

تعیین رویشگاه بالقوه گونه گیاهی کما (*Ferula ovina* Boiss) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در منطقه فریدونشهر اصفهان

زهرا رحمتی^۱، مصطفی ترکش اصفهانی^۱، سعید پورمنافی^۲ و محمدرضا وهابی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹)

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی توانایی مدل آماری شبکه عصبی مصنوعی در تهیه نقشه رویشگاه بالقوه گونه علوفه‌ای و دارویی *Ferula ovina* Boiss در مراتع منطقه فریدونشهر اصفهان می‌باشد. به‌منظور تعیین رویشگاه بالقوه گونه *F. ovina* (کما)، از داده‌های محیطی به‌عنوان متغیر مستقل و داده‌های مربوط به رخداد گونه کما به‌عنوان متغیر وابسته استفاده گردید. نقشه پراکنش مکانی عوامل محیطی از قبیل خصوصیات توپوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی، شیب) داده‌های اداپتیکی (برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک) و اقلیمی (میانگین سالانه درجه حرارت، میانگین بارش سالانه و...) به‌روش کربچینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله تهیه شد. رخداد گونه کما از ۲۷۸ سایت مطالعاتی (شامل ۱۳۷ سایت حضور و ۱۴۱ سایت عدم حضور) جمع‌آوری شد. سپس ارتباط بین متغیرهای محیطی و حضور و غیاب گونه با مدل شبکه عصبی مصنوعی تعیین گردید و به‌کل منطقه مورد مطالعه تعمیم یافت. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که حضور گونه کما بیشترین همبستگی را به‌ترتیب با درصد سیلت، درصد شن، ارتفاع، شیب و درصد ماده آلی دارا می‌باشد. ارزیابی مدل به‌روش جایگزینی ضریب کاپای ۰/۶۶ و مساحت زیر منحنی پلات‌های ROC با مقدار ۰/۹ نشان دهنده تطابق خوب تا عالی مدل با واقعیت زمینی است. نتایج نشان داد که مدل تولید شده می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای استفاده مدیران و کارشناسان بخش مرتع به‌منظور شناسایی مناطق مستعد جهت عملیات اصلاحی همچون بذرکاری و بوته کاری مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، رویشگاه بالقوه گونه *Ferula ovina*، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فریدونشهر

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z.rahmati@na.iut.ac.ir

مقدمه

ظهور هر گونه گیاهی تحت تاثیر عوامل محیطی و روابط بین گونه‌ای است و یک یا چند عامل محیطی بیشترین اثر را در استقرار یک گونه گیاهی خاص دارند. اگر به‌طریقی بتوان این عوامل را برای هر گونه گیاهی تعیین کرد و رفتار گونه را با متغیرهای محیطی بررسی نمود می‌توان به مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌ای دست یافت (۳). امروزه تولید نقشه پراکنش گونه‌ها در مکان و زمان، اساس بسیاری از پژوهش‌های مختلف می‌باشد. مدل‌های پراکنش گونه‌ای (Species Distribution Model) برای ارزیابی تنوع گونه‌ای محلی و جهانی، برنامه‌ریزی جهت ایجاد ذخایر جدید، مدیریت و احیاء زیستگاه‌ها، مدیریت گونه‌های مهاجم و پیش‌بینی اثرات تغییرات زیست محیطی بر گونه‌ها و جمعیت‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یک مدل پراکنش گونه‌ای، رخداد گونه‌ای (متغیر وابسته) را به‌صورت تابعی از متغیرهای زیست محیطی مختلف (متغیرهای مستقل) مدلسازی می‌کند (۱۷).

کلیه مدل‌های رگرسیون بر مبنای همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و متغیر پاسخ می‌باشد که هدف اصلی این مدل‌ها پیش‌بینی رخداد یک پدیده است. مدل‌های آماری بر مبنای نوع متغیر پاسخ به دو گروه مدل‌های پروفیل و مدل‌های متمایز کننده گروهی تقسیم می‌شوند. متغیر پاسخ در مدل‌های پروفیل تنها بر اساس داده‌های حضور (رخداد گونه) می‌باشد، مانند مدل Ecological Niche Factor Analysis (ENFA) ولی متغیر پاسخ در مدل‌های متمایز کننده گروهی مبتنی بر داده‌های حضور و عدم حضور می‌باشند که خود به دو گروه جهانی (پارامتریک) و محلی (غیرپارامتریک) تقسیم می‌شوند در مدل‌های جهانی رابطه‌ی بین متغیر پاسخ و پیش‌بینی کننده از قبل تعریف شده است، مانند GLM_s (Generalized Linear Models) و در مقابل مدل‌های محلی هیچ پیش فرضی نسبت به شکل منحنی پاسخ نداشته و می‌توانند در مکان‌های مختلف فضای داده، تغییر کنند که مدل آماری شبکه عصبی مصنوعی جزء این مدل طبقه‌بندی می‌شود (۱۹ و ۴).

شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network) (ANN) نوعی روش‌های یادگیری ماشینی هستند که در زمینه‌های مختلف آنالیز داده‌ها نظیر رگرسیون و طبقه‌بندی به کار برده می‌شوند. در بوم‌شناسی نیز استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌خور (Feed forward) با الگوریتم پس‌انتشار (Back propagation) در تولید نقشه‌های پراکنش گونه‌های گیاهی و جانوری رایج است (۱۱).

