

مدل سازی زیستگاه یوزپلنگ آسیایی (*Acinonyx jubatus venaticus*) تحت تاثیر تغییرات اقلیمی در ایران با استفاده از نرم افزار MAXENT

- **مریم مروتی:** گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد
- **محمدکابلی:** گروه شیلات و محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، صندوق پستی: ۴۱۱۱
- **مریم پناهنده*:** پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی واحد گیلان، رشت
- **محمدسرباز:** گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد
- **شادی احمدیان:** گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد

تاریخ دریافت: دی ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۵

چکیده

تغییر اقلیم یک نگرانی عمده برای مدیریت و حفاظت تنوع زیستی می باشد که باعث تغییر در پراکنش بسیاری از گونه های جانوری شده است. در سال های اخیر شواهد متعددی از اثرات تغییر اقلیم بر روی جنبه های مختلف زیستی گونه های گیاهی و جانوری ارائه شده اما دانش اندکی در ارتباط با پیش بینی تاثیر تغییر اقلیم آینده بر روی گونه های جانوری در ایران وجود دارد. این مطالعه با هدف بازسازی اثر تغییرات اقلیمی در وسعت و مطلوبیت زیستگاه های یوزپلنگ آسیایی در ایران از حال تا آینده (سال ۲۰۷۰) با استفاده از نرم افزار مکسنت انجام شده است. در این مدل سازی از نقاط شناخته شده از حضور گونه (یوزپلنگ آسیایی) در سطح کشور و ۱۹ متغیر آب و هوایی استفاده شد. سپس وسعت زیستگاه مطلوب گونه در فضای ArcGIS ۹/۳ برای اقلیم حاضر و اقلیم آینده به طور جداگانه محاسبه گردید. نتایج حاضر موید این مطلب است که با توجه به روند گرمایش کره زمین در سال های اخیر و روند رو به رشد آن در آینده همچنین بررسی مدل های تغییر اقلیم، وسعت زیستگاه های مطلوب برای یوزپلنگ آسیایی در ایران از زمان حال تا سال ۲۰۷۰ روند نزولی را طی می کند که می تواند به عنوان هشدار جدی برای اجرای اقدامات حفاظتی از گونه های در معرض خطر انقراض توسط مراجع ذیربط مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: مدل سازی، مطلوبیت زیستگاه، یوزپلنگ آسیایی، MaxEnt، تغییرات اقلیمی، ایران



مقدمه

گونه یوزپلنگ آسیایی (*Acinonyx jubatus venaticus*) از راسته گوشت‌خواران (Carnivora) و خانواده گربه‌سانان (Felidea) می‌باشد (ضیایی، ۱۳۹۰). و از نظر قوانین ملی (شکار و صید)، اتحادیه جهانی حفاظت (IUCN^۱) و ضمیمه یک کنوانسیون تجارت بین‌المللی گونه‌های جانوری و گیاهان وحشی در معرض خطر انقراض (CITES^۲) در رده حفاظتی، در آستانه انقراض (CR^۲) گنجانده شده است. این گونه در حال حاضر یکی از نادرترین و در معرض خطرترین گوشت‌خواران ایران به‌شمار می‌آید و از شاخص‌ترین گونه‌های بوم‌سازگان بیابانی و نیمه بیابانی کشور محسوب می‌شود که هم‌چون نگینی در دل این بیابان‌ها توجه جهانیان را به خود جلب کرده است زیرا نسل این جانور در سایر کشورهای آسیایی منقرض شده است و تنها جمعیت باقی‌مانده، جمعیت موجود در ایران است (مروتی و همکاران، ۱۳۹۳) به‌عبارت دیگر ایران به‌عنوان آخرین پناهگاه یوزپلنگ در آسیا می‌باشد (Hunter و همکاران، ۲۰۰۷) و از این جهت شاید نام یوزپلنگ ایرانی برای آن مناسب‌تر باشد. یوزپلنگ ایرانی پس از پلنگ آمور که تنها ۳۰ تا ۴۰ قلاده از آن در طبیعت باقی مانده، دومین گربه‌سان در معرض خطر دنیا به‌شمار می‌آید (Morovati و همکاران، ۲۰۱۵). هم‌چنین باید توجه داشت توزیع کنونی گونه‌های حیات وحش را نیز می‌توان به تاثیر الگوی تغییرات اقلیمی در گذشته به‌ویژه دوره‌های یخبندان نسبت داد (Schwarz و همکاران، ۲۰۰۶). بحران‌های زیست‌محیطی سبب شده است جمعیت بسیاری از گونه‌های حیات‌وحش به‌دلایلی هم‌چون تخریب و تبدیل زیستگاه و یا شکار بی‌رویه کاهش یابد. مشخص کردن محدوده پراکنش گونه‌ها، شناخت پارامترهای زیستگاهی که توسط یک گونه در منطقه انتخاب می‌شود و تعیین زیستگاه‌های مناسب از مهم‌ترین فعالیت‌ها در زیست‌شناسی حفاظت محسوب می‌شود (مروتی و همکاران، ۱۳۹۳). لذا شناسایی مناطق شایسته برای حفاظت به‌منظور نجات آخرین زیستگاه‌های مناسب و جمعیت‌های باقی‌مانده یکی از ضروری‌ترین اقدامات در حفاظت از تنوع زیستی به‌شمار می‌آید (Margules و pressey، ۲۰۰۵). اما باید توجه داشت مشکل زمان و بودجه قابل دسترس برای مطالعه گونه‌های مختلف حیات‌وحش در مقیاس وسیع به‌عنوان مثال در مقیاس کشور ایران دشوار و در بسیاری

