فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷

۴۷-۶۲

ارزیابی مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی (*Crocodylus palustris* Lesson, 1831) به روش حداکثر بی‌نظمی

اصغر مبارکی[۱]، ملیحه عرفانی[۲]*، الهام آبتین[۳] و فرهاد عطایی[۴]

[۱] بخش محیط زیست طبیعی، اداره کل حفاظت و مدیریت شکار و صید، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

[۲] گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۳] بخش محیط زیست طبیعی، اداره کل حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

[۴] دانشکده محیط زیست، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۹

مبارکی، ا. ، م. عرفانی، ا. آبتین و ف. عطایی.۱۳۹۷. ارزیابی مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی (Crocodylus palustris Lesson, 1831) به روش حداکثر بی‌نظمی. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶(۴): ۶۲-۴۷.

سابقه و هدف: تمساح مردابی یکی از گونه‌های آسیب‌پذیر در رده‌بندی اخیر IUCN است که در اکثر گستره پراکنش آن به دلیل تهدیدهای انسانی با کاهش جمعیت و حذف جمعیت‌های محلی روبه‌رو شده است. امروزه توجه به مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع گونه در مطالعات زیست‌شناسی حفاظت و بوم‌شناختی رو به افزایش است، با این حال تا کنون برای این گونه چنین مطالعاتی در ایران صورت نگرفته است، بنابراین این مطالعه با هدف بررسی مطلوبیت زیستگاه تمساح انجام شد.

مواد و روش‌ها: حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های سرباز و کاجو در منطقه مکران غربی‌ترین بخش حوزه پراکنش تمساح مردابی است که در جنوب استان سیستان و بلوچستان واقع است. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی در این منطقه به روش حداکثر بی‌نظمی انجام شد. فاکتورهای محیط‌زیستی شامل ارتفاع، شاخص پوشش‌گیاهی NDVI[1] ، دما، بارندگی، فاصله از سکونت‌گاه‌های شهری، سکونت‌گاه‌های روستایی، جاده و رودخانه‌ها بود. برای حذف متغیرهای با همبستگی بالا (۰/۷۰<) از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد و با استفاده از شاخصMoran (Levine, 2004) از نبود وجود همبستگی مکانی میان داده‌های حضور گونه اطمینان حاصل شد. حساسیت‌سنجی و بررسی اهمیت نسبی هر یک از متغیرها با کمک درصد سهم مشارکت و اهمیت هر متغیر، منحنی‌های پاسخ متغیرها به روش جک‌نایف محاسبه شد. حد آستانه برای طبقه‌بندی منطقه‌های مطلوب بر اساس میزان آموزش بیشترین حساسیت به‌علاوه ویژگی (MTSS) و آموزش برابر حساسیت و ویژگی (ETSS) انجام شد.

نتایج و بحث: میزان مربوط به سطح زیرمنحنی ROC بیشتر از ۰/۸۰ بود که کارایی عالی مدل را نشان می‌دهد. بر اساس درصد سهم مشارکت، اهمیت نسبی و نتیجه آزمون جک نایف، مهم‌ترین متغیرهای زیستگاهی، فاصله از رودخانه، دما و ارتفاع از سطح دریا شناسائی شدند. میزان آستانه‌ای ETSS و MTSS به ترتیب ۰/۱۸ و ۰/۵۲ به‌دست آمد که بر اساس این آستانه‌ها نقشه مطلوبیت زیستگاه به دو طبقه

* Corresponding Author. *E-mail Address*: maliheerfani@uoz.ac.ir

مطلوب و نامطلوب طبقه‌بندی و به ترتیب مساحت منطقه مطلوب ۱۶۲۹ و ۳۱۲ کیلومتر مربع برآورد شد. مقایسه آستانه‌های مورد نظر در طبقه‌بندی نشان داد که MTSS از درستی بالاتری برخوردار است. با توجه به اینکه بخش عمده منطقه مطلوب زیستگاهی خارج از منطقه حفاظت شده گاندو قرار دارد، به عنوان پیشنهاد مدیریتی برای حفاظت این گونه اصلاح مرز و افزایش محدوده‌ی منطقه حفاظت شده مطرح می‌شود. بررسی اثرهای سدها بر مطلوبیت زیستگاه تمساح نشان داد که سدها سبب افزایش مطلوبیت زیستگاه شده‌اند، ولی باید توجه داشت که اگر چه احداث سدها موجب تامین زیستگاه و منبع‌های غذایی شده و از این رو دارای کارکردهای مثبت هستند ولی تاثیرپذیری‌های منفی مانند از بین‌رفتن و کاهش محل‌های مناسب تخم‌گذاری و کاهش میزان موفقیت تولیدمثل گونه را نیز موجب می‌شوند. همچنین تکه‌تکه بودن لکه‌های مطلوب زیستگاه به‌دست‌آمده در این تحقیق و وجود رفتار مهاجرت در این گونه نشان داد که راهروهای ارتباطی را نیز باید مورد توجه قرار داد و برنامه‌های حفاظتی برای آن‌ها نیز درنظرگرفت.

نتیجه‌گیری: از آنجائیکه فاصله از رودخانه به عنوان مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده مطلوبیت زیستگاه تمساح، تحت تاثیر نوسانان‌های شرایط اقلیمی و وجود آب قرار دارد، تضاد بین این گونه با بومیان (آب و غذا) و همین طور رفتار مهاجرت گونه از طریق کریدورهای ارتباطی بین لکه‌های زیستگاهی جدا از هم ادامه خواهد داشت که در فصل‌های گرم سال و شرایط خشکسالی شدیدتر نیز خواهد شد. بنابراین علاوه‌بر تجدید نظر در وسعت منطقه حفاظتی و نگهداری راهروهای ارتباطی بین زیستگاه‌ها، افزایش پایش گونه، آموزش و همکاری جوامع بومی و محلی در امر حفاظت ضروری خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: متغیرهای محیط‌زیستی، ناحیه مکران، مدل‌سازی، تمساح مردابی، احتمال مطلوبیت زیستگاه.

مقدمه

تمساح مردابی (در ایران معروف به تمساح پوزه کوتاه و با نام محلی گاندو) یکی از ۲۳ گونه خانواده تمساح‌ها است که در دوران مزوزوئیک ظهور یافته‌اند. امروزه تعدادی از این گونه‌ها به واسطه فعالیت‌های انسانی از جمله تخریب زیستگاه و برداشت بی‌رویه (شکار) با تهدید روبرو هستند. این گونه‌ها با شکار انتخابی کمک به چرخه مجدد مواد غذایی و از بین بردن جانوران بیمار و ضعیف به عنوان یک گونه کلیدی یا سنگ سرطاق نقش تاثیرگذاری در محیط زیست خود دارند و سبب حفظ ساختار و عملکرد اکوسیستم خود می‌شوند (Abtin and Mobaraki, 2016). این گونه در منطقه‌های وسیعی از ایالت آسام در شرق هند تا سریلانکا و نواحی رودخانه سرباز و کاجو در جنوب شرق ایران که غربی‌ترین محدوده پراکنش آن محسوب می‌شود پراکنش دارد (Whitaker and Whitaker, 1984). جمعیت‌های این گونه به جز در بخش‌هایی از سریلانکا، پاکستان، هند و ایران از بین رفته‌اند. این گونه بر اساس آخرین طبقه‌بندی اتحادیه جهانی حفاظت (IUCN) در رده آسیب‌پذیر طبقه‌بندی شده است. همچنین در پیوست CITES I نیز می‌باشد (Choudhury and de Silva 2013).

مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده تمساح مردابی آلودگی آب، تخریب زیستگاه، رسوب‌گذاری، کاهش ذخیره غذایی، جمع‌آوری تخم‌ها، تغییرپذیری‌های فصلی سطح آب و شکار (Bhatt *et al*., 2012; Chang *et al*., 2013; Chang *et al*., 2015) بیان شده است.

امروزه توجه به مدل‌سازی پیش‌بینی توزیع گونه در بررسی‌های زیست‌شناسی حفاظت و بوم‌شناختی رو به افزایش است. این گونه مدل‌سازی‌ها در تلاش هستند تا به سوال‌های جغرافیای زیستی[۲] و تکاملی، نمایه‌های زیست‌شناختی، اثر گرمایش جهانی در توزیع گونه‌ها و گسترش تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظتی پاسخ دهند (Jimenez-Valverde and Lobo, 2007).

مدل‌های مختلف پیش‌بینی در دو دسته کلی قرار دارند: مدل‌هایی که نیاز به داده‌های حضور دارند (Elith *et al*., 2006) و مدل‌هایی که علاوه بر داده‌های حضور، از داده های نبود حضور نیز استفاده می‌کنند (Guisan and Zimmermann, 2000). مدل‌هایی که تنها با داده‌های حضور کار می‌کنند، پراکنش بالقوه گونه را بیشتر از حد واقعی نشان می‌دهند و مدل‌هایی که داده‌های نبود حضور را دخیل

می‌کنند با مشکل قابل اعتماد بودن داده‌های نبود حضور مواجه هستند، بنابراین مدل‌هایی که تنها از داده‌های حضور استفاده می‌کنند همچنان مورد توجه هستند (Lobo *et al.*, 2006). Maxent یا حداکثر بی‌نظمی یکی از روش‌های متداول ارزیابی مطلوبیت زیستگاه و مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی است که از داده‌های حضور استفاده می‌کند (Elith *et al.*, 2011) و دلیل محبوبیت آن درستی بالای نتایج و استفاده آسان از آن است (Merow *et al.*, 2013; Phillips and Dudık, 2008). این الگوریتم امکان مدل‌سازی با تعداد داده‌های حضور کمتر را فراهم می‌آورد و به اندازه نمونه کم حساسیت کمتری دارد. مدل‌سازی حداکثر بی‌نظمی از نوع مدل‌های موسوم به یادگیری ماشین است که نسبت سهم هر متغیر، میزان‌هایی از میانگین همه متغیرهای موجود در مدل است و دقت هر یک از میزان‌ها با انحراف معیار آن گزارش می‌شود. همچنین خروجی پیش‌بینی مدل نشان‌دهنده وضعیت استاتیک مطلوبیت زیستگاه است تا وضعیت دینامیک آن (Duan *et al.*, 2014). در این روش نمودار ROC[3] به منظور ارزیابی درستی مدل پیش‌بینی شده استفاده می‌شود. سطح زیر این منحنی (AUC[4]) نیز نشان‌دهنده‌ی احتمال قدرت تشخیص نقاط حضور از نقاط غیر حضور در مدل است (Phillips *et al.*, 2006).

مطالعات انجام شده بر روی مطلوبیت زیستگاه کروکودیل مردابی در ایران و برخی از کشورها شامل مطالعات اندکی است که توسط تعدادی معدود از پژوهشگران انجام شده است. مطلوبیت زیستگاه به روش HEP[5] توسط Abtin (2012) نشان داد که مهم‌ترین عوامل در تعیین مطلوبیت زیستگاه کروکودیل مردابی در ده برکه در امتداد رودخانه سرباز عمق دو تا چهار متری آب، پوشش گیاهی ۲۵ تا ۳۵ درصدی و تراکم بالای ماهیان و دوزیستان است. در پژوهشی (Jimenez-Valverde and Lobo, 2007) چهار آستانه مختلف را برای طبقه‌بندی نقشه احتمال حضور گونه با طبقه‌های حضور و نبود حضور بر اساس داده‌های واقعی مورد مقایسه قرار دادند. بر اساس نتیجه‌های آن‌ها آستانه حداقل‌کننده اختلاف حساسیت- ویژگی[6] و حداکثرکننده جمع حساسیت- ویژگی[7] موجب درستی بالاتر نتیجه طبقه‌بندی نقشه مطلوبیت زیستگاه می‌شوند. Guillera-Arroita *et al.* (2015) نیز در زمینه تعیین آستانه‌ها برای طبقه‌بندی هشدار داده‌اند و بیان کردند که اگرچه طبقه‌بندی نقشه مطلوبیت به‌دست آمده بطور معمول طبقه‌بندی می‌شود، ولی این طبقه‌بندی به ندرت با هدف‌های کاربردی هم‌راستا است و بطور معمول موجب نتیجه‌گیری ضعیف می‌شود. Liu *et al.*, (2016) در مطالعه خود دو آستانه متداول حداکثرکننده جمع حساسیت- ویژگی و حداکثرکردن F_{pb} را برای طبقه‌بندی نقشه مطلوبیت به کار گرفتند. آن‌ها برای این مقایسه از داده‌های مربوط به شش گونه در جنوب شرق استرالیا استفاده کردند و دریافتند که آستانه حداکثرکردن F_{pb} آستانه‌های متفاوتی را وقتی که از داده‌ها با نسبت‌های متفاوت تعداد داده‌های حضور به تعداد نقاط تصادفی نبود حضور استفاده می‌شود، انتخاب می‌کند، حال آنکه حداکثرکننده جمع حساسیت ویژگی همواره آستانه‌های مشابهی برای هر دو نوع مدل‌هایی که نیاز به داده‌های حضور و نبود حضور و مدل‌هایی که تنها نیاز به داده‌های حضور دارند انتخاب می‌کند.

مکان‌یابی زیستگاه‌های مطلوب تمساح در مدیریت آن از جمله دانستن وضعیت مطلوبیت زیستگاه‌های کنونی و چگونه افزایش مطلوبیت آن و یا معرفی زیستگاه جدید می‌تواند موثر باشد. بنابراین، این تحقیق با هدف مشخص کردن مهم‌ترین عوامل موثر بر پراکنش این گونه و تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه با استفاده از مهم‌ترین متغیرهای محیطی موثر بر پراکنش آن انجام شد. بنابراین سوال‌های اصلی این پژوهش عبارتند از:

- مهم ترین متغیرهای محیط زیستی موثر بر پراکنش تمساح کدام است؟
- مکان‌های با احتمال مطلوبیت بالا برای تمساح در کجا واقع شده‌اند؟

