نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و دوم، شماره ۶۵، تابستان ۱۴۰۱

مدل‌سازی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر توزیع مکانی بلوط
(مطالعه موردی: استان‌های ایلام و لرستان)

دریافت مقاله: ۹۸/۴/۱ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۸/۱

صفحات: ۲۶۴-۲۴۷

محمد صفائی: کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
Email: msafaei7273@gmail.com

هانی رضائیان: استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران[1]
Email: hani.rezayan@khu.ac.ir

پرویز ضیائیان فیروزآبادی: دانشیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
Email: rsgis1000@yahoo.com

علی‌اصغر تراهی: استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی،دانشگاه خوارزمی،تهران،ایران.
Email: atorahi@khu.com

چکیده

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر توزیع مکانی بلوط، به‌عنوان گونه اصلی جنگل‌های زاگرس و ارزش اکولوژیکی و اقتصادی آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. هدف از انجام این تحقیق استفاده از مدل‌های توزیع گونه‌ها برای شبیه‌سازی محدوده‌های اقلیمی مناسب برای زیست بلوط در حال حاضر و تغییرات بالقوه آن در سال-های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ است. برای این کار از پنج الگوریتم مدل‌سازی رگرسیونی و یادگیری ماشین، چهار متغیر اقلیمی وابسته به دما و بارندگی و دو سناریوی انتشار گاز گلخانه‌ای خوش‌بینانه و بدبینانه استفاده شد. نتایج ارزیابی صحت مدل‌ها با معیار AUC نشان‌دهنده عملکرد خوب الگوریتم‌های استفاده‌شده است و دراین‌بین الگوریتم Random Forest بالاترین صحت (AUC = 0.95) را در میان الگوریتم‌ها دارا بود. نتایج نشان داد که در هر دو دوره زمانی و تحت هر دو سناریوی تغییر اقلیم، تغییراتی در توزیع مکانی بلوط رخ خواهد داد که شدیدترین آن کاهش ۴۲,۹ درصدی محدوده اقلیمی مناسب بلوط تا سال ۲۰۷۰ در سناریوی بدبینانه (RCP 8.5) است.

کلید واژگان: مدل‌سازی توزیع گونه‌ها، تغییر اقلیم، بلوط، جابه‌جایی گونه‌ها، مطلوبیت زیستگاه.

---

۱. **نویسنده مسئول:** تهران، خیابان مفتح جنوبی، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه سنجش از دور

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

مقدمه

جنگل‌های زاگرس ازجمله مناطق مهم و باارزش منابع طبیعی کشور ایران است که وسعتی بیش از یک‌پنجم سطح و حدود یک‌سوم جمعیت کل کشور را در خود جای‌داده است (Fatahi, 2005). جنگل‌های زاگرس تحت عنوان جنگل‌های نیمه‌خشک طبقه‌بندی گردیده و با مساحتی بیش از ۵ میلیون هکتار سطحی معادل ۴۰ درصد از جنگل‌های کشور ایران را به خود اختصاص داده و بیشترین تأثیر را در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب‌وهوا و تعادل اقتصادی و اجتماعی منطقه دارند (Talebi et al., 2005). امروزه یک از مشکلات اساسی این جنگل‌ها، پدیده خشکیدگی درختان جنگلی است به‌طوری‌که در چند سال اخیر درصد بالایی از درختان این اکوسیستم جنگلی خشک شده‌اند. طبق آمار سازمان جنگل‌ها ۱/۴ میلیون هکتار از این جنگل‌ها تحت تأثیر خشکیدگی بلوط قرارگرفته است. عوامل متعددی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در بروز پدیده خشکیدگی درختان سبز نقش دارند که مهم‌ترین آن‌ها تغییر اقلیم، گرمای بی‌سابقه، خشک‌سالی‌های مکرر و کاهش شدید نزولات جوی هستند (Anisworth & Long, 2005). تغییر اقلیم به‌عنوان عامل اصلی خشکیدگی بلوط شناخته می‌شود. تغییر و نوسانات اقلیمی کره زمین که متأثر از افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر به‌ویژه دی‌اکسید کربن هستند بر توسعه و بقاء جنگل‌ها تأثیر می‌گذارند (Griggs & Noguer, 2002). یکی از آثار مهم تغییر اقلیم بر گیاهان، تغییر توزیع مکانی آن‌ها است. در سال‌های اخیر، پیش‌بینی توزیع گونه‌ها به جزء مهمی از برنامه‌ریزی‌های حفاظت تبدیل شده است و روش‌های مدل‌سازی متنوعی برای این منظور توسعه یافته‌اند (Guisan and Thuiller, 2005). مدل‌های توزیع گونه‌ها (SDM[1])، ابزارهای مناسبی جهت شناسایی محدوده اقلیمی مناسب برای رشد گونه‌ها در زمان حاضر و بررسی جابه‌جایی توزیع مکانی و نواحی آسیب‌پذیر برای رشد گونه‌ها در شرایط تغییر اقلیم هستند. این مدل‌ها مدل‌هایی کمی یا تجربی هستند که با استفاده از داده‌های مکانی موقعیت گونه (فراوانی یا حضور) و متغیرهای زیست‌محیطی که بر توزیع گونه‌ها اثر می‌گذارند، روابط گونه-محیط را مدل‌سازی می‌کنند (Elith and Franklin, 2013). مدل‌سازی توزیع گونه‌ها از ارتباط بین متغیرهای محیطی و داده‌های مکانی گونه‌ها برای شناسایی شرایط محیطی مناسب برای زیست گونه‌ها استفاده می‌کند (Pearson, 2010). پایه و اساس مدل‌سازی توزیع گونه‌ها آنالیز گرادیان اکولوژیکی، جغرافیای زیستی، سنجش‌ازدور و علم اطلاعات جغرافیایی هستند (Franklin, 2010). در تحقیقات گذشته، مدل‌سازی توزیع گونه‌ها تحت عنوان‌های دیگری نیز به کار رفته است که از آن جمله می‌توان مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه[2] (Hirzel and Le Lay 2008) و مدل‌سازی آشیان اکولوژیکی[3] (Stockwell, 2006) را نام برد. مدل‌سازی توزیع گونه‌ها کاربرد وسیعی را در علوم اعم از پایه و کاربردی دارا است که از آن جمله می‌توان به بررسی توزیع مکانی گونه‌ها در شرایط تغییر اقلیم (Peterson 2011)، برنامه‌ریزی‌های حفاظت (Araujo et al. 2002)، ارزیابی

1- Species Distribution Models
2. Habitat suitability modelling
3- Niche modeling

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

فرضیه‌های جغرافیای زیستی (Leathwick 1998)، شناسایی مناطق مناسب جهت معرفی مجدد گونه‌ها (Engler et al. 2004) و پیش‌بینی محدوده گسترش گونه‌های مهاجم (Benedict et al. 2009) اشاره کرد.

