Original Article, Vol. 10, No. 1, Spring, 2022, pp 53-66

Desert Management
www.isadmc.ir

Iranian Scientific Association of Desert Management and Control

Prediction of Potential Distribution of *Prosopis Farcta* L. in Marginal Rangelands of Niatak River of Sistan

V. Azimi[1], H. Piri Sahragard[2*], P. Karami[3], M. Saberi[4]

1. MSc Graduated of Range management, Range and Watershed department, Water and Soil College, University of Zabol, Zabol, Iran.
2. Associate professor, Soil and Water College, Range and Watershed Department, University of Zabol, Zabol, Iran.
3. Ph D Graduated of environmental science, University of Malayer, Hamedan, Iran.
4. Assistant professor, Soil and Water College, Range and Watershed Department, University of Zabol, Zabol, Iran.

* Corresponding Author: hopiry@uoz.ac.ir

Received date: 10/02/2022 **Accepted date: 18/04/2022**

doi 10.22034/jdmal.2022.548628.1374

Abstract

The present study aimed at preparing the potential distribution map and identifiying the environmental requirement of *Prosopis farcta* L. using tree-based and regression methods in the marginal rangeland of Niatak river in Sistan region. For this purpose, species presence data was recorded randomly. Environmental variables were prepared using field sampling and digital elevation model. In order to achieve the pseudo-absence points, first habitat modeling was performed using the domain model, then pseudo-absence points were prepared using the prediction map obtained from this method. Species distribution modelling was conducted using random forest (RF), classification and regression trees (CART) and generalized additive model (GAM). The accuracy of the models used was evaluated using the area under curve criterion. Result showed that the RF with area under curve 0.98 has the highest accuracy. Generalized additive models and classification and regression trees were ranked after RF. The highest and lowest values of kappa index were assigned to the RF with 0.75, and GAM with 0.43 Kappa value. Accordingly, the RF model is the most accurate model in predicting the potential habitat distribution. Analysis of the variable's importance showed that in the studied scale, edafic factors and distance from the river have greater effect on species distribution than other factors. So that, in all models used, acidity and electrical conductivity were identified as the most important variables. In general, it is suggested that habitat development plans for *Prosopis farcta* should be planned in the central and marginal parts of the Niatek river due to better suitability of these regions for species distribution.

Keywords: Distribution modeling; Threshold; Random Forest; Soil properties; Distance from the river

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

مقاله پژوهشی، سال دهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱، صفحات ۵۳ تا ۶۶

نشریه مدیریت بیابان

www.isadmc.ir

انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران

پیش‌بینی پراکنش بالقوهٔ کهورک (*Prosopis farcta* (L.) در مراتع حاشیه رودخانه نیاتک سیستان

وحید عظیمی[۱]، حسین پیری صحراگرد[۲]*، پیمان کرمی[۳]، مرتضی صابری[۴]

۱. دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲. دانشیار دانشکدهٔ آب و خاک، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳. دانش آموختهٔ دکتری محیط زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران.
۴. استادیار دانشکدهٔ آب و خاک، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
* نویسندهٔ مسئول: hopiry@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۹

doi 10.22034/jdmal.2022.548628.1374

چکیده

پژوهش حاضر با هدف شناخت نیازهای محیطی گونه *Prosopis farcta* (L.) و تهیه نقشهٔ پراکنش بالقوه آن با بهره‌گیری از روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، جنگل تصادفی و مدل تجمعی تعمیم یافته در مراتع حاشیه رودخانهٔ نیاتک منطقهٔ سیستان انجام شد. برای این منظور، داده‌های حضور گونه طی بازدید میدانی و اطلاعات عوامل محیطی با استفاده از نمونه‌برداری میدانی و مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. در آغاز مدل‌سازی رویشگاه با بهره‌گیری از مدل دامنه اجرا و نقشه پیش‌بینی حاصل از این روش برای تهیه نقاط شبه عدم حضور استفاده شد. مدل‌سازی پراکنش گونه با روش‌های جنگل تصادفی، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و روش تجمعی تعمیم یافته انجام شد. ارزیابی دقّت مدل‌های با معیار سطح زیر منحنی انجام شد. نتایج نشان داد که مدل جنگل تصادفی با مقدار سطح زیر منحنی ۰/۹۸ دارای بیشترین دقّت پیش‌بینی است. پس از این روش، به‌ترتیب مدل‌های جمعی تعمیم یافته و درخت طبقه‌بندی و رگرسیون قرارگرفت. بیشترین و کمترین مقدار تطابق با شاخص کاپا به‌ترتیب مقدار ۰/۷۵و ۰/۴۳ به مدل جنگل تصادفی و مدل جمعی تعمیم یافته اختصاص دارد. نتایج بررسی اهمیت متغیرها نشان داد که در مقیاس مورد بررسی، عوامل مرتبط با خاک و فاصله از رودخانه در مقایسه با دیگر عوامل، تأثیر بیشتری در پراکنش گونه مذکور دارند، به‌نحوی که در تمامی مدل‌های مورد استفاده متغیرهای درجهٔ اسیدیته و هدایت الکتریکی به‌عنوان متغیرهای مهم‌تر شناسایی شد. در مجموع، با توجه به اینکه قسمت‌های مرکز و حاشیه رودخانه نیاتک دارای بیشترین مطلوبیت برای انتشار گونه کهورک هستند، پیشنهاد می‌گردد طرح‌های توسعه رویشگاه‌های گونه *Prosopis farcta* در این مناطق برنامه‌ریزی شود.

واژگان کلیدی: جنگل تصادفی؛ حد آستانه؛ فاصله از رودخانه؛ مدل‌سازی پراکنش؛ ویژگی‌های خاک

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

■ مقدمه

مدل‌های پراکنش گونه‌ها مدل‌های عددی و تجربی هستند که با بهره‌گیری از داده‌های مربوط به مکان گونه‌ها مانند فراوانی، حضور و متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر پراکنش آن‌ها ساخته می‌شود (۶). این مدل‌ها علاوه بر تشریح شرایط بوم‌شناختی مورد نیاز گونه‌ها و مسائل به مربوط به آشیان گونه‌ها، نقشه‌های پیش‌بینی پراکنش را تولید می‌کنند. این نقشه‌ها معمولاً در طرح‌های برنامه‌ریزی برای حفاظت مورد استفاده قرار می‌گیرند (۸، ۲۷). علاوه بر این، مدل‌های پراکنش گونه‌ها می‌توانند به‌منظور بررسی الگوها و دلیل پراکنش آن‌ها، ویژگی‌های جامعه‌های گیاهی مانند غنای گونه‌ها در مقیاس‌های مکانی بزرگ، یافتن پاسخ فرض‌های بوم‌شناختی مرتبط با تغییرات جغرافیایی پراکنش و ویژگی‌های گونه‌ها مورد استفاده قرار گیرند (۴، ۱۹). یکی از اجزای اصلی تئوری‌های بوم‌شناختی که مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها را پشتیبانی می‌کند، تئوری نیچ یا آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها است. بر این اساس، پراکنش بالقوه یک گونه زیرمجموعه‌ای از آشیان بوم‌شناختی (اکولوژیک) بنیادی گونه است که در شرایط فعلی در زیست‌کره وجود دارد (۶). پاسخ بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی به گرادیان محیطی، به‌عنوان یکی از ابعاد اصلی آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها، در مدیریت و حفاظت از پوشش گیاهی از اهمیّت قابل توجهی برخوردار است. با استفاده از منحنی‌های پاسخ گونه به عوامل محیطی علاوه بر شناخت دامنه بهینه عوامل محیطی برای هر گونه، می‌توان مدل پاسخ گونه به گرادیان‌های محیطی را نیز ارائه داد (۳).