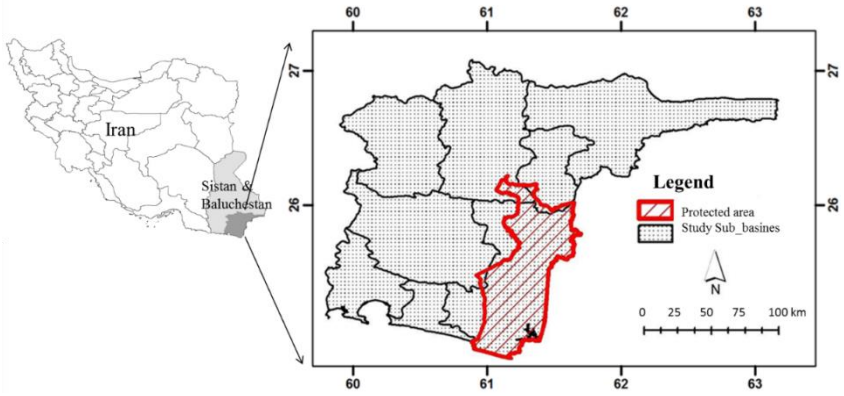
مواد و روش‌ها

ویژگی‌های زیست‌شناختی و بوم‌شناختی گونه تمساح مردابی

گونه مورد بررسی تمساح پوزه کوتاه یا مردابی است که متعلق به خانواده تمساح‌ها، زیرخانواده تمساحیان و جنس تمساح (*Crocodylus*) است. این گونه در اقلیم حاره و زیرحاره زیست می‌کند. مدت انکوباسیون تخم تمساح پوزه کوتاه، موفقیت زادآوری و نسبت جنسی نوزادان به شدت تاثیرپذیر است شرایط آب و هوایی و بویژه دمای محیط است. سیلاب‌های شدید و خشکسالی نیز از دیگر عامل‌های تاثیرگذار اقلیمی هستند که نوزادان و لانه‌های این گونه را تهدید می‌کنند. انسان با تبدیل زمین‌ها به سکونت‌گاه و جاده‌ها و همچنین سدسازی‌ها یا تغییر مسیر طبیعی رودخانه موجب تکه‌تکه شدن زیستگاه‌های این گونه شده است. این گونه نسبت به حضور انسان در نزدیکی خود احساس خطر می‌کند (Abtin and Mobaraki, 2016). تمساح مردابی یا گاندو قادر به جابه‌جایی از برکه‌ای به برکه دیگر در فاصله‌های مختلف و یا حتی از منطقه‌ای به منطقه دیگر است. این موضوع به ویژه هنگام خشکالی و یا فصل‌های کم‌آبی مشاهده می‌شود به صورتیکه که در فصل‌های پرباران و پرآبی جمعیت آن‌ها پراکنده و در فصل‌های خشک و کم‌آبی جمعیت آن‌ها متمرکز می‌شود (Mobaraki and Ayafat, 2007; Mobaraki, and Abtin, 2007).

منطقه مورد مطالعه

تمساح مردابی در ایران در بخش محدودی از ناحیه مکران در جنوب استان سیستان و بلوچستان در حوزه شهرستان‌های چابهار، راسک و سراوان و بطور عمده در امتداد رودخانه باهوکلات (سرباز) و کاجو پراکنش دارد. حوزه آبخیز رودخانه باهوکلات با دارا بودن چندین رودخانه فرعی، برکه و سد زیستگاه گونه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. حوزه آبخیز رودخانه باهوکلات بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ درجه و ۱۰ دقیقه و ۲۷ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۶۰ درجه و ۲۰ دقیقه و ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی قرار دارد (Abtin and Mobaraki, 2016). رودخانه‌های سرباز، باهوکلات ، نهنگ، کاجو و رودخانه‌های فصلی سیرین کور و برکه‌های چون برکه کلانی، احمد آباد، فیروز آباد، شکرجنگل، آزادی، هوت‌گت، درگس، پیرسهراب، شیرگواز و همچنین دریاچه پشت سد پیشین مهم ترین زیستگاه‌های آن هستند (Mobaraki and Ayafat, 2007). بخشی از گستره پراکنش این گونه در منطقه حفاظت شده گاندو (مصوب تاریخ ۱۳۹۴/۱۲/۲۳) با وسعت ۳۸۲۵ کیلومتر مربع قرار دارد. با توجه به عادت این گونه به جابه‌جایی در هنگام کم آبی یا بی‌آبی جهت یافتن زیستگاه‌های مناسب، پراکنش این گونه بسیار تحت تاثیر شرایط آبی منطقه است به طوری که در فصل‌های پرآب وسیع‌تر است (Mobaraki and Ayafat, 2007; Abtin and Mobaraki, 2016). شکل ۱ منطقه مورد مطالعه که مرز آن منطبق بر مرز حوزه‌های آبخیز بوده و منطقه حفاظت شده گاندو را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت زیرحوزه های آبخیز مورد مطالعه و منطقه حفاظت شده گاندو

Fig. 1- The location of the sub-basins of the study area and Gando conservation area

نقاط حضور تمساح

داده‌های مربوط به مختصات نقطه‌های حضور تمساح به کمک GPS در دوره‌ی زمانی بین سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۸۵ با مشاهده مستقیم گونه از رودخانه‌ها، برکه‌ها و دریاچه‌های پشت سد جمع‌آوری شد. بازه طولانی جمع‌آوری نقطه‌های حضور به دلیل تغییر زیستگاه و معرفی گونه به زیستگاه جدید (به طور مثال دریاچه‌های پشت سدها و آب‌بندان‌ها) در محدوده مورد مطالعه است. تعداد کل نقطه‌های حضور ۳۵ عدد بود. خودهمبستگی مکانی بین نقطه‌های حضور گونه با استفاده از شاخص Moran (Levine, 2004) بررسی شد و با توجه به اینکه میزان Z کوچکتر از ۱/۳۵ به‌دست آمد، از نبود وجود همبستگی مکانی میان داده‌های حضور اطمینان به‌دست آمد.

متغیرهای محیط زیستی

مهمترین متغیرهای محیطی بر اساس مطالعات انجام شده توسط پژوهشگران مختلف (مانند: Abtin, 2012; Newsom *et al*., 1987؛ Abtin and Mobaraki, 2016) انتخاب شد. این متغیرها شامل ارتفاع (DEM)، شاخص پوشش‌گیاهی NDVI، دما، بارندگی، فاصله از سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی، جاده و رودخانه‌ها است. متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی از میانگین بلند مدت داده‌های به‌دست آمده از ایستگاه‌های سینوپتیک[۸] و کلیماتولوژی[۹] استان با استفاده از روش‌های زمین آمار به‌دست آمد. لایه DEM و شاخص پوشش‌گیاهی NDVI از سایت USGS و به ترتیب از تصویرهای ASTER و MODIS با درجه تفکیک ۳۰ متر (تولید سال ۲۰۱۱) و ۲۵۰ متر (سال ۲۰۱۶) تهیه شد. سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی، جاده و رودخانه‌ها از شیپ فایل توپوگرافی سازمان نقشه برداری با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استخراج شد و به منظور تهیه نقشه فاصله از آن‌ها از فاصله اقلیدوسی (Anton, 1994) استفاده شد. درجه تفکیک مکانی تمامی لایه‌ها به ۵۰ متر در محیط Arcgis 10.4.1 (ESRI, 2016) تبدیل شد.

برای آزمون همبستگی بین متغیرها از همبستگی پیرسون استفاده شد تا در صورتی‌که بین دو متغیر همبستگی بالاتر از ۰/۷۰ وجود داشته باشد، یکی از آن‌ها حذف شود تا تاثیرهای نامطلوب ناشی از همبستگی متغیرها به کمترین میزان برسد (Trisurat *et al*., 2012). بررسی همبستگی بین متغیرها در نرم افزار IDRISI Selva انجام شد.

