

## پیش بینی مناطق مناسب رویش گونه آنغوزه (*Ferula assa-foetida* L.) در شمال شرق ایران با استفاده از مدل پیشینه آنتروپی

جواد مومنی دمنه<sup>۱</sup>، یحیی اسماعیل پور<sup>۲\*</sup>، حمید غلامی<sup>۳</sup> و آرزیتا فراشی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی، گروه منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

پست الکترونیک: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

۳- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۴- دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷

### چکیده

آنغوزه به‌عنوان یکی از مهمترین گیاهان خودروی مرتعی در منطقه شمال‌شرق ایران، اهمیت زیادی در حفاظت خاک و اقتصاد بهره‌برداران مراتع دارد. با وجود این بهره‌برداری نادرست و تخریب زیستگاه‌های آن از جمله عوامل تهدید کننده این سرمایه طبیعی است. این پژوهش به منظور شناسایی رویشگاه‌های بالقوه این گونه در دو استان خراسان رضوی و خراسان شمالی که می‌تواند گامی برای تسهیل و توسعه عملیات بازکاشت و احیاء این گونه به حساب آید، انجام شد. داده‌های مکانی حضور این گونه با اندازه پیکسل ۱۱۰۰\*۱۱۰۰ متر به‌عنوان مکان‌های مناسب بالفعل برای رویش آن و لایه‌های اطلاعات محیطی از قبیل اقلیم، خاک، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا در نرم‌افزار بیومر نسخه ۴ همبستگی متغیرهای پیش‌بینی بررسی و متغیرهای مستقل انتخاب شدند. سپس نقشه رویشگاه بالقوه حاصل از مدل پراکنش گونه با استفاده از نرم‌افزار Maxent ۳.۳ ایجاد شد. نتایج نشان داد که مدل استفاده شده از دقت مناسب برخوردار بوده و به‌مقدار AUC برابر ۰/۹۷ دست یافته است. از نظر میزان اهمیت، بررسی متغیرهای ورودی به مدل با استفاده از آزمون چک‌نایف، نشان داد که به‌ترتیب اجزاء واحد اراضی، دمای فصلی، سازند زمین‌شناسی، شیب غالب اراضی، ارتفاع زیستگاه و متوسط روزانه دما در مناسب بودن رویشگاه بالقوه گونه آنغوزه در سطح منطقه مورد مطالعه بیشترین اهمیت را داشتند. نتایج این مطالعه می‌تواند در شناخت نیازهای اکولوژیک گونه مورد بررسی و توسعه و احیاء رویشگاه‌های آن به‌کار رود.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، حداکثر آنتروپی، رویشگاه بالقوه، مدل پراکنش گونه.

### مقدمه

توزیع و زیستگاه گونه‌ها را پیش‌بینی می‌کنند و می‌توانند به‌عنوان ابزار مناسبی برای اهداف حفاظتی و مدیریتی بکار روند. امروزه نقشه‌سازی پراکنش گونه‌ها با استفاده از روش‌های همبستگی آمار مکانی و مدل‌های توزیع گونه‌ای از زمینه‌های مهم تحقیقات اکولوژیک و جغرافیای

پراکنش گونه‌های گیاهی در اکوسیستم‌ها تصادفی نبوده و از عوامل محیطی مانند اقلیم، فیزیوگرافی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عوامل انسانی پیروی می‌کند. مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه، محدوده

نمایش دادن منحنی‌های واکنش و سادگی کار با نرم‌افزار آن اشاره کرد (Thorn *et al.*, 2009). همچنین نسبت به مدل‌های دیگر مانند GARP و ENFA به همبستگی بین متغیرهای محیطی حساسیت کمتری دارد (Phillips *et al.*, 2009). از جمله این تحقیقات می‌توان به پژوهش Hosseini و همکاران (۲۰۱۳) در مورد مدل‌سازی پراکنش دو گونه *Artemisia sieberi* و *Ar. aucheri* در مراتع پشتکوه استان یزد با استفاده از روش آنتروپی حداکثر و زمین‌آمار اشاره کرد. نتایج نشان داد که گونه *Ar. siberi* در طیف گسترده‌تری از این شرایط محیطی است، اما پراکنش گونه *Ar. aucheri* به مناطق کوهستانی محدود است. در مدل‌سازی پراکنش زیستگاه‌های مناسب برای گونه درختی *Canacomyrica monticola* در کالدونیا با استفاده از روش آنتروپی حداکثر نشان داده شد که این روش می‌تواند برای مدل‌سازی پیش‌بینی گونه‌های در معرض خطر انقراض که داده‌های کمی از آنها در دسترس است روش مفیدی باشد و در پایش و حفاظت از منابع و برنامه‌های حفاظت زیستی مورد استفاده قرار گیرد (Kumar & Stohlgren, 2009). در مناطق کوهستانی آلاباما نیز پراکنش گونه‌های گیاهی با استفاده از MaxEnt مدل‌سازی شد و با دستیابی به ۰/۸۴ AUC برای گونه‌های مختلف اعلام شد که این روش با دقت مناسبی زیستگاه گونه‌های مورد بررسی را پیش‌بینی کرده است (Lemke *et al.*, 2011). همچنین مقایسه عملکرد این روش با روش‌های BIOCLIM و GARP نشان داد که عملکرد پیش‌بینی روش MaxEnt برتری داشته است (Sweet, 1988). در موردی دیگر از کاربرد این روش مدل‌سازی زیستگاه بالقوه گونه دارویی *Justicia adhatoda* در دامنه کوه‌های هیمالیا نتایج دارای دقت مناسب برای پیش‌بینی منطقه پراکنش گونه و حفاظت و احیای آن گزارش شد (Xue-Qing Yang *et al.*, 2013). در مراتع حوض سلطان استان قم دامنه تحمل گونه‌های گیاهی نسبت به عوامل محیطی و پیش‌بینی پراکنش گونه‌های

گیاهی هستند (Hirzel *et al.*, 2002; Boyce, 2006). در دو دهه گذشته، برای تعیین زیستگاه بالقوه گونه‌های گیاهی و جانوری تحقیقات زیادی انجام شده و مدل‌های مختلفی توسعه یافته است. هدف از ایجاد این مدل‌ها شناخت و در نهایت مدیریت زیستگاه‌ها به‌عنوان یک سامانه است (Shams Esfandabad, 2010). در این مدل‌ها متغیر پاسخ معمولاً حضور/غیاب و یا تنها حضور گونه و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده عمدتاً متغیرهای محیطی در نظر گرفته می‌شود و احتمال رخداد گونه مورد نظر در سایر مکان‌ها تعیین می‌گردد (Zare Chahouki & Zare Chahouki *et al.*, 2010; Abbasi, 2016). این مدل‌ها می‌توانند امکان پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات رویشگاه‌ها را در آینده نیز تحت سناریوهای مختلف تغییر عوامل محیطی به‌ویژه اقلیم فراهم کنند. به‌طورکلی هدف مطالعات مطلوبیت زیستگاه تعیین عوامل تأثیرگذار در انتشار گونه‌های موجودات زنده است. در زمینه گیاهان مرتعی برخی گونه‌هایی که تاکنون تحقیق شده است، پراکنش تحت تأثیر گرادیان ارتفاعی گونه *Festuca ovina* L. در مراتع مغان و سبلان استان اردبیل با استفاده از روش حداکثر آنتروپی و گونه‌های *Artemisia fragrans* Willd. و *A. chamaemelifolia* Vill. در مراتع قزل‌اوزن - آق‌داغ خلخال به‌ترتیب توسط (Ghafari *et al.*, 2019) و (Molaei *et al.*, 2020) و مدل‌سازی پراکنش مکانی رویشگاه بالقوه چند گونه مرتعی در مراتع خضری دشت بیاض استان خراسان جنوبی با استفاده از روش‌های CART و GAM (Keyghobadi *et al.*, 2020) قابل اشاره است. یکی از روش‌های کارا و شناخته شده در مطالعات مطلوبیت زیستگاه روش حداکثر آنتروپی است که به اختصار MaxEnt نامیده می‌شود. این مدل یک روش یادگیری ماشینی بر اساس حداکثر بی‌نظمی است که احتمال پراکنش حضور یک گونه را با توجه به محدودیت‌های به‌دست‌آمده از داده‌های موجود بررسی می‌کند (Phillips *et al.*, 2006). از مزایای آن می‌توان به توانایی استفاده از داده‌های پیوسته و گسسته،