در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های SDM جهت بررسی پراکنش گونه‌ها بسیار موردتوجه قرارگرفته و در مقیاس‌های مختلف و برای گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری انجام شده است. برای نمونه Harrison و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN[1])، اثر تغییر اقلیم را بر توزیع ۴۷ گونه شامل (گیاهان، حشرات، پرندگان و پستانداران) در اروپا و شمال آفریقا بررسی کردند. در این مطالعه از ۶ متغیر اقلیمی و ۳ سناریوی اقلیمی جهت مدل‌سازی استفاده کردند. نتایج نشان داد که میزان اثر تغییر اقلیم بر گونه‌های مختلف متفاوت است اما عمده جابه‌جایی از جنوب غرب به شمال شرق خواهد بود. Syphard و Franklin (۲۰۱۰) با استفاده از سه روش مدل‌سازی GLM[2]،GAM[3] و RF[4] توزیع مکانی ۴۵ گونه گیاهی را در کالیفرنیای جنوبی بررسی کردند. در این مطالعه از هشت متغیر محیطی (مربوط به اقلیم، زمین و خاک) جهت مدل‌سازی استفاده شد. به‌منظور ارزیابی صحت پیش‌بینی مدل‌ها معیار AUC مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که پیش‌بینی مدل‌ها برای شش گونه دارای AUC >۰,۷ بوده است که نشان‌دهنده قابلیت مناسب مدل‌سازی توزیع گونه‌ها در شناسایی توزیع مکانی گونه‌های موردمطالعه است. Tangjitman و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از الگوریتم MaxEnt اثر احتمالی تغییر اقلیم را بر توزیع ۹ گیاه دارویی در شمال تایلند بررسی کردند. در این مطالعه از ۱۰ متغیر اقلیمی، سه متغیر محیطی و دو سناریوی انتشار گاز گلخانه‌ای (A1B و A2) جهت شبیه‌سازی زیستگاه این گونه‌ها در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ استفاده شد. نتایج نشان داد که محدوده اقلیمی مناسب ۸ گونه کاهش خواهد یافت و تنها یک‌گونه با افزایش زیستگاه مناسب مواجه خواهد شد. Priti و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل MaxEnt اثر تغییر اقلیم را بر توزیع مکانی بالقوه ۵ گونه از درختان چوبی همیشه‌سبز از خانواده Myristicaceae برای زمان‌های حال حاضر و آینده در کشور هند بررسی کردند. در این تحقیق از دو سناریوی تغییر اقلیم A1B و A2B جهت شبیه‌سازی آینده استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده جابه‌جایی در توزیع مکانی این گونه‌ها است و همچنین محدوده اقلیمی مناسب دو گونه Myristaa fatua وGymno cranthera در اثر تغییر اقلیم کاهش خواهد یافت. Dyderski و همکاران (۲۰۱۸) توزیع مکانی ۱۲ گونه درختی اروپایی را تحت شرایط تغییر اقلیم بررسی کردند. در این تحقیق از مدل MaxEnt و چهار متغیر زیست‌اقلیمی (bio10, bio5،bio7 و bio18) جهت مدل‌سازی استفاده شد. به‌منظور شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده (۲۰۸۰-۲۰۶۱) نیز از سه سناریوی تغییر اقلیم (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) و سه مدل گردش عمومی (GCM[5]) استفاده کردند. نتایج نشان داد که اکثر گونه‌های موردمطالعه با کاهش قابل‌توجهی در زیستگاه مناسب خود مواجه خواهند شد. در ایران نیشر شاه‌نظری و همکاران(۱۳۹۹) نیز

1- Artificial Neural Networks
2- Generalized Linear Models
3- Generalized Additive Models
4- Random Forest
5- General Circulation Models

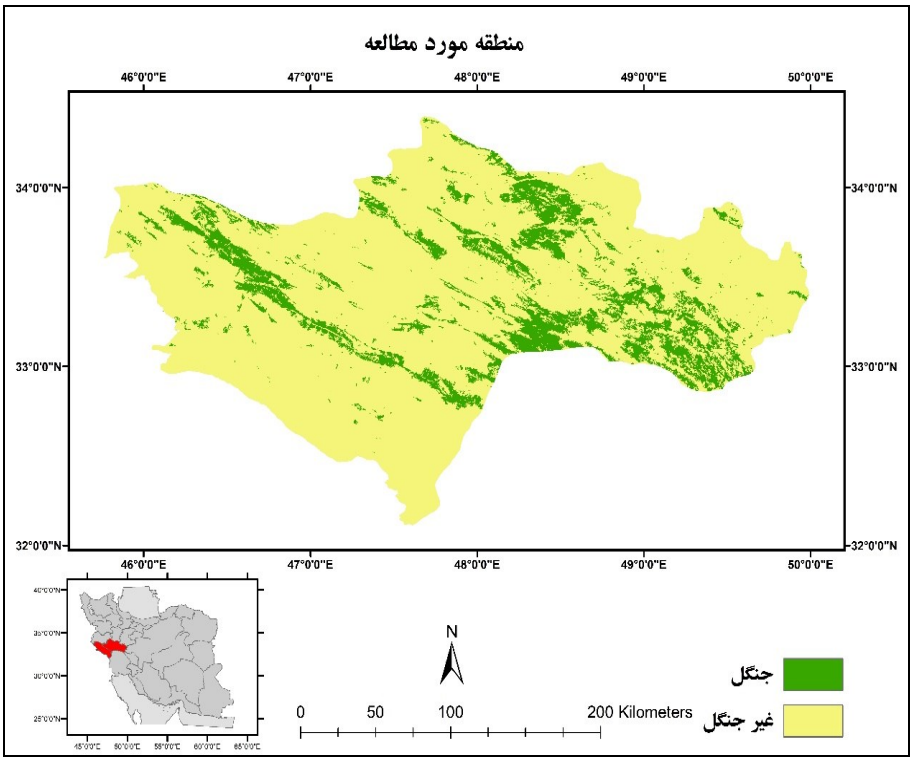
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

اثر تغییر اقلیم بر تقویم زراعی کشت برنج در شمال ایران را مطالعه کردند. با توجه به مطالب فوق و نقشه عمده جنگل‌های بلوط در تنوع زیستی منطقه موردمطالعه و ارزش اکولوژیکی و اقتصادی آن‌ها، بررسی اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر توزیع مکانی این گونه ارزشمند گیاهی جهت برنامه‌ریزی، حفاظت و مدیریت آن‌ها ضروری است.

روش تحقیق

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این تحقیق بخش عمده‌ای از استان‌های ایلام و لرستان واقع در غرب ایران با مساحت ۴۶۷۹۸ کیلومترمربع را در برمی‌گیرد (شکل ۱). این ناحیه بین طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۶ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی قرار دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع این منطقه به ترتیب ۴۵ و ۴۱۵۰ متر از سطح دریا هستند. حدود ۳۹ درصد (۱۸۵۹۲ کیلومترمربع) از این منطقه را جنگل تشکیل می‌دهد که جزو جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک سلسله جبال زاگرس محسوب می‌شوند. تیپ غالب این جنگل‌ها بلوط بخصوص بلوط ایرانی (Quercus Persica) است که حدود ۹۰ درصد پوشش جنگلی این منطقه را به خود اختصاص داده است (باده‌یان و همکاران، ۱۳۹۶؛ عسگری، ۱۳۹۲).



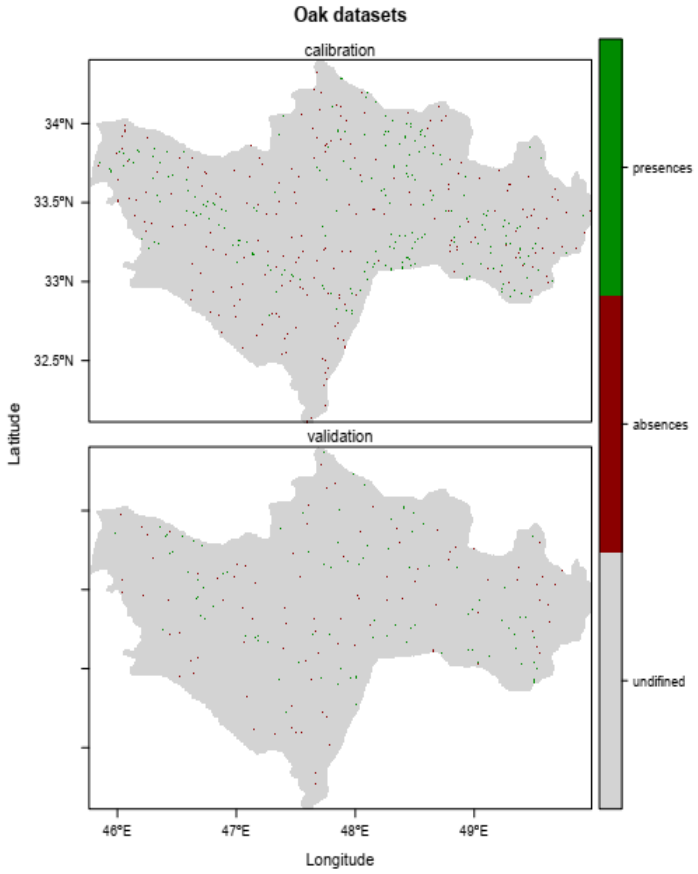
شکل (۱). منطقه موردمطالعه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

داده و روش کار

داده‌های بیولوژیکی

جهت به دست آوردن داده‌های مکانی حضور و عدم حضور بلوط از تصاویر راداری سنجنده PALSAR-2 ماهواره ژاپنی[1] ALOS-2 استفاده شد. این تصاویر با قدرت تفکیک مکانی ۲۵ متر و برای سال ۲۰۱۶ تهیه شدند. سپس از روش نمونه‌برداری طبقه‌ای تصادفی[2] با پلات‌های یک کیلومترمربعی (تقریباً معادل قدرت تفکیک داده‌های اقلیمی) برای برداشت نمونه‌ها استفاده شد. پس از برداشت ۱۰۰۰ نمونه شامل ۵۰۰ نمونه حضور و ۵۰۰ نمونه عدم حضور، ۳۰ درصد آن‌ها معادل ۳۰۰ نمونه به‌عنوان داده‌های آزمون جهت ارزیابی صحت پیش‌بینی‌ها جدا شدند. سپس با تخصیص سیستم مختصات و اطلاعات توصیفی مناسب برای هرکدام از نمونه‌ها (عدد ۱ برای حضور و صفر برای عدم حضور)، این داده‌ها برای شرکت در مدل‌سازی آماده شدند شکل(۲).