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه

در این پژوهش از روش حداکثر بی‌نظمی با کمک نرم‌افزار Maxent version 3.3.3k (http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent) جهت ارزیابی مطلوبیت زیستگاه تمساح مردابی استفاده شد. الگوریتم حداکثر بی‌نظمی، ویژگی‌های بوم شناختی نقطه-های حضور گونه را با کل منطقه مقایسه و دامنه مطلوبیت زیستگاه را بین صفر تا یک گزارش می‌دهد. به صورتی‌که که صفر بدترین و یک مطلوب‌ترین زیستگاه است (Phillips *et al*., 2006). مدل‌سازی با ۱۰۰۰ تکرار انجام شد. تعداد ۱۰۰۰۰ نقطه تصادفی پس‌زمینه به عنوان نقاط نبود حضور جهت محاسبه خطای ارتکاب[۱۰] انتخاب شد. مدل یکبار با کل داده‌های حضور و یک بار با ۷۰ درصد داده‌های حضور برای آموزش و ۳۰ درصد جهت آزمون اجرا شد (Varasteh Moradi *et al*., 2015; Ranjbar *et al*. 2016). با توجه به محدود بودن تعداد نقطه‌های حضور و نبود وجود خودهمبستگی فضایی بین نقاط حضور، روش ارزیابی متقابل (Cross-Validation) برای نمونه‌گیری مجدد با پنج تکرار انجام شد (Hijmans, 2012). قابلیت پیش‌بینی مدل و یا به عبارتی ارزیابی عملکرد آن با بررسی شاخص AUC که نشان‌دهنده سطح زیر منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده (ROC) است (Fielding and Bell, 1997)، انجام شد. دامنه AUC بین ۰/۵ تا ۱/۰ است که مقدار ۰/۵ یک مدل به طور کامل تصادفی و مقدار ۱/۰ مدل با قدرت پیش‌بینی خوب را نشان می‌دهد (Elith *et al*., 2011). در این بین، AUC ۰/۷

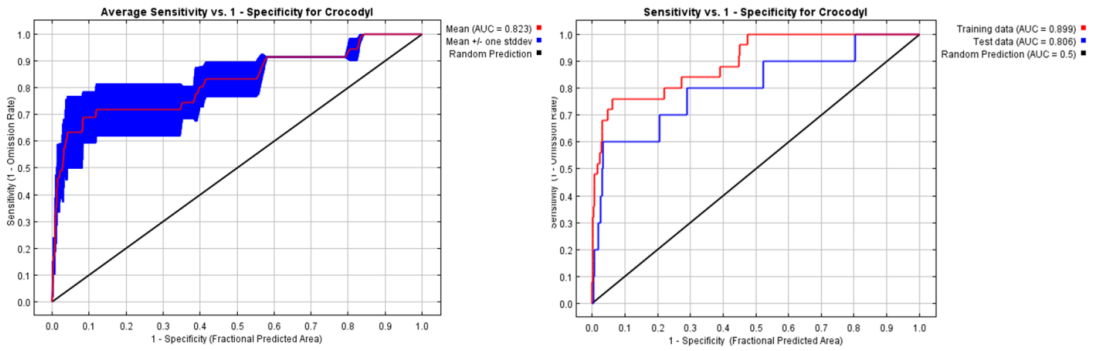
تا ۰/۸ مدل خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ عالی و بیشتر از ۰/۹ پیش‌بینی بسیار عالی را نشان می‌دهد (Giovanelli *et al.*, 2010).

حساسیت‌سنجی و بررسی اهمیت نسبی هر یک از متغیرها با کمک درصد سهم مشارکت و اهمیت هر متغیر، منحنی‌های پاسخ متغیرها برای مدل‌های تک متغیره و روش جک نایف[11] به منظور ارزیابی تغییرپذیری‌های AUC پس از حذف هر متغیر محاسبه شد. تعیین حد آستانه برای طبقه‌بندی منطقه‌های مطلوب بر اساس میزان آموزش برابر حساسیت و ویژگی (ETSS[12]) و آموزش حداکثر حساسیت به‌علاوه ویژگی (MTSS[13]) انجام شد. حساسیت معیاری است که نقطه‌های حضور پیش‌بینی شده درست را نشان می‌دهد و ویژگی نشان دهنده نقطه‌های نبود حضور پیش‌بینی شده درست است (Jimenez-Valverde and Lobo, 2007).

نتایج و بحث

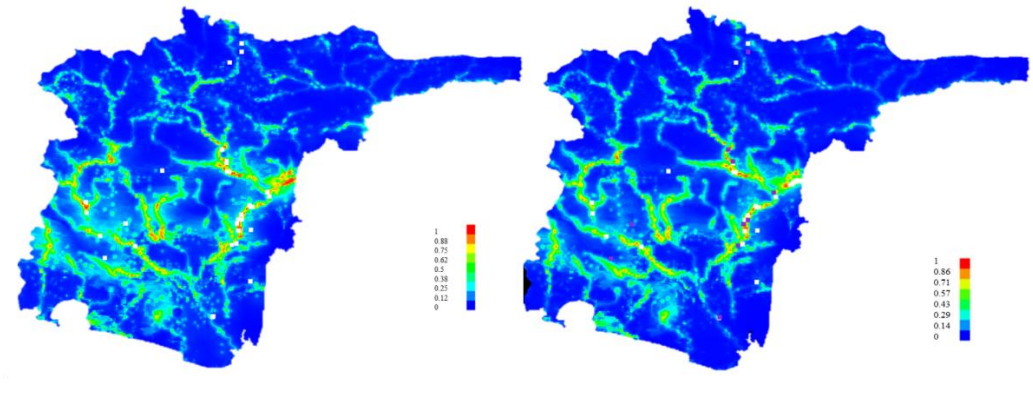
نتیجه همبستگی پیرسون بین متغیرهای محیطی نشان داد که بین ارتفاع و بارندگی همبستگی بالا و معنی‌داری وجود دارد ($p<۰/۰۱$) و بنابراین بارندگی حذف و مدل با متغیرهای باقیمانده اجرا شد.

شکل ۲ قابلیت پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد. مدل به طور کامل تصادفی را خط سیاه رنگ برای AUC به میزان ۰/۵ و قدرت پیش‌بینی مدل با داده‌های تعلیمی و آزمون به ترتیب با خط‌های قرمز و آبی نشان داده شده است. همان‌طوری‌که در شکل دیده می‌شود منحنی‌های به‌دست آمده برای آزمون و تعلیم مدل از خط نشان دهنده مدل کاملاً تصادفی فاصله دارند و بالاتر از ۰/۸ هستند که نشان می‌دهد مدل از قابلیت پیش‌بینی عالی برخوردار است.



