دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره یازدهم، شماره بیست و سوم
http://pec.gonbad.ac.ir

مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گیاه آنغوزه (*Ferula assa-foetida L.*) با استفاده از مدل حداکثر بی‌نظمی در استان اصفهان

بابک بحرینی نژاد[1*]، زهرا جابرالانصار[2]، فاطمه سفیدکن[3]

[1] دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان

[2] محقق، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان

[3] استاد، بخش تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات فرعی، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

چکیده

آنغوزه به‌عنوان یکی از مهمترین گیاهان دارویی و صادراتی ایران، اهمیت زیادی در معیشت جوامع محلی بهره‌بردار و صنایع دارویی دارد. بهره‌برداری بی‌رویه از رویشگاه‌های این گیاه و خشکسالی‌های اخیر موجب کاهش تراکم بوته و نهایتاً انقراض این گونه در آینده‌ای نزدیک خواهد شد. این پژوهش به منظور شناسایی رویشگاه‌های بالقوه این گونه در استان اصفهان به کمک مدل‌سازی پراکندگی گونه‌ای انجام شد. بدین منظور بازدیدهای میدانی طی سالهای ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ به مدت سه سال داده‌های ۸۸ مکان حضور گونه مورد مطالعه جمع‌آوری شد. اطلاعات فیزیوگرافیکی (شیب، ارتفاع، جهت) و پس از انجام آزمون همبستگی پیرسون بر روی ۱۹ متغیر اقلیمی، تعداد ۸ متغیر انتخاب و در فرایند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه پراکندگی بالقوه گونه آنغوزه با استفاده از مدل حداکثر بی‌نظمی و سیستم اطلاعات جغرافیایی تولید شد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل نمایانگر عملکرد مناسب مدل با مقدار شاخص مساحت زیر منحنی (AUC) برابر با ۰/۹۶۲ بود. تحلیل اهمیت متغیرها با استفاده از آزمون جک‌نایف بیانگر آن است که درصد شیب، محدوده سالانه دما، بارندگی سالانه و میزان بارش سردترین فصل به ترتیب بیشترین تاثیر را در پراکندگی گونه دارا هستند. با توجه به منحنی‌های پاسخ به عوامل محیطی، احتمال حضور گیاه آنغوزه در مناطقی با شیب بیشتر از ۷۰ درصد، محدوده سالانه دما از حدود ۳۷ تا ۴۳ درجه سانتی‌گراد، بارش سالانه و بارش سردترین فصل سال به ترتیب با مقادیر حدود ۷۰ و ۴۰ میلیمتر بیشتر است. بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده در مجموع حدود ۷ درصد از رویشگاه‌های استان اصفهان بویژه در مناطق نیمه‌بیابانی و استپی برای رویش آنغوزه مطلوب هستند. در مجموع با در نظر گرفتن سه پارامتر شیب، محدوده سالانه دما و بارش سالانه و استفاده از نقشه مطلوبیت رویشگاه به‌دست‌آمده در این مطالعه می توان برای احیای رویشگاه‌های آنغوزه و توسعه کشت آن در استان برنامه‌ریزی نمود.

واژه‌های کلیدی: **آنغوزه، پراکندگی، رویشگاه، متغیرهای اقلیمی**

مقدمه

آنغوزه (*Ferula assa-foetida*) از مهمترین گیاهان دارویی و صادراتی ایران است. این گیاه علفی، چندساله و جزو گونه‌های مونوکارپیک و اندمیک ایران و قسمت‌هایی از افغانستان است. محصول آنغوزه، شیرابه حاصل از بهره‌برداری از گونه *F. assa-foetida* است. این گونه جزو گیاهان مناطق ایرانی- تورانی و خلیجی- عمانی محسوب شده و اغلب در مناطق کوهپایه‌ای می‌روید (مظفریان، ۱۳۸۶؛ ۱۳۸۸). شیرابه این گیاه از ارزش صادراتی زیادی برخوردار است و به کشورهای اروپایی و آسیایی صادر

*نویسنده مسئول: b.bahreininejad@areeo.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

می‌شود. بهره‌برداری بی‌رویه از این گیاه و خشکسالی‌های اخیر موجب کاهش تراکم بوته و نهایتاً انقراض این گونه در آینده‌ای نزدیک خواهد شد (Jalili and Jamzad, 1999). برنامه‌ریزی برای احیاء و تقویت رویشگاه‌های این گیاه و توسعه کشت آن در مناطق مستعد، علاوه بر جلوگیری از انقراض این گونه می‌تواند موجب تقویت پشتوانه تولیدی و صادراتی این گیاه شود.

یکی از راه‌های دستیابی به مناطق مستعد احیا و توسعه کشت این گونه، کمّی کردن ارتباط بین متغیرهای محیطی و خصوصیات گونه‌های گیاهی است. بدین منظور مدل‌های پراکندگی گونه‌ای که کاربرد مهمی در اکولوژی و حفاظت دارند می‌توانند مطلوبیت رویشگاه را برای گونه‌های گیاهی مشخص نموده و از این طریق به مدیریت حفاظت از ذخایر ژنتیکی بومی کشور کمک کنند. مدل حداکثر بی‌نظمی یا مکسنت[۲] یک مدل توزیع گونه‌ای نشأت گرفته از یادگیری ماشینی است که برای پیش‌بینی پراکندگی بالقوه گونه‌ها استفاده می‌شود (Phillips et al., 2006). این مدل تنها به داده‌های حضور و اطلاعات محیطی نیاز دارد و با حجم نمونه کم قادر است عملکرد مناسب و قابل قبولی را در پیش‌بینی رویشگاه گونه مورد مطالعه ارایه نماید. از سوی دیگر قادر است عوامل موثر بر پراکندگی گونه را با رسم منحنی پاسخ گونه به عوامل تاثیرگذار تعیین و در نهایت نقشه پیش‌بینی حضور گونه را ترسیم نماید (Qin et al., 2017; Elith et al., 2011).

در تحقیقات قبلی عمدتاً به بررسی ویژگی‌های رویشگاه‌های آنغوزه اشاره شده است (امیدبیگی، ۱۳۹۴؛ قاسمی آریان و همکاران، ۱۳۹۶؛ تفقدی سبحانی، ۱۳۹۷). در مطالعه حسینی بمرود و مهدوی (۱۳۹۲) در منطقه سبزوار خراسان رضوی، آنغوزه عمدتاً در مناطقی با ارتفاع ۱۳۵۰ تا ۱۹۱۸ متر از سطح دریا، بارندگی بیش از ۱۸۹/۵ میلیمتر و متوسط دمای حداکثر سالانه ۲۳/۹ و متوسط حداقل سالانه ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد، شیب بین ۱۰ تا بیش از ۵۰ درصد در اقلیم نیمه‌خشک گزارش شده است. در بررسی رویشگاه بالقوه گیاه دارویی آنغوزه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه چترود کرمان، نتایج نشان‌داد حدود ۱۶/۹ درصد از سطح منطقه دارای تناسب بالایی جهت رویش گیاه آنغوزه بود و حدود ۲۳/۸ درصد از مساحت اراضی منطقه به دلیل کمبود بارش و ارتفاع بالا جهت رویش آنغوزه نامناسب ارزیابی شد (سعادت فر و همکاران، ۱۳۹۷). عبدلپور و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی قابلیت اراضی کشت و توسعه گیاه آنغوزه با رویکرد اقلیمی در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان دادند که گیاه آنغوزه بیشتر در ارتفاعات میانی و بالای ۲۰۰۰ متر بهترین رویش را دارد که براساس روش دومارتن و آمبرژه عمدتاً در نواحی سردسیر مرطوب و گرمسیری نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالیانه ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلیمتراست و هرچه میزان بارندگی بیشتر باشد تراکم گیاه آنغوزه بیشتر بود و متوسط دمای هوای رویشگاه‌های مختلف بسته به ارتفاع و دیگر عوامل توپوگرافی منطقه ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. همچنین گیاه آنغوزه در شیب‌های تند با متوسط ۲۰ تا ۵۰ درصد رشد مطلوبی را نشان داد. مومنی دمنه و همکاران (۱۴۰۰) مناطق مناسب رویش آنغوزه را در شمال شرق ایران با استفاده از مدل حداکثر بی‌نظمی بررسی نمودند. ایشان نشان دادند در مناسب بودن رویشگاه بالقوه گونه آنغوزه در سطح منطقه مورد مطالعه عوامل دمای فصلی، سازند زمین شناسی، شیب غالب اراضی، ارتفاع زیستگاه و متوسط روزانه دما بیشترین اهمیت را داشتند.

