فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

۲۸۶-۲۶۹

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی گستره پراکنش آرایه های خواهری دورگه زا در گونه های زردپره سرسرخ و زردپره سرسیاه از راسته گنجشک سانان

شهرزاد رحمتی[۱]، مهدی غلامعلی فرد[۱]، علی غلامحسینی[۲] و سید محمود قاسمپوری[*]

[۱] گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، تربیت مدرس، مازندران، ایران

[۲] بخش زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸

رحمتی، ش.، م. غلامعلی فرد، ع. غلامحسینی و س.م. قاسمپوری. ۱۴۰۰. مدل‌سازی گستره پراکنش آرایه‌های خواهری دورگه‌زا در گونه‌های زردپره سرسرخ و زردپره سرسیاه از راسته گنجشک‌سانان. فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۴): ۲۶۹-۲۸۶.

سابقه و هدف: جدایی گونه‌ها بر مبنای نتایج فیلوژنی می‌تواند با مدل‌سازی‌هایی که ورودی آن‌ها داده‌های زیستگاهی هستند، پشتیبانی شود. در مطالعه حاضر دو آرایه خواهری که براساس مستندهای مولکولی جدا از هم هستند، از نظر عامل‌های تأثیرگذار زیستگاهی که احتمالا در این جدایی دخیل بوده‌اند و همچنین از نظر پراکنش در برهه تاریخی گذشته و آینده، مورد بررسی قرار گرفته‌اند.گونه‌های مورد مطالعه شامل زردپره سرسرخ و زردپره سرسیاه از راسته گنجشک‌سانان هستند.

مواد و روش‌ها: در راستای مدل‌سازی توزیع گونه‌ها، متغیرهای زیست اقلیمی از پایگاه داده CHELSA به‌همراه متغیرهای ارتفاع، شیب و سنجه پوشش گیاهی به‌عنوان داده‌های زیستگاهی برای ورود به مدل مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین نقاط حضور گونه‌ها پس از جمع آوری در بازه تولیدمثلی غربالگری شده و به‌عنوان داده تعلیمی به مدل‌ها اضافه شد. در این مطالعه جهت مدل‌سازی از پکیج sdm شامل ۸ مدل (GLM، GAM، BRT، RF، CART، SVM، MaxEnt و MARS) در محیط نرم افزار R استفاده گردید. مدل‌سازی توزیع گونه‌ها در برهه زمانی آخرین دوره یخبندان، حال حاضر (۱۹۹۷ - ۲۰۱۳) و سال ۲۰۵۰ انجام شد.

نتایج و بحث: نتایج جدایی پردازه اکولوژیکی، گونه‌ها را تحت تأثیر متغیرهای محیطی نشان داد. مطابق نتایج ارزیابی صحت، معتبرین مدل از نظر سنجه TSS و AUC، مدل جنگل تصادفی برآورد شد. همچنین بنابر نتایج، در سال ۲۰۵۰ زیستگاه‌های مطلوب برای گونه زردپره سرسرخ محدود به شمال شرق کشور و برای گونه زردپره سرسیاه مطلوبیت محدود به منطقه‌هایی در جنوب رشته کوه البرز، شمال غرب و غرب ایران خواهد بود. مطابق با نتایج، وسعت زیستگاه‌های مطلوب برای گونه زردپره سرسیاه در غرب نسبت به امروز کمتر بوده است که بنابر مطالعات صورت گرفته ظاهرا عامل‌های درونی و اقلیمی هردو در تغییرات محدوده پراکنش دو گونه تأثیرگذار بوده‌اند. نتایج تحقیق گویای کاهش مطلوبیت زیستگاه برای گونه‌های مورد مطالعه در هر دو بازه زمانی (آخرین عصر یخبندان تا حال حاضر و حال حاضر تا سال ۲۰۵۰) می‌باشد.

[*] Corresponding Author: *Email Address.* ghasempm@modares.ac.ir
http://dx.doi.org/ 10.52547/envs.2021.1016
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1400.19.4.2.0

نتیجه‌گیری: شناخت عامل‌های تأثیرگذار بر تعیین مطلوبیت زیستگاه‌های حیات وحش ضروری است. برخی تغییرات ناشی از دستکاری اکوسیستم به شدت در محدوده پراکنش گونه‌ها اثر گذاشته است. پیش‌بینی کاهش مطلوبیت زیستگاه در آینده و ادامه روند از بین رفتن آن، پایش مستمر نواحی متمرکز پراکنش و اجرای تمهیدهای پیشگیری از تخریب این زیستگاه‌ها را می‌طلبد. همینطور منطقه‌های مستعد برای دورگه‌زایی گونه‌های خواهری که از استعداد ذاتی برای دورگه‌زایی برخوردارند، باید بیشتر مورد توجه و دقت قرار گیرند و تغییرات آن‌ها تحت تأثیر شرایط اقلیمی آینده با حساسیت بیشتری مورد نظارت پیوسته قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آرایه خواهری، مدل‌سازی توزیع گونه، مطلوبیت زیستگاه، زردپره سرسرخ، زردپره سرسیاه.

مقدمه

شناخت زیستگاه و نیازهای زیستگاهی جانوران بخش مهمی از حفاظت حیات وحش، بویژه گونه‌های در معرض خطر انقراض و آسیب‌پذیر می‌باشد. یک مسئله مهم در زیست‌شناسی حفاظت و اکولوژی تعیین چگونگی توزیع جغرافیایی گونه‌ها می‌باشد (Fourcade *et al*., 2014). درک چگونگی و چرایی توزیع گونه‌ها به‌منظور توسعه استراتژی‌های مؤثر حفاظت ضروری است. چنین درکی می‌تواند به مدیران حیات وحش کمک کند تا با اختصاص دادن منابع مؤثر درحوزه مدیریتی، تصمیم‌های بهتری گرفته شود.

مدل‌های توزیع گونه (SDM[1]) ارتباط مکان‌های اشغال شده توسط یک گونه و خصوصیات محیطی این مکان‌ها را مشخص می‌کند. همچنین سهم متغیرهای محیط زیستی در پراکنش را تعیین و از طرفی دامنه توزیع جغرافیایی بالقوه گونه را پیش‌بینی می‌نماید.

پراکنش فعلی گونه‌ها را می‌توان به نوعی به تغییرات اقلیمی مربوط به دوره‌های گذشته بویژه عصر یخبندان نسبت داد (Schwartz *et al*., 2006). مدل‌سازی توزیع گونه‌ها در برهه‌های تاریخی گذشته و آینده، افزون بر اینکه به ارائه دیدگاه‌های اثر تغییر اقلیم بر فنولوژی گونه‌ها کمک شایانی می‌کند، از دید استراتژی‌های حفاظتی نیز دارای اهمیت است. دلیل محدود شدن گونه‌ها در یک زیستگاه خاص، کم شدن جمعیت آن‌ها از گذشته تا به امروز، در خطر انقراض قرار گرفتن جمعیت‌های خاصی از حیات‌وحش از جمله پرسش‌هایی هستند که از طریق پیش‌بینی توزیع گونه‌ها، به نحوی می‌توان به آن‌ها پاسخ داد و در مطالعات مختلفی از این مدل‌سازی‌ها استفاده شده است (به‌عنوان نمونه Brambilla, 2015; Yousefkhani *et al*., 2017; Guevara *et al*., 2018; Chala *et al*., 2019; Fern *et al*., 2019; Fathinia *et al*., 2020; ;Somveille *et al*., 2020., Yousefi *et al*., 2020). از طرفی انتظار می‌رود جدیدترین جدایی‌های گونه‌های جانوری که از نقطه نظر شواهد تاریخ تکاملی قابلیت مطالعه و ردیابی را داشته باشند، مربوط به آرایه‌های خواهری[2]باشد. اعضای آرایه‌های خواهری از نظر ریخت‌شناسی و تنوع ژنتیکی بیشترین شباهت را به هم دارند. این آرایه‌ها از یک نیای مشترک به وجود آمده‌اند و در محل گره[3]ها (اجداد مشترک) در درخت فیلوژنی مشخص می‌شوند. تأثیر اقلیم گذشته (به‌عنوان یخبندان) بر پراکنش آرایه‌های خواهری ممکن است سبب شود این آرایه‌ها دوباره در تماس پراکنشی با هم قرار گرفته و ایجاد دورگه نمایند و یا تغییر اقلیم در آینده ممکن است موجب تماس پراکنشی آرایه‌های خواهری و ایجاد دورگه شود. از جمله آرایه‌های خواهری که در شمال ایران دارای ناحیه دورگه‌زایی هستند و به‌عنوان مدل در این مطالعه استفاده شده‌اند، زردپره سرسرخ[4] (*Embriza bruniceps*) و زردپره سرسیاه[5] (*Embriza melanocephala*) از راسته گنجشک-سانان هستند که براساس مطالعات فیلوژنی اخیرا از یکدیگر جدا شده‌اند (Alström *et al*., 2008). این دو گونه از نظر حفاظتی در طبقه کمترین نگرانی[6] قرار گرفته‌اند.

