

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos*) در منطقه حفاظت شده شیمبار، استان خوزستان

زینب عبیدای^{۱*}، کاظم رنگزن^۱، روح‌اله میرزایی^۲ و مصطفی کابلی‌زاده^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۲۴)

DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.18.61

چکیده

تعیین مطلوبیت زیستگاه‌های حیات وحش دارای اهمیت به‌سزایی در برنامه‌های حفاظت و مدیریت حیات وحش است. لذا در پژوهش حاضر، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای در منطقه حفاظت شده شیمبار با استفاده از الگوریتم آنتروپی بیشینه انجام شد. بدین منظور، پس از بررسی و رفع خودهمبستگی مکانی داده‌های حضور، داده‌ها به دو دسته داده‌های آموزش و آزمون تقسیم و به‌همراه ۱۰ متغیر محیطی ($VIF < 10$) انتخاب شده توسط MMS، وارد نرم‌افزار MaxEnt شد. اعتبارسنجی مدل با استفاده از AUC و تحلیل جک‌نایف صورت گرفت. نقشه حضور/عدم حضور نیز براساس دو آستانه LPT و ۱۰٪ تهیه شد. هم‌چنین تحلیل جک‌نایف دیگری جهت حساسیت‌سنجی مدل و شناسایی متغیرهای محیطی مهم در مدل‌سازی انجام شد. براساس یافته‌ها، مدل پیش‌بینی شده به‌طور معناداری بهتر از حالت تصادفی می‌باشد ($AUC = 0/965$, $P = 0/000$). به‌علاوه، ۲۰/۷۵٪ منطقه به‌عنوان زیستگاه مطلوب بالقوه خرس شناسایی شد. طبق تحلیل جک‌نایف، بالاترین میزان موفقیت مدل در پیش‌بینی مناطق مطلوب بالقوه ۸۸/۴۶٪ محاسبه شد ($P = 0/000$). هم‌چنین، متغیر تیپ‌بندی گیاهی به‌عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر پراکنش گونه شناسایی شد. براساس یافته‌ها، موفقیت این روش در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های حیات وحش همچون خرس قهوه‌ای تأیید شده، بهره‌گیری از آن به‌عنوان ابزاری نیرومند جهت بهبود اطلاعات زیستگاه‌های حیات وحش در سطح کشور پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم آنتروپی بیشینه، مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، منطقه حفاظت شده شیمبار، خرس قهوه‌ای

۱. گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z.obeidavi@gmail.com

مقدمه

مدل‌سازی زیستگاه تکنیکی آشکار و قابل تکرار برای تشریح و نقشه‌سازی ارزش‌های تنوع زیستی شامل گیاهان یا حیوانات و یا هر دو است (۸). تعیین وضعیت پراکنش گونه‌ها و زیستگاه‌های آنها اهمیت به‌سزایی در برنامه‌های حفاظت و مدیریت حیات وحش دارد (۲۱). اساس کار مدل‌سازی زیستگاه، کمی کردن روابط میان توزیع گونه و محیط زیست پیرامون آن است (۱۳) که در این میان به‌منظور مدل‌سازی فراوانی یا مطلوبیت زیستگاه تحلیل‌های چند متغیره متعددی توسعه یافته‌اند (۱۶). این مدل‌های چند متغیره که عموماً برای مشخص کردن مطلوبیت زیستگاه استفاده می‌شوند با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی امکان تهیه نقشه‌های بالقوه توزیع را فراهم می‌آورند (۱۳). در این میان با توجه به پیش‌فرض‌های محدود کننده حاکم بر روش‌های پارامتریک مثل خطی بودن پاسخ گونه به عوامل محیطی و به‌طور عمده عدم مشاهده این گونه پاسخ‌ها، روش‌های ناپارامتری از جمله الگوریتم‌های یادگیری ماشینی که فارغ از این گونه پیش‌فرض‌ها مدل‌سازی را انجام می‌دهند با اقبال بیشتری مواجه شده‌اند. از جمله روش‌های ناپارامتری الگوریتم آنتروپی بیشینه است که در حال حاضر یکی از بهترین و پرکاربردترین روش‌های مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای به‌شمار می‌رود. این الگوریتم چندمنظوره جهت تخمین توزیع احتمال با یافتن توزیع احتمال آنتروپی بیشینه به پیش‌بینی احتمال توزیع بالقوه گونه‌ها می‌پردازد (۲۲). تئوری آنتروپی اولین بار توسط شانون در سال ۱۹۴۸ توسعه داده شد و پس از آن به‌طور گسترده در مسائل مختلف علمی مورد استفاده قرار گرفت. آنتروپی به‌صورت معیار عدم قطعیت یا امید ریاضی اطلاعات تعریف شده است. در واقع اصل حداکثر آنتروپی معیاری منطقی و در عین حال تجربی را برای انتخاب بهترین تابع توزیع احتمالاتی، از مجموعه‌ای از توزیع‌های موردنظر به‌دست می‌دهد. به‌گونه‌ای که توزیعی بهترین خواهد بود که تابع آنتروپی را با توجه به محدودیت‌ها