قبول (Raney & Leopold, 2018)، ارزیابی و گزارش دقت مناسب MaxEnt در بررسی پراکنش گونه‌های *Lonicera japonica* *Lolium arundinaceum* و *Albizia julibrissin* در مناطق کوهستانی آلاباما (Lemke et al., 2011). آنگوزه گیاهی است علفی و چندساله از تیره چتریان (Apiaceae) با ارتفاع تا ۱۵۰ سانتی‌متر و در مناطق کوهستانی استان‌های اصفهان، یزد، هرمزگان و خراسان می‌روید (Mozafarian, 2012). به‌عنوان یکی از گیاهان دارویی مهم استپ‌های ایران و افغانستان با توجه به ارزش اقتصادی و ترکیبات اسانس و رزین مورد توجه بهره‌برداران و موضوع پژوهش‌های گوناگون و متعدد بوده است. این تحقیقات اغلب در مورد ترکیبات (Khajeh et al., 2005; Kajimoto et al., 2013; Kavooosi & Rowshan, 1989; Rowshan, 2013; Iranshahy & Iranshahi, 2011; Zare et al., 2011; Rajabian et al., 2009; Keshtkar et al., 2007; al., 2009) و اکولوژی (Moghaddam & Farhadi, 2015) بوده است. در زمینه پراکنش جغرافیایی این گونه فقط یک مطالعه مشاهده شد. پژوهشگران در این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر عوامل اقلیمی، توپوگرافی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر رویشگاه گیاه دارویی آنگوزه در منطقه چترود استان کرمان و پهنه‌بندی نواحی مناسب و مستعد توسعه این گیاه ابتدا نیازهای بوم‌شناختی گیاه آنگوزه با استفاده از منابع علمی پارامترهای مؤثر بر پراکنش گیاه را بارش و دما (احتمالاً میانگین سالانه)، ارتفاع، شن، سیلت، رس، آهک، اسیدیته، هدایت الکتریکی، پتاسیم، رطوبت اشباع، فسفر، ماده آلی و نیتروژن تعیین و نقشه‌های موضوعی مورد نیاز را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن‌دهی کردند. سپس با تلفیق و همپوشانی نقشه‌های وزن‌دهی شده در محیط GIS رویشگاه گیاه آنگوزه را در چهار درجه کیفی خیلی مناسب، مناسب، متوسط و ضعیف پهنه‌بندی کردند. نزدیک به ۵۰۰۰ هکتار در حدود ۱۷ درصد از منطقه مورد بررسی از نظر این محققان با داشتن

گیاهی را با MaxEnt بررسی کردند. مهمترین عوامل محیطی تفکیک‌کننده رویشگاه گونه‌ها متغیرهای هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع، آهک، اسیدیته و بافت خاک تعیین شد و میزان تطابق نقشه‌های پیش‌بینی با نقشه‌های واقعی برای گونه‌های *Tamarix passerinoides* و *Seidlitzia rosmarinus* در سطح متوسط و برای گونه‌های *Halocnemum strobilaceum* و *Artemisia sieberi* را در سطح خیلی خوب ارزیابی نمودند. کاربرد همین روش در تعیین زیستگاه بالقوه گونه گیاهی ارمنک (*Ephedra strobilacea* L.) در مراتع پشتکوه استان یزد نیز عامل گج را به‌عنوان فاکتور تأثیرگذار در ترجیح زیستگاه گونه ارمنک تأیید کرد و متغیرهای تأثیرگذار بعدی در حضور این گونه آهک و شن، کلسیم، هدایت الکتریکی خاک و شیب کم زمین تعیین شدند. دقت مدل بر اساس شاخص مقدار سطح زیر منحنی  $AUC=0.98$  در رتبه خوب ارزیابی شد (Zare Chahouki & Abbasi, 2016). تجربیات متعدد دیگری نیز برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های گیاهی مختلف با استفاده از MaxEnt قابل ذکر است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: تعیین خصوصیات خاک، عوامل اقلیمی (دما و بارندگی) و همچنین ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان مهمترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش پسته وحشی (*Pistacia vera*) (Zarabi et al., 2018)، مقایسه مدل‌های رگرسیون لجستیک و آنالیز تشخیص با MaxEnt در مطالعه پراکنش جغرافیایی گونه‌های *Artemisia aucheri* و *Ar. sieberi* و گزارش برتری مدل‌های مبتنی بر داده‌های حضور از قبیل MaxEnt و ENFA (Khalasi Ahwazi et al., 2015)، گزارش تشابه نتایج ENFA و MaxEnt در مدل‌سازی برخی گونه‌های گیاهی چوبی (Silva et al., 2017)، اعلام پیش‌بینی دقیق‌تر MaxEnt در مقایسه با GARP در پیش‌بینی توزیع گونه کائوچو (*Hevea brasiliensis*) در هندوستان (Ray et al., 2017)، مطالعه توزیع گونه‌ای با MaxEnt در اراضی مرطوب و دستیابی به دقت قابل

حضور آنغوزه شناخت بهتری را از نیازهای اکولوژیک گونه در اختیار قرار می‌دهد که می‌تواند در طرح‌های احتمالی توسعه و احیاء رویشگاه‌های آن استفاده شود.

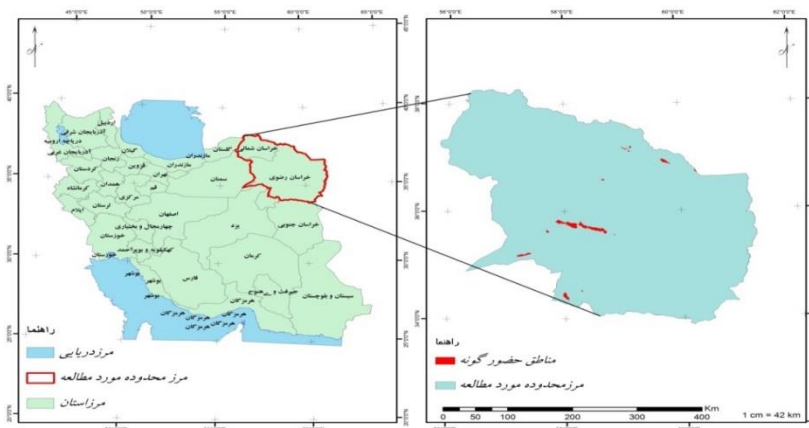
### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق تعداد ۱۴۰۰ نقطه حضور با استفاده از Garmin GPSMAP 60CSX در ۲۲ منطقه از استان‌های خراسان رضوی و شمالی (شکل ۱) در دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۹۹ طی فصل بهار ثبت شد. نام و مختصات جغرافیایی آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

هدایت الکتریکی و اسیدیته پایین، ماده آلی بالا و ارتفاع ۱۹۰۰ تا ۲۵۰۰ متر دارای تناسب بالا و حدود ۲۴ درصد اراضی منطقه به دلیل کمبود بارش، ارتفاع بالا و کمبود مواد آلی برای رویش آنغوزه نامناسب ارزیابی و گزارش شد (Saadatfar *et al.*, 2019).