در این مطالعه آرایه‌های خواهری که براساس مستندهای مولکولی به‌تازگی از یکدیگر جدا شده‌اند، با استفاده از مدل‌سازی توزیع گونه از نظر عامل‌های تأثیرگذار زیستگاهی

که احتمالا در این جدایی دخیل بوده‌اند، و همچنین پیشینه توزیع جغرافیایی در آخرین دوره یخبندان و پتانسیل توزیع در آینده (سال ۲۰۵۰) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای دستیابی به نتایج قابل اطمینان، در این مطالعه بعد از اجرای ۸ مدل توزیع گونه‌ای، بهترین مدل از نظر ارزیابی عملکرد مشخص و بحث در زمینه تطابق داده‌های زیستگاهی با مستندهای مولکولی، با استفاده از خروجی‌های این مدل صورت گرفته است. به‌طور کلی، در برخی پژوهش‌های بیوسیستماتیک، مطالعات زیستگاهی نیز انجام شده اما پژوهشی با این رویکرد که چند تاکسون را در یک حوضه مشخص از لحاظ بیوسیستماتیک و عامل‌های زیستگاهی مورد بررسی قرار دهند، دیده نشده است.

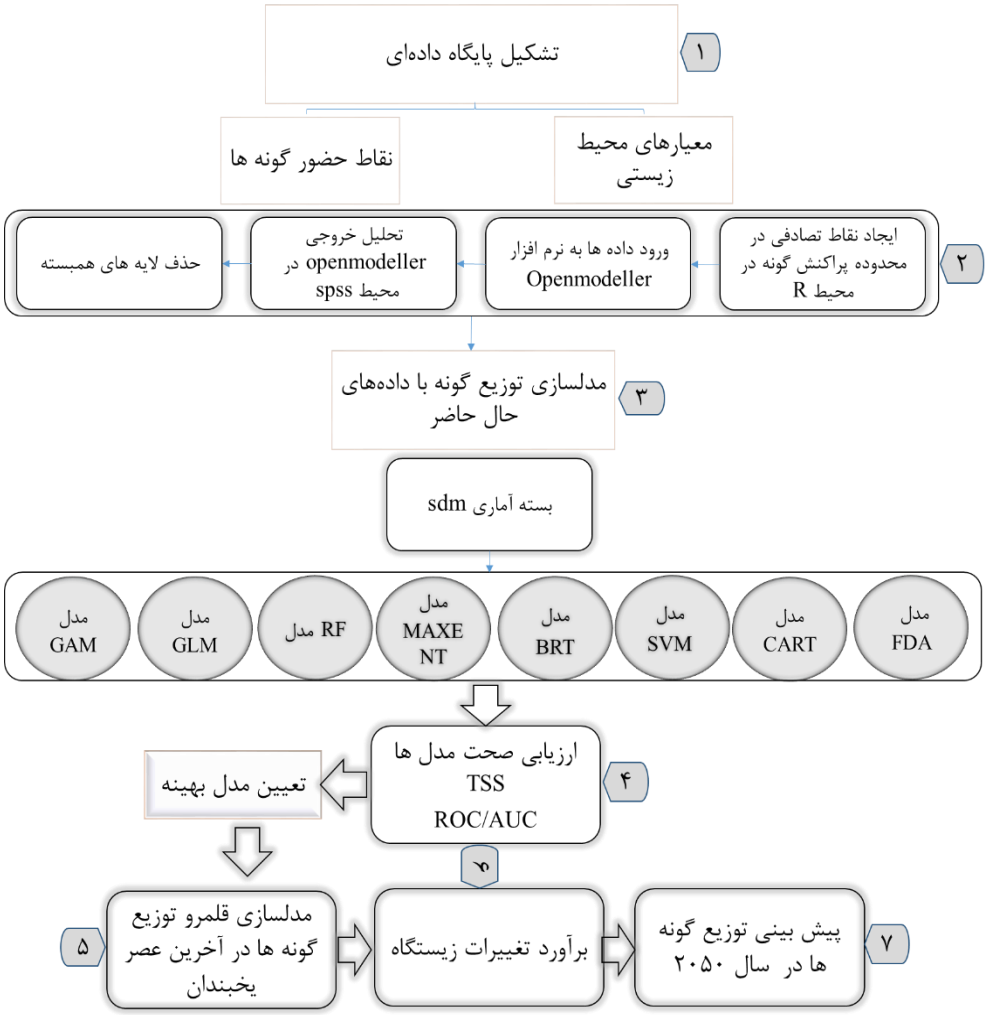
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پراکنش گونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق، در کشور ایران مورد بررسی قرار گرفته است. ایران در منطقه معتدل شمالی از عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۳ درجه و با مساحت ۱۶۴۸۱۶۵ کیلومتر مربع در جنوب‌غرب آسیا واقع شده است. که ارتفاعات زیاد و زون‌های مختلف آلپی دارد.

روش اجرا

به‌طور کلی مرحله‌های اجرای تحقیق در نگاره زیر قابل مشاهده است (شکل ۱).



شکل ۱- نگاره مرحله‌های اجرای تحقیق

Fig. 1- Flowchart of research implementation steps

تشکیل پایگاه داده

به‌منظور مدل‌سازی توزیع گونه‌های مورد مطالعه، تشکیل پایگاه داده به‌عنوان مهمترین مرحله در قالب دریافت لایه-های محیطی و جمع‌آوری نقاط حضور گونه‌ها به شرح زیر انجام شد:

نشان دادن تغییرات زمانی و مکانی دما و بارندگی برای یافتن نیچ‌های اکولوژیکی، فصل‌های رشد، مهاجرت گونه‌ها و توزیع کوچک مقیاس گونه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. Karger و همکاران، برای غلبه بر مشکل توزیع ناهمگون زمانی و مکانی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی از الگوریتم آماری خروجی یک مدل استفاده کردند که نتایج حاصل از آن داده‌های اقلیم‌شناسی بهبود یافته برای بارندگی و دما در بزرگنمایی مکانی بالا جهت مطالعات محیط زیستی و اکولوژیکی هستند و در زمینه‌های مختلف علمی، کاربردهای ارزشمندی دارند (Karger *et al*., 2017). از این داده‌ها امروزه با عنوان متغیرهای زیست-اقلیمی در بسیاری از مرحله‌های مدل‌سازی توزیع گونه‌ها استفاده می‌شود. در این مطالعه با استفاده از دانش اکولوژیکی و مرور منابع، متغیرهای زیست-اقلیمی و همچنین معیارهای توپوگرافی (شیب و ارتفاع) و سنجه پوشش گیاهی (NDVI[۷]) برای مدل‌سازی توزیع گونه‌های مورد مطالعه در قالب ۲۲ متغیر تعیین گردیدند (جدول ۱).

متغیرهای زیست اقلیمی عامل اصلی توزیع گونه در مقیاس کلان هستند (Feilhauer *et al*., 2012). همچنین شیب بر میزان تابش خورشیدی دریافت شده توسط پوشش گیاهی، رطوبت خاک و متغیرهای میکروکلیمایی تأثیر می‌گذارد و در نهایت بر فراوانی و توزیع پرندگان مؤثر است (Girma *et al*., 2017). از طرفی هرچقدر ارتفاع بیشتر می‌شود محیط نیز تغییر می‌کند و گونه‌های گیاهی و جانوری متفاوتی قابل مشاهده هستند (Nayeri & Dorudi, 2016). نقشه پوشش گیاهی نیز بر پایه تئوری نیچ اکولوژیکی برای درک قوانین اجتماعات گونه‌ای در مقیاس‌های مکانی متفاوت مفید است (Feilhauer *et al*., 2012).