با حداقل خطا بیشینه سازد (۵).

در پژوهش حاضر مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos*) در منطقه حفاظت شده شیمبار با استفاده از الگوریتم آنتروپی بیشینه صورت پذیرفت. این گونه در بسیاری از اکوسیستم‌های جنگلی و کوهستانی کشور انتشار داشته، حفاظت از آن به‌عنوان یک گونه چتر، حفاظت از دیگر گونه‌های هم‌بوم را به‌دنبال خواهد داشت. گونه مطالعاتی در رده LC فهرست سرخ (IUCN 2009) (۲۳)، رده II فهرست CITES (۹) و نیز در گروه گونه‌های حمایت شده سازمان حفاظت محیط زیست کشور قرار دارد. از اینرو شکل دادن پژوهش‌هایی در رابطه با خرس قهوه‌ای و زیستگاه‌هایش از جایگاه ارزشمندی برخوردار است؛ اما با وجود این متأسفانه پژوهش‌های اندکی در این زمینه صورت گرفته است؛ که از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه گاتلب و ضیایی (۱۵)، که در سال ۱۹۹۹ به بررسی پراکنش و وضعیت خرس قهوه‌ای و خرس سیاه در ایران پرداختند، اشاره کرد. همچنین نظامی (۶) در سال ۱۳۸۷، بوم‌شناسی خرس در محدوده امن منطقه حفاظت شده البرز مرکزی را مورد بررسی قرار داد. عطایی و همکاران (۲) نیز در سال ۱۳۹۱، مطلوبیت زیستگاه تابستانه خرس قهوه‌ای در منطقه حفاظت شده البرز جنوبی را مورد مطالعه قرار دادند. در سال ۱۳۹۲ نیز، کمایی (۳) به ارزیابی اثر کاربری اراضی بر مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی پرداخت. متأسفانه همان‌گونه که مشاهده می‌شود، عمده مطالعات صورت گرفته پیرامون این گونه و نیازهای زیستگاهی آن محدود به منطقه حفاظت شده البرز مرکزی بوده، در این مطالعه سعی بر آن است تا شناسایی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای و متغیرهای زیستگاهی مؤثر بر آن در بخش‌هایی از غرب زاگرس صورت گیرد. بدیهی است این امر می‌تواند گامی مؤثر در جهت شناخت خرس قهوه‌ای زاگرس و برنامه‌ریزی جهت تمرکز طرح‌های حفاظتی بر مناطق مطلوب بالقوه باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر، منطقه حفاظت شده شیمبار است. این منطقه با وسعت بیش از ۵۴۱۳۹ هکتار بین ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه شامل دریاچه سد شهید عباسپور، تالاب شیمبار و بخش کوهستانی (حداکثر ارتفاع از سطح دریا، ۳۲۹۹ متر) است. هم‌چنین منطقه مطالعاتی اقلیم‌های نیمه‌خشک و معتدل نیمه‌مرطوب را در بر می‌گیرد. میانگین دمای سالانه منطقه بیش از ۱۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه آن تا بیش از ۹۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. در بخش تالابی منطقه شیمبار تراکم بسیار بالایی از گونه جاز مشاهده می‌شود. بخش کوهستانی منطقه نیز، جنگل‌های زاگرس با غالبیت بلوط ایرانی را در بر می‌گیرد. به‌علاوه، در بخش‌هایی از منطقه، درختچه‌های مورت معطر که بسیار متراکم و انبوه هستند وجود دارد. از دیگر گونه‌های گیاهی موجود در منطقه می‌توان انجیر وحشی، پسته وحشی، بادام کوهی، تمشک وحشی و کیکم را نام برد. آنچه بر اهمیت این منطقه افزوده است وجود گونه‌های جانوری مانند خرس قهوه‌ای، پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) و کل و بز (*Capra aegagrus*) می‌باشد (۱).