در این تحقیق با توجه به اهمیت گیاه آنغوزه، مطلوبیت زیستگاه آن در رویشگاه‌های شمال شرق کشور با استفاده از روش MaxEnt مورد مطالعه قرار گرفت که از نظر روش، وسعت منطقه مورد مطالعه و متغیرهای پیش‌بینی مورد استفاده نخستین مورد مطالعه بر روی گونه یادشده است. نتایج این مطالعه پیرامون شرایط محیطی مناطق



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش نقاط حضور گونه

جدول ۱- نام و مختصات جغرافیایی ۲۲ منطقه ثبت داده‌های حضور در استان‌های خراسان رضوی و شمالی

ردیف	نام منطقه	x		نام منطقه	ردیف	y		x		ردیف	نام منطقه
		تا	از			تا	از	تا	از		
۱	استایش	۶۴۵۲۵۴,۰۸	۶۵۶۰۵۰,۹۳	دهمیان	۱۲	۳۹۴۹۸۶۶,۵۱	۳۹۳۸۳۸۰,۴۱	۶۱۱۹۰۹	۶۲۵۶۳۳	۳۹۴۹۰۲۲	۳۹۶۴۰۷۱,۶۹
۲	دهنه گودال	۵۷۹۰۰۴,۱۷	۵۸۶۴۴۶,۵۸	زنگلانو	۱۳	۳۹۶۷۲۲۴,۱۰	۳۹۶۱۵۴۲,۷۲	۶۸۹۷۱۱,۳۹	۶۹۳۴۵۰,۲۱	۴۱۱۵۲۰۰,۴۸	۴۱۱۹۹۲۸,۸۳
۳	قلیچ آباد	۲۴۴۵۷۴,۳۱	۲۵۶۱۹۷,۲۵	شورود	۱۴	۴۰۸۵۷۳۱,۹۱	۴۰۶۹۴۶۴,۰۱	۶۳۶۳۵۹,۵۶	۶۴۴۳۳۸,۷۰	۳۹۴۵۸۶۹,۳۹	۳۹۵۱۲۲۲,۱۸
۴	بجستان	۶۱۶۰۸۰,۴۴	۶۱۸۸۱۸,۴۹	عطاییه	۱۵	۳۸۲۱۲۹۵,۵۵	۳۸۱۸۶۹۱,۷۷	۶۲۳۳۹۵,۲۴	۶۳۷۳۲۰,۵۰	۳۹۴۳۲۷۷,۵۲	۳۹۵۲۳۹۱,۷۵
۵	حمام قلعه	۷۳۱۹۴۵,۹۷	۷۵۳۱۲۰,۷۴	کال داهو	۱۶	۴۰۹۷۱۷۶,۶۵	۴۰۸۱۲۴۹,۳۲	۵۷۶۳۹۱,۵۶	۵۸۳۹۱۰,۵۹	۳۹۵۸۲۴۶,۲۵	۳۹۶۴۹۳۱,۵۹
۶	سنگانه	۷۹۰۰۰۰,۲۰	۷۹۴۵۰۳,۹۹	کال سه گوش	۱۷	۴۰۷۱۱۲۵	۴۰۶۵۸۱۵	۵۹۰۱۷۸,۰۲	۵۹۹۹۵۶,۷۵	۳۹۵۴۰۴۶,۶۰	۳۹۶۳۳۹۶,۹۸
۷	برمهان	۶۴۷۰۸۰,۰۶	۶۵۱۹۹۷,۷۶	کدکن	۱۸	۴۰۵۱۳۰۵,۳۷	۴۰۴۸۳۶۳,۰۲	۶۶۶۱۴۰,۹۹	۶۶۹۱۴۹,۷۳	۳۹۳۵۸۶۴,۸۳	۳۹۳۷۳۳۴,۰۸
۸	تندوک	۵۶۲۰۲۲,۰۷	۵۶۶۳۸۳,۸۹	میانکوه	۱۹	۳۹۴۴۷۵۲,۹۷	۳۹۴۱۹۱۳,۸۸	۶۷۷۹۴۶,۴۶	۶۹۰۹۲۸,۱۱	۴۱۰۷۹۳۲,۹۴	۴۱۱۷۳۴۸,۹۱
۹	چلیو	۶۳۳۱۲۱,۰۳	۶۴۶۳۰۷,۷۶	چاه سوخته سبزوار	۲۰	۳۹۴۹۸۳۵,۰۶	۳۹۴۰۱۵۲,۱۲	۵۸۴۰۰۸,۲۹	۵۹۱۱۱۴,۰۶	۳۹۵۸۴۹۶,۰۴	۳۹۶۳۱۴۶,۳۳
۱۰	درونه	۵۱۶۶۶۷,۸۳	۵۳۸۸۷۲,۶۲	بیروت سبزوار	۲۱	۳۸۹۸۸۹۵,۸۵	۳۸۹۰۵۶۰,۴۶	۵۹۴۰۴۹,۰۷	۶۱۰۷۰۷,۶۲	۳۹۴۹۵۳۵,۲۲	۳۹۶۰۴۱۸
۱۱	دریوار	۵۸۷۳۲۷,۶۴	۵۹۷۷۳۱,۰۹	سنگرد سبزوار	۲۲	۳۸۱۷۰۵۳,۳۳	۳۷۹۹۷۲۱,۶۲	۵۹۳۷۶۸,۴۳	۶۰۸۹۲۷,۸۷	۳۹۵۸۲۵۱,۳۴	۳۹۶۳۲۶۹

پرشماری را دربرگرفته‌اند. با توجه به اینکه ذکر فهرست گونه‌های گیاهی همه مناطق نمونه‌برداری در مقاله ممکن نیست، برخی از گونه‌های گیاهی که در بیشتر مناطق نمونه‌برداری مشاهده شده‌اند در **Error! Reference source not found.** ارائه شده است.