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده در تحقیق

Table 1. Variables used in this research

معیار Factor	منبع تهیه Source	معیار Factor	منبع تهیه Source	معیار Factor	منبع تهیه Source
میانگین دمای سالیانه (BIO1) Annual Mean Temperature	http://chelsa-climate.org	میانگین دمای خشک‌ترین فصل(BIO9) Mean Temperature of Driest Quarter	http://chelsa-climate.org	بارندگی خشک‌ترین فصل (BIO17) Precipitation of Driest Quarter	http://chelsa-climate.org
میانگین دامنه روزانه (BIO2) Mean Diurnal Range	http://chelsa-climate.org	میانگین دمای گرمترین فصل(BIO10) Mean Temperature of Warmest Quarter	http://chelsa-climate.org	بارندگی گرمترین فصل (BIO18) Precipitation of Warmest Quarter	http://chelsa-climate.org
هم‌دمایی (BIO3) Isothermality	http://chelsa-climate.org	میانگین دمای سردترین فصل (BIO11) Mean Temperature of Coldest Quarter	http://chelsa-climate.org	بارندگی سردترین فصل (BIO19) Precipitation of Coldest Quarter	http://chelsa-climate.org
دمای فصلی (BIO4) Temperature Seasonality	http://chelsa-climate.org	بارندگی سالیانه (BIO12) Annual Precipitation	http://chelsa-climate.org	ارتفاع (DEM) Digital Elevation Model	www.earthenv.org

ادامه جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده در تحقیق

Table 1 (Cont.). Variables used in this research

معیار Factor	منبع تهیه Source	معیار Factor	منبع تهیه Source	معیار Factor	منبع تهیه Source
حداکثر دمای گرمترین ماه (BIO5) Max Temperature of Warmest Month	http://chelsa-climate.org	بارندگی مرطوب‌ترین ماه (BIO13) Precipitation of Wettest Month	http://chelsa-climate.org	شیب Slope	مستخرج از DEM
حداقل دمای سردترین ماه (BIO6) Min Temperature of Coldest Month	http://chelsa-climate.org	بارندگی خشک‌ترین ماه (BIO14) Precipitation of Driest Month	http://chelsa-climate.org	پوشش گیاهی (NDVI) Normalized difference vegetation index	www.earthdata.nasa.gov
دامنه دمای سالیانه (BIO7) Temperature Annual Range	http://chelsa-climate.org	بارندگی فصلی (BIO15) Precipitation Seasonality	http://chelsa-climate.org		
میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل (BIO8) Mean Temperature of Wettest Quarter	http://chelsa-climate.org	بارندگی مرطوب‌ترین فصل (BIO16) Precipitation of Wettest Quarter	http://chelsa-climate.org		

محل حضور گونه‌ها به‌عنوان داده تعلیمی برای پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجایی که گونه‌های مورد مطالعه گونه‌هایی مهاجر بوده و به‌صورت دائمی در فلات ایران مقیم نیستند، نقاط حضور مورد نیاز در سه ماه زادآوری فصل بهار از سایت GBIF[۸] دریافت شده و مورد استفاده قرار گرفت. این نقاط پس از تطبیق دادن با محل حضور گونه‌ها در پایگاه داده‌های eBird وارد مدل شد. علاوه بر صحت سنجی نقاط با پایگاه eBird، اطلاعاتی در رابطه با نقاط حضور گونه‌ها از متخصصین این زمینه جمع‌آوری گردید بطوریکه برخی از نقاط که دارای عدم قطعیت بودند، از داده‌ها حذف شدند. در نهایت برای گونه زردپره سرسیاه تعداد ۱۰۰ نقطه و برای گونه زردپره سرخ ۳۰ نقطه حضور مورد استفاده قرار گرفت.

همبستگی لایه‌ها

تحلیل مدل‌های توزیع گونه نیاز به متغیرهایی دارد که غیروابسته هستند. تصمیم در رابطه با نگه داشتن دو متغیر همبسته و یا حذف یکی از آن‌ها به محقق مربوطه و میزان دانش اکولوژی او از گونه تحت مطالعه مربوط خواهد بود (Madadi *et al.*, 2018). بدین منظور در تحقیق حاضر، ابتدا خودهمبستگی لایه‌ها محاسبه و لایه‌های نهایی انتخاب شدند. بدین ترتیب که در گام نخست، ۱۰۰ نقطه تصادفی به‌طور مجزا در محدوده پراکنش هر یک از گونه‌ها با استفاده از کدهای مربوطه در نرم‌افزار R ایجاد شد و سپس تحلیل همبستگی در نرم‌افزار SPSS انجام شده و در آزمون سنجش نرمالیتی، لایه‌هایی که میزان ضریب همبستگی آن‌ها بالاتر از ۰/۷ بوده، حذف گردیدند (De Marco & Nóbrega, 2018).

مدل‌سازی توزیع گونه و ارزیابی صحت مدل‌ها

برای مدل‌سازی توزیع گونه در تحقیق حاضر، از ۸ مدل شامل مدل خطی تعمیم یافته (GLM[۹])، مدل تجمعی تعمیم یافته (GAM)، درخت رگرسیون تقویت شده (BRT[۱۰])، جنگل تصادفی (RF[۱۱])، درخت رگرسیون و طبقه بندی (CART[۱۲])، ماشین بردار پشتیبانی (SVM[۱۳])، بیشینه آنتروپی (MaxEnt[۱۴]) و رگرسیون تطبیقی چندمتغیره اسپلاین (MARS[۱۵]) در نرم‌افزار R با استفاده از بسته آماری *sdm* استفاده شد (Naimi & Araújo, 2016). عملکرد مدل‌های توزیع گونه با

معیارهای کمی قابل سنجش است (Liu *et al*., 2011). دو نمونه از مهمترین این معیارها AUC و TSS هستند. از آماره AUC/ROC در دامنه ۱-۰ براساس محاسبه درصدمثبت کاذب[16] و درصد مثبت صحیح[17] به‌منظور مقایسه یک تصویر پیوسته مطلوبیت با یک تصویر بولین استفاده می‌شود (رابطه ۱) که ارزش ۱ نشان‌دهنده توافق مکانی کامل و ارزش ۰/۵ نشان‌دهنده توافق تصادفی است (Eastman, 2012; Pontius & Schneider., 2001).

$$AreaUnderCurve = \sum_{i=1}^{n}[X_{i+1} - X_i] \times [y_i + (y_{i+1} - y_i)/2] \quad (۱)$$

همچنین برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از سنجه مهارت واقعی[18] استفاده شد. آماره مهارت واقعی یک جایگزین برای AUC است که مستقل از درجه شیوع بوده و براساس حساسیت[19] و ویژگی[20] محاسبه می‌شود و به‌عنوان یک اندازه‌گیری ساده و قابل فهم برای صحت SDMها به‌شمار می‌رود. این سنجه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۲) (Shabani *et al*., 2018):

$$TSS = Sensitivity + Specificity - ۱ \quad (۲)$$

پیشینه و پیش‌بینی توزیع گونه‌ها و تغییرات زیستگاه

مدل گردش جوی مورد استفاده برای بررسی تغییرات دامنه حضور گونه از بین مدل‌های مشترک CCSM برای برهه آخرین دوره یخبندان[21] (۲۲۰۰۰ سال قبل) انتخاب شد. به‌منظور پیش‌بینی توزیع گونه‌های مورد مطالعه در شرایط اقلیمی فعلی و سال ۲۰۵۰ و بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر آن، از مدل CCSM تحت سناریوی RCP ۴/۵ استفاده شد. بدین منظور متغیرهای زیست اقلیمی از پایگاه CHELSA دریافت شده و برای مدل‌سازی مورد استفاده واقع شد.

به‌منظور تعیین تغییرات مطلوبیت زیستگاه طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه از تکنیک درصد تغییر[22] برای تعیین میزان تغییرات استفاده شد (رابطه ۳). از این رابطه به‌منظور برآورد تغییرات بین دو تصویر که تنها می‌توانند مربوط به دو دوره زمانی باشند، استفاده می‌شود (Maviza & Ahmed, 2020).

نتایج و بحث

نتایج همبستگی لایه‌ها

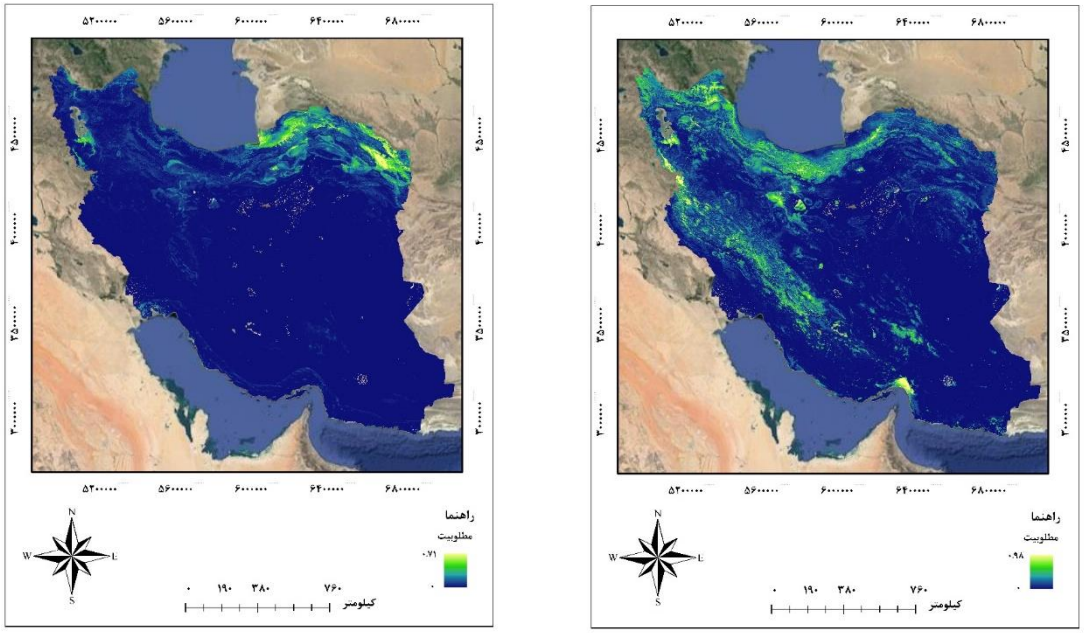
نتایج حاصل از همبستگی مدل‌ها برای هرکدام از گونه-ها به‌صورت زیر مشخص شد. بدین معنی که لایه‌های مشخص شده در جدول (۲) به‌عنوان متغیرهای غیرهمبسته در مرحله‌های مختلف مدل‌سازی لحاظ شدند. همبستگی به‌منظور کاهش حجم داده‌های زیست اقلیمی و افزایش دقت خروجی‌های مدل انجام شد.

