

## مدل سازی مطلوبیت زیستگاه پلیکان پاخاکستری (*Pelecanus crispus*) با استفاده از روش حداکثر آنتروپی (MAXENT) در ایران

- محمدعلی پویانی: گروه محیط زیست، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
- بهمن شمس اسفندآباد\*: گروه محیط زیست، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
- عباس احمدی: گروه محیط زیست، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
- حمید ترنج زو: گروه محیط زیست، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۸

### چکیده

این پژوهش به صورت کمی به مدل سازی مطلوبیت زیستگاه پلیکان پاخاکستری با استفاده از مدل MAXENT در کشور پرداخته است. این تحقیق با استفاده از نقاط حضور این پرنده در ایران و داده های محیطی از پایگاه داده اقلیمی (world climate) به دست آمد. نتایج آزمون VIF جهت بررسی هم خطی بین متغیرها به کار گرفته شد که ۷ متغیر میانگین درجه حرارت سالیانه (Bio ۱)، میانگین مقادیر روزانه (Bio ۲)، هم دمایی (Bio ۳)، تغییرات فصلی درجه حرارت (Bio ۴)، بارش سالیانه (Bio ۱۲)، تغییرات فصلی بارش (Bio ۱۵)، میانگین بارش در خشک ترین فصل سال (Bio ۱۷) دارای کمترین میزان هم خطی بوده که به عنوان متغیرهای اقلیمی انتخاب و مورد استفاده قرار گرفتند. شاخص AUC مدل به میزان ۰/۹۵۳ به دست آمد. براساس نمودار جک نایف متغیرهای میانگین مقادیر روزانه حرارت (Bio ۲) و تغییرات فصلی درجه حرارت (Bio ۴) به ترتیب بیشترین درصد مشارکت و اهمیت و متغیرهای میانگین بارش در خشک ترین فصل سال (Bio ۱۴) و هم دمایی (Bio ۳) کمترین درصد مشارکت و اهمیت را در تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه پلیکان پاخاکستری در مدل مکسنت را داشتند. در این مطالعه، نتایج مدل سازی MAXENT نشان می دهد تنها ۷۷۸۳۸ کیلومتر مربع (۵ درصد از مساحت کل کشور) برای حضور پلیکان پاخاکستری مطلوب می باشد.

**کلمات کلیدی:** پلیکان پاخاکستری، مطلوبیت زیستگاه، داده های اقلیمی، MaxEnt



## مقدمه

آبزی و کنارآبزی زمستان، ۱۳۹۶). با توجه به اهمیت این گونه در کشور و اثرات تغییر اقلیم به خصوص افزایش دما بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رفتاری، رشد، تولیدمثل، مرگ و میر و توزیع آن‌ها و لزوم پایش، پیش‌بینی و کنترل این اثرات با اتخاذ تصمیمات مدیریتی و محافظتی بهینه، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تعیین زیستگاه مطلوب برای آن و بررسی اثر تغییر اقلیم بر جمعیت آن در کشور انجام نشده است از این‌رو، در این پژوهش تلاش خواهد شد ضمن پرداختن به این مسئله، از روش‌های نوین ارائه شده در مطالعات خارجی برای اولین بار به صورت کمی به مدلسازی مطلوبیت زیستگاه پلیکان پاخاکستری (*Pelecanus crispus*) در کشور بپردازد. مطالعات زیادی در زمینه بررسی مطلوبیت زیستگاه پرندگان و هم‌چنین مطالعات محدودی در زمینه ویژگی‌های زیستگاهی و خصوصیات زیستگاهی این گونه در ایران و جهان به انجام رسیده است که می‌توان به مطالعات مشتاقی و همکاران (۱۳۹۲)، انصاری (۱۳۹۴)، شریبی و همکاران (۱۳۹۷)، Gonzalez و همکاران (۲۰۰۰)، Hua و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد.

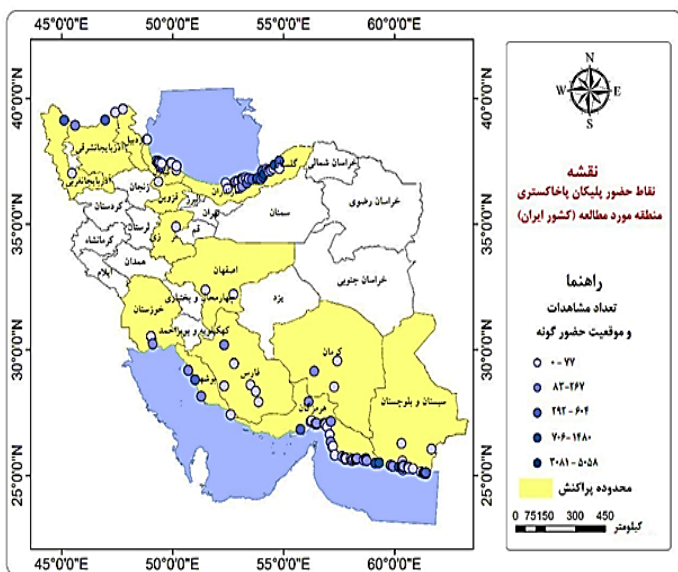
## مواد و روش‌ها

برای پیش‌بینی توزیع گونه‌ای با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه، وجود رابطه میان حضور یک گونه با شرایط محیط زیست یک فرض اساسی محسوب می‌شود. بنابراین، برای ساخت یک مدل حداقل به دو گروه از داده‌های ورودی نیاز داریم که این داده‌ها شامل داده‌های زیستی و داده‌های محیطی هستند (Franklin و همکاران، ۲۰۱۰). بدین منظور اطلاعات مورد نیاز از سه روش مرور منابع کتابخانه‌ای، انجام بررسی‌های مستقیم میدانی و مراجعه به بانک‌های اطلاعات جهانی موجود استفاده شد. به منظور پیدا نمودن نقاط دقیق حضور این پرنده از داده‌های ثبت شده در سازمان حفاظت محیط زیست و گزارش جهانی فقط حضور این پرنده (Status Report for the Dalmatian Pelican *Pelecanus crispus*) استفاده شد. داده‌های محیطی مورد استفاده نیز از پایگاه [www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)، داده اقلیمی، به دست آمد که این داده‌ها شامل ۱۹ متغیر آب و هوایی از مناطق خشکی کره زمین است که براساس درون‌یابی داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ به دست آمده است (جدول ۱). در این پژوهش به منظور کاهش تعداد متغیرها و نیز به دلیل کاهش تأثیر منفی همبستگی بین متغیرها، ضریب همبستگی دو به دو متغیرها محاسبه شده و سپس با لحاظ کردن شاخص تورم واریانس (VIF=Variance Inflation Factor) متغیرهایی که دارای همبستگی بیش‌تر از ۰/۷ بودند از ادامه تحلیل‌ها حذف شدند. شاخص VIF