مناطق نمونه‌برداری بخش اعظم مراتع تحت بهره‌برداری و شناخته شده منطقه مطالعاتی در دامنه ارتفاعی ۶۴۸ تا ۲۷۸۶ متر از سطح دریا را دربرگرفت تا از این طریق حداکثر تنوع شرایط محیطی از نظر خاک، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و اقلیم به مدل آموزش داده شود. مناطق نمونه‌برداری از نظر فلورستیک گونه‌های گیاهی متنوع و

جدول ۲- گونه‌های گیاهی پرتکرار مشاهده شده در مناطق نمونه‌برداری

گونه	تیره
<i>Salsola incanescens</i> C.A. Mey.	
<i>Salsola tomentosa</i> (Moq.) Spach	<b>Amaranthaceae</b>
<i>Chenopodium foliosum</i> Asch.	
<i>Cousinia turkmenorum</i> Bornm.	
<i>Serratula latifolia</i> Boiss.	
<i>Artemisia aucheri</i> Boiss.	
<i>Artemisia sieberi</i> Besser	<b>Asteraceae</b>
<i>Achillea millefolium</i> L.	
<i>Echinops robustus</i> Bunge	
<i>Gundelia tournefortii</i> L.	
<i>Alyssum stapfii</i> Vierh.	<b>Brassicaceae</b>
<i>Acanthophyllum glandulosum</i> Bunge ex Boiss.	
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	<b>Convolvulaceae</b>
<i>Bromus tectorum</i> L.	<b>Poaceae</b>
<i>Amygdalus lycioides</i> Spach	
<i>Hulthemia persica</i> (Michx. ex Juss.) Bornm.	<b>Rosaceae</b>
<i>Zygophyllum atriplicoides</i> Fisch. & C.A. Mey.	<b>Zygophyllaceae</b>

انسان ساخت بوده است. کلیه لایه‌های توپوگرافی از قبیل ارتفاع، شیب، جهت شیب، آبراهه و رودخانه از مدل رقومی ارتفاع با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری ایران

معیار آب متغیرهای تأیید شده از نظر عدم همبستگی شامل ۱۸ متغیر محیطی در سه گروه متغیرهای توپوگرافی، اقلیمی و

کشاورزی و منابع طبیعی خراسان تهیه شد. پردازش اولیه و هم‌مقیاس‌سازی این لایه‌ها به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی با استفاده از نرم‌افزار Idrisi Selva انجام شد. نقاط حضور نیز به‌عنوان متغیر وابسته برای نقشه‌سازی مناطق مستعد پراکنش گونه‌آنگوزه مورد استفاده قرار گرفتند ( **Error!** ).

**(Reference source not found).**

استخراج شد. نقشه‌های پوشش/کاربری زمین نیز با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از اداره کل منابع طبیعی استان‌ها تهیه شد. متغیرهای اقلیمی از بانک داده WorldClim ([www.worldclim.org/current](http://www.worldclim.org/current)) با مقیاس ۲/۵ دقیقه و نقشه زمین‌شناسی و خاک‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ به‌ترتیب از سازمان زمین‌شناسی ایران و مرکز تحقیقات

جدول ۳- فهرست متغیرهای پیش‌بینی مورد استفاده در مدل‌سازی زیستگاه گونه‌آنگوزه

ردیف	نمایه متغیر	توصیف اقلیمی	ردیف	نمایه متغیر	توصیف اقلیمی
۱	Bio1	میانگین دمای سالیانه	۸	Bio19	جمع بارندگی سردترین سه ماه متوالی سال
۲	Bio2	میانگین دامنه دمای روزانه	۹	Dem	ارتفاع از سطح دریا
۳	Bio4	تغییرات فصلی دما	۱۰	Slop	درصد شیب
۴	Bio8	میانگین دمای پربارش‌ترین سه ماه متوالی سال	۱۱	River	آبراه
۵	Bio12	جمع بارندگی سالیانه	۱۲	Stream	رودخانه
۶	Bio15	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)	۱۳	Aspect	جهت شیب (۸ طبقه جهت شیب + مسطح)
۷	Bio17	جمع بارندگی کم بارش‌ترین سه ماه متوالی سال			شامل طبقات چهارگانه گروه‌های هیدرولوژیک A, B, C, D
۱۴	Soil Hidro	گروه‌های هیدرولوژیک خاک			شامل ۴۷ طبقه
۱۵	Soiland	اجزاء واحد اراضی			شامل ۵ طبقه انواع خاک
۱۶	Soilostan	بافت خاک			شامل ۲۶ طبقه کاربری
۱۷	Landuse	کاربری اراضی			شامل ۶۲۶ طبقه سازندهای زمین‌شناسی
۱۸	Geology	زمین‌شناسی			

نقاط حضور به دو گروه داده‌های آموزشی و ارزیابی (training test data) به نسبت به‌ترتیب ۷۰ و ۳۰ درصد انجام شد. مدل بدست‌آمده از طریق شاخص سطح زیر منحنی (area under the receiver operating characteristic curve) ارزیابی شد، البته هرچه به یک نزدیکتر شود نشان‌دهنده عملکرد مناسب‌تر مدل است (Elith *et al.*, 2011). سهم و وزن هر یک از متغیرها در اثرگذاری بر پراکنش جغرافیایی گونه با بهره‌گیری از نتایج آزمون جک‌نایف و منحنی‌های واکنش مشخص شد. آزمون

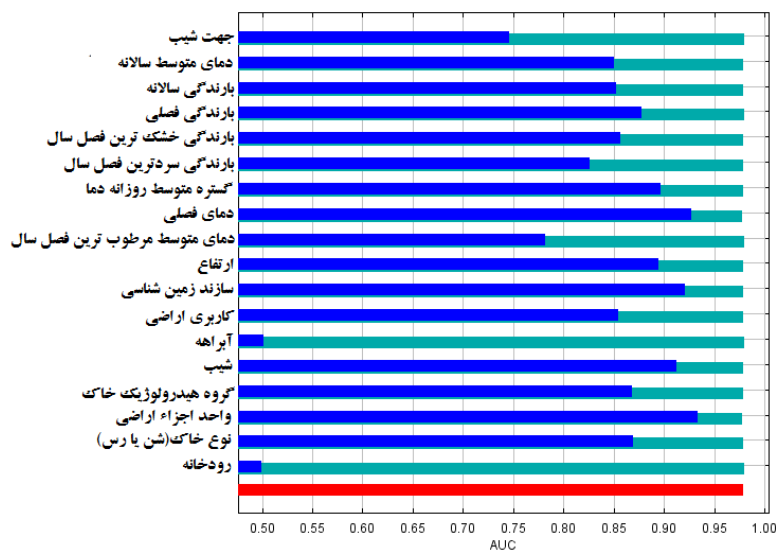
آنالیز مکانی داده‌های حضور گونه به‌عنوان مکان‌های مناسب و بالفعل رویش آن و لایه‌های اطلاعات محیطی از قبیل اقلیم، خاک، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی با استفاده از نرم‌افزار Maxent ۳.۳ انجام شد. پیش از این مرحله توزیع آماری و همبستگی متغیرهای پیش‌بینی طبق استانداردهای روش کار (Phillips *et al.*, 2006) در محیط نرم‌افزار Biomapper 4 کنترل شد. نقشه مناطقی که می‌توانند به‌عنوان زیستگاه‌های بالقوه گونه مورد بررسی به‌شمار آیند با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی ایجاد شد. توزیع تصادفی

شاخص نمایانگر اعتبار مدل است و در سطح ۰/۵ نمایانگر پیش‌بینی تصادفی و غیر قابل استفاده است. مقادیر ۰/۵ تا ۰/۷ کارایی خوب و بیشتر از ۰/۷ کارایی بسیار مناسب مدل را نشان می‌دهد (Radnezhad et al., 2016). در این تحقیق با دستیابی به  $AUC=0.97$  داده‌ها و روش مورد استفاده به تولید مدل با کارایی مناسب انجامیده است. نتایج آزمون جک‌نایف، حکایت از آن دارد که به‌ترتیب شش متغیر اجزاء واحد اراضی (Soiland)، دمای فصلی (Bio4)، زمین‌شناسی (Geology)، شیب (Slop)، ارتفاع از سطح دریا (Dem) و میانگین دامنه دمای روزانه (Bio2) در مناسب بودن زیستگاه بالقوه آنگوزه در سطح منطقه مورد مطالعه بیشترین اهمیت را داشتند (شکل ۲).