شکل (۲). داده‌های آموزشی و آزمون انتخاب‌شده

1- Advanced Land Observing Satellite-2
2- random stratified sampling

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

متغیرهای زیست‌اقلیمی

در این تحقیق از متغیرهای زیست‌اقلیمی[1] موجود در سایت worldclim[2] که شامل ۱۹ متغیر وابسته به دما و بارندگی است، استفاده گردید. این متغیرها که از مقادیر ماهانه دما و بارش جهت ایجاد متغیرهای معنی‌دار بیولوژیکی استفاده می‌کنند اغلب در مدل‌سازی توزیع گونه‌ها و تکنیک‌های مدل‌سازی اکولوژیکی مرتبط استفاده می‌شوند. به‌منظور شبیه‌سازی اقلیم‌های آینده از مدل‌های اقلیمی جهانی یا مدل‌های گردش جهانی (GCM[3]) استفاده می‌شود. مدل‌های اقلیمی جهانی شبیه‌سازی‌های پیچیده‌ای هستند که اقلیم‌های آینده را با استفاده از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای پیش‌بینی می‌کنند (Pearson, 2010). این مدل‌ها از مدل‌های گردش عمومی اتمسفر (AGCM[4]) که به‌منظور پیش‌بینی وضعیت جوی روزانه استفاده می‌شوند تکامل یافته‌اند. مدل‌های اقلیمی برای طیف وسیعی از کاربردها شامل بررسی اثرات متقابل بین فرآیندهای سیستم اقلیمی، شبیه‌سازی تکامل سیستم اقلیمی و فراهم کردن پیش‌نمایی‌هایی از وضعیت‌های اقلیمی آینده تحت سناریوهایی که ممکن است تکامل سیستم اقلیمی را تغییر دهند استفاده می‌شوند. بیشترین کاربرد این مدل‌ها در پیش‌نمایی وضعیت‌های آینده تحت سناریوهای مختلف افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفر است (Lupo & Kininmonth, 2013). در این تحقیق از دو سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6[5]) و بدبینانه (RCP8.5) پنجمین گزارش ارزیابی IPCC[6]، برای سال‌های ۲۰۵۰ (میانگین سال‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰) و ۲۰۷۰ (میانگین سال‌های ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰) میلادی استفاده شد. تغییرپذیری بالای پیش‌نمایی‌های مدل‌های اقلیمی جهانی یک منبع اصلی عدم قطعیت در مدل‌سازی توزیع گونه‌ها به شمار می‌رود (Zhang et al., 2017). به همین دلیل به‌جای استفاده از تنها یک GCM، از ترکیب آن‌ها برای مدل‌سازی توزیع‌های آینده استفاده گردید. جدول (۱).

جدول (۱). لیست مدل‌های اقلیمی جهانی به‌کاررفته

شماره	GCM	کد	شماره	GCM	کد
۱	BCC-CSM1-1	BC	۸	IPSL-CM5A-LR	IP
۲	CCSM4	CC	۹	MIROC-ESM-CHEM	MI
۳	CNRM-CM5	CN	۱۰	MIROC-ESM	MR
۴	GFDL-CM3	GF	۱۱	MIROC5	MC
۵	GISS-E2-R	GS	۱۲	MPI-ESM-LR	MP
۶	HadGEM2-AO	HD	۱۳	MRI-CGCM3	MG
۷	HadGEM2-ES	HE	۱۴	NorESM1-M	NO

1- bioclimatic variables
2- www.worldclim.org
3- Global Climate Model / Global Circulation Model
4- Atmospheric General Circulation Models
5- Representative Concentration Pathway
6- Intergovernmental Panel on Climate Change

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

الگوریتم‌های مدل‌سازی

در این تحقیق مدل‌سازی با استفاده از پنج الگوریتم شامل دو الگوریتم مبتنی بر رگرسیون شامل GLM (McCullagh and Nelder, 1989) و MARS[1] (Friedman 1991) و سه الگوریتم یادگیری ماشین RF (Breiman, 2001)، ANN (Lek & Guegan, 1999) و MaxEnt (Phillips et al., 2006) انجام شد.

روش‌های مبتنی بر GLM تعمیمی از مدل‌های خطی عمومی هستند که برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ معرفی شدند. این مدل‌ها مشتقاتی از مدل‌های خطی هستند که قابلیت کار با توزیع‌های غیر نرمال متغیر پاسخ را دارا هستند. مدل‌های خطی تعمیم‌یافته جایگزینی را برای تبدیل متغیر پاسخ و اجرای مدل خطی فراهم می‌کنند. انواع رایج مدل‌های خطی تعمیم‌یافته شامل رگرسیون خطی، رگرسیون لجستیک و رگرسیون پواسون[2] هستند که رگرسیون لجستیک برای گونه‌های با داده‌های حضور و عدم حضور مناسب است. تابع اتصال لوجیت[3] رگرسیون لجستیک و تابع اتصال لگاریتم رگرسیون پواسون امکان ارتباط خطی متغیر وابسته (رخداد گونه) با متغیرهای پیش‌بینی کننده را فراهم می‌کنند. (Li & Wang, 2013).

روش MARS یک روش رگرسیون غیرخطی است که درواقع تعمیمی از رگرسیون خطی گام‌به‌گام[4] است و برای مدل‌سازی با تعداد متغیرهای پیش‌بینی کننده زیاد مناسب است. این الگوریتم به‌صورت خودکار روابط متقابل و غیرخطی بودن را مدل می‌کند (Friedman, 1991). علاوه بر اینکه این روش قادر به مدل کردن روابط بین پاسخ و متغیرهای پیش‌بینی کننده است، ازنظر محاسباتی نیز سریع است و تبدیل نتایج به پیش‌بینی‌های نقشه‌ای در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با این روش راحت‌تر است (Franklin, 2010).

روش RF یکی از صحیح‌ترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین است که کارایی بالایی را در پیش‌بینی توزیع‌های مکانی گونه‌ها داراست. این روش یک طبقه کننده گروهی شامل تعداد زیادی درختان تصمیم است که الگوریتم جنگل تصادفی Breiman را جهت طبقه‌بندی و رگرسیون اعمال می‌کند (Breiman, 2001). روش RF به همبستگی بالای بین متغیرها حساس نیست و متغیرهای همبسته را به‌خوبی مدیریت می‌کند. این روش مدل‌سازی باوجود پایگاه داده‌های بزرگ به‌خوبی اجرا می‌شود و توانایی پردازش هزاران متغیر ورودی را بدون حذف آن‌ها داراست. این الگوریتم قابلیت بسیار خوبی را در کار با مجموعه داده‌های نامتعادل و بخش‌های بدون داده، دارا است. این روش تخمین‌هایی را برای تعیین اهمیت متغیرها در طبقه‌بندی و یک روش تجربی را جهت شناسایی اثرات متقابل بین متغیرها فراهم می‌کند (Li & Wang, 2013). روش RF صحت پیش‌بینی بالاتری را نسبت به درختان تصمیم معمول در مدل‌سازی توزیع گونه‌ها و دیگر کاربردها دارا است (Franklin, 2010).