ایروانی و همکاران (۱۳۸۰) در طی بررسی رابطه گونه گیاهی مرتعی *Ferula ovina* با عوامل محیطی در حوضه رودخانه وهرگان اظهار داشتند که عامل شیب و ارتفاع از سطح دریا برای پراکندگی گونه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شهسوارزاده و همکاران (۱۳۹۴) رویشگاه بالقوه گونه کما (*F. ovina*) را با استفاده از مدل ژنتیک الگوریتم در فریدونشهر اصفهان بررسی نموده و فاکتور میزان سیلت و ارتفاع را از جمله موثرترین عوامل بر پراکندگی این گونه معرفی نمودند. استفاده از نقشه‌های متغیرهای محیطی با صحت و دقت بالا به مدیران کمک می‌کند تا بتوانند علاوه بر معرفی نیازهای اکولوژیک گیاه، مناطق مساعد برای کشت گونه مورد بررسی را شناسایی کنند و از این طریق موجبات احیاء و توسعه رویشگاههای آن گونه را به‌طور پایدار فراهم آورند (صفایی و همکاران، ۱۳۹۲).

استان اصفهان به عنوان یکی از قطبهای تولید و صادراتی گیاه آنغوزه در ایران دارای رویشگاه‌های وسیعی از

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

این گیاه بوده و لذا مطالعه در خصوص مناطق رویش و مستعد کشت این گیاه از اولویت‌های اخیر مدیران و بهره‌برداران مرتبط با این گیاه است. این مطالعه با هدف شناسایی عوامل محیطی موثر بر پراکندگی این گیاه و تعیین رویشگاه‌های بالقوه آنغوزه، در راستای حفاظت و مدیریت صحیح رویشگاه‌های آن در شرایط فعلی و توسعه کشت آن در آینده با استفاده از مدل حداکثر بی‌نظمی انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان اصفهان با مساحتی معادل ۱۰۷۱۵۶ کیلومتر مربع است که در موقعیت جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد. تغییرات شدید ارتفاع (از ۶۰۰ تا حدود ۴۲۵۰ متر) باعث بروز اقلیم‌های متنوع در این استان شده‌است. مناطق غرب و شرق استان به ترتیب دارای میانگین بارندگی ۷۵ تا ۸۰۰ میلی‌متر، میانگین حداقل دما از ۶/۳ تا ۱/۱ درجه سانتی‌گراد، و میانگین بیشینه دما از ۱۶/۲ تا ۲۸/۲ درجه سانتی‌گراد متغیر است (Nasri and Modarres, 2009).

به لحاظ پوشش گیاهی مناطق مورد مطالعه، گیاه آنغوزه (*F. assa-foetida*) به عنوان گونه گیاهی همراه در تیپ‌های بادام‌کوهی- درمنه‌دشتی- قیچ (*Amygdalus scoparia-Artemisia sieberi-Zygophyllum atriplicoides*)، تیپ بادام کوهی- خینجوک (*Amygdalus scoparia-Pistacia khinjuk*)، تیپ درمنه دشتی- بادام‌کوهی- بادام‌وحشی (*Artemisia sieberi-Amygdalus scoparia-Amygdalus eburnean*)، تیپ درمنه دشتی-کرقیچ-کلاه‌میرحسن (*Artemisia sieberi-Hertia angustifolia-Acantholimon scorpius*) تیپ درمنه دشتی- پرند-خارمرجان (*Artemisia sieberi-Pteropyrum aucheri-Moriera spinosa*)، تیپ درمنه دشتی-قیچ-کروج (*Artemisia sieberi-Zygophyllum atriplicoides-Gymenocarpus decander*)، تیپ درمنه دشتی-قیچ-پرند (*Artemisia sieberi-Zygophyllum atriplicoides-Pteropyrum aucheri*) و تیپ کما-گون‌گزی-گون‌بزی (*Ferula haussknechtii -Astragalus brachycalyx-Astragalus susianus*) حضور دارد (فیضی و همکاران، ۱۳۹۶).). با توجه به بررسی‌های میدانی گیاه آنغوزه در تیپ تیپ درمنه دشتی-قیچ-پرند (*Artemisia sieberi-Zygophyllum atriplicoides-Pteropyrum aucheri*) حضور بیشتری داشت.

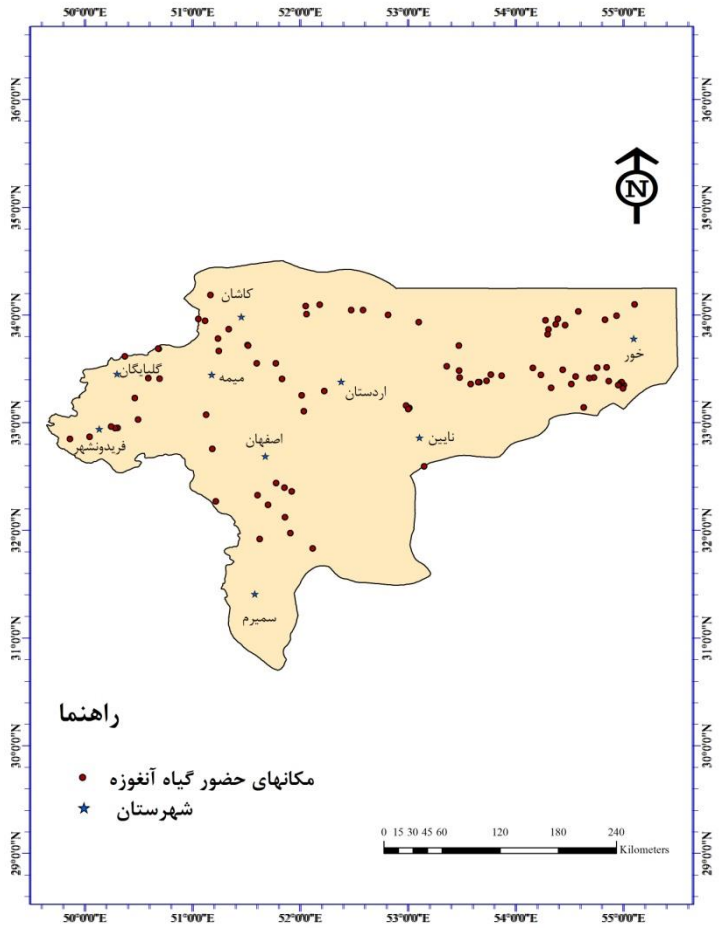
ثبت نقاط حضورگونه

با استفاده از بازدیدهای میدانی و نقشه پوشش گیاهی طرح‌های شناخت مناطق اکولوژیک کشور در استان اصفهان (فیضی و همکاران، ۱۳۹۶) تیپ‌هایی که گونه مورد نظر بصورت غالب حضور داشت مشخص گردید و سپس مختصات مکانی نقاط حضور توسط دستگاه GPS ثبت شد. فاصله نقاط حضور از یک تا ۱۰ کیلومتر در تیپ‌های مختلف گیاهی متغیر بود. در مجموع تعداد ۸۸ مکان حضور گیاه آنغوزه (تعداد ۵۶ مورد از طریق بازدید میدانی در سالهای ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ و ۳۲ مورد باقیمانده از اطلاعات هرباریوم استخراج گردید) در استان اصفهان، شناسایی گردید و اطلاعات مکانی (طول و عرض جغرافیایی) آنها در فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱).