شکل ۲- نمودار ROC مدل مطلوبیت زیستگاه برای کل داده‌ها (a) و مدل با۷۰ درصد داده‌های حضور برای آموزش و ۳۰ درصد جهت آزمون (b)

Fig. 2- The receiver operating characteristic (ROC) curve for the total records (a) and the model using 70 percent of records for training and 30 percent for testing the model (b)



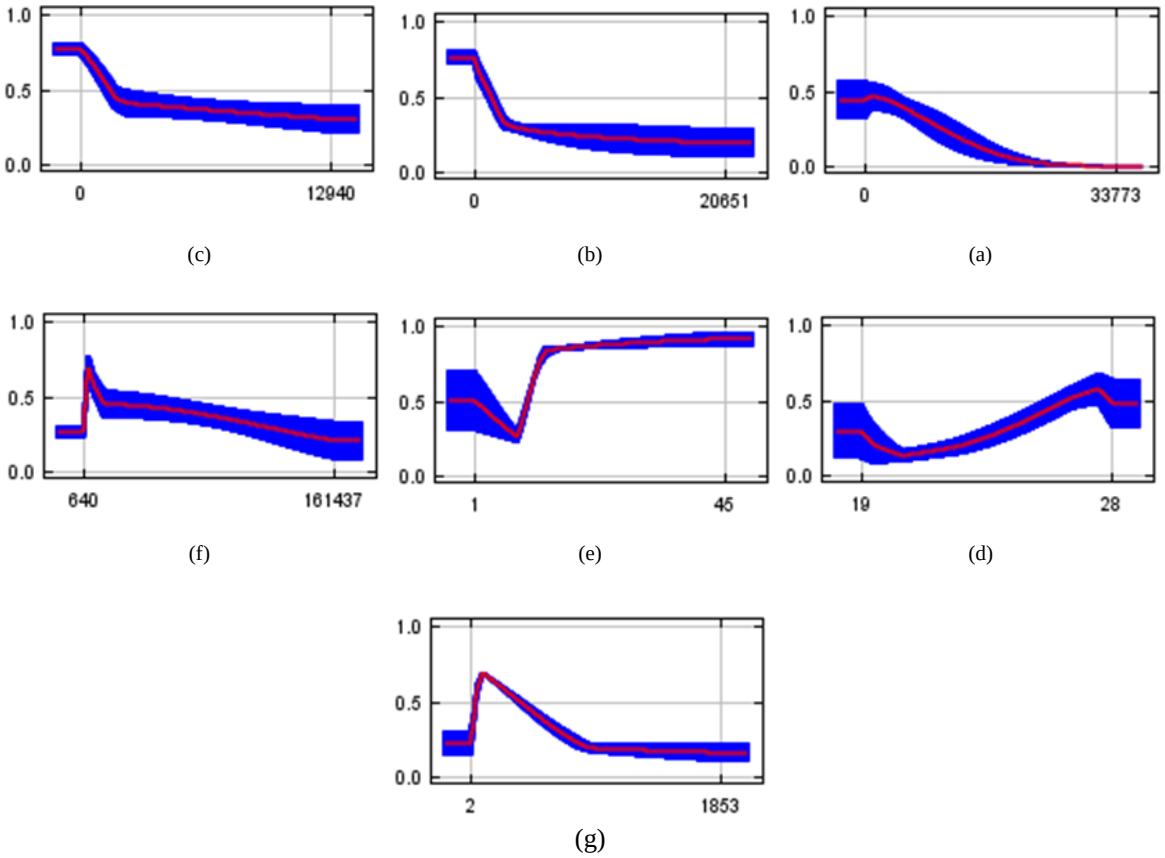
(a) (b)

شکل ۳- نقشه مطلوبیت زیستگاه با تمام داده‌ها (a) و مدل با۷۰ درصد داده‌های حضور برای آموزش و ۳۰ درصد جهت آزمون (b)

Fig. 3- Predicted suitability map with total records (a) and the model using 70 percent of records for training and 30 percent for testing the model (b)

دامنه احتمال مطلوبیت زیستگاه در خروجی Maxent بین ۰ تا ۱ است. نقطه‌های سفید نشان دهنده نقطه‌های حضور مورد استفاده برای تعلیم مدل و نقاط بنفش نشان دهنده نقطه‌های آزمون مدل هستند (شکل ۳).

شکل ۴ پاسخ مطلوبیت زیستگاه گونه را به متغیرها نشان می‌دهد. محور عمودی این منحنی‌ها به صورت لگاریتمی است و هر منحنی نشان‌دهنده اثر هر یک از متغیرها به تنهایی بر پیش‌بینی Maxent است. بر اساس این شکل با افزایش فاصله از عوارض مصنوعی شهرها، روستاها و جاده‌ها و فاصله از رودخانه احتمال مطلوبیت زیستگاه کاهش یافت. احتمال مطلوبیت زیستگاه با افزایش دما تا ۲۱ درجه سانتیگراد روند کاهشی به همراه داشت، اما در دامنه بین ۲۱ تا ۲۶ درجه مطلوبیت زیستگاه افزایش و پس از آن روند کاهشی را نشان داد. با افزایش شاخص پوشش‌گیاهی NDVI در ابتدا از احتمال مطلوبیت زیستگاه کاسته و سپس با شیب تندی افزایش و در ادامه این افزایش شیب ملایمی را نشان داد و در مجموع میزان بالای NDVI یا به عبارتی تراکم بالای پوشش‌گیاهی منجر به افزایش احتمال مطلوبیت زیستگاه شد. احتمال مطلوبیت زیستگاه با افزایش ارتفاع تا ۱۱۵ متر با شیب بسیار تندی افزایش و پس از آن تا حدود ۶۹۵ متر کاهش یافته و پس از آن با افزایش ارتفاع، احتمال مطلوبیت ثابت ماند.



شکل ۴- منحنی پاسخ مطلوبیت زیستگاه گونه به فاصله از جاده (a)- فاصله از رودخانه (b)- فاصله از روستا (c)- دما (d)- شاخص پوشش گیاهی NDVI (e)-فاصله از شهر (f) ارتفاع (g)

Fig. 4- Response curves of habitat suitability to distance from the roads (a), distance from the rivers (b), distance from the villages (c), temperature (d), normalized difference vegetation index (NDVI) (e), distance from the cities (f), and elevation (g)

جدول ۱ نشان می‌دهد که بیشترین درصد سهم را فاصله از آب و بیشترین اهمیت را متغیر دما در احتمال مطلوبیت زیستگاه کروکودیل دارد.

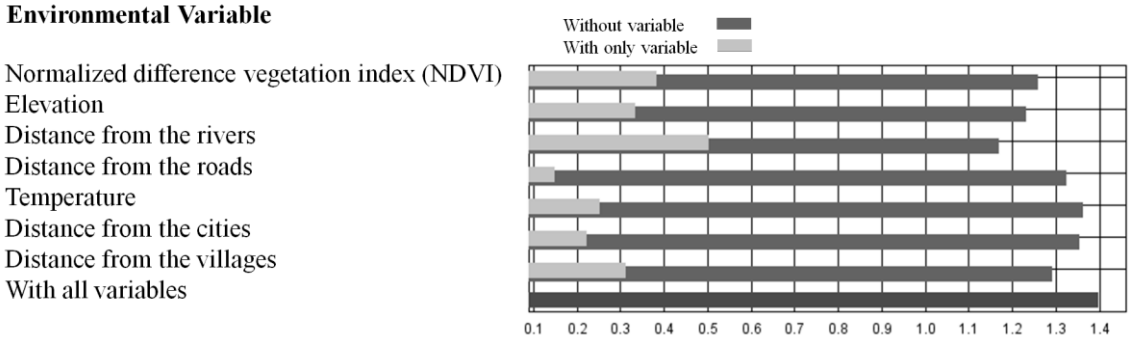
جدول ۱- درصد سهم و اهمیت متغیرها

Table 1. Percent contribution and permutation importance of variables

اهمیت Permutation importance	درصد سهم Percent contribution	متغیر Variable
11.3	33.4	فاصله از رودخانه Distance from the rivers
13.6	14.4	فاصله از روستا Distance from the illages
41.7	14.3	دما Temperature
16.8	12.2	ارتفاع Elevation
2.8	11.3	فاصله از شهر Distance from the cities
7	9.4	شاخص NDVI Normalized difference vegetation index(NDVI)
6.8	4.9	فاصله از جاده Distance from the roads