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) سیستم‌های محاسباتی الهام گرفته از ساختار و عملکرد سیستم‌های عصبی بیولوژیکی هستند که پاسخ‌های متغیرهای پیش‌بینی کننده محیطی را به‌وسیله عبور دادن مکرر داده‌های

1- Multivariate Adaptive Regression Splines
2- Poisson
3- logit
4- Stepwise linear regression

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

آموزشی از شبکه‌ای از عصب‌های مصنوعی یاد می‌گیرند (Peterson et al., 2011). روش ANN برای شناسایی روابط غیرخطی مناسب است و قابلیت تفسیر داده‌های غیرخطی را دارا است. در شبکه عصبی مصنوعی تفسیر ساختار شبکه‌ای دشوار است. این روش در مقایسه با مدل‌های دیگر زمان پردازش بیشتری را نیاز دارد (Li & Wang, 2013).

روش MaxEnt یک روش یادگیری ماشین است که جهت مدل‌سازی توزیع مکانی گونه‌ها استفاده می‌شود. این روش با تنظیمات پیش‌فرض و بدون تلاش زیاد جهت تنظیم پارامترها، پیش‌بینی قوی را فراهم می‌کند (Philips & Dudik, 2008). این روش به دلیل برخورداری از قدرت پیش‌بینی بالاتر از تعداد زیادی از روش‌های دیگر مدل‌سازی که تنها از داده‌های حضور گونه استفاده می‌کنند، موردتوجه زیادی قرارگرفته است (Elith et al., 2006). این روش مدل‌سازی به‌طور ویژه برای استفاده از داده‌های فقط حضور و حل مشکلات مربوط به نمونه‌های طراحی نشده کوچک توسعه یافته است (Franklin, 2010).

چارچوب مدل‌سازی

در این تحقیق از کتابخانه‌های مختلف نرم‌افزار R نسخه ۳,۵,۳ (R Development Core Team, 2011) که یک‌زبان برنامه‌نویسی و محیط نرم‌افزاری برای محاسبات آماری است، استفاده شد. کتابخانه BIOMOD2 (Thuiller et al., 2016) به‌عنوان اصلی‌ترین کتابخانه در این پژوهش، جهت مدل‌سازی توزیع گونه و ارزیابی صحت استفاده گردید. علاوه بر این، نرم‌افزارهای Arc GIS 10.3 و ENVI 5.1 برای نمونه‌برداری و آماده‌سازی داده‌ها به کار گرفته شدند.

برای انجام فرآیند مدل‌سازی توزیع مکانی بلوط ابتدا داده‌های بیولوژیکی شامل کالیبراسیون[1] (که برای ساخت مدل استفاده می‌شوند) و ارزیابی به همراه داده‌های اقلیمی انتخاب‌شده به فرمت قابل‌قبول برای بسته BIOMOD2 تبدیل شدند (شکل ۲). پس از تبدیل فرمت و تنظیم پارامترهای الگوریتم‌ها و انتخاب معیار ارزیابی صحت، مدل‌سازی با استفاده از پنج الگوریتم انجام شد. سپس برای تعیین نقشه مطلوبیت اقلیمی بلوط، هر یک از مدل‌ها بر متغیرهای زیست‌اقلیمی انتخاب‌شده اعمال شدند. در ادامه به‌منظور شبیه‌سازی مطلوبیت اقلیمی بلوط در شرایط تغییر اقلیم آینده، از ترکیب هر یک از این متغیرها در تمامی مدل‌های اقلیمی انتخاب‌شده برای سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ میلادی و هر دو سناریوی خوش‌بینانه (RCP 2.6) و بدبینانه (RCP 8.5) استفاده گردید. برای تعیین تغییراتی که در زیستگاه مناسب گونه در آینده رخ خواهند داد از نقشه‌های binary که در مرحله قبل (تهیه نقشه‌های مطلوبیت اقلیمی) ایجاد شدند، استفاده گردید. بدین‌صورت که با مقایسه نقشه‌های binary مطلوبیت اقلیمی کنونی گونه با هر یک از مطلوبیت‌های اقلیمی آینده، تغییرات مطلوبیت اقلیمی بلوط شامل نامطلوب، بدون تغییر، ازدست‌رفته و به‌دست‌آمده و همچنین میزان درصد آن‌ها مشخص شدند.

1- calibration data

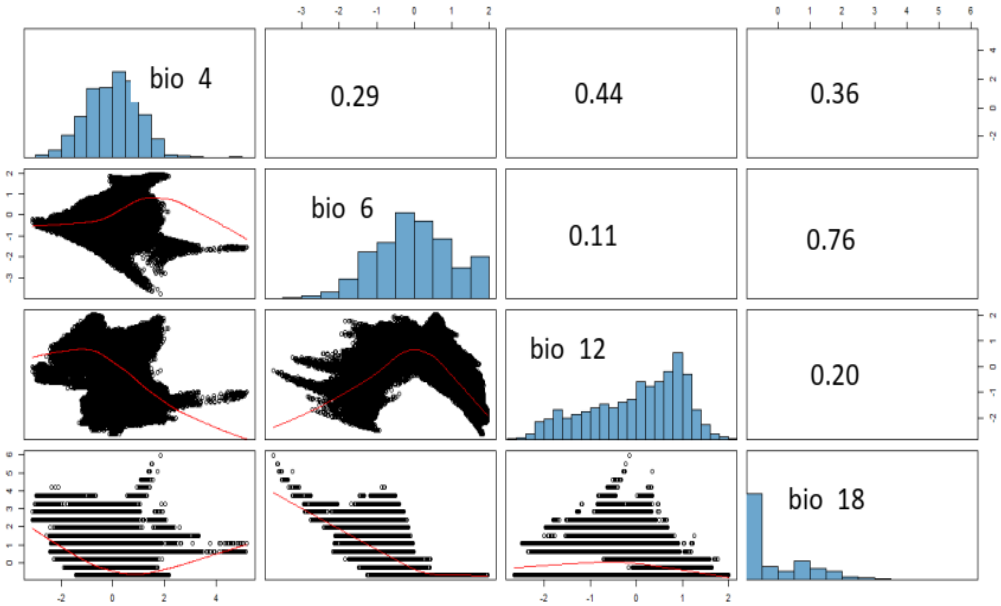
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

نتایج

انتخاب متغیرها

جهت نمایان ساختن همبستگی بین متغیرها و انتخاب متغیرهای مناسب از آزمون PCA[1] استفاده گردید. برای این کار از کتابخانه ade4 در نرم‌افزار R استفاده شد. در ادامه با استفاده از scatterplot و حذف متغیرهای با همبستگی بالا، از بین ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی اولیه، چهار متغیر مرتبط به بارندگی و دما شامل bio_4 (دمای فصلی[2])، bio_6 (دمای حداقل سردترین ماه[3])، bio_12 (بارندگی سالانه[4]) و bio_18 (بارندگی گرم‌ترین سه ماه سال[5]) جهت شرکت در مدل‌سازی انتخاب شدند. سپس باز از scatterplot برای نمایان ساختن ساختارهای همبستگی و توزیع‌های چهار متغیر پیش‌بینی کننده انتخاب‌شده استفاده گردید. در مقاله‌های متعددی همبستگی کمتر از ۰٫۸ که توسط Menard (2002) پیشنهاد شد را به‌عنوان حد قابل‌قبول در نظر گرفته‌اند. همان‌گونه که در شکل (۳) مشخص است همبستگی قوی میان متغیرها وجود ندارد (۰٫۷۶≥) که نشان‌دهنده انتخاب مناسب آن‌ها برای شرکت در مدل‌سازی است.



شکل (۳). نمودار توزیع و همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده

1- Principal Component Analysis
2- Temperature Seasonality (standard deviation *100)
3- Min Temperature of Coldest Month
4- Annual Precipitation
5- Precipitation of Warmest Quarter

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

در ادامه از VIF[۱] به‌منظور آشکارسازی همبستگی‌های پنهانی که با آنالیز همبستگی دوبه‌دو قابل‌شناسایی نیستند، استفاده شد. VIF مبتنی بر مربع ضرایب همبستگی چندگانه حاصل از رگرسیون یک متغیر پیش‌بینی کننده در مقابل تمامی متغیرهای پیش‌بینی کننده است. VIF شدت اثر هم‌خطی بودن چندگانه (multicollinearity) را با اندازه‌گیری محدوده‌ای که واریانس در یک رگرسیون به دلیل مشکل هم‌خطی بودن در مقایسه بازمانی که متغیرهای غیرهمبسته استفاده می‌شوند افزایش می‌یابد، تخمین می‌زند (Guisan et al., 2017). بسته‌های نرم‌افزاری مختلفی وجود دارند که از آن‌ها می‌توان جهت انجام آزمون VIF استفاده کرد که در اینجا از کتابخانه usdm استفاده شد. مقادیر VIF بین ۵ تا ۱۰ به‌عنوان بحرانی در نظر گرفته می‌شوند و مقادیر بیشتر از ۱۰ نشانه وجود مشکل هم‌خطی یا collinearity میان متغیرها هستند. نتایج حاصل از آزمون VIF متغیرهای انتخاب‌شده (مقادیر کمتر از ۵)، نشان‌دهنده عدم وجود مشکل collinearity و مناسب بودن آن‌ها جهت شرکت در مدل‌سازی است. متغیرهای انتخاب‌شده و مقادیر VIF آن‌ها در جدول (۲) نشان داده‌شده‌اند.