پیکینی (۱۷)، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر پراکنش ۱۸ گونه گیاهی در انگلستان با استفاده از شبکه‌های عصبی فید فروارد با توابع فعال‌ساز مختلف پرداخت و پراکنش جغرافیایی گونه‌ها را تحت سناریوهای تغییر اقلیم پیش‌بینی نمود. در این مطالعه غنای گونه‌ای به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای زیست محیطی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد نتایج ارزیابی ANN با ضریب کاپای ۰/۷۰ و AUC (area under curve) برابر با مقدار ۰/۸۸ نشان داد که همبستگی خوبی بین متغیرهای زیست محیطی حال حاضر و پراکنش گونه‌ها وجود دارد. وی اظهار داشت که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ممکن است جایگزین معتبری نسبت به سایر روش‌های آمار مکانی باشد. با این حال، داده‌ها و روش دارای عدم قطعیت است.

واتس و وارنر، در مطالعه‌ای با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توزیع جغرافیایی شش بیماری باکتریایی گیاهان زراعی را با استفاده از عوامل اقلیمی (عوامل غیرزنده) و مجموعه‌ای از گیاهان میزبان (عوامل زنده) بررسی نمود. این مطالعه نشان داد که مدل مذکور به خوبی بیانگر توزیع جغرافیایی بیماری‌های باکتریایی گیاهان زراعی است و ترکیب عوامل غیرزنده و زنده برای رسیدن به دقت بالای مدلسازی لازم است (۲۰).

گونه *F. ovina* متعلق به خانواده چتریان بوده و از جمله با ارزش‌ترین گیاهان علوفه‌ای و دارویی است. این گیاه در صنایع دارویی بیشتر به عنوان داروی ضد تشنج، خلط‌آور، هضم کننده، دافع انگل‌های روده‌ای کاربرد دارد. هم‌چنین کما یکی از منابع قابل توجه تولید علوفه و تغذیه دام در سطوح وسیعی از مراتع

تولید نقشه‌های پراکنش مکانی متغیرهای خاک و اقلیم

به‌منظور تعیین بهترین روش میان‌یابی ابتدا نرمال بودن داده‌های محیطی با روش کلموگروف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد در نرم‌افزار Minitab بررسی شد. در صورت عدم نرمال بودن داده‌ها با روش‌های تبدیل لگاریتم یا کاکس-باکس نرمال شد. پس از نرمال کردن داده‌ها تغییرپذیری مکانی متغیرهای اقلیم و خاک با استفاده از مدل‌های مختلف واریوگرام و تحلیل آنها در نرم افزار GS⁺ بررسی شد. ساختار مکانی داده‌ها در واریوگرام با تقسیم اثر قطعه‌ای (C_0) به سقف واریوگرام ($C+C_0$) ارزیابی می‌شود به‌گونه‌ای که اگر این نسبت کمتر از ۲۵٪ باشد، متغیر دارای ساختار مکانی قوی، بین ۲۵٪ تا ۷۵٪ ساختار مکانی متوسط و بزرگ‌تر از ۷۵٪ دارای ساختار مکانی ضعیف می‌باشد (۷). بهترین مدل واریوگرام هریک از متغیرهای مستقل با درنظر گرفتن شاخص ریشه دوم مربعات خطا (Root Mean Square Error) بررسی گردید. هر چه مقدار ریشه دوم مربعات خطا به‌مقدار ایده‌آل (صفر) نزدیک‌تر باشد، مدل واریوگرام برازش شده بهتر است. با استفاده از میانگین انحراف خطا (Mean Bias Error) و میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error) و ریشه دوم مربعات خطا بهترین روش میان‌یابی برای تهیه نقشه‌ها انتخاب گردید. بدین منظور هر سه روش کریجینگ ساده، معمولی و جهانی برای هرمتغیر انجام شده و در هرکدام از روش‌ها که سه تابع یاد شده دارای کمترین مقدار (نزدیک به صفر) بود به‌عنوان بهترین روش میان‌یابی درنظر گرفته شد. چنانچه داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار نبود از روش‌های غیر پارامتریک مانند وزن‌دهی معکوس فاصله استفاده شد.

رخداده گونه کما

جهت نمونه‌برداری رخداده گونه *F. ovina* از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده استفاده گردید (۱۱). در گام اول با بازدید از منطقه‌ی مورد مطالعه تیپ‌هایی که در آن گونه مذکور به‌صورت غالب حضور داشت مشخص شده و نقشه تیپ گیاهی

بیلاقی است که ارزش علوفه‌ای آن در حد یونجه بوده و در رشد و نمو دام تأثیر عمده‌ای دارد (۶). در مطالعه حاضر، برای نخستین بار رابطه بین رخداده گونه *F. ovina* با عوامل محیطی (خاک و فیزیوگرافی) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بررسی شده و نقشه پراکنش بالقوه گونه مذکور برای بخشی از منطقه فریدونشهر اصفهان تولید گردید. اگرچه مطالعات چندی در رابطه با گونه *F. ovina* در ایران انجام شده است ولی اکثر مطالعات به‌صورت توصیفی شرایط رویشگاهی گونه مذکور را معرفی نموده‌اند (۱، ۲ و ۵).

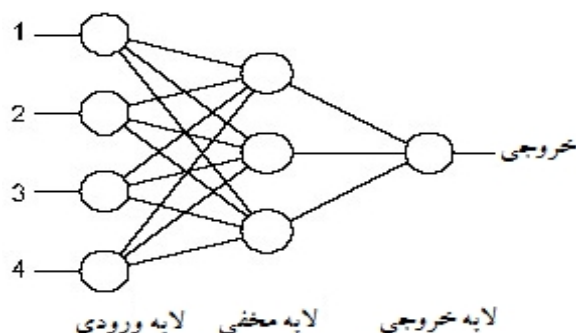
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در قسمتی از مراتع فریدونشهر استان اصفهان به مساحت تقریبی ۹۹۰۰۰ هکتار، بین طول جغرافیایی ۳۲° ۳۸' ۴۹" و ۳۶° ۱۵' ۵۰" و عرض جغرافیایی ۴۸° ۶' ۳۳" و ۴۲° ۴۲' ۱۸" قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع منطقه از سطح دریا ۴۰۰۰ متر و میانگین بارندگی سالانه حدود ۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