تعیین مطلوبیت زیستگاه یکی از ارکان مهم در مدیریت و حفاظت گونه‌های حیات وحش محسوب می‌گردد که تأثیر به‌سزایی بر بقاء و تولیدمثل گونه‌ها خواهد داشت (Dong و همکاران، ۲۰۱۳). اما به دلیل مشکل زمان و بودجه قابل دسترس برای مطالعه زیستگاه‌ها در مقیاس وسیع، اجرای بسیاری از مطالعات را دشوار و در مواردی غیرممکن می‌سازد. لذا در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای مدلسازی پراکنش گونه‌ها ارائه شده است تا در مدیریت حیات وحش مورد استفاده قرار گیرد (Anderson و همکاران، ۲۰۰۰؛ Mack و همکاران، ۱۹۹۷). روش‌هایی مانند ENFA، GAM، GLM بعضی از آن‌ها هستند که به طور گسترده به عنوان ابزار ارزیابی، مدلسازی، مدیریت و حفاظت از زیستگاه استفاده شده‌اند (Sebastián-Gonzál و همکاران، ۲۰۱۴؛ Wilson و همکاران، ۲۰۱۱؛ Wang و همکاران، ۲۰۰۹؛ Tian و همکاران، ۲۰۰۹؛ Hirzel و همکاران، ۲۰۰۱). روش حداکثر آنتروپی (MAXENT)، یکی از ابزارهای بسیار متداول برای مدلسازی زیستگاه گونه‌ها و نیز پیش‌بینی و مدلسازی نحوه پراکنش گونه‌ها به کار می‌رود که با استفاده از داده‌های حضور و متغیرهای محیطی اجرا می‌شود. در مقایسه با سایر روش‌ها، این روش داده‌های زیادی لازم ندارد، بنابراین این روش راه حلی برای داده‌های کم حضور به وجود آورده است (Weber، ۲۰۱۶). توانایی این مدل در مطالعات زیستگاه گونه‌های مختلف (سرباز و همکاران، ۱۳۹۷؛ Ashrafzadeh و همکاران، ۲۰۱۸؛ Remya و همکاران، ۲۰۱۵؛ Yang و همکاران، ۲۰۱۳؛ Pearson و همکاران، ۲۰۰۷) مورد تأیید قرار گرفته است. پرندگان به دلیل این‌که موجوداتی انتخابگر در نوع زیستگاه خود بوده و حساسیت زیادی به ساختار پوشش گیاهی دارند می‌توانند به عنوان نمایه مناسب، برای سنجش کیفیت زیستگاه مورد استفاده قرار گیرند (Fielding، ۱۹۹۵). مطالعات انجام پذیرفته در خصوص پرندگان آبزی و کنار آبچر نشان می‌دهد به دلیل وابستگی زیاد این موجودات به بوم سازگان‌های تالابی، پرندگان از جمله شاخص‌های زیستی مهمی هستند که در تعیین و مشخص نمودن وضعیت محیط زیست و سلامت بوم سازگان‌های تالابی کاربرد بسیاری دارند (Tian و همکاران، ۲۰۰۹). در میان پرندگان تالابی مهم، پلیکان پاخاکستری (*Pelecanus crispus*) یا مرغ‌سقای پاخاکستری یا مرغ‌سقای کاکلی گونه‌ای پرنده از راسته پلیکان‌سانان و راسته مرغ‌سقاسانان است که از اهمیت و جذابیت ویژه‌ای در ایران و جهان برخوردار است که براساس گزارش اتحادیه بین‌المللی حفاظت از محیط زیست (International= IUCN Union for Conservation of Nature) جز گونه‌های در معرض خطر (فهرست سرخ) قرار گرفته‌اند (گزارش ملی سرشماری زمستانی پرندگان



به دست آمده از سازمان حفاظت محیط زیست مناطق حضور، این پرنده در ۵ سال گذشته (۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸) در ۱۳۰ سایت گزارش شده است که در این میان، در ۱۲ سایت در هر شش سال به طور مداوم این گونه دیده شده است. پس استخراج اطلاعات مربوط به نقاط حضور گونه از پایگاه اطلاعاتی فوق الذکر، پیش پردازش‌های اولیه صورت گرفته و شیپ فایل نقاط حضور گونه در محیط ArcGIS تهیه شد. در جدول ۱ پیوست موقعیت مکانی هر یک از نقاط حضور نمایش داده شده است.



شکل ۱: نقشه نقاط حضور پلیکان پاخاکستری در منطقه مورد بررسی

(منبع: نگارنده بر حسب اطلاعات کسب شده از سازمان حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۹۶)

**روش حداکثر آنتروپی (MAXENT):** در پژوهش حاضر از روش مدل سازی بیشینه بی نظمی (MaxEnt) برای مدل سازی پراکنش پلیکان پاخاکستری استفاده شد. الگوریتم حداکثر آنتروپی در مدل سازی وابستگی‌های غیرخطی پیچیده میان نواحی حضور گونه‌ها و متغیرهای محیطی، در یک فضای چند بعدی، دارای انعطاف پذیری بالایی است و از این رو با ابر حجم  $n$  بعدی هاجینسون در تعریف آشیان اکولوژیک گونه‌ها انطباق بسیار زیادی دارند (Qin و همکاران، ۲۰۱۷). در روش مکسنت به ارزیابی احتمال توزیع مقادیر حداکثر بی نظمی متأثر از محدودیت‌های (Constraints) ناشی از متغیرهای محیطی تأثیر گذار بر نحوه توزیع مکانی گونه پرداخته می‌شود (Young، ۲۰۱۱؛ Elith و همکاران، ۲۰۱۱؛ Phillips و همکاران، ۲۰۰۶). بدین منظور مدل سازی با ۱۰۰۰ تکرار و انتخاب ۱۰۰۰ نقطه تصادفی به عنوان نقاط زمینه انجام می‌گیرد. در این روش برخلاف بسیاری از مدل‌های وابسته به نقاط حضور و عدم حضور، تنها نیازمند نقاط حضور بوده و از نقاط

علاوه بر شناسایی همبستگی دو به دو میان متغیرها، همبستگی‌های پنهان چند متغیره یا به اصطلاح هم خطی (Multi-collinearity) بین متغیرها را نیز مورد توجه قرار می‌دهد (Guisan و همکاران، ۲۰۱۷؛ ۲۰۱۳). به منظور محاسبه هم خطی بین متغیرها بر اساس شاخص VIF ابتدا مقادیر ۱۹ متغیر اقلیمی در نقاط حضور استخراج شد. سپس با لحاظ نمودن حد آستانه همبستگی ۰/۷ متغیرهایی که دارای کمترین میزان هم خطی بودند شناسایی شده و در ادامه تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۱: متغیرهای اقلیمی استخراج شده از سایت WorldClim، متغیرهایی که پرنده شده‌اند، دارای کمترین میزان هم خطی بوده و از آن‌ها در مدل سازی آشیان بوم‌شناختی پلیکان پاخاکستری استفاده شد.