رابطه بین متغیرهای محیطی و پراکنش پوشش گیاهی به‌وسیله روش‌های مختلف مدل‌سازی مورد توصیف قرار گرفته است. از مهم‌ترین روش‌های مورد استفاده می‌توان به روش‌های رگرسیونی مانند مدل تعمیم‌یافته خطی[1] (۲۳) و مدل تجمعی تعمیم یافته[2] و روش‌های یادگیری ماشین مانند مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی[3]، درخت طبقه‌بندی و رگرسیون[4] و روش آنتروپی حداکثر[5] اشاره کرد (۳۴، ۳۵، ۳۶). مدل جنگل تصادفی علاوه بر تعیین اهمیّت متغیرها، به‌دلیل ارزیابی درونی نتایج و وزن‌دهی به نتایج هر درخت، می‌تواند نتایج دقیقی را تولید کند (۲، ۱۱). در این روش یک سوم داده‌های اصلی در ایجاد درخت استفاده نمی‌شوند که به‌عنوان نمونه‌های بیرون از سبد نامیده می‌شوند. این قسمت می‌تواند برای ارزیابی عملکرد مدل مورد استفاده قرارگیرد (۲۴). مدل جنگل تصادفی به دو روش میانگین کاهش دقّت[6] و میانگین کاهش ضریب جینی[7] اهمیت متغیرها را نشان می‌دهد (۲).

مقایسهٔ چهار مدل خطی تعمیم یافته، مدل جمعی تعمیم یافته، درخت رگرسیون تقویت شده و جنگل تصادفی در برآورد پراکنش گونه‌های گیاهی نشان داد که روش جنگل تصادفی پراکنش گونه‌های گیاهی را بهتر پیش‌بینی می‌کند. از این رو می‌توان از این مدل برای معرفی گونه‌های مناسب در برنامه‌های اصلاحی مرتعی استفاده نمود (۱۳). کاربرد مدل جنگل تصادفی در شناسایی متغیرهای محیطی مؤثر بر توزیع گونه‌ها در مراتع تفتان نشان داد که مدل جنگل تصادفی مدلی قوی برای تجزیه و تحلیل روابط بین توزیع گونه‌های گیاهی و متغیرهای محیطی است (۲۸). مقایسه عملکرد جنگل تصادفی با روش‌های کریجینگ پیشرفته نیز نشان داد که مدل جنگل تصادفی می‌تواند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری را در مقایسه با روش کریجینگ انجام دهد (۱۱).

گونه *Prosopis farcta* (L.) از جنس Prosopis و خانواده Leguminosea، گیاهی بوته‌ای است که از نظر حفاظت و جلوگیری از فرسایش خاک بسیار حائز اهمیت است. عصارهٔ اتانولی-آبی ریشه کهورک از فعالیت ضدمیکروبی و آنتی اکسیدانی مناسبی برخوردار است. با توجه به قرار گرفتن منطقه سیستان در اقلیم بیابانی و ادامه خشکسالی‌های مخرب، علاوه بر کاهش قابل توجه در سطح کلی تاج پوشش گونه‌های گیاهی به ویژه گونه کهورک، رویشگاه بسیاری از گونه‌های بومی منطقه نیز در معرض تهدید جدی قرار گرفته است. بر این اساس، لزوم توسعه

[1] Generalized Linner Model: GLM
[2] Generalized Additive Model: GAM
[3] Random Forest: RF
[4] Classification and Regression Tree: CART
[5] Maximum entropy: MaxEnt
[6] Average precision drop
[7] Average Gini coefficient decrease

پوشش‌گیاهی این منطقه بر اساس استعداد اراضی متأثر از ویژگی‌های محیطی غالب به‌ویژه خاک برای حفظ و توسعه رویشگاه‌های گونه‌های بومی منطقه بیش از پیش احساس می‌شود. این امر مستلزم شناخت و تشریح نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های بومی منطقه و برآورد پراکنش بالقوه این گونه‌ها است. از سوی دیگر، فقدان اطلاعات کمّی در خصوص نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های گیاهی بومی منطقه، مدیریت صحیح عرصه‌های رویشگاهی این گونه‌ها را با محدودیت‌های جدی مواجه ساخته است. بنابراین بررسی تغییرات دامنه پراکنش گونه‌های بومی در مقیاس محلی جهت حفظ و مدیریت بهینه رویشگاه‌های موجود و توسعه رویشگاه‌های گونه در مناطق مستعد ضروری است. واضح است که مدل‌سازی پراکنش این گونه با روش‌های دقیق و کاربرپسند علاوه بر فراهم آوردن امکان شناخت نیازهای رویشگاهی گونه، می‌تواند با برقراری ارتباط بین نیازهای بوم‌شناختی هر گونه و شرایط محیطی غالب در هر منطقه، منجر به تولید نقشه‌های دقیق از پراکنش بالقوه گونه‌ها شده و زمینه برنامه‌ریزی منطبق با شرایط واقعی و در نتیجه بهره‌برداری پایدار از رویشگاه‌های آن را فراهم آورد. براین اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی دقّت پیش‌بینی روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، جنگل تصادفی و مدل تجمعی تعمیم یافته در تهیه نقشه بالقوه پیش‌بینی پراکنش و شناخت صحیح از نیازهای رویشگاهی گونه *Prosopis farcta* در مراتع منطقه خشک و بیابانی دشت سیستان انجام شد.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

منطقه سیستان با وسعت ۱۵۱۹۷ km^2 در جنوب شرق ایران و قسمت شمالی استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. محدوده مورد بررسی با مساحت ۱۲۳/۵۲ کیلومتر مربع در حدود جغرافیایی ″۴۳′۴۹ °۳۰ تا ″۴۹′۵۴ °۳۰ عرض شمالی و ″۲۲′۳۰ °۶۱ تا ″۰۵′۳۷ °۶۱ طول شرقی در اطراف رودخانه نیاتک و در شرق زابل قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع منطقه از سطح دریا ۴۷۸ m و اقلیم آن گرم و خشک است. منطقه پژوهش با بارندگی کمتر از ۷۰mm یکی از نواحی خشک کشور به‌حساب می‌آید. میانگین بارش سالانه ۵۷ mm و دما نیز از ۹- تا ۴۹ °C متغیر است (۳۰). منطقه مورد بررسی از اراضی ملی حوزه شهرستان زابل است که به‌نام اراضی میانکنگی، جنگل بی‌بی دوست یا شنزار میانکنگی شناخته می‌شود. در این منطقه حدود ۸۱٪ از پوشش گیاهی سواحل رودخانه را گونه‌های خشبی است (۱۴). از دیگر گونه‌های گیاهی موجود در منطقه مورد بررسی می‌توان به گونه‌های درختچه‌ای از جنس تاغ و گز اشاره کرد.

جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پوشش‌گیاهی و متغیرهای محیطی

برای انجام بررسی میدانی پس از شناسایی حدود پراکنش گونه *Prosopis farcta* (L.) با بازدید میدانی، ثبت نقاط حضور گونه با پیمایش میدانی و با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب دستی انجام شد. ثبت حضور گونه در ۱۰۰ نقطه بصورت انتخابی و با پیمایش صحرایی انجام شد. از آنجا که روش‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر از گروه روش‌های طبقه‌بندی کننده هستند پس به دو نوع داده (حضور و عدم حضور) نیاز است. از این رو، علاوه بر ثبت ۱۰۰ نقطه حضور برای گونه در محدوده مورد بررسی، به‌دلیل لزوم دسترسی به نقاط عدم حضور جهت مدل‌سازی، از نقاط شبه عدم حضور[1] استفاده و تعداد ۲۰۰ نقطه یعنی دو برابر کل نقاط حضور گونه به‌صورت تصادفی به عنوان نقاط شبه حضور در نظر گرفته شد (۱۸). به‌منظور دستیابی به نقاط شبه عدم حضور ابتدا مدل‌سازی رویشگاه با استفاده از مدل دامنه[2] اجرا و از نقشه پیش‌بینی حاصل از این روش برای تهیه نقاط شبه عدم حضور استفاده شد (۱). در این راستا متغیرهای رویشگاه وارد نرم افزار ModEco شدند و مدل‌سازی نقاط عدم حضور با استفاده از این نرم‌افزار انجام شد. خروجی نرم‌افزار نقشه صفر و یک است که در آن پهنه‌های مطلوب برای پراکنش گونه ارزش عددی یک و پهنه‌های فاقد مطلوبیت ارزش صفر را به خود اختصاص می‌دهد. بدین‌ترتیب ۲ برابر نقاط حضور یعنی ۲۰۰ نقطه عدم‌حضور به‌شکل تصادفی در بخش‌هایی‌که به‌عنوان رویشگاه نامطلوب