متغیرهای محیطی

به‌منظور تعیین رویشگاه بالقوه گونه کما، داشتن داده‌های عوامل محیطی به‌عنوان متغیر مستقل و داده‌های مربوط به رخداده گونه کما به‌عنوان متغیر وابسته مورد نیاز است از اینرو جهت تهیه‌ی اطلاعات محیطی لایه‌های فیزیوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه)، لایه‌های محیطی خاک (مربوط به ۷۰ پروفیل خاک) و لایه‌های اقلیمی (۹ ایستگاه هواشناسی نزدیک به منطقه مورد مطالعه)، جمع‌آوری گردید (تمام متغیرها در جدول ۳ آورده شده است). نقشه‌های پراکنش مکانی ۹ خصوصیت خاک و ۱۹ متغیر اقلیمی با اندازه پیکسل ۷۰×۷۰ متر با استفاده از روش‌های میان‌یابی در محیط نرم‌افزار Arc GIS تولید گردید.



شکل ۱. ساختار یک شبکه ساده پیش‌خور

برگیرنده مجموعه‌ای به هم پیوسته از واحدهای پردازشی ساده توصیف کرده است که الهام گرفته از کارکرد نورون‌های جانوری می باشد. امروزه شبکه‌های عصبی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله طبقه‌بندی، تشخیص الگو، پیش‌بینی و مدل‌سازی فرایندها به کار گرفته شده است (۷). طبق شکل ۱ در یک شبکه عصبی مصنوعی چند لایه ای پرسپترون (Perceptron)، جریان داده‌ها به‌طور پیوسته از لایه ورودی به خروجی و بدون هیچ بازخوردی جریان دارد. در حقیقت لایه ورودی، داده‌های ورودی از متغیرهای مستقل را به صورت اعداد نقطه‌ای شناور دریافت می‌کنند. در این حالت ابتدا داده‌ها دسته‌بندی شده و سپس به حالت بولین (صفر و یک) تبدیل می‌شوند. لایه خروجی نتایج حاصل از پردازش داده‌ها را نشان می‌دهد. بین لایه ورودی و خروجی یک یا چند لایه مخفی وجود دارد. هر لایه شامل یک تعداد متغیر از نورون‌ها یا شبکه‌های عصبی می باشند (۱۳).

گام بعدی در اجرای یک شبکه عصبی آموزش (Training) آن است. هدف از آموزش یک شبکه حداقل کردن خطای بین خروجی شبکه و مقدار مطلوب آن (هدف) است. در این فرایند مقدار خروجی با مقدار مطلوب آن مقایسه و خطای بین این دو مقدار حداقل می‌گردد. بر این اساس الگوریتم‌های آموزشی مختلفی ابداع شده که از ماتریس‌های وزنی متفاوتی استفاده می‌کنند. هر یک از این الگوریتم‌ها که بتواند خطای کمتری تولید نماید به عنوان الگوریتم برتر انتخاب می‌گردد. با توجه به آنچه گفته شد مشخصه اصلی یک شبکه معماری و تابع

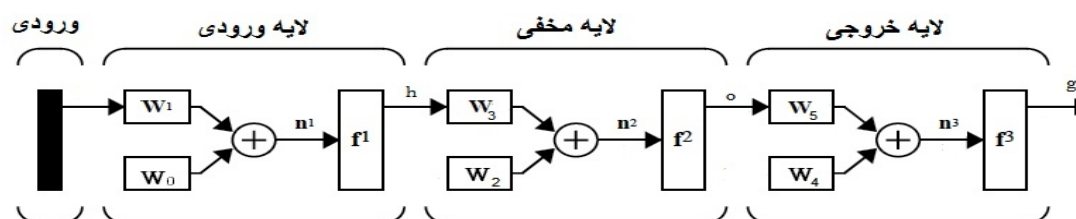
در محیط نرم افزار Arc GIS تهیه شد. نقشه‌ای شامل لایه‌های فیزیوگرافی با ۱۴۷ منطقه همگن که حاصل تلفیق ۳ طبقه‌ای ارتفاعی، ۶ طبقه‌ای شیب و ۹ طبقه جهت می‌باشد، تولید گردید. در گام بعدی با تلفیق دو نقشه یاد شده براساس مساحت اختصاص یافته به هر طبقه‌ای همگن و به شکل تصادفی ۲۷۸ سایت مطالعاتی شامل ۱۳۷ سایت حضور و ۱۴۱ سایت عدم حضور گونه *F. ovina* مشخص شد که صحت سایت‌های ذکر شده با بازدید صحرایی کنترل گردید.

متغیرهای ورودی شبکه عصبی مصنوعی

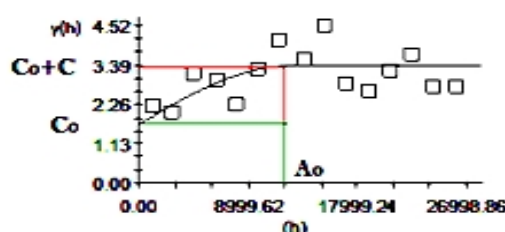
پس از تهیه نقشه‌های پراکنش مکانی ۳۱ متغیر مستقل ارزش‌های مربوط به هر متغیر محیطی در ۲۷۸ سایت نمونه‌برداری شده مربوط به حضور و غیاب گونه کما، از نقشه‌های مربوطه استخراج گشته و به عنوان داده‌های ورودی مدل در نظر گرفته شد. بدیهی است که به کارگیری کلیه عوامل در فرایند مدل‌سازی امکان‌پذیر نیست، از اینرو با توجه به نکاتی مانند مقیاس، دقت و هدف مورد نظر، شرایط منطقه و میزان تاثیرگذاری هر یک از متغیرها، عوامل مناسب جهت ورود به فرایند مدل‌سازی مشخص می‌شود. در این تحقیق با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آزمون همبستگی، مهمترین متغیرهای مستقل اثرگذار شناسایی و وارد مدل گردید.