BIO1	Annual Mean Temperature	میانگین دمای سالیانه
BIO2	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))	میانگین مقادیر روزانه حرارت
BIO3	Isothermality (BIO7/BIO5) (* 100)	هم‌دمایی
BIO4	Temperature Seasonality (standard deviation * 100)	تغییرات فصلی دما
BIO5	Max Temperature of Warmest Month	حداکثر دما در گرم‌ترین ماه سال
BIO6	Min Temperature of Coldest Month	حداقل دما در سردترین ماه سال
BIO7	Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)	تغییرات دمای سالیانه
BIO8	Mean Temperature of Wettest Quarter	میانگین دما در خشک‌ترین 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 سالیانه
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

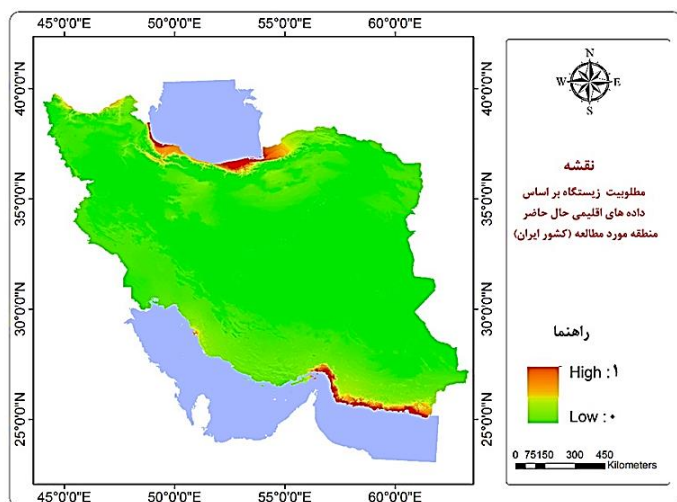
**منطقه مورد مطالعه:** ایران در منطقه معتدل شمالی از عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول جغرافیایی ۴۳ تا ۶۴ درجه و مساحت متوسط ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع در جنوب غرب آسیا واقع شده است. شکل ۱ نمایش دهنده نقاط حضور پلیکان پاخاکستری در ایران است. این اطلاعات بر اساس مکاتبات انجام شده و داده‌های



نمودار (AUC) به‌دست آمده از منحنی ROC (Receiver operating characteristic) استفاده شد. سطح زیر نمودار این منحنی به‌عنوان معیاری از قدرت تشخیص نقاط حضور از نقاط عدم حضور توسط مدل عمل نموده و مستقل از تعریف آستانه‌های مطلوبیت می‌باشد. مقادیر عددی AUC به‌طور معمول بین ۰/۵ تا ۱ می‌باشد. مقادیر نزدیک به ۰/۵ نشان‌دهنده این است که برازش مدل با داده‌ها بهتر از مدل تصادفی نیست و عدد ۱ نشان‌دهنده برازش کامل است (Fielding, ۱۹۹۵؛ Phillips و همکاران، ۲۰۰۶).

## نتایج

شکل ۲ مدل مطلوبیت حاصل از مدل‌سازی نیچ اقلیمی پلیکان پاخاکستری براساس نقاط حضور در ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۲: مدل مطلوبیت زیستگاه گونه پلیکان پاخاکستری براساس داده‌های اقلیم حاضر

همان‌طور که گفته شد، شاخص AUC برای بررسی Sensitivity در برابر Spectificity استفاده می‌شود. Spectificity به‌معنای این است که مناطق عدم حضور ما با مناطق عدم حضور گونه منطبق باشد. Sensitivity به‌معنای این است که خروجی مدل با نقاط ما تطبیق داشته باشد. هرچه AUC به یک نزدیک‌تر مدل منطبق‌تر و هرچه به ۰/۵ نزدیک‌تر باشد مدل تصادفی‌تر است. شکل ۳ نمودار شاخص AUC را مشاهده می‌کنید. همان‌گونه که مشخص است مدل توانسته است درصد بالایی از نقاط حضور را در مناطق مطلوب شناسایی کند. گواه این مدعا بالا بودن شاخص AUC مدل به‌میزان ۰/۹۵۳ برای نقاط تعلیمی و به‌میزان ۰/۹۳۹ برای نقاط برای آزمون مدل است.