جدول ۲- متغیرهای زیست اقلیمی غیرهمبسته برای ورود به مرحله مدل‌سازی
Table 2. Non-correlated bioclimatic variables to enter the modeling stage

گونه Species	متغیرهای زیست اقلیمی																			
	Bio19	Bio18	Bio17	Bio16	Bio15	Bio14	Bio13	Bio12	Bio11	Bio10	Bio9	Bio8	Bio7	Bio6	Bio5	Bio4	Bio3	Bio2	Bio1
زردپره سرسرخ *Embriza bruniceps*		✓						✓			✓				✓		✓	✓	✓
زردپره سرسیاه *Embriza melanocephala*	✓									✓	✓	✓		✓			✓		

مدل‌سازی توزیع گونه

بر مبنای نتایج حاصل از ارزیابی صحت مدل‌های توزیع گونه‌های مورد مطالعه با استفاده از داده‌های حال حاضر (جدول ۳ و جدول ۴)، بهترین مدل، جنگل تصادفی برآورد شد. نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه برای دو گونه مورد مطالعه با داده‌های حال حاضر با استفاده از مدل بالا به‌صورت زیر به‌دست آمد (شکل ۲).



(a) (الف) (b) (ب)

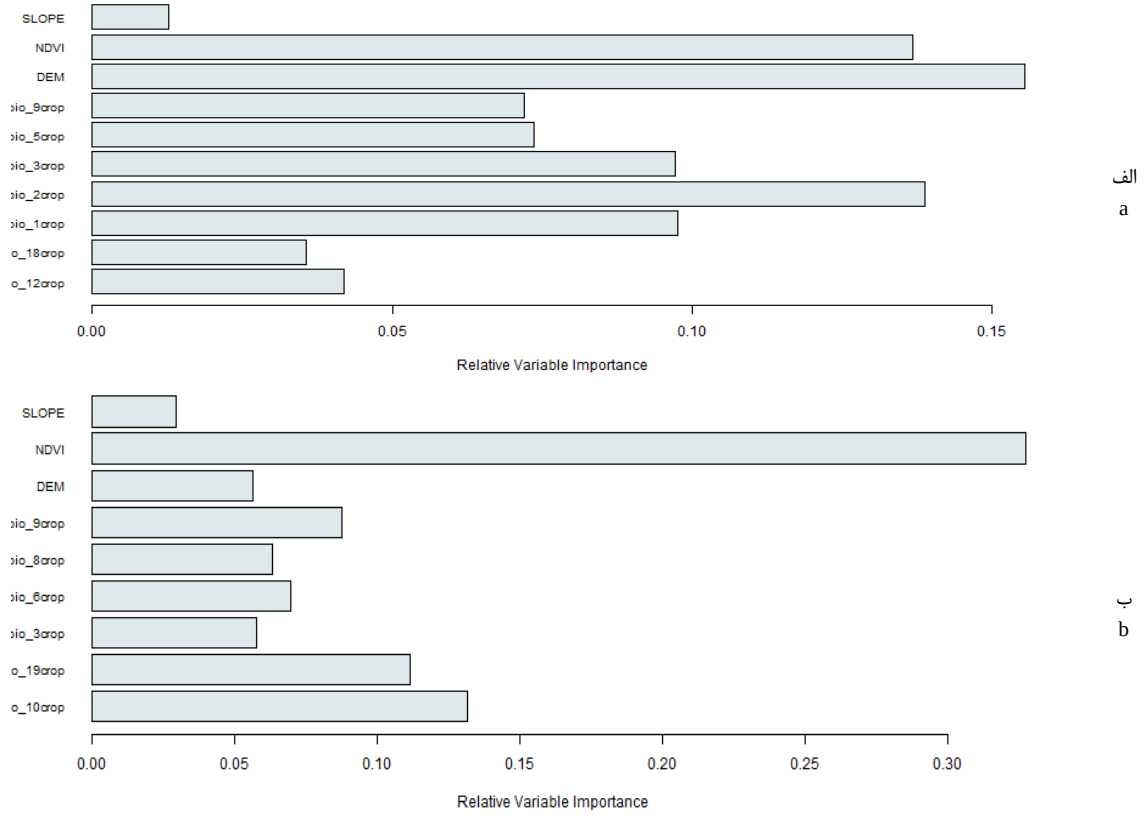
شکل ۲- نقشه منطقه‌های دارای پتانسیل توزیع برای گونه‌های زردپره سرسیاه (الف) و زردپره سرسرخ (ب)

Fig. 2- Map of areas with distribution potential for the *Embriza melanocephala* (a) and *Embriza bruniceps* (b) species

شکل (۲-الف) نشان می‌دهد که مطلوبیت زیستگاه گونه زردپره سرسیاه غیر از محدوده پراکنش گونه در جنوب، غرب، شمال غرب و شمال ایران به سمت شمال شرق نیز کشیده شده است. در نقشه‌های قدیمی‌تر، پراکنش زردپره سرسیاه به غیر از موارد کاملا اتفاقی، به هیچ عنوان از منطقه ابر در دره بسطام و دره مجن به سمت شرق پیشروی نکرده است (Haffer, 1977). در حال حاضر، شرقی‌ترین منطقه پراکنش زردپره سرسیاه در شمال ایران در جنوب رشته کوه البرز در انتهای دره بسطام است. از طرفی شرایط زیستگاهی برای زردپره سرسرخ در شمال شرق ایران تا جنوب شرق دریای خزر مناسب می‌باشد. مناسب بودن شرایط برای این گونه تا شمال غرب ایران نیز ادامه دارد هر چند در این منطقه‌ها شرایط برای گونه خیلی مناسب نیست. احتمالا توسعه کشت آبی که در طول سالیان متمادی موجب افزایش وسعت مزارع گندم در بخش‌های جنوبی رشته کوه البرز شده است سبب شده تا زردپره سرسیاه و زردپره سرسرخ در جنوب شرق دریای خزر دارای روراندگی پراکنشی شوند. شبیه این مورد در شمال رشته کوه البرز هم دیده می‌شود که احتمالا به‌دلیل جنگل‌زدایی می‌باشد. نتایج حاصل از همبستگی لایه‌ها نشان داد که دو گونه از نظر نیازهای زیستگاهی با یکدیگر متفاوت هستند. همانطورکه تحقیق‌های Gholamhosseini (2017) نشان داده است پردازه اکولوژیک دو گونه زردپره سرسرخ و زردپره سرسیاه از نظر فاکتورهای دما و بارندگی، تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهند (Gholamhosseini *et al*., 2017). براساس نتایج حاصل از نقشه‌های مطلوبیت و همچنین نقاط پراکنش این دو گونه می‌توان گفت که با توجه به دستکاری سیمای سرزمین، تفاوت در فاکتورهای اقلیمی موجب محدودیت در دورگه‌زایی آن‌ها نشده و دو گونه در محدوده شمال

ایران پتانسیل پراکنش دارند که نتایج حاصل از مطالعات غلامحسینی نیز تأییدی بر این موضوع است (Gholamhosseini *et al*., 2017).

اهمیت نسبی هر متغیر در مدل‌سازی در مورد دو گونه در شکل (۳) نشان داده شده است. طول روز و تغییرات درجه حرارت (دما) از فاکتورهای مهم تأثیرگذار در مهاجرت گنجشک‌سانان و همچنین گونه‌های مختلف زردپره به‌شمار می‌روند که براساس نتایج شکل (۳-الف) اهمیت زیاد متغیر میانگین دامنه دمای روزانه (BIO۲) در محدوده پراکنش گونه زردپرده سرسرخ مشهود است. با توجه به مجموعه فعالیت‌های انسانی که سطح وسیعی از زیستگاه‌های طبیعی را به زیر کشت برده است به نظر می‌رسد این دو گونه یعنی زردپره سرسرخ و زردپره سرسیاه در استان‌های گلستان و سمنان دارای همپوشانی نیچ اکولوژیکی به مراتب فراتر از گذشته نه‌چندان دور خود شده‌اند (Haffer, 1977).