از موارد غیرممکن است. لذا روش‌های مدل‌سازی زیستگاه که از سال ۱۹۷۰ تاکنون به سرعت در مدیریت حیات‌وحش مورد استفاده قرار گرفته و ابزاری مناسب برای غلبه بر این مشکل معرفی شده است (Anderson و همکاران، ۲۰۰۳؛ Mack و همکاران، ۱۹۹۷) و به تازگی مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها به‌عنوان ابزار دقیق، سریع و کم‌هزینه به‌منظور یافتن زیستگاه‌های مطلوب، پیش‌بینی حضور جمعیت‌های ناشناخته، نادر و کمیاب در مناطق دور از دسترس (Stohlgren و Kumar، ۲۰۰۹؛ Williams و همکاران، ۲۰۰۹) و هم‌چنین مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها تحت سناریوهای تغییر اقلیم به‌کاربرده می‌شوند (کفاش و همکاران، ۲۰۱۴؛ Velasquez-Tibata و همکاران، ۲۰۱۲). باید توجه داشت که اقلیم به‌عنوان یک عامل عمده نگران‌کننده برای مدیریت و حفاظت تنوع‌زیستی محسوب می‌شود چرا که جنبه‌های مختلف زیستی گونه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد درسال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تنوع زیستی انجام شده است (Dawson و همکاران، ۲۰۱۲؛ Dawson و همکاران، ۲۰۱۱؛ Bellard و همکاران، ۲۰۱۰؛ Pereira و همکاران، ۲۰۱۰). با وجود نگرانی‌های موجود در ارتباط با اثرات تغییر اقلیم در حال حاضر در ایران اثرات اقلیم بر گونه‌های گیاهی و جانوری ناشناخته و تاکنون مطالعه‌ای برای بررسی اثرات احتمالی آن انجام نشده است و دانش اندکی در ارتباط با تاثیر تغییر اقلیم آینده بر روی گونه‌های جانوری در ایران وجود دارد. هدف از این مطالعه پیش‌بینی پراکنش یوزپلنگ آسیایی (*Acinonyx jubatus venaticus*) در ایران و میزان از دست‌دهی زیستگاه‌های مطلوب ناشی از تغییرات اقلیمی از گذشته تا آینده در ایران با استفاده از روش MAXENT است. زیستگاه این گونه در ایران عمدتاً در استان‌های یزد، کرمان، سمنان، خراسان شمالی، اصفهان قرار دارد و از لحاظ بزرگی جمعیت یوز در کشور، استان‌های یزد و سمنان و پس از آن‌ها استان خراسان شمالی قرار دارد (سهرابی‌نیا و حسینی زواره‌ای، ۱۳۸۹). فرهادی‌نیا و جورابچیان (۱۳۸۷) با استفاده از فناوری دوربین‌های تله‌ای و نرم‌افزار کپچر ۴ جمعیت یوزپلنگ در کشور را بین ۷۰ تا ۱۲۰ قلاده برآورد کرده‌اند (زمانی، ۱۳۸۹). در این پژوهش تلاش شده است تا با به‌کارگیری روش حداکثر آشفستگی، زیستگاه‌های مطلوب ناشی از تغییرات اقلیمی در آینده برای گونه یوزپلنگ پیش‌بینی شود.

^۱ -Critically Endangered

۴- Capture

^۱ -International Union for Conservation of Nature^۲ - the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora

مواد و روشها

متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر نحوه توزیع‌های مکانی گونه، می‌پردازد. مدل‌سازی براساس این رویکرد و با بهره‌گیری از نرم‌افزار MAXENT دارای مزایای قابل‌اعتنایی است. این روش فقط نیازمند نقاط حضور گونه‌ها است و می‌توان هم متغیرهای وابسته پیوسته و هم کلاسه‌بندی شده را در مدل‌سازی مورد توجه قرار داد. هم‌چنین تعیین این‌که کدامیک از متغیرهای اقلیمی مهم‌ترین عامل تشریح‌کننده نحوه توزیع گونه می‌باشند، از مهم‌ترین نقاط قوت این روش می‌باشد (توکلی‌مهر، ۱۳۸۹؛ اکبری‌هارونی، ۱۳۸۷). سپس داده‌های حال را به داده‌های آینده تحت دو سناریوی خفیف و شدید برای سال ۲۰۷۰ تعمیم (Project) داده و با استفاده از نقاط حضور گونه مدل‌سازی برای داده‌های آینده صورت گرفت.

۱- آماده‌سازی داده‌ها برای ورود به نرم‌افزار MaxEnt

الف- نقاط حضور یوزپلنگ در ایران (ده زیستگاه اصلی): امروزه نقاط حضور گونه‌ها از منابع مختلفی مانند موزه‌های گیاهی و جانوری، پژوهش‌های صحرایی، بانک اطلاعاتی (<http://www.gbif.org>; GBIF) تهیه می‌شود و این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان به راحتی به مدل‌های مطلوبیت زیستگاه گونه‌ها که ابزاری مهم برای مدیران حفاظت است، دست یافت. در این پژوهش با کمک محیط‌بانان ده زیستگاه اصلی یوزپلنگ در ایران (موقعیت ردپا و سرگین، مشاهده مستقیم، تصویرهای گرفته شده توسط دوربین و...) نقاط حضور یوز با استفاده از GPS ثبت شد (شکل ۲) تعداد نقاط ثبت شده در حدود ۳۴۵ نقطه بود سپس نقاط بدست آمده در برنامه Microsoft Office Excel ۲۰۰۷ وارد شد بدین‌صورت که در یک ستون نام گونه همراه با طول و عرض جغرافیایی محل حضور در کنار هم ثبت شد (بین هرکدام علامت ویرگول گذاشته می‌شود) و در نهایت با فرمت (comma delimited) csv ذخیره و آماده ورود به نرم‌افزار MaxEnt گردید.