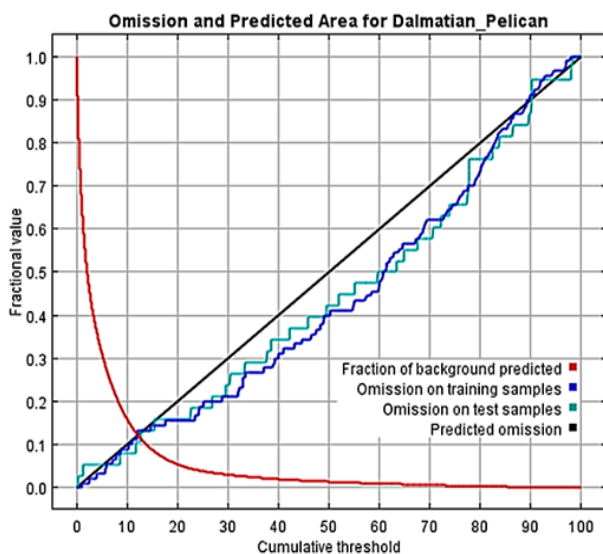
زمینه برای برازش مدل خود استفاده می‌کند (Phillips و همکاران، ۲۰۰۶). بدین ترتیب مدل مکسنت این فرض را که نقاط زمینه فاقد امکان حضور برای گونه هستند در نظر نمی‌گیرد، فرضی که برای نقاط عدم حضور در سایر روش‌های مدل‌سازی لحاظ می‌گردد (Yi و همکاران، ۲۰۱۶). داده‌های خروجی حاصل از تحلیل مکسنت به سه فرمت خام (Raw) تجمعی (Cumulative) و منطقی (Logistic) است (Phillips و Dudík، ۲۰۰۸). در این مقاله از قالب تجمعی برای محاسبه مقادیر مطلوبیت استفاده شد که در این حالت تفاوت در خروجی محاسبه شده به‌نحو مطلوب‌تری معرف تفاوت در مطلوبیت زیستگاه است. قالب تجمعی بین ۰ تا ۱ متغیر است (Young و همکاران، ۲۰۱۳). هم‌چنین از رویکرد جک‌نایف (Jackknife) برای ارزیابی اهمیت متغیرها و درصد تأثیر هر یک در مدل نهایی مکسنت محاسبه شد. بدین‌منظور در هر تکرار الگوریتم ایجاد مدل، میزان افزایش یا کاهش در میزان نزدیکی پیش‌بینی‌های مدل به نقاط حضور با وارد شدن هر متغیر اندازه‌گیری شد. با استفاده از این روش میزان افزایش کارایی مدل به‌ازای هر متغیر مشخص می‌شود (Phillips و همکاران، ۲۰۰۶). نقشه مطلوبیت مکسنت مقادیر پیوسته‌های از مطلوبیت زیستگاه را ارائه می‌کند. از این‌رو لازم است با استفاده از آستانه مطلوبیت (Suitability threshold) نقشه طبقه‌بندی شده مطلوب و نامطلوب تهیه گردد. نرم‌افزار MAXENT آستانه‌های مطلوبیت متفاوتی ارائه می‌کند که براساس مقادیر مطلوبیت محاسبه شده برای نقاط حضور و زمینه تعیین می‌گردد (Liu و همکاران، ۲۰۰۵). نقشه‌های مورد نظر براساس حد آستانه بیش‌ترین میزان صحت طبقه‌بندی نقاط حضور (Sensitivity) به‌علاوه صحت طبقه‌بندی نقاط عدم حضور (Specificity)، و یا به‌عبارتی Maximum training sensitivity plus specificity، به دو طبقه مطلوب/نامطلوب کلاسه‌بندی شد. در پژوهش حاضر از حد آستانه ۱۰ درصد مطلوبیت در نقاط حضور به‌عنوان آستانه مطلوبیت استفاده شد. حد آستانه مطلوبیت ۱۰ درصد بدین معناست که براساس ۱۰ درصد پایین مقادیر مطلوبیت در نقاط حضور (کم‌ترین ۱۰ درصد مطلوبیت در نقاط حضور) طبقه‌بندی انجام گیرد. به‌طور کلی در جمع‌آوری نقاط حضور همواره مقادیری از خطای مکانی دیده می‌شود، خصوصاً در داده‌هایی که از منابع مختلفی گردآوری شده باشند به‌دلیل شدت و دقت متفاوت در نمونه‌برداری احتمال بروز خطاهای مکانی بیش‌تر خواهد بود (Franklin، ۲۰۱۰). استفاده از حد آستانه ۱۰ درصد موجب می‌گردد ۱۰ درصد از نقاط که دارای کم‌ترین میزان مطلوبیت هستند به‌عنوان نرخ حذف شدگی یا Omission rate در نظر گرفته شوند. بدین‌ترتیب به نوعی این فرض لحاظ شده است داده‌های دارای خطای مکانی در شناسایی مناطق مطلوب مورد استفاده قرار نگیرند (Liu و همکاران، ۲۰۰۵). به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل از سطح زیر

درصد اهمیت را در تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه پلیکان پا خاکستری در مدل مکسنت را داشتند ولی به طور کلی مدل با اجرای تمام متغیرها پاسخ مطلوبی داده است و بیشترین مشارکت مربوط به اجرای مدل با در نظر گرفتن تمام ۷ متغیرهای اقلیمی مورد نظر می باشد.

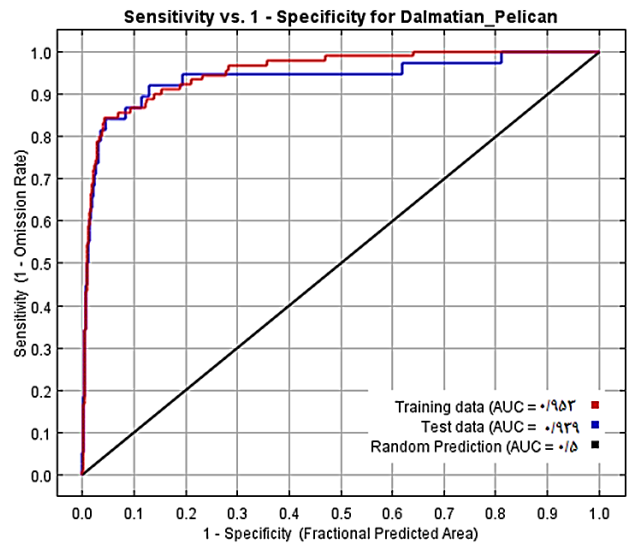
جدول ۲: درصد مشارکت متغیرهای اقلیمی در مدل آشیان بوم شناختی Maxent برای گونه پلیکان پا خاکستری

متغیر	نام انگلیسی	درصد مشارکت (%)	درصد اهمیت (%)
میانگین درجه حرارت سالیانه	Bio1	۶/۴	۳۸/۹
میانگین مقادیر روزانه حرارت	Bio2	۷۵/۲	۳۲/۴
همدمایی	Bio3	۰/۲	۰/۴
تغییرات فصلی درجه حرارت	Bio4	۱۱/۸	۹/۳
بارش سالیانه	Bio12	۲/۶	۱۱/۴
تغییرات فصلی بارش	Bio15	۳/۹	۷
میانگین بارش در خشک ترین فصل سال	Bio17	۰/۱	۰/۷

منحنی Omission نشان دهنده تطبیق نمونه های تعلیمی برای مدل است. هرچه خط اومیشن به خط اصلی نزدیک تر باشد مدل بهینه تر است. در نمودار شکل ۵ مشاهده می شود که خطوط آبی به خط سیاه نزدیک بوده و این نشان دهنده اجرای بهینه مدل می باشد. منحنی Omission حاصل از این پژوهش در شکل ۵ نمایش داده شده است. منحنی پاسخ (response curve) به بررسی پاسخ متغیر به تغییرات نقاط در منطقه می پردازد. با توجه به منحنی های پاسخ که به طور مثال در شکل ۶ آورده شده است، یک جدول رسم شده که نتایج بالاترین و ایده آل ترین منطقه برای حضور پلیکان پا خاکستری می باشد (جدول ۳).