[1] Pseudo Absence

[2] Domain

شناسایی شده بود، ایجاد شد (۳۱). ایجاد نقاط شبه عدم حضور نیز به‌صورت تصادفی و در نرم QGIS 3.16.3 انجام شد. بازبینی موقعیت نقاط عدم حضور ثبت شده به جهت حصول اطمینان از عدم حضور گونه، با بازدید میدانی انجام شد. در مرحله بعد، با تقسیم تصادفی داده‌های حضور و شبه عدم حضور به‌ترتیب ، ۷۵ و ۲۵٪ داده‌ها برای آموزش ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

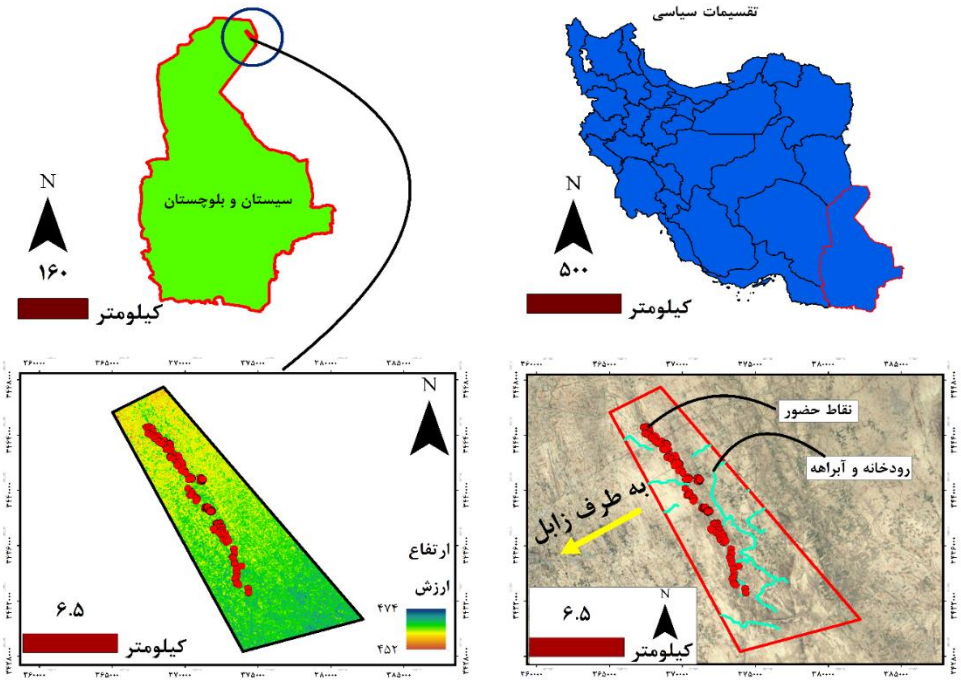
برای تعیین واحد نمونه‌برداری و انجام نمونه‌برداری از خاک، ابتدا نقشه‌های پایه منطقه مورد بررسی تهیه و واحد همگن بوم‌شناختی با تلفیق نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع تعیین شد. بعد از مشخص شدن واحدهای همگن، بازدید میدانی از منطقه مورد نظر صورت گرفت و با توجه به دشتی‌بودن منطقه، مشاهده شد که در یک واحد همگن چند تیپ گیاهی حضور دارند. از این رو غلبه گونه در منطقه مورد بررسی به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد و نمونه‌برداری از خاک درون محدوده‌ای که گونه مورد بررسی غالب بود، انجام شد. بر این اساس، تعداد ۴۷ نمونه خاک به شکل تصادفی، از کل سطح منطقه مورد و از عمق صفر تا ۳۰ cm برداشت شد (شکل ۲). نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری ویژگی‌های بافت، اسیدیته، شوری و میزان مواد آلی خاک با روش‌های استاندارد به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱).

علاوه بر ویژگی‌های خاک، متغیرهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، رطوبت حاصل از سطح[1]، مقدار تشعشعات دریافتی[2]، فاصله از رودخانه و شاخص تراکم پوشش گیاهی نیز جهت مدل‌سازی استفاده شد. متغیر ارتفاع از مدل رقومی ارتفاع با دقّت ۳۲ m استخراج شد.

استخراج شاخص تراکم پوشش گیاهی با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین انجام شد. ارتفاع، شیب، نمایه رطوبت سطح زمین و مقدار تابش دریافتی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد. بارگرمایی دریافتی جهت جغرافیایی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه‌شد (۲۲):

$$HI = \frac{[1 - \cos(\theta - 45)]}{2} \qquad (۱)$$

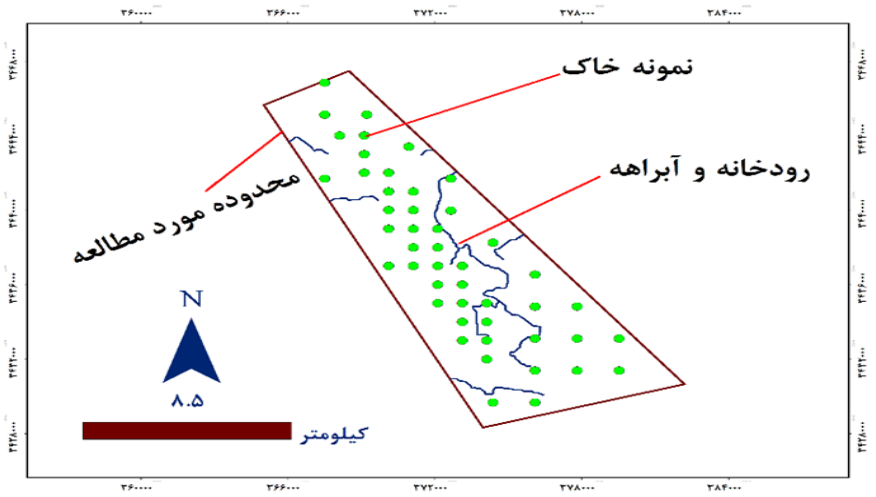
در رابطهٔ فوق، مقدار θ آزیموت جهت برحسب درجه است. مقدار شاخص بار گرمایی بین صفرتا یک است و جهت شمال شرقی دارای مقدار صفر و جهت جنوب غربی دارای مقدار یک است (۲۱).



شکل۱. موقعیت محدوده مورد بررسی، نقاط حضور و رودخانه نیاتک در استان سیستان و بلوچستان

[1] Compound topographic index (CTI)

[2] heat load index (HLI)



شکل۲. موقعیت نقاط نمونه‌برداری از خاک در اطراف رودخانه نیاتک

جدول ۱. اطلاعات مربوط به متغیرهای محیطی مورد استفاده در پژوهش

ردیف	ویژگی	روش اندازه‌گیری	علامت اختصاری	واحد
۱	رس	هیدرومتری	clay	٪
۲	شن	هیدرومتری	sand	٪
۳	سیلت	هیدرومتری	silt	٪
۴	اسیدیته	pH متر	pH	–
۵	شوری خاک	EC متر	EC	dS/m
۶	شیب	رمپ	slope	٪
۷	مواد آلی	والکی و بلک	OM	%
۸	ارتفاع از سطح دریا	مدل رقومی ارتفاع	DEM	m
۹	بار گرمایی	ارتفاع	HLI	-
۱۰	تراکم پوشش گیاهی	محاسبات باندی	NDVI	-
۱۱	رطوبت سطح زمین	ابزار QGIS	CTI	-
۱۲	فاصله از آبراهه	مدل رقومی ارتفاع	DIS-STREUM	m
۱۳	فاصله از رودخانه	ارتفاع	DIS-REVER	m

شاخص تراکم پوشش‌گیاهی با استفاده از تصاویر سامانه گوگل ارث انجین استخراج شد (۷). متغیر فاصله از آبراهه با استفاده از ابزارهای هیدرولوژی در نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 محاسبه شد. ورودی اصلی به مدل‌های پراکنش، نقاط حضور و متغیرهای محیطی هستند که با توجه به اینکه مدل‌سازی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی پراکنش گونه معمولاً دارای یکسری پیش‌فرض است، کنترل این پیش‌فرض‌ها برای هر دو دسته از این ورودی‌ها ضروری است. بدین‌منظور، برای نقاط حضور گونه کاهش خود همبستگی مکانی و برای متغیرهای محیطی همبستگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. یکی از پیش‌پردازش‌های مهم در مدل‌سازی پراکنش، بررسی هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل است. مقدار مناسب این شاخص در برخی از مطالعات ۱۰ گزارش شده است (۳۲). بر این اساس در پژوهش حاضر شاخص کمّی تورم واریانس[1] برای همه متغیرهای مستقل مورد قرار گرفت و با توجه به اینکه شاخص تورم واریانس برای متغیرهای ارتفاع، بار گرمایی، مواد آلی، تراکم پوشش‌گیاهی، رس، شن، سیلت و رطوبت سطح زمین بیشتر از ۱۰ بود، این

[1] Variance Inflation Factor

متغیرها از تحلیل کنار گذاشته شد و مدل‌سازی با دیگر متغیرها انجام شد (۱۶).

