



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفظات زست بوم گیاهان"

دوره پنجم، شماره پازدهم، پاییز و زمستان ۹۶

<http://pec.gonbad.ac.ir>

مدل‌سازی آشیان اقلیمی گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) با استفاده از مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر در استان چهارمحال و بختیاری

مریم حیدریان آخانی^۱، رضا تمرتاش^{۲*}، زینب جعفریان^۳، مصطفی ترکش اصفهانی^۱،

محمد رضا طاطیان^۴

^۱ دانشجوی دکتری علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

^۲ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

^۳ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

^۴ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۳

چکیده

پیشرفت در زمینه تکنیک‌های آماری جدید، راهکارهای قدرتمندی برای پیش‌بینی وقوع، پراکنش واقعی و پتانسیل پوشش گیاهی فراهم نموده است که اصطلاحاً به آن‌ها مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای گفته می‌شود. گونه بلوط جنگل‌های زاگرس، گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) است که امروزه شاهد مرگ و میر درختان بلوط در عرصه وسیعی از رویشگاه‌های طبیعی آن هستیم. این مطالعه با هدف پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه بلوط ایرانی در استان چهارمحال و بختیاری واقع در منطقه زاگرس مرکزی انجام شد. در این مطالعه از متغیر زیست اقلیمی حاصل از دما و بارش، سه متغیر فیزیوگرافی و مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر (FDA) در نرم‌افزار R، برای تعیین ارتباط بین وقوع گونه و عوامل محیطی استفاده شد. نتایج مطالعه نشان داد که دامنه سالانه دما و بارندگی سالانه در حدود ۶۷/۶ درصد تغییرات پراکنش گونه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه داشتند. ارزیابی مدل با استفاده از ضرایب آماری کاپا و شاخص سطح زیر منحنی به ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۹۳ بود که بر اساس معیارهای طبقه‌بندی، جزو نقشه‌های با دقت خوب به شمار می‌رود. براساس نتایج حاصل از مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، ۲۸/۸۷ درصد (۴۷۱۵۹۰ هکتار) از مساحت استان برای گونه بلوط ایرانی، دارای تناسب رویشگاهی زیاد تعیین شد. از نتایج این مطالعه در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و اصلاحی گونه بلوط ایرانی می‌توان استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های زاگرس، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، مطلوبیت رویشگاه، پراکنش بالقوه

*نویسنده مسئول: reza_tamartash@yahoo.com

مقدمه

نقشه پراکنش بالقوه (نقشه حضور بالقوه گونه در یک مکان) یا مطلوبیت رویشگاه گونه‌ها برای بسیاری از کاربردها مورد نیاز می‌باشد. این کاربردها شامل ارزیابی تنوع زیستی، ارزیابی محیط‌زیست، طرح‌های حفاظت زیستی، مدیریت رویشگاه، احیاء، مدیریت گونه‌های مهاجم، مدل‌سازی جوامع و پیش‌بینی تغییرات زیست محیطی بر گونه‌ها و اکوسیستم‌ها می‌باشد (Franklin, 2010). به طور کلاسیک تهیه نقشه‌های حضور و پراکنش گونه‌های گیاهی از طریق پیمایش میدانی و تفسیر عکس‌های هوایی انجام می‌گیرد که از یک سو با صرف زمان، هزینه و نیروی انسانی زیاد در مقیاس‌های زیاد توأم بوده و از سوی دیگر تنها پراکنش بالفعل گونه را ثبت می‌نماید (Tarkesh Esfahani, 2008). حال آنکه توسعه و پیشرفت در زمینه به کارگیری خوارزمیک‌ها و تکنیک‌های آماری جدید، راهکارهای قدرتمندی برای بررسی پیش‌بینی حضور و پراکنش واقعی و پتانسیل پوشش گیاهی فراهم نموده است که اصطلاحاً به آن مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای یا^۱ SDM گفته می‌شود (Franklin, 2010). این مدل‌ها به عنوان مدل‌های آشیان بوم شناختی (ENM^۲، مدل‌های اقلیمی رویشگاه (CE^۳) و یا مدل‌های مطلوبیت رویشگاه نیز شناخته شده‌اند (Townsend et al., 2011).

عوامل محیطی بر روی حضور و پراکنش جغرافیایی گیاهان تأثیر می‌گذارد (Huntley et al., 1995). در بین عوامل محیطی تأثیرگذار، شرایط اقلیمی نقش مهمی در پراکنش گونه‌ها و همچنین الگوهای گیاهی دارد (Gaston, 2003). تغییرات اقلیمی تنها عامل جابجایی گونه‌های گیاهی نیستند. عوامل دیگری مانند خاک، سطح آب زیرزمینی، رقبابت و ... هم ممکن است پراکنش گونه‌ها را تحت تأثیر قرار دهند که ملاحظه تمام این فرآیندها در مدل‌سازی در مقیاس جغرافیایی وسیع ضروری نیست و غیر ممکن است (Hamann and Wang, 2006). علاوه بر آن پیرسون و داووسون (Pearson and Dawson, 2003) ذکر نمودند که فاکتورهای اقلیمی و فیزیوگرافی برای مدل‌سازی در سطح منطقه‌ای کفایت می‌کنند. علیرغم این کمبودها مدل‌های پراکنش گونه‌ای الگوهای کلی جابجایی گونه‌ها را پیش‌بینی می‌نمایند که اغلب با روندهای زیستی مشاهده شده منطبق هستند.

گونه غالب و معرف جنگل‌های زاگرس، بلوط ایرانی *Quercus brantii* Lindl. است (جهانبازی گوحانی و همکاران، ۱۳۸۰). گونه بلوط ایرانی به دلیل انعطاف‌پذیری و سازگاری بالای آن به شرایط اقلیمی و خاکی مختلف در تمام منطقه زاگرس دیده می‌شود. امروزه به دلیل تغییرات اقلیمی، گرم شدن دمای کره زمین، خشکسالی‌های ممتد، دخالت‌های انسانی، ریزگردها و آفت‌های گیاهی به خصوص در مناطق مدیترانه‌ای مانند زاگرس، شاهد مرگ و میر درختان بلوط و خشک شدن آنها هستیم، در نتیجه کیفیت و کمیت این جنگل‌ها در حال کاهش می‌باشد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۲).