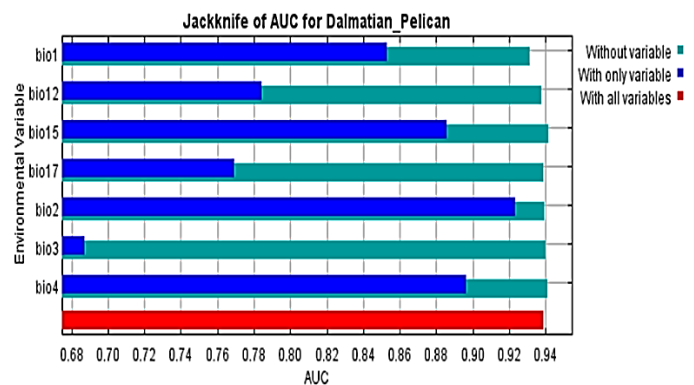


شکل ۵: نمودار Omission حاصل از اجرای مدل مکسنت



شکل ۳: منحنی ROC جهت بررسی عملکرد مدل مطلوبیت براساس نقاط حضور پلیکان پا خاکستری در ایران

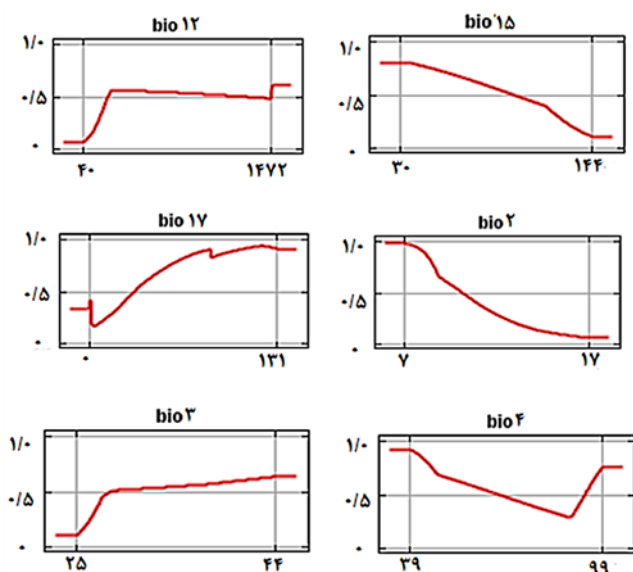
شکل ۴ نمودار جک نایف حاصل از اجرای مدل مکسنت را نمایش می دهد. هم چنین نتایج درصد مشارکت متغیرها در مدل مکسنت براساس نقاط حضور گونه در جدول ۲ ذکر شده است.



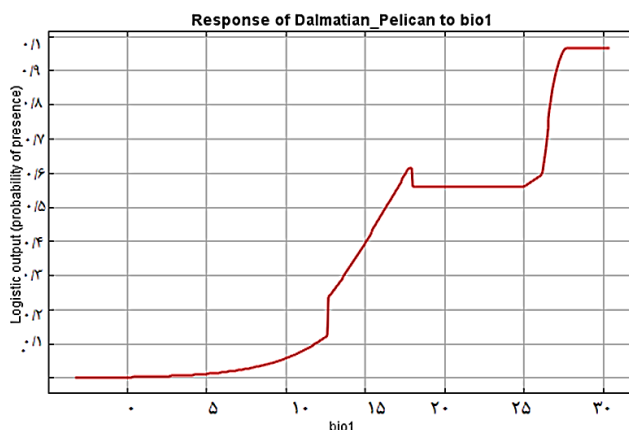
شکل ۴: نمودار Jackknife جهت نمایش درصد مشارکت متغیرهای اقلیمی در اجرای مدل

براساس شکل ۴ مشارکت متغیرها در مدل مکسنت نتایج متفاوتی به دست داد. متغیرهای میانگین مقادیر روزانه حرارت (Bio2) و تغییرات فصلی درجه حرارت (Bio4) به ترتیب بیشترین درصد مشارکت (۷۵/۲ و ۱۱/۸) و از لحاظ درصد اهمیت، متغیر میانگین درجه حرارت سالیانه (Bio1) و میانگین مقادیر روزانه حرارت (Bio2) بیشترین درصد اهمیت (۳۸/۹ و ۳۲/۴) را در مدل آشیان بوم شناختی توسعه یافته بر اساس نقاط حضور گونه در تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه برای زمان حال حاضر داشتند و از طرفی متغیرهای میانگین بارش در خشک ترین فصل سال (Bio17) کمترین درصد مشارکت و همدمایی (Bio3) کمترین





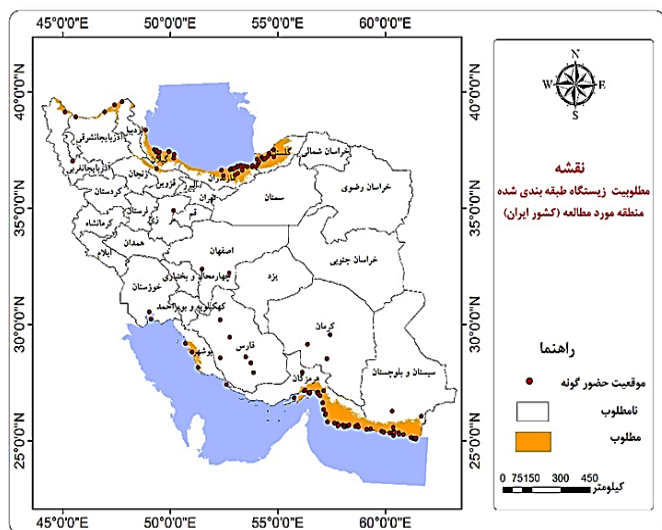
شکل ۷: منحنی پاسخ (response curve) برای متغیرهای اقلیمی (بیوم‌های حال حاضر)



شکل ۶: منحنی پاسخ (response curve) برای متغیر Bio1

جدول ۳: نتایج بالاترین وایده‌آل‌ترین وضعیت پارامترها برای حضور گونه پلیکان پاخاکستری