۲- انتخاب، تهیه و آماده‌سازی متغیرهای اقلیمی

در این پژوهش به‌منظور مقایسه تاثیر تغییرات اقلیمی از حال تا آینده بر وسعت و مطلوبیت زیستگاه‌های یوزپلنگ در ایران از ۱۹ متغیر آب و هوایی مستخرج از بانک اطلاعات WoldClim (Hijmans و همکاران، ۲۰۰۵) به‌طور جداگانه، استفاده شد این بانک اطلاعاتی شامل دو دسته داده است:

۱- Current Climate

۲- Future Climate

منطقه مطالعاتی: ایران یک کشور آسیای غربی است که با وسعت ۱۶۴۸۱۹۸ کیلومتر مربع یا ۶۳۶۳۷۵ مایل مربع در منطقه خاورمیانه و نیز آسیای مرکزی و قفقاز واقع شده است و در محدوده ۲۵ درجه و ۳ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و پنج دقیقه الی ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (گیتاشناسی ایران، ۱۳۸۴).

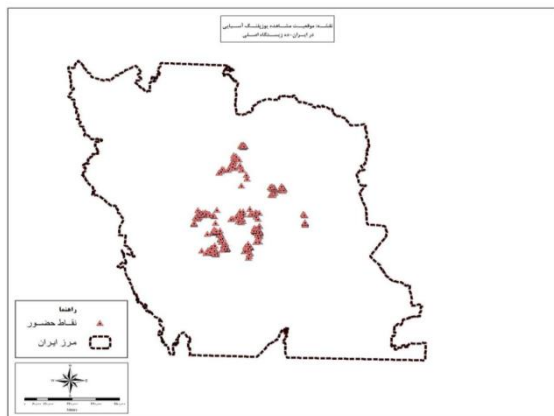
زیستگاه‌های قطعی گونه یوزپلنگ آسیایی در ایران شامل ۱۰ منطقه است که عبارتند از:

- منطقه حفاظت‌شده کوه بافق - استان یزد - شهرستان بافق
 - مجموعه تحت حفاظت توران (پارک ملی و پناهگاه حیات وحش) - استان سمنان - شهرستان شاهرود
 - پناهگاه حیات‌وحش دره انجیر - استان یزد - شهرستان اردکان
 - پناهگاه حیات‌وحش نایبندان - استان خراسان جنوبی - شهرستان طبس
 - پارک ملی کویر - استان سمنان - شهرستان گرمسار
 - پناهگاه حیات‌وحش میان‌دشت - استان خراسان شمالی - شهرستان جاجرم
 - پناهگاه حیات‌وحش عباس‌آباد - استان اصفهان - شهرستان نائین
 - پارک ملی سیاه‌کوه اردکان - استان یزد - شهرستان اردکان
 - منطقه حفاظت‌شده کالمند و بهادران - استان یزد - شهرستان مهریز
 - پناهگاه حیات‌وحش راور - استان کرمان - شهرستان راور (سایت پروژه یوزپلنگ آسیایی، ۱۳۹۳؛ توکلی‌مهر، ۱۳۸۹).
- از لحاظ بزرگی جمعیت یوز در کشور، استان‌های یزد و سمنان در رتبه اول و دوم قرار گرفته‌اند و پس از آن‌ها استان خراسان شمالی قرار دارد (سهرابی‌نیا، ۱۳۸۹).

در این مطالعه از روش حداکثر آنتروپی و نرم‌افزار MAXENT v.۳.۳.۳a برای تهیه مدل مطلوبیت زیستگاه یوز و هم‌چنین نرم‌افزار Arc GIS برای تعیین همبستگی و نیز ساخت لایه‌های اطلاعاتی برای ورود به نرم‌افزار MAXENT استفاده و سپس مدل مطلوبیت زیستگاه یوز با استفاده از نقاط شناخته شده از حضور گونه در سطح کشور و داده‌های اقلیمی (۱۹ پارامتر اقلیمی) برای حال و آینده تهیه شد. الگوریتم حداکثر آنتروپی نوعی رویه مبتنی بر ماشین یادگیری است که به ارزیابی احتمال توزیع مقادیر حداکثر آنتروپی متأثر از محدودیت‌های ناشی از



خفیف (RCP۲/۶) و شدید (RCP۸/۵) تحت مدل CCSM^۱ استفاده شد.



شکل ۲: نقشه نقاط ثبت یوزپلنگ در ده زیستگاه اصلی در ایران

تمام لایه‌های اقلیمی دانلود شده در نرم‌افزار ArcGIS ۹/۳، باز کرده و با کمک این نرم‌افزار مرز کشور (ایران)، را روی هر لایه قرار داده و برش زده شد و از این طریق هر لایه اقلیمی به‌عنوان یک متغیر اقلیمی برای منطقه (ایران) تهیه می‌شود. قبل از انجام تجزیه و تحلیل در نرم‌افزار MaxEnt لازم است، نقشه‌های رستری تهیه شده مورد پردازش اولیه قرار گیرند تا قابلیت روی هم گذاری و تحلیل‌های بعدی را داشته باشند این پردازش عبارتست از:

- **بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها:** روش حداکثر آشفستگی تا حدود زیادی به نرمال بودن و یکسان بودن داده‌های اولیه (مختصات، resolution، ...) حساسیت دارد و عدم رعایت این اصل سبب انحراف از محاسبات صحیح و تولید خروجی‌ها، بی اعتبار خواهد شد بنابراین تمامی نقشه‌ها براساس یک قالب، یکسان سازی می‌شوند و این کار، در نرم‌افزار Arc GIS با استفاده از دستور Spatial Analyst Tools انجام شد و در نهایت فرمت تمام لایه‌های اقلیمی برای ورود به نرم‌افزار مکسنت، به فرمت ascii تبدیل شد.