مطالعات بسیاری با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌ای، به مدل‌سازی پراکنش گونه‌های مهم گیاهی

^۱Species Distribution Models

^۲Ecological Niche Modeling

^۳Climatic Envelops

پرداخته‌اند. مک لاغلین و زاوالتا (McLaughlin and Zavaleta, 2012) در کالیفرنیا به برداشت صحرایی و مدل‌سازی پراکنش درختان بالغ و نهال‌های *Quercus lobata* به صورت مجزا توسط مدل‌های GARP و MaxEnt Bioclim و MaxEnt پرداختند. آنها بی‌بردن که نهال‌ها حساسیت بیشتری به گرمایش دارند و رویشگاه آنها عموماً با افزایش دما به پناهگاه‌های اطراف آب محدود می‌شود. در ایتالیا، وسلا و شیرون، (Vessella et al., 2013) مدل‌سازی پراکنش گونه *Quercus suber* را جهت پیش‌بینی مناطق مناسب به منظور جنگل‌کاری و حفاظت، با قدرت تفکیک‌پذیری بالا و در مقیاس محلی اجرا نمودند. در ارزیابی متغیرهای مهم موثر بر پراکنش بالقوه این گونه توسط مدل‌های GARP و MaxEnt، استرس سرما و خشکی، عوامل اکولوژیک مهم در وقوع آن شناسایی شدند. همچنین در داخل کشور، اردستانی و همکاران (Ardestani et al., 2015) به مدل‌سازی رویشگاه بالقوه سه گونه بومی در مرکز ایران با استفاده از مدل حداقل آنتروپی (Maxent) پرداختند و این روش را برای شناسایی مناطق مناسب به منظور پژوهش‌های احیایی مفید دانستند. همچنین خلاصی اهوازی و همکاران (۱۳۹۰) به مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه گونه *Eurotia ceratoides* با استفاده از روش تحلیل عاملی آشیان بومشناختی (ENFA) در مراتع سمنان پرداختند. میزان تطابق نقشه تهیه شده با نقشه واقعی پوشش‌گیاهی نشان دهنده تطابق خوبی بود (ضریب کاپای ۸۵/۰). زارع چاهوکی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی مراتع طالقان پرداختند. نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از ضریب کاپا نشان داد که مدل شبکه عصبی قابلیت بالایی در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه‌های مورد بررسی داشته است. پیری صحراءگرد و همکاران (۱۳۹۳) به مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی در مراتع حوض سلطان استان قم با استفاده از روش رگرسیون لجستیک پرداختند. نتایج نشان داد که روش رگرسیون لجستیک قادر است رویشگاه گونه‌هایی با دامنه بومشناختی محدود را بهتر از گونه‌هایی با دامنه بومشناختی وسیع پیش‌بینی نماید.

مدل مورد استفاده در این مطالعه، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر (^۱FDA) می‌باشد. این روش بر مبنای تحلیل ممیزی خطی (^۲LDA) است و توسط فیشر (Fisher, 1936) توسعه یافت. تحلیل ممیزی خطی، چندین متغیر بهینه را از بین تعداد زیادی متغیر انتخاب و گروه‌های موجود در متغیر پاسخ را تعیین و تفکیک می‌نماید. در صورتی که معادلات غیرخطی در یک رابطه غالب باشند از سری معادلات انعطاف‌پذیر به جای معادلات خطی، جهت برآش مقادیر استفاده می‌نماید. نه تنها معادلات خطی انعطاف‌پذیر، بلکه انواع دیگر معادلات (درجه دوم، درجه سوم و لگاریتمی و...) نیز برآش یافته، مورد آزمون قرار گرفته و بالاخره بهترین معادله انتخاب می‌شود (Hastie et al., 1994).

با توجه به اهمیت این موضوع، مطالعه حاضر با هدف تهیه نقشه پیش‌بینی پراکنش بالقوه، شناسایی عوامل اقلیمی موثر بر پراکنش و تهیه منحنی‌های عکس‌العمل گونه بلوط ایرانی در استان چهارمحال و

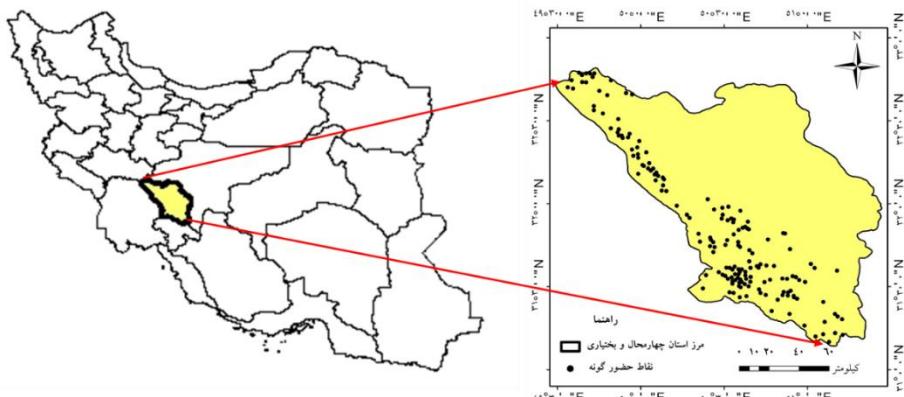
^۱ Flexible Discriminant Analysis
^۲ Linear Discriminant Analysis

بختیاری واقع در زاگرس مرکزی صورت گرفت. از نتایج این مطالعه در برنامه‌بریزی‌های حفاظتی و اصلاحی گونه بلوط ایرانی می‌توان استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