متغیرهای اقلیمی	نقطه ایده‌آل	نوع واحد
درجه‌حرارت متوسط سالانه (Bio1)	۱۳-۱۸	درجه سانتی‌گراد
متوسط ماهانه دما (درجه‌حرارت حداکثر-درجه‌حرارت حداقل) (Bio2)	۷-۱۰	درجه سانتی‌گراد
هم‌دمایی (Bio2/Bio7 * ۱۰۰): (Bio3)	۳۰-۴۴	درصد (%)
تغییرات فصلی درجه‌حرارت (انحراف معیار * ۱۰۰): (Bio4)	۳۹	درصد (%)
بارش سالیانه (Bio12)	۵۰۰-۵۵۰	میلی‌متر
تغییرات فصلی بارش (Bio15)	۳۰-۴۰	درصد (%)
میانگین بارش در خشک‌ترین فصل سال (Bio17)	۱۲۰-۱۳۱	میلی‌متر



شکل ۸: نقشه مطلوبیت زیستگاه طبقه‌بندی شده‌ی پلیکان پاخاکستری بر اساس متغیرهای اقلیمی حاضر

### بحث

مطالعات انجام پذیرفته در خصوص پرندگان آبی و کنار آبچر نشان می‌دهد به دلیل وابستگی زیاد این موجودات به بوم‌سازگان‌های تالابی، پرندگان از جمله شاخص‌های زیستی مهمی هستند که در تعیین و مشخص نمودن وضعیت محیط زیست و سلامت بوم‌سازگان‌های تالابی کاربرد بسیاری دارند (Stolen, ۲۰۱۰). در میان پرندگان تالابی مهم، پلیکان پاخاکستری (*Pelecanus crispus*) یا مرغ سقای پاخاکستری یا مرغ

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود بهترین نقطه برای حضور پلیکان پاخاکستری با توجه به نقاط حضور گونه در نقشه Bio1 که نمایش‌دهنده میانگین دمای سالیانه است بین ۱۳ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شکل ۷ سایر نمودارها برای دیگر بیوم‌های اقلیمی را نشان می‌دهد. شکل ۸ نمایش‌دهنده نقشه طبقه‌بندی شده مطلوبیت زیستگاه می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، نقشه مطلوبیت مکسنت مقادیر پیوسته‌های از مطلوبیت زیستگاه را ارائه می‌کند (شکل ۲). از این‌رو لازم است با استفاده از آستانه مطلوبیت نقشه طبقه‌بندی شده مطلوب و نامطلوب تهیه گردد. هم‌چنین جدول ۴ میزان درصد و مساحت مطلوبیت زیستگاه پلیکان پاخاکستری در هر طبقه (مطلوب و نامطلوب) در کشور ایران ارائه شده است.

جدول ۴: درصد و مساحت مطلوبیت زیستگاه پلیکان پاخاکستری با روش MAXENT در ایران

نام طبقه	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد (%)
مطلوب	۷۷۸۳۸	۵
نامطلوب	۱۵۳۹۴۲۱	۹۵



نمایان گر عملکرد عالی مدل می‌باشد. متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق شامل کاربری اراضی، عمق آب، غذا و فاصله تا مناطق انسان ساخت می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که متغیرهای میانگین مقادیر روزانه حرارت (Bio2) و تغییرات فصلی درجه حرارت (Bio4) به ترتیب بیشترین درصد مشارکت و از لحاظ درصد اهمیت، متغیر میانگین درجه حرارت سالیانه (Bio1) و میانگین مقادیر روزانه حرارت (Bio2) بیشترین درصد اهمیت را در مدل آشیان بوم شناختی توسعه یافته براساس نقاط حضور گونه در تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه برای زمان حال حاضر داشتند و از طرفی متغیرهای میانگین بارش در خشک‌ترین فصل سال (Bio17)، کم‌ترین درصد مشارکت و هم‌دمایی (Bio3) کم‌ترین درصد اهمیت را در تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه گونه پلیکان پاخاکستری در مدل مکسنت را داشتند. مقادیر این متغیرها در منحنی‌های پاسخ (response curve) مشخص گردید. بر اساس نتایج حاصل از منحنی‌های پاسخ (response curve) که به بررسی پاسخ متغیرها به تغییرات نقاط در منطقه می‌پردازد، بهترین نقطه برای حضور پلیکان پاخاکستری با توجه به نقاط حضور گونه در نقشه Bio1 که نمایش‌دهنده میانگین دمای سالیانه است بین ۱۸ تا ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط ماهانه دما ۷ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد ایده‌آل‌ترین دما برای حضور این گونه است. همچنین ۳۰ تا ۴۰ درصد هم‌دمایی (ایزوترمالی) و ۳۹/۱۰ درصد تغییرات فصلی درجه حرارت وضعیت مناسبی برای حضور این گونه نشان داده است. از طرفی بارش سالیانه ۵۰ تا ۵۵ میلی‌متر وضعیت مطلوبی برای حضور این گونه فراهم خواهد کرد. براساس نقشه میانگین بارش در خشک‌ترین فصل سال بارش ۱۲۰-۱۳۰ میلی‌متر به‌طور میانگین نقطه ایده‌آل برای حضور این گونه است و بارش کم‌تر از این حد در این فصل باعث می‌شود که شرایط نامناسبی برای آن فراهم گردد. همچنین تغییرات فصلی بارش نباید بیش‌تر از ۳۰ تا ۴۰ درصد باشد و گرنه حضور پلیکان پاخاکستری به مخاطره خواهد افتاد. نتایج مدل‌سازی MAXENT نشان می‌دهد تنها ۷۷۸۳۸ کیلومترمربع (۵درصد از مساحت کل کشور) برای حضور پلیکان پاخاکستری مطلوب می‌باشد. مطالعات کرمی و همکاران (۱۳۸۵) نشان داد که کلیه متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه بهتر است به‌صورت یک نمودار درختی گردآوری گردد که در تحقیق خود نیز نمودار درختی متغیرهای زیستگاهی در مطلوبیت زیستگاه گونه اردک سرسبز (*Anas platyrhynchos*) را نشان دادند. Waltert و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که متغیرهایی که بر تغذیه پرندگان آبی مؤثرند، شامل مجموعه گیاهان آبی و نیمه آبی، مدت زمان و فراوانی سیلاب‌ها و ویژگی خاک است که همان‌طور که می‌تواند بر مطلوبیت زیستگاه مؤثر باشد. در تحقیق انجام شده در زاینده‌رود نیز متغیر گیاهان آبی به‌عنوان یک عامل کلیدی تغذیه‌ای

