

تعیین مطلوبیت رویشگاه سفیدپلت (*Populus caspica* Bornm.) و مهم ترین متغیرهای اقلیمی تأثیر گذار بر پراکنش آن در جنگل های هیرکانی

شیرین علی پور^۱، ضیاءالدین بادهیان^{۲*}، حامد یوسفزاده^۳، کامبیز اسپهبدی^۴ و فرهاد اسدی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری جنگل شناسی و اکولوژی جنگل، گروه جنگل داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
 ۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جنگل داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران. پست الکترونیک: badehian.z@lu.ac.ir
 ۳- دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
 ۴- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۷

چکیده

تغییر اقلیم می تواند تهدیدی جدی برای گونه های مختلف بومی در جنگل های هیرکانی باشد. با این حال، تاکنون پژوهشی در ارتباط با تعیین پیامدهای تغییر اقلیم بر روند الگوهای پراکنش سفیدپلت (*Populus caspica* Bornm.) انجام نشده است. در پژوهش پیش رو به منظور شناسایی ارتباط بین پراکنش سفیدپلت با متغیرهای اقلیمی و تعیین رویشگاه های مطلوب تحت شرایط اقلیم کنونی و آینده (سناریوی RCP 8.5 تا سال ۲۰۷۰) از تئوری آشیان بوم شناختی، نرم افزار MAXENT و نیز داده های حضور این گونه در سطح جنگل های هیرکانی استفاده شد. براساس ارزیابی سطح زیر منحنی ROC، ارزش زیاد شاخص AUC (۰/۹۹۳) نشان دهنده کارآمدی مدل مورد استفاده در تعیین رویشگاه بالقوه سفیدپلت بود. مهم ترین متغیرهای مؤثر در تعیین رویشگاه این گونه شامل بارش در خشک ترین ماه سال، تغییرات دمای سالانه، میانگین دمای سالانه و هم دمایی بودند. همچنین، تحت شرایط اقلیم کنونی، مساحت مطلوبیت رویشگاه های این گونه در جنگل های هیرکانی ۸۸۳۱۷/۳ کیلومتر مربع است و در ۳۸/۷۵ درصد از منطقه، پتانسیل خوبی برای حضور سفیدپلت وجود دارد، در حالی که نتایج سناریو آینده (RCP 8.5) نشان دهنده کاهش ۴۸/۴ درصدی مساحت مطلوبیت رویشگاه این گونه نسبت به شرایط فعلی است. از نتایج این پژوهش می توان در راستای تصمیمات مدیریتی، برنامه ریزی های حفاظتی و اصلاحی با در نظر گرفتن اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت رویشگاه ها و پاسخ گونه به تغییر اقلیم استفاده کرد و راهبردهای حفاظتی سفیدپلت (در درون یا بیرون از رویشگاه) را تدوین کرد.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، حفاظت، گونه بومی، مدل MAXENT.

مقدمه

هیرکانی در دامنه شمالی البرز است و از آستارا، طوالش، رشت تا گرگان و اطراف بجنورد انتشار دارد. این گونه تا ارتفاع ۱۷۰۰ متر از سطح دریا در امتداد ساحل رودخانه ها، دره ها و جنگل های جلگه ای گسترش می یابد. سفیدپلت اغلب با گونه هایی مانند توسکای قشلاقی (*Alnus glutinosa* (L.))

سفیدپلت (*Populus caspica* Bornm.)، گونه ای درختی دوپایه از جنس صنوبر، بخش *Leuce* و تنها گونه بومی (Endemic) و بازمانده از این جنس در دوره ترشیاری (Tertiary) در ایران است. رویشگاه اصلی آن، منطقه رویشی

خطر را در پاسخ به تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌کند (Hasui et al., 2017). بیشینه بی‌نظمی (Maximum Entropy - MAXENT) یک روش پیشرفته در زمینه مدل‌سازی توزیع جغرافیایی پدیده‌ها در یک فضای چندبعدی است (Horenko et al., 2020). نرم‌افزار MAXENT که به‌عنوان ابزاری پرکاربرد از رویکرد بیشینه بی‌نظمی استفاده می‌کند، در پژوهش‌های متعددی به‌منظور مدل‌سازی توزیع گونه مورد نظر، تهیه نقشه‌های پراکنش جغرافیایی، برآورد مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها، شناسایی گونه‌های در معرض خطر تغییر اقلیم و تخمین میزان آسیب‌پذیری آن‌ها در طی دوره‌های زمانی متفاوت (گذشته، حال و آینده) استفاده شده است (Alavi et al., 2019; Li et al., 2019; Bagley et al., 2020). در پژوهشی، پتانسیل توزیع جغرافیایی پده (*Populus euphratica* Olivier) در یک حوضه رودخانه‌ای در چین براساس داده‌های حضور این گونه و ۲۹ متغیر محیطی با استفاده از نرم‌افزار MAXENT شبیه‌سازی شد (Guo et al., 2018). همچنین، Sun و همکاران (۲۰۲۱) از تلفیق رویکرد بیشینه بی‌نظمی و مجموعه‌داده حاصلخیزی خاک (Global productivity dataset) برای بررسی ارتباط مطلوبیت رویشگاه صنوبر دلتوئیدس (*P. deltoides* W.) (Bartram ex Marshall) با متغیرهای اقلیمی و خاکی در مقیاس جهانی بهره‌گرفتند.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی درمورد تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر توزیع گونه‌های درختچه‌ای و درختی در جهان انجام شده‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان به پژوهش‌های Greer و همکاران (۲۰۱۶)، Zeng و همکاران (۲۰۱۸) و Ingvarsson و Bernhardsson (۲۰۲۰) اشاره کرد که روی جنس صنوبر انجام شدند. در ایران از روش‌های مختلف مدل‌سازی توزیع گونه‌ای به‌منظور برآورد تأثیر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گونه‌های بادامک (*Amygdalus scoparia*) (Spach Haidarian Aghakhani et al., 2017a)، بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) (Haidarian Aghakhani et al., 2017b)، سرخ‌دار (*Taxus baccata* L.) (Alavi et al., 2019) و ملج (*Ulmus glabra* Huds.)

(Gaertn.)، ون (*Fraxinus excelsior* L.) و لرگ (*Pterocarya fraxinifolia* (Poir.) Spach) دیده می‌شود (Neumann & Skvortsov, 1969; Akhani et al., 2010). این درخت، گونه‌ای نورپسند و رطوبت‌پسند است و قابلیت رشد در خاک‌هایی با بستری از رسوبات آهکی و کواترنری با بافت ریز و قلیایی و pH بیشتر از ۷/۵ را دارد (Fallah et al., 2012; Nazari & Fallah, 2016). در دهه‌های اخیر، بخش زیادی از رویشگاه‌های طبیعی سفیدپلت به‌علت‌های مختلف از بین رفته‌اند (Akhani et al., 2010). به‌طوری‌که نام آن به‌عنوان گونه‌ای در معرض خطر (Endangered) در کتاب داده‌های قرمز ایران ثبت شده است (Jalili & Jamzad, 1999).

