اعتبارسنجی، مقادیر Rsqr برابر با ۰/۶ و MSE برابر با ۹۲/۴ را نشان داد. در نهایت مقایسه نتایج مدلسازی با شبکه عصبی و روش رگرسیون چند متغیره، به‌کارگیری شبکه عصبی را به‌دلیل دقت بالاتر توصیه می‌نماید. براساس نتایج، شبکه عصبی دقت بالاتری در برآورد میزان تاج پوشش مرتع در مقایسه با روش رگرسیون چند متغیره داشته است. در مدلسازی با شبکه عصبی مقادیر Rsqr برابر با ۰/۹ و ۰/۷۲ و MSE برابر با ۰/۰۳ و ۷۵/۲ به‌ترتیب در مراحل آموزش و آزمون یا تست به‌دست آمد که چنین نتیجه‌ای با نتایج محققان دیگر هم‌خوانی دارد (Blanco et al., 2013).

هدف از تحقیق حاضر برآورد میزان تاج پوشش در مکان‌های فاقد آمار و ارائه نتایج به گونه قابل استفاده برای عموم است. بدین منظور دو قابلیت مدلسازی با دقت بالا در شبکه عصبی و قابلیت پردازش و منیتورینگ سیستم اطلاعات جغرافیایی تلفیق شدند. پس از مدلسازی در محیط شبکه عصبی، از قابلیت‌های GIS برای برآورد پارامترهای ورودی شبکه یا مدل و همچنین نمایش و ارائه نتایج شبکه عصبی به‌صورت لایه رستری درصد تاج پوشش مرتعی استفاده شده است که نتایج، در شکل شماره (۸) مشاهده می‌گردد. همچنین پهنه‌بندی میزان تاج پوشش مرتعی در منطقه مطالعاتی در این شکل ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مذکور مشاهده می‌گردد به‌منظور ارزیابی مجدد نتایج و صحت مراحل انجام کار، ارقام درصد تاج پوشش مرتعی اندازه‌گیری شده در مکان‌های نمونه-

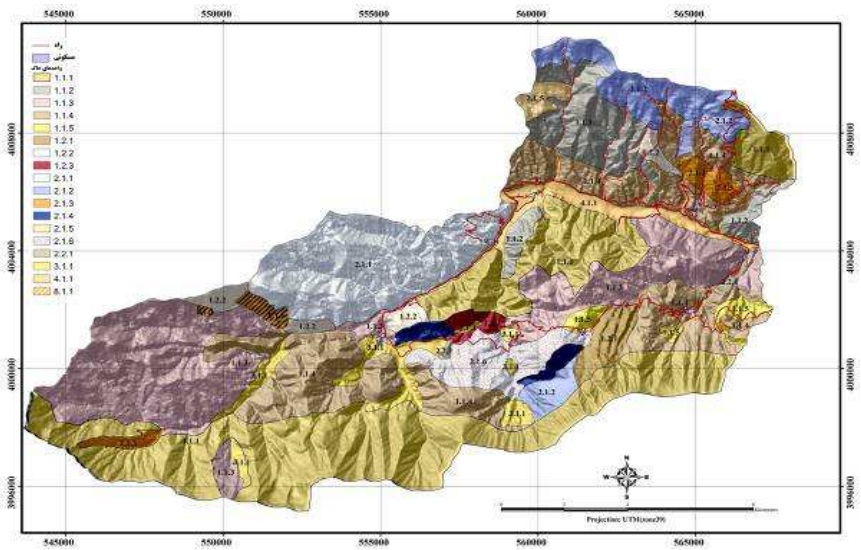
برداری، بر روی لایه یا نقشه درصد تاج پوشش برآوردی درج شده است. مقایسه ارقام واقعی با مقادیر تاج پوشش برآوردی، حاکی از کارایی شبکه عصبی و کارایی روش تلفیق شبکه عصبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی دارد (Gangopadhyay et al., 1999; Krishna et al., 2008). بنابراین، روش ارائه شده در تحقیق حاضر توانسته است شبیه‌سازی قابل قبولی برای طبقه‌بندی میزان تاج پوشش مرتعی ارائه نماید و میزان خطای موجود، در صحت طبقه‌بندی میزان تاج پوشش در یک سطح وسیع خدشه‌ای وارد نمی‌کند.



شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و خطوط هم‌دمای متوسط سالانه بر حسب سانتی‌گراد



شکل ۴- توزیع مکانی مقادیر متوسط بارش فصل رشد و بارش سالانه در سطح منطقه مطالعاتی



شکل ۵- نقشه واحدهای خاک مراتع مطالعاتی

جدول ۱- بافت خاک (میزان رس، سیلت و شن) و عمق خاک مراتع مطالعاتی

کد	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	عمق خاک
۱.۱.۱	۲۵	۲۱	۵۴	۴۰
۱.۱.۲	۲۵	۲۱	۵۴	۷۵
۱.۱.۳	۲۳	۳۳	۴۴	۴۰
۱.۱.۴	۲۳/۳۳	۴۲/۶۷	۳۴	۱۳۰
۱.۱.۵	۲۱/۳۳	۳۸/۶۷	۴۰	۷۰
۱.۲.۱	۲۸	۳۴/۶۷	۳۷/۳۳	۱۰۰
۱.۲.۲	۲۰/۶۷	۳۴/۶۷	۴۴/۶۷	۱۴۰
۱.۲.۳	۲۲/۶۷	۲۹/۳۳	۴۸	۱۰۰
۲.۱.۱	۱۵	۲۱	۶۴	۳۰
۲.۱.۲	۲۹	۴۱	۳۰	۴۰
۲.۱.۳	۲۵/۳۳	۳۱/۳۳	۴۳/۳۳	۸۰
۲.۱.۴	۲۶	۳۰	۴۴	۵۰
۲.۱.۵	۲۶	۳۶	۳۸	۲۰
۲.۱.۶	۲۹	۳۴	۳۷	۱۴۰
۲.۲.۱	۲۶/۵	۳۳/۵	۴۰	۱۱۰
۳.۱.۱	۲۸	۳۸	۳۴	۱۰۰
۴.۱.۱	۸/۵	۱۴/۵	۷۷	۵۰
۸.۱.۱	۲۶	۳۸	۳۶	۵۰

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین درصد تاج پوشش مرتعی و مهم‌ترین عوامل محیطی منطقه

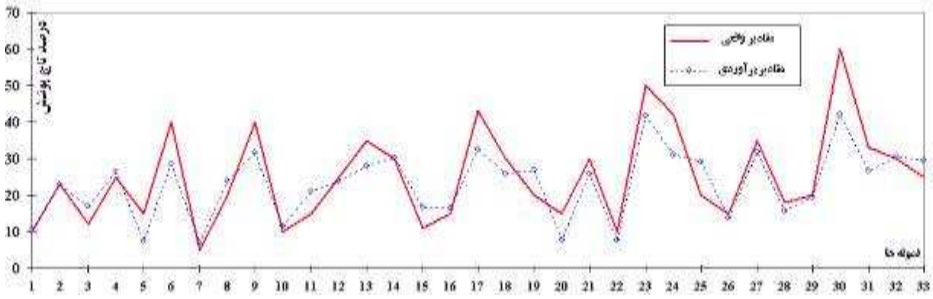
عوامل انسانی	عمق خاک	میزان شن	میزان سیلت	میزان رس	شور ی خاک	جهت شیب	بارش سالانه	بارش فصل رشد
۰/۴۳	۰/۲۵	-۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۴۲	۰/۷