نتایج آزمون جک‌نایف به منظور حساسیت‌سنجی و مشخص‌کردن وزن نسبی متغیرهای موثر بر مطلوبیت زیستگاه تمساح در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۵ بالاترین میزان تاثیر را متغیر فاصله از رودخانه و پس از آن شاخص پوشش گیاهی NDVI دارد. پس از این دو متغیر، متغیرهای ارتفاع، فاصله از روستا، دما، فاصله از شهر و فاصله از جاده به ترتیب در احتمال مطلوبیت زیستگاه گونه اهمیت دارند. همچنین این شکل نشان می‌دهد که متغیر محیطی که هنگام حذف میزان اثر آموزش (Without variable)، بیشترین کاهش را در مطلوبیت زیستگاه ایجاد می‌کند، متغیر فاصله از رودخانه و پس از آن ارتفاع است. این دو متغیر دارای بیشترین اطلاعاتی هستند که در دیگر متغیرها موجود نیست.

میزان آستانه‌ای ETSS و MTSS به ترتیب ۰/۱۸ و ۰/۵۲ به‌دست‌آمد. بر اساس این آستانه‌ها نقشه مطلوبیت زیستگاه به دو طبقه مطلوب و نامطلوب طبقه‌بندی شد (شکل ۶) و به ترتیب مساحت منطقه مطلوب ۱۶۲۹ و ۳۱۲ کیلومتر مربع برآورد شد.

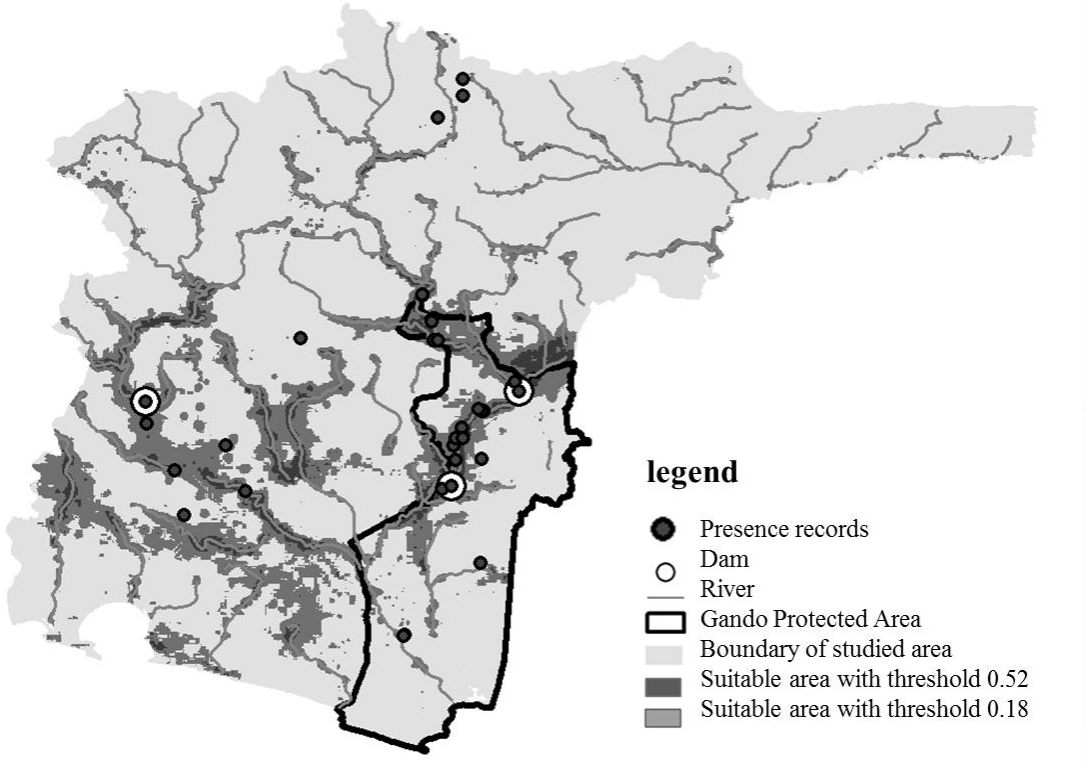


شکل ۵- نتایج آزمون جک نایف جهت تعیین اهمیت هر یک از متغیرها

Fig. 5- Results of the jackknife test in order to determine the importance of variable

نتایج ارزیابی مدل بر اساس سطح زیر منحنی ROC نشان داد که مدل نسبت به حالت تصادفی پیش‌بینی عالی دارد. از بین متغیرهای محیطی بررسی شده بیشترین درصد سهم را فاصله از رودخانه و بیشترین اهمیت را متغیر دما دارد. اهمیت دما و آب برای کروکودیل که جانوری خونسرد است و برای تنظیم دمای بدن خود وابسته به شرایط دمایی محیط و آب است (Abtin and Mobaraki, 2016) قابل انتظار بود. آزمون جک‌نایف نشان

داد که بالاترین میزان اثر را متغیر فاصله از رودخانه و شاخص پوشش گیاهی NDVI دارد و متغیر محیطی که هنگام حذف میزان اثر آموزش بیشترین کاهش را ایجاد می‌کند، متغیر فاصله از رودخانه و پس از آن ارتفاع است. مطالعه Abtin در سال ۲۰۱۲ نیز نشان داد که عامل پوشش گیاهی در مطلوبیت زیستگاه موثر بوده است که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. پوشش گیاهی برای جانور پناه می‌سازد و از این رو اهمیت دارد (Abtin and Mobaraki, 2016). متغیر ارتفاع نیز به دلیل اثر مستقیم آن بر روی دما و بارندگی و اثر غیرمستقیم آن بر پوشش‌گیاهی شامل اطلاعات مفیدی است که در دیگر متغیرها وجود ندارد.



شکل ۶ - نقشه طبقه‌بندی شده مطلوبیت زیستگاه
Fig. 6- Classified habitat suitability map

بر اساس منحنی‌های پاسخ گونه به متغیرهای محیطی، با نزدیک‌شدن به جاده، روستا و شهر مطلوبیت زیستگاه افزایش می‌یابد که کمابیش به علت نزدیک‌بودن سکونت‌گاه‌ها یا مراکز انسانی به منبع‌های آب و مواد غذایی است و بنابراین احتمال برخورد بین کروکودیل، انسان و دام قابل انتظار است که لازم است تدبیرهایی برای آن اندیشیده شود. این نتایج همچنین نشان می‌دهد مطلوب‌ترین زیستگاه‌ها در مکان‌هایی هستند که فشار ناشی از فعالیت‌های انسانی بالا بوده و همچنین منبع‌های مشترکی مانند آب و منابع غذایی (ماهی) توسط تمساح و انسان به طور مشترک استفاده می‌شود که هم‌خوانی با نتایج Rao and Gurjwar (2013) دارد.