جدول (۲). متغیرهای زیست‌اقلیمی انتخاب‌شده و مقادیر VIF آن‌ها

Label	Variable	VIF
BIO_4	دمای فصلی	۱,۷۳
BIO_6	دمای حداقل سردترین ماه	۲,۹۲
BIO_12	بارندگی سالیانه	۱,۸۷
BIO_18	بارندگی گرم‌ترین سه ماه سال	۳,۷۱

ارزیابی کارایی مدل‌ها

به‌منظور ارزیابی صحت پیش‌بینی‌های مدل‌ها از معیار AUC[۲] که درواقع سطح زیر منحنی ROC[۳] است استفاده شد. این روش که مبتنی بر ماتریس درهم‌ریختگی[۴] است به معیاری استاندارد جهت مقایسه صحت روش-های مختلف مدل‌سازی تبدیل شده است (Miller, 2010). مقادیر AUC بین ۰,۵ تا ۱ تغییر می‌کند که ۰,۵ می‌تواند به‌عنوان پیش‌بینی‌های تصادفی تفسیر شود و ۱ نشان‌دهنده صحت بالای مدل است (Franklin, 2010). نتایج نشان داد که الگوریتم Random Forest با صحت ۰,۹۵ بالاترین صحت را در میان الگوریتم‌های استفاده‌شده جهت شبیه‌سازی مطلوبیت اقلیمی بلوط دارا است. ازاین‌رو از این الگوریتم برای شبیه‌سازی مطلوبیت اقلیمی بلوط در شرایط تغییر اقلیم استفاده گردید. صحت باقی الگوریتم‌ها نیز تقریباً مشابه و دارای درجه خوب بود. این نتایج در جدول (۳) ذکر شده‌اند. در ادامه میزان اهمیت هر یک از متغیرها برای هر مدل بررسی شد. نتایج نشان داد که برای همه مدل‌های استفاده‌شده، به ترتیب متغیرهای bio_6 و bio_12 بیشترین تأثیر را دارا هستند. بر این اساس به نظر می‌رسد که محدوده اقلیمی مناسب برای زیست بلوط در این

6- Variance Inflation Factor
1- Area Under Curve
2- Receiver-Operating Characteristics
3- confusion matrix

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

منطقه به‌طور عمده توسط دمای حداقل سردترین ماه و بارندگی سالیانه تعیین شود. در حال حاضر میزان بارندگی سالیانه در منطقه موردمطالعه به‌طور متوسط ۳۶۸ میلی‌متر است که بر اساس مدل‌های اقلیمی استفاده شده، این مقدار تا سال ۲۰۷۰ به ۳۱۲ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. علاوه بر این، مقدار متغیر دمایی bio_6 (که به‌عنوان بااهمیت‌ترین متغیر شناخته شد) به‌طور متوسط در این منطقه ۲,۴- درجه سانتی‌گراد است که تا سال ۲۰۷۰ به میزان ۳,۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. اثرات این کاهش بارندگی و افزایش دما بر مطلوبیت اقلیمی بلوط در ادامه بررسی خواهند شد.

جدول (۳). ارزیابی صحت مدل‌ها

مدل	AUC
GLM	۰,۸۲۶
MARS	۰,۸۳۷
RF	۰,۹۵۲
ANN	۰,۸۲۹
MaxEnt	۰,۸۴۷

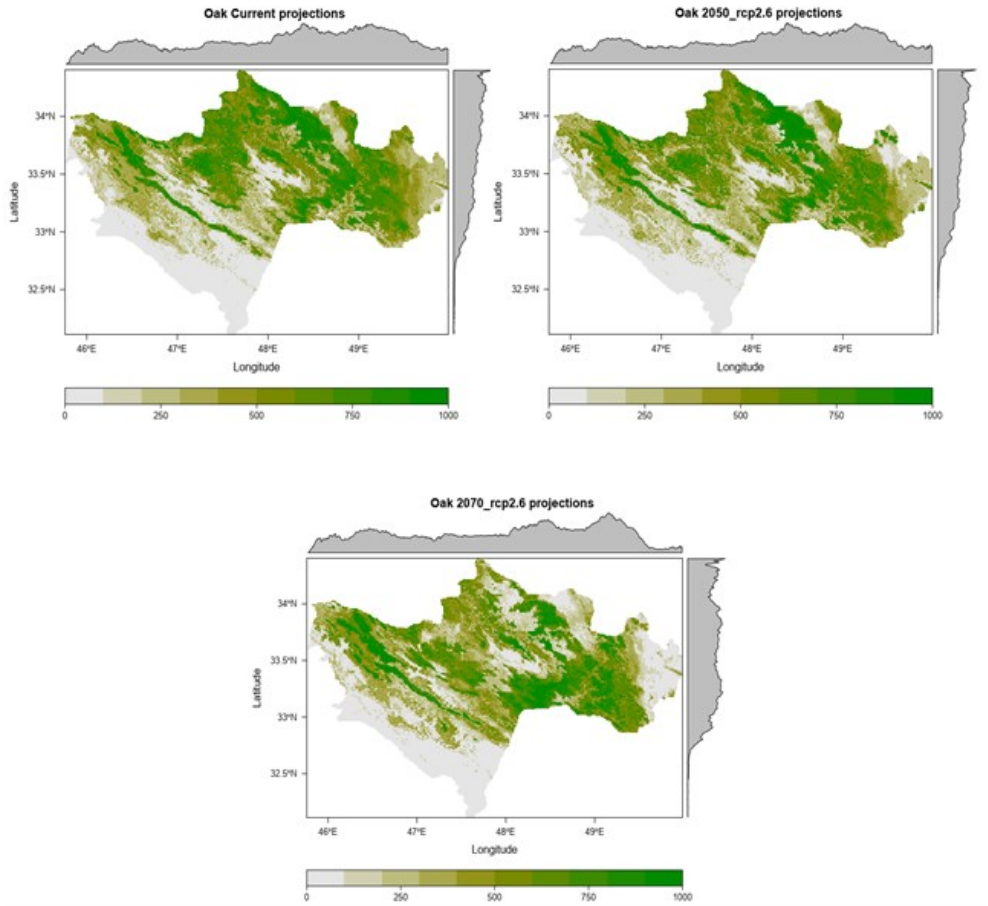
شبیه‌سازی مطلوبیت اقلیمی بلوط در سناریوی خوش‌بینانه

نقشه‌های محدوده‌های اقلیمی مناسب برای زیست بلوط در حال حاضر و سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تحت سناریوی خوش‌بینانه (RCP 2.6) در شکل (۴) نشان داده‌شده‌اند. همان‌گونه که مشخص است قسمت عمده مطلوبیت اقلیمی حال حاضر بلوط در شرق منطقه موردمطالعه (استان لرستان) واقع شده است. شبیه‌سازی‌های آینده نشان‌دهنده جابه‌جایی‌هایی در محدوده‌های اقلیمی مناسب برای زیست بلوط در هر دو دوره زمانی است که حاکی از اثر تغییر اقلیم بر توزیع مکانی بلوط است. این تغییرات با افزایش دوره زمانی افزایش یافته و پیش-بینی می‌شود که تا سال ۲۰۷۰، این گونه مناطق قابل‌توجهی را در قسمت‌های شمالی این منطقه ازجمله شهرستان‌های کوهدشت و دلفان از دست بدهد. در مقابل، مناطقی در جنوب و غرب این منطقه ازلحاظ اقلیمی برای زیست بلوط مناسب خواهند شد.