مدل شبکه عصبی مصنوعی

گورنی (۱۲)، یک شبکه عصبی مصنوعی موسوم به ANN، را در



شکل ۲. ساختار یک شبکه ساده پیش‌خور با سه نورون



شکل ۳. مدل واریوگرام برازش شده بر متغیر درصد شن

(h) بیانگر مقدار واریوگرام، (h) فاصله به متر، (A₀) دامنه تاثیر، (C₀) اثر قطعه‌ای، (C₀+C) آستانه می‌باشد.

دو لایه مخفی وجود دارد با این حال اکثر مسائل را می‌توان با یک لایه مخفی حل کرد (۱۷). در فرآیند مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه *F. ovina* با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی از یک لایه مخفی با ۷ نورون به همراه تابع سیگموئید استفاده گردید. دامنه اعداد پیش‌بینی شده در محدوده صفر و یک تغییر می‌کند، به این ترتیب که مقادیر کم بیانگر احتمال رخداد پایین و مقادیر نزدیک به یک بیانگر احتمال رخداد زیاد گونه می‌باشد. ارتباط گونه گیاهی کما با عوامل محیطی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در محیط نرم‌افزار Statistica مورد بررسی قرار گرفته و سپس نقشه پیش‌بینی مدل در محیط Arc GIS با اندازه پیکسل ۷۰×۷۰ متر تهیه شد.

ارزیابی مدل با استفاده از ماتریس خطا به دو روش جانشینی (Resubstitution) (استفاده از یک مجموعه داده برای ساخت مدل و سپس ارزیابی مدل با همان داده‌ها) و روش استفاده از داده‌های مستقل (Independent data) (استفاده از دو مجموعه داده مجزا، یک مجموعه داده برای ساخت مدل و مجموعه دیگر برای ارزیابی مدل) انجام گرفت (۱۹). در روش اول ارزیابی با ۲۷۸ سایت استفاده شده در فرآیند مدل‌سازی انجام گرفت و در روش دوم ارزیابی با استفاده از ۲۵ سایت حضور و

فعال‌ساز آن می‌باشد (۱۷). در بوم‌شناسی، بیشتر اقسام ANN به صورت لایه نهفته نظارت شده می‌باشد و شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط الگوریتم پس انتشار (Back propagation algorithm) آموزش داده می‌شوند (۸). با توجه به شکل ۲ ورودی‌های یک نورون مصنوعی (متغیرهای محیطی) در یک وزن ارتباطی ضرب شده و سپس جمع می‌شوند. ورودی وزن‌دار شده به صورت روبه‌رو می‌باشد:

$$Y = W_0 + W_1 X_1$$

یک سیگنال خروجی در صورتی ایجاد می‌شود که مجموع آن از حد آستانه عبور کند. سیگنال خروجی توسط یک تابع فعال‌ساز درجه‌بندی می‌شود. با توجه به اینکه احتمال رخداد گونه‌ها بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند در تهیه نقشه‌های پراکنش گونه‌ای معمولاً از تابع سیگموئیدی استفاده می‌شود (۱۷).

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

تابع سیگموئیدی: حاصل جمع وارد تابع سیگموئیدی شده و این تابع شدت سیگنال خروجی را تنظیم می‌کند.

$$h = f(w_0 + w_1 x) = \frac{1}{1 + e^{-(w_0 + w_1 x)}}$$

تعداد لایه‌های مخفی تعیین کننده نوع مسائلی است که شبکه می‌تواند حل کند. از نظر تئوری، امکان استفاده از بیش از

جدول ۱. اجزای مدل واریوگرام خصوصیات خاک

نام متغیر	نوع مدل	مدل واریوگرام	اثر قطعه‌ای	آستانه	$C_0/(C+C_0)$ درصد	کلاس وابستگی	دامنه تأثیر	RMSE
Sand	همسانگرد	کروی	۱/۶۸	۳/۳۶۱۰۰	۴۹/۹۹	متوسط	۱۲۳۴۰	۱/۳۶
Silt	همسانگرد	نمایی	۳۳	۷۰/۶۶	۴۶/۷	متوسط	۹۴۰۰	۶/۷
Clay	همسانگرد	کروی	۰/۱۸۴۰۰	۱/۲۲۵۰۰	۱۵/۰۲	قوی	۱۳۵۲۰	۰/۷۳
EC	همسانگرد	نمایی	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۲۲۶۲	۰/۰۴	قوی	۶۱۰	۰/۱۶
pH	همسانگرد	نمایی	۰/۰۲۵۶۰	۰/۲۰۴۲	۱۲/۵۴	قوی	۳۸۰	۰/۴۴
SP	همسانگرد	نمایی	۲۴/۵	۱۰۸/۱	۲۲/۶۶	قوی	۸۸۰	۹/۲۶
Caco ₃	همسانگرد	کروی	۰/۲۰۶۰۰	۲/۱۶۴۰۰	۹/۵۲	قوی	۱۵۱۰۰	۱/۱۳

جدول ۲. نتایج حاصل از اعتبارسنجی متقابل و نوع روش میان‌یابی متغیرهای خاک

نام متغیر	روش میان‌یابی	MAE	MBE	RMSE
Sand	کریجینگ معمولی	۱/۱	-۰/۰۱۶	۱/۳۶
Silt	کریجینگ ساده	۵/۲	-۰/۳۹	۶/۷
OM	معکوس فاصله وزنی	۰/۹۴	۰/۲	۱/۲۹
Caco ₃	کریجینگ معمولی	۰/۸۱	۰/۰۰۳	۱/۱۳
Clay	کریجینگ معمولی	۰/۵۶	۰/۰۲	۰/۷۳
EC	کریجینگ ساده	۰/۱۳	۰/۰۰۴-	۰/۱۶
OC	معکوس فاصله وزنی	۰/۴۸	۰/۱۱	۰/۶۳
pH	کریجینگ ساده	۰/۳۴	۰	۰/۴۴
SP	کریجینگ معمولی	۷/۳۱	۰/۰۲-	۹/۲۶