گونه و منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در محدوده زاگرس مرکزی و در کل استان چهارمحال و بختیاری با مساحتی حدود ۱/۶ میلیون هکتار انجام شد (شکل ۱). مساحت جنگلهای استان چهارمحال و بختیاری، ۳۳۰ هزار هکتار برآورد شده است. ۹۸ درصد پوشش عمده جنگلی این مناطق از بلوط ایرانی تشکیل شده است (جهانبازی گوجانی و همکاران، ۱۳۸۰). گونه بلوط ایرانی، بومی مناطق معتدل آسیاست و در غرب آسیا در ایران، عراق، سوریه و ترکیه پراکنش دارد. گونه بلوط ایرانی درختی کوتاه به ارتفاع ۸ تا ۱۰ متر است (Browicz, 1982). گونه‌های همراه تیپ بلوط ایرانی، *Pistacia Amygdalus sp*, *Fraxinus rotundifolia*, *Ionicera nummularifolia* و *atlantica* می‌باشند (یغمایی و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۱- موقعیت استان چهارمحال و بختیاری در کشور ایران و نقاط حضور گونه بلوط ایرانی

روش مطالعه

ابتدا با بازدید از منطقه مورد مطالعه، مناطقی که در آن گونه بلوط ایرانی غالب است مشخص شد. سپس، برداشت مختصات جغرافیایی نقاط وقوع این گونه (۱۷۰ نقطه) با استفاده از جی‌بی‌اس صورت گرفت (شکل ۱). در ثبت نقاط وقوع گونه، سعی شد مناطقی به عنوان وقوع در نظر گرفته شوند که علاوه بر غالیت گونه حداقل یک لکه به مساحت یک کیلومتر مربع را تحت پوشش قرار دهند، همچنین نقاط نمونهبرداری شده از یکدیگر حداقل یک کیلومتر فاصله داشتند.

متغیرهای محیطی مورد استفاده، شامل نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) و دما و بارش ماهیانه منطقه مورد مطالعه با قدرت تفکیک‌پذیری ۳۰ arc-seconds بودند که به صورت ریز مقیاس شده از پایگاه

اطلاعاتی^۱ Worldclim^۲ گرفته شدند. سپس با استفاده از داده‌های دما و بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی استان (۵۰ ایستگاه)، این داده‌ها اصلاح شدند. سپس توسط داده‌های دما و بارندگی اصلاح شده، ۱۹ متغیر زیست اقلیمی در نرم‌افزار DIVA-GIS تولید شدند. در جدول ۱ متغیرهای زیست اقلیمی توصیف شده‌اند.

جدول ۱- توصیف اقلیمی متغیرهای زیست اقلیمی

نامه متغیر	توصیف اقلیمی	نامه متغیر	توصیف اقلیمی
BIO ₁	میانگین دمای سالیانه	BIO ₁₁	میانگین دمای سردترین فصل سال
BIO ₂	میانگین دامنه دمای روزانه	BIO ₁₂	مجموع بارندگی سالانه
BIO ₃	شاخص همدمایی ($BIO_2/BIO_7 \times 100$)	BIO ₁₃	مجموع بارندگی پربارش‌ترین ماه
BIO ₄	تغییرات فصلی دما ($100 \times \text{انحراف معیار}$)	BIO ₁₄	مجموع بارندگی کمبارش‌ترین ماه
BIO ₅	حداکثر دمای گرم‌ترین ماه	BIO ₁₅	تغییرات فصلی بارندگی (ضریب تغییرات)
BIO ₆	حداقل دمای سردترین ماه سال	BIO ₁₆	مجموع بارندگی پربارش‌ترین فصل سال
BIO ₇	دامنه سالانه دما ($BIO_5 - BIO_6$)	BIO ₁₇	مجموع بارندگی کمبارش‌ترین فصل سال
BIO ₈	میانگین پربارش‌ترین فصل سال	BIO ₁₈	مجموع بارندگی گرم‌ترین فصل سال
BIO ₉	میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال	BIO ₁₉	مجموع بارندگی سردترین فصل سال
BIO ₁₀	میانگین گرم‌ترین فصل سال		

از نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های درصد شیب و جهت شیب تولید شد و به عنوان متغیرهای فیزیوگرافی مورد استفاده قرار گرفت. کل لایه‌های محیطی از نظر محدوده، تعداد پیکسل و... سیستم تصویر یکسان‌سازی شد. به منظور انتخاب متغیرهای ورودی به مدل، ابتدا وجود همبستگی بین آنها توسط آزمون آماری پیرسون (Pearson) بررسی شد و متغیرهایی با بیش از ۸۰٪ از همبستگی، تعیین شده و متغیرهایی که دارای اطلاعات مشابهی بودند، حذف شدند (جدول ۲). پس از حذف متغیرهای با همبستگی بالا و غیرضروری، متغیرهای میانگین دمای خشک‌ترین فصل سال، دامنه سالانه دما، مجموع بارندگی سالیانه، شاخص همدمایی، تغییرات فصلی دما، میانگین بارندگی خشک‌ترین فصل، درصد شیب و جهت شیب به عنوان ورودی مدل انتخاب شد.

مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، از نوع مدل‌های همبسته (Correlative) می‌باشد و به منظور تعیین رابطه وقوع گونه و عوامل محیطی استفاده می‌شود. در این مدل، متغیر پاسخ یا واپسنه به طور عمده حضور و غیاب گونه و متغیر پیشگو یا مستقل، پارامترهای محیطی می‌باشند و روابط بین متغیرها به صورت توابع

^۱ www.worldclim.org
^۲ BioClimatic Variables

ریاضی (آماری) ارائه می‌شود. با توجه به فرض مطالعه، رابطه بین گونه و عوامل اقلیمی ثابت است. زمانی که این روابط آماری با سامانه اطلاعات جغرافیایی ترکیب شود، پراکنش گونه‌ها را به این شیوه می‌توان تبدیل به نقشه نمود (Tarkesh and Jetschke, 2016). مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، در برنامه R به منظور تعیین پراکنش جغرافیایی بالقوه گونه بلוט ایرانی اجرا شد.