شکل ۳- اهمیت متغیرها در مدل جنگل تصادفی برای گونه زردپره سرسرخ (الف) و گونه زردپره سرسیاه (ب)

Fig. 3- Importance of variables in the Random Forest model for the *Embriza bruniceps* species (a) and *Embriza melanocephala* species (b)

متغیر سنجه پوشش گیاهی که در شکل (۳) نشان داده شده است، برای گونه زردپره سرسیاه به مقدار زیاد و برای گونه زردپره سرسرخ به مقدار به‌نسبت زیاد دارای اهمیت است. حضور این دو گونه در فصل جوجه‌آوری درون کشتزارها یا حواشی آن و تمایل به مزرعه‌های سبز که سفره غذایی آنان محسوب می‌شوند، دلیل اهمیت این متغیر در پراکنش آن‌ها را نشان می‌دهد. از آنجایی‌که پوشش سبز در سمت غرب کشور (نسبت به شرق) بیشتر به چشم می‌خورد اهمیت متغیر سنجه پوشش گیاهی برای گونه زردپره سرسیاه در خروجی‌های مدل، مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد.

وجود و اهمیت متغیرهایی چون بارندگی در گرمترین فصل سال، حداکثر دما در گرمترین ماه و میانگین دما در گرمترین فصل سال در نتایج حاصل از مدل‌سازی پراکنش

گونه‌های زردپره را می‌توان به فنولوژی این گونه‌ها نیز ربط داد (Engler *et al*., 2014) چرا که این گونه‌ها بیشتر از اواسط فروردین تا شهریور در غرب پالئارکتیک از جمله در ایران تابستان‌گذرانی می‌کنند. به‌طوریکه Brambilla (2015) برای مدل‌سازی آشیان اکولوژیکی گونه زردپره سرسیاه به متغیرهای مربوط به دوره‌های گرما توجه ویژه‌ای نمود و مدل‌سازی را با استفاده از این متغیرها انجام داد.

نتایج ارزیابی صحت مدل‌های توزیع گونه

عملکرد مدل‌های توزیع گونه با معیارهای کمی قابل سنجش است (Liu *et al*., 2011). دو نمونه از مهمترین این معیارها AUC و TSS هستند. نتایج ارزیابی صحت حاصل از مدل‌سازی توزیع گونه‌ها براساس سنجه AUC با استفاده از بسته آماری *sdm* برای ۸ مدل GLM، GAM، BRT، RF، CART، SVM، MaxEnt و MARS به شرح زیر می‌باشد (جدول ۳).

همچنین نتایج ارزیابی صحت مدل‌ها براساس سنجه TSS به‌صورت زیر حاصل شد (جدول ۴):

جدول۳- ارزیابی صحت مدل‌ها براساس سنجه AUC

Table 3. Accuracy assessment of the models based on AUC index

GLM	GAM	BRT	RF	CART	SVM	MaxEnt	MARS	مدل Model / گونه Species
0.92	0.96	0.90	1.00	0.92	0.97	0.96	0.96	زردپره سرسرخ *Embriza bruniceps*
0.83	0.93	0.84	1.00	0.83	0.92	0.9	0.89	زردپره سرسیاه *Embriza melanocephala*

جدول۴- ارزیابی صحت مدل‌ها براساس سنجه TSS

Table 4. Accuracy assessment of the models based on TSS index

GLM	GAM	BRT	RF	CART	SVM	MaxEnt	MARS	مدل Model / گونه Species
0.78	0.87	0.64	1.00	0.74	0.86	0.84	0.86	زردپره سرسرخ *Embriza bruniceps*
0.51	0.72	0.54	1.00	0.61	0.75	0.63	0.66	زردپره سرسیاه *Embriza melanocephala*

براساس جدول‌های (۳) و (۴) بهترین مدل، مدل جنگل تصادفی برآورد شد. چرا که سنجه‌های ارزیابی، صحت اعتبار بالای این مدل را نسبت به سایر مدل‌ها ارزیابی کردند. به‌طوریکه مقایسه خروجی ۸ مدل با نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه موجود در پایگاه‌های eBird و Map of Lifeنیز نتایج مبنی بر صحت بالای مدل جنگل تصادفی را تأیید کرد. براساس نتایج در بین ۸ مدل، MaxEnt رتبه چهارم را از نظر ارزیابی صحت در بین سایر مدل‌ها داراست و اختلاف معنی‌داری با RF دارد در حالیکه به‌عنوان رایج‌ترین روش مطلوبیت زیستگاه در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین رگرسیون بین انحراف معیار TSS و AUC ($y= 0.553x – 0.026$، $R^2 = 1$) همبستگی بالایی را نشان داد. سطح انحراف معیار برای AUC به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از TSS قرار گرفت به‌طوریکه می‌توان استنباط کرد این سنجه از همگنی بیشتر نسبت به TSS برخوردار است. همچنین، رگرسیون خطی بین این دو سنجه، یک مدل قابل تخمین با ضریب تبیین یک (۱) را ارائه داد.

سنجه AUC اطلاعاتی در مورد محصور بودن یا کلی بودن توزیع گونه در محدوده مورد مطالعه به ما می‌دهد (Lobo *et al.*, 2008) به‌طوریکه بررسی سنجه‌های ارزیابی صحت برای هر ۸ مدل نشان داد برای زردپره سرسرخ که به لحاظ پراکنش محدودتر است و همچنین از نظر سنجه-های زیستی دارای محدودیت توزیع می‌باشد، این سنجه ارزش عددی بیشتری دارد.

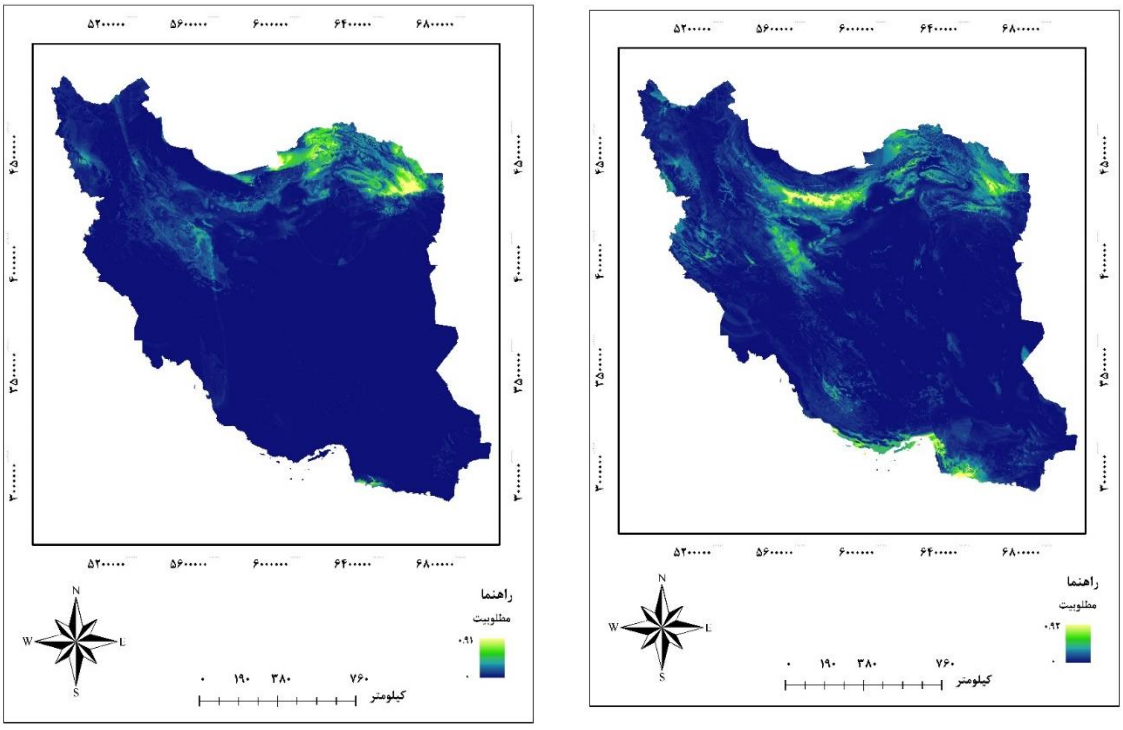
در زیستگاه‌های مربوط به گونه‌های بومزاد با پراکنش مشخص و قابل پیش‌بینی، از آنجاییکه حوضه جغرافیای زیستی گونه در گستره‌های حضور در برگیرنده منطقه‌های محدودتر با تشابه زیستگاهی بالا می‌شود و همچنین در مقیاس‌های کوچک همگنی لایه‌های اطلاعاتی از یکنواختی بیشتری برخوردار است، بنابراین مقادیر AUC به سمت حداکثر میل می‌کند (Lobo *et al.*, 2008). این بدین معنی است که عملکرد مدل از حالت تصادفی فاصله گرفته و به سمت مطلوب پیش می‌رود. از این رو می‌توان گفت بالا بودن مقدار AUC برای گونه‌های بومزاد یا گونه-های مهاجری که محدوده پراکنش کوچکتری دارند قابل انتظار می‌باشد. این مورد به‌طور دقیق برای گونه زردپره سرسرخ صدق می‌کند.