مدل‌سازی پراکنش گونه و اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی

مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها با بهره‌گیری از سه نوع از روش‌های مدل‌سازی شامل مدل‌های فقط حضور، مدل‌های حضور و عدم حضور و مدل‌های حضور و شبه عدم حضور انجام می‌شود (۲۵). در مدل‌سازی پراکنش گونه با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که همان نقاط حضور هستند مناطقی که به‌طور بالقوه مناسب هستند شناسایی و گستره احتمالی پراکنش گونه برآورد می‌شود. روش‌های مورد استفاده پیش فرض خاصی نداشته و برای گونه‌های غالب و غیر غالب در رویشگاه قابل اجرا هستند. به‌منظور کشف ارتباط حضور گونه با عوامل محیطی نمونه‌برداری باید به نحوی انجام شود که بیانگر شرایط کل جامعه باشد.

در پژوهش حاضر از روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، روش جنگل تصادفی و مدل تجمعی تعمیم یافته جهت برآورد حدود پراکنش گونه و شناخت نیازهای رویشگاهی آن استفاده شد. اهمیّت متغیرها در مدل جنگل تصادفی با استفاده از میانگین کاهش دقّت به‌دست آمد (۲). حد آستانه نیز با استفاده از آماره TSS[1] اندازه‌گیری شد. بعد از اعمال حد آستانه بر نقشه پیوسته پیش‌بینی حاصل از هر یک از مدل‌ها، نقشه مناطق حضور و عدم حضور گونه‌ها تهیه شد که مناطق حضور و عدم حضور به‌ترتیب معادل رویشگاه مطلوب و نامطلوب در نظر گرفته می‌شود. اعتبارسنجی نقشه‌های پیوسته با استفاده از آماره سطح زیر منحنی[2] و اعتبارسنجی نقشه‌های حضور و عدم حضور پس از اعمال حدآستانه بر روی نقشه پیش‌بینی با اندازه‌گیری شاخص کاپا انجام شد. در اجرای مدل تجمعی تعمیم یافته از هموارساز TP[3] استفاده شد که هموارساز پیش فرض پکیج MGCV است. اجرای مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون با استفاده از پکیج Rrpart و اجرای مدل جنگل تصادفی در بسته R randomForest انجام شد.

برای ارزیابی نتایج مدل‌ها از شاخص‌های سطح زیر منحنی، کاپا و آماره واقعی عملکرد استفاده شد (۱۶، ۱۸)

■ نتایج و بحث

ارزیابی دقّت پیش‌بینی مدل‌های مورد استفاده نشان داد که مقادیر سطح زیر منحنی روش‌های مورد استفاده از یکدیگر متفاوت است. در بین سه روش مورد استفاده، مدل جنگل تصادفی دارای بهترین عملکرد پیش‌بینی است (جدول ۲). علاوه بر این، بیشترین حد ضریب کاپا با مقدار ۰/۹۸ مربوط به روش جنگل تصادفی و کمترین حد این شاخص با مقدار ۰/۶۸۲ مربوط به روش مدل تجمعی تعمیم یافته است. این در حالی است که مقدار ضریب کاپای مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون برابر با ۰/۸۱۱ بود (جدول ۲). بنابراین، می‌توان گفت که در بین مدل‌های مورد استفاده، مدل مدل تجمعی تعمیم یافته با ضریب کاپای ۰/۶۸۲ کمترین توانایی را در تمایز حضور و عدم‌حضور گونه *Prosopis farcta* داشته است، در صورتی‌که مدل‌های حاصل از روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون و جنگل تصادفی بیشترین قابلیت را در طبقه‌بندی حضور و عدم‌حضور گونه *P. farcta* دارا هستند. به‌عبارت دیگر، در بین مدل‌های ارائه‌شده، مدل حاصل از روش مدل تجمعی تعمیم یافته ضعیف‌ترین مدل در تشخیص حضور و عدم‌حضور گونه است، زیرا با اعمال حد آستانه بهینه ۰/۴۹، توانایی مدل پیش‌بینی در تشخیص حضور و عدم حضور گونه از ۰/۶۸ فراتر نرفته است.

برای طبقه‌بندی متغیرهای مستقل روش درخت طبقه‌بندی و رگرسیون با هدف معرفی متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر پراکنش گونه تقسیم‌بندی متغیرها انجام می‌شود و محقق نقشی در تقسیم‌بندی متغیرهای مورد بررسی ندارد. بر اساس نمودار درخت هرس شده حاصل از مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، مهمترین عامل در حضور و عدم حضور گونه گیاهی *P. farcta* اسیدیته بیشتر یا مساوی ۷/۹ است. بر این اساس، حدود ۴۱٪ داده‌ها این شرط را دارا بودند که در گره نهایی قرار گرفته‌اند و این امر

[1] True skill statistic
[2] Area under the curve
[3] Thin plate regression spline

منجر به عدم حضور گونه شده است (شکل ۳). از سوی دیگر، اگر مقدار اسیدیته کمتر از ۷/۹ باشد حدود ۵۹٪ احتمال حضورها توسط دومین گره مادر تأثیرگذار که فاصله از رودخانه است، تعیین می‌شود. در این شاخه مناطقی با فاصله بیشتر یا مساوی ۱۳۴۰m حدود ۴٪ از منطقه را شامل می‌شود که منجر به عدم حضور گونه می‌شود و مناطقی با فاصله کمتر از ۵۳۸ m باعث ایجاد گره نهایی به مقدار تقریبی ۳۸٪ است، به‌طوری که با حرکت این گره به سمت گره مادر بعدی که شامل حدود ۱۷٪ داده‌ها می‌شود مجدداً عامل اسیدیته دارای تأثیرگذاری بیشتری است. به‌گونه‌ای که این‌بار اسیدیته بیشتر یا کمتر از ۷/۸ منجر به عدم حضور گونه می‌شود. گره دیگری که منجر به حضور گونه شده است شامل حدود ۱۳٪ داده‌ها می‌شود.

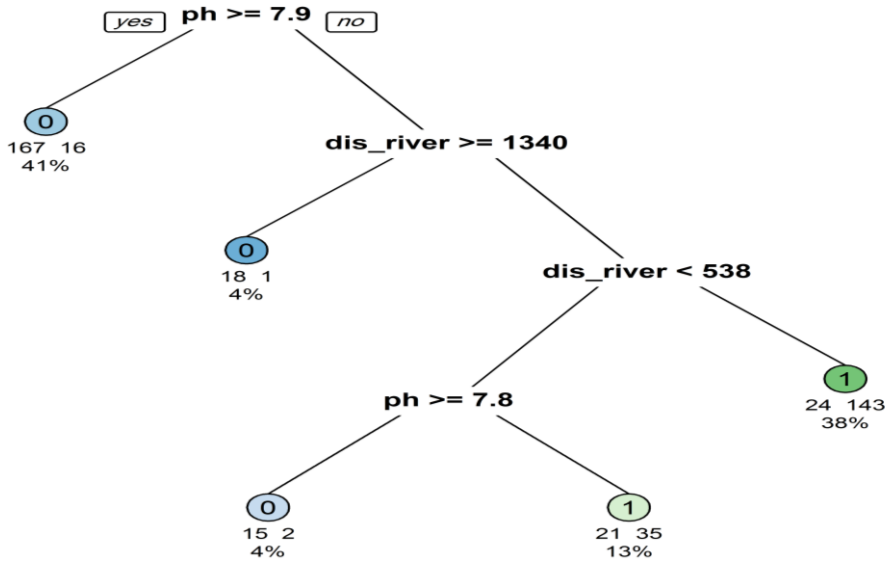
نتایج حاصل از بررسی اهمیت متغیرها بر اساس مدل جنگل تصادفی نیز نشان می‌دهد که به‌ترتیب متغیرهای اسیدیته، هدایت الکتریکی خاک و فاصله از رودخانه مهمترین نقش را در مطلوبیت رویشگاه گونه *P. farcta* در منطقه مورد بررسی دارند (شکل ۴). به‌عبارت دیگر این متغیرها دارای بیشترین وزن در مدل پیش‌بینی حاصل از مدل جنگل تصادفی بوده و بیشترین سهم را در مطلوبیت رویشگاه گونه دارند. بررسی منحنی‌های پاسخ حضور گونه به این عوامل گویای آن است که با افزایش اسیدیته به بیش از ۸ و فاصله از رودخانه به بیش از ۲۰۰۰m مطلوبیت رویشگاه برای استقرار گونه کاهش یافته است. این در حالی است که افزایش هدایت الکتریکی به بیش از ۸ dS/m، احتمال حضور گونه در رویشگاه را افزایش می‌دهد.