- **ورود داده‌ها به نرم‌افزار و ارزیابی و اجرای آن:** برای ارزیابی درست از مدل از دو دسته نمونه‌گیری تصادفی از داده حضور استفاده شد Test data یا داده‌های ارزیابی‌کننده و Training data یا داده‌های آموزشی. با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده میزان داده‌های Test ۲۵ تا ۳۰ درصد داده‌های حضور و میزان داده‌های Training ۷۰ تا ۷۵ درصد از داده‌های حضور در نظر می‌گیرند. در این پژوهش، از ۷۰ درصد

که هر دسته شامل ۱۹ متغیر آب و هوایی است. این ۱۹ متغیر شامل:

۱. میانگین دمای سالانه (Annual mean temperature)
۲. میانگین دامنه روزانه (Mean diurnal range)
۳. هم‌گرما (یعنی هم دما بودن، درجه حرارت یکسان داشتن) (Isothermality)
۴. دمای فصلی (Temperature seasonality)
۵. حداکثر دمای گرم‌ترین دوره (Max temperature of warmest period)
۶. حداقل دمای سردترین دوره (Min temperature of coldest period)
۷. دامنه دمای سالانه (Temperature annual range)
۸. میانگین دمای مرطوب‌ترین فصل (Mean temperature of wettest quarter)
۹. میانگین دمای خشک‌ترین فصل (Mean temperature of driest quarter)
۱۰. میانگین دمای گرم‌ترین فصل (Mean temperature of warmest quarter)
۱۱. میانگین دمای سردترین فصل (Mean temperature of coldest quarter)
۱۲. میزان بارش سالانه (Annual precipitation)
۱۳. میزان بارش مرطوب‌ترین دوره (Precipitation of wettest period)
۱۴. میزان بارش خشک‌ترین دوره (Precipitation of driest period)
۱۵. میزان بارش فصلی (Precipitation seasonality)
۱۶. میزان بارش مرطوب‌ترین فصل (Precipitation of wettest quarter)
۱۷. میزان بارش خشک‌ترین فصل (Precipitation of driest quarter)
۱۸. میزان بارش گرم‌ترین فصل (Precipitation of warmest quarter)
۱۹. میزان بارش سردترین فصل (Precipitation of coldest quarter)

متغیرهای اقلیمی برای بارسازی وضعیت آب و هوایی کنونی کره زمین حاصل از درون‌یابی موقعیت جغرافیایی تمامی ایستگاه‌های هواشناسی سطح کره زمین بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. از سوی دیگر برای پیش‌بینی وضعیت آب و هوایی کره زمین در سال ۲۰۷۰ (میانگین سال‌های ۲۰۶۰ تا ۲۰۸۰). برای مدل‌سازی میزان تغییرات وسعت و مطلوبیت زیستگاه‌های بالقوه یوزپلنگ در آینده از دو سناریوی

^۱The Community Climate System Model

($p < 0.001$) قدرت پیش‌بینی بسیار خوبی را برای پیش‌بینی حضور قوچ و میش ارائه نموده است.

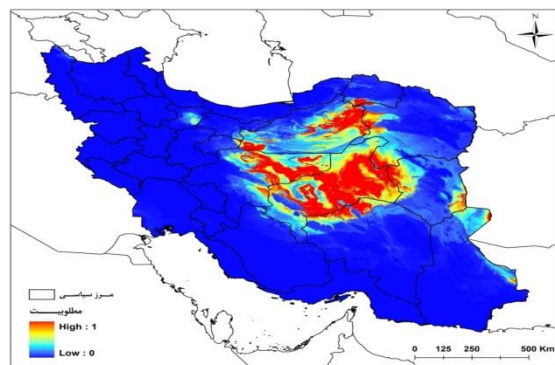
جدول ۱: مقادیر AUC برای داده‌های Test و Training در هر سناریو

فصل	AUC داده‌های آموزشی	AUC داده‌های ارزیابی کننده
سناریوی خفیف (RCP۲/۶)	۰/۹۹۵	۰/۹۵۷
سناریوی شدید (RCP ۸/۵)	۰/۹۷۰	۰/۹۵۵

مدل‌های پیش‌بینی زیستگاه‌های بالقوه مطلوب با

استفاده از داده‌های اقلیمی حاضر و آینده (خفیف و شدید):

خروجی نرم‌افزار MaxEnt برای نمایش مطلوبیت زیستگاه یک گونه، برای هر سه دسته داده اقلیمی سه نقشه رستری پیوسته با مقادیر بین ۰-۱ می‌باشد (اشکال ۳، ۴ و ۵). در این نقشه‌ها جاهایی که خیلی مطلوب است و احتمال حضور یوزپلنگ زیاد است و زیستگاه مطلوب با توجه به داده‌های اقلیمی شناخته شده و از نظر اقلیمی شرایط مساعد و خیلی خوب را دارا می‌باشد به رنگ قرمز نشان داده شده است (نواحی مطلوب شامل نواحی می‌شود که دارای بهترین شرایط اقلیمی مورد استفاده برای یوزپلنگ‌ها بوده یا بطور بالقوه قابلیت زندگی یوزپلنگ‌ها در آن‌ها وجود داشته است.) و جاهایی که احتمال حضور گونه یوزپلنگ صفر است و از نظر پارامترهای اقلیمی شرایط مساعدی ندارد با رنگ آبی نشان داده شده است. نهایتاً خروجی MaxEnt در هر مدل‌سازی یک فایل ASCII بود به یک فایل رستر در نرم‌افزار ArcGIS ۹/۳ تبدیل شد و بر اساس آستانه تفکیک به سه طبقه (نامطلوب، نیمه مطلوب، مطلوب) تقسیم شد (اشکال ۶، ۷، ۸).