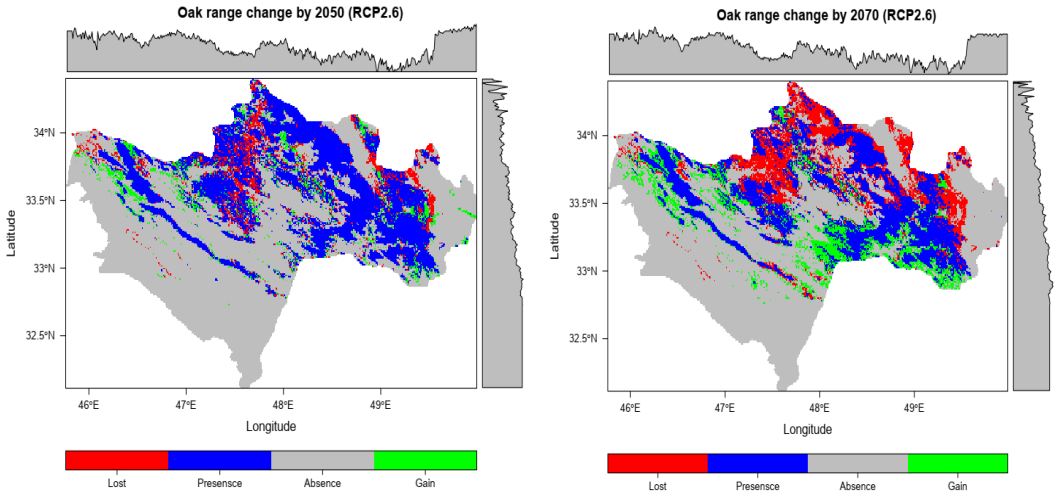
پس از تعیین مطلوبیت اقلیمی بلوط در حال حاضر، از نقشه‌های binary ایجادشده به‌منظور تهیه نقشه تغییرات محدوده اقلیمی مناسب برای زیست این گونه در آینده استفاده شد. به این صورت که با در نظر گرفتن نقشه binary حال حاضر بلوط به‌عنوان نقشه پایه، تغییرات شامل چهار حالت به‌دست‌آمده (مناطقی که در حال حاضر برای زیست گونه مناسب نیستند ولی در آینده مناسب خواهند بود)، ازدست‌رفته (مناطقی که در حال حاضر برای زیست گونه مناسب هستند ولی در آینده مناسب نخواهند بود)، بدون تغییر (مناطقی که در حال حاضر برای زیست گونه مناسب هستند و در آینده نیز مناسب خواهند بود) و نامطلوب (مناطقی که در حال حاضر برای زیست گونه مناسب نیستند و در آینده نیز مناسب نخواهند بود) تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ در سناریوی خوش‌بینانه مشخص شدند. همان‌گونه که در شکل (۵) مشخص است با افزایش دوره زمانی میزان تغییرات نیز شدیدتر خواهد بود. این تغییرات در جدول (۴) برحسب کیلومترمربع نشان داده شده‌اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]



شکل (۴). مطلوبیت اقلیمی بلوط در سناریوی خوش‌بینانه



شکل (۵). تغییرات مطلوبیت اقلیمی بلوط در سناریوی خوش‌بینانه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

نتایج نشان داد که محدوده اقلیمی مناسب برای زیست بلوط به میزان ۱۷ درصد تا سال ۲۰۵۰ و ۳۶ درصد تا سال ۲۰۷۰ کاهش خواهد یافت. بااین‌حال، در هر دو دوره افزایش مطلوبیت اقلیمی به ترتیب ۱۴ و ۲۷ درصد خواهد بود که نشان‌دهنده کاهش کلی مطلوبیت اقلیمی بلوط است. باوجود مناسب شدن مناطقی برای زیست بلوط در آینده، بایستی توجه شود که آیا این گونه قادر به اشغال این مناطق خواهد بود یا خیر. به همین منظور دو سناریوی عدم پراکنش و پراکنش کامل در نظر گرفته شدند. در سناریوی عدم پراکنش فرض می‌شود که گونه در محدوده کنونی خود باقی خواهد ماند و قادر به اشغال مناطق مناسب نخواهد بود. در مقابل در سناریوی پراکنش کامل فرض بر این است که گونه قادر به جابه‌جایی در زیستگاه جدید خواهد بود (Miller & Holloway, 2015). به‌صورت کلی پراکنش یک گونه به عوامل متعددی از قبیل توانایی پراکنش گونه، سرعت تولیدمثل، سرعت تغییر اقلیم و میزان فاصله از مناطق مناسب جدید بستگی دارد (Valavi et al., 2018). در رابطه با بلوط به دلیل قدرت پراکنش محدود این گونه به نظر می‌رسد که سناریوی عدم پراکنش به واقعیت نزدیک‌تر باشد که در این صورت پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۷۰ حدود ۶۰۰۰ کیلومترمربع از محدوده اقلیمی مناسب بلوط در سناریوی خوش‌بینانه از دست برود.

جدول (۴). میزان تغییرات مطلوبیت اقلیمی بلوط در سناریوی خوش‌بینانه (کیلومترمربع)

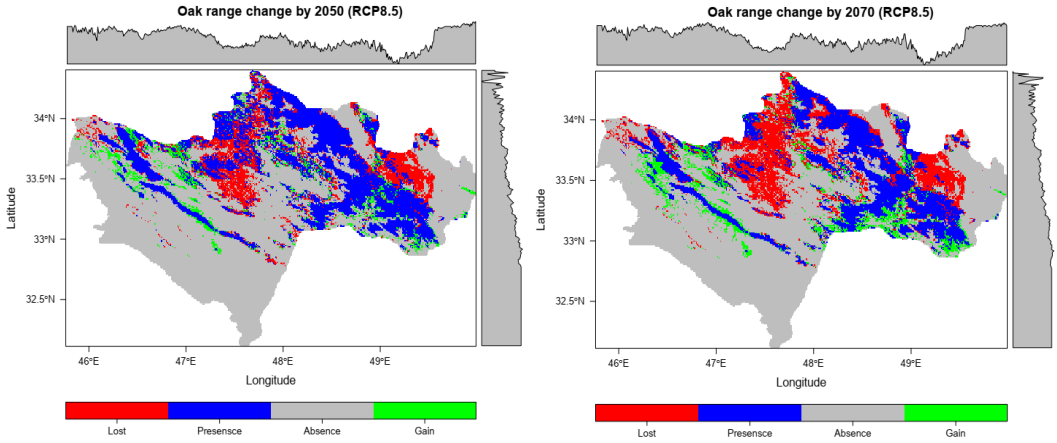
نوع تغییر	۲۰۵۰	۲۰۷۰
ازدست‌رفته	۲۹۶۷,۹۹	۶۰۳۶,۴۵
به‌دست‌آمده	۲۳۸۶,۰۲	۴۵۱۶,۵۷
نامطلوب	۲۷۷۳۸,۸۲	۲۵۶۰۸,۲۷
بدون تغییر	۱۳۷۳۷,۰۱	۱۰۶۶۸,۵۵
درصد کاهش	۱۷,۷۶	۳۶,۱۳
درصد افزایش	۱۴,۲۸	۲۷,۰۳
درصد تغییرات محدوده گونه	-۳,۴۸	-۹,۰۹
محدوده حال حاضر گونه	۱۶۷۰۵,۰۱	۱۶۷۰۵,۰۱
محدوده آینده گونه با فرض عدم پراکنش	۱۳۷۳۷,۰۱	۱۰۶۶۸,۵۵
محدوده آینده گونه با فرض پراکنش کامل	۱۶۱۲۳,۰۳	۱۵۱۸۵,۱۳

شبیه‌سازی مطلوبیت اقلیمی بلوط در سناریوی بدبینانه

در این تحقیق از سناریوی بدبینانه RCP 8.5 استفاده شد که نتایج آن در شکل (۶) نشان داده شده‌اند. بخش عمده‌ای از منطقه موردمطالعه (حدود ۵۶ درصد) در حال حاضر برای زیست این گونه مناسب نیستند و در آینده نیز مناسب نخواهند بود. این مناطق بیشتر در قسمت‌های کم ارتفاع غرب و جنوب غرب منطقه موردمطالعه (استان ایلام) واقع شده‌اند. مطابق انتظار شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که تغییرات در سناریوی بدبینانه شدیدتر از خوش‌بینانه خواهد بود. میزان افزایش مطلوبیت اقلیمی گونه بلوط در این سناریو در مقایسه با سناریوی خوش‌بینانه تغییر چندانی را در دوره‌های زمانی مشابه نشان نداد. در مقابل طبق این سناریو قسمت‌هایی که تحت عنوان ازدست‌رفته شناخته می‌شوند به‌مراتب بیشتر از سناریوی خوش‌بینانه خواهند بود و همانند سناریوی خوش‌بینانه عمده این مناطق در قسمت‌های شمالی (شهرستان کوهدشت) قرار خواهند داشت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