سقای کاکلی گونه‌ای پرنده از راسته پلیکان‌سانان و راسته مرغ سقاسانان است که از اهمیت و جذابیت ویژه‌ای در ایران و جهان برخوردار است. پلیکان پاخاکستری در آب دریاچه‌های کم‌عمق شور و شیرین، باتلاق‌ها و کرانه‌ها زندگی می‌کند. این پرنده مهاجر است و به تعداد فراوان در سراسر ایران به زندگی و مهاجرت می‌پردازد (گزارش ملی سرشماری زمستانی پرندگان آبی و کنار آبی زمستان، ۱۳۹۶). در خلال فصل مهاجرت زمستان ۹۶، در مجموع تعداد ۵۳۱۶۶ پرنده متعلق به فهرست سرخ IUCN شامل پلیکان پاخاکستری، غاز پیشانی سفید کوچک، عروس غاز، اردک مرمری، اردک سرسفید، درنای سیبری و تلیله بزرگ در موقعیت‌های مکانی مختلفی از کشور، مشاهده و گزارش شدند. طی سرشماری زمستان سال ۱۳۹۶ تعداد جمعیت پلیکان پاخاکستری، برابر با ۷۰۷۸ و درصد جمعیت این گونه نسبت به جمعیت کل پرندگان آبی و کنار آبی مهاجر فهرست سرخ IUCN در ایران ۱۳/۳۱ درصد می‌باشد. این درحالی است که درصد جمعیت این گونه در سال ۹۵ برابر با ۲۲/۳ درصد و در سال ۹۴ برابر با ۱۱/۷ درصد گزارش شده است. این آمار حاکی از کاهش جمعیت این پرنده در کشور می‌باشد که به دلیل وجود عوامل تهدید در یک زیستگاه و به خصوص شکار بی‌رویه پرندگان در فصل مهاجرت، باعث می‌شود. پرندگان مهاجر با رجوع به حافظه تاریخی خود، به تدریج مسیر مهاجرت و توقفگاه‌هایشان را تغییر می‌دهند (گزارش ملی سرشماری زمستانی پرندگان آبی و کنار آبی زمستان، ۱۳۹۶). براساس گزارش تهیه شده در فوریه ۲۰۱۷ توسط انجمن حفاظت منطقه Prespa، زهکشی نامناسب و تخریب زیستگاه، پلیکان پاخاکستری را در کشور ایران تهدید می‌کند. با این تفاسیر علی‌رغم اهمیت گونه پلیکان پاخاکستری در کشور و آینده در معرض تهدید آن، و گواه بسیاری از تحقیقات مبنی بر وقوع تغییر اقلیم در مناطق مختلف ایران و قرار گرفتن این گونه نادر در معرض خطر انقراض، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تعیین زیستگاه مطلوب برای آن و بررسی اثر تغییر اقلیم بر جمعیت آن انجام نشده است. بررسی عملکرد مدل مکسنت با استفاده از شاخص سطح زیر نمودار (AUC) منحنی ROC نشان داد که مدل به‌دست آمده با مقدار AUC معادل ۰/۹۵۳ عملکرد بالایی در پیش‌بینی مناطق مطلوب برای گونه دارد. در پژوهشی با رویکرد مشابه Bombi و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی کارایی شش مدل GAM، ENFA، DOMAIN، BIOCLIM و MAXENT پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که دو مدل GAM و MAXENT بهترین کارایی و دو مدل DOMAIN و GLM کارایی خوب و دو مدل ENFA و BIOCLIM کم‌ترین کارایی نسبی را داشتند. مطالعه دیگری توسط انصاری و همکاران (۱۳۹۴) بر روی درنای معمولی (*Grud grus*) در تالاب میقان با استفاده از مدل مکسنت، AUC برابر با ۰/۸۱۷ را نشان داد که