شکل ۳: نقشه مناطق دارای پتانسیل بالقوه برای حضور یوز در ایران با توجه به داده‌های اقلیمی حال

نقاط حضور به صورت تصادفی برای ساخت مدل و از ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی نتایج مدل استفاده شد هم‌چنین برای نمونه‌برداری تصادفی از روش CrossValidation (نمونه‌برداری بدون جایگزینی نمونه‌های برداشت شده) و ده بار تکرار برای هر مدل‌سازی استفاده شد. اجرای مدل به‌طور کلی شامل:

Cheetah.html: اصلی‌ترین فایل خروجی می‌باشد که شامل محاسبات آماری، نقشه‌ها، تصویر مدل و لینک فایل‌های دیگر می‌باشد. هم‌چنین شامل پارامترها و تنظیماتی است که برای اجرا کردن مدل استفاده شده است.

Cheetah.asc: شامل نقشه پیش‌بینی با فرمت ascii

Cheetah.png: تصویر پیش‌بینی توزیع

دایرکتوری Plot: شامل نقشه‌های مختلف و نمودارها برای چاپ و استفاده در گزارش‌ها

-**ارزیابی عملکرد مدل**: در نرم‌افزار MAXENT برای ارزیابی عملکرد مدل امکان محاسبه سطح زیر منحنی ROC^۱ وجود دارد. این منحنی به صورت نموداری ارائه می‌شود که در آن محور عمودی نشان‌دهنده حساسیت^۲ (مثبت واقعی) و محور افقی نشان‌دهنده ویژگی^۳ (مثبت کاذب) است. سطح زیر منحنی^۴ (AUC) ایجاد شده توسط مقادیر حساسیت و ویژگی، یک شاخص کمی برای نمایش کارایی و قدرت پیش‌بینی مدل است دامنه مقادیر مختلف سطح زیر منحنی بین ۰/۵ (پیش‌بینی تصادفی) تا حداکثر ۱ (پیش‌بینی کاملاً صحیح) می‌باشد (Phillips و همکاران، ۲۰۰۶؛ Fielding و Bell، ۱۹۹۷).

نتایج

-**AUC (سطح زیر منحنی)**: راهی است که از طریق آن

می‌توان مدل را ارزیابی کرد. ۰/۵ کم‌ترین میزانی است که AUC می‌تواند داشته باشد هرچه AUC به یک نزدیک‌تر باشد و فاصله خطوط قرمز و آبی (AUC داده‌های آموزشی و AUC داده‌های ارزیابی کننده) از خط سیاه بیش‌تر باشد مدل بهتری به دست می‌آید. نتایج نشان می‌دهد بهترین مدل برای پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه یوزپلنگ با استفاده از داده‌های اقلیمی مربوط به سناریوی خفیف بوده است (AUC = ۰/۹۹۵) مقادیر سطح زیر منحنی برای ۲ سناریو بزرگ‌تر از ۰/۸ است که در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد بر این اساس، الگوریتم حداکثر آنتروپی به‌طور معنی‌داری

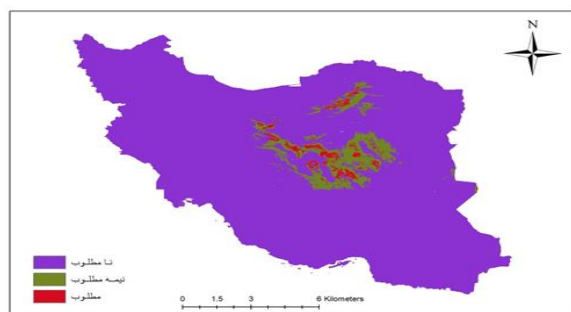
^۳ - Specificity

^۴ - Area Under Curve

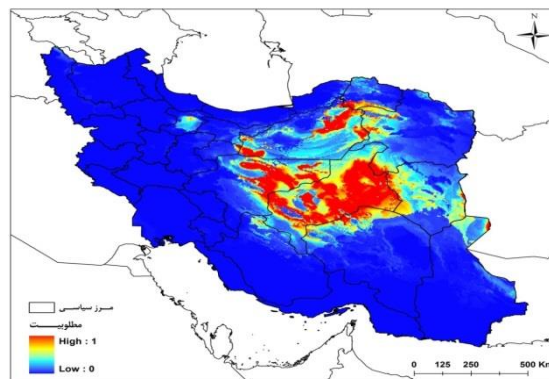
^۱ - Receiver Operating Characteristic

^۲ - Sensitivity

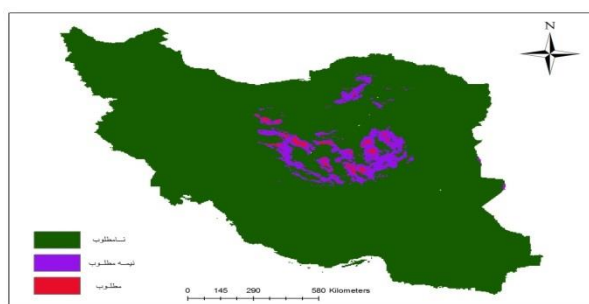




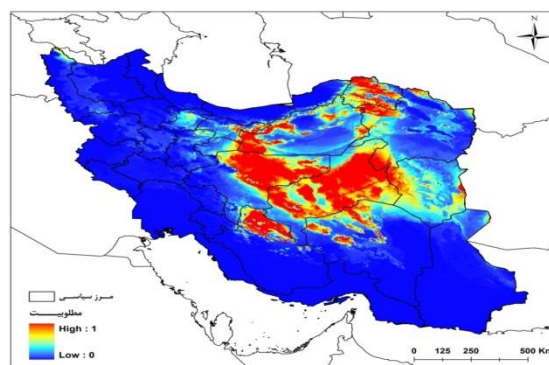
شکل ۶: نقشه طبقه‌بندی شده مناطق داری پتانسیل بالقوه برای حضور یوز در ایران با توجه به داده‌های اقلیمی حال