متغیرهای محیطی

در این پژوهش از ۱۹ متغیر اقلیمی و سه متغیر فیزیوگرافی (ارتفاع، درصد شیب و جهت شیب) با اندازه

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]



شکل ۱- موقعیت نقاط حضور گیاه آنغوزه در استان اصفهان

پیکسل یک کیلومتر برای مدل‌سازی پراکندگی گونه مورد مطالعه استفاده شد. متغیرهای اقلیمی اخذ شده از سایت WorldClim (worldclim.org) دارای مقیاس حدود یک کیلومتر هستند که در بازه زمانی سالهای ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ با استفاده از پارامترهای درجه حرارت و بارش ماهانه تولیده شده‌اند. این پارامترها به عنوان مهمترین عوامل از نظر اکولوژیک بر روی خصوصیات پوشش گیاهی گونه‌ها بویژه پراکندگی آنها معرفی شده‌اند (Warren et al., 2013). با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (بیش از ۰/۸) (جدول ۱) و همچنین در نظر گرفتن اهمیت اکولوژیکی عوامل اقلیمی، ۸ متغیر از میان ۱۹ متغیر فوق الذکر برای ورود به مدل انتخاب شد (جدول ۲). با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع (DEM) نقشه‌های مربوط به شیب و جهت شیب به‌صورت نقشه‌های کمی در مقیاس یک کیلومتر در نرم افزار ArcGIS10.3 تهیه و به عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه بدلیل در دسترس نبودن نقشه‌های مکانی و رقومی عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک با صحت و دقت مناسب برای کل استان امکان استفاده در فرایند مدل‌سازی میسر نبود.

مدل‌سازی پراکندگی گونه

مدل‌سازی توزیع گونه گیاهی مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار Maxent (نسخه ۳،۳،۳) (http://www.cs.princeton.edu/~schapire/ maxent/) صورت گرفت. در پژوهش حاضر از ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد آنها به عنوان داده‌های آزمون استفاده گردید (Yang et al., 2013). برای ارزیابی اهمیت هریک از متغیرهای محیطی از آزمون جک‌نایف استفاده و در ادامه منحنی‌های پاسخ گونه آنغوزه به عوامل محیطی نیز بررسی شد. در این آزمون با تحلیل مساحت زیر منحنی (Area Under Curve-AUC) به ارزیابی کیفیت کلی مدل پرداخته شد. با توجه به دامنه این شاخص که از صفر تا ۱

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

متغیر است، چنانچه مقدار آن برابر ۰/۵ باشد بیانگر آن است که مدل کاملا تصادفی بوده و تولیایی پیش‌بینی حضور و غیاب مکان‌های جدید را ندارد و هرچه مقادیر نزدیک به ۱ باشد بیانگر قدرت بیشتر مدل در پیش‌بینی حضور و غیاب گونه در مکان‌های جدید است (Swets, 1988).

در پایان پس از تهیه نقشه خروجی مدل با احتمال حضور بین صفر تا یک، با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.5 رویشگاه گیاه از نظر تناسب به چهار گروه شامل رویشگاه نامناسب (۰ تا ۰/۲)، رویشگاه با تناسب متوسط (۰/۲ تا ۰/۴)، رویشگاه مناسب (۰/۴ تا ۰/۶) و بسیار مناسب (۰/۶ تا ۱) طبقه‌بندی شد (Yang et al., 2013).

نتایج

نتایج خروجی مدل حداکثر بی‌نظمی برای گونه آنغوزه مقدار عددی شاخص مساحت زیر منحنی (AUC) را برابر با ۰/۹۶۲ نشان‌داد (شکل ۲). از سوی دیگر نتایج حاصل از آزمون جک‌نایف نشان‌داد که از میان عوامل فیزیوگرافیک، درصد شیب از بیشترین تأثیر بر پراکندگی گونه برخوردار بود. همچنین از میان عوامل اقلیمی، دامنه درجه حرارت سالانه (Bio7)، بارش سالانه (Bio12) و بارش سردترین فصل (Bio19) به ترتیب بیشترین تاثیر را در پراکندگی گونه داشتند (شکل ۳).

بررسی منحنی پاسخ گونه آنغوزه به درصد شیب نشان‌داد که با افزایش شیب، احتمال حضور گونه آنغوزه روندی افزایشی به خود گرفته است. این نتایج نشان‌داد که اگرچه از شیب ۳ تا ۱۰ درصد احتمال حضور به شدت افزایش یافته و از شیب ۱۰ تا ۷۰ درصد احتمال حضور بطور خطی افزایش یافته است، لیکن بیشترین احتمال حضور در شیب‌های بیشتر از ۷۰ درصد رخ داد (شکل ۴-الف). بررسی منحنی پاسخ گونه به متغیر محدوده درجه حرارت سالانه (Bio7) نشان داد که با افزایش دامنه درجه حرارت سالانه احتمال حضور گونه آنغوزه افزایش یافت و بطور دقیق‌تر می‌توان بیان داشت که با افزایش محدوده سالانه دما از حدود ۳۷ تا ۴۳ درجه سانتی‌گراد احتمال حضور گونه روندی افزایشی و پس از آن کاهش مختصری را از خود نشان‌داد (شکل ۴-ب). منحنی پاسخ گونه به بارندگی سالیانه (دومین عامل اقلیمی موثر بر پراکندگی گیاه) نشان‌داد که بیشترین میزان حضور گونه در بارش سالانه با مقادیر حدود ۷۰ میلی‌متر بود و با افزایش مقادیر بارندگی روند کاهشی داشت (شکل ۴-ج). نتایج مشابهی در خصوص متغیر بارش سردترین فصل سال (سومین عامل اثرگذار بر پراکندگی آنغوزه) مشاهده گردید، بطوریکه حداکثر میزان احتمال حضور این گونه در مناطقی با بارش حدود ۴۰ میلی‌متر در فصل سرد بود که با افزایش مقدار بارش در این فصل میزان حضور گونه روندی کاهشی از خود نشان‌داد (شکل ۴-د).

طی روند مدل‌سازی ابتدا نقشه پراکندگی بالقوه گیاه آنغوزه برای کل استان تهیه گردید سپس با توجه به نقشه کاربری اراضی استان، مناطق مربوط به کاربریهای کوه، کشاورزی، اراضی بایر، تاسیسات و مناطق مسکونی، تالابها از نقشه حذف گردید. نقشه حاصل بالاترین احتمال حضور گونه آنغوزه (بیش از ۰/۶) را در بخشهایی از مناطق شرقی استان اصفهان پیش‌بینی کرد در حالیکه کمترین احتمال حضور گونه (کمتر از ۰/۲) در قسمتهای جنوبی استان پیش‌بینی شد. حضور این گونه در بخشهایی از مناطق غربی استان از میزان احتمال متوسطی (۰/۴ تا ۰/۶) برخوردار بود (شکل ۵).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

جدول ۱- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای محیطی تاثیرگذار بر پراکندگی گیاه آنغوزه