بررسی ویژگی‌های بوم‌شناختی گونه‌های بومی، درک بهتری از روند انقراض و بقا را فراهم می‌کند، به‌ویژه اینکه کاهش جمعیت آن‌ها با تغییرات آب‌وهوا ارتباط داشته باشد (Wisiz et al., 2013). پاسخ گونه‌های گیاهی به تغییر جهانی اقلیم با سازگاری و تداوم در شرایط جدید یا از طریق تغییر در زیستگاه یا دامنه پراکنش آن‌ها رخ می‌دهد (Meng et al., 2017). بدون سازگاری یا تغییر دامنه پراکنش، تغییر اقلیم می‌تواند به‌سرعت سبب انقراض گونه‌ها شود. گرم شدن کره زمین از دهه ۱۸۵۰ رخ داده است. میانگین دمای سطح کره زمین طی سال‌های ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ میلادی، ۰/۸۵ درجه سانتیگراد افزایش یافته که تأثیر قابل‌توجهی بر دامنه جغرافیایی پراکنش موجودات داشته است (Case & Lawler, 2017). در ۲۰ سال اخیر نیز افزایش میانگین دمای ناحیه رویشی خزری تا ۰/۷۴ درجه سانتیگراد گزارش شده است (Attarod et al., 2017). تغییر میانگین الگوهای دما و رطوبت می‌تواند سبب تغییراتی در پراکنش و مرز گونه‌های گیاهی شود که از جمله پیامدهای اجتناب‌ناپذیر تغییر اقلیم به‌شمار می‌آید.

مدل‌سازی توزیع گونه‌ای (Species Distribution Modeling - SDM) یکی از ابزارهایی است که براساس داده‌های حضور گونه‌ها و متغیرهای محیطی (داده‌های محیطی - اقلیمی)، الگوی جغرافیایی گونه‌های بومی، نادر و در معرض

(Mohammadi et al., 2019)، زالاک (*Crataegus*)

(Rafiee et al., 2020) (*pontica* C. Koch)، بلندمازو
(Taleshi et al.,) (*Quercus castaneifolia* C. A. Mey.)
(2020) و ۱۱ گونه درختی در جنگل‌های هیرکانی (Taleshi
et al., 2019) استفاده شده است. با وجود نگرانی‌های زیاد
در مورد اثرات تغییر اقلیم، هنوز واکنش گونه‌های گیاهی ایران
مانند سفیدپلت به این پدیده تا حد زیادی ناشناخته مانده است.
گونه‌های بومی و در خطر انقراض از جمله سفیدپلت با
پراکنش محدود به دلیل اینکه اغلب جمعیت آن‌ها کاهش یافته
و جدا شده است، همواره مورد تهدید هستند. همچنین،
باتوجه به اهمیت روزافزون کشت و تولید صنوبر در راستای
حل معضل کمبود چوب و کاهش ورود گونه‌های غیربومی
می‌توان از سفیدپلت هم به عنوان اولویت حفاظتی و هم در
زراعت چوب بهره گرفت. به‌رغم پیامدهای پرمخاطره تغییر
اقلیم بر آینده حضور یک گونه در طبیعت، تاکنون پژوهشی
در خصوص شناسایی رویشگاه بالقوه سفیدپلت با در نظر
گرفتن مدل‌های آشیان بوم‌شناختی (Niche modeling) انجام
نشده است، بنابراین در پژوهش پیش‌رو، دامنه پراکنش
جغرافیایی سفیدپلت در شرایط اقلیم کنونی و تأثیر احتمالی
تغییر اقلیم در آینده بر مطلوبیت رویشگاه‌های آن بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد نظر پژوهش پیش‌رو، جنگل‌های هیرکانی
است که با طول و عرض به ترتیب حدود ۸۰۰ و ۱۱۰ کیلومتر
در دامنه‌های شمالی البرز پراکنش دارند. این جنگل‌ها در طول
جغرافیایی ۳۱' ۴۸° تا ۱۰' ۵۶° شرقی و عرض ۴۸' ۳۵° تا
۵۵' ۳۷° شمالی قرار دارند. مساحت کل جنگل‌های هیرکانی
حدود ۱/۸۵ میلیون هکتار است که از سطح دریا تا ارتفاع
۲۸۰۰ متری گسترش دارند. میانگین بارندگی سالانه از ۵۳۰
میلی‌متر در شرق تا ۱۳۵۰ میلی‌متر در غرب متغیر است
(گاهی به ۲۰۰۰ میلی‌متر در غرب می‌رسد). میانگین دمای
سالانه نیز از ۱۵ درجه سانتیگراد در غرب تا ۱۷/۵ درجه
سانتیگراد در شرق ثبت شده است (Sagheb Talebi et al.,

(2014).

روش پژوهش

در این پژوهش از نرم‌افزار MAXENT نسخه 3.3.3k
برای پیش‌بینی نواحی دارای پتانسیل توزیع سفیدپلت در
جنگل‌های هیرکانی استفاده شد. این تحلیل با ۱۰۰ تکرار،
انتخاب ۱۰۰۰۰ نقطه تصادفی و خروجی منطقی (Logistic)
به منظور برازش مدل انجام شد. دو ورودی مورد نیاز نرم‌افزار
مذکور برای مدل‌سازی شامل داده‌های زیستی (اطلاعات
مکانی پراکنش و حضور گونه) و داده‌های محیطی (لایه‌های
محیطی) هستند. داده‌های حضور سفیدپلت از دو روش (۱)
مرور منابع کتابخانه‌ای برپایه بررسی کتاب‌ها و مقاله‌ها
(Neumann & Skvortsov, 1969; Browicz, 1982;)
(Fallah et al., 2012; Asadi et al., 2017)، برآورد موقعیت
مکانی تعدادی از نقاط براساس یک نقشه استخراج شده از یک
کتاب قدیمی (Browicz, 1982) (۲) بررسی‌های مستقیم
میدانی و ثبت موقعیت جغرافیایی نقاط حضور سفیدپلت در
سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۹ به وسیله سیستم موقعیت‌یاب جهانی
(GPS) جمع‌آوری شدند. در مجموع، داده‌ها از ۱۵۰ موقعیت
جغرافیایی به دست آمدند که سطح جنگل‌های هیرکانی را در
سه استان گیلان، مازندران و گلستان پوشش می‌دهند (شکل
۳).

برای لایه‌های محیطی، داده‌های رستری ۱۹ متغیر زیست
اقلیمی با قدرت تفکیک‌پذیری 30 arc-seconds برای
شرایط اقلیمی حال (۲۰۰۰-۱۹۷۰) و آینده (سال ۲۰۷۰
میلادی) از وبگاه داده WorldClim
(www.worldclim.org) بارگیری شد (جدول ۱). در این
پژوهش از میانگین سه مدل اقلیمی CCSM4، MIROC-
ESM و MPI-ESM-P تحت سناریوی RCP 8.5 برای
برآورد تأثیر تغییر اقلیم در حال و آینده استفاده شد.
RCP 8.5 که توسط هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) ارائه شده
است، یک سناریوی بدبینانه از نظر شدت تغییر اقلیم به‌شمار
می‌آید که مقدار واداشت تابشی اقلیمی را تا سال ۲۱۰۰ نشان
می‌دهند و به معنی افزایش دما به مقدار ۳/۷ درجه سانتیگراد

است. این مقدار واداشت تا سال ۲۰۷۰ حدود دو درجه سانتیگراد پیش‌بینی شده است.