جک‌نایف اهمیت هر یک از متغیرهای محیطی را بیان می‌کند، همچنین مشخص می‌نماید که اگر یک متغیر محیطی حذف شود و یا به تنهایی در مدل حضور داشته باشد، چه تأثیری بر کارایی مدل می‌گذارد (Morovati et al., 2015). در نهایت منطقه تحقیق از نظر قابلیت زیستگاهی برای گونه آنگوزه به چهار کلاس کیفی نامناسب، قابلیت کم، قابلیت متوسط و کاملاً مناسب تقسیم و مساحت هر طبقه روی نقشه محاسبه و ارائه شد (Ghareghan et al., 2020).

## نتایج

نتایج شاخص سطح زیر نمودار (AUC) که از منحنی ROC به‌دست آمد در ارزیابی مدل استفاده گردید. این



شکل ۲- نتایج آزمون جک‌نایف متغیرهای پیش‌بینی مورد استفاده در مدل‌سازی پراکنش گونه *Ferula Assa foetida L.*

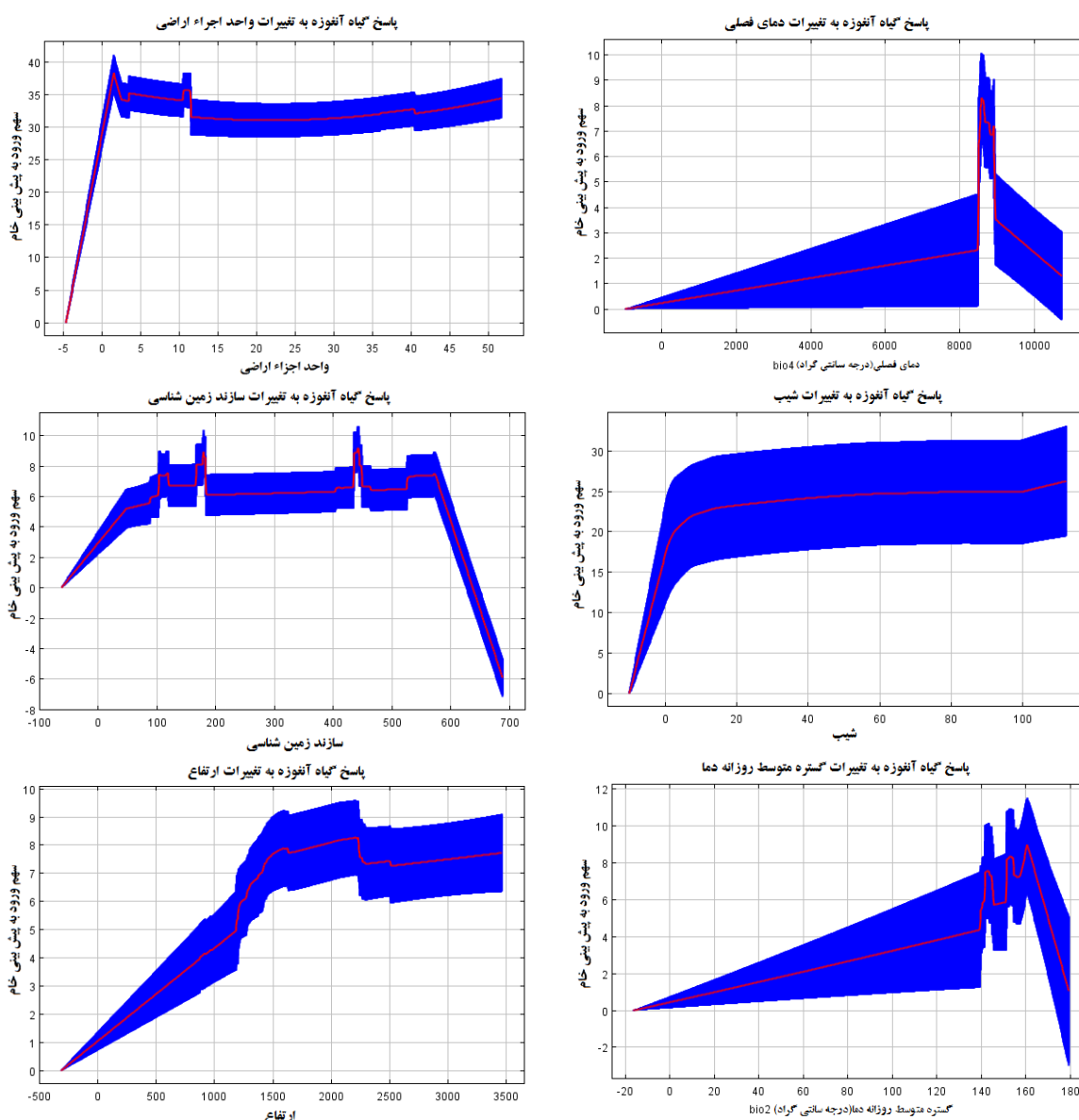
نسبتاً مرتفع و کوهستانی نسبتاً مرتفع تا مرتفع، فرسایش‌یافته با دره‌های عمیق و پرشمار از شانس بیشتری برای میزبانی از گونه برخوردارند. از نظر زمین‌شناسی احتمال حضور گونه در سنگ‌های آهک‌دار اعم از سنگ‌های آهکی سخت و دولومیتی و ماسه‌سنگ بیشتر بوده و در مراتب بعدی و البته همچنان به میزان قابل توجهی در سنگ‌های آذرین و دگرگونی نیز یافت می‌شود. در مورد پاسخ گونه به تغییرات

منحنی‌های پاسخ گونه در برابر تغییرات متغیرهای پیش‌بینی برای شش متغیر با بیشترین اهمیت در (شکل ۳) آورده شده‌اند. بررسی و تحلیل نمودارهای پاسخ گونه به متغیرهای اجزاء واحدهای اراضی و زمین‌شناسی و شیب در مجموع نشان‌دهنده وابستگی این گونه به مناطق شیب‌دار و عدم ترجیح مناطق هموار و بدون پستی و بلندی است. به‌طوری‌که واحدهای اراضی متشکل از تپه‌های کم ارتفاع تا



متغیرهای مهم بوده است. این متغیر طبق تعریف مقدار تغییر دما در ماه‌های یکسال معین یا میانگین ماهانه سال‌های دوره آماری را بر اساس انحراف معیار میانگین دمای ماهانه به‌عنوان معیاری برای تغییر دما در طول سال نمایندگی می‌کند و از انحراف معیار ۱۲ میانگین دمای ماهانه محاسبه و نتیجه برای سهولت کاربرد در محاسبات در ۱۰۰ ضرب می‌شود (Hijmans, 2004).