منحنی‌های پاسخ مربوط‌به متغیرهای رویشگاهی مؤثر در مدل تجمعی تعمیم یافته بیانگر آن است که در مجموع در بیشتر نمونه‌های برداشت شده نوسان متغیر هدایت الکتریکی حدوداً ثابت بود و تغییر آن در محدوده رویشگاه مطلوب زیاد نیست. با افزایش مقدار هدایت الکتریکی از ۸ تا ۱۰ dS/m بر مطلوبیت رویشگاه گونه افزوده می‌شود. اما بررسی منحنی‌های مربوط به اسیدیته نیز نشان داد که با افزایش مقدار آن از مطلوبیت رویشگاه گونه کاسته می‌شود. به‌گونه‌ای که مناطق با شرایط قلیئیت خاک (۷ تا حدود ۷/۳) از بیشترین مطلوبیت استقرار گونه مورد بررسی برخوردار هستند (شکل ۵). بررسی متغیرهای تأثیرگذار و معنادار در مدل مدل تجمعی تعمیم یافته نیز نشان می‌دهد که از بین متغیرهای رویشگاهی مورد استفاده، متغیرهای اسیدیته و هدایت الکتریکی بیشترین تأثیر را بر حضور گونه در رویشگاه دارند. معیار آکائیکه برای این مدل برابر ۳۲۰/۴۱ محاسبه شد که پس از تکرار مدل با استفاده از هموارسازهای مختلف، این مقدار به‌عنوان نمایه هدر رفت اطلاعات شناسایی شد. بررسی اجمالی نتایج حاصل از تحلیل اهمیت متغیرها در سه مدل مورد استفاده بیانگر مشابهت در متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش رویشگاه بالقوه گونه است، به‌گونه‌ای که نتایج حاصل از سه روش در یک راستا هستند.

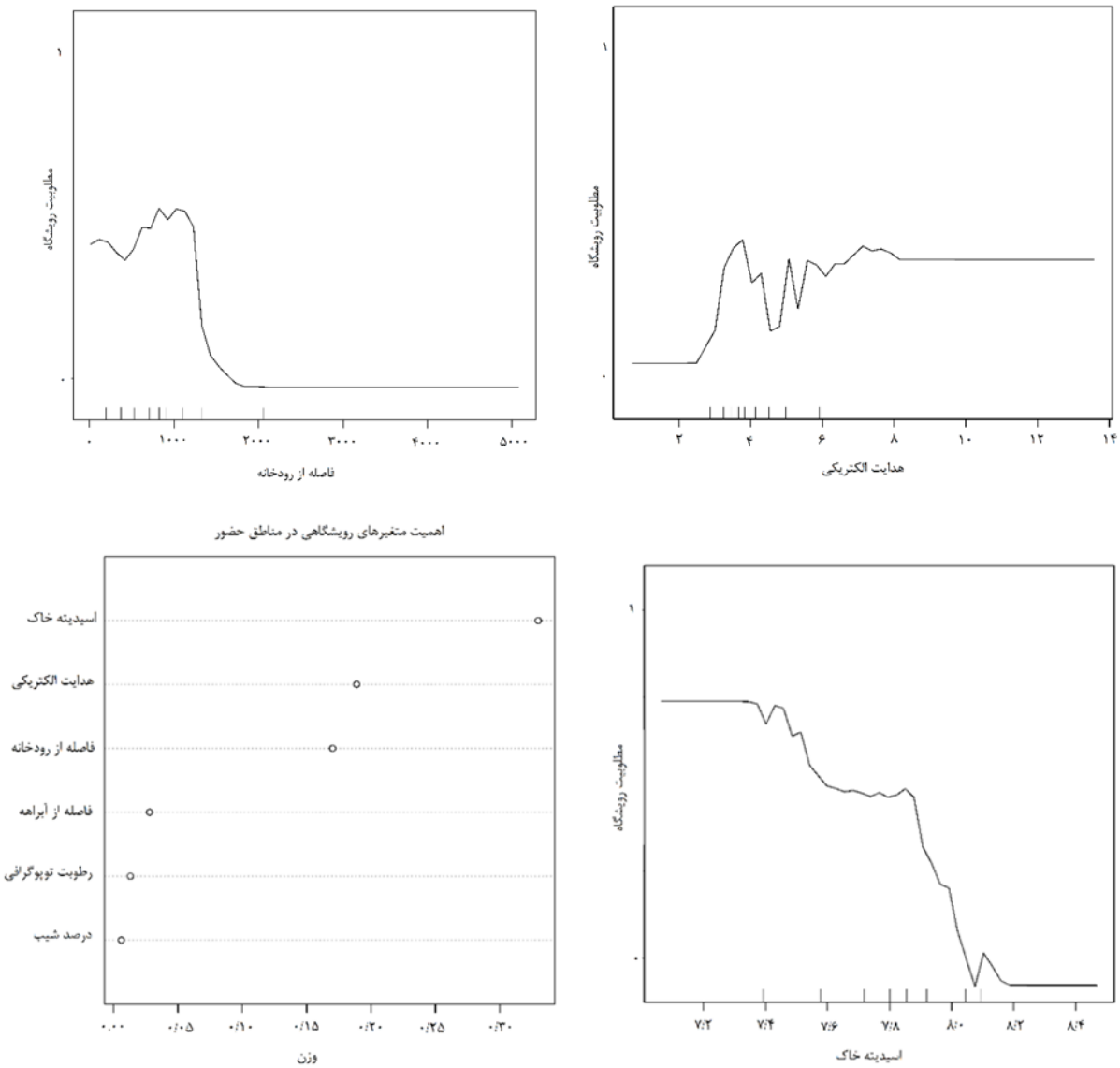
تحلیل اهمیت متغیرها نشان می‌دهد که در مدل‌های حاصل از هر سه روش مورد استفاده، ویژگی‌های مربوط به خاک به‌عنوان عامل دارای بیشترین تأثیر در پراکنش گونه *P. farcta* در مراتع حاشیه رودخانه نیاتک هستند. به‌طوری که در مدل پیش‌بینی جنگل تصادفی به‌ترتیب متغیرهای pH، EC و فاصله از رودخانه، در مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون نیز به ترتیب متغیرهای pH و فاصله از رودخانه و در مدل تجمعی تعمیم یافته هم متغیرهای متغیرهای pH و EC بیشترین تأثیر را بر پراکنش مکانی گونه دارند.