جدول ۱- متغیرهای زیست‌اقليمی مورد پژوهش

نام اختصاری	معادل انگلیسی	متغیر
bio1	Annual Mean Temperature	میانگین دمای سالانه
bio2	Mean Diurnal Range [Mean of monthly (max temp - min temp)]	میانگین دامنه روزانه حرارت
bio3	Isothermality (bio2/bio7) (* 100)	هم‌دمایی
bio4	Temperature Seasonality (standard deviation *100)	تغییرات فصلی دما
bio5	Maximum Temperature of Warmest Month	بیشینه دما در گرم‌ترین ماه سال
bio6	Minimum Temperature of Coldest Month	کمینه دما در سردترین ماه سال
bio7	Temperature Annual Range (bio5-bio6)	تغییرات دمای سالانه
bio8	Mean Temperature of Wettest Quarter	میانگین دما در مرطوب‌ترین فصل سال
bio9	Mean Temperature of Driest Quarter	میانگین دما در خشک‌ترین فصل سال
bio10	Mean Temperature of Warmest Quarter	میانگین دما در گرم‌ترین فصل سال
bio11	Mean Temperature of Coldest Quarter	میانگین دما در سردترین فصل سال
bio12	Annual Precipitation	بارش سالانه
bio13	Precipitation of Wettest Month	مقدار بارش در مرطوب‌ترین ماه سال
bio14	Precipitation of Driest Month	مقدار بارش در خشک‌ترین ماه سال
bio15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	تغییرات فصلی بارش
bio16	Precipitation of Wettest Quarter	میانگین بارش در مرطوب‌ترین فصل سال
bio17	Precipitation of Driest Quarter	میانگین بارش در خشک‌ترین فصل سال
bio18	Precipitation of Warmest Quarter	میانگین بارش در گرم‌ترین فصل سال
bio19	Precipitation of Coldest Quarter	میانگین بارش در سردترین فصل سال

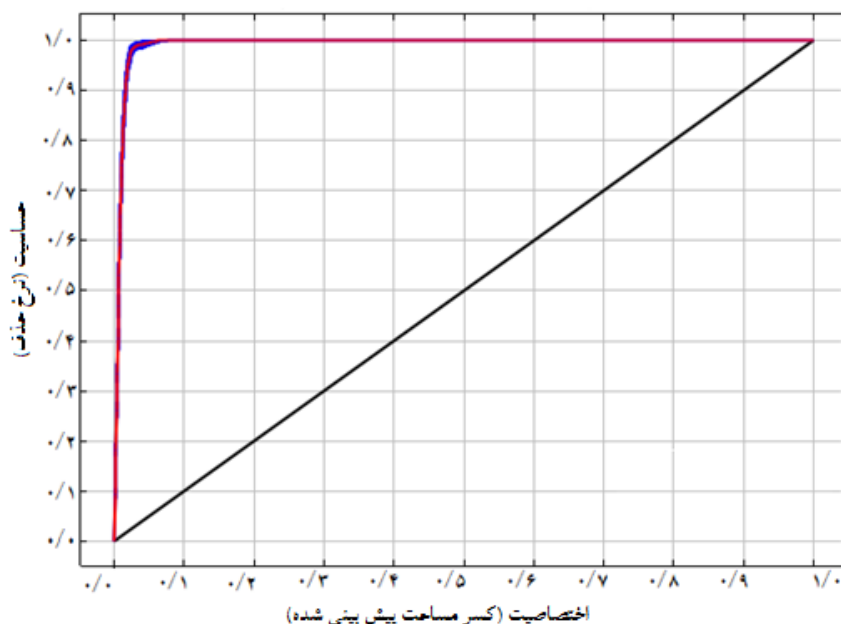
(Sensitivity) (انطباق نقاط عدم حضور ما با نقاط عدم حضور گونه) نسبت به ویژگی (Specificity) (انطباق خروجی مدل با نقاط ما) رسم می‌شود. به این ترتیب، ارزش آماره AUC نزدیک به ۰/۵ نشان‌دهنده تصادفی بودن مدل است. هرچه این ارزش به یک نزدیک‌تر باشد، مدل منطبق‌تر است و برآزش بهتری دارد. خروجی نرم‌افزار MAXENT، نقشه مطلوبیت رویشگاه گونه مورد پژوهش مبتنی بر شاخص پتانسیل حضور است. براساس این

۸۰ درصد داده‌ها (نقاط حضور) برای فرایند مدل‌سازی و ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی یا آزمون مدل تعریف شد. دقت و صحت عملکرد مدل از طریق معیار سطح زیر منحنی (Area Under the Curve - AUC) به دست آمده از منحنی مشخصه عملکرد پذیرنده (Receiver Operating Characteristic - ROC) ارزیابی شد. این منحنی به عنوان معیاری از قدرت تشخیص نقاط حضور از نقاط عدم حضور توسط مدل عمل می‌کند و براساس حساسیت

شاخص در مناطقی که احتمال حضور سفیدپلت بیشتر از ۰/۳ باشد، بیانگر پتانسیل خوب، بین ۰/۱ تا ۰/۳ نشان‌دهنده پتانسیل متوسط و بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ حاکی از پتانسیل کم برای حضور این گونه هستند. مطلوبیت زیستگاه و مقدار متغیرهای زیست‌اقليمی برای هر مدل با استفاده از نرم‌افزار SAGA GIS محاسبه شد.

نتایج

براساس نتایج به‌دست‌آمده، مدل MAXENT با مقدار آماره AUC برابر با ۰/۹۹۳، عملکرد بسیار خوبی را برای پیش‌بینی پراکنش سفیدپلت نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱- منحنی ROC محاسبه‌شده برای سفیدپلت به منظور اعتبارسنجی مدل MAXENT

به‌خود اختصاص دادند. به‌طوری‌که تأثیر این متغیرها بر پراکنش کنونی سفیدپلت به‌ترتیب ۱۸/۵، ۱۵/۵، ۱۴/۳ و ۱۳/۱ درصد به‌دست آمد (جدول ۲).