جدول ۳- نتایج آموزش شبکه عصبی برای شبیه‌سازی میزان تاج پوشش مرتع

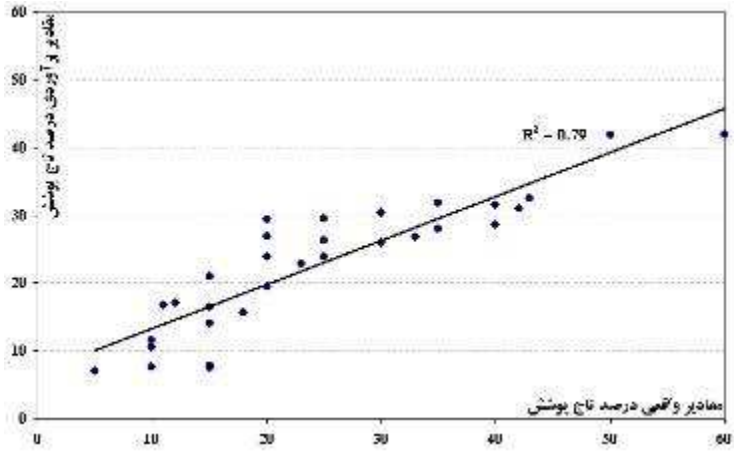
	کمترین مقدار آموزش	انحراف معیار آموزش	کمترین مقدار صحت-سنجی	انحراف معیار صحت‌سنجی
میانگین کمترین مقدار MSE	۰/۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۹	۰/۰۰۰۷
میانگین نهایی MSE	۰/۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۹	۰/۰۰۰۷

جدول ۴- نتایج آزمون یا تست شبکه عصبی در برآورد درصد تاج پوشش مرتع

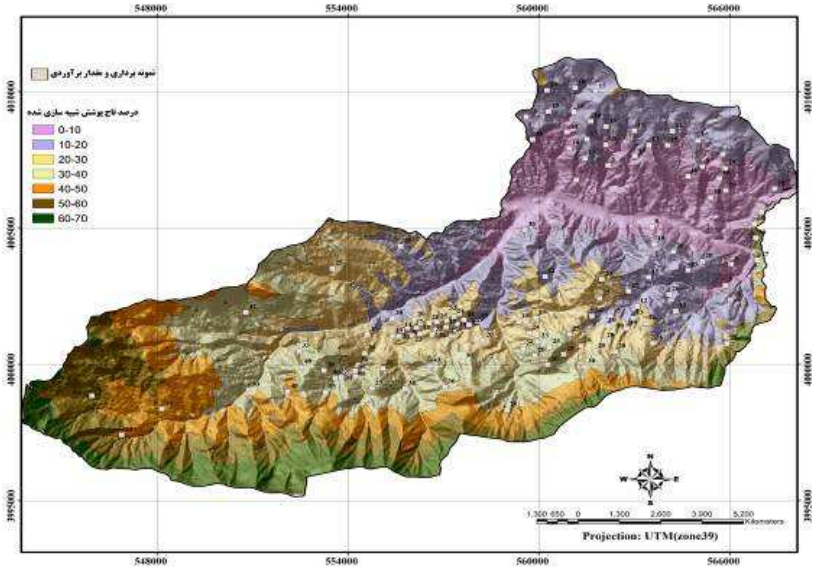
	MSE	NMSE	MAE	Min Abs Error	Max Abs Error	Rsqr
بر حسب درصد	۷۵/۲	۰/۴۶	۵/۹۵	۰/۱۷	۲۸/۴	۰/۷۲



شکل ۶- ارزیابی کارایی شبکه عصبی در شبیه‌سازی میزان تاج پوشش در مرحله تست یا آزمون از طریق مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی شده



شکل ۷- ارزیابی کارایی شبکه عصبی در شبیه‌سازی میزان تاج پوشش در مرحله تست یا آزمون از طریق مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی شده



شکل ۸- نقشه میزان تاج پوشش مرتعی حاصل از تلفیق قابلیت‌های شبکه عصبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. ارزیابی صحت نتایج در این مرحله نیز از طریق هم‌پوشانی مقادیر درصد تاج پوشش اندازه‌گیری شده (مقادیر واقعی) بر روی نقشه مقادیر درصد تاج پوشش برآوردی توسط شبکه عصبی انجام پذیرفت