ارزیابی مدل با استفاده از مولفه‌ها و روابط خاصی و با تشکیل ماتریس خطا (Confusion matrix) (جدول ۳)، انجام شد. بر اساس جدول ۳، زمانی به کار می‌رود که واقعیت زمینی و مدل هر دو حضور گونه را پیش‌بینی می‌نمایند. همچنین b زمانی به کار می‌رود که واقعیت زمینی عدم حضور گونه و مدل، عدم حضور گونه را پیش‌بینی می‌نماید. زمانی c به کار می‌رود که واقعیت زمینی، حضور گونه و مدل، عدم حضور گونه را پیش‌بینی می‌نماید و در نهایت، d زمانی به کار می‌رود که واقعیت زمینی و مدل هر دو عدم حضور گونه را پیش‌بینی می‌نمایند. مقادیر a, b, c و d حاصله از این ماتریس برای ایجاد منحنی ROC به صورت زیر مورد استفاده قرار گرفتند (Fielding and Bell, 1997).

جدول ۲- آزمون همبستگی پیرسون، (R) بین متغیرهای محیطی

عامل	ارتفاع	شیب	جهت	BIO ₁	BIO ₂	BIO ₃	BIO ₄	BIO ₅	BIO ₆	BIO ₇	BIO ₈	BIO ₉	BIO ₁₀	BIO ₁₁	BIO ₁₂	BIO ₁₃	BIO ₁₄	BIO ₁₅
ارتفاع	۱																	
شیب	-۰/۲۷	۱																
جهت	-۰/۰۲	-۰/۰۱۹	۱															
BIO ₁	-۰/۹۸۴	-۰/۱۶۳	-۰/۰۱	۱														
BIO ₂	-۰/۹۳	+۰/۰۹	-۰/۰۲۷	-۰/۰۹۷	۱													
BIO ₃	-۰/۵۹۸	+۰/۹۴۶	-۰/۰۳	-۰/۰۷۰۱	+۰/۵۱۵	۱												
BIO ₄	-۰/۰۳۳	-۰/۰۶۴	-۰/۰۰۷	+۰/۱۴۱	-۰/۰۱۵	-۰/۰۴۳	۱											
BIO ₅	-۰/۹۸۷	-۰/۱۶۰	-۰/۰۰۱	+۰/۹۹۹	-۰/۰۸۸۸	-۰/۰۷۰۲	+۰/۱۶۰	۱										
BIO ₆	-۰/۹۷۸	-۰/۱۳۰	-۰/۰۰۳	+۰/۹۸۹	-۰/۰۹۳۸	-۰/۰۷۳۳	+۰/۰۶۶	+۰/۹۸۷	۱									
BIO ₇	-۰/۷۶	+۰/۰۳	-۰/۰۱۷	-۰/۰۷۶	+۰/۹۱۰	+۰/۱۸۷	+۰/۲۵۶	-۰/۰۷۳۴	-۰/۰۷۳۵	۱								
BIO ₈	-۰/۹۵۹	-۰/۱۷۶	-۰/۰۰۶	-۰/۰۹۷	+۰/۹۰۵	-۰/۰۷۰۷	+۰/۱۵۱	+۰/۹۸۸	+۰/۰۶۹۴	-۰/۰۷۴۸	۱							
BIO ₉	-۰/۹۷۹	-۰/۰۲۱	-۰/۰۳	-۰/۰۷۵	-۰/۰۸۰	-۰/۰۸۲	-۰/۰۲۶	+۰/۰۹۷۷	-۰/۰۶۱	+۰/۰۷۰	+۰/۰۹۵۰	۱						
BIO ₁₀	-۰/۹۸۰	-۰/۱۶۲	۰	+۰/۹۹۹	-۰/۰۸۹۱	-۰/۰۱۵	+۰/۱۷۵	+۰/۰۹۹۹	+۰/۰۸۰۵	-۰/۰۷۴۹	+۰/۰۷۰	+۰/۰۹۷۱	۱					
BIO ₁₁	-۰/۹۸۵	-۰/۰۱۵	-۰/۰۰۱	+۰/۹۹۹	+۰/۰۹۰۶	-۰/۰۷۹۷	+۰/۰۱۸	+۰/۰۹۷	-۰/۰۹۳۲	-۰/۰۷۷۱	+۰/۰۹۶۹	+۰/۰۹۵۷	+۰/۰۹۷	۱				
BIO ₁₂	-۰/۳۷	+۰/۰۱	-۰/۰۱۹	+۰/۰۸	-۰/۰۱۵۰	+۰/۰۷۶۷	-۰/۰۱	+۰/۰۱	+۰/۰۹۳۲	-۰/۰۳۵۲	-۰/۰۰۲۲	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۰۴	+۰/۰۲۵	۱			
BIO ₁₃	-۰/۰۳۸	+۰/۰۲۷	-۰/۰۲۵	+۰/۰۷۶۷	-۰/۰۹۸۵	+۰/۱۱۱	-۰/۰۱۷	+۰/۰۷۸۷	+۰/۰۴۲۶	-۰/۰۵۷۸	+۰/۰۳۷۸	+۰/۰۹۷۲	+۰/۰۳۵۵	+۰/۰۳۸۱	+۰/۰۰۰	۱		
BIO ₁₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱	
BIO ₁₅	-۰/۰۶۷	-۰/۱۳۵	-۰/۰۰۵	+۰/۰۸۷	-۰/۰۷۸۵	-۰/۰۵۶۵	+۰/۰۱۳	+۰/۰۸۴	+۰/۰۶۴	-۰/۰۱۵	+۰/۰۸۵	+۰/۰۸۲	+۰/۰۱۹	+۰/۰۶۵	-	-	۱	
BIO ₁₆	-۰/۰۸۳	-۰/۰۳۰	-۰/۰۱۸	+۰/۰۳۱	-۰/۰۴۴۱	+۰/۱۷۲	-۰/۰۱۲	+۰/۰۴۲	-۰/۰۱۳	-۰/۰۵۶۴	+۰/۰۳۰۴	+۰/۰۲۴۱	+۰/۰۳۳	+۰/۰۳۵	+۰/۰۵۸	-	+۰/۰۲۸	
BIO ₁₇	-۰/۰۳۷	+۰/۰۲۹	-۰/۰۰۱	-۰/۰۷۹۲	+۰/۰۷۱۲	+۰/۰۲۲	+۰/۰۵	-۰/۰۷۸۹	-۰/۰۷۶۹	+۰/۰۳۹	-۰/۰۷۸۴	-۰/۰۸۰۹	-۰/۰۷۷۸	-۰/۰۷۸۶	-۰/۰۷۴۳	-۰/۰۱۰	-۰/۰۷۱۷	
BIO ₁₈	-۰/۰۵۷	+۰/۰۱۷	-۰/۰۱۸	-۰/۰۱۲	+۰/۰۸۷	+۰/۰۵۳	+۰/۰۱۶	-۰/۰۱۰	-۰/۰۷۸۵	+۰/۰۴۰۴	-۰/۰۷۸۷	-۰/۰۷۸۵	-۰/۰۸۰۳	-۰/۰۸۰	-۰/۰۹۴	-	-۰/۰۷۱۶	
BIO ₁₉	-۰/۰۷۷	+۰/۰۶۲	-۰/۰۲۴	+۰/۰۲۶	-۰/۰۵۷۱	+۰/۰۱۱	+۰/۰۵۸	+۰/۰۳۷	+۰/۰۵۸۷	-۰/۰۶۶	+۰/۰۷۷۷	+۰/۰۴۴۳	+۰/۰۱۶	+۰/۰۴۹	+۰/۰۵۶	-	+۰/۰۷۸	