Variables	Bio1	Bio2	Bio3	Bio4	Bio5	Bio6	Bio7	Bio8	Bio9	Bio10	Bio11	Bio12	Bio13	Bio14	Bio15	Bio16	Bio17	Bio18	Bio19	Elevation	Slope	Aspect
Bio1	۱																					
Bio2	-۰/۳۳۷	۱																				
Bio3	۰/۲۲۰	۰/۲۸۷	۱																			
Bio4	۰/۳۲۲	۰/۳۲۸	-۰/۶۵۳**	۱																		
Bio5	۰/۹۹۳**	-۰/۲۷۲	۰/۱۷۳	-۰/۲۲۱	۱																	
Bio6	۰/۹۷۴**	-۰/۴۸۵*	۰/۲۶۹	-۰/۴۷۲*	۰/۹۴۵**	۱																
Bio7	-۰/۵۰۷	۰/۷۴۸**	-۰/۳۶۳	۰/۸۲۳**	-۰/۴۱۱	-۰/۶۸۷**	۱															
Bio8	۰/۸۸۸**	-۰/۲۹۰	۰/۱۰۶	-۰/۰۴۸	۰/۸۹۹**	۰/۸۴۱**	-۰/۳۷۴	۱														
Bio9	۰/۹۸۶**	-۰/۳۵۸	۰/۱۹۰	-۰/۲۹۵	۰/۹۸۲**	۰/۹۵۹**	-۰/۴۸۹*	۰/۸۷۲**	۱													
Bio10	۰/۹۹۶**	-۰/۳۰۶	۰/۱۷۹	-۰/۲۳۹	۰/۹۹۸**	۰/۹۵۵**	-۰/۴۴۳*	۰/۹۰۷**	۰/۹۸۵**	۱												
Bio11	۰/۹۹۳**	-۰/۳۶۷	۰/۲۸۸	-۰/۴۱۸	۰/۹۷۴**	۰/۹۸۷**	-۰/۵۸۶**	۰/۸۶۳**	۰/۹۷۵**	۰/۹۸۱**	۱											
Bio12	۰/۲۱۱	-۰/۲۴۳	-۰/۰۵۹	-۰/۲۹۳	۰/۱۸۲	۰/۲۵۶	-۰/۳۰۹	۰/۰۱۴	۰/۱۰۲	۰/۱۷۴	۰/۲۴۰	۱										
Bio13	۰/۴۱۵	-۰/۲۱۱	۰/۱۰۸	-۰/۳۸۴	۰/۳۸۷	۰/۴۴۸*	-۰/۳۸۸	۰/۲۲۰	۰/۳۰۹	۰/۳۷۸	۰/۴۴۵*	۰/۹۶۰**	۱									
Bio14	۰/۰۵۰	-۰/۱۸۵	-۰/۰۳۶	-۰/۰۸۰	۰/۰۴۸	۰/۱۱۲	-۰/۲۰۴	۰/۰۵۶	۰/۰۸۴	۰/۰۵۳	۰/۰۷۱	۰/۰۸۹	۰/۱۱۳	۱								
Bio15	۰/۸۵۲**	-۰/۰۹۳	۰/۲۲۸	-۰/۲۳۶	۰/۸۴۸**	۰/۷۸۳**	-۰/۲۹۹	۰/۷۸۳**	۰/۷۷۲**	۰/۸۴۶**	۰/۸۴۴**	۰/۴۳۰	۰/۶۱۷**	-۰/۱۱۰	۱							
Bio16	۰/۴۲۶	-۰/۲۴۶	۰/۰۶۱	-۰/۳۲۸	۰/۳۹۹	۰/۴۵۶*	-۰/۳۸۵	۰/۲۵۵	۰/۳۰۹	۰/۳۹۴	۰/۴۵۲*	۰/۹۶۲ **	۰/۹۸۷**	۰/۰۶۰	۰/۶۳۷**	۱						
Bio17	-۰/۶۰۶**	۰/۶۳۱**	۰/۳۲۷	۰/۰۰۹	-۰/۵۹۷**	-۰/۶۰۱**	۰/۳۵۰	-۰/۶۵۲**	-۰/۶۲۶**	-۰/۶۰۸**	-۰/۵۶۹*	۰/۰۵۰	-۰/۰۲۷	۰/۱۵۹	-۰/۴۳۷	-۰/۰۵۹	۱					
Bio18	-۰/۸۰۴**	۰/۵۷۹**	۰/۰۷۱	۰/۲۳۰	-۰/۷۹۲**	-۰/۸۰۴**	۰/۴۸۰*	-۰/۶۹۹**	-۰/۸۶۴**	۰/۷۹۹	-۰/۷۸۳**	۰/۰۶۶	-۰/۰۷۵	-۰/۰۶۳	-۰/۴۸۹*	-۰/۰۶۵	۰/۸۴۲**	۱				
Bio19	۰/۵۷۵*	-۰/۲۹۴	۰/۱۲۱	-۰/۴۱۵	۰/۵۴۸*	۰/۶۰۲**	-۰/۴۶۹*	۰/۳۶۲	۰/۴۷۶*	۰/۵۴۱*	۰/۶۰۳**	۰/۹۱۴**	۰/۹۷۶**	۰/۰۶۵	۰/۷۱۹**	۰/۹۸۷**	-۰/۱۵۵	-۰/۲۳۵	۱			
Elevation	-۰/۹۶۸**	۰/۷۲۶**	۰/۳۶۲	-۰/۳۱۷	-۰/۹۶۱**	-۰/۹۶۳**	۰/۶۲۱*	-۰/۸۶۸**	-۰/۹۷۲**	-۰/۹۷۰**	-۰/۹۵۰**	۰/۲۲۹	۰/۰۸۴	۰/۱۲۴	-۰/۰۴۸	۰/۱۳۵	۰/۶۰۷*	۰/۶۹۰*	۰/۱۳۵	۱		
Slope	-۰/۴۱۸	۰/۳۳۱	۰/۲۲۱	-۰/۲۲۲	-۰/۴۱۶	-۰/۳۹۷	۰/۱۹۹	-۰/۴۰۲	-۰/۴۳۹	-۰/۴۳۷	-۰/۳۹۹	۰/۴۴۱	۰/۳۷۳	-۰/۰۳۸	۰/۱۹۰	۰/۴۱۰	۰/۳۵۵	۰/۳۷۴	۰/۴۰۱	۰/۴۴۵	۱	
Aspect	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۸	۱

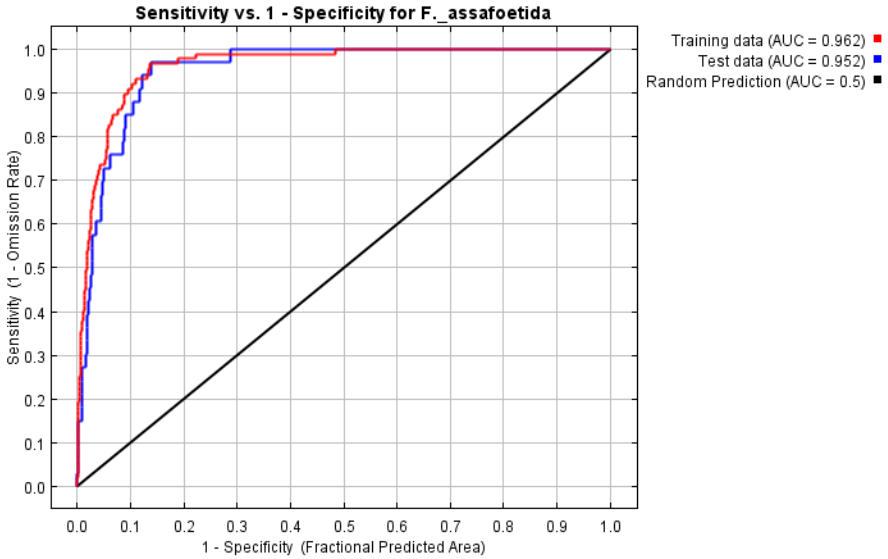
**، *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد و ۵ درصد

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

جدول ۲- متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدلسازی پراکندگی گیاه آنغوزه