(شکل ۶). در حال حاضر محدوده‌های اقلیمی مناسب برای زیست بلوط به‌طور متوسط در ارتفاع ۱۸۷۶ متری از سطح دریا واقع شده‌اند. نتایج مدل‌سازی‌ها نشان می‌دهد که در هر چهار حالت بررسی‌شده ارتفاع مناسب میانگین برای زیست این گونه افزایش خواهد یافت. با توجه به طول دوره زمانی و نوع سناریوی انتخاب‌شده میزان این جابه‌جایی‌ها متغیر خواهد بود. بیشترین میزان جابه‌جایی ارتفاعی تا سال ۲۰۷۰ و طبق سناریوی بدبینانه خواهد که طی آن محدوده‌های اقلیمی مناسب برای زیست بلوط به‌طور متوسط در ارتفاع ۱۹۳۵ متری قرار خواهند داشت.



شکل (۶). تغییرات مطلوبیت اقلیمی بلوط در سناریوی بدبینانه

در جدول (۵) میزان تغییرات محدوده‌های اقلیمی مناسب جهت زیست بلوط در سناریوی بدبینانه نشان داده‌شده است. نتایج نشان داد که این گونه حدود ۳۰ و ۴۳ درصد از محدوده مناسب حال حاضر خود را تا سال ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ از دست خواهد داد. بااین‌حال تحت این سناریو نیز بین ۱۴ تا ۱۹ درصد افزایش مطلوبیت وجود خواهد داشت. درصد کلی تغییرات محدوده گونه در هر چهار دوره منفی است (درصد کاهش بیش از افزایش) و بیشترین کاهش تحت سناریوی بدبینانه و تا سال ۲۰۷۰ خواهد بود که طی آن این گونه ۷۱۷۶ کیلومترمربع از زیستگاه مناسب خود را از دست خواهد رفت. در حال حاضر حدود ۳۵ درصد (۱۶۷۰۵ کیلومترمربع) از کل منطقه موردمطالعه برای زیست بلوط مناسب است که پیش‌بینی می‌شود این میزان تا سال ۲۰۷۰ و در سناریوی بدبینانه به ۲۰ درصد کاهش یابد.

جدول (۵). میزان تغییرات مطلوبیت اقلیمی بلوط در سناریوی بدبینانه (کیلومترمربع)

نوع تغییر	۲۰۵۰	۲۰۷۰
ازدست‌رفته	۵۱۱۶,۴۸	۷۱۷۶,۷۱
به‌دست‌آمده	۲۷۴۸,۵۹	۳۱۹۹,۰۶
نامطلوب	۲۷۶۴۶,۲۵	۲۶۹۲۵,۷۸
بدون تغییر	۱۱۵۸۸,۵۲	۹۵۲۸,۲۹
درصد کاهش	۳۰,۶۲	۴۲,۹۶
درصد افزایش	۱۴,۸۳	۱۹,۱۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

درصد تغییرات محدوده گونه	-۱۵,۷۹	-۲۳,۸۱
محدوده حال حاضر گونه	۱۶۷۰۵,۰۱	۱۶۷۰۵,۰۱
محدوده آینده گونه با فرض عدم پراکنش	۱۱۵۸۸,۵۲	۹۵۲۸,۲۹
محدوده آینده گونه با فرض پراکنش کامل	۱۴۰۶۷,۱۱	۱۲۷۲۷,۳۵

نتیجه‌گیری

در این تحقیق توزیع مکانی بلوط زاگرس تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که متغیر دمایی bio_6 بیشترین تأثیر را بر توزیع مکانی بلوط دارا بوده که نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده دما در توزیع مکانی این گونه گیاهی است. باوجود مبانی مدل‌سازی متفاوت الگوریتم‌های استفاده‌شده، ارزیابی صحت پیش‌بینی‌ها با معیار AUC نشان داد که تمامی این الگوریتم‌ها از صحت قابل قبولی برخوردار هستند. همانند مطالعات قبلی (ولوی و همکاران، ۱۳۹۴; آقاخانی و همکاران، ۱۳۹۶) که توزیع مکانی بلوط زاگرس را در شرایط تغییر اقلیم بررسی کردند، در این تحقیق نیز از میان روش‌های مدل‌سازی، الگوریتم Random Forest با عملکرد عالی، بالاترین صحت را دارا بود. ازاین‌رو می‌توان این الگوریتم مدل‌سازی را به‌عنوان روشی کارآمد برای مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر گونه‌های بلوط زاگرس به‌حساب آورد. صحت پیش‌بینی باقی الگوریتم‌ها تقریباً مشابه و دارای درجه خوب بود. با توجه به پیش‌نمایی‌هایی که از توزیع آینده بلوط صورت گرفت، انتظار می‌رود که با افزایش طول دوره زمانی، زیستگاه مناسب بلوط در این منطقه حتی در خوش‌بینانه‌ترین سناریوی تغییر اقلیم کاهش یابد که نشان‌دهنده اثر منفی تغییر اقلیم بر بلوط زاگرس در منطقه مورد‌مطالعه است. از طرفی پیش‌بینی شد که پاسخ این گونه گیاهی به تغییرات اقلیمی شبیه‌سازی‌شده بر اساس هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه، جابه‌جایی به سمت ارتفاعات بالاتر باشد که معمولاً دارای میانگین دمای پایین‌تر و بارندگی بیشتری هستند. این نتایج با مطالعات قبلی که نشان‌دهنده جابه‌جایی مکانی گونه‌ها به سمت ارتفاعات بالاتر در پاسخ به تغییر اقلیم هستند، همخوانی دارند (Kueppers et al. 2005; Liu et al. 2011; Zhang et al. 2017).

نتایج نشان داد که در منطقه موردمطالعه، تغییر اقلیم به‌طورکلی با افزایش میانگین‌های دمایی و کاهش بارندگی همراه خواهد بود. در مطالعات مختلفی نشان داده شده است که افزایش دما موجب افزایش تبخیر و تعرق، کاهش رطوبت در دسترس گیاه و ایجاد تنش در درختان می‌شود (رادمهر و همکاران، ۱۳۹۴). تنش خشکی خود منجر به کاهش فتوسنتز، کاهش مواد غذایی و درنهایت کاهش رشد درختان بلوط خواهد شد. اگرچه ممکن است در مناطقی که تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تحت عنوان ازدست‌رفته شناخته شدند بلوط همچنان حضورداشته باشد، اما امکان تولیدمثل و رشد درختان جدید در این مناطق با مشکل روبه‌رو خواهد شد. آسیب‌پذیری درختان بالغ بلوط به آفات و بیماری‌ها نیز براثر خشک‌سالی ناشی از تغییر اقلیم و به‌تبع آن کاهش تولید شیره گیاهی (که موجب مقاومت گیاهان به حشرات می‌شود) افزایش خواهد یافت. ازاین‌رو با توجه به نقش حیاتی جنگل‌های بلوط در تنوع زیستی این منطقه و ارزش اکولوژیکی و اقتصادی آن‌ها، تهیه طرح‌های جامع حفاظتی باهدف کاهش اثرات تغییر اقلیم برای این گونه ارزشمند ضروری به نظر می‌رسد. به‌منظور بهبود نتایج پیشنهاد می‌شود که الگوریتم‌های مدل‌سازی بیشتری مورداستفاده قرار گیرند و همچنین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

از روش‌های ترکیب مدل‌ها برای دستیابی به پیش‌نمایی‌های صحیح‌تر از مطلوبیت اقلیمی این گونه در شرایط تغییر اقلیم استفاده شود.

منابع

بادەیان، ضیاءالدین؛ منصوری، معصومه؛ سنجابی، حجت‌الله. (۱۳۹۶). **تعیین ارزش اقتصادی برخی از مهم‌ترین کارکردها و خدمات جنگل‌های بلوط زاگرس میانی (مطالعه موردی: استان لرستان)**. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹(۵): ۳۵۳-۳۶۳.