اگر دو متغیر همبستگی $\pm 0/8$ داشتند، تنها یکی از آن‌ها در این مدل انتخاب شده است. همبستگی‌ها در $> 0/05$ معنی دار است. محاسبات در نرم‌افزار Spss16 شده است.

جدول ۳- ماتریس خطا برای ارزیابی عملکرد مدل

		واقعیت زمینی	
		حضور گونه	عدم حضور گونه
		پیش‌بینی مدل	
b	a	حضور گونه	
d	c	عدم حضور گونه	

منحنی ROC با رسم حساسیت (Sensitivity) (حاصل از رابطه ۱) در برابر نرخ قبول اشتباه (حاصل از رابطه ۲) برای تمام آستانه‌های ممکن ایجاد می‌شود.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{حساسیت} = \frac{a}{a+b}$$

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{نرخ قبول اشتباه} = \frac{b}{b+d}$$

در نتیجه، شاخص AUC^۱ یا شاخص سطح زیر منحنی ROC حاصل شد و برابر احتمال قدرت تشخیص مدل بین نقاط حضور و عدم حضور است. در مدلی بدون قدرت تشخیص، سطح زیر منحنی ۰/۵ و Fielding and Bell, 1997; Tarkesh and Jetschke, 2016. شاخص کاپا بیان‌گر میزان توافق بین مشاهدها و پیش‌بینی‌ها می‌باشد. هرچه مقدار آن به یک نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده توافق بهتر مدل با دنیای واقعی است. مقدار کاپا با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Fielding and Bell, 1997; Tarkesh and Jetschke, 2016).

در این مطالعه ۸۰ درصد از نقاط حضور برای تولید مدل و ۲۰ درصد به منظور ارزیابی عملکرد مدل به صورت تصادفی انتخاب و استفاده شد. برای افزایش دقت و کارائی مدل مورد استفاده، روش مدل‌سازی با ۱۰ بار تکرار اجرا شد و مدل نهایی از جمع‌بندی این ده بار اجرا حاصل شد.

رابطه ۳

$$\kappa = \frac{\left(\frac{a+d}{n}\right) - \frac{(a+b)(a+c)}{n^2} + \frac{(c+d)(d+b)}{n^2}}{1 - \frac{(a+b)(a+c) + (c+d)(d+b)}{n^2}}$$

منحنی‌های پاسخ ارتباط عوامل اقلیمی و احتمال وقوع گونه را نشان می‌دهند. آنها ترجیح رویشگاهی و تحمل زیستی گونه را به معرض نمایش قرار می‌دهند (Ardestani et al., 2015). در مدل مورد بررسی، منحنی پاسخ گونه در نرمافزار R نسبت به متغیرهای محیطی ورودی در مدل ترسیم شد.

نتایج

بر اساس نتایج حاصل از مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، مقدار شاخص سطح زیر منحنی برابر با ۰/۹۳

^۱ Area Under Curve

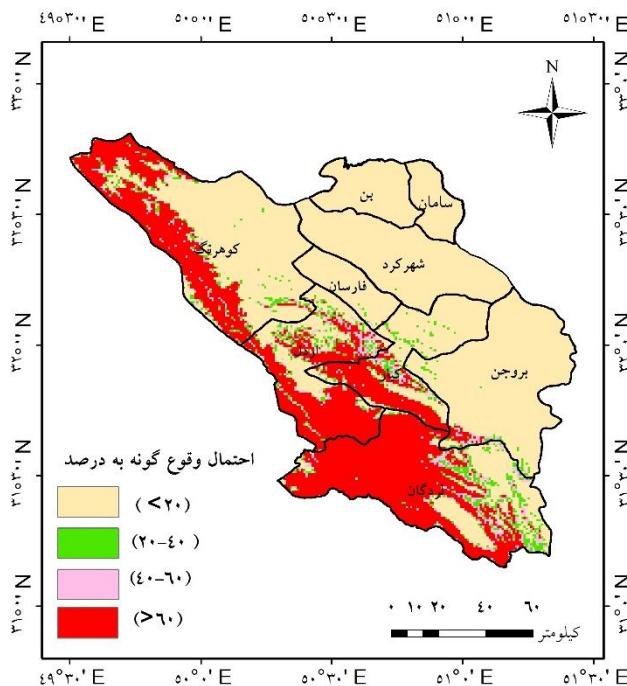
جدول ۴- سهم نسبی هر یک از متغیرهای استفاده شده در مدل برای مطالعه پراکنش جغرافیایی بلوط ایرانی

متغیر محیطی	میانگین سهم نسبی در مدل‌ها (%)
دامنه سالانه دما	۴۱/۶
بارندگی سالیانه	۲۶
تغییرات فصلی دما	۱۶/۵
میانگین دمای خشکترین فصل	۱۰/۳
درصد شیب	۲/۶
جهت شیب	.