به‌عنوان نمونه مدل برازش شده بر روی متغیرهای خاک در جدول ۱ آورده شده است. شکل ۳ مدل واریوگرام برازش شده بر متغیر درصد شن را نشان می‌دهد. این واریوگرام از نوع همسانگرد و به‌شکل کروی می‌باشد. در دامنه تأثیر (A_0) ۱۲۳۴۰ متر با افزایش فاصله مقدار واریوگرام تغییر معنی‌داری نمی‌کند و با حد آستانه $(C+C_0)$ ۳/۳۶ و اثر قطعه‌ای (C_0) ۱/۶۸ دارای ساختار مکانی متوسط در محدوده دامنه تأثیر می‌باشد.

۲۵ سایت غیاب که به‌صورت تصادفی انتخاب شده، انجام گردید. همچنین دو شاخص آماری ضریب کاپا و سطح زیرمنحنی پلاتهای ROC (Receiver operating characteristic) جهت اعتبارسنجی مدل استفاده شد. ارزیابی مدل با استفاده از نرم‌افزار MEP (طراحی توسط ترکش و یتشکه) انجام گرفت (۱۶، ۱۸ و ۱۹).

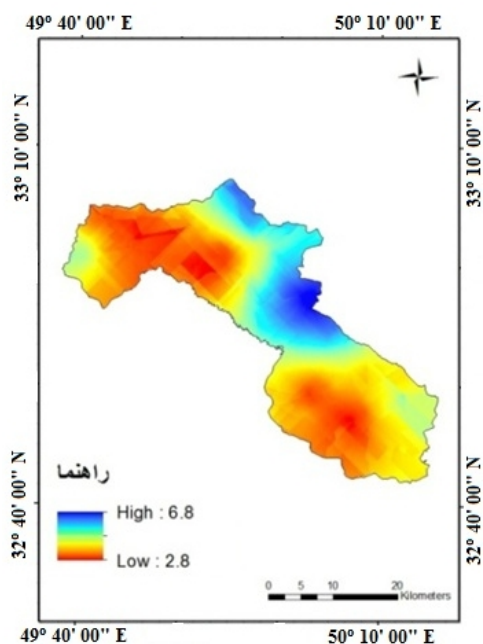
نتایج

مدل‌های واریوگرام

با توجه به مقادیر ریشه دوم مربعات خطا (RMSE)، بهترین مدل‌های واریوگرام برای متغیرهای محیطی انتخاب گردید.

نقشه‌های محیطی

با توجه به شاخص‌های میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین



شکل ۴. نقشه پراکنش مکانی شن

براساس آنالیز همبستگی از بین متغیرهایی که دارای همبستگی بیش از ۸۵ درصد بودند یکی از متغیرها از فرآیند آنالیز حذف شد. براین اساس به علت همبستگی ۹۹ درصد بین ماده آلی و کربن آلی، درصد ماده آلی به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد.

نقشه رویشگاه بالقوه گونه گیاهی کما با استفاده از ANN

نتایج آنالیز حساسیت مدل ANN در این مطالعه نشان داد که مهم ترین متغیرهای محیطی اثرگذار در پراکنش گونه کما به ترتیب درصد سیلت، درصد شن، ارتفاع، شیب و درصد ماده آلی می باشد (جدول ۴). ساختار شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده با ۵ متغیر به عنوان ورودی و ۷ نورون در لایه مخفی در شکل ۵ نشان داده شده است. خروجی در نهایت احتمال رخداد گونه کما در منطقه مورد مطالعه می باشد. نتایج حاصل از پیش بینی مدل ANN با الگوریتم Back Propagation با یک لایه مخفی دارای ۷ نورون و ۵ متغیر ورودی در محیط نرم افزار Statistica تولید و سپس در محیط نرم افزار ArcGIS تبدیل به نقشه شد که در شکل ۶ برای نمایش بهتر به ۴ طبقه تقسیم بندی

قدر مطلق خطا (MAE) و ریشه دوم مربعات خطا (RMSE) بهترین روش میان یابی جهت تولید نقشه های محیطی انتخاب گردید. جدول ۲ نشان دهنده شاخص های مذکور برای خصوصیات خاک می باشد. با اعمال عملیات میان یابی نقشه پراکنش مکانی هرمتغیر محیطی تولید گردید. به عنوان نمونه شکل ۴، پراکنش مکانی درصد شن به روش کریجینگ معمولی را نشان می دهد.

تعیین ورودی مدل

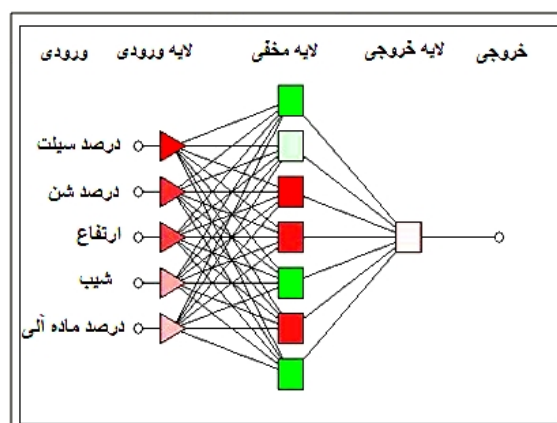
باتوجه به آنالیز مؤلفه های اصلی، ماتریس همبستگی از ۳۱ متغیر محیطی، تعداد ۵ متغیر مستقل شامل درصد شن، درصد سیلت، درصد ماده آلی، ارتفاع و شیب به عنوان ورودی مدل انتخاب گردید. باتوجه به بیشترین مقادیر آنالیز مؤلفه های اصلی، درصد شن و سیلت به عنوان متغیرهای معرف محور اول، متغیرهای ارتفاع و شیب معرف محور دوم و درصد ماده آلی و کربن آلی به عنوان معرف محور سوم شناخته شدند. سه محور اول حاصل از آنالیز مؤلفه های اصلی ۷۶ درصد کل تغییرات را توجیه کردند که به ترتیب سهم محور اول ۵۰/۷ درصد، محور دوم ۱۷/۵ درصد و محور سوم ۷/۶ درصد می باشد (جدول ۳). لازم به ذکر است