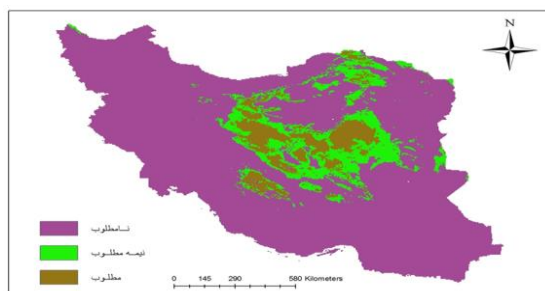
شکل ۴: نقشه مناطق داری پتانسیل بالقوه برای حضور یوز در ایران با توجه به داده‌های اقلیمی آینده (سناریو خفیف)



شکل ۷: نقشه طبقه‌بندی شده مناطق داری پتانسیل بالقوه برای حضور یوز در ایران با توجه به داده‌های اقلیمی آینده (سناریو خفیف)



شکل ۵: نقشه مناطق داری پتانسیل بالقوه برای حضور یوز در ایران با توجه به داده‌های اقلیمی آینده (سناریو شدید)



شکل ۸: نقشه طبقه‌بندی شده مناطق داری پتانسیل بالقوه برای حضور یوز در ایران با توجه به داده‌های اقلیمی آینده (سناریو شدید)

مساحت طبقات مطلوب در هر نقشه نسبت به مساحت کل کشور به‌دست آمد که در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: وسعت زیستگاه‌های مطلوب، گونه در حال حاضر و آینده نسبت به مساحت کل کشور

ردیف	زیستگاه‌ها	مساحت به درصد
۱	زیستگاه‌های مطلوب در حال حاضر نسبت به کل کشور	۱/۵۷
۲	زیستگاه‌های مطلوب در سال ۲۰۷۰ (RCP۲/۵) نسبت به کل کشور	۰/۳
۳	زیستگاه‌های مطلوب در سال ۲۰۷۰ (RCP۸/۵) نسبت به کل کشور	۰/۰۳

بحث

مدل‌سازی برای زیستگاه و تهیه نقشه مطلوبیت آن، یکی از راه‌های کسب اطلاعات و به‌دست آوردن شناخت از فعالیت و رفتار، انتخاب زیستگاه و نوع عملکرد گونه در آن زیستگاه می‌باشد در واقع با مشخص شدن زیستگاه‌های مطلوب و منابع جذب و دفع گونه و تعیین عوامل مطلوب و نامطلوب در حضور و پراکنش گونه



راستای شناسایی و معرفی زیستگاه‌های بالقوه به منظور معرفی گونه‌ها کاربرد مهمی را ارائه نماید. از سوی دیگر زیستگاه مطلوب تاثیر به‌سزایی بر بقا و تولیدمثل گونه دارد (امیدی و همکاران، ۱۳۸۹).

Brito و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای بر روی ۵ گربه‌سان آفریقای شمالی بابه‌کارگیری ۱۶ عامل محیطی از جمله فاکتورهای توپوگرافی (شیب)، فاکتورهای اقلیمی (دامنه دمای سالانه، حداقل دما در سردترین ماه سال، حداکثر دما در سردترین ماه سال، بارندگی سالانه، بارندگی در مرطوب‌ترین ماه سال) و فاکتورهای زیستگاهی (فاصله تا جنگل‌های همیشه سبز، فاصله تا جنگل‌های خزان‌کننده، فاصله تا بوته‌زارها، فاصله تا چمن‌زارها، فاصله تا گندم‌زارها، فاصله تا بیابان‌های شنی و تپه‌های شنی، فاصله تا صخره‌های عاری از پوشش) توسط نرم‌افزار مکسنت به این نتیجه دست یافتند که زیستگاه مناسب برای شغال آفریقای شمالی عمدتاً متفاوتند: احتمال حضور برای *Canis aureus* در نواحی حاشیه صحرا و کوه‌ها شناسایی شد. برای *Vulpes pallida* در یک نوار باریک در امتداد ساحل و در کوه‌های جنوب صحرا، *Vulpes rueppellii* در سراسر صحرای بزرگ آفریقا، برای *vulpes* در آفریقای شمالی تا حد شمالی صحرای بزرگ آفریقا، و برای *Vulpes zerda* تقریباً در تمام صحرا می‌باشد.

در حال حاضر تلاش‌های زیادی برای توسعه روش‌ها و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده اثرات بالقوه تغییرات اقلیمی آینده بر روی تنوع زیستی در حال انجام است و سناریوهای متعددی برای برای نحوه تغییر اقلیم آینده ارائه شده است این در حالی است که مطالعات پایش و ثبت تغییرات اقلیمی بر روی تنوع زیستی در ایران بسیار کم‌رنگ است که باید تقویت شوند.