و مقدار شاخص کاپا برابر با $0/76$ بود. همچنین سهم نسبی (اهمیت) هر یک از متغیرهای وارد شده به مدل در پیش‌بینی مناطق مناسب برای حضور گونه در جدول ۴ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل به ترتیب، دامنه سالانه دما، بارندگی سالانه، تغییرات فصلی دما و میانگین دمای خشکترین فصل سال، بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه بلوط ایرانی داشتند. میانگین بارندگی سالانه و دامنه سالانه دما در حدود $67/6$ درصد تغییرات پراکنش گونه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه داشتند.

با استفاده از مدل، یک نقشه تناسب رویشگاه حاصل شد که نواحی مستعد برای وقوع گونه را نشان می‌دهد. احتمال وقوع گونه بلوط ایرانی در شهرستان‌های لردگان، کوههنگ، اردل و کیار بیشتر است. بنابراین احتمال وقوع گونه بلوط ایرانی در جنوب، جنوب غربی و شمال غربی و غرب استان بیشتر است (شکل ۲). مساحت هر طبقه در جدول ۵ نمایش داده شده است. سطح رویشگاه مناسب این گونه (احتمال وقوع بیشتر از 60 درصد) با توجه به نقشه پیش‌بینی حاصل از مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، 471590 هکتار می‌باشد که حدود $28/87$ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. همچنین خصوصیات آشیان بوم شناختی اقلیمی گونه بلوط ایرانی منطقه با استفاده از این مدل تعیین شد (جدول ۶).

نتایج حاصل از انطباق نقشه‌های محیطی با نقاط حضور گونه نشان داد که، تغییرات دامنه سالانه دما در نقاط حضور گونه $39/5$ تا 42 درجه سانتیگراد، بارندگی سالیانه 480 تا 700 میلیمتر، تغییرات فصلی دما $8/6$ تا 9 درجه سانتیگراد، میانگین دمای خشکترین فصل 20 تا 30 درجه سانتیگراد و درصد شیب 0 تا 70 درصد می‌باشد. شکل ۳، منحنی‌های پاسخ گونه بلوط ایرانی را حاصل از مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر در ارتباط با متغیرهای محیطی نشان می‌دهد.

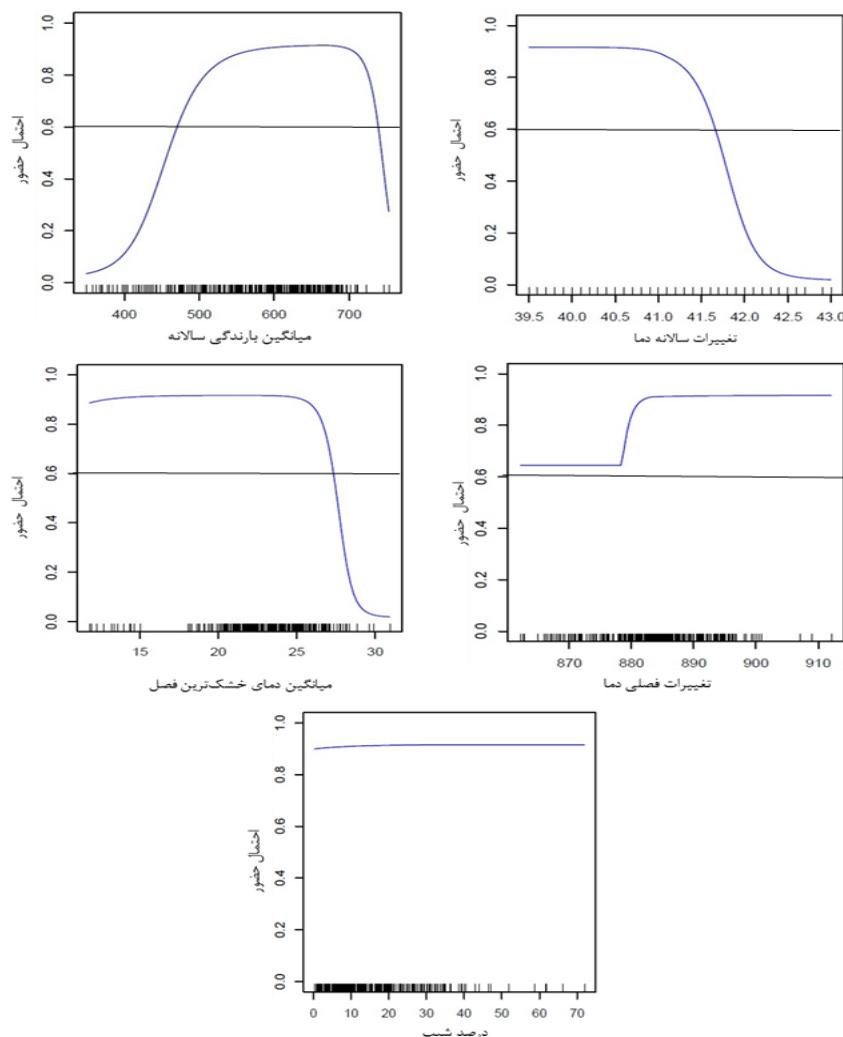


شکل ۲- نقشه پیش‌بینی رویشگاه اقلیمی بالقوه گونه حاصل از مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر در استان چهارمحال و بختیاری.

جدول ۵- مساحت طبقات نقشه پراکنش جغرافیایی بالقوه بلوط ایرانی

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	احتمال وقوع گونه (درصد)
۰-۲۰	۱۰۲۶۰۵۴	۶۲/۸
۲۰-۴۰	۷۱۱۶۴	۴/۳۶
۴۰-۶۰	۶۴۸۹۱	۳/۹۷
>۶۰	۴۷۱۵۹۰	۲۸/۸۷

منحنی‌های پاسخ متغیرهای مهم موثر بر وقوع گونه بلوط ایرانی بر اساس مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر (شکل ۳) نشان داد که احتمال وقوع گونه بلوط ایرانی در تغییرات دامنه سالانه دما $39/5$ تا 41 درجه سانتی‌گراد، بارندگی سالیانه 480 تا 700 میلی‌متر، تغییرات فصلی دما $8/8$ تا 9 درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای خشکترین فصل 15 تا 25 درجه سانتی‌گراد حداکثر می‌باشد.