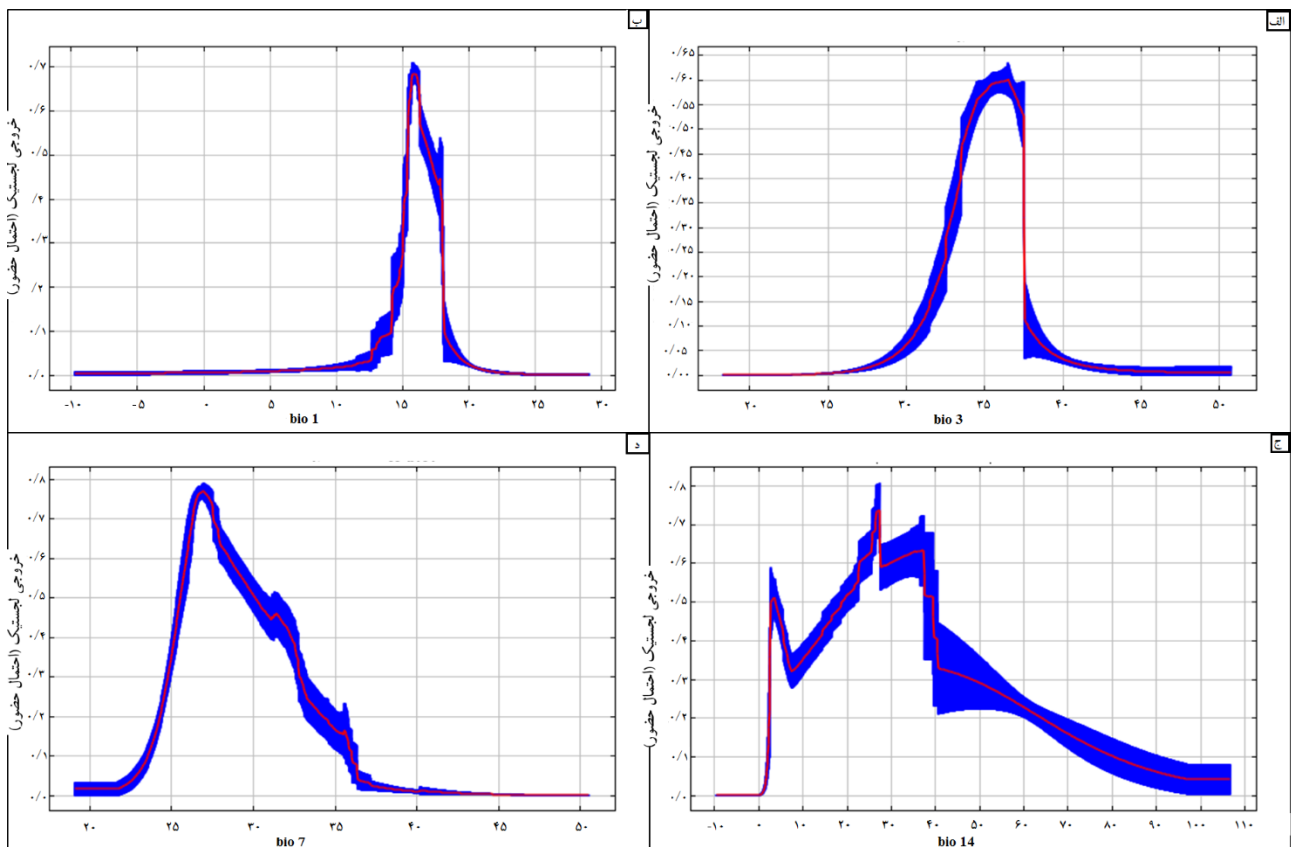
از بین ۱۹ متغیر زیست‌اقليمی تأثیرگذار بر پراکنش سفیدپلت، چهار متغیر شامل مقدار بارش در خشک‌ترین ماه سال (bio14)، تغییرات دمای سالانه (bio7)، میانگین دمای سالانه (bio1) و هم‌دمایی (bio3) بیشترین سهم را در مدل [

جدول ۲- درصد مشارکت مهم‌ترین متغیرهای زیست‌اقليمی برای پیش‌بینی زیستگاه‌های مطلوب سفیدپلت در زمان‌های حال و آینده

متغیر	معادل انگلیسی	نام اختصاری	درصد مشارکت در مدل	
			اقليم کنونی	اقليم آینده (RCP 8.5)
میانگین دمای سالانه	Annual Mean Temperature	bio1	۱۴/۳	۱۳/۷
هم‌دمایی	Isothermality	bio3	۱۳/۱	۱۳/۶
تغییرات دمای سالانه	Temperature Annual Range	bio7	۱۵/۵	۱۴/۱
مقدار بارش در خشک‌ترین ماه سال	Precipitation of Driest Month	bio14	۱۸/۵	۱۷

بر اساس نتایج تحلیل تغییرات دمای سالانه (bio7)، بیشترین احتمال حضور سفیدپلت در محدوده ۲۶ تا ۲۷ درجه سانتیگراد به دست آمد و در مقادیر بیشتر، احتمال حضور این گونه به صورت تدریجی کاهش می‌یابد. همچنین، هنگامی که بارش در خشک‌ترین ماه سال (bio14) بیشتر از یک میلی‌متر باشد، احتمال حضور سفیدپلت افزایش می‌یابد. زمانی که مقدار بارش در خشک‌ترین ماه بین ۱۰ تا ۴۰ میلی‌متر باشد، احتمال حضور این گونه نوسان دارد و در مقادیر بیشتر متغیر مذکور، این احتمال کم می‌شود.

در شکل ۲، منحنی‌های پاسخ نسبت به مهم‌ترین متغیرهای استفاده‌شده در مدل نهایی آمده است. منحنی‌های مذکور، بیشترین احتمال حضور سفیدپلت در محدوده دامنه‌های بوم‌شناختی را نشان می‌دهند. بر اساس این نتایج، بیشترین احتمال حضور این گونه در میانگین دمای سالانه (bio1) حدود ۱۶ درجه سانتیگراد مشاهده شد. با افزایش و کاهش دما نسبت به این عدد، احتمال حضور آن کاهش می‌یابد. یافته‌های متغیر هم‌دمایی (bio3) نشان داد که احتمال حضور سفیدپلت در دامنه ۳۰ تا ۳۵ درصد، روند افزایشی دارد و از این محدوده به بعد، حضور آن با شیب بیشتری کاسته می‌شود.

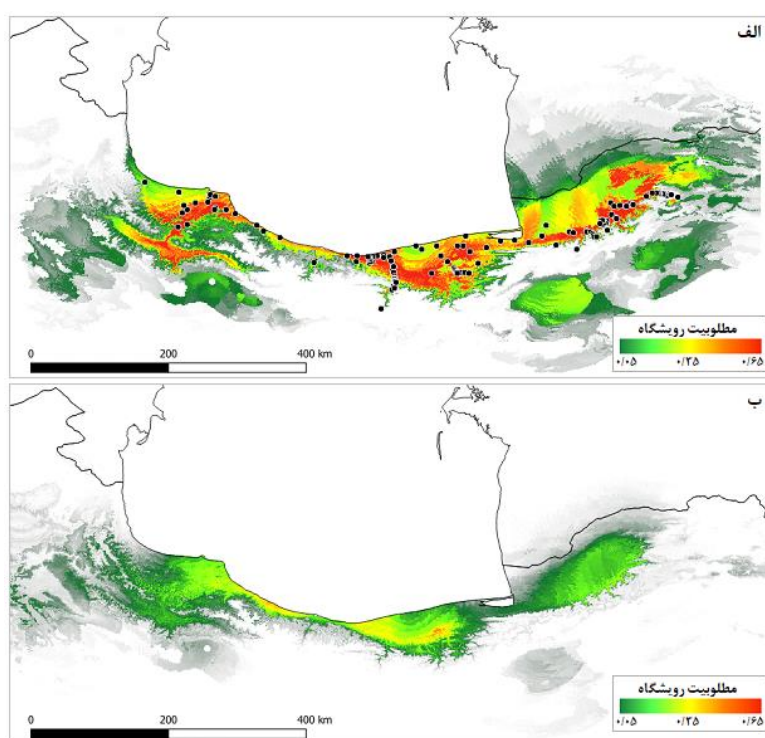


شکل ۲- منحنی پاسخ احتمال حضور سفیدپلت نسبت به مهم‌ترین متغیرهای زیست‌اقلیمی

(خروجی لجستیک MAXENT در محور عمودی، معرف مطلوبیت زیستگاه و احتمال حضور سفیدپلت است. متغیرهای محیطی در محور افقی شامل الف- bio 3: هم‌دمایی (درصد)، ب- bio 1: میانگین دمای سالانه (درجه سانتیگراد)، ج- bio 14: مقدار بارش در خشک‌ترین ماه سال (میلی‌متر) و د- bio 7: تغییرات دمای سالانه (درجه سانتیگراد) هستند.)