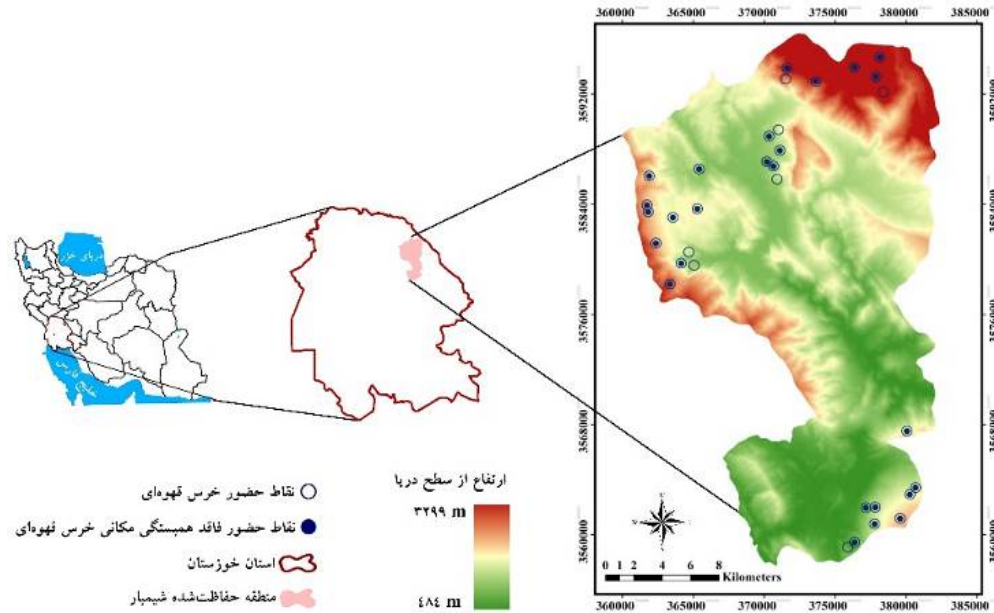
روش کار

در تهیه لایه حضور گونه مطالعاتی، موقعیت ۳۳ نقطه حضور خرس قهوه‌ای براساس نمایه‌ها و دوربین‌کشی طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۴ توسط GPS برداشت شد و وارد سامانه اطلاعات جغرافیایی گردید. در ادامه همبستگی مکانی نقاط حضور، با استفاده از شاخص مورن (Moran's I) محاسبه شد. به‌دلیل وجود همبستگی مکانی میان نقاط حضور ($P=0/000$, $Z=5/193$, $I=0/901$) و به‌منظور از بین بردن این همبستگی، تابع تراکم کرنل (Kernel Density) مورد استفاده

قرار گرفت. در نهایت با بهره‌گیری از نرم‌افزار Occurrence Thinner 1.04 (۲۴ و ۲۵) تعداد نقاط حضور خرس قهوه‌ای به ۲۶ نقطه حضور کاهش یافت (شکل ۱).

متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش خرس قهوه‌ای نیز براساس مطالعات انجام شده پیرامون زیستگاه و نیازهای بوم‌شناختی گونه مطالعاتی (۲، ۷، ۱۲، ۱۷ و ۲۰) و نظر کارشناسان تعیین گردید. هم‌چنین آماده‌سازی متغیرهای ورودی پژوهش با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10 صورت پذیرفت. بدین ترتیب که در مورد لایه‌های منابع آبی، هم‌چنین لایه‌های زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی و جاده‌ها که به‌منظور تعیین فاصله گونه مطالعاتی از آنها مورد استفاده قرار گرفتند، آنالیز فاصله صورت گرفت. در تهیه شیب و جهت شیب نیز از آنالیز سطح استفاده شد. در ادامه پس از تحلیل هم‌خطی چندگانه براساس شاخص تورم واریانس (VIF) که با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد، ۸ متغیر از میان متغیرهای پیوسته موجود به‌عنوان متغیرهای مؤثر بر پراکنش گونه در منطقه مطالعاتی انتخاب شد ($VIF < 10$). بدین ترتیب به همراه سه متغیر طبقه‌ای کاربری اراضی، اقلیم و تیپ‌بندی گیاهی، ۱۱ متغیر از میان ۱۵ متغیر اولیه جهت ورود به مرحله مدل‌سازی انتخاب شد (جدول ۱). به‌علاوه، با بهره‌گیری از نرم‌افزار MMS 1.07 (۱۱ و ۲۷)، ۲۰۴۷ ترکیب مختلف از ۱۱ متغیر انتخابی ($2^{11} - 1 = 2047$) به‌منظور تعیین کارآمدترین مجموعه متغیرهای محیطی براساس میزان AUC (Area Under the receiver operating characteristic Curve)، مورد سنجش قرار گرفت؛ که از این میان چهار حالت بهترین کارایی ممکن را دارا بوده، در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه مورد مطالعه از نرم‌افزار MaxEnt 3.3.3k استفاده شده، متغیرهای محیطی انتخاب شده با استفاده از MMS 1.07 به‌همراه نقاط حضور فاقد همبستگی مکانی به‌عنوان متغیرهای ورودی وارد نرم‌افزار گردید. طی مدل‌سازی، داده‌های حضور گونه مطالعاتی به دو گروه شامل داده‌های آموزش (۷۵٪) و داده‌های آزمون (۲۵٪) تقسیم شدند. هم‌چنین براساس



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان خوزستان به همراه نقاط حضور خرس قهوه‌ای در منطقه

جدول ۱. متغیرهای محیطی انتخاب شده جهت مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای

ردیف	نام متغیر محیطی	نوع متغیر	مقیاس	منبع
۱	اقلیم	گسسته	۱:۱۰۰۰۰۰	گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲	کاربری اراضی	گسسته	۱:۵۰۰۰۰	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
۳	تپ‌بندی گیاهی	گسسته	۱:۱۰۰۰۰۰	اداره منابع طبیعی استان خوزستان
۴	فاصله از زمین‌های کشاورزی	پیوسته	۱:۵۰۰۰۰	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
۵	فاصله از جاده	پیوسته	۱:۵۰۰۰۰	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
۶	فاصله از مناطق مسکونی	پیوسته	۱:۵۰۰۰۰	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
۷	فاصله از رودخانه‌های فصلی	پیوسته	۱:۵۰۰۰۰	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
۸	فاصله از دریاچه	پیوسته	۱:۵۰۰۰۰	سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
۹	نقشه رقومی ارتفاع (DEM)	پیوسته	۲۰ m	USGS/SRTM
۱۰	شیب	پیوسته	۲۰ m	USGS/SRTM
۱۱	جهت شیب	پیوسته	۲۰ m	USGS/SRTM

نامطلوب) استفاده شد. هم‌چنین تحلیل جک‌نایف دیگری به‌منظور حساسیت‌سنجی مدل و مشخص نمودن متغیرهای محیطی مهم در پراکنش خرس قهوه‌ای مورد استفاده قرار گرفت.