جدول ۳. مقادیر ویژه حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی

نام متغیر	علامت اختصاری	۱	۲	۳
هدایت الکتریکی	EC	۰/۰۸۳	۰/۰۳۱	۰/۰۶
کربن آلی	OC	-۰/۲۵۳	۰/۲۴۸	-۰/۴۲۷
اسیدیته	pH	۰/۳۱۱	-۰/۱۹۶	-۰/۳۲۳
شن	Sand	۰/۳۵۸	-۰/۰۷۳	۰/۰۰۱
رطوبت اشباع	SP	-۰/۲۳۱	۰/۰۳۱	-۰/۲۴۲
رس	Clay	-۰/۳۱۵	۰/۱۲۳	۰/۰۴۲
مواد آلی	OM	-۰/۰۶۱	۰/۱۷۹	-۰/۵۴۴
کربنات کلسیم	Caco ₃	-۰/۲۴۹	-۰/۰۲۷	-۰/۰۵۹
سیلت	Silt	۰/۳۷۳	-۰/۴۷	-۰/۳۳۳
بارندگی در خشک‌ترین ماه	P.d.m	-۰/۰۱۷	-۰/۰۰۲	-۰/۰۹۹
بارندگی در مرطوب‌ترین ماه	P.wet.m	-۰/۱۹۶	-۰/۰۱۵	-۰/۰۸۳
بارندگی در مرطوب‌ترین فصل	P.wat.q	۰/۰۸۱	-۰/۱	۰/۱۴۴
دامنه درجه حرارت سالانه	T.r	۰/۰۹۸	۰/۰۹۵	-۰/۰۰۹
درجه حرارت فصلی	T.s	۰/۰۳۱	۰/۰۱۵	-۰/۰۰۳
بارندگی در خشک‌ترین فصل	P.d.q	-۰/۲۶۷	۰/۱۳	۰/۲۵۶
بارندگی در سردترین ماه	P.c.m	-۰/۱۱۹	-۰/۰۵	۰/۰۷۴
میانگین درجه حرارت خشک‌ترین فصل	T.D.Q	۰/۰۳۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۸
میانگین درجه حرارت گرم‌ترین فصل	T.war.Q	-۰/۰۰۷	۰/۰۴۱	۰/۰۱۶
حداکثر درجه حرارت گرم‌ترین فصل	Max.t.war	-۰/۱۱	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۶
میانگین درجه حرارت مرطوب‌ترین فصل	T.wet.q	۰/۱۰۷	-۰/۰۹۸	۰/۰۸۷
مناطق هم دما	Isotherm	-۰/۲۶۷	-۰/۰۸۷	-۰/۰۰۷
بارندگی فصلی	P.s	۰/۰۶۴	۰/۰۶۶	-۰/۰۹۵
میانگین دمای روزانه	D.m.t	-۰/۱۳۹	۰/۰۶	-۰/۰۶۲
میانگین درجه حرارت سردترین فصل	T.C.Q	۰/۰۲۲	-۰/۰۱۳	-۰/۰۰۴
میانگین بارندگی سالانه	A.m.p	۰/۰۳۷	۰/۰۸۵	-۰/۱۰۱
میانگین دمای سالانه	A.m.t	-۰/۰۲۵	-۰/۰۱۱	۰/۰۱
حداقل درجه حرارت سردترین فصل	Min.c.q	-۰/۰۹۸	-۰/۲	۰/۱۲۱
بارندگی در گرم‌ترین ماه	P.war.m	۰/۰۲۹	۰/۰۸۲	۰/۰۱۷
جهت	Aspect	-۰/۰۸۸	-۰/۱۶	-۰/۱۰۲
شیب	Slope	۰/۲۴۴	۰/۶۷۴	-۰/۰۰۱۸
مدل رقومی ارتفاع	Dem	۰/۱۲۳	۰/۵۰۵	۰/۲۸۹

جدول ۴. نتایج آنالیز حساسیت مدل شبکه عصبی مصنوعی

درصد سیلت	درصد شن	ارتفاع	شیب	درصد ماده آلی	
۱/۴۲	۱/۳۹	۱/۲۹	۱/۲۱	۱/۰۹	ضریب
۱	۲	۳	۴	۵	رتبه