بحث و نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که عامل بارش فصل رشد بیش از بارش سالانه در شرایط پوشش مرتعی تأثیرگذار می‌باشد؛ چرا که در فصول غیر رشد عرصه پوشیده از برف می‌باشد. از طرفی، دوره رشد مناسب از لحاظ دمایی و بارش حدود سه ماه است. شاخص‌های دماهای حداکثر و حداقل نیز رابطه معنی‌داری با پارامترهای پوشش مرتعی ارائه ننمودند. از بین عوامل توپوگرافی، ارتفاع و جهت شیب تأثیر بیشتری در شرایط پوشش گیاهی منطقه دارند. این عوامل خود در دما و بارش تعیین‌کننده می‌باشند (تقی‌پور و رستگار، ۱۳۸۹). همچنین، از عوامل خاک نیز بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن) و عمق خاک تأثیرگذارند (Jafari et al., 2004). عامل انسانی یا فاصله از جاده‌ها نیز رابطه معنی‌داری (تأثیر منفی) دارد؛ اما در برخی عرصه‌ها، پوشش گیاهی مناسب‌تری در اطراف جاده‌ها مشاهده می‌گردد. این بدان علت است که جاده‌ها و مناطق مسکونی در مناطق مناسب اکولوژیکی قرار دارند. براساس تحقیقات مختلف انجام شده در خصوص کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدلسازی پارامترهای محیطی، واضح است که توانایی‌های این تکنیک با توجه به ساختارهای مختلف آن و نیز طبیعت مسئله‌ای که به‌دنبال حل آن هستیم متفاوت می‌باشد (Gholami et al., 2015). با انتخاب نوع و تعداد مناسب عوامل ورودی و نیز استفاده از نوع مناسب و سازگار شبکه عصبی مصنوعی و نیز کالیبره کردن مناسب آن می‌توان گفت که این تکنیک ابزاری بسیار کارا و مناسبی برای برآورد پارامترهای پوشش مرتعی می‌باشد (Aeinebeygi and Khaleghi, 2016). نتایج حاصل از تحقیق حاضر دلالت بر توانایی قابل قبول شبکه عصبی در شبیه‌سازی میزان تاج پوشش و کارایی مناسب‌تر آن در مقایسه با روش‌های آماری مدلسازی نظیر رگرسیون چند متغیره دارد (Jafari et al., 2004; زارع چاهووکی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به نتایج عملکرد شبکه برای ساختارهای مختلف و نیز مقایسه نتایج حاصله با داده‌های واقعی می‌توان گفت که عوامل بارش، جهت شیب، بافت و عمق خاک و عوامل انسانی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان تاج پوشش در مرتع مطالعاتی می‌باشند (فیروزان،۱۳۸۸؛ تقی‌پور و رستگار، ۱۳۸۹؛ عبداللهی و همکارن، ۱۳۹۰). محور اصلی تحقیق حاضر، ارتباط خودکار شبکه عصبی با سیستم اطلاعات جغرافیایی است تا نتایج قابل استفاده برای عموم کاربران باشد. همچنین، نتایج شبکه عصبی قابلیت آنالیزهای هم‌پوشانی با سایر داده‌های محیطی را داشته باشند. سیستم اطلاعات جغرافیایی حجم بالایی از ورودی‌های مدل را در زمانی کوتاه پردازش و ارائه کرد (Barr, 2002; Hill, 2001,) و شبکه عصبی بهینه اعتباریابی شده نیز با سرعت مشابهی برای مکان-

های فاقد آمار پوشش مرتعی، میزان تاج پوشش را برآورد نمود. نکته اصلی دقت ورودی‌ها و خروجی شبکه می‌باشد. آنچه مسلم است توانایی ایجاد اندازه سلولی کوچک‌تر وجود داشته و محققین می‌توانند اندازه سلولی داده‌های ورودی را در حد ۱۰×۱۰ متر در نظر بگیرند، اما در این مطالعه، دقت داده‌های رقومی موجود در مورد ورودی‌های شبکه در این حد نمی‌باشد. از طرفی با کوچک‌تر در نظر گرفتن اندازه سلولی، تعداد نمونه‌ها بسیار افزایش خواهد یافت و ما با مشکل حجم بالای محاسبات بدون تأثیر محسوسی در دقت نتایج روبرو خواهیم بود. خوشبختانه، اطلاعات کمی در ورودی‌های شبکه یا عوامل مؤثر در وضعیت پوشش مرتعی (عوامل اقلیمی، توپوگرافی، ادافیک و انسانی) در سطح مراتع مازندران موجود است و ما برای به‌کارگیری مدل ارائه شده در سطح مراتع مازندران مشکلی نخواهیم داشت. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد از روش حاضر در مطالعات آتی برای سایر ویژگی‌های پوشش مرتعی و با مراتع دیگر استفاده گردد.