فقط جمعیت‌های سفیدپلت واقع در بخش مرکزی (استان مازندران) زنده خواهند ماند، درحالی‌که بیشترین کاهش گسترش و مطلوبیت رویشگاه این گونه برای بخش شرقی هیرکانی پیش‌بینی شد (شکل ۳). در مجموع، مساحت مطلوبیت رویشگاه سفیدپلت تحت سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۷۰ می‌تواند به ۴۲۷۷۵/۳۹ کیلومتر مربع (۴۸/۴ درصد مساحت فعلی) کاهش یابد. همچنین، رویشگاه‌های مطلوب (پتانسیل خوب) برای حضور گونه مذکور ۹۷ درصد کم خواهند شد (جدول ۳).

نقشه مطلوبیت رویشگاه سفیدپلت براساس داده‌های اقلیم کنونی و سناریو آینده در شکل ۳ آمده است. هم‌اکنون، مساحت مطلوبیت رویشگاه‌های این گونه در محدوده جنگل‌های هیرکانی ایران ۸۸۳۱۷/۳ کیلومتر مربع است. از این مقدار، ۳۴۲۲۴/۳۷ کیلومتر مربع (۳۸/۷۵ درصد)، پتانسیل خوبی برای حضور سفیدپلت دارند (جدول ۳). نتایج حاصل از سناریوی RCP 8.5 نشان داد که تغییر اقلیم، تأثیر منفی و قابل‌توجهی بر محدوده پراکنش این گونه خواهد گذاشت، به‌طوری‌که نقشه خروجی حاصل از سناریوی بدبینانه RCP 8.5 نشان داد که تا سال ۲۰۷۰ میلادی



شکل ۳- نقشه مطلوبیت رویشگاه سفیدپلت

(الف- تحت شرایط اقلیم کنونی به‌همراه ۱۵۰ نقطه حضور این گونه در جنگل‌های هیرکانی، ب- پیش‌بینی آینده تحت سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۷۰ میلادی)

جدول ۳- مساحت رویشگاه‌ها با مطلوبیت‌های متفاوت براساس شاخص پتانسیل حضور برای سفیدپلت

مطلوبیت رویشگاه					شرایط اقلیمی
درصد از	مجموع	خوب (کیلومتر مربع)	متوسط (کیلومتر مربع)	ضعیف (کیلومتر مربع)	
شرایط فعلی	(کیلومتر مربع)	($>0/3$)	($0/1-0/3$)	($0/05-0/1$)	
۱۰۰	۸۸۳۱۷/۳	۳۴۲۲۴/۳۷	۲۹۹۳۷/۹۴	۲۴۱۵۴/۹۹	فعلی
۴۸/۴۳	۴۲۷۷۵/۳۹	۱۰۳۴/۹	۲۳۶۱۶/۲۸	۱۸۱۲۴/۲	آینده (سناریوی RCP 8.5 در سال ۲۰۷۰)

بحث

تغییر اقلیم، یک محرک بالقوه برای تغییر یا حتی تعاملات زیستی جدید است که می‌تواند بر توانایی گونه‌ها برای مهاجرت به زیستگاه‌های جدید یا ماندن در زیستگاه خود تأثیر بگذارد. گونه‌هایی با پراکنش محدود تحت شرایط تغییر اقلیم مستمر با خطر انقراض بیشتری مواجه هستند. در این حالت، گونه‌های بومی باید مهاجرت کنند یا تکامل یابند (Meng et al., 2017; Alavi et al., 2019; Taleshi et al., 2019).

نتایج پژوهش پیش‌رو برای مدل‌سازی پراکنش جغرافیایی و مطلوبیت رویشگاه سفیدپلت به‌عنوان یک گونه بومی در جنگل‌های هیرکانی نشان داد که مدل MAXENT با AUC برابر با ۰/۹۹۳ کارایی بسیار خوبی در این زمینه دارد. مقدار شاخص AUC به‌دست‌آمده در پژوهش پیش‌رو تا حدی نزدیک یا بیشتر از AUC گزارش‌شده در پژوهش‌های پیشین بود (Haidarian Aghakhani et al., 2017a,b; Alavi et al., 2019; Taleshi et al., 2019; Ahmadi et al., 2019). با بررسی تأثیر اقلیم آینده بر پراکنش سرخدار با استفاده از روش‌های مختلف پراکنش گونه‌ای گزارش کردند که مدل MAXENT در پیش‌بینی دامنه پراکنش رویشگاه این گونه در جنگل‌های هیرکانی، دقت زیادی دارد. براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، مقدار بارش در خشک‌ترین ماه سال، تغییرات دمای سالانه، میانگین دمای سالانه و هم‌دمایی، مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر پراکنش سفیدپلت هستند، به‌طوری‌که این چهار متغیر زیست‌اقلیمی در مجموع حدود ۶۲ درصد تغییرات را توجیه کردند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه مورد مطالعه داشتند. براساس منحنی‌های پاسخ رویشگاه سفیدپلت، گستره این گونه به‌طور معنی داری با دسترسی به آب (به‌ویژه در فصل‌های خشک سال) و میزان دما ارتباط دارد. این یافته‌ها بیانگر نقش شرایط مطلوب رطوبتی و حرارتی در احتمال حضور گونه مذکور هستند. سفیدپلت در مناطقی با میانگین دمای سالانه بین ۱۰ تا ۱۸ درجه سانتیگراد حضور دارد. با این‌وجود، این گونه می‌تواند درجه‌حرارت کمتر از صفر درجه سانتیگراد در زمستان و

بیشتر از ۳۲ درجه سانتیگراد در تابستان را تحمل کند. Nazari و Fallah (۲۰۱۶) بیان کردند که سفیدپلت در مناطقی با اقلیم مرطوب تا نیمه‌مرطوب، دمای سالانه بیشتر از ۱۶ سانتیگراد و رطوبت نسبی بیشتر از ۷۵ درصد حضور دارد که تأییدکننده یافته‌های پژوهش پیش‌رو است. طبق شکل ۲-ج و همان‌طور که در نتایج ذکر شد، هنگامی‌که بارش در خشک‌ترین ماه سال، بیشتر از یک میلی‌متر (و نه فقط ۱۵ میلی‌متر) باشد، احتمال حضور سفیدپلت افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، براساس پژوهش Sadati و همکاران (۲۰۱۱)، سفیدپلت در فصل‌های مرطوب سال می‌تواند شرایط غرقابی را نیز تحمل کند.