براساس مطالعات مرتبط با این موضوع (Allouche *et al.*, 2006)، همبستگی معناداری بین نتایج TSS و AUC وجود دارد که این همبستگی در نتایج تحقیق حاضر مشهود است.

نتایج پیشینه‌پردازی و پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه

آخرین دوره یخبندان

نتایج حاصل از مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه برای آخرین دوره یخبندان تحت مدل چرخش جوی CCSM به‌صورت زیر حاصل شد (شکل ۴).



(الف) (a)

(ب) (b)

شکل ۴- نقشه مطلوبیت زیستگاه برای گونه زردپره سرسیاه (الف) و گونه زردپره سرسرخ (ب) در آخرین دوره یخبندان

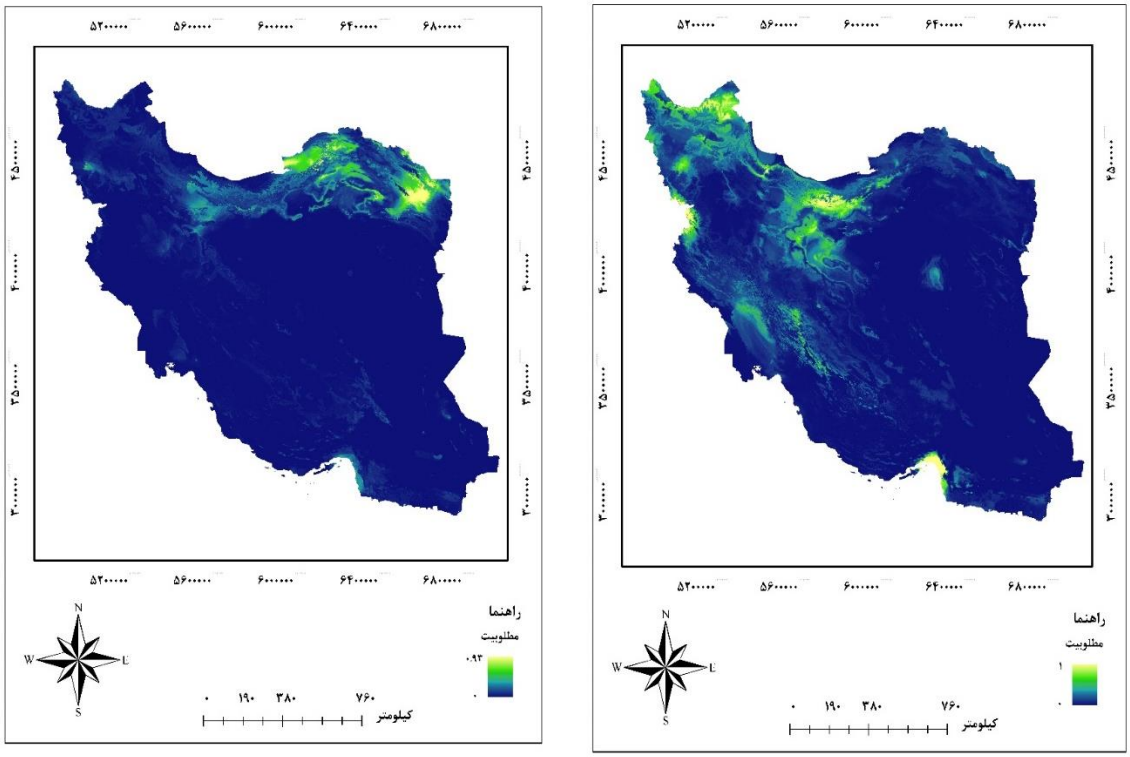
Fig. 4- Habitat suitability map for *Embriza melanocephala* (a) and *Embriza bruniceps* (b) in the last glacial period

مطابق شکل (۴-الف) مطلوبیت اقلیمی زیستگاه‌ها در گذشته در نواحی مرکزی البرز به‌عنوان ناحیه دورگه‌زایی گونه‌های زردپره سرسیاه و زردپره سرسرخ برای زردپره سرسیاه به مراتب بیشتر از مطلوبیت زمان حال است. در

مقایسه مطلوبیت زیستگاه‌های غرب کشور در گذشته برای زردپره سرسیاه کمتر بوده و در حال حاضر این مطلوبیت افزایش یافته است. براساس مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است، افزون بر عامل‌های اقلیمی، عامل‌های درونی نیز در جابجایی پراکنش این دو گونه و ناحیه دورگه‌زایی به سمت غرب دخالت داشته‌اند (Gholamhosseini *et al*., 2017). تا اواسط دهه ۸۰ میلادی تصور عمومی بر ثبات منطقه‌های دورگه‌زایی بوده است (Barton & Hewitt, 1985). اما مطالعات قرن جدید دلالت بر شواهد بسیاری دارد که گویای جابجایی و تغییر این مناطق به‌مرور زمان می‌باشد (Taylor *at al*., 2014). از طرفی احتمال می‌رود برهم کنش‌های رقابتی بین دو گونه والد نسبت به عامل‌های اقلیمی، نقش زیادی در جابجایی گستره توزیع و حرکت ناحیه دورگه‌زایی (به سمت غرب) داشته باشد (Gholamhosseini *et al*., 2015).

نتایج پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها در آینده

پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه در سال ۲۰۵۰ با توجه به تغییرات اقلیمی بنابر سناریو RCP ۴/۵، برای هرکدام از گونه‌های مورد مطالعه به شکل زیر به‌دست آمد (شکل ۵).



(a) (الف)

(b) (ب)

شکل ۵- نقشه مطلوبیت زیستگاه برای گونه زردپره سرسیاه (الف) و گونه زردپره سرسرخ (ب) در سال ۲۰۵۰

Fig. 5- Habitat suitability map for *Embriza melanocephala* (a) and *Embriza bruniceps* (b) in 2050

آنچه از نتایج (شکل ۵) استنباط می‌شود، مساحت زیستگاه‌های مطلوب گونه‌های مورد مطالعه تا سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. بنابر نتایج انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ مطلوبیت زیستگاه برای گونه زردپره سرسرخ در سال ۲۰۵۰ در مرکز خراسان رضوی و گلستان بیشتر شده و لکه‌های مطلوبیت در آذربایجان غربی و سمنان حذف می‌شوند (شکل ۵-الف). برای گونه زردپره سرسیاه، مطلوبیت در بخش‌هایی از شمال غرب بیشتر شده و لکه‌هایی در مرکز فلات ایران به‌عنوان زیستگاه دارای مطلوبیت برآورد شده است. همچنین در قسمت‌هایی از غرب (کرمانشاه) مطلوبیت زیستگاه کاهش نشان می‌دهد (شکل ۵-الف). با توجه به نتایج، پیش‌بینی می‌شود برای گونه‌ای که به‌طور عمده در نیمه شرقی کشور

پراکنش دارند (زردپره سرسرخ)، لکه‌هایی از مطلوبیت زیستگاه که در سایر منطقه‌ها به جز شرق وجود دارد، حذف می‌شوند و برای گونه مقیم غرب کشور (زردپره سرسیاه) مطلوبیت در شمال غرب ایران بیشتر متمرکز خواهد شد. مطالعات نشان می‌دهد که بیشترین افزایش دما طی دهه-های آینده در پهنه کوهستان‌های شمال و شمال غربی ایران و همچنین در نوار ساحلی جنوب خزر رخ می‌دهد در حالیکه پهنه مرکزی و نیمه شمال شرقی ممکن است به‌دلیل وجود ارتفاع کمتر و قرار گرفتن در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر، افزایش دمای کمتری را تجربه کنند (Abbasnia *et al.*, 2017). بر این اساس به‌طور کلی اگرچه سطح بالایی از تغییرات مکانی در گونه‌ها به تغییرات فیلوژنتیکی برمی‌گردد (Usui *et al.*, 2017) اما مطابق با مطالعه Pearce-Higgins *et al.* (2015) می‌توان گفت روند تغییرات جمعیت در پرندگان طی طولانی مدت به‌طور معنی‌داری با دما در ارتباط بوده و تغییرات اقلیمی سبب تغییرات گسترده‌ای در جوامع اکولوژیکی شده است.

نتایج برآورد تغییرات زیستگاه و تغییر اقلیم

برای تعیین تغییرات مطلوبیت زیستگاه طی دوره‌های زمانی مورد مطالعه از تکنیک درصد تصویر استفاده شد. بدین صورت که تصویر مطلوبیت حال حاضر با نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه در دو دوره زمانی آخرین یخبندان و سال ۲۰۵۰ از طریق رابطه (۳) مقایسه و نتایج در جدول (۵) ارائه گردیده است.