تقدیر و تشکر

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از همکاری و زحمات پرسنل اداره کل منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان مازندران به جهت تأمین داده‌های موردنیاز تحقیق حاضر و همچنین سایر حمایت‌های ایشان تقدیر و تشکر نماییم.

منابع

ابراهیمی، ع. ۱۳۹۶. تأثیر گروه‌های آماربردار و فرم‌های رویشی بر برآورد رابطه بین تولید و پوشش گیاهی. مجله منابع‌طبیعی ایران (نشریه مرتع و آبخیزداری)، دوره ۷۰(۱): ۱۹-۳۰.

انجام، م.، حشمتی، غ.، سپهری، ع.، نیک نهاد قرماخر، ح.، جعفری فوتمی، ع. ۱۳۹۲. بررسی برخی عوامل محیطی ناشی از تغییرات ارتفاعی بر استقرار پوشش گیاهی در مراتع ییلاقی رشته کوه البرز. نشریه علمی پژوهشی مرتع، سال هفتم، ۴: ۳۰۴-۳۱۵.

بیگدلی، م. ۱۳۷۶. تعیین مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری تولید گیاهان بوته‌ای (در مناطق خشک و نیمه‌خشک). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع‌طبیعی، ۴۵ صفحه.

پورنعمتی، ا.، قربانی، ا.، شریفی نیارق، ج.، میرزایی آقچه قشلاق، ف.، امیرخانی، م.، گودرزی، م. ۱۳۹۶. بررسی اثرات ارتفاع، شیب و جهات جغرافیایی بر تولید علوفه گروه‌های گیاهی مراتع سبلان در استان اردبیل، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۴(۱): ۱۰۰-۹۱.

تقی پور، ع.، رستگار، ش. ۱۳۸۹. بررسی نقش فیزیوگرافی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعهٔ موردی: مراتع هزار جریب بهشهر مازندران). مجله علمی پژوهشی مرتع، ۴(۲): ۱۷۷-۱۶۸.

درواری، ز.، غلامی، و.، جوکارسرهنگی، ع. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی آبدهی چشمه‌های کارستی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: ارتفاعات البرز مرکزی). پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۷۷: ۵۷-۶۸.

فیروزان، اح.، نقدی، ر.، باباپور، ر.، حکیمی عابد، م. ۱۳۸۸. اهمیت کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی شبکه‌ی جاده‌های جنگلی (مطالعه‌ی موردی سری دو شفارود). مجله علوم زیستی واحد لاهیجان، ۳(۳): ۵۷-۶۳.

عبداللهی، ج.، ارزانی، ح.، نادری، ح. ۱۳۹۰. عوامل اقلیمی مؤثر بر تولید علوفه مراتع استپی ندوشن در استان یزد. مجله علمی پژوهشی مرتع، ۵(۱): ۴۵-۵۶.

زارع‌پور، م.، شیرزادی، ا.، بیرانوندس، م. ۱۳۹۱. شبکه‌های عصبی مصنوعی و امنیت مرزها. فصلنامه‌ی امنیت پژوهشی. ۱۱(۳۸): ۲۱۹-۲۴۰.

زارع چاهووکی، م.، عباسی، م.، آذرنیوند، ح. ۱۳۹۱. ارزیابی قابلیت مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی (مطالعه موردی: مراتع طالقان میانی). نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۸(۲): ۱۰۶-۱۱۵.