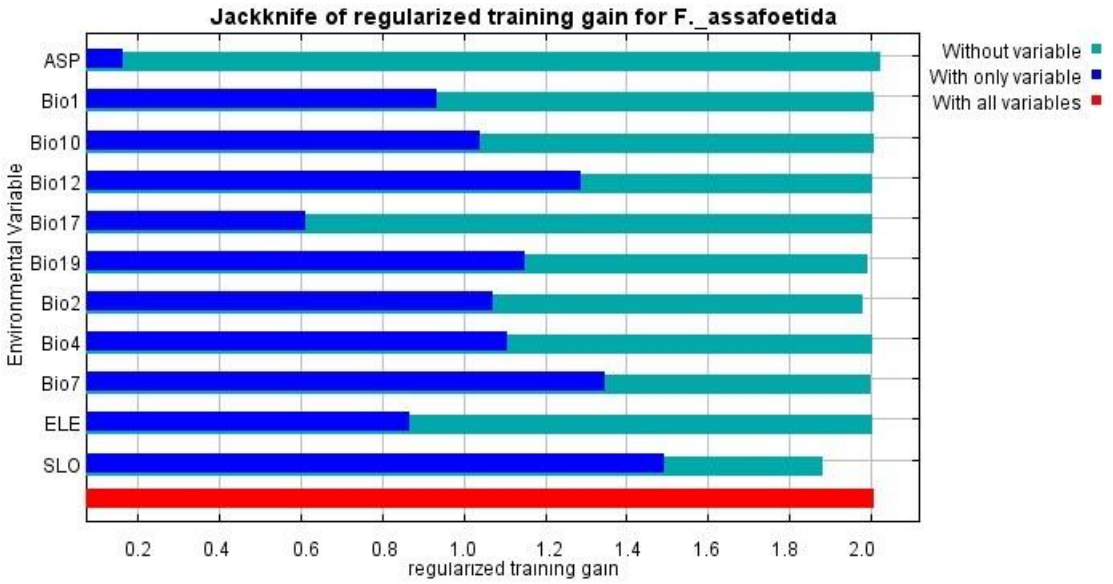
متغیر محیطی	نشانه	واحد
میانگین دمای سالانه	Bio1	درجه سانتی گراد
میانگین دمای روزانه	Bio2	درجه سانتی گراد
تغییرات فصلی دما*	Bio4	-
محدوده سالانه دما**	Bio7	درجه سانتی گراد
میانگین دمای گرمترین فصل	Bio10	درجه سانتی گراد
بارش سالانه	Bio12	میلی‌متر
بارش خشکترین فصل	Bio17	میلی‌متر
بارش سردترین فصل	Bio19	میلی‌متر
ارتفاع	ELE	متر
شیب	SLO	درصد
جهت شیب	ASP	-

* Temperature seasonality
** Temperature annual range

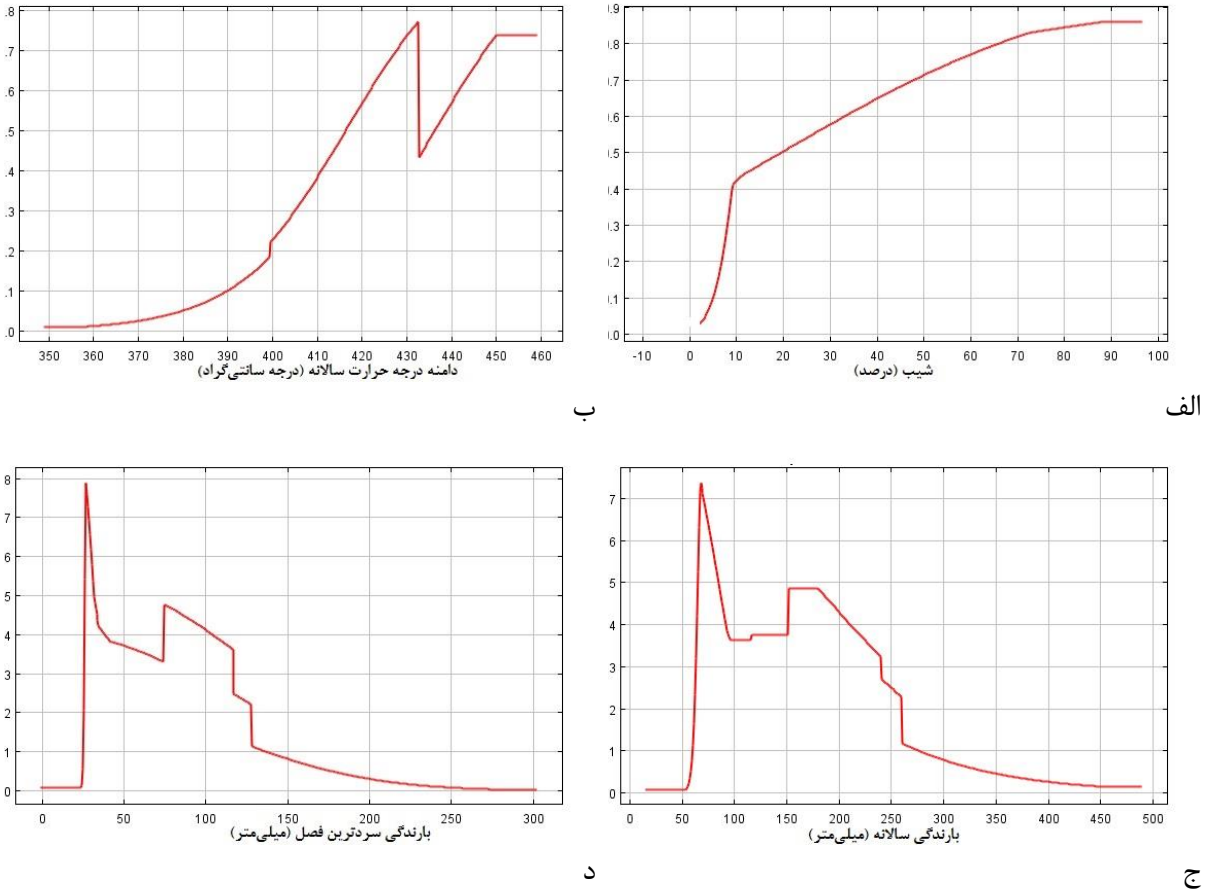


شکل ۲- مقدار AUC محاسبه شده در مدل پیش‌بینی پراکندگی گیاه آنغوزه

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

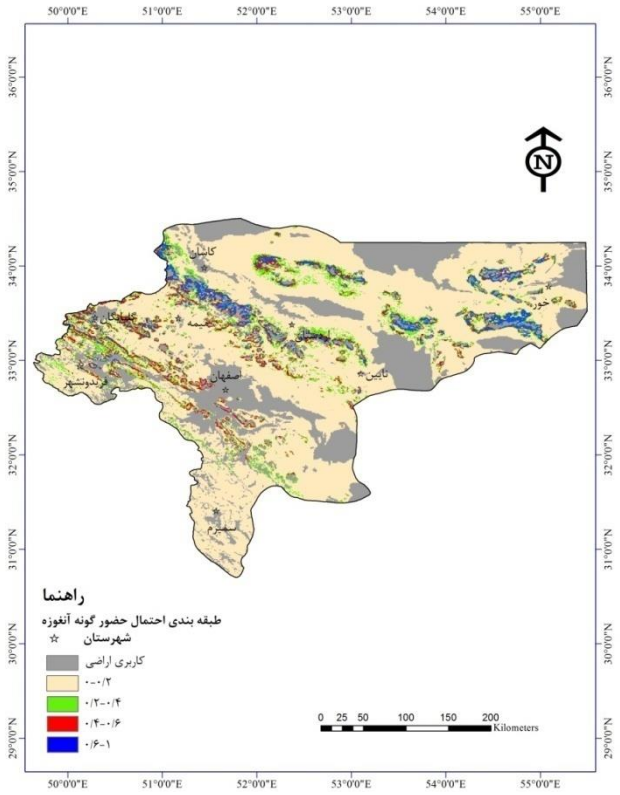


شکل ۳- نتایج حاصل از آزمون جک‌نایف برای بررسی اهمیت متغیرهای محیطی در پیش‌بینی پراکندگی گیاه آنغوزه



شکل ۴- منحنی‌های پاسخ گونه *Ferula assa-foetida* به عوامل محیطی تاثیرگذار شامل درصد شیب (الف)، دامنه درجه حرارت سالانه (ب)، بارندگی سالانه (ج)، بارندگی سردترین فصل (د)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]



شکل ۵- نقشه مطلوبیت رویشگاه گیاه دارویی آنغوزه در استان اصفهان

با توجه به مساحت طبقات نقشه پیش‌بینی رویشگاه گیاه آنغوزه، بیشترین احتمال حضور گیاه (۰/۶ تا ۱) در ۳۴۷۹۳۴ هکتار از اراضی استان اصفهان (۳/۲۵ درصد از مساحت کل استان) و کمترین احتمال حضور (کمتر از ۰/۲) در ۶۴۴۱۳۳۴ هکتار، معادل ۶۰/۱۱ درصد از مساحت استان پیش‌بینی می‌شود (جدول ۳).