نتایج مدل‌سازی و برآورد نقشه پتانسیل رویشی سفیدپلت تحت شرایط اقلیم کنونی نشان داد که سواحل جنوبی دریای خزر دربرگیرنده دامنه گسترش سفیدپلت هستند. کل این محدوده را می‌توان به سه بخش غربی در استان گیلان، مرکزی در استان مازندران و شرقی در استان گلستان تقسیم کرد. با این‌حال از نظر تئوری، محدوده گسترش و مساحت رویشگاه‌های مطلوب سفیدپلت با پتانسیل خوب، بیشتر از دامنه پراکنش واقعی آن است. فعالیت‌های گسترده انسان در بخش‌های غربی، مرکزی و شرقی سواحل جنوبی خزر به‌شدت سبب آشفتگی جنگل‌های طبیعی شده‌اند. تأثیر تنش‌های طولانی‌مدت ناشی از فعالیت‌های انسان بر پوشش گیاهان طبیعی در حاشیه رودخانه‌ها و سواحل جنوبی دریای خزر در پژوهش‌های گرده‌شناسی (Palynology) اثبات شده است (Hamzeh'ee et al., 2008). فعالیت در حوزه دلتاها، ساخت‌وساز در مسیر دهانه رودخانه‌ها، توسعه صنعت و شهرنشینی در حوزه خزر، جنگل‌کاری مجدد با گونه‌های غیربومی و پاک‌سازی جنگل‌های جلگه‌ای برای اهداف کشاورزی سبب تشدید فشار بر پوشش درختی در مناطق جلگه‌ای و مرتفع شده‌اند (Ketek Lahijani et al., 2008). در گذشته، بیشترین گستره جنگل‌ها در این مناطق با گونه‌های توسکا (spp. *Alnus*) و سفیدپلت پوشانده شده بود، اما اکنون اغلب آن‌ها به‌طور کامل تخریب شده‌اند (Hamzeh'ee et al., 2008). براساس یافته‌های Alipour و همکاران (۲۰۲۱)، فعالیت‌های

معرض تخریب واقع شده است. تنوع ژنتیکی و غنای آلی جمعیت‌های این گونه در بخش‌های مرکزی و شرق منطقه هیرکانی، بیشتر از جمعیت‌های غربی گزارش شدند (Alipour *et al.*, 2021). نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که با تغییرات شدید اقلیمی در سال ۲۰۷۰ (سناریوی RCP 8.5)، مساحت رویشگاه سفیدپلت در جنگل‌های هیرکانی به ۴۸/۴ درصد مساحت کنونی کاهش خواهد یافت و وسعت مناطق مستعد وقوع گونه (پتانسیل خوب)، بسیار کم خواهد شد (۱۰۳۴/۹ کیلومتر مربع). همچنین، دامنه پراکنش سفیدپلت در رویشگاه‌های شرقی هیرکانی (استان گلستان) که پتانسیل ژنتیکی زیادی دارند، در اقلیم آینده به شدت کاهش می‌یابد. حتی این امکان وجود دارد که تحت سناریوی RCP 8.5 در آینده، منطقه گسترش بالقوه سفیدپلت به سمت رویشگاه‌های غرب هیرکانی که شرایط اقلیمی مطلوب‌تری خواهند داشت، جابه‌جا شود. این موضوع با متفاوت بودن رژیم‌های بارندگی (گرادیان بارندگی ۶۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌متر و میانگین بارش سالانه حدود ۶۰۰ میلی‌متر) و میانگین دمای سالانه، ارتباط تنگاتنگی دارد. در مجموع می‌توان چنین استنباط کرد که بخش شرق هیرکانی (استان گلستان) با وجود بارش مناسب به دلیل افزایش درجه حرارت به سمت اقلیم‌های خشک‌تر پیش می‌رود. هم‌اکنون، ۳۸/۷۵ درصد از کل رویشگاه‌های سفیدپلت در جنگل‌های هیرکانی از نظر اقلیم برای این گونه مناسب هستند، اما اغلب این رویشگاه‌ها در اقلیم آینده، پتانسیل خود را برای حضور سفیدپلت از دست خواهند داد. این نتایج می‌تواند الگوی تغییر در توزیع گونه‌ای شبیه‌سازی شده را توضیح دهد (شکل ۳). به این معنی که سفیدپلت به احتمال زیاد، آسیب‌پذیری قابل توجهی در برابر تغییر اقلیم خواهد داشت. در نتیجه، تغییر اقلیم در منطقه هیرکانی می‌تواند تهدید جدی برای این گونه درختی بومی و در معرض خطر باشد. نتایج پژوهش پیش‌رو از فرضیه تأثیر منفی تغییر اقلیم آینده بر بقای گونه‌های درختی هیرکانی پشتیبانی می‌کند. این یافته تاحدی با نتایج پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد. چنانچه تحت تغییر اقلیم آینده گزارش شده است که بخش‌های زیادی از رویشگاه‌های مطلوب جنگل‌های

انسانی، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر سطح آسیب‌پذیری سفیدپلت داشته‌اند، بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که بیشتر رویشگاه‌های با اقلیم مطلوب به شدت تخریب شده‌اند، به طوری که کاربری آن‌ها تغییر کرده و برای تجدیدحیات سفیدپلت در دسترس نیستند.

گیاهان دوپایه که گل‌های نر و ماده آن‌ها روی پایه‌های جدا دیده می‌شوند، اغلب گونه‌های چوبی هستند که در بوم‌سازگان‌های جنگلی کنار رودخانه‌ها رشد می‌کنند (مانند صنوبر و بید). این گونه‌های درختی نسبت به اثرات تغییر در کاربری زمین و اقلیم، آسیب‌پذیر هستند (Tognetti, 2012). گرمایش جهانی، یکی از تهدیدهای رایج برای بوم‌سازگان‌های صنوبر به‌شمار می‌آید (Rogers *et al.*, 2020). علاوه بر فعالیت‌های شدید انسان و تغییر اقلیم، عوامل دیگر مانند عدم نور کافی، خاک نامناسب و نیز ریشه ضعیف ممکن است بر تجدیدحیات جمعیت‌های طبیعی سفیدپلت، جابه‌جایی و پراکنش آن‌ها اثر گذاشته باشند (Asadi & Ghasemi, 2007; Asadi *et al.*, 2017)، اما ضروری نیست همه این عامل‌ها در مدل‌سازی اقلیمی در نظر گرفته شوند (Hamann & Wang, 2006) و فقط ملاحظه متغیرهای اقلیمی برای مدل‌سازی در سطح منطقه‌ای کفایت می‌کند (Pearson & Dawson, 2003). تغییر اقلیم ممکن است شرایط برخی از رویشگاه‌های جنگلی را برای رشد درختان در آینده نامناسب کند و بهره‌وری آن‌ها را به خطر بیندازد. در این شرایط در نظر گرفتن ارتباط مطلوبیت رویشگاه با متغیرهای خاکی و اقلیمی به منظور بررسی پتانسیل بهره‌وری، سودمندی، کشت و احیا، اهمیت به سزایی دارد (Sun *et al.*, 2021). توجه به این نکته ضروری است که پراکنش و رشد یک گونه به ویژگی‌های ژنتیکی، فیزیولوژیکی و شرایط محیطی آن بستگی دارد، بنابراین برای معرفی مناطق بالقوه به منظور کشت، بهره‌وری و احیا گونه مورد پژوهش نه تنها پارامترهای اقلیمی، بلکه عوامل بوم‌شناختی، کاربری اراضی و متغیرهای ذکر شده دیگر باید در نظر گرفته شوند.

سفیدپلت به‌عنوان یک گونه در معرض خطر با تنوع ژنتیکی کم (Alipour *et al.*, 2021) در رویشگاه‌های در

مقابله آن‌ها با پیامدهای غیرمنتظره تغییر اقلیم تاحد زیادی تضمین خواهد شد.

سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری کارکنان مؤسسه دندرولوژی آکادمی علوم لهستان (Institute of Dendrology of the Polish Academy of Sciences) به‌خصوص آقای Ł. Walas به‌دلیل همکاری در این پژوهش و نیز از دانشگاه لرستان و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور برای حمایت‌های مالی تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, K., Alavi, S.J., Amiri, G.Z., Hosseini, S.M., Serra-Diaz, J.M and Svenning, J.C., 2020. The potential impact of future climate on the distribution of European yew (*Taxus baccata* L.) in the Hyrcanian forest region (Iran). *International Journal of Biometeorology*, 64: 1451-1462.
- Akhiani, H., Djamali, M., Ghorbanalizadeh, A. and Ramezani, E., 2010. Plant biodiversity of Hyrcanian relict forests, N Iran: an overview of the flora, vegetation, palaeoecology and conservation. *Pakistan Journal of Botany*, 42(1): 231-258.
- Alavi, S.J., Ahmadi, K., Hosseini, S.M., Tabari, M. and Nouri, Z., 2019. The response of English Yew (*Taxus Baccata* L.) to climate change in the Caspian Hyrcanian mixed forest ecoregion. *Regional Environmental Change*, 19(5): 1495-1506.
- Alipour, Sh., Yousefzadeh, H., Bادهیان, Z., Asadi, F., Espahbodi, K. and Dering, M., 2021. Genetic diversity and structure of the endemic and critically endangered *Populus caspica* in the Hyrcanian forests. *Tree Genetics & Genomes*, 17(2): 19.
- Asadi, F. and Ghasemi, R., 2007. Evaluation of rooting success in poplar clones cuttings using different treatments. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(2): 134-143 (In Persian).
- Asadi, F., Mirzaei Nodushan, H. and Mokhtari, J., 2017. Comparison of *Populus caspica* growth behavior and their progenies. *Journal of Forest and Wood Products*, 69(4): 713-723 (In Persian).
- Attarod, P., Kheirkhah, F., Khalighi Sigaroodi, S., Sadeghi, S.S.M., Dolatshahi, A. and Bayramzadeh, V., 2017. Trend analysis of meteorological parameters and reference evapotranspiration in the Caspian region. *Iranian Journal of Forest*, 9(2): 171-

هیرکانی برای برخی از گونه‌های درختی مانند سرخدار و توسکای بیلاقی (*A. subcordata* C. A. Mey.) به‌احتمال زیاد از بین خواهند رفت و از دامنه پراکنش آن‌ها کاسته خواهد شد (Alavi et al., 2019; Taleshi et al., 2019; Ahmadi et al., 2020). براساس نتایج پژوهش Taleshi و همکاران (۲۰۱۹)، رویشگاه‌های مطلوب بلندمازو در اقلیم آینده به ارتفاع از سطح دریای بالاتری تغییر می‌یابند. همچنین، تأثیر تغییر اقلیم بر پراکنش این گونه در بخش‌های شرقی و مرکزی جنگل‌های هیرکانی در مقایسه با بخش غربی، بیشتر خواهد بود (Taleshi et al., 2020).

در پژوهش پیش‌رو، تغییرات احتمالی رویشگاه‌های سفیدپلت و مناطق مستعد اقلیمی وقوع این گونه در شرایط کنونی و آینده شبیه‌سازی شد. با توجه به اهمیت سفیدپلت به‌عنوان گونه‌ای بومی و در معرض خطر، ضروری است تصمیم‌های مدیریتی مناسب و راهبردهای حفاظتی با هدف جلوگیری از انقراض، ذخیره منابع ژنتیکی و حفظ پتانسیل تکاملی و وضعیت موجود این گونه در مقابل پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم و فشارهای انسانی اتخاذ شوند. از جمله آن‌ها می‌توان به چند مورد اشاره کرد: ۱) تعریف واحدهای مدیریتی برای محدود کردن آسیب‌پذیری و تخریب بیشتر سفیدپلت ضروری است. ۲) نهال‌کاری در عرصه‌های تخریب‌شده هیرکانی می‌تواند به بهبود کارایی حفاظت *In situ*، گسترش و حتی توسعه تنوع ژنتیکی این گونه، کمک شایانی کند، چراکه در آینده، پایداری مناطق با مطلوبیت پراکنش سفیدپلت برای محافظت از آن‌ها در برابر تغییر اقلیم، اهمیت زیادی دارد. ۳) ایجاد راهروهای سبز به‌واسطه معرفی پارک‌های ملی بیشتر برای پر کردن شکاف مناطق، مؤثر خواهد بود. ۴) حفاظت *Ex situ* مانند احداث کلکسیون سفیدپلت به‌وسیله کاشت نهال از پایه‌های جمع‌آوری‌شده با تنوع ژنتیکی زیاد از سراسر نواحی هیرکانی در یک یا دو محیط یا ایستگاه تحقیقاتی و نیز احداث باغ بذر از این درختان به‌منظور افزایش برون‌آمیزی و حفظ بذرهای مطلوب مفید خواهد بود. در نتیجه، موفقیت استقرار و رشد نهال‌های مورد استفاده در جنگل‌کاری‌ها و