شکراللهی، ش.، مرادی، ح.، دیانتی تیلکی، ق. ۱۳۹۱. بررسی اثر ویژگی‌های خاک و عوامل فیزیوگرافی بر پوشش گیاهی (مطالعه موردی: بخشی از مراتع ییلاقی پلور)، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹(۴): ۶۶۸-۶۵۵.

طهماسبی، پ.، هزارخانی، ا. ۱۳۸۸. ارائه روشی برای بهینه‌سازی شبکه عصبی برای برآورد عیار با استفاده از اطلاعات سیستم مس پورفیری سوناجیل-اهر، مجله علوم زمین، ۲۱(۸۱): ۳۱-۳۶.

جوکار، ع.، غلامی، و.، گلی جیرنده، ع.۱۳۹۲. اصول و مفاهیم سامانه اطلاعات جغرافیایی. انتشارات دانشگاه مازندران، ۲۰۰ صفحه.

محمدی مقدم، س.، مساعدی، ا.، جنگجو، م.، مصداقی، م. ۱۳۹۴. بررسی رابطه تولید مرتع با پارامترهای اقلیمی مؤثر و شاخص‌های خشکسالی در مراتع ندوشن. مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۸(۱): ۱۳۱-۱۴۸.

Aeinebeygi, S., Khaleghi, M.R. 2016. An Assessment of Biennial Enclosure Effects on Range Production, Condition and Trend (Case Study: Taftazan Rangeland, Shirvan). International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE), 6(2): 33-40.

Blanco, P., Delvalle, H.F., Bouza, P., Metternicht, G.I., Hardtke. 2013. Ecological site classification of semiarid rangelands: Synergistic use of Landsat and Hyperion imagery, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,29(1): 11–21.

Barr, T. 2002. Application of tools for hydraulic power point presentation.105-upperGotvand hydroelectric power project feasibility study.1996. Reservior Operation Flood.14p.

Dayhoff, J. 1990. Natural Networks archictures: Anintroduction. New Yourk: Van NostrandReinhold.

Gangopadhyay, S., Gautam, T., Gupta, A. 1999. Subsurface characterization using artificial neural network and GIS Journal of Computing in Civil Engineering, Co13(3): 153–161.

Gholami, V., Chau, K.W., Fadaee, F., Torkaman, J., Ghaffari, A. 2015. Modeling of groundwater level fluctuations using dendrochronology in alluvial aquifers.Journal of Hydrology,529: 1060–1069.

Hill, M. 2001. Flood plain delineation using the HEC-GeoRAS Extention for Arcview. Brigham Young University, 514p.

Jafari, M., Zare Chahouki, M.A., Tavili, A., Azarnivand, H., Zahedi Amiri, G.H. 2004. Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). Journal of Arid Environments, 56(4): 627-641.

Krishna, B., Styaji Rao, Y.R., vijaya, T. 2008. Modeling ground water levels in an urban coastal aquifer using artificial neural networks. Journal of Hydrological process, 22(8): 1180-1188.

Krishna, M., Neaupane, M.D., Moqbul, H. 2008. Predicting Arsenic Concentration in groundwater using GIS-ANN hybrid system, 3rd IASME / WSEAS Int. Conf. on water resources, Hydraulics and Hydrolgeology (WHH '08), University of Cambridge, UK, Feb. 23-25, 2008.21.

Nielsen, H. R. 1990. Neurocomputing. Addison-Wesley Publ. Co., Reading, MA.

McCoord, N.M., Illingworth, W.T. 1990. A practical guide to neural nets. Addison-Wesley, Publ. Co. the University of Michigan, 344p.

Maier, H., Dandy, G. 2000. Neural networks for the perdictions and forecasting of water resources variables: review of modeling issues and applications. Environmental Modelling and Software, 15;101-124.

Melesse, A. M., Hanley, R. S. 2005. Artificial neural network application for multiecosystem carbon flux simulation. Ecological Modelling, 189, 305-314.

Zare Chahouki, M.A., KhalasiAhvazi, L., Azarnivand, H. 2012. Comparison of three modeling approaches for predicting plant species distribution inmountainous scrub vegetation (Semnan ranglands, Iran). Polish Journal of ecology, 60 (2): 277-289.