جدول۲. ارزیابی عملکرد کلی پیش‌بینی مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی پراکنش گونه *P. farcta* در داده‌های آزمون

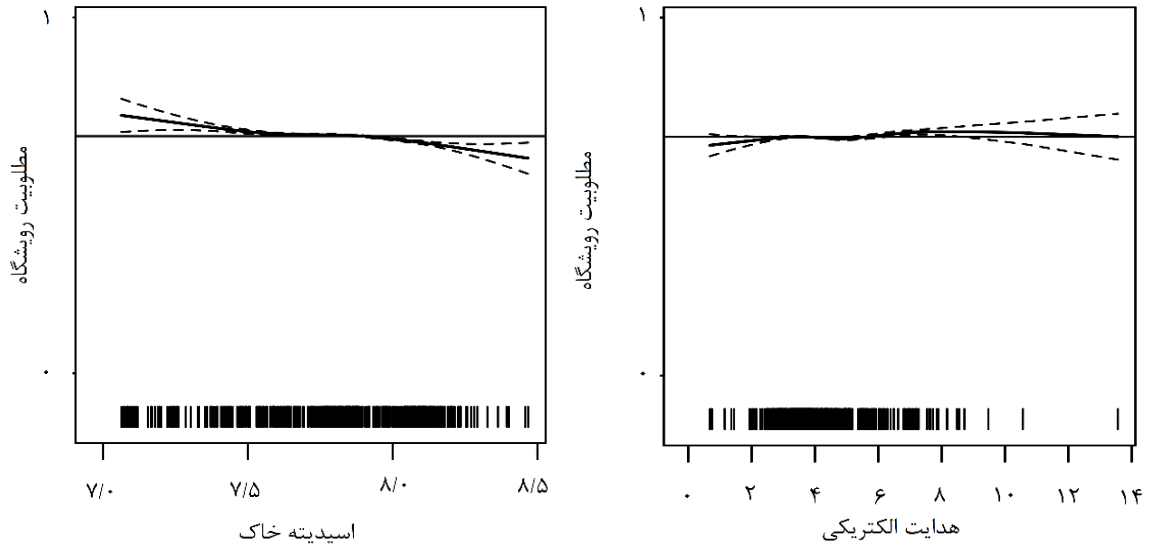
آماره	RF	CART	GAM
سطح زیر منحنی	۰/۹۸	۰/۸۸۵	۰/۹۴۳
حد آستانه	۰/۸۶۰	۰/۶۹۴	۰/۴۹۳
کاپا	۰/۹۸	۰/۸۱۱	۰/۶۸۲



شکل ۳. درخت هرس شده عوامل محیطی تأثیرگذار بر پراکنش گونه *P. farcta* در مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون



شکل ۴. نمودار منحنی پاسخ گونه *P. farcta* به عوامل محیطی تأثیرگذار در مدل جنگل تصادفی



شکل۵. منحنی پاسخ گونه *P. farcta* به متغیرهای محیطی تأثیرگذار در مدل تجمعی تعمیم یافته

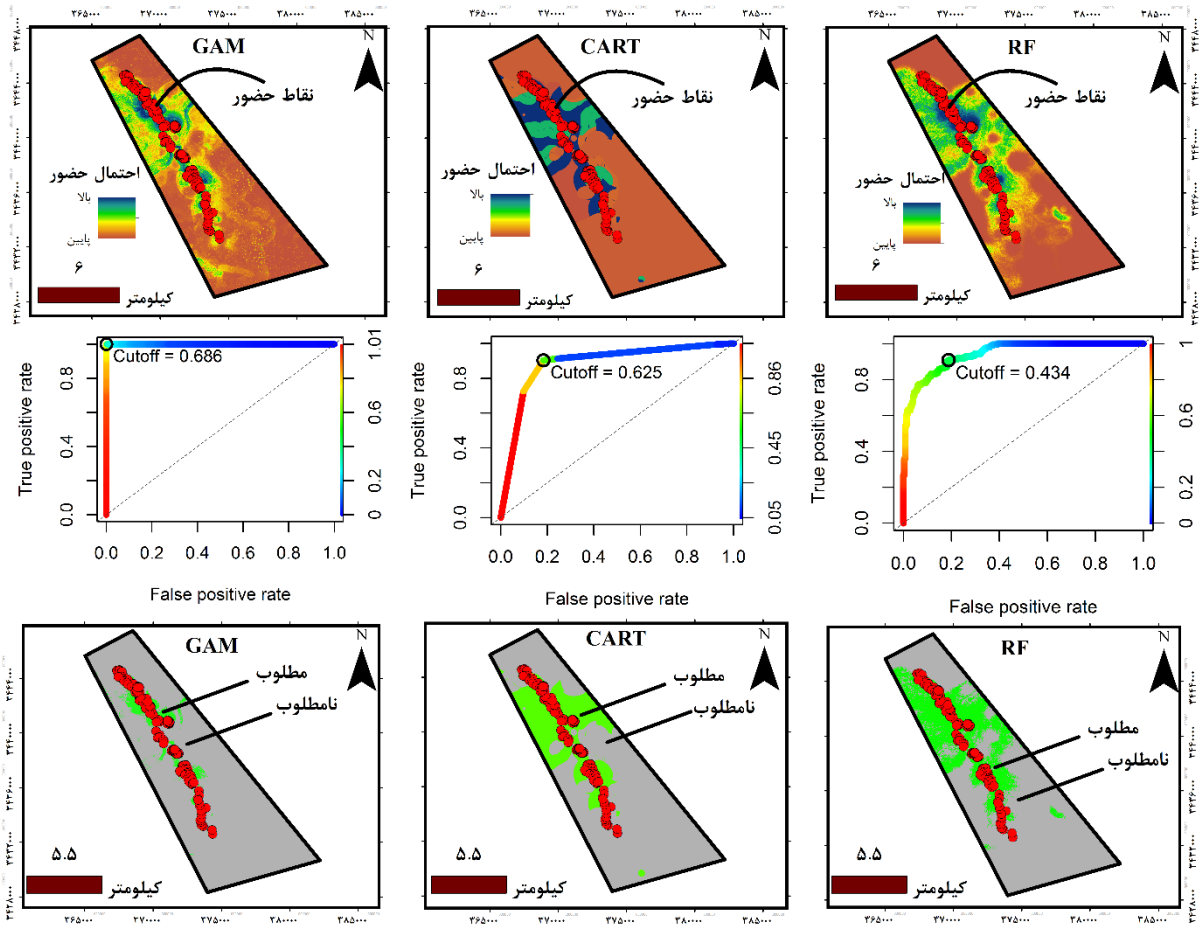
علاوه بر این عامل فاصله از رودخانه نیز به عنوان یک عامل تأثیرگذار در تناسب رویشگاه گونه در منطقه مورد بررسی شناسایی شده است. رودخانه به عنوان بستر طبیعی و مهم در ساختار بوم‌نظام‌های (اکوسیستم) مناطق خشک است و بر ساختار و عملکرد آن نقش پویایی دارد (۱۴). به‌طور کلی، از نتایج حاصل از سه مدل پیش‌بینی در مورد تحلیل اهمیّت متغیرها این‌گونه می‌توان نتیجه گرفت که هر گونه گیاهی با توجه به منطقه رویش، نیازهای بوم‌شناختی و دامنه بردباری با بعضی از ویژگی‌های خاک رابطه دارد (۵، ۲۹). بر این اساس از بین متغیرهای مورد بررسی متغیرهای متغیرهای مرتبط با ویژگی‌های خاک و همچنین متغیر فاصله از رودخانه نقش مهمتری را در پراکنش گونه *P. farcta* در مراتع مورد بررسی ایفا می‌کنند. همسو با یافته پژوهش حاضر، پژوهشگران متعددی ویژگی‌های مربوط به خاک را به‌عنوان یکی از مهمترین متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر کنترل پراکنش جوامع گیاهی در مناطق خشک، معرفی کرده‌اند (۱۲، ۱۵). به‌طور ویژه گزارش شده است که با توجه به شرایط رطوبتی یکسان در منطقه مورد بررسی به‌ویژه حاشیه رودخانه نیاتک، تفاوت در ویژگی‌های خاک باعث تغییر در پوشش گیاهی این منطقه شده است (۱۴). در راستای یافته پژوهش حاضر، گزارش شده است که در مناطق خشک ویژگی‌های مرتبط با بافت خاک مانند بافت، هدایت الکتریکی و pH از جمله متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گیاهان هستند (۱۲، ۱۷، ۲۰).