طبقه‌بندی مطلوبیت زیستگاه به دو طبقه مطلوب و نامطلوب براساس آستانه‌های ETSS و MTSS تفاوت زیادی در گستره پهنه‌های مطلوب نشان دادند (به ترتیب ۱۶۲۹ و ۳۱۲ کیلومتر مربع). براساس تجربه‌های نویسندگان و بازدیدهای میدانی مکرر انجام شده نقشه طبقه‌بندی شده حاصل از معیار MTSS از درستی بالاتری برخوردار است. به عبارتی حساسیت که معیاری است که نقطه‌های حضور پیش‌بینی شده درست را نشان می‌دهد و

ویژگی که نشان‌دهنده نقطه‌های نبود حضور پیش‌بینی‌شده درست است، باید به بیشترین میزان برسند. این نتایج مطابق با نتایج Jimenez-Valverde and Lobo (2007) و Liu *et al.* (2016) است. توصیه می‌شود به جای به کاربردن آستانه عدد ثابت نیم برای دو طبقه مطلوب و نامطلوب که در بسیاری از پژوهش‌های بوم‌شناختی استفاده شده است (Liu *et al.*, 2005) آستانه‌هایی را که حساسیت و ویژگی را مورد توجه قرار می‌دهند، بکار برد.

طبقه‌بندی نقشه احتمال مطلوبیت زیستگاه نشان داد که بخش گسترده‌ای از مطلوب‌ترین زیستگاه‌ها در خارج از منطقه حفاظت شده گاندو که تنها منطقه حفاظت شده در محدوده پراکنش این گونه است، قرار دارند. بنابراین ایجاد منطقه‌های حفاظت شده جدید و یا گسترش منطقه حفاظت شده موجود باید در اولویت اقدام‌های حفاظتی قرار گیرد. ناکافی بودن وسعت منطقه‌های حفاظت شده برای حفاظت از این گونه در دیگر مناطق گسترش آن مانند تالاب Chotiari پاکستان توسط Chang *et al.* (2015) نیز تایید شده است. نکته مهم دیگر همپوشانی زیستگاه‌های مطلوب با منطقه‌های مسکونی و انسانی است که با در نظر گرفتن این مهم امکان افزایش فعالیت‌های گسترشی نظیر کشاورزی و اقتصادی قابل پیش‌بینی است که این امر خود منجر به افزایش فشارها بر روی زیستگاه‌ها و خود گونه تمساح مردابی خواهد شد. با توجه به کمبود بارش‌ها و نیز آب، ارتباط بیشتر جوامع انسانی با زیستگاه‌های تمساح مردابی به معنی استفاده و برداشت بیشتر از منبع‌های آبی خواهد بود که این شرایط نیز به نوبه خود تهدیدی برای گونه تمساح مردابی به‌شمار می‌رود. بسیاری از زیستگاه‌های گونه تمساح مردابی در بخش‌های مطلوب در داخل سکونت‌گاه‌های انسانی و به شکل زیستگاه‌های مصنوعی نظیر برکه‌های دست‌ساز (هوتک) یا آب‌بندان‌ها می‌باشد (Abtin and Mobaraki, 2016) که این ویژگی نیز لزوم آموزش و مشارکت‌دادن جوامع بومی و محلی را در امر حفاظت از گونه بیان می‌کند.

نقش سدسازی در منطقه مورد مطالعه با بررسی سه سد موجود شیرگواز، پیشین و زیردان نشان داد که این سه سد سبب افزایش احتمال مطلوبیت زیستگاه شده‌اند (شکل ۶). هر چند که احداث سدها با توجه به تامین زیستگاه و منبع‌های غذایی دارای کارکردهای مثبت هستند اما تاثیرهای منفی آن‌ها نیز به‌ویژه به واسطه از بین‌رفتن و یا نبود محل‌های مناسب تخم‌گذاری و کاهش میزان موفقیت تولیدمثل قابل توجه می‌باشد (Mobaraki and Ayafat, 2007). Chang و همکاران (۲۰۱۵) نیز احداث سدها را یکی از تهدیدهای این گونه معرفی کرده‌اند.

تکه‌تکه بودن لکه‌های مطلوب زیستگاه (شکل۶) نشان می‌دهد که باید راهروهای ارتباطی را نیز حفظ کرد. رفتار مهاجرت گونه در پژوهش Mobaraki and Abtin (2007)اثبات شده است و بنابراین متمرکز شدن کروکودیل‌ها در زمان‌های خشکی و گسترده شدن محدوده پراکنش آن‌ها در فصل‌های پرآبی به‌طور کامل قابل انتظار است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج مطالعه ما، شرایط آب و هوایی خشکی سبب جابجایی و تمرکز افراد جمعیت گونه تمساح مردابی به مکان‌های پر آب‌تر می‌شود. این پهنه‌های آبی به‌طور عمده در منطقه‌های خارج از منطقه حفاظت شده باهوکلات قرار گرفته‌اند. تشکیل و حفظ ظرفیت میزان مناسب آب این مکان‌ها به‌شدت تاثیر پذیرفته از شرایط اقلیمی در زمان و مکان خاص است. بنابراین، حفاظت راهروهای که شامل چنین پهنه‌های آبی هستند، از اهمیت بوم‌شناختی زیادی برای این گونه برخوردار است. به‌طور طبیعی، حفظ این گونه که نقش سنگ سرطاق را ایفا می‌کند، می‌تواند به حفاظت دیگر گونه‌های هم بوم آن مناطق منجر شود. حفظ یکپارچگی زیستگاه این گونه و نیز پوشش‌گیاهی طبیعی آن از دیگر اولویت‌های مهم حفاظتی

برای آن است. در پایان افزایش سطح منطقه حفاظت شده باهوکلات و افزایش پایش گونه در فصل‌های خشک در منطقه‌های سکونت‌گاه‌های انسانی به منظور جلوگیری از هر گونه تعارض بین تمساح مردابی و افراد بومی ساکن در منطقه برای مدیریت این گونه پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این مطالعه با حمایت مالی دانشگاه زابل و کد پژوهانه UOZ-GR-9616-145 به انجام رسیده است

پی نوشت‌ها

1 Normalized Difference Vegetation Index
2 Biogeography
3 Receiver Operating Characteristic Curve
4 Area Under Curve
5 Habitat Evaluation Procedure
6 Sensitivity–specificity difference minimizer
7 Sensitivity- specificity sum maximize
8 Synoptic stations
9 Climatology stations
10 Commission error
11 Jackknife
12 Equal training sensitivity and specificity
13 Maximum training sensitivity plus specificity

منابع

Abtin, E. and Mobaraki, A., 2016. Gandou, Marsh Crocodile in Iran, Nashr-E- Talaie, Tehran, Iran.

Abtin, E., 2012. Habitat suitability of mugger crocodile in Sarbaz River, Iran. Wildlife Middle East. 6, 5.

Anton, H., 1994. Elementary Linear Algebra, 7th ed. John Wiley & Sons. Hoboken, United States.

Bhatt, H.P., Saund, T.B. and Thapa, J., 2012. Status and threats to Mugger Crocodile Crocodylus palustris Lesson, 1831 at Rani Tal, Shuklaphanta Wildlife Reserve, Nepal. Nepal Journal of Science and Technology. 13, 125-131.

Chang, M.S., Gachal, G.S., Qadri, A.H., Khowaja, Z., Khowaja, M. and Heikh, M.Y., 2013. Ecological status and threats of marsh crocodiles (Crocodilus palustris) in Manghopir Karachi. International Journal of Biosciences. 3, 44-54.

Chang, M.S., Gachal, G.S., Qadri, A.H., Memon, K.H., Sheikh, M.Y. and Nawaz, R., 2015. Distribution, population status and threats of Marsh Crocodiles in Chotiari Wetland complex Sanghar, Sindh-Pakistan. Biharean Biologist. 9, 22-28.