جدول ۵- درصد تغییرات زیستگاه در دوره‌های زمانی مورد مطالعه
Table 5. Percentage of habitat changes in the studied time periods

دوره‌های زمانی Periods		
آخرین دوره یخبندان – حال The Last Glacial Maximum - Now	حال-۲۰۵۰ Now -2050	
درصد تغییرات Percentage of changes	درصد تغییرات Percentage of changes	گونه مورد مطالعه Studied species
-34.62	-22.07	زردپره سرسرخ *Embriza bruniceps*
-28.58	-17.60	زردپره سرسیاه *Embriza melanocephala*

بنابر جدول ۵، تغییرات در هردو برهه زمانی در جهت کاهش مطلوبیت زیستگاه بوده است. خروجی‌های مکانی حاصل از تکنیک درصد تصویر نشان داد که به‌طور عمده کاهش مطلوبیت‌های بیش از ۳۰ درصد، در شمال شرق و پس از آن در غرب فلات ایران متمرکز است. تغییرات آب و هوایی به تنهایی می‌تواند زیستگاه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (pyke, 2004). از این رو برای جبران دمای گرمتر، دامنه گستره پرندگان ممکن است به سمت ارتفاعات بالاتر حرکت کند به همین دلیل زیستگاه‌هایی که قابل سکونت نیست ممکن است رو به زوال روند (Nayeri & Droudi, 2016). در نتیجه در زیستگاه‌هایی با درصد نابودی بیش از ۳۰درصد، احتمال وقوع پدیده تغییر اقلیم قوت خواهد گرفت. از پیامدهای نهفته تغییر اقلیم بر طبیعت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Gholi pour and Salman mahini, 2012):

۱- تهدیدهای حیات وحش و جوامع زیستی
۲- انقراض گونه‌های نادر
۳- اثرها بر پرندگان مهاجر
۴- تغییر پوشش زمین‌ها بویژه زمین‌های جنگلی

نتیجه‌گیری

پرندگان با بیش از ده هزار گونه در سراسر جهان پس از ماهی‌ها بیشترین تنوع را در میان مهره‌داران دارا هستند.

بنابر آخرین چک لیست (Khaleghizade *et al*., 2017)، فلات ایران به‌طور تقریبی دارای بیش از ۵۵۰ گونه پرنده است. لازم است حفاظت از این گونه‌ها به‌دلیل دخالت‌های بی شمار انسان در زیستگاه‌های طبیعی به یک اولویت مهم تبدیل شود. امروزه، در برنامه‌ریزی‌های حفاظت، شناخت عامل‌های تأثیرگذار بر تعیین مطلوبیت زیستگاه-های حیات وحش ضروری است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد آنچه امروزه در محدوده شمال کشور به‌عنوان ناحیه دورگه‌زایی گونه‌های زردپره سرسیاه و زرده پره سرسرخ اطلاق می‌شود، در گذشته بدین صورت وجود نداشته است و چه‌بسا عامل‌های درونی منجر به این جاجایی‌ها شده‌اند. با وجود تفاوت نیچ اکولوژیکی دو گونه، مطابق نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه هردو گونه در بخش‌هایی از شمال کشور قابلیت و پتانسیل پراکنش را دارند که با نقاط حضور واقعی گونه‌ها در تطابق است. همچنین آنچه از نتایج به-دست آمد، اثر نامطلوب تغییرات اقلیمی بر کیفیت زیستگاه این دو گونه تا سال ۲۰۵۰ را تأیید کرد. با توجه به روند کاهشی مطلوبیت زیستگاه از گذشته تا کنون و حال حاضر تا آینده، می‌توان بیان داشت که تغییرات همواره در جهت کاهش مطلوبیت زیستگاه بوده است. برخلاف آنکه نگرانی خاصی در مورد گونه‌های مورد مطالعه وجود ندارد، پیش‌بینی کاهش مطلوبیت زیستگاه در آینده و ادامه روند از بین رفتن آن، پایش مستمر نواحی متمرکز پراکنش و اجرای تمهیدهای پیشگیری از تخریب این زیستگاه‌ها را می‌طلبد. همینطور منطقه‌های مستعد برای دورگه‌زایی گونه‌های خواهری که از استعداد ذاتی برای دورگه‌زایی برخوردارند، باید بیشتر مورد توجه و دقت قرار گیرند و تغییرات آن‌ها تحت تأثیر شرایط اقلیمی آینده با حساسیت بیشتری مورد نظارت پیوسته قرار گیرد. با توجه به اینکه تعمیم نتایج حاصل از مدل‌های توزیع گونه به واقعیت، نیازمند خطای هرچه کمتر این مدل-هاست، در این مطالعه ۸ مدل در قالب بسته آماری *sdm* اجرا و نتایج ارزیابی صحت بر مبنای دو آماره AUC و TSS، به خوبی بهترین مدل را مشخص نمود. به‌طور کلی معرفی مدل جنگل تصادفی به‌عنوان بهترین مدل توزیع گونه برای گونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق، می‌تواند تأکید و تکرار کاربرد مدل‌های خاص مانند MaxEnt در این زمینه را با چالش مواجه کند و توجه به سایر مدل‌ها مد نظر قرار گیرد. برخی مطالعاتی که در حیطه مدل-سازی توزیع گونه انجام شده است (Haidarian Aghakhani *et al*., 2017; Ahmadi *et al*., 2019; Naghipour Borj *et al*., 2019; Karami & Shayesteh, 2020) نیز مدل جنگل تصادفی را به‌عنوان معتبرترین مدل در این زمینه معرفی کرده‌اند که گواهی بر درستی نتایج مطالعه حاضر می‌باشد.

با مشخص شدن اهمیت متغیرهای اقلیمی بر پراکنش زردپره سرسرخ و سرسیاه مشخص شد با وجود تفاوت نیچ اکولوژیک، این دو گونه در شمال ایران دارای ناحیه دورگه‌زایی بوده و تغییر اقلیم آینده و کاهش مطلوبیت زیستگاه‌ها ممکن است دینامیک حرکتی ناحیه دورگه‌زایی را تحت تأثیر قرار دهد. در مجموع پیشنهاد می‌شود شرایط گونه‌های بومزاد و گونه‌های حمایتی در سایر آرایه-های مختلف نیز مورد مطالعه دقیق قرار گیرد تا اثرهای ناشی از انواع سناریوهای اقلیمی در آینده روی کیفیت زیستگاه گونه‌ها و نیازهای حفاظتی آن‌ها تبیین شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] Species Distribution Models
[2] Sister Taxa
[3] Node
[4] Red-Headed Bunting
[5] Black-Headed Bunting
[6] Least Concern
[7] Normalized difference vegetation index
[8] **Global Biodiversity Information Facility**
[9] Generalized Linear Model
[10] Boosted Regression Tree
[11] Random Forest
[12] Classification And Regression Tree
[13] Support Vector Machine
[14] Maximum Entropy
[15] Multivariate adaptive Regression Spline
[16] False positive
[17] True positive

[18] True Skill Statistic
[19] Sensitivity
[20] Specificity
[21] Last Glacial Maximum
[22] Percentage Change

منابع

Abbasnia, M., Tavousi, T. and Khosravi, M., 2017. A comprehensive assessment of seasonal changes in future maximum temperature of Iran during the warm period based on GCM models. Geographical Planning of Space. 7(25). 121-134.

Ahmadi, K., Hosseini, S., Tabari, M. and Nouri, Z., 2019. Modeling the potential habitat of English yew (Taxus baccata L.) in the Hyrcanian forests of Iran. Journal of Forest Research and Development. 5(4), 513-525.

Allouche, O., Tsoar, A. and Kadmon, R., 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). Journal of Applied Ecology. 43(6), 1223-1232.

Alström, P., Olsson, U., Lei, F., Wang, H. T., Gao, W. and Sundberg, P., 2008. Phylogeny and classification of the Old World Emberizini (Aves, Passeriformes). Molecular phylogenetics and evolution, 47(3), 960-973.

Barton, N.H. and Hewitt, G.M., 1985. Analysis of hybrid zones. Annual review of Ecology and Systematics. 16(1), 113-148.

Chala, D., Roos, C., Svenning, J.C. and Zinner, D., 2019. Species-specific effects of climate change on the distribution of suitable baboon habitats–Ecological niche modeling of current and Last Glacial Maximum conditions. Journal of Human Evolution. 132, 215-226.

De Marco, P. and Nóbrega, C.C., 2018. Evaluating collinearity effects on species distribution models: An approach based on virtual species simulation. PLoS One. 13(9), e0202403.

Eastman, J.R, 2012. IDRISI Help System. Accessed in IDRISI 17.00. Worcester, MA, Clark University, Massachusetts.

Fathinia, B., Rödder, D., Rastegar-Pouyani, N., Rastegar-Pouyani, E., Hosseinzadeh, M.S. and Kazemi, S.M., 2020. The past, current and future habitat range of the Spider-tailed Viper, Pseudocerastes urarachnoides (Serpentes: Viperidae) in western Iran and eastern Iraq as revealed by habitat modelling. Zoology in the Middle East. 66(3), 197-205.