نتایج حاصل از تفسیر منحنی‌های پاسخ متغیرهای رویشگاهی در روش جنگل تصادفی نشان داد که با افزایش مقدار EC بر مطلوبیت رویشگاه گونه *P. farcta* افزوده می‌شود. این بدان معنی است که افزایش مقدار شوری خاک، موجب مساعد شدن شرایط محیطی رشد گونه می‌شود و شرایط را برای استقرار آن تسهیل می‌کند. شوری خاک می‌تواند از طریق تأثیر بر فشار اسمزی، افزایش مقاومت گیاهان نسبت به شوری را در پی داشته باشد و زمینه را برای استقرار گونه‌های شورپسند فراهم آورد (۳۷). براساس نتایج پژوهش حاضر افزایش شوری خاک از ۸ تا ۱۰ dS/m بر مطلوبیت رویشگاه گونه افزوده است، اما با توجه به این‌که افزایش مطلوبیت تنها در محدوده ۸ تا ۱۰ dS/m رخ داد و در مناطقی با مقدار شوری بیشتر، مطلوبیت رویشگاه گونه افزایش نیافته است نمی‌توان با قطعیت در مورد شورپسند بودن گونه اظهارنظر کرد. اما آنچه که مسلم است افزایش محدود در مقدار شوری خاک می‌تواند به‌طور نسبی احتمال حضور گونه را در رویشگاه افزایش دهد. همچنان‌که‌گزارش‌شده است که گونه‌های جنس Prosopis به‌عنوان گونه‌های مقاوم به شوری در برنامه‌های احیاء پوشش گیاهی در مناطق خشک و بیابانی مطرح هستند. البته باید به این نکته نیز توجه داشت که افزایش قابل توجه شوری می‌تواند علاوه بر کاهش سرعت جوانه زنی و ایجاد مسمومیت در گیاه، جذب آب توسط بذر را با اشکال مواجه سازد. بر همین اساس با افزایش میزان شوری در خاک

میزان خسارت وارد شده نیز افزایش خواهد یافت (۱۷). همچنین بررسی منحنی پاسخ pH به‌عنوان متغیر تأثیرگذار بر پراکنش گونه نشان می‌دهد که با افزایش مقدار این عامل تا ۷/۸ بر میزان مطلوبیت رویشگاه افزوده می‌شود ولی افزایش pH به بیش از ۸ باعث کاهش قابل توجه تناسب رویشگاه می‌شود و استقرار آن را محدود می‌کند. به‌عبارت دیگر، هر چند، با افزایش مقدار آهک خاک و در نتیجه افزایش مقدار pH، قابلیت جذب و دسترسی به مواد غذایی افزایش می‌یابد و شرایط جهت استقرار گونه گیاهی مساعد می‌شود، اما افزایش بیش از حد آهک خاک می‌تواند به‌دلیل ایجاد سخت‌لایه و بروز مشکل در جذب بعضی از مواد غذایی توسط گیاهان استقرار و پراکنش گیاهان را با محدودیت‌های جدی مواجه سازد (۱۵).

نقشه پیش‌بینی پیوسته پراکنش مکانی گونه گیاهی *P. farcta* حاصل از روش‌های روش‌های درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، جنگل تصادفی و مدل تجمعی تعمیم یافته در مراتع منطقه سیستان نشان می‌دهد که مناطق مرکزی منطقه مورد بررسی و حاشیه رودخانه از مطلوبیت بیشتری جهت استقرار گونه برخوردار است (شکل ۶). بر این اساس، رویشگاه مطلوب گونه در حاشیه رودخانه نیاتک قرار گرفته است و حاشیه‌های محدوده مورد بررسی از مطلوبیت کم‌تری برخوردار است. پس از اعمال حد آستانه و تهیه نقشه‌های حضور و عدم حضور گونه مشخص شد که به‌طور کلی وسعت رویشگاه بالقوه گونه در نقشه حاصل از روش مدل تجمعی تعمیم یافته بیشتر از دو روش دیگر است.

توانایی مدل در تمایز نقاط‌حضور و عدم‌حضور گونه‌های گیاهی یکی از مهمترین ابعاد تأثیرگذار در دقّت مدل‌های پیش‌بینی پراکنش است (۱۹). بر اساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر، در مجموع، بین دقّت پیش‌بینی مدل‌های مورد استفاده وجود دارد و حدود پراکنش بالقوه گونه در مدل‌های مختلف از یکدیگر متفاوت است.



شکل۶. نقشه حضور و عدم حضور گونه *P. farcta* در مراتع حاشیه رودخانه نیاتک به همراه مقادیر حد آستانه هر مدل

براین اساس، مدل جنگل تصادفی و مدل درخت طبقه‌بندی و رگرسیون بهترین مدل‌های اجرا شده هستند و دارای بیشترین دقّت پیش‌بینی هستند. بنابراین می‌توان گفت که مدل جنگل تصادفی، به‌دلیل ظرفیت بیشتر در شناسایی حضور و عدم حضور گونه، در مقایسه با دیگر مدل‌های مورد استفاده، مدل دقیق‌تری است. این مدل به‌دلیل غیر پارامتری بودن در بهره‌گیری از متغیرهای توضیحی مختلف دارای انعطاف‌پذیری است و می‌تواند روابط غیرخطی بین متغیرهای پاسخ و متغیرهای توضیحی و همچنین برهمکنش‌های سلسله مراتبی بین متغیرهای توضیحی را نشان دهد (۱۰). همسو با یافته پژوهش حاضر در بررسی مشابه نیز گزارش شده است که مدل جنگل تصادفی، روش دقیقی در مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی است. بنابراین می‌توان از آن برای برآورد حدود پراکنش گونه‌هایی که اولویت حفاظتی بیشتری دارند، استفاده شود (۲۶، ۲۸، ۳۳). گزارش شده است که تفاوت در عملکرد پیش‌بینی مدل‌ها امری قطعی است و این امر می‌تواند به‌دلیل استفاده از توابع ریاضی متفاوت باشد (۹).

■ نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، در شرایط فعلی بیشترین وسعت رویشگاه بالقوه گونه در منطقه سیستان در محدوده مرکز و اطراف رودخانه نیاتک واقع شده است. به‌عبارت دیگر، این مناطق به‌طور بالقوه از قابلیت بیشتری برای انتشار گونه برخوردار است و در صورت مساعد بودن دیگر شرایط، گونه توانایی استقرار در این مناطق را دارد. ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل‌های مورد بررسی نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل جنگل تصادفی در طبقه‌بندی حضور و عدم حضور گونه در مقایسه با دو روش دیگر بود (جدول ۲). مدل جنگل تصادفی، به‌عنوان روش درخت پایه، توانسته است علاوه بر شناسایی صحیح متغیرهای تأثیرگذار در پراکنش گونه و همچنین وزن آن‌ها، نقشه پیش‌بینی دقیقی از دامنه جغرافیایی پراکنش بالقوه گونه در مراتع مورد بررسی را ارائه کند. ظرفیت این روش در پیش‌بینی پراکنش گونه، در کنار ویژگی‌هایی مانند ارائه منحنی‌های پاسخ و درصد اهمیت هر متغیر در مدل‌سازی از ویژگی‌های بارز این مدل است. بیشتر بودن اعتبار این مدل در اجرا، نشان می‌دهد که می‌توان از این مدل در پیش‌بینی رویشگاه‌های گونه‌های مناطق بیابانی کشور استفاده کرد. به‌طور کلی می‌توان گفت که حضور گونه *Prosopis farcta* (L.) در منطقه مورد بررسی متأثر از ویژگی‌های خاک (اسیدیته و هدایت الکتریکی) و همچنین فاصله از رودخانه است. از سوی دیگر، با توجه به شناخت نیازهای بوم‌شناختی و مناطقی با تناسب بالاتر جهت استقرار گونه در ریز مقیاس، می‌توان نتیجه گرفت که جهت افزایش احتمال موفقیت برنامه‌های اصلاحی، توسعه رویشگاه گونه در مناطق مرکزی و حاشیه رودخانه متمرکز شود. از سوی دیگر، انجام فعالیت ترویجی در بین ساکنین محلی برای توسعه کشت گونه در مناطق با تناسب بالا، با هدف جلوگیری از تشدید فرسایش خاک و معرفی خواص دارویی، همچنین ایجاد منبع درآمد جدید جهت بهره‌برداران پیشنهاد می‌شود.

■ سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه زابل انجام شده است (شماره گرنت: IR-UOZ-GR-8694)؛ بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه زابل سپاسگزاری می‌شود.

■ References

1. Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C. H., & Thuiller, W. (2012). Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, *3*(2), 327-338.
2. Breiman, L., Cutler, A. (2004). *Random Forests.* Department of Statistics: University of Berkeley.
3. Coudun, C. H., & Gégout, J. C. (2006). The derivation of species response curves with Gaussian logistic regression models is sensitive to sampling intensity and curve characteristics. *Ecological Modelling*, *199*,164-175.

4. Dobrowski, S. Z., Thorne, J. H., Greenberg, J. A., Safford, H. D., Mynsberge, A. R., Crimmins, S. M., & Swanson, A. K. (2011). Modeling plant ranges over 75 years of climate change in California, USA: temporal transferability and species traits. *Ecological Monographs, 81*(2), 241-257.

5. El-Amier, Y. A. (2016). Vegetation structure and soil characteristics of five common geophytes in desert of Egypt. *Basic and Applied Science, 3*, 172-186.

6. Elith, J., 2017. (2017). *Invasive species: risk assessment and management*. Cambridge: Cambridge University Press.

7. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing Environment, 202*, 18-27.

8. Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letter, 8*, 993- 1009.

9. Haidarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M., & Tatian, M. R. (2017). Forecasts of climate change effects on *Amygdalus scoparia* potential distribution by using ensemble modeling in Central Zagros. *RS and GIS for Natural Resources*, *8*(3), 1-14. (in Farsi)

10. Henderson, E. B., Ohmann, J. L., Gregory, M. J., Roberts, H. M., & Zald, H. (2014). Species distribution modelling for plant communities: stacked single species or multivariate modelling approaches? *Applied Vegetation Science*, *17*(3), 516-527.

11. Hengl, T., Nussbaum, M., Wright, M. N., Heuvelink, G. B., & Gräler, B. (2018). Random forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. *Peer Journals, Life and Environment, 6*, 1-49.

12. Jafari, M., Zare Chahouki, M. A., & Tavili. A., & Kouhandel A. (2007). Soil-vegetation relationships in rangelands of Qom province, *Pajouhesh –va- Sazandegi, 19*(3), 110-116. (in Farsi)

13. Jafarian , Z., & Kargar, M. (2017). Distribution modeling of protective and valuable plant species in the tourist area of Polour using generalized linear model (GLM) and generalized additive model (GAM), *Geography and Development Iranian Journal, 15*(46), 117-132. (in Farsi)

14. Jahantigh, M. (2017). Study on relations of vegetation and soil in river banks of dryland regions. *Plant Ecosystem Conservation*, *4*(9), 181-194. (in Farsi)

15. Javadi, S.A., Khanarmooyi, A., & Jafari, M. (2016). Investigation of relationship between vegetation factors and soil properties (Case Study: Khojir National Park). *Rangeland and Watershed Management, 69*(2), 353-366. (in Farsi)

16. Kargar, M., Jafarian, Z., Tamartash., & Alavi, S. J. (2017). Comparison of non-parametric and parametric species distribution models (SDM) in determining the habitat of dominant rangeland species (Case study: Khetteh Riz Rangelands). *Range and Desert Research, 25*(3), 512-523. (in Farsi)

17. Karimi, Gh., Heidari Sharif abad, H., & Assareh, M. H. (2005). The effects of salinity stress on seed germination, seedling growth and proline content in *Atriplex verrucifera*, *Rangeland and Forest Plant Breeding and Gentic Research, 12*(2), 419-432. (in Farsi)

18. Keyghobadi, M., Piri Sahragard, H., Pahlavan Rad, M. R., Karami, P., Yari, R. (2020). Application of generalized additive model (GAM) and classification and regression tree (CART) to estimate the potential habitat distribution of rangeland plant species (Case study: Khazri Rangelands of Beyaz Plain, Southern Khorasan). *Range and Desert Research, 27*(3), 561-576. (in Farsi)

19. Kozak, K. H., Graham, C. H., & Wiens, J. J. (2008). Integrating GIS-based environmental data into evolutionary biology. *Trends in Ecology and Evolution*, *23*(3), 141-48.

20. Liu, C., White, M., & Newell, G. (2011). Measuring and comparing the accuracy of species distribution models with presence–absence data. *Ecography*, *34*, 232-243.

21. Mahmoudi A. A., Zahedi Gh., & Etemad, V. (2013). The investigation on the relationship between soil physical and chemical properties and succulence of natural and planted saxaul (*Haloxylon* spp) (Case study: Hosseinabad plain, Southern Khorasan province). *Forest*, *4*(4), 289-299. (in Farsi)

22. McCune, B., & Keon, D. (2002). Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *Vegetation Science, 13*(4), 603-606.

23. McCullagh, P., & Nelder, J. A. (1989). *Generalized linear models*. Chapman and Hall. 2nd edition: London.

24. Milanesi, P., Holderegger, R., Caniglia, R., Fabbri, E., & Randi, E. (2016). Different habitat suitability models yield different least-cost path distances for landscape genetic analysis. *Basic and Applied Ecology, 17*(1), 61-71.

25. Morovati, M., Karami, P., Bahadori Amjas, F. (2020). Accessing habitat suitability and connectivity for the westernmost population of Asian black bear (Ursus thibetanus gedrosianus, Blanford, 1877) based on climate changes scenarios in Iran. *PloS ONE, 15*(11), 1-22.

26. Peters, J., Baets, B. D., Verhoest, N. E. C., Samson, R., Degroeve, S., & Becker, P. D. (2007). Random forests as a tool for ecohydrological distribution modelling. *Ecological Modelling*, *207*(2-4), 304-18.

27. Peterson, A.T., Sober J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martinez-Meyer, E., Nakamura, M., & Bastos, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. New Jersey: Princeton University Press.

28. Piri Sahragard, H., Ajorlo, M., & Karami, P. (2018). Modeling habitat suitability of range plant species using random forest method in arid mountainous rangelands. *Mountain Science*, *15*(10), 2159- 2171.

29. Piri Sahragard, H., & Zare Chahouki, M. A. (2015). Modeling of *Artemisia sieberi* Besser habitat distribution using maximum entropy method in desert rangelands. *Rangeland Science*, *6*(2), 93-101.

30. Piri, H., & Ansari, H. (2013). Study of Sistan plain drought and its impact on wetlands international Hamoon. *Wetlands*, *4*(15), 63-74. (in Farsi)

31. Schaefer, H. (2019). *Predicting spawning habitat for lake whitefish coregonus clupeaformis and cisco coregonus artedi in the Lake Erie and Lake Ontario regions using classification and regression tree (CART) and random forest models.* Doctoral dissertation, University of Michigan: Michigan.

32. Sutton, L.J., & Puschendorf, R. (2020). Climatic niche of the Saker Falcon Falco cherrug: predicted new areas to direct population surveys in Central Asia. *Ibis*, *162*(1), 27-41.

33. Wang, H. H., Wonkka, C.L., Treglia, M. L., Grant, W. E., Smeins, F. E., & Rogers, W. E. (2015). Species distribution modeling for conservation of an endangered endemic orchid. *AoB PLANTS, 7*, 39.

34. Williams, J. N., Seo, C., Thorne, J., Nelson, J. K., Erwin, S., O'Brien, J. M., & Schwartz, M. W. (2009). Using species distribution models to predict new occurrences for rare plants. *Diversity and Distributions*, *15*(4), 565-576.

35. Zare Chahouki M. A., Piri Sahragard, H., & Naghilou, M. (2016). Determination of occurrence optimal thresholds in the predictive models of plant species distribution (Case study: Rangelands of Nir region of Yazd province). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *5*(10), 1-12. (in Farsi)

36. Zare Chahouki, M. A., & Piri Sahragard, H. (2016). Maxent modelling for distribution of plant species habitats of rangelands (Iran). *Polish Journal of Ecology*, *64*(4), 453-467.

37. Zhang, K., Yongzhong, S., Wang, T., & Liu. T. (2016). Soil properties and herbaceous characteristics in an age sequence of *Haloxylon ammodendron* plantations in an oasis-desert ecotone of northwestern China. *Arid Land*, *8*(6), 960-972.