شکل ۳- منحنی های پاسخ متغیرهای مهم موثر بر قوی گونه بلوط ایرانی (خط افقی نشان دهنده احتمال وقوع حداقل گونه است)

جدول ۶- خصوصیات آشیان بوم شناختی گونه بلوط ایرانی در زاگرس مرکزی

متغیر محیطی موثر بر رویشگاه	متغیر محدوده متغیرها
گونه بلوط ایرانی	در مناطق حضور گونه
دامنه سالانه دما	۳۹/۵ تا ۴۲ درجه سانتی گراد
بارندگی سالیانه	۴۸۰ تا ۷۰۰ میلی متر
تفاوت فصلی دما	۸/۶ تا ۹ درجه سانتی گراد
میانگین دمای خشکترین فصل درصد شیب	۲۰ تا ۲۸ درجه سانتی گراد
درصد شیب	۰ تا ۷۰ درصد

بحث و نتیجه‌گیری

هنگامی که در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، مفهوم آشیان بوم شناختی به کار برده می‌شود، فرض بر این است که گونه‌ها در تعادل با شرایط محیطی حاضر (اقلیم) هستند و فراوانی آنها نشان دهنده تحمل محیطی و منابع مورد نیاز است. فرضیات دیگری شامل: روابط بین گونه‌ای مانند رقابت یا شکار و تأثیرات انسان، توانایی جابه‌جایی در چشم‌انداز (پراکنش یا مهاجرت)، در مطالعات مدل‌های پراکنش در نظر گرفته نمی‌شود (Franklin, 2010). بنابراین در این مطالعه رویشگاه بالقوه گونه بلوط ایرانی ارائه داده شده است. مقادیر شاخص سطح زیر منحنی بین ۰/۷ تا ۰/۹ نشان دهنده پیش‌بینی خوب مدل و مقادیر بالاتر از ۰/۹ نشان دهنده پیش‌بینی عالی مدل است (Swets, 1988). بنابراین بر اساس شاخص سطح زیر منحنی، مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر دارای عملکرد عالی است. بر اساس مطالعه مونسرد و لیمانز (Monserud and Leemans, 1992) مدل‌های با مقدار کاپا بین ۰/۷ تا ۰/۸۵ مدل‌های بسیار خوب و بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۹ مدل‌های عالی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین بر اساس شاخص کاپا مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر دارای عملکرد بسیار خوب است.

بر اساس نتایج حاصل، دامنه سالانه دما و بارندگی سالانه در حدود ۶۷/۶ تغییرات پراکنش گونه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه داشتند. ارتباطی که بین متغیرهای پیش‌بینی انتخاب شده (میانگین بارندگی سالانه و دامنه سالانه دما) و وجود و عدم وقوع گونه برقرار شد، بر اساس مشاهدات تجربی بوده و نمی‌توان این متغیرها را به عنوان علت تفسیر نمود. با این وجود، مطالعاتی مانند رادمهر و همکاران (۱۳۹۴) همبستگی بین مجموع بارندگی و میانگین دمای ماهانه در طول ۳۰ سال را با منحنی گاهشناصی استاندارد درختان بلوط ایرانی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که بین بارندگی و رویش شعاعی درختان بلوط ایرانی در تمام ماهها رابطه مستقیمی برقرار است و افزایش دما باعث کاهش رشد گونه بلوط ایرانی شد.

هر ساله استان چهارمحال و بختیاری با تابستان‌های بسیار گرم مواجه می‌شود که افزایش دما اثراتی نظیر متوقف کردن رشد گیاهان و افزایش تبخیر و تعرق گیاه را در پی دارد. با این توضیح که کمبود آب درختان در پاسخ به دمای بالا اتفاق می‌افتد، بنابراین روزهای گرم بدون بارش، همراه با تبخیر و تعرق زیادی می‌باشد. دمای بالا همراه با کمبود آب باعث ایجاد تنیش‌های خشکی در درخت، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش ذخیره آب و جذب کردن و نهایتاً کاهش رشد می‌شود (Shi et al., 2012). بنابراین چون گیاه ناچار به مصرف آب زیاد بوده، در صورت تأمین نبودن آب با توجه به فرار گرفتن در وضعیت خشکسالی و کمبود آب در منابع زیرزمینی دچار خشکیدگی می‌شود. برآسان نتایج حاصل از مدل تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر، ۲۸/۸۷ درصد (۴۷۱۵۹۰ هکتار) از مساحت استان برای گونه بلوط ایرانی، دارای تناسب رویشگاهی زیاد ارزیابی شد.

حداقل، حداکثر و میانگین ارتفاع مناطقی که گونه در آنها حضور دارد (نقاط نمونه‌برداری گونه) به ترتیب ۱۳۶۰، ۲۴۰۰ و ۱۹۰۰ متر است. ثاقب طالبی و همکاران (Sagheb-Talebi et al., 2014) دامنه

ارتفاعی گونه بلوط ایرانی را در زاگرس مرکزی ۱۴۰۰ تا ۲۳۰۰ متر ذکر و اظهار نمودند که پراکنش جغرافیایی آن توسط شب و جهت محدود نمی‌شود و در تمام شبها و جهتها یافت می‌شود. یغمایی و همکاران (۱۳۸۸) نیز متوسط ارتفاع تیپ بلوط ایرانی را در استان چهارمحال و بختیاری را حدود ۱۷۱۵ متر ذکر نمودند. با استفاده از نتایج حاصل از منحنی‌های پاسخ حاصل از مدل، احتمال وقوع گونه بلوط ایرانی در دامنه سالانه دما $39/5$ تا 41 درجه سانتی‌گراد، بارندگی سالیانه 480 تا 700 میلی‌متر، تغییرات فصلی دما $8/8$ تا 9 درجه سانتیگراد و میانگین دمای خشکترین فصل 15 تا 25 درجه سانتیگراد حداقل می‌باشد. همچنین زمانی که دامنه سالانه دما بیش از $41/5$ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای خشکترین فصل بیش از 26 درجه سانتیگراد است، احتمال وقوع گونه کاهش می‌یابد.