حیدریان آقاخانی, مریم؛ تمرتاش, رضا؛ جعفریان, زینب؛ ترکش اصفهانی, مصطفی؛ طاطیان، محمدرضا. (۱۳۹۶). **پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر گونه بلوط ایرانی (Quercus brantii) با استفاده از مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای به منظور برنامه‌ریزی حفاظتی**. محیط شناسی, ۴۳(۳): ۵۱۱-۴۹۷.

رادمهر، عاطفه؛ سوسنی، جواد؛ بالاپور، شمس‌الدین؛ حسنی قلعه‌بهمنی، سیدمحمود؛ سپهوند، اصغر. (۱۳۹۴). **اثر متغیرهای اقلیمی(دما و بارندگی) بر پهنای حلقه های رویشی درختان شاخه زاد بلوط ایرانی در ناحیه زاگرس میانی (مطالعه موردی: جنگل های شهرستان خرم‌آباد)**. پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل. ۲۲ (۱):۱۱۰-۹۳.

شاه نظری مجتبی، حجازی زاده زهرا، سلیقه محمد.(۱۳۹۹). **اثر تغییر اقلیم بر تقویم زراعی کشت برنج در شمال ایران** .نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی،۲۰ (۵۹): ۱۱۷-۹۹.

عسگری، حشمت‌اله. (۱۳۹۲). **ارزش‌گذاری اقتصادی-حسابداری جنگل‌های بلوط در استان ایلام**. مجله اقتصاد منابع طبیعی، ۲(۲):۳-۷.

ولوی, روزبه؛ متکان، علی اکبر؛ شکیبا، علیرضا؛ میرباقری، بابک؛ کیا، سید حسن.(۱۳۹۴). **شبیه‌سازی تاثیر تغییر اقلیم بر رویشگاه بلوط زاگرس با استفاده از دو الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی و Random Forest**. پنجمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران، سازمان هواشناسی.

Araujo, M., Williams, P. and Fuller, R. (2002). **Dynamics of extinction and the selection of nature reserves. Proceedings of the Royal Society of London**, Series B: Biological Sciences 269: 1971–1980.

Ainsworth, Elizabeth A, & Long, Stephen P. (2005). **What have we learned from 15 years of free-air CO2 enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO2**. New phytologist, 165(2), 351-372.

Benedict M, Levine R, Hawley W, Lounibos L (2009) **Spread of the tiger: global risk of invasion by the mosquito Aedes albopictus. Vector-Borne and Zoonotic Diseases** 7: 76–85.

Breiman L (2001) **Random forests**. Mach Learn 45:5–32

Dyderski, M. K., Paź, S., Frelich, L. E., & Jagodziński, A. M. (2018). **How much does climate chanthreaten European forest tree species distributions?** Global change biology, 24(3): 1150-1163.

Elith*, J., H. Graham*, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., . . . Lehmann, A. (2006). **Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data**. Ecography, 29(2): 129-151.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

Elith, J., & Franklin, J. (2013). **Species distribution modeling**,, Encyclopedia of Biodiversity, 6: 692-705.
Engler, R., Guisan, A. and Rechsteiner, L. (2004). **An improved approach for predicting the distribution of rareand endangered species from occurrence and pseudo-absence data.**Journal of Applied Ecology 41 (2): 263–274.
Fatahi, M. (2005). **Management Methods of Zagros forests**. Dahati journal, 52(3 23-42. (In Persian).
Franklin, J. (2010). **Mapping species distributions: spatial inference and prediction**: Cambridge University Press.
Friedman, Jerome H. (1991). **Multivariate adaptive regression splines**. The annals of statistics, 19(1), 1-67.
Griggs, D. J., & Noguer, M. (2002). Climate change 2001: **the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Weather, 57(8): 267-269.
Guisan, A., and W. Thuiller. 2005. **Predicting species distribution: Offering more than simple models**. Ecology Letters 8: 993-1009.
Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). **Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R**: Cambridge University Press.
Harrison, P. A., Berry, P. M., Butt, N., & New, M. (2006). **Modelling climate change impacts on species' distributions at the European scale: implications for conservation policy**. Environmental Science & Policy, 9(2), 116-128. doi:10.1016/j.envsci.2005.11.003.
Hirzel, A. and Le Lay, G. (2008). **Habitat suitability modelling and niche theory**.Journal of Applied Ecology 45, pp.1372–1381.
Kueppers, L. M., Snyder, M. A., Sloan, L. C., Zavaleta, E. S., & Fulfrost, B. (2005). **Modeled regional climate change and California endemic oak ranges.** Proc Natl Acad Sci U S A, 102(45), 16281-16286. doi:10.1073/pnas.0501427102.
Lek, Sovan, & Guégan, Jean-François. (1999). **Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction**. Ecological modelling, 120(2-3): 65-73.
Leathwick, John R. (1998). **Are New Zealand's Nothofagus species in equilibrium with their environment?** Journal of Vegetation Science, 9(5): 719-732.
Li, X., & Wang, Y. (2013). **Applying various algorithms for species distribution modelling.** Integrative Zoology, 8(2):124-135.
Liu, X., Guo, Z., Ke, Z., Wang, S., & Li, Y. (2011). **Increasing potential risk of a global aquatic invader in Europe in contrast to other continents under future climate change.** PLoS One, 6(3): e18429.
Lupo, A., & Kininmonth, W. (2013**). Global climate models and their limitations.** Climate change reconsidered II: Physical science, 9-148.
McCullagh P, Nelder JA (1989) **Generalized linear models.** Chapman & Hall
Menard, S. W. 2002. **Applied Logistic Regression Analysis.** Thousand Oaks, CA: Sage.
Miller, J. (2010). **Species Distribution Modeling**. Geography Compass4/6 490–509.
Miller, Jennifer A, & Holloway, Paul. (2015). **Incorporating movement in species distribution models.** Progress in Physical Geography, 39(6): 837-849.
Pearson, R. G. (2010**). Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners**. Lessons in Conservation, Vol. 3: 54-89.
Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., et al. (2011). **Ecological niches and geographic distributions (MPB-49):** Princeton University Press.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]

Phillips, Steven J, Dudík, Miroslav, & Schapire, Robert E. (2004). **A maximum entropy approach to species distribution modeling**. Paper presented at the Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning.

Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). **Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation.** Ecography, 31(2): 161-175.

Priti, H., Aravind, N. A., Uma Shaanker, R., & Ravikanth, G. (2016**). Modeling impacts of future climate on the distribution of Myristicaceae species in the Western Ghats, India.** Ecological Engineering, 89: 14-23.

R Development Core Team, RFFSC. (2011). R: **A language and environment for statistical computing:** R foundation for statistical computing Vienna, Austria.

Stockwell, D. (2006).**Niche modeling: predictions from statistical distributions**. Boca Raton: Chapman & Hall⁄CRC.

Syphard, A. D., & Franklin, J. (2010). **Species traits affect the performance of species distribution models for plants in southern California**. Journal of Vegetation Science, 21(1): 177-189.

Talebi, K. S., Sajedi, T., & Yazdian, F. (2005). **Forests of Iran.** Research Institute of Forest and Rangeland, Tehran.54 p.

Tangjitman, K., Trisonthi, C., Wongsawad, C., Jitaree, S., & Svenning, J.-C. (2015). **Potential impact of climatic change on medicinal plants used in the Karen women's health care in northern Thailand.** Songklanakarin Journal of Science & Technology, 37(3).

Thuiller, Wilfried, Georges, Damien, Engler, Robin, Breiner, Frank, Georges, Maintainer Damien, & Thuiller, Contact Wilfried. (2016). **Package 'biomod2'**. Species distribution modeling within an ensemble forecasting framework.

Valavi, Roozbeh, Shafizadeh-Moghadam, Hossein, Matkan, AliAkbar, Shakiba, Alireza, Mirbagheri, Babak, & Kia, Seyed Hossein. (2018)**. Modelling climate change effects on Zagros forests in Iran using individual and ensemble forecasting approaches.** Theoretical and Applied Climatology, 1-11.

Zhang, J., Nielsen, S. E., Chen, Y., Georges, D., Qin, Y., Wang, S.-S., et al. (2017). **Extinction risk of North American seed plants elevated by climate and land-use change.** Journal of Applied Ecology, 54(1): 303-312

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jgs.22.65.247]