شکل ۵. ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده

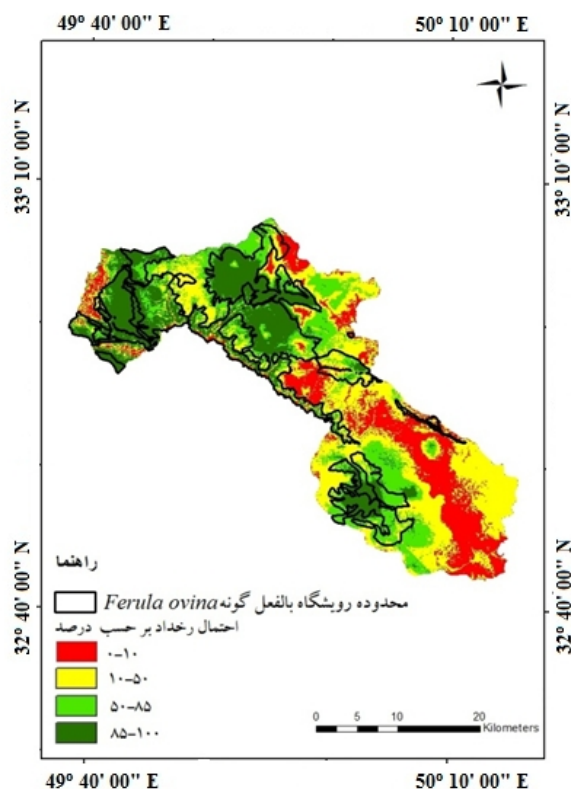
شده است که مساحت هر طبقه در جدول ۵ نمایش داده شده است.

نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از روش ماتریس خطا به روش جایگزینی نشان داد که مدل پیش‌بینی شده با مقدار سطح زیر منحنی پلات‌های ROC برابر با ۰/۹ دارای تطابق عالی با واقعیت می‌باشد. هم‌چنین با ضریب کاپای ۰/۶۶ تطابق خوب مدل را بیان می‌کند. جدول ۶ بیانگر ضریب کاپا، مساحت زیر منحنی پلات‌های ROC، اپتیمم آستانه و میزان صحت کلی به دو روش جایگزینی و داده‌های مستقل است.

بحث

نتایج آنالیز حساسیت مدل ANN در این مطالعه نشان داد که مهمترین متغیرهای محیطی اثرگذار در پراکنش گونه کما به ترتیب درصد سیلت، درصد شن، ارتفاع، شیب و درصد ماده آلی می‌باشد. بنابراین خصوصیات توپوگرافی و خاک از مهمترین عوامل اثرگذار بر پراکنش گیاه *F. ovina* در یک مقیاس محلی هستند. نتایج حاصل از انطباق نقشه‌های محیطی

با نقشه پیش‌بینی پراکنش گونه *F. ovina* نشان داد که بیشترین احتمال رخداد گونه *F. ovina* در محدوده ارتفاع ۲۸۰۰-۲۴۰۰ متر، شیب ۴۰-۱۵ درجه، شن ۲۵/۲۰-۹ درصد، سیلت ۲۸-۲۲ درصد و ماده آلی ۵۷/۴-۵/۳ درصد مشاهده می‌شود. گیسس و همکاران (۱۰)، بیان کردند در مقیاس کوچک عوامل خاک و توپوگرافی نسبت به متغیر اقلیم نقش تعیین‌کننده‌تری دارند. برخی دانشمندان خاطرنشان کرده‌اند که عواملی نظیر توپوگرافی را بایستی در مدل‌ها گنجانند و این کار در برخی از مطالعات نظیر کیت و همکاران انجام شده است (۱۵). آژیر و شاهمرادی (۱)، طی بررسیات اکولوژیکی گونه مرتعی کما در استان تهران نشان دادند که گونه مذکور در دامنه ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۳۲۰۰ متر از سطح دریا رویش دارد ولی نسبت به شیب محدودیتی نشان نمی‌دهد. گویلی و وهابی (۵)، نیز بیان کردند که رویشگاه گونه کما بر روی اراضی نسبتاً مرتفع ۲۷۰۰ تا ۲۹۰۰ متر از سطح دریا و با شیب متوسط ۳۰ تا ۶۰ درصد و روی دامنه‌های شمالی قرار گرفته است و در خاک‌های رسی و سنگین و با سنگریزه سطحی نسبتاً زیاد مشاهده می‌شود. ایروانی



شکل ۶. نقشه رویشگاه بالقوه گونه *F. ovina*

جدول ۵. مساحت طبقات نقشه رویشگاه بالقوه گونه *F. ovina*

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	احتمال رخداد
۱۹	۱۸۹۸۱	۰-۱۰
۳۳	۳۳۳۰۱	۱۰-۵۰
۲۳	۲۲۸۲۸	۵۰-۸۵
۲۵	۲۴۷۸۱	۸۵-۱۰۰

مجموعه‌ای از پلات‌ها به همراه اندازه‌گیری عوامل محیطی کنترل کننده آن می‌باشد. سپس رویشگاه بالقوه گونه کما به صورت یک نقشه نمایش داده شد و مناطق مستعد رویش گونه شناسایی گردید. نقشه پراکنش گونه کما استخراج شده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، با توجه به مقادیر سطح زیر منحنی پلات ROC و ضریب کاپا، تطابق عالی تا خوب را براساس طبقه‌بندی برخی از محققین نشان می‌دهد (۱۶ و ۱۸). سطح رویشگاه مناسب این گونه (احتمال رخداد ۸۵-۱۰۰ درصد) با توجه به نقشه پیش‌بینی منطقه ۳۶۷۱۳ هکتار می‌باشد که حدود ۳۷ درصد

و همکاران (۲)، مهمترین عوامل مؤثر برگونه کما در حوضه رودخانه وهرگان فریدون شهر را بافت خاک، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا دانسته و متذکر شده است که این گونه عمدتاً در مناطقی با بافت سنگین مشاهده می‌گردد. نتایج این مطالعه نیز بیانگر تأثیر ارتفاع، شیب و بافت نسبتاً سنگین بر پراکنش گونه کما می‌باشد.

با استفاده از مدل شبکه عصبی، احتمال رخداد گونه کما با به‌کارگیری فاکتورهای محیطی در مقیاس محلی تعیین گردید. بدین منظور نیاز به داده‌های حضور گونه مذکور در یک

جدول ۶. ارزیابی مدل ANN به روش مستقل و جایگزینی

شاخص	روش جایگزینی	داده‌های مستقل
ضریب کاپا	۰/۶۶۱	۰/۶۸
مساحت زیر منحنی پلات‌های ROC	۰/۹	۰/۸۸
اپتیمم آستانه	۰/۶۶	۰/۴۲
میزان صحت کلی	۰/۸۳	۰/۸۲

از کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است.