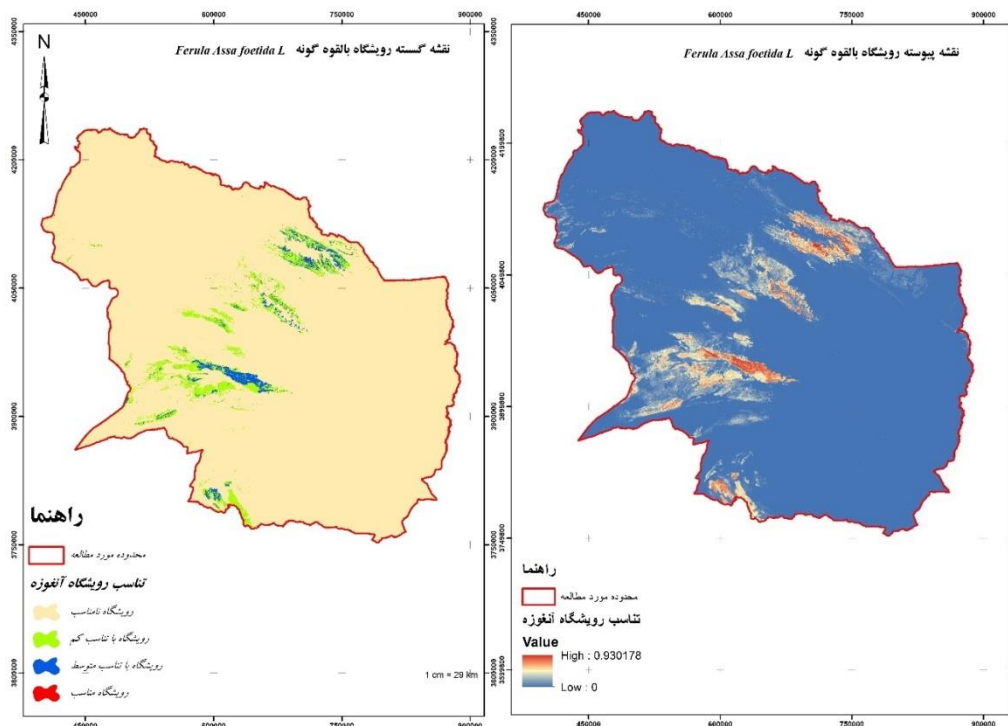
ارتفاع حضور گونه، پس از بالا رفتن از ارتفاع حدود ۱۲۰۰ متر از سطح دریا به شدت تقویت می‌شود و این روند تا ارتفاع ۱۵۰۰ متر ادامه دارد. از ارتفاع ۱۵۰۰ تا حدود ۲۲۰۰ متری بهترین شرایط برای حضور گونه مهیا بوده و از ۲۲۰۰ متر به بالا با کاهش یکباره روبرو می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده محدوده ارتفاعی مطلوب گونه باشد. از میان متغیرهای اقلیمی متغیر تغییرات دمای فصلی (Bio4) یکی از



شکل ۳- منحنی‌های پاسخ (واکنش) گونه آنغوزه به مهمترین متغیرهای پیش‌بینی استفاده شده در مدل

و بیشترین احتمال حضور گونه آنغوزه ارزش‌گذاری می‌کند که در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. این نقشه در نرم‌افزار Arc GIS ۱۰/۵ با استفاده از روش natural breaks یا الگوریتم Jenks طبقه‌بندی و به چهار طبقه رویشگاه نامناسب، تناسب کم، تناسب متوسط و تناسب خوب زون‌بندی شد. نتایج این بخش نشان داد که بیش از ۱۸۸ هزار هکتار در حدود ۱/۳ درصد از مناطق مورد بررسی قابلیت متوسط تا خوب برای رویش و بهره‌برداری از گونه آنغوزه داشته و بیش از ۵۵۷ هزار هکتار برابر با ۳/۸۶ درصد از منطقه اراضی دارای استعداد کم برای رویش گونه آنغوزه بوده‌اند. اندکی کمتر از ۹۵ درصد از مساحت استان‌های خراسان رضوی و شمالی قابلیت چندانی برای رویش گونه آنغوزه نداشته‌اند. طبق نتایج، زیستگاه بالقوه مناسب بیشتر در جنوب غرب و شمال شرق منطقه مطالعاتی واقع شده است.

با توجه به این واقعیت که انحراف معیار به‌عنوان یک شاخص پراکندگی، هرچه قدر به صفر نزدیک باشد، نشانه کمتر بودن تغییرات آن است. نمودار پاسخ گونه آنغوزه به این متغیر حکایت از وابستگی شدید گونه آنغوزه به شدت تغییرات دما در منطقه رویشی دارد، به طوری که از بین طیف نقاط با اختلاف دمای سالانه ناچیز تا بسیار زیاد، مناطق با نزدیک به حداکثر اختلاف دما را انتخاب کرده است. متغیر Bio2 گستره متوسط روزانه دما یا میانگین دامنه دمای روزانه با استفاده از داده‌های حداکثر و حداقل دمای ماهانه سال‌های متوالی محاسبه می‌شود. گونه آنغوزه در مورد این متغیر نیز به حداکثر تغییرات روزانه دما علاقمند بوده و در مناطقی که از نظر دامنه تغییرات روزانه دما شدیدترین تغییرات را دارند آشیان‌گزینی می‌کند. مدل بدست‌آمده در آخرین گام همه پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه را با مقادیر صفر تا هزار به ترتیب برای کمترین



شکل ۴- نقشه قابلیت رویشگاهی پیوسته و طبقه‌بندی شده گونه *Ferula Assa foetida L.* در استان‌های خراسان رضوی و شمالی

## بحث

بنابر نتایج این تحقیق، توانایی مدل حداکثر آنتروپی برای پیش‌بینی رویشگاه‌های بالقوه گونه آنغوزه بر اساس مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) در سطح خیلی خوب ارزیابی شده و می‌تواند برای آگاهی از ویژگی‌های محیطی رویشگاه آن کارکرد مؤثری داشته باشد. این نتیجه با توجه به اینکه مدل حداکثر آنتروپی پرکاربردترین مدل در مطالعات توزیع گونه‌ای است (Jarvie & Svenning, 2018) دور از انتظار نبود اما با توجه به ویژگی‌های خاص هر گونه گیاهی و عدم مطالعه توزیع گونه‌ای آنغوزه لازم بود مورد بررسی قرار گیرد. همانگونه که در بخش نتایج بیان شد متغیرهای اجزاء واحد اراضی، تغییرات دمای فصلی، زمین‌شناسی، شیب، ارتفاع از سطح دریا و میانگین دامنه دمای روزانه در مناسب بودن زیستگاه بالقوه آنغوزه در سطح منطقه مورد مطالعه بیشترین اهمیت را داشتند. با توجه به اینکه تاکنون تحقیق مشابهی روی گیاه آنغوزه انجام نشده است و تنها منبعی که برای مقایسه نتایج با وجود تفاوت روش و وسعت و مقیاس مطالعه قابل دسترسی است تحقیق (Saadatfar et al., 2019) بوده که در بخش مقدمه به آن اشاره شد. مقایسه نتایج این تحقیق با پژوهش یادشده از نظر محدوده ارتفاع مناسب و اهمیت ویژگی‌های خاک و زمین‌شناسی بر پراکنش گونه آنغوزه مشابهت داشته است. در جدول تحت عنوان: طبقات کاربری اراضی برای رویش آنغوزه و میزان مطلوب آنها در مقاله یادشده در مناطق با میزان مطلوبیت خوب و خیلی خوب درصد آهک و اسیدیته به ترتیب (۵ تا ۲۹ درصد) و (۷/۷-۸/۳) گزارش شده است که کاملاً با نتایج تحقیق ما همخوانی دارد (در چکیده مقاله یادشده هدایت الکتریکی و اسیدیته پایین از جمله ویژگی‌های مناطق مستعد رویش آنغوزه ذکر شده بود که احتمالاً ناشی از خطا در زمان خلاصه‌نویسی نتایج برای چکیده بوده است). از جمله موارد تفاوت نتایج تحقیق یادشده با تحقیق ما، درصد مناطق مطلوب بوده که در منطقه چترود ۱۷ درصد دارای بیشترین مطلوبیت،