بحث و نتیجه‌گیری

مقدار عددی AUC حاصل از مدل حداکثر بی‌نظمی برای گونه آنغوزه برابر با ۰/۹۶۲بدست آمد. بر اساس طبقه‌بندی موجود (Swets, 1988) دقت مدل پیش‌بینی برای این گونه در پژوهش حاضر عالی برآورد می‌شود و لذا این نتیجه نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در پیش‌بینی حضور گونه بود. بالا بودن میزان AUC در مطالعه بذرمنش و همکاران (۱۳۹۷) در بررسی آشیان اکولوژیک اقلیمی گونه *B. tomentellus* با استفاده از مدل حداکثر بی‌نظمی در استان اصفهان نشاندهنده بالا بودن عملکرد مدل آنها در پیش‌بینی حضور گونه یاد شده بود. نتایج مشابهی در ارزیابی پراکندگی گونه آنغوزه در شمال شرق ایران (مومنی دمنه و همکاران، ۱۴۰۰) مشاهده شد. بطوریکه مدل حداکثر بی‌نظمی از دقت مناسبی (AUC برابر با ۰/۹۷) در پیش‌بینی پراکندگی گیاه آنغوزه برخوردار بود. نتایج پژوهش‌های مبنی بر مقایسه مدل‌های مختلف، مدل مکسنت از توانایی بالایی برای پیش‌بینی پراکندگی گونه‌های گیاهی و جانوری برخوردار بوده است (Tarkesh and Jetschke, 2012; Ahmadi et al., 2023).

با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی پراکندگی گونه آنغوزه، عوامل درصد شیب، محدوده درجه حرارت سالانه (Bio7)، بارش سالانه (Bio12) و بارش سردترین فصل (Bio19) به ترتیب بیشترین تأثیر را در پراکندگی گونه دارا بودند. نتایج مشابهی بر روی یکی دیگر از گیاهان دارویی موجود در مناطق کوهستانی چین با نام *Parnassia wightiana* توسط دایی و همکاران (Dai et al., 2022) گزارش شده است، به طوری که آنها عوامل بارندگی سالانه (Bio12) و محدوده سالانه دما (Bio7) را به عنوان عوامل مهم در پراکندگی این گیاه برشمردند.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

جدول۳- مساحت طبقات رویشگاه در نقشه پیش‌بینی شده برای گونه آنغوزه بر مبنای مدل حداکثر بی‌نظمی

احتمال حضور	طبقات رویشگاه	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۰-۰/۲	نامناسب	۶۴۴۱۳۳۴	۶۰/۱۱
۰/۰-۲/۴	متوسط	۷۱۴۶۱۸	۶/۶۷
۰/۰-۴/۶	مناسب	۴۰۷۴۹۱	۳/۸
۰/۱-۶	بسیار مناسب	۳۴۷۹۳۴	۳/۲۵

همچنین در پژوهشی دیگر در بررسی عوامل مهم در پراکندگی گونه‌های دارویی با ارزش در مناطق کوهستانی کشمیر شامل *Aconitum heterophyllum*، *Fritillaria cirrhosa*، *Meconopsis aculeata* و *Rheum webbianum*، بارندگی سالانه (Bio12) به عنوان یکی از مهمترین عوامل معرفی گردید (Dad and Rashid, 2022).

در خصوص عامل درصد شیب به عنوان موثرترین عامل شناخته شده در پراکندگی آنغوزه، در منابع دیگر نیز حضور این گونه را در مناطق کوهپایه ای گزارش کرده‌اند (مظفریان، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸). حسینی بمرود و مهدوی (۱۳۹۲) شیب بین ۱۰ تا بیش از ۵۰ درصد و عبدلپور و همکاران (۱۳۹۹) شیبهای تند با متوسط ۲۰ تا ۵۰ درصد را برای رویش این گیاه مناسب دانستند که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر که دامنه شیب حضور گونه را بین ۱۰ تا ۷۰ درصد بیان نموده است مطابقت دارد. در همین راستا نتایج دیگر محققان موید این موضوع است، به نحوی که مومنی دمنه و همکاران (۱۴۰۰) بر روی گونه *F. assa-foetida*، عباسی خالکی و همکاران (۱۳۹۹) بر روی گونه *F. orientalis* و شریفی یزدی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی گونه *F. ovina* همگی به اتفاق به نقش افزایشی درصد شیب بر روی احتمال حضور گونه مورد مطالعه تاکید نمودند. ایروانی و همکاران (۱۳۸۰) نیز در تحقیق بر روی گونه *F. ovina* اثر عامل شیب را بر پراکندگی گونه بسیار با اهمیت دانستند.

در خصوص محدوده درجه حرارت سالانه (Bio7) به عنوان دومین عامل شناخته شده موثر بر پراکندگی آنغوزه احتمالا می‌توان چنین بیان داشت که وقوع مقادیر فراوان اختلاف درجه حرارت سالانه نقش مهمی بر استقرار و رویش این گونه در طبیعت داشته و هرجایی که این اختلافات در دامنه بالایی قرار داشته احتمال حضور نیز بیشتر بوده است. عبدالپور و همکاران (۱۳۹۹) نیز در شناسایی مناطق مستعد کشت گیاه آنغوزه در استان کهگیلویه و بویراحمد محدوده سالانه دما را حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد عنوان نمودند و نتایج آنها نشان داد که مناطقی که میزان اختلاف دمای کمینه و بیشینه کمتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده است مطلوبیت مناسبی برای کشت آنغوزه ندارد. در مطالعه مدل‌سازی پراکندگی گیاه *Salvia hydrangea* نیز عامل محدوده سالانه دما (Bio7) به عنوان عامل اصلی در مدل وارد شد که در مطالعه مذکور بیشترین احتمال حضور گونه در دامنه درجه حرارت سالانه بین ۳۸ تا ۴۳ درجه سانتیگراد گزارش شده است (Ghehsareh Ardestani and Heidari Ghahfarrokhi, 2021). در توجیه این اثر می توان چنین اظهار نمود با توجه به این‌که رفع خواب بذر و جوانه‌زنی بذر آنغوزه تحت تاثیر شرایط محیطی به‌ویژه درجه حرارت قرار می‌گیرند (رجبیان و همکاران، ۱۳۸۶؛ نوروزیان و همکاران، ۱۳۹۵)، احتمالاً متغیرهای بیوکلیماتیک مانند بارندگی سردترین فصل و محدوده سالانه دما، قادرند به عنوان محرک برای شکست خواب بذر و آغاز جوانه زنی گیاه عمل نمایند. کانوار و همکاران (Kunwar et al., 2023) در بررسی پراکندگی گونه‌های دارویی نپال بیان نمودند که عوامل بیوکلیماتیک شامل محدوده سالانه دما، بارندگی گرمترین و سردترین فصل بیشترین اهمیت را در پراکندگی گونه‌های *Aconitum spicatum*، *Allium wallichii*، *Bergenia ciliata*، *Nardostachys jatamansi*، *Neopicrorhiza scrophulariiflora* و *Parispolyphylla* و *Valeriana jatamansi* دارا بودند.