۸. **Bombi, P.; Salvi, D.; Vignoli, L. and Bologna, M.A., 2009.** Modelling Bedriaga's rock lizard distribution in Sardinia: an ensemble approach. *Amphibia Reptilia*. Vol. 30, No. 3, 413 p.
۹. **Dong, Z.; Wang, Z.; Liu, D.; Li, L.; Ren, C.; Tang, X.; Jia, M. and Liu, C., 2013.** Assessment of habitat suitability for waterbirds in the West Songnen Plain, China, using remote sensing and GIS. *Ecological engineering*. Vol. 55, pp: 94-100.
۱۰. **Elith, J.; Phillips, S.J.; Hastie, T.; Dudík, M.; Chee, Y.E. and Yates, C.J., 2011.** A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*. Vol. 17, pp: 43-57.
۱۱. **Fielding, A.H. and Haworth, P.F., 1995.** Testing the generality of bird-habitat models. *Conservation biology*. Vol. 9, No. 6, pp: 1466-1481.
۱۲. **Franklin, J., 2010.** Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
۱۳. **Guisan, A.; Thuiller, W. and Zimmermann, N.E., 2017.** Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R. Cambridge University Press.
۱۴. **Guisan, A.; Tingley, R.; Baumgartner, J.B.; Naujokaitis Lewis, I.; Suttle, P.R.; Tulloch, A.I.; Regan, T.J.; Brotons, L.; McDonald-Madden, E. and Mantyka Pringle, C., 2013.** Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*. Vol. 16, pp: 1424-1435.
۱۵. **Hirzel, A.H.; Helfer, V. and Metral, F., 2001.** Assessing habitat-suitability models with a virtual species. *Ecological modelling*. Vol. 145, No. 2-3, pp: 111-121.
۱۶. **Hua, Y.; Cui, B. and He, W., 2012.** Changes in water birds habitat suitability following wetland restoration in the Yellow River Delta, China. *Clean Soil, Air, Water*. Vol. 40, No. 10, pp: 1076-1084.
۱۷. **Mack, E.L.; Firbank, L.G.; Bellamy, P.E.; Hinsley, S.A. and Veitch, N., 1997.** The comparison of remotely sensed and ground-based habitat area data using species-area models. *J of Applied Ecology*. Vol. 34, No. 5, pp: 1222-1228.
۱۸. **Pearson, R.G.; Raxworthy, C.J.; Nakamura, M. and Townsend, P.A., 2007.** Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *J of biogeography*. Vol. 34, pp: 102-117.
۱۹. **Phillips, S.J.; Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006.** Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*. Vol. 190, pp: 231-259.
۲۰. **Qin, A.; Liu, B.; Guo, Q.; Bussmann, R.W.; Ma, F.; Jian, Z. and Pei, S., 2017.** Maxent modeling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of *Thuja sutchuenensis* Franch., an extremely endangered conifer from southwestern China. *Global Ecology & Conservation*. Vol. 10, pp: 139-146.
۲۱. **Remya, K.; Ramachandran, A. and Jayakumar, S., 2015.** Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn. Using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India. *Ecological engineer*. Vol. 82, pp: 184-188.
۲۲. **Sebastián-González, E. and Green, A.J., 2014.** Habitat use by waterbirds in relation to pond size, water depth, and isolation: lessons from a restoration in southern Spain. *Restoration Ecology*. Vol. 22, No. 3, pp: 311-318.
۲۳. **Tian, B.; Zhou, Y.; Zhang, L. and Yuan, L., 2008.** Analyzing the habitat suitability for migratory birds at the Chongming Dongtan Nature Reserve in Shanghai, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 80, pp: 296-302.
۲۴. **Wang, Z.; Song, K.; Zhang, B.; Liu, D.; Ren, C.; Luo, L.; Yang, T.; Huang, N.; Hu, L.; Yang, H. and Liu, Z., 2009.** Shrinkage and fragmentation of grasslands in the West Songnen Plain, China. *Agriculture, ecosystems and environment*. Vol. 129, No. 1-3, pp: 315-324.
۲۵. **Waltert, M.; Chuwa, M. and Kiffner, C., 2009.** An assessment of the puku (*Kobus vardonii* Livingstone 1857) population at Lake Rukwa, Tanzania. *African journal of ecology*. Vol. 47, No. 4, pp: 688-692.
۲۶. **Weber, T.C., 2016.** Maximum entropy modeling of mature hardwood forest distribution in four US states. *Forest Ecology and Management*. Vol. 261, No. 3, pp: 779-788.
۲۷. **Wilson, C.D.; Roberts, D. and Reid, N., 2011.** Applying species distribution modelling to identify areas of high conservation value for endangered species: A case study using *Margaritifera margaritifera* (L.). *Biological Conservation*. Vol. 144, No. 2, pp: 821-829.
۲۸. **Yang, X.Q.; Kushwaha, S.P.S.; Saran, S.; Xu, J. and Roy, P.S., 2013.** Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineer*. Vol. 51, pp: 83-87.
۲۹. **Yi, Y.; Cheng, X.; Yang, Z. and Zhang, Sh., 2016.** Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant in Yunnan, China. *Echography*. Vol. 92, pp: 260-269.
۳۰. **Young, N., 2011.** A MaxEnt Model v3.3.3e Tutorial (ArcGIS v10).
۳۱. **Young, N.; Carter, L. and Evangelista, P., 2013.** A MaxEnt Model v3.3.3e Tutorial (ArcGIS v10).
- مورد بررسی قرار گرفت اما با توجه به این نکته که زیستگاه زاینده‌رود در سال‌های اخیر دستخوش خشکسالی‌های متناوب بوده است لذا متغیر سیلاب در این زیستگاه جوابگو نمی‌باشد (منوچهری، ۱۳۹۰)، بنابراین نیاز است در تحقیقات آینده سایر متغیرهای خرد مقیاس‌تر نیز در نظر گرفته شود. در پژوهش حاضر به منظور بررسی و مدل‌سازی پراکنش پلیکان پاخاکستری در مقیاس‌های خردتر می‌توان متغیرهای توپوگرافی و فاصله تا صنایع و ... می‌توانند را در نظر گرفت. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل آن‌ها به صورت سری‌های زمانی امکان شناسایی مناطقی که تحت حضور گونه قرار گرفته‌اند فراهم می‌آورد که می‌توان مدل‌سازی پراکنش گونه در نظر گرفت. استفاده از سایر روش‌های مدل‌سازی مانند روش‌های مدل تعمیم یافته خطی (GLM)، درخت رگرسیون افزایشی (درخت رگرسیون افزایشی)، جنگل تصادفی (RF) و یا شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و در نهایت مقایسه نتایج آن‌ها با مدل مکسنت.

## منابع

۱. انصاری، م.، ۱۳۹۳. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه درنا معمولی (*Grus grus*) در تالاب میقان اراک. فصلنامه اکوبیولوژی تالاب. سال ۷، شماره ۴۲، صفحات ۵۰ تا ۵۷.
۲. سرباز، م.؛ خانی، ع. و فراشی، آ.، ۱۳۹۷. پیش‌بینی احتمال حضور گونه زرده بر (*Vormela peregusna*) در استان خراسان رضوی با استفاده از روش MaxEnt. مجله زیست‌شناسی جانوری تجربی. دوره ۷، شماره ۱، صفحات ۳۵ تا ۴۴.
۳. شریبی، ز.؛ خلیلی‌پور، ا. و عسگری، م.، ۱۳۹۷. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه اردک مرمری (*Marmaronetta angustirostris*) با استفاده از روش حداکثر آنتروپی. فصلنامه محیط زیست جانوری. سال ۱۰، شماره ۲، صفحات ۷۵ تا ۸۲.
۴. کرمی، م.؛ ریاضی، ب. و کلانی، ن.، ۱۳۸۵. ارزیابی زیستگاه کفتار ایرانی در پارک ملی خجیر و ارائه مدل مطلوبیت به روش HEP. مجله علوم محیطی. دوره ۱۱، صفحات ۷۷ تا ۸۶.
۵. مشتاقی، م.؛ کابلی، م. و شمسایی، م.، ۱۳۹۲. تعیین شاخص مطلوبیت زیستگاه رودخانه‌ای اردک سرسبز (*Anas platyrhynchos*) در رودخانه زاینده‌رود. نشریه اکوبیولوژی تالاب. دوره ۵، شماره ۱۸، صفحات ۱۳ تا ۲۱.
۶. منوچهری، و.، ۱۳۹۰. مکان‌یابی و تعیین مطلوبیت زیستگاه گوزن زرد ایرانی با استفاده از روش HEP در منطقه حفاظت‌شده قلاجه استان کرمانشاه به منظور رهاسازی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، واحد علوم و تحقیقات اهواز.
۷. **Ashrafzadeh, M.R.; Naghipour, A.A.; Haidarian, M. and Khorozyan, L., 2019.** Modeling the response of an endangered flagship predator to climate change in Iran. *Mammal Research*. Vol. 64, No. 1, pp: 39-51.