نزدیک به ۲۴ درصد نامطلوب و بقیه مطلوبیت کم و متوسط بوده است (مساحت کل نزدیک به ۲۹ هزار هکتار). این مسئله ناشی از تفاوت روش انتخاب محدوده منطقه مورد مطالعه است، زیرا در کاربرد مدل‌های توزیع گونه‌ای انتخاب محدوده مطالعاتی باید طوری انجام شود که توزیع آماری یکنواخت دامنه تغییرات شرایط اکولوژیک را شامل شود. از این رو انتخاب محدوده باید به گونه‌ای انجام شود که محاط بر پراکنش جغرافیایی نقاط حضور بوده و توزیع آماری نقاط حضور در دامنه گرادیان‌های محیطی نیز به صورت یکنواخت و متعادل باشد (Elith et al., 2010; Webber et al., 2011). در حالی که در مقاله یادشده چنین محدودیت روش‌شناختی وجود نداشته و مرز رویشگاه بر اساس نظر کارشناسی تعیین شده است. در اینجا به‌عنوان یک تجربه عملی توصیه می‌شود در نتیجه‌گیری از نتایج تحقیقات و مطالعات مرتبط با قابلیت‌سنجی مطلوبیت زیستگاه به نسبت مساحت طبقات کیفی مطلوبیت به‌ویژه مناطقی که با قابلیت کمتر از میانگین ارزیابی شده‌اند توجه شود. در تحقیقات مشابه انطباق مناطق کم‌استعداد برای رویش یک گونه با پراکنش نقاط حضور فعلی آن گونه، ناشی از تراکم کمتر نقاط حضور در این مناطق محسوب شده و این مسئله به نوبه خود نشان‌دهنده کاهش حضور بالفعل گونه با وجود قابلیت رویشگاهی تلقی شده است (Helm et al., 2006). از آنجا که کاهش حضور بالفعل یک گونه گیاهی در مناطقی که قابلیت و استعداد حضور آن را دارند همواره ناشی از کاهش توان تولیدمثل و استقرار گونه در اثر عوامل طبیعی یا انسانی است. یکی از مهمترین نتایج تحقیقات مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها به‌ویژه در مورد گونه‌های گیاهی از تمرکز بر نتایج مشاهداتی در مناطق با استعداد کم حاصل می‌شود (Dirnböck et al., 2011). در پژوهش ما، وسعت مناطقی که با تناسب کم برای رویش گونه ارزیابی شده‌اند نزدیک به سه برابر مناطق با تناسب متوسط و خوب و بسیار قابل توجه بوده است. بر مبنای این بخش از نتایج

- Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D. and Perrin, N., 2002. Ecological niche factor analysis: how to compute habitat suitability maps without absence data. *Journal of Ecology*, 83(7): 2027-2036.
- Hosseini, S. Z., Kappas, M., Chahouki, M. Z., Gerold, G., Erasmi, S. and Emam, A. R., 2013. Modelling potential habitats for *Artemisia sieberi* and *Artemisia aucheri* in Poshtkouh area, central Iran using the maximum entropy model and geostatistics. *Ecological Informatics*, 18: 61-68.
- Iranshahy, M. and Iranshahi, M., 2011. Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of asafoetida (*Ferula assa-foetida oleo-gum-resin*)—A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 134(1): 1-10.
- Jarvie, S. and Svenning, J. C., 2018. Using species distribution modeling to determine opportunities for trophic rewilding under future scenarios of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 373(1761): 20170446.
- Kajimoto, T., Yahiro, K. and Nohara, T., 1989. Sesquiterpenoid and disulphide derivatives from *Ferula assa-foetida*. *Journal of Phytochemistry*, 28(6): 1761-1763.
- Kavooosi, G. and Rowshan, V., 2013. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil obtained from *Ferula assa-foetida* oleo-gum-resin: effect of collection time. *Journal of Food chemistry*, 138(4): 2180-2187.
- Keshtkar, H. R., Azarnivand, H. and Atashi, H., 2009. Effect of prechilling and GA3 on seed germination of *Ferula assa-foetida* and Prangos ferulacea. *Journal of Seed Science and Technology*, 37(2): 464-468.
- Keyghobadi, M., Piri Sahragard, H., Pahlavan Rad, M., Karami, P. and yari, R., 2020. Application of generalized additive model and classification and regression tree to estimate potential habitat distribution of range plant species (Case Study: Khazri Rangelands of Beyaz Plain, Southern Khorasan). *Iranian journal of Range and Desert Research*, 27(3): 561-576.
- Khajeh, M., Yamini, Y., Bahramifar, N., Sefidkon, F. and Pirmoradei, M. R., 2005. Comparison of essential oils compositions of *Ferula assa-foetida* obtained by supercritical carbon dioxide extraction and hydro-distillation methods. *Journal of Food chemistry*, 91(4): 639-644.
- Khalasi Ahwazi, L., Zare Chahouki, M. A. and Hosseini, S. Z., 2015. Modeling geographic distribution of *Artemisia sieberi* and *Artemisia*

این پژوهش می‌توان استنباط کرد که در شرایط طبیعی از قبیل تغییر اقلیم به احتمال قریب به یقین توانایی تأثیر منفی در کیفیت رویشگاه یک گونه گیاهی به صورتی که نزدیک به ۸۰ درصد از مناطق کیفیت رویشگاهی کمتر از حد متوسط را ارائه کنند نداشته و با اطمینان بالایی می‌توان گفت که عوامل انسانی از قبیل کمیت و کیفیت بهره‌برداری و شیوه مدیریت و کاربری اراضی در منطقه مورد بررسی در ارتباط با گونه‌های گیاهی که از مطلوبیت برخوردارند به‌طور اعم و گونه آنگوزه به‌طور اخص باید مورد بررسی و پایش قرار گیرد.

### منابع مورد استفاده

- Boyce, M. S., 2006. Scale for resource selection functions. *Journal of Diversity and Distributions*, 12(3): 269-276.
- Dirnböck, T., Essl, F. and Rabitsch, W., 2011. Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. *Journal of Global Change Biology*, 17(2): 990-996.
- Elith, J., Kearney, M. and Phillips, S., 2010. The art of modeling range-shifting species. *Journal of Methods in ecology and evolution*, 1(4): 330-342.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E. and Yates, C. J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Journal of Diversity and distributions*, 17(1): 43-57.
- Ghafari, S., Ghorbani, A., Moammeri, M., Mostafazadeh, R., Bidar Lord, M. and Kake Mami, A., 2019. Modeling and determining effective factors in distribution of *Festuca ovina* using Maxent in rangelands of northern Ardabil province. *Iranian journal of Range and Desert Research*, 27(3): 433-462.
- Ghareghan, F., Ghanbarian, G., Pourghasemi, H. R. and Safaeian, R., 2020. Prediction of habitat suitability of *Morina persica* L. species using artificial intelligence techniques. *Journal of Ecological Indicators*, 112: 106096.
- Helm, A., Hanski, I. and Pärtel, M., 2006. Slow response of plant species richness to habitat loss and fragmentation. *Journal of Ecology letters*, 9(1): 72-77.
- Hijmans, R. J., 2004. Arc Macro Language (AML®) version 2.1 for calculating 19 bioclimatic predictors: Berkeley, Calif, Museum of Vertebrate Zoology, University of California at Berkeley. Available at <http://www.worldclim.org/bioclim>.