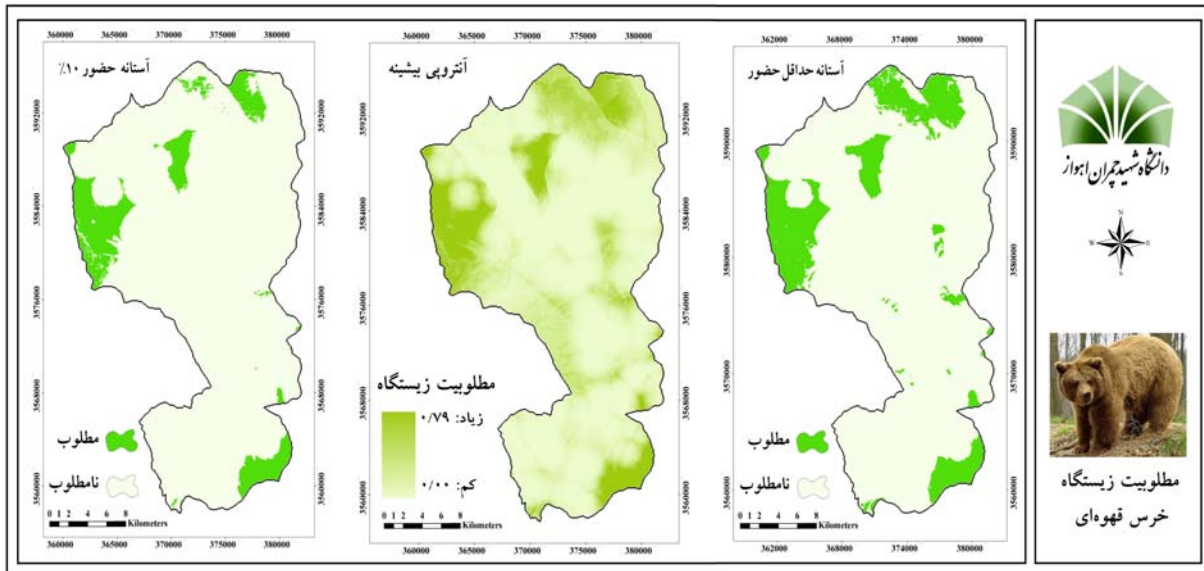
نتایج

شکل ۲، نقشه پیوسته مطلوبیت زیستگاه، هم‌چنین نقشه‌های دو طبقه‌ای مطلوب/ نامطلوب را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین مطلوبیت زیستگاه مربوط به بخش‌های جنوب‌شرقی، شمال و شمال‌غربی منطقه است. به‌علاوه، مناطق مطلوب بالقوه با آستانه حداقل حضور (LPT)، ۲۰/۷۵ درصد و با آستانه حضور ۱۰٪، ۱۰/۹۳ درصد منطقه حفاظت شده را در بر می‌گیرد (شکل ۲).

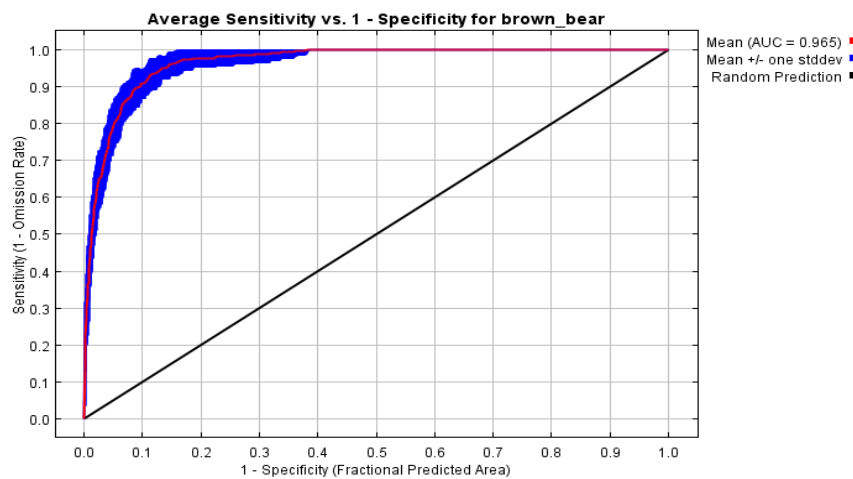
در شکل ۳، منحنی ROC میانگین اجراها به‌همراه انحراف معیار آن (۰/۰۰۹) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان AUC میانگین برابر ۰/۹۶۵ به‌دست آمده است که بیانگر پیش‌بینی بسیار عالی مدل می‌باشد ($P=0/000$). به‌علاوه، میزان AUC برای داده‌های یادگیری در بهترین اجرا برابر ۰/۹۷۶ و برای داده‌های آزمون برابر ۰/۹۴۱ محاسبه شد؛ که این مقادیر نیز نشانگر پیش‌بینی بسیار عالی مدل در مقابل AUC با مقدار ۰/۵ (به معنی تصادفی بودن پیش‌بینی) می‌باشند ($P=0/000$).