منابع

۱. اکبری‌هارونی، ح.؛ بهروزی‌راد، ب. و حسن‌زاده‌کیابی، ب.، ۱۳۸۷. بررسی مطلوبیت زیستگاه آهو در منطقه حفاظت شده کالمنند- بهادران استان یزد. مجله محیط‌شناسی. سال ۳۴، شماره ۲، صفحات ۱۱۳ تا ۱۱۸.
۲. پروژه حفاظت از یوزپلنگ آسیایی و زیست بوم‌های مرتبط با آن، ۱۳۸۷. گزارش عملکرد و دستاوردها شهریور ۱۳۸۰ لغایت شهریور ۱۳۸۷. صفحات ۵، ۶، ۱۳، ۷۹.
۳. توکلی‌مهر، ش. و دیباج، م.، ۱۳۸۹. زیستگاه‌های یوزپلنگ آسیایی در ایران پارک ملی و پناهگاه حیات‌وحش و منطقه حفاظت شده توران. جلد سوم، برگ زیتون. تهران. صفحات ۷۰، ۷۲، ۷۳.

در یک زیستگاه می‌توان برنامه‌های حفاظتی و حمایتی ویژه‌ای را مناسب با عملکرد آن گونه در آن زیستگاه برای حفاظت از گونه مورد نظر و مدیریت زیستگاه آن طراحی نمود.

هم‌چنین با استفاده از نرم‌افزار مکسنت به منظور بارزسازی اثر تغییرات اقلیمی بر وسعت و مطلوبیت زیستگاه‌های یوزپلنگ از حال تا آینده (سال ۲۰۷۰) در سطح کشور مدل‌سازی شد. نتایج ارزیابی مطلوبیت براساس سناریوهای تغییر اقلیم و ۱۹ متغیر آب و هوایی برای دو دوره زمانی حال و آینده نشان داد میزان بارش در سردترین فصل سال، مهم‌ترین متغیر آب و هوایی برای پیش‌بینی حضور گونه است. مساحت زیستگاه‌های مطلوب در فضای ArcGIS ۹/۳ برای هر مدل محاسبه گردید نتایج حاصل نشان داد مساحت زیستگاه‌های مطلوب برای یوزپلنگ‌ها در شرایط کنونی در حدود ۱/۵۷ درصد وسعت ایران است و برای زیست گونه مطلوب است (شکل ۳) در حالی که این مقدار برای سال ۲۰۷۰، تحت سناریوی تغییرات آب و هوایی خفیف (RCP۲/۶) به ۰/۳ درصد (شکل ۴) و تحت سناریوی تغییرات شدید آب و هوایی (RCP۸/۵) به ۰/۰۳ درصد (شکل ۵) مساحت کل کشور می‌رسد که نشان‌دهنده کاهش سطح زیستگاه‌های مطلوب یوزپلنگ در سطح کشور خواهد بود. تغییرات آب و هوایی سبب می‌شود بخش عمده‌ای از مطلوبیت زیستگاه‌های یوزپلنگ در کشور از دست رود. هم‌چنین ادامه این روند در آینده، سبب قطع ارتباط بین لکه‌های زیستگاهی بزرگ در بین زیستگاه‌ها در سطح کشور خواهد شد و این درحالی است که سایر تهدیدها از جمله تخریب زیستگاه‌ها باعث تشدید اثرات مخرب تغییرات اقلیمی می‌شوند (Nagelkerke و Alkemade، ۲۰۰۳). این یافته‌ها می‌تواند به‌عنوان هشدار جدی برای تغییرات اقلیمی کره زمین و اثر آن بر تنوع زیستی به ویژه گونه‌های در خطر انقراض مثل یوزپلنگ آسیایی تلقی گردد. تعیین وضعیت پراکنش گونه‌های حیات‌وحش و وضعیت زیستگاه‌های تحت اشغال آن‌ها از اهمیت به‌سزایی در مدیریت حیات‌وحش و زیستگاه‌ها برخوردار می‌باشد. اما مطالعه گونه‌ای از حیات‌وحش در مقیاس وسیع، با توجه به فاکتورهای زمان و بودجه قابل دسترس، امری دشوار و در بسیاری از موارد غیرممکن است. لذا روش‌های مدل‌سازی زیستگاه که از سال ۱۹۷۰ تا کنون به‌سرعت در مدیریت حیات‌وحش مورد استفاده قرار گرفته، ابزاری مناسب برای غلبه بر این مشکل معرفی شده است به‌عبارت دیگر بارش‌های مدل‌سازی زیستگاه می‌توان به یک تخمین در مقیاس وسیع از مطلوبیت زیستگاه گونه‌های حیات‌وحش، بدون نیاز به جمع‌آوری اطلاعات از جزئیات ویژگی‌های فیزیولوژی و رفتار گونه دست یافت. هم‌چنین مدل‌سازی زیستگاه می‌تواند در