- 117-132.
- Hasui, É., Silva, V.X., Cunha, R.G.T., Ramos, F.N., Ribeiro, M.C., Sacramento, M., ... and Ribeiro, B.R., 2017. Additions of landscape metrics improve predictions of occurrence of species distribution models. *Journal of Forestry Research*, 28(5): 963-974.
 - Horenko, I., Marchenko, G. and Gagliardini, P., 2020. On a computationally-scalable sparse formulation of the multidimensional and non-stationary maximum entropy principle. *Communications in Applied Mathematics and Computational Science*, 15(2): 129-146.
 - Ingvarsson, P.K. and Bernhardsson, C., 2020. Genome-wide signatures of environmental adaptation in European aspen (*Populus Tremula*) under current and future climate conditions. *Evolutionary Applications*, 13(1): 132-142.
 - Jalili, A. and Jamzad, Z., 1999. Red Data Book of Iran: A Preliminary Survey of Endemic, Rare and Endangered Plant Species of Iran. Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 748p.
 - Ketek Lahijani, H.A., Tavakoli, V. and Amini, A.H., 2008. South Caspian river mouth configuration under human impact and sea level fluctuations. *Environmental Sciences*, 5(2): 65-86.
 - Li, J., Liu, G., Lu, Q., Zhang, Y., Li, G. and Du, S., 2019. Future climate change will have a positive effect on *Populus davidiana* in China. *Forests*, 10(12): 1120.
 - Meng, H., Wei, X., Franklin, S.B., Wu, H. and Jiang, M., 2017. Geographical variation and the role of climate in leaf traits of a relict tree species across its distribution in China. *Plant Biology* 19(4): 552-561.
 - Mohammadi, A., Alavi, S.J. and Hosseini, S.M., 2019. Predicting the potential habitat of Wych elm (*Ulmus glabra* Huds.) using the Maxent model in Kheyrod forest. *Iranian Journal of Forest*, 10(4): 475-486 (In Persian).
 - Nazari, M. and Fallah, H., 2016. Identifying indicator plants and their importance for expressing *Populus caspica* habitats in Hyrcanian forests. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 6(4): 45-56 (In Persian).
 - Neumann, A. and Skvortsov, A.K., 1969. *Flora Iranica*, Vol. 65: Salicaceae: 45p. In: Rechinger, K.H. (Ed.), 1963-2015. *Flora Iranica*, Vols. 1-181. Akademische Druck und Verlagsanstalt, Verlag des Naturhistorischen Museum Wien, Graz and Wien.
 - Pearson, R.G. and 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.
 - Rafiee, Gh., Jafari, R., Matinkhah, S.H., Tarkesh, M., 185 (In Persian).
 - Bagley, J.C., Heming, N.M., Gutiérrez, E.E., Devisetty, U.K., Mock, K.E., Eckert, A.J. and Strauss, S.H., 2020. Genotyping-by-sequencing and ecological niche modeling illuminate phylogeography, admixture, and Pleistocene range dynamics in quaking aspen (*Populus tremuloides*). *Ecology and Evolution*, 10(11): 4609-4629.
 - Browicz, K., 1982. *Chorology of Trees and Shrubs in South-West Asia and Adjacent Regions*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Poznań, Poland, 172p.
 - Case, M.J. and Lawler, J.J., 2017. Integrating mechanistic and empirical model projections to assess climate impacts on tree species distributions in northwestern North America. *Global Change Biology*, 23(5): 2005-2015.
 - Fallah, H., Tabari, M., Azadfar, D. and Babaie, F., 2012. Investigation of genetic diversity in endangered stands of *Populus caspica* Bornm. of sub-mountain forests in north of Iran. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 19(2): 289-303 (In Persian).
 - Greer, B.T., Still, C., Howe, G.T., Tague, C. and Roberts, D.A., 2016. Populations of aspen (*Populus tremuloides* Michx.) with different evolutionary histories differ in their climate occupancy. *Ecology and Evolution*, 6(9): 3032-3039.
 - Guo, Y., Li, X., Zhao, Z. and Wei, H., 2018. Modeling the distribution of *Populus euphratica* in the Heihe River Basin, an inland river basin in an arid region of China. *Science China Earth Sciences*, 61(11): 1669-1684.
 - Haidarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M. and Tatian, M.R., 2017a. Forecasts of climate change effects on *Amygdalus Scoparia* potential distribution by using ensemble modeling in central Zagros. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(3): 1-14 (In Persian).
 - Haidarian Aghakhani, M., Tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M. and Tatian, M.R., 2017b. Predicting the impacts of climate change on Persian oak (*Quercus Brantii*) using species distribution modelling in central Zagros for conservation planning. *Journal of Environmental Studies*, 43(3): 497-511 (In Persian).
 - Hamann, A. and Wang, T., 2006. Potential effects of climate change on ecosystem and tree species distribution in British Columbia. *Ecology*, 87(11): 2773-2786.
 - Hamzeh'ee, B., Naqinezhad, A., Attar, F., Ghahreman, A., Assadi, M. and Prieditis, N., 2008. Phytosociological survey of remnant *Alnus glutinosa* ssp. *barbata* communities in the lowland Caspian forests of Northern Iran. *Phytocoenologia*, 38(1-2):

- impacts on potential distribution of chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* C.A.M.) using ensemble modeling in the Hyrcanian forests of Iran. *Ecology of Iranian Forest*, 8(15): 10-21 (In Persian).
- Taleshi, H., Jalali, S.Gh., Alavi, S.J., Hosseini, S.M., Naimi, B. and Zimmermann, N.E., 2019. Climate change impacts on the distribution and diversity of major tree species in the temperate forests of northern Iran. *Regional Environmental Change*, 19(8): 2711-2728.
 - Tognetti, R., 2012. Adaptation to climate change of dioecious plants: does gender balance matter? *Tree Physiology*, 32(11): 1321-1324.
 - Wisz, M.S., Pottier, J., Kissling, W.D., Pellissier, L., Lenoir, J., Damgaard, C.F., ... and Svenning, J.C., 2013. The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological Reviews*, 88(1): 15-30.
 - Zeng, Y.F., Zhang, J.G., Abuduhamiti, B., Wang, W.T. and Jia, Z.Q., 2018. Phylogeographic patterns of the desert poplar in Northwest China shaped by both geology and climatic oscillations. *BMC Evolutionary Biology*, 18(1): 75.
 - Karimzadeh, H.R. and Jafari, Z., 2020. Predicting the potential habitat distribution of *Crataegus pontica* C. Koch, using a combined modeling approach in Lorestan province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 9(2): 45-59 (In Persian).
 - Rogers, P.C., Pinno, B.D., Šebesta, J., Albrechtsen, B.R., Li, G., Ivanova, N., ... and Kulakowski, D., 2020. A global view of aspen: Conservation science for widespread keystone systems. *Global Ecology and Conservation*, 21: e00828.
 - Sadati, S.E., Tabari, M., Assareh, M.H., Heidari Sharifabad, H. and Fayaz, P., 2011. Response of *Populus caspica* Bornm. seedlings to flooding. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 19(3): 340-355 (In Persian).
 - Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. and Pourhashemi, M., 2014. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*. Springer, Dordrecht, 152p.
 - Sun, J., Jiao, W., Wang, Q., Wang, T., Yang, H., Jin, J., ... and Wang, W., 2021. Potential habitat and productivity loss of *Populus deltoides* industrial forest plantations due to global warming. *Forest Ecology and Management*, 496: 119474.
 - Taleshi, H., Jalali, S.Gh., Alavi, S.J., Hosseini, S.M. and Naimi, B., 2020. Projection of climate change

Predicting the suitable habitat of Caspian poplar (*Populus caspica* Bornm.) and the most influential climatic variables on its potential distribution in the Hyrcanian forests, Iran

Sh. Alipour ¹, Z. Badehian ^{2*}, H. Yousefzadeh ³, F. Asadi ⁴ and K. Espahbodi ⁴

1- Ph.D. Student of Silviculture and Forest Ecology, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

2* - Corresponding author, Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: badehian.z@lu.ac.ir

3- Associate Prof., Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

4- Associate Prof., Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran

Received: 25.05.2021

Accepted: 09.04.2021

Abstract

Climate change can be a major threat to the endemic species of the Hyrcanian forests. However, there have been almost no studies in terms of determining consequences of climate change on the distribution patterns of *Populus caspica* Bornm. In this study, ecological niche theory and MAXENT software as well as *P. caspica* presence data across the Hyrcanian forests of Iran were used to identify the relationships between species data to the climatic predictor variables under current and future (RCP 8.5) (2070) climate conditions. According to analysis of area under the ROC curve, the high value of AUC index (0.993) indicated the efficiency of the model in determining the potential habitat of *P. caspica*. Precipitation of driest month, temperature annual range, mean annual temperature, and isothermality were the most important bioclimatic variables in the determination of potential habitat for *P. caspica*. Moreover, our results demonstrated that the habitat suitability area of this species was 88317.3 km² under current climate condition and 38.75% area was identified as a "good potential" level for the presence of *P. caspica*. Whereas under projected future climate (RCP 8.5), suitable areas would be decreased by 48.4% compared to the current condition. The results of this study can be applied in approaches management, conservation planning and reforestation by taking into account the effect of climate change on habitat suitability and species response to its changes and conservation strategies will be compiled for this species.

Keywords: Climate change, conservation, endemic species, MAXENT model.