نتیجه‌گیری

شبکه عصبی مصنوعی از داده‌های حضور و عدم حضور جهت مدلسازی بهره می‌گیرد، بنابراین از توان تفسیر اکولوژیکی بالاتری نسبت به مدل‌های پروفیل برخوردار است (۱۱). شبکه عصبی بدون در نظر گرفتن هیچ پیش فرضی نسبت به شکل منحنی پاسخ قادر است بهترین رابطه ممکن بین متغیرهای مستقل و وابسته را برازش نماید (۱۴). استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دارای برخی معایب نیز می‌باشد. بسیاری از دانشمندان نظیر فرانکلین اظهار کردند که شبکه‌های عصبی مصنوعی مستلزم مهارت نسبتاً متوسط و تجربه می‌باشند (۱۷). شبکه بایستی با تعداد زیادی از داده‌ها اعتبار سنجی شود و

اعتبارسنجی امری زمان‌بر و تکراری می‌باشد. به علاوه، عملکرد یک شبکه ممکن است تحت تاثیر اوزان ارتباطی اولیه باشد. برای غلبه بر این مشکل، گاهگان پیشنهاد کرد که شبکه‌های مختلف با اوزان ارتباطی اولیه متفاوت ایجاد شوند و تنها آنهایی انتخاب شوند که نتایج طبقه‌بندی بهتری را ارائه می‌دهند (۹). از مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌توان در معرفی گونه‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی مرتع نظیر بذرکاری، بوته کاری و تعیین مناطقی با پتانسیل رویش گونه‌های با ارزش دارویی، صنعتی و یا تعیین مناطق با گونه‌های نادر و در حال انقراض مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مدل شبکه عصبی مصنوعی قادر به پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم در آینده می‌باشد.

منابع مورد استفاده

- آزیر، ف. و ا. شاهرادی. ۱۳۸۶. آت اکولوژی گونه *Ferula ovina* در استان تهران. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان/ایران. ۱۴(۳): ۳۶۷-۳۵۹.
- ایروانی، م.، ج. خواجه الدین، م. بصیری. ۱۳۸۰. تعیین عوامل محیطی مهم و مؤثر بر رویشگاه سه گونه مرتعی در حوضه رودخانه وهرگان. مجموعه مقالات دومین سمینار ملی مرتع و مرتعداری در ایران. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران ۵۴۹-۵۳۳.
- زارع چاهوکی، م. ع. ۱۳۸۶. کاربرد روش رگرسیون لجستیک در بررسی رابطه بین حضور گونه‌های گیاهی با عوامل محیطی در مراتع پشتکوه استان یزد. نشریه پژوهش و سازندگی ۷۶(۱): ۱۴۳-۱۳۶.
- ساکي، م.، م. ترکش، م. بصیری و م. ر. وهابی. ۱۳۹۱. کاربرد مدل رگرسیون لجستیک درختی در تعیین رویشگاه بالقوه گونه گیاهی گون زرد *Astragalus verus*. اکولوژی کاربردی ۲: ۳۷-۲۷.
- گویلی، ا. و م. وهابی. ۱۳۹۰. تاثیر برخی خصوصیات خاک بر پراکنش پوشش گیاهی مراتع زاگرس مرکزی ایران. مجله علوم و فنون

کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۹: ۲۴۵-۲۵۸.

۶. مقیمی، ج. ۱۳۸۴. معرفی برخی گونه‌های مهم مرتعی مناسب برای اصلاح و توسعه مراتع ایران. انتشارات آرون تهران.

7. Cambardella, C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, D. L. Karlen, R. F. Turco and A. E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal* 58: 1501-1511.
8. Elith, J., J. R. Leathwick and T. Hastie. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 77(4): 802-813.
9. Gahegan, M. 2003. Is inductive machine learning just another wild goose (or might it lay the golden egg) *International Journal of Geographical Information Science* 17(1): 69-92.
10. Gibson, L. A., B. A. Wilson, D. M. Cahill and J. Hill. 2003. "Modeling habitat suitability of the swamp antechinus (*Antechinus minimus maritimus*) in the costal heathlands of southern Victoria, Australia" *International Journal of Biological Conservation* 117:143-150.
11. Guisan, A. and N. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
12. Gurney, K. N. 1997. An introduction to neural networks. CLP Press, London, 234p
13. Heaton, J. 2008. Introduction to Neural Networks for C#. 2 edn. Cheasterfield: Heaton Research Inc, 432p.
14. Heaton, J. 2010. Programming Neural Networks with Encog2 in C#. Heaton Research, Inc, 496p.
15. Keith, D. A., H. R. Ackakaya, W. Thuiller, G. F. Midgley, R. G. Pearson, S. J. Phillips, H. M. Regan, M. B. Araujo and T.G. Rebelo. 2008. "Predicting extinction risks under climate change: coupling stochastic population models with dynamic bioclimatic habitat models", *Biology Letters* 4(5): 560-563.
16. Landis, J. R. and G. G. Koch. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33: 159-174.
17. Piccinini, C. 2011. Assessing the impact of climate change on plant distributions using Artificial Neural Networks . PhD. Thesis, Kingston university.
18. Swets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240:1285-1293.
19. Tarkesh, M. and G. Jetsheke. 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale, *Environmental and Ecological statistics* 19(3): 437-457
- 20 Watts, M. and Worner, S, 2012, "Using artificial neural networks to predict the distribution of bacterial crop diseases from biotic and abiotic factors", *Computational Ecology and Software* 2(1):70-79.