در مورد نتایج به‌دست‌آمده از تاثیر عوامل اقلیمی بارندگی سالانه و بارش سردترین فصل بر پراکندگی گونه آنغوزه می‌توان چنین بیان نمود که مناطقی با وقوع بارندگی‌های سالیانه حدود ۷۰ میلیمتر و یا بارش سردترین فصل حدود ۴۰ میلیمتر مناطق مساعدی برای رویش آنغوزه هستند. رئیسی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی شرایط رویش و عوامل اقلیمی موثر بر تراکم گیاه آنغوزه در دو رویشگاه

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

استان کرمان دامنه بارندگی سالانه را در مناطق مورد رویش این گیاه بین ۷۹ تا ۱۱۸ میلیمتر بیان نمودند. با توجه به این که دوره رشد گیاه آنغوزه از اسفندماه شروع و در خردادماه وارد فاز خواب تابستانه می‌شود بنابراین عملا نیاز آبی کمی برای تکمیل سیکل رویشی خود در هر سال دارد. در این خصوص در بررسی کشت دیم آنغوزه در منطقه جنگل قائم کرمان با متوسط بارندگی ۱۰۷ میلیمتر در سال در تیمار بدون آبیاری میزان زنده‌مانی گیاه به بیش از ۵۶ درصد رسید (پیرمرادی و همکاران، ۱۳۹۴). در همین خصوص کدوری و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی کشت دیم آنغوزه طی دو سال اول مطالعه با میانگین بارندگی ۱۴۸ میلیمتر، میزان زنده‌مانی این گیاه را ۱۰۰ درصد بیان نمودند. نتایج هر دو مطالعه مذکور نشانگر میزان سازگاری مناسب گیاه با شرایط کم‌آبی بوده است. در همین راستا سود (Sood, 2020) مناطق مناسب برای کشت و توسعه گیاه آنغوزه را در هند مناطق بیابانی سرد توصیه نموده است.

نقشه مطلوبیت رویشگاهی گیاه آنغوزه به‌دست‌آمده در این مطالعه بیانگر بیشترین احتمال حضور گونه آنغوزه در مناطق نیمه بیابانی و استپی استان بود. انطباق نقشه به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر با نقشه سازندهای پوشش گیاهی استان اصفهان (فیضی و شیرانی، ۱۳۹۶) موید این نتیجه بود. بر اساس مدل حداکثر بی‌نظمی حدود ۴۰ درصد از مساحت استان مطلوبیت مناسبی برای رویش این گونه داشت و بررسی مساحت طبقات رویشگاهی در نقشه پیش‌بینی‌شده برای گونه آنغوزه نشان‌داد که از این میان حدود ۷ درصد از رویشگاه‌های استان اصفهان (۷۵۵۴۲۵ هکتار) برای رویش آنغوزه در طبقه مناسب و بسیار مناسب قرار گرفت. در همین راستا عبدالپور و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه خود بر روی گیاه آنغوزه در استان کهگیلویه و بویراحمد ۸ درصد از مساحت اراضی استان را دارای اولویت مناسب برای رویش آنغوزه گزارش نمودند.

گونه گیاهی آنغوزه از جمله گیاهان با ارزش دارویی است که به‌دلیل سیستم ریشه‌ای قوی و تاج پوشش وسیع بخوبی می‌تواند سطح خاک را پوشش داده و در حفاظت خاک و کاهش رواناب سطحی بویژه در مناطق پرشیب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از سوی دیگر به‌دلیل ارزش اقتصادی زیاد آن می‌تواند در معیشت جوامع محلی نقش ویژه‌ای داشته باشد. بنابراین با شناسایی این مناطق به کمک مدل‌سازی رویشگاهی می‌توان برای پروژه‌های کشت و بهره‌برداری از این گونه گیاهی ارزشمند با هدف ازدیاد در محیط طبیعی برنامه‌ریزی نمود. لذا با توجه به اینکه حدود ۷ درصد از رویشگاه‌های استان اصفهان برای رویش آنغوزه مطلوبیت نشان داد می‌توان از نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش در تصمیم‌گیری برای احیا و توسعه این گونه در رویشگاه‌های مذکور بهره جست.

منابع

امیدبیگی، ر. ۱۳۹۴. تولید و فرآوری گیاهان دارویی، انتشارات آستان قدس رضوی، تهران، ۴۳۸ صفحه.

ایروانی، م.، خواجه الدین، س.ج.، بصیری، م. ۱۳۸۰. تعیین عوامل محیطی مهم و موثر بر رویشگاه سه گونه مرتعی در حوضه رودخانه وهرگان، دومین سمینار ملی مرتع و مرتعداری در ایران، ۱۶-۱۸ بهمن، کرج.

بذرمنش، آ.، ترکش، م.، بشری، ح.، پورمنافی، س. ۱۳۹۷. اثر تغییر اقلیم بر آشیان اکولوژیک اقلیمی گونه گیاهی *Bromus tomentellus* Boiss. با استفاده از مدل Maxentدر استان اصفهان، مرتع و آبخیزداری، ۷۱(۴):۸۶۷-۸۵۷.

پیرمرادی، م.ر.، مقدم، م.، یزدانی، ن. ۱۳۹۴. بررسی تیمارهای مختلف آبیاری در عملکرد شیرابه، میزان اسانس، خصوصیات مورفولوژیکی و بقای گیاه دارویی-مرتعی آنغوزهٔ تلخ (*Ferula assa-foetida* L.)، مرتع و آبخیزداری، ۶۸(۱): ۳۴-۲۵.

تفقدی سبحانی، م. ۱۳۹۷. بررسی آت اکولوژی گیاه دارویی آنغوزه (مطالعه موردی استان خراسان جنوبی، شهرستان بشرویه). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند. ایران.

حسینی بمرود، غ.ر.، مهدوی، س.خ. ۱۳۹۲. بررسی برخی خصوصیات اکولوژیکی گیاه دارویی کما آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.)، مطالعه موردی منطقه سبزوار استان خراسان رضوی، گیاه و زیست بوم، ۹(۱): ۴۵-۳۱.

رجبیان، ط.، صبورا، ع.، حسنی، ب.، فلاح حسینی، ح. ۱۳۸۶. اثر جیبرلیک اسید و سرمادهی بر جوانه زنی بذر آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.)، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳(۳): ۴۰۴-۳۹۱.

رئیسی، ص.، خوانین زاده، ع.ر.، شیرمردی، م.، وحیدی، م. ۱۴۰۰. بررسی شرایط رویشی و برخی عوامل موثر در تغییر تراکم آنغوزه در دو رویشگاه در زرند کرمان (سیریز و ریحانشهر)، مرتع، ۱۵(۲): ۳۲۰-۳۰۹.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

سعادت فر، ا.، توسلیان، ا.، حسین جعفری، س. ۱۳۹۷. تعیین رویشگاه بالقوه گیاه دارویی آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه چترود، کرمان)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹(۴): ۱۵۵-۱۳۹.

شهسوارزاده, ر.، ترکش,م.، رحمتی، ز.، قاضی مرادی، م. ۱۳۹۴. مدل‌سازی رویشگاه بالقوه گونه گیاهی کما (*Ferula ovina* Boiss.) با استفاده از مدل ژنتیک الگوریتم در فریدون‌شهر استان اصفهان، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۱(۶): ۹۸۷-۹۷۷.

شریفی یزدی، م.، شاهمرادی، ا.ع.، زارع کیا، ص. ۱۳۹۳. بررسی آت بوم‌شناختی گونه *Ferula ovina* Boiss. در استان کرمان، تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۵(۲): ۶۷-۵۷.

صفائی,م.، ترکش,م.، بصیری، م.، بشری، ح. ۱۳۹۲. تهیه نقشه رویشگاه پتانسیل گونه *Astragalus verus* Olivier. با استفاده از روش رگرسیون لجستیک، خشکبوم، ۳(۱): ۴۲- ۵۵.