- Raney, P. A. and Leopold, D. J., 2018. Fantastic wetlands and where to find them: modeling rich fen distribution in New York State with Maxent. *Journal of Wetlands*, 38(1): 81-93.
- Ray, D., Behera, M. D. and Jacob, J., 2017. Evaluating ecological niche models: A comparison between Maxent and GARP for predicting distribution of *Hevea brasiliensis* in India. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 88(4), 1337-1343.
- Saadatfar, A., Tavassolian, I. and Hossein Jafari, S., 2019. Determination potential habitats of *Ferula assa foetida* medicinal herb using analytical hierarchy process (AHP) and GIS (Case study: Chatrod region, Kerman). *RS & GIS for Natural Resources*, 9 (4): 139-155.
- Silva, L., Dutra, L., Costa, H., Azevedo, E., Medeiros, V., Alves, M. and Elias, R., 2017. Modelling native and invasive woody species: A comparison of Enfa and Maxent applied to the Azorean Forest. *International Conference on Dynamics, Games and Science: Springer*,. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55236-1\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55236-1_20).
- Sweet, J.A., 1988. Measuring the accuracy of a diagnostic systems. *Science* 240, 1285-1293.
- Thorn, J. S. V., Nijman, D. and Smith Nekaris, K. A. I., 2009. Ecological niche modeling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates: Nycticebus). *Diversity and Distributions*, 15(2): 289-298.
- Webber, B. L., Yates, C. J., Le Maitre, D. C., Scott, J. K., Kriticos, D. J., Ota, N. and Midgley, G. F., 2011. Modeling horses for novel climate courses: insights from projecting potential distributions of native and alien Australian acacias with correlative and mechanistic models. *Diversity and Distributions*, 17(5): 978-1000.
- Xue-Qing Yang, S.P.S., Kushwaha, S. S. and Jianchu Xu, P.S. R., 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, 51: 83-87.
- Zarabi, M., Haghdadi, R. and Yousefi, H., 2018. Modeling the suitability of organic (wild) pistachio (*Pistacia vera*) habitat using MaxEnt entropy method in Sarakhs forest area (under Gonbadli basin of Khorasan Razavi province). *Journal of Echohydrology*, 4 (3): 817-824p.
- Zare Chahouki, M.A., Azarnivand, H., Jafari, M., and Tavili, A., 2010. Multivariate statistical methods as a tool for model based prediction of *aucheriusing* presence-only modelling methods (MAXENT & ENFA). *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 6 (1): 57 – 73.
- Kumar, S. and Stohlgren, T.J., 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment*, 1(4): 94-98.
- Lemke, D., Hulme, P.E., Brown, J.A. and Tadesse, W., 2011. Distribution modeling of Japanese honeysuckle (*Lonicera japonica*) invasion in the Cumberland Plateau and Mountain Region, USA. *Journal of Forest Ecology and Management*, 262(2): 139-149.
- Moghaddam, M. and Farhadi, N., 2015. Influence of environmental and genetic factors on resin yield, essential oil content and chemical composition of *Ferula assa-foetida* L. populations. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(3): 69-76.
- Molaei, M., Ghorbani, A., Moameri, M. and Hossainzadeh, A., 2020. Habitat prediction of *Artemisia fragrans* Willd. and *A. chamaemelifolia* Vill. in elevation gradient of Ghezeloan-Aghdagh, Khalkhal. *Iranian journal of Range and Desert Research*, 27(3):545-560.
- Morovati, M., Karami, M., Kaboli, M., Rousta, Z. and Shorakaei, M., 2015. Modeling the habitat suitability of *Ovis orientalis*, the most important prey of cheetah (*Acinonyx jubatus venaticus*) Using Maximum Entropy method In Dareh Anjir Wildlife Refuge. *Journal of Animal Environment*, 6(4): 135-139.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Journal of Ecological modeling*, 190(3): 231-259.
- Phillips, S.J., Dudík, M. and Schapire, R.E., 2009. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning, ACM Press, New York*, 655–662.
- Radnezhad, H., Moshtaghie, M., Amoeian, I. and Jamali, A., 2016. 'Modeling the distribution of (*Gazella subgutturosa*) in Bamoo National Park with maximum entropy methods: (MAXENT)'. *Journal of Animal Environment*, 8(2):17-24.
- Rajabian, T., Saboura, A., Hasani, B. and Falah, H. H., 2007. Effects of GA3 and chilling on seed germination of *Ferula assa-foetida*, as a medicinal plant. *Iranian journal of medicinal and aromatic plants*, 23 (3): 391-404.

- Zare, A. R., Solouki, M., Omid, M., Irvani, N., Abasabadi, A. O. and Nejad, N. M., 2011. Effect of various treatments on seed germination and dormancy breaking in *Ferula assa foetida* L. (Asafetida), a threatened medicinal herb. *Trakia journal of sciences*, 9(2): 57-61.
- vegetation types. *Russian Journal of Ecology*, 41 (1): 84-94.
- Zare Chahouki, M.A. and Abbasi, M., 2016. Modeling the habitat suitability of *Stipa barbata* using ecological nest factor analysis method Case study: Middle Taleghan rangelands. *Journal of Iranian natural ecosystems*, 7(4):1-16.

## Predicting suitable growing areas of *Ferula assa-foetida* L. in northeastern Iran using the maximum entropy model

J. Momeni Damaneh<sup>1</sup>, Y. Esmailpour<sup>2\*</sup>, H. Gholami<sup>3</sup> and A. Farashi<sup>4</sup>

1- Ph.D. Student of Desert Management, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, BandarAbbas, Iran

2\*-Corresponding author, Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, BandarAbbas, Iran, Email: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Hormozgan, BandarAbbas, Iran

4- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resource and Environment Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 17/11/2020

Accepted: 28/06/2021

### Abstract

*Ferula assa-foetida* L., as one of the most significant range plants in northeastern Iran, plays a role in soil conservation and the economy of rangeland stakeholders. However, misuse and destruction of its habitats are among the factors threatening this natural capital. This study was conducted to identify potential habitats of this species in the two provinces of Khorasan Razavi and North Khorasan, which can be a step towards facilitating and developing replanting and rehabilitation operations of this species. Spatial data of the presence of this species with a pixel size of  $1100 \times 1100$  m were used as actual suitable places for its growth, and layers of environmental information such as climate, soil, geology, and physiography were used as predictor variables. First, in Biomaper Version 4, the correlation of prediction variables was examined, and independent variables were selected. The potential habitat areas extracted from the species distribution model were mapped with the Maxent 3.3 software. The results showed that the used model had good accuracy and reached to AUC of 0.97. In terms of significance, the study of input variables to the model using the Jackknife test showed that, respectively, land unit components, seasonal temperature, geological formation, dominant land slope, habitat height, and daily average temperature are suitable for the potential habitat of *Ferula assa-foetida* L. species in the level of the study area is of the utmost importance. The results of this study can be used to identify the ecological needs of the species (*Ferula assa-foetida* L.) and to develop and rehabilitate their habitats.

**Keywords:** Climate, maximum entropy, potential habitat, species distribution model.