رویشگاهایی که دارای گونه‌های در معرض خطر مانند بلوط ایرانی هستند باید از تغییر کاربری، دستاندازی، کف بر نمودن و تخریب بیشتر حفظ شوند. نتایج حاصل از این مطالعه به مدیران در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی کمک می‌نماید تا شرایط را جهت حفظ و نگهداری، اجرای اقدامات اصلاحی مناسب و بهره‌برداری پایدار از گونه بلوط ایرانی فراهم نمایند.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از آقای دکتر حامد سنگونی که ما در انجام این تحقیق یاری نمودند، صمیمانه تشکر می‌نماییم.

منابع

- پیری صحراءگرد، ح، زارع چاهوکی، مع، آذرنيوند، ح. ۱۳۹۳. مدل‌سازی پراکنش گونه‌های گیاهی در مراتع غرب خوض سلطان استان قم با روش رگرسیون لوجستیک، مرتعداری، (۱): ۹۴-۱۱۳.
- جهانبازی گوجانی، ح، میربادین، ع، طالبی، س. ۱۳۸۰. بررسی و تعیین میزان رویش قطری *Quercus brantii* Lindl در استان چهارمحال و بختیاری، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۵: ۱-۳۲.
- جهانبازی گوجانی، ح، جلیلی، ع، طالبی، م. ۱۳۸۱. گزارش تحقیق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران.
- خلاصی اهوازی، ل، زارع چاهوکی، مع، آذرنيوند ح، سلطانی گرد فرامرزی م. ۱۳۹۰. مدل‌سازی مطلوبیت رویشگاه *Eurotia ceratoides* با کاربرد روش تحلیل عاملی آشیان بوم شناختی (ENFA) در مراتع شمال شرق سمنان، مرتع، ۵ (۴): ۳۶۲-۳۷۲.
- ذوالقاری، ر، کریمی حاجی پمق، خ، فیاض، پ. ۱۳۹۲. ارزیابی تغییرات ژنتیکی در برخی صفات مورفو‌فیزیولوژیکی در بلوط ایرانی، تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران، (۱) ۲۱: ۱۰۳-۱۱۸.
- رادمهر، ع، سوسنی، ج، بالاپور ش.ا، حسینی قلعه بهمنی، س.م، سپهوند، ا. ۱۳۹۴. اثر متغیرهای اقلیمی (دما و بارندگی) بر پهنهای حلقه‌های رویشی درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی در ناحیه زاگرس میانی (مطالعه موردی: جنگل‌های شهرستان خرم آباد)، پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، (۱) ۲۲: ۹۳-۱۰۱.

- زارع چاهوکی، م.ع.، عباسی، م، آذرنیوند، ح. ۱۳۹۳. ارزیابی قابلیت مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی مراتع طالقان میانی. مرتع، ۲(۸): ۱۰۶-۱۱۵.
- یغمایی، ل.، خداقلی، م.، سلطانی، س.، صبوحی، ر. ۱۳۸۸. تأثیر عوامل اقلیمی مختلف بر گسترش تیپ‌های جنگلی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. مجله جنگل ایران، ۳: ۲۳۹-۲۵۱.
- Ardestani, E.G., Tarkesh, M., Bassiri, M., Vahabi, M.R. 2014. Potential habitat modeling for reintroduction of three native plant species in central Iran. Journal of Arid Land, 7: 381-390.
- Browicz, K. 1982. Chorology of trees and shrubs in South-West Asia and adjacent regions. Vol. 1. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Poland, 172p.
- Fielding, A.H., Bell, J.F. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental Conservation, 24(01): 38-49.
- Fisher, R.A. 1936. The use of multiple measurements in taxonomic problems. Annals of eugenics, 7(2): 179-188.
- Franklin, J. 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
- Gaston, K.J. 2003. The structure and dynamics of geographic ranges, Oxford University Press, 267p.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Buja, A. 1994. Flexible discriminant analysis by optimal scoring. Journal of the American statistical association, 89(428): 1255-1270.
- Huntley, B., Berry, P.M., Cramer, W., McDonald, A.P. 1995. Special paper: modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces. Journal of Biogeography, 22: 967-1001.
- Hamann, A., Wang, T. 2006. Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in british columbia. Ecology, 87: 2773-2786.
- McLaughlin, B.C., Zavaleta, E.S. 2012. Predicting species responses to climate change: demography and climate microrefugia in California valley oak (*Quercus lobata*). Global change biology, 18(7): 2301-2312 .
- Monserud, R.A., Leemans, R. 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. Ecological Modelling, 62(4): 275-293 .
- Pearson, R.G., Dawson , T.P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? Global ecology and biogeography, 12(5): 361-371.
- Sagheb-Talebi, K.h., Sajedi, T., Pourhashemi, M. 2014. Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future. Springer, New York, 152p.
- Shi, Z., Gao, J., Yang, X., Jia, Z., Shang, J., Feng, C., Lü, S. 2012. Response of Mongolian pine radial growth to climate in Hulunbuir Sand Land, Inner Mongolia, China. Journal of Food, Agriculture and Environment, 10(2): 884-890
- Swets, J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Science, 240(4857):

-
- 1285-1293.
- Tarkesh Esfahani, M., 2008. Predictive Vegetation Modelling: Comparison of Methods, Effect of Sampling Design and Application on Different Scales 100p.
- Tarkesh, M., Jetschke, G. 2016. Investigation of current and future potential distribution of *Astragalus gossypinus* in Central Iran using species distribution modelling. Arabian Journal of Geosciences, 9(1): 1-11 .
- Towsend, P., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araújo, M. 2011. Ecological niches and geographic distributions, Princeton University Press, Princeton, NJ. 328pp.
- Vessella, F., Schirone, B. 2013. Predicting potential distribution of *Quercus suber* in Italy based on ecological niche models: Conservation insights and reforestation involvements. Forest Ecology and Management, 304: 150-161.