۴. سهرابی‌نیا، ص. و حسینی‌زواره‌ای، ف.، ۱۳۸۹. زیستگاه‌های یوزپلنگ آسیایی در ایران منطقه حفاظت شده کوه بافق. جلد دوم. برگ زیتون. تهران. صفحات ۶، ۱۲.
۵. زمانی، ن.، ۱۳۸۹. بررسی و مقایسه عادات غذایی یوزپلنگ آسیایی در دو پناهگاه حیات‌وحش نایبندان و دره انجیر در استان یزد. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه تهران. ۶۸ صفحه.
۶. ضیایی، ه.، ۱۳۸۷. راهنمای صحرایی پستانداران ایران. چاپ دوم. کانون آشنایی با حیات‌وحش. تهران. صفحات ۸۳، ۲۵۰، ۲۹۸، ۳۰۰، ۳۲۱، ۳۲۲، ۳۲۳.
۷. فرهادی‌نیا، ص.، ۱۳۷۸. تولیدمثل یوزپلنگ. فصلنامه محیط زیست. سال ۲۸، صفحات ۲ تا ۱۱.
۸. گیتاشناسی ایران، ۱۳۸۴. دایره المعارف جغرافیای ایران. جلد سوم، موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی. ۱۹۷ صفحه.
۹. کفاش، ا.؛ یوسفی، م.؛ احمدی، م.؛ کهلر، گ. و کابلی، م.، ۱۳۹۲. پیش‌بینی اثر تغییرات اقلیمی بر خزندگان مناطق بیابانی ایران (مطالعه موردی: سوسمار دم‌تیغی بین‌النهرین *Saara loricata*). سومین کنفرانس بین‌المللی برنامه و مدیریت محیط زیست. دانشگاه تهران.
۱۰. مجنونیان، ه.، ۱۳۷۹. مناطق حفاظت شده ایران. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست. ۲۳۶ صفحه.
۱۱. مجنونیان، ه.؛ حسن‌زاده‌کیابی، ب. و دانش، م.، ۱۳۸۴. جغرافیای جانوران ایران. جلد دوم. دایره سبز. ۳۷۱ صفحه.
۱۲. Anderson, R.P.; Lew, D. and Townsend Peterson, A., ۲۰۰۳. Evaluating predictive models of species distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*. Vol. ۱۶۲, pp: ۲۱۱-۲۲۲.
۱۳. Ballard, C.; Bertelsmeier, C.; Leadley, P.; Thuiller, W. and Courchamp, F., ۲۰۱۲. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*. Vol. ۱۵, No. ۴, pp: ۳۶۵-۳۷۷.
۱۴. Brito, J.C.; Acosta, A.L.; Ivaes, F.A. and Cuzin, F., ۲۰۰۹. Biogeography and conservation of taxa from remote regions: an application of ecological-niche based models and GIS to North-African Canids. *Biol. Conserv.* Vol. ۱۲۲, pp: ۳۰۲۰-۳۰۲۹
۱۵. Dawson, T.P.; Jackson, S.T.; House, J.I.; Prentice, I.C. and Mace, G.M., ۲۰۱۱. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science*. Vol. ۳۲۲, pp: ۵۳-۵۸.
۱۶. Dillon, M.E.; Wang, G. and Huey, R.B., ۲۰۱۰. Global metabolic impacts of recent climate warming. *Nature*. Vol. ۴۶۷, pp: ۷۰۴-۷۰۶
۱۷. Elith, J.; Phillips, S.J.; Hastie, T.; Dudík, M.; Chee, Y.E. and Yates, C.J., ۲۰۱۱. A statistical explanation of maxent for ecologists. *Divers. Distrib.* Vol. ۱۷, pp: ۴۳-۵۷.
۱۸. Fielding, A.H. and Bell, J.F., ۱۹۹۷. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*. Vol. ۲۴, pp: ۳۸-۴۹.
۱۹. Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G. and Jarvis, A., ۲۰۰۵. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. Vol. ۲۵, pp: ۱۹۶۵-۱۹۷۸.
۲۰. Hunter, L.; Jowkar, H.; Ziaie, H.; Schaller, G.; Balme, G.; Walzer, C.; Ostrowski, S.; Zahler, P.; Robert-Charrue, N.; Kashiri, K. and Christie, S., ۲۰۰۷. Conserving the Asiatic cheetah in Iran: Launching the first radio-telemetry study. *Cat News*. Vol. ۴۶, pp: ۸-۱۱.
۲۱. Kumar, S. and Stohlgren, T.J., ۲۰۰۹. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment*. Vol. ۱, No. ۴, pp: ۹۴-۹۸.
۲۲. Mack, E.L.; Firbank, L.G.; Bellary, P.E.; Hinsley, S.A. and Veitch, N., ۱۹۹۷. The comparison of remotely sensed and ground-based habitat area data using species-area models. *Applied Ecology*. Vol. ۳۴, pp: ۱۲۲۲-۱۲۲۸.
۲۳. Nagelkerke, C. and Alkemade, J., ۲۰۰۳. Modelling the effect of climate change on species ranges. *De Levende Natuur*. Vol. ۱۰۴, pp: ۱۱۴-۱۱۸.
۲۴. Omid, M.; Kaboli, M.; Karami, M.; Salman Mahini, A. and Hasanzadeh Kiabi, B., ۲۰۱۰. Habitat suitability modelin of *Panthera pardus saxicolor* by ENFA in Kolahghazi. *Journal of Environment Sience and Technology*. Vol. ۱۲, No. ۱, pp: ۱۳۷-۱۴۸
۲۵. Pereira, H.M.; Leadley, P.W.; Proenca, V.; Alkemade, R.; Scharlemann, J.P.W. and Fernandez Manjarres, J.F., ۲۰۱۰. Scenarios for global biodiversity in the ۲۱st century. *Science*. Vol. ۳۳۰, pp: ۱۴۹۶-۱۵۰۱.
۲۶. Phillips, S.J.; Anderson, R.P. and Schapire, R.E., ۲۰۰۶. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* Vol. ۱۹۰, pp: ۲۳۱-۲۵۹.
۲۷. Weber, T.C. and Schwartz, M., ۲۰۱۱. Maximum entropy habitat modeling of four endangered mussels in the Ohio river basin, USA. *Journal of Conservatuon Planning*. Vol. ۷, pp: ۱۳-۲۶.
۲۸. Williams, S.E.; Bolitho, E.E. and Fox, S., ۲۰۰۲. Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *Proc. R. Soc. Lond.* Vol. B۲۷۰, pp: ۱۸۸۷-۱۸۹۲.