Feilhauer, H., He, K.S. and Rocchini, D., 2012. Modeling species distribution using niche-based proxies derived from composite bioclimatic variables and MODIS NDVI. Remote Sensing. 4(7), 2057-2075.

Fourcade, Y., Engler, J.O., Rödder, D. and Secondi, J., 2014. Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias. PLoS One. 9(5), e97122.

Gholamhosseini, A., Aliabadian, M., Darvish, J., Töpfer, T. and Sætre, G. P., 2017. An expanding hybrid zone between Black-headed and Red-headed Buntings in northern Iran. Ardea. 105(1), 27-37.

Gholamhosseini, A., Aliabadian, M. and Darvish, J., 2015. Study of sexual dimorphism and morphological variations of Red-headed bunting *(Emberiza bruniceps)* within its hybrid zone with Black-headed bunting *(Emberiza melanocephala)* in the Iranian Plateau. Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology). 28(1), 72-84

Gholi pour, M. and Salman Mahini, A., 2012. Investigating the effects of climate change on

biodiversity, ecosystems and impact mitigation strategies. In 2^{th} Conference on Environmental Planning and Management, 15^{th} 16^{th} May, , University Tehran, Iran. p 9.

Girma, Z., Mamo, Y., Mengesha, G., Verma, A. and Asfaw, T., 2017. Seasonal abundance and habitat use of bird species in and around Wondo Genet Forest, south-central Ethiopia. Ecology and Evolution. 7(10), 3397–3405.

Guevara, L., Morrone, J. J. and León-Paniagua, L., 2019. Spatial variability in species' potential distributions during the Last Glacial Maximum under different Global Circulation Models: Relevance in evolutionary biology. Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research. 57(1), 113-126.

Haffer, J., 1977. Secondary contact zones of birds in northern Iran. Bonner Zoologische Monographien 10, Bonn. Pp 64.

Haidarian Aghakhani, M., tamartash, R., Jafarian, Z., Tarkesh Esfahani, M. and Tatian, M., 2017. 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.

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W. and Kessler, M., 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. Scientific Data. 4, 122-170.

Khaleghizadeh, A., Roselaar, K., Scott, D.A., Tohidifar, M., Mlíkovský, J., Blair, M. and Kvartalnov, P., 2017. Birds of Iran: Annotated Checklist of the Species and Subspecies. Iranian Research Institute of Plant Protection.

Karami, P. and Shayesteh, K., 2020. Habitat Suitability Modeling of Wild Sheep (Ovis orientalis) in Markazi Province by using Tree-Based Models. Experimental animal Biology. 8(4), 109-121.

Liu, C., White, M. and Newell, G., 2011. Measuring and comparing the accuracy of species distribution models with presence–absence data. Ecography. 34, 232-243.

Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A. and Real, R., 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. Global ecology and Biogeography. 17(2), 145-151.

Madadi, M., Salman Mahini, A. and Varasteh Moradi, H., 2018. Habitat suitability modeling of wild goat (Capra aegagrus) using Ecological Niche Factor Analysis in Golestan National Park. Journal of Animal Environment. 10(2), 13-22.

Maviza, A. and Ahmed, F., 2020. Analysis of past and future multi-temporal land use and land cover changes in the semi-arid Upper-Mzingwane sub-catchment in the Matabeleland south province of Zimbabwe. International Journal of Remote Sensing. 41(14), 5206-5227.

Naghipour Borj, A., Haidarian Aghakhani, M. and Sangoony, H., 2019. Application of ensemble modelling method in predicting the effects of climate change on the distribution of Fritillaria imperialis L. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 32(3), 609-621.

Naimi, B. and Araújo, M.B., 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. Ecography. 39(4), 368-375.

Nayeri, D. and Droudi, H., 2016. The Importance and Role of Mountain Habitats for the Conservation of the Birds. Biosphere. 11(3), 23-29.

Pearce-Higgins, J.W., Eglington, S. M., Martay, B. and Chamberlain, D. E., 2015. Drivers of climate change impacts on bird communities. Journal of Animal Ecology. 84(4), 943-954.

Pontius Jr, R. G. and Schneider, L. C., 2001. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems and Environment. 85(1-3), 239-248.

Pyke, C. R., 2004. Habitat loss confounds climate change impacts. Frontiers in Ecology and the Environment. 2(4), 178-182.

Schwartz, M.W., Iverson, L.R., Prasad, A.M., Matthews, S.N. and O'Connor, R.J., 2006, Predicting extinction as a result of climate change. Ecology. 87, 1611-1615.

Shabani, F., Kumar, L. and Ahmadi, M., 2018. Assessing accuracy methods of species distribution models: AUC, Specificity, Sensitivity and the True Skill Statistic. GJHSS. 18(91), 6-18.

Somveille, M., Wikelski, M., Beyer, R.M., Rodrigues, A.S., Manica, A. and Jetz, W., 2020. Simulation-based reconstruction of global bird migration over the past 50,000 years. Nature Communications. 11(1), 1-9.

Taylor, S.A., White, T.A., Hochachka, W.M., Ferretti, V., Curry, R. L. and Lovette, I., 2014. Climate-mediated movement of an avian hybrid zone. Current Biology. 24(6), 671-676.

Usui, T., Butchart, S.H. and Phillimore, A.B., 2017. Temporal shifts and temperature sensitivity of avian spring migratory phenology: a phylogenetic meta-analysis. Journal of Animal Ecology. 86(2), 250-261.

Yousefi, M., ALIZADEH, S.A. and Azarnivand, H., 2020. Modeling present and past habitat suitability of Western Rock Nuthatch *(Sitta neumayer)* in Iran. Journal of Natural Environment. 72(4), 543-554.

Yousefkhani, S.S.H., Aliabadian, M., Rastegar-Pouyani, E. and Darvish, J., 2017. Predicting the impact of climate change on the distribution pattern of *Agamura persica* (Dumeril, 1856) (Squamata: Gekkonidae) in Iran. Belgian Journal of Zoology. 147(2), 215-226.

Environmental Sciences Vol.19 / No.4 / Winter 2022

269-286

Original Article

Distribution modeling of the hybrid sister taxa in red-headed bunting and black-headed bunting, Order Passeriformes

Shahrzad Rahmati[1], Mehdi Gholamalifard[1], Ali Gholamhosseini[2] and Seyed Mahmoud Ghasempouri[1*]

[1] Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University (TMU), Mazandaran, Iran
[2] Department of Biology, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 2021.02.11 Accepted: 2021.06.08

Rahmati, Sh., M. Gholamalifard, A. Gholamhosseini and S.M. Ghasempouri. 2022. Distribution modeling of the hybrid sister taxa in red-headed bunting and black-headed bunting, Order Passeriformes. Environmental Science. 19 (4): 269-286.

Introduction: The concept of species distribution models is the relationship between known locations of a species and the environmental characteristics of these places to estimate the response performance and contribution of environmental variables and predict the potential geographical distribution of the species. Species separation based on phylogenetic results can be supported by modeling with habitat data as input. In the present study, two sister taxa that have recently been separated based on molecular documentation have been examined in terms of habitat influencing factors that may have been involved in this separation, as well as in terms of past and future historical distribution.

Marterial and methods: In order to model the distribution of species, bio-climatic variables from CHESLA database with variables of DEM, slope, and vegetation index were examined as habitat data to input the model. Also, the presence points of the species were filtered after collection in the reproductive interval and added to the models as train data. In this study, *sdm* package including eight models (GLM, GAM, BRT, RF, CART, SVM, MaxEnt, and MARS) in the R environment was used for modeling. Modeling of species distribution was performed at the last glacial period, current, and 2050.

Results and discussion: The results showed the ecological niche separation of the species under the influence of environmental variables. According to the results of the accuracy assessment, the most reliable model in terms of AUC and TSS was the random forest model. Also, according to the results, in 2050, suitability habitats for *Embriza bruniceps* species will be limited to the northeast of the country, and for *Embriza melanocephala* species, suitability will be limited to areas in the south of Alborz Mountain range, northwest, and west of Iran.

[*] Corresponding Author: *Email Address.* ghasempm@modares.ac.ir

According to the results, it can be acknowledged that the area of suitable habitats for *Embriza melanocephala* species in the west was less than today, which according to studies, internal and climatic factors were effective in moving both species and hybridization area to the west. The results indicate decreasing habitat suitability for the studied species in both periods (the last ice age until now and now until 2050).

Conclusion: Understanding the factors influencing the suitability of wildlife habitats is essential. Some changes due to rapid ecosystem manipulation are seen in the new distribution of birds. In general, wildlife planning and conservation strategies should monitor the factors affecting habitats and maintain and manage these factors in order to prevent biodiversity loss.

Keywords: Sister taxa, Species distribution models, Habitat suitability, *Embriza bruniceps*, *Embriza melanocephala.*