Choudhury, B.C. and de Silva, A., 2013. Crocodylus palustris. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T5667A3046723.

Duan, R.Y., Kong, X.Q., Huang, M.Y., Fan, W.Y. and Wang, Z.G., 2014. The predictive performance and stability of six species distribution models. PloS one. 9(11), e112764.

Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudık, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S. and Zimmermann, N.E., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography. 29, 129–151.

Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudik M., Chee, Y.E. and Yates, C.J., 2011. A statistical explanation of maxent for ecologists. Diversity and distribution. 17, 43-57.

ESRI., 2016. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Fielding, A.H. and J.F. Bell., 1997. A review of

methods for the measurement of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental Conservation. 24,38-49.

Giovanelli, J.G.R., Siqueira M.F., Haddad, C.F.B. and Alexandrino, J., 2010. Modeling a spatially restricted distribution in the neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. Ecological Modeling. 221, 215-24.

Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J.J., Elith, J., Gordon, A., Kujala, H., Lentini, P.E., McCarthy, M.A., Tingley, R. and Wintle, B.A., 2015. Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications. Global Ecology and Biogeography. 24, 276–292.

Guisan, A., Edwards, T.C. and Hastie, T., 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. Ecological Modelling. 157, 89–100.

Hijmans, R.J., 2012. Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model. Ecology. 93, 679–688.

Jimenez-Valverde, A. and Lobo, J.M., 2007. Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either–or presence–absence. Acta Oecologica. 31, 361-369.

Liu, C., Newell, G. and White, M., 2016. On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data Canran. Ecology and Evolution. 6, 337–348.

Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P. and Pearson, R.G., 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distribution. Ecography. 28, 385-393.

Levine, N., 2004. CrimeStat III: a spatial statistics program for the analysis of crime incident locations. Ned Levine & Associates, Houston, TX., and the National Institute of Justice, Washington, DC.

Merow, C., Smith, M.J. and Silander, J.A., 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. Ecography. 36, 1058–1069.

Mobaraki, A. and Abtin, E., 2007. Movement behavior of Muggers, a potential threat. Crocodile Specialist Group Newsletter. 26, 4-5.

Mobaraki, A. and Ayafat, S.A., 2007. Crocodile Conservation and Farming, Roze-E- Now, Tehran, Iran.

Newsom, J.D., Joanen,1. and Howard, R.J., 1987. Habitat suitability index models: American alligator. U.S. Fish Wildl. Servo 8iol. Rep. 82(10.136).

Phillips, S.J. and Dudık, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography. 31, 161-175.

Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling. 190, 231-259.

Ranjbar, N., Hemami, M., Tarkesh, M. and Shahgholian, J., 2016. Seasonal assessment of habitat suitability of the Wild Goat (Capra aegagrus) in Mountainous Areas of Kolah-Qazi National Park using maximum entropy approach. Iranian Journal of Applied Ecology. 5, 69-83.

Rao, R.J. and Gurjwar, R.k., 2013. Crocodile human conflict in National Chambal Sanctuary, India. 22 nd Working Meeting of the IUCNSSC Crocodile Specialist Group, 20-23 May 2013, Sri Lanka, 105 – 109.

Trisuratt, Y., Bhumpakphan, N., Reed, D.H. and Kanchanasaka, B., 2012. Using species distribution modeling to set management priorities for mammals in northern Thailand. Journal for Nature Conservation. 20, 264-273.

Varasteh Moradi, H., Salmanmahiny, A. and Gholipour, M., 2015. Wildlife Habitate Evaluation, Dey-Negar pobliation, Tehran, Iran.

Whitaker, R. and Whitaker, Z., 1984. Reproductive biology of Mugger. Journal of the Bombay Natural History Society. 81, 297–315.

Environmental Sciences Vol.16 / No.4 / Winter 2019

47-62

Assessing habitat suitability of the mugger crocodile (*Crocodylus palustris* Lesson, 1831) using maximum entropy

Asghar Mobaraki[1], Malihe Erfani[2*] ,Elham Abtin[3] and Farhad Ataie[4]

[1] Natural Environment Division, Department of Environment, Tehran, Iran

[2] Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Iran

[3] Natural Environment Division, Department of Environment, Zahedan, Iran

[4] College of Environment, Karaj, Iran

Received: 2018.02.12 Accepted: 2018.11.10

Mobaraki, A., Erfani, M., Abtin, E. and Ataie, F., 2019. Assessing habitat suitability of the mugger crocodile using maximum entropy. Environmental Sciences. 16(4): 47-62.

Introduction: The mugger crocodile is one of the most vulnerable species in the recent IUCN Red list classification. Most of the populations of the species are in decline and extirpation due to the threats caused by human activities. Nowadays, species distribution modeling plays an essential role in their conservational biology and ecological studies. However, considering the lack of such data on the mugger crocodile in Iran, this study was conducted to evaluate the suitability of the crocodile habitats in the country.

Material and methods: The watersheds of the Sarbaz and Kaju rivers in the Makran area are the westernmost part of the distribution range of the mugger crocodile, located in the southern part of Sistan and Baluchestan Province. Modeling the suitability of the crocodile habitats in this area was conducted using maximum entropy. The environmental variables of elevation, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), temperature, rainfall, and the distance from urban and rural settlements, roads, and rivers were included in the study. To eliminate high correlation variables (>0.70), Pearson correlation test was used. By using Moran's I, the lack of spatial autocorrelation between the presence data of the species was assured. Sensitivity and evaluation of the relative importance of each variable were done by the percent contribution and permutation importance of each variable. Also, the response curves of the variables and the jackknife test were calculated. Maximum training sensitivity plus specificity (MTSS) and equal training sensitivity and specificity (ETSS) were used as thresholds to classify the suitable regions.

Results and discussion: The amount of AUC was more than 0.8, indicating excellent performance of the model. Based on the percent of contribution andpermutation importance of each variable and the results of the jackknife test, the distance from the rivers, temperature and elevation were the most important variables. The threshold values of ETSS and MTSS were 0.52 and 0.18, respectively. According to the thresholds, the

* Corresponding Author. *E-mail Address*: maliheerfani@uoz.ac.ir

suitability of the habitat was classified into two suitable and unsuitable classes with an area of 312 and 1629 km^2, respectively. Comparison of the thresholds in classification showed that ETSS is more accurate. Considering that the major part of the suitable habitats is located outside of the Gandou Protected Area, revision of the borders of the protected area is proposed as a suggestion for management for the conservation of this species. The study of the effect of dams on the crocodile habitat suitability in the area showed that dams increased the habitat suitability, but their negative impacts, like the loss of nesting sites, should be noted. Also, the fragmentation of the suitable habitats was obvious in the study, and considering the migration behavior of the species, corridors should also be included in conservation plans.

Conclusion: Distance from the river, as the main variable determining the suitability of the mugger crocodile habitat, is affected by climatic fluctuations and the water amount. Conflicts between the crocodiles and local people for resources (water and food) as well as the immigration of crocodiles between separate habitat patches would be more severe in the warm seasons and drought situations. Therefore, in addition to revising the area of the protected area and conservation of the habitats, increasing species monitoring, public education and participation of local communities in the conservation actions would be essential.

Keywords: Environmental variables, Makran region, Modeling, Mugger crocodile, Probability of habitat suitability.