عباسی خالکی، م.، قربانی، ا.، صمدی خانقاه، س.، رحیم دخت، رحمان. ۱۳۹۹. تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر تراکم، تاج پوشش و تولید گونه دارویی(*Ferula orientalis*) مطالعه موردی: دره شهدای ارومیه، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۴): ۳۲۷-۳۴۰.

عبدالپور، س.ا.، محمدی، ح.، شمسی پور، ع.ا. ۱۳۹۹. قابلیت اراضی کشت و توسعه گیاه دارویی آنغوزه با رویکرد اقلیمی مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد، جغرافیای طبیعی، ۱۳(۴۸): ۱۶-۱.

فیضی، م.ت.، علیجانی، و.، جابرالانصار، ز.، خداقلی، م.، شیرانی، ک. ۱۳۹۶. طرح شناخت مناطق اکولوژیک کشور، تیپهای پوشش گیاهی استان اصفهان، انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران، ۲۹۰ صفحه.

فیضی، م.ت.، شیرانی، ک. ۱۳۹۶. تهیه نقشه سازندهای پوشش گیاهی براساس مطالعات بوم شناسی-گیاه شناسی (مطالعه موردی: استان اصفهان)، اکولوژی کاربردی، ۶(۲): ۹۷-۸۳.

قاسمی آریان، ع.ر.، روحانی، ح.، حاجی میررحیمی، س.د. ۱۳۹۶. بسته کارآفرینی تولید آنغوزه در شرایط دیم، انتشارات اسرار علم، تهران، ۵۸ صفحه.

کدوری، م.ر.، صفی خانی، ف.ا.، رحمانی، غ.ح.، شریفی یزدی، م.، درویشی زیدآبادی، د. ۱۳۹۵. بررسی و معرفی گونه‌های دارویی جهت کشت در دیم‌زارهای کم بازده منطقه کوه پنج بردسیر، مهندسی آبیاری و آب ایران، ۶(۴): ۱۶۶-۱۵۳.

مظفریان، و.ا.، ۱۳۸۶. فلور ایران، شماره ۵۴: تیره چتریان (Umbelliferae)، انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران، ۶۰۰ صفحه.

مظفریان، و.ا.، ۱۳۸۸. فرهنگ نامهای گیاهان ایران، فرهنگ معاصر، تهران، ۷۴۰ صفحه.

مومنی دمنه، ج.، اسماعیل‌پور، ی.، غلامی، ح.، فراشی، آ. ۱۴۰۰. پیش‌بینی مناطق مناسب رویش گونه آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) در شمال‌شرق ایران با استفاده از مدل بیشینه آنتروپی، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۸(۳): ۵۷۸- ۵۹۲.

نوروزیان، ا.، معصومیان، م.، ابراهیمی، م.ع.، بخشی خانیکی، غ.ر. ۱۳۹۵. تأثیر تیمارهای شکست خواب بر جوانه‌زنی بذر آنغوزه(*Ferula assa- foetida*)، پژوهشهای بذر ایران، ۳(۲): ۱۶۹-۱۵۵.

Ahmadi, M., Hemami, M.R., Kaboli, M., Shabani, F. 2023. MaxEnt brings comparable results when the input data are being completed; Model parameterization of four species distribution models. Ecology and Evolution, 13(2): 1-13.

Dad, J.M., Rashid, I. 2022. Differential responses of Kashmir Himalayan threatened medicinal plants to anticipated climate change. Environmental Conservation, 49(1): 33-41.

Dai, X., Wu, W., Ji, L., Tian, S., Yang, B., Guan, B., Wu, D. 2022. MaxEnt model-based prediction of potential distributions of *Parnassia wightiana* (Celastraceae) in China. Biodiversity Data Journal, 10: 1-16.

Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Journal of Diversity and distributions, 17(1): 43-57.

Ghehsareh Ardestani, E., Heidari Ghahfarrokhi, Z. 2021. Ensembpecies distribution modeling of Salvia hydrangea under future climate change scenarios in Central Zagros Mountains, Iran. Global Ecology and Conservation, 26: 1-15.

Jalili, A., Jamzad, Z. 1999. Red Data Book of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran .

Kunwar, R.M., Thapa-Magar, K.B., Subedi, S.C., Kutal, D.H., Baral, B., Joshi, N.R., Adhikari, B., Upadhyaya, K.S., Thapa-Magar, M., Ansari, A.S., Thapa, G.H., Bhandari, A.R. 2023. Distribution of important medicinal plant species in Nepal under past, present, and future climatic

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

Swets, J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240(4857): 1285-1293.

Tarkesh, M., Jetschke, G., 2012. Comparison of six correlative models in predictive vegetation mapping on a local scale. Environmental and ecological statistics, 19(3): 437-457.

Warren, D.L., Wright, A.N., Seifert, S.N., Shaffer, H.B. 2013. Incorporating model complexity and spatial sampling bias into ecological niche models of climate change risks faced by 90 California vertebrate species of concern. Diversity and Distributions, 20(3): 334-343.

Yang, X. Q., Kushwaha, S.P.S., Saran, S., Xu, J., Roy, P.S. 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. Ecological Engineering, 51: 83-87.

conditions. Ecological Indicators, 146: 109879.

Nasri, M., Modarres, R. 2009. Dry spell trend analysis of Isfahan Province, Iran. International Journal of Climatology, 29(10): 1430-1438.

Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190: 231-259.

Qin, A., Liu, B., Quanshui, G., Bussman, R., Ma, F., Jian, Z., Pei, SH., 2017. Maxent modeling for predicting of climate change on the potential distribution of *Thuja sutchuensis* Franch. An extremely endangered conifer from southwestern China. Global Ecology Conservation, 10(17): 139-146.

Sood, R. 2020. Asafoetida (*Ferula asafoetida*): A high-value crop suitable for the cold desert of Himachal Pradesh, India. Journal of Applied and Natural Science, 12(4): 607 - 617

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]

Modelling potential habitat of *Ferula assa-foiteda* L. using maximum entropy model in Isfahan province

Babak Bahreininejad[*1], Zahra Jaberalansar [2], Fatemeh Sefidkon[3]

[1]Associate Prof, Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
[2]Expert Researcher, Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
[3]Professor, Medicinal Plants and By-products Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 2023/03/08; Accepted: 2023/09/02

Abstract

Ferula assa-foiteda L., as one of the most significant medicinal and export plants in Iran, plays a role in the livelihood of stakeholders and the pharmaceutical industry. Over exploitation of this plant habitats and recent droughts will reduce plant density and eventually the extinction of this species in the near future. This study was conducted to identify potential habitats of this species in Isfahan province using modeling species distribution. For this purpose, field surveys were carried out during the years 2020 to 2022 for three years and data of the studied species were collected from 88 presence points. Physiographic information (slope, elevation, aspect) and eight variables aming 19 bioclimatic variables were selected using Pearson'correlation analysis and used in the modeling process. The potential species distribution map was produced using maximum entropy model and Geographic Information System. The results of model evaluation showed the proper performance of the model with the AUC value equal to 0.962. Analysis of variable importance using Jackknife test, showed that slope, temperature annual range, annual precipitation and precipitation of coldest quarter were identified as the most important environmental factors influencing the species distribution. Regarding the response curves to environmental factors, *Ferula assa-foiteda* is more likely to occure in areas with a slope of more than 70%, temperature annual range from about 37 to 43 °C, annual precipitation and precipitation of coldest quarter about 70 and 40 mm, respectively. Based on the obtained results, about 7% of the habitats of Isfahan province especially in the semi arid and steppe areas are suitable for the growth of *Ferula assa-foiteda*. In general, by considering effective environmental parameters including slope, temperature annual range and annual precipitation and using the habitat suitability map, obtained in this study, it is possible to plan for the habitat rehabilitation of *Ferula assa-foiteda* and develop cultivation in the province.

***Keywords*:** *Ferula assa-foiteda* L., Distribution, Habitat, Climatic variables

*Corresponding author: b.bahreininejad@areeo.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2025-08-21]