در ادامه چند نمونه از نتایج مربوط به آزمون‌های جک‌نایف در شکل ۴، آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در موارد (۱) و (۲) از شکل ۴، نقطه حضور حذف شده از مدل‌سازی در هر دو آستانه (آستانه حداقل حضور و آستانه حضور ۱۰٪) به‌درستی پیش‌بینی شده است. این در حالی است که در موارد (۳) و (۴)، مدل در هیچ یک از آستانه‌های اعمال شده قادر به پیش‌بینی درست نقطه حضور حذف شده از مدل‌سازی نبود. هم‌چنین در موارد (۵) و (۶)، مدل پیش‌بینی شده تنها با آستانه حداقل حضور قادر به پیش‌بینی درست نقطه حضور حذف شده از مدل‌سازی است. به‌علاوه، در موارد (۷)

مطالعه فیلیپس و همکاران (۲۲) حد‌آستانه همگرایی برابر ۰/۰۰۰۱ و نقاط حضور کاذب تحت عنوان نقاط پس‌زمینه به تعداد ۱۰۰۰۰ نقطه به‌صورت تصادفی از تمام منطقه مطالعاتی انتخاب گردید. در مدل‌سازی از ۱۵ اجرا و ۵۰۰۰ تکرار استفاده شد، که در اجرای تکرارها روش ارزیابی بوت استرپ (Bootstrap) به‌کار رفت. در نهایت نقشه میانگین ارائه شده به‌عنوان نقشه نهایی مطلوبیت زیستگاه گونه در نظر گرفته شد. در ارزیابی نتایج مدل‌سازی، تحلیل آماری منحنی ویژگی عامل دریافت‌کننده (ROC: Receiver Operating Characteristic) و مساحت زیر منحنی آن (AUC) به‌کار رفت. در این زمینه می‌توان اظهار داشت که، آزمون کارآیی مدل در حالت ایده‌آل نیازمند یک مجموعه داده مستقل است. امری که در بسیاری از موارد به‌ویژه در رابطه با گونه‌های تهدید شده و در معرض خطر امکان‌پذیر نیست. لذا رویکرد معمول در این گونه موارد دسته‌بندی تصادفی داده‌ها به دو مجموعه داده آموزش و آزمون می‌باشد؛ که منجر به ایجاد داده‌های شبه‌مستقل برای آزمون مدل می‌شود (۱۱ و ۱۴). با این حال در نمونه‌های کوچک اعمال این روش مناسب نخواهد بود زیرا در این‌صورت مجموعه داده‌های آموزش و آزمون بسیار کوچک خواهند شد. از اینرو پیرسون و همکاران روش جک‌نایف را جهت فائق آمدن بر این مسئله ارائه دادند؛ که در آن عملکرد مدل براساس توانایی آن در پیش‌بینی یک نقطه حذف شده از مجموعه داده‌های آموزش ارزیابی می‌شود. بدین ترتیب در پژوهش حاضر با توجه به کم بودن تعداد نقاط حضور مورد استفاده در مدل‌سازی، تحلیل جک‌نایف نیز جهت ارزیابی توان مدل در پیش‌بینی نقاط حضور مورد استفاده قرار گرفت؛ که اجرای این تحلیل با استفاده از برنامه P Value Compute انجام شد (۲۱). نکته قابل توجه در اجرای این تحلیل لزوم اعمال آستانه است که بدین منظور دو حد‌آستانه مختلف شامل آستانه حداقل حضور (LPT: Lowest Presence Threshold) (۱۸ و ۲۱) و آستانه حضور ۱۰٪ (۴، ۱۸ و ۲۱) جهت تبدیل نقشه پیوسته مطلوبیت به نقشه دو طبقه‌ای حضور و عدم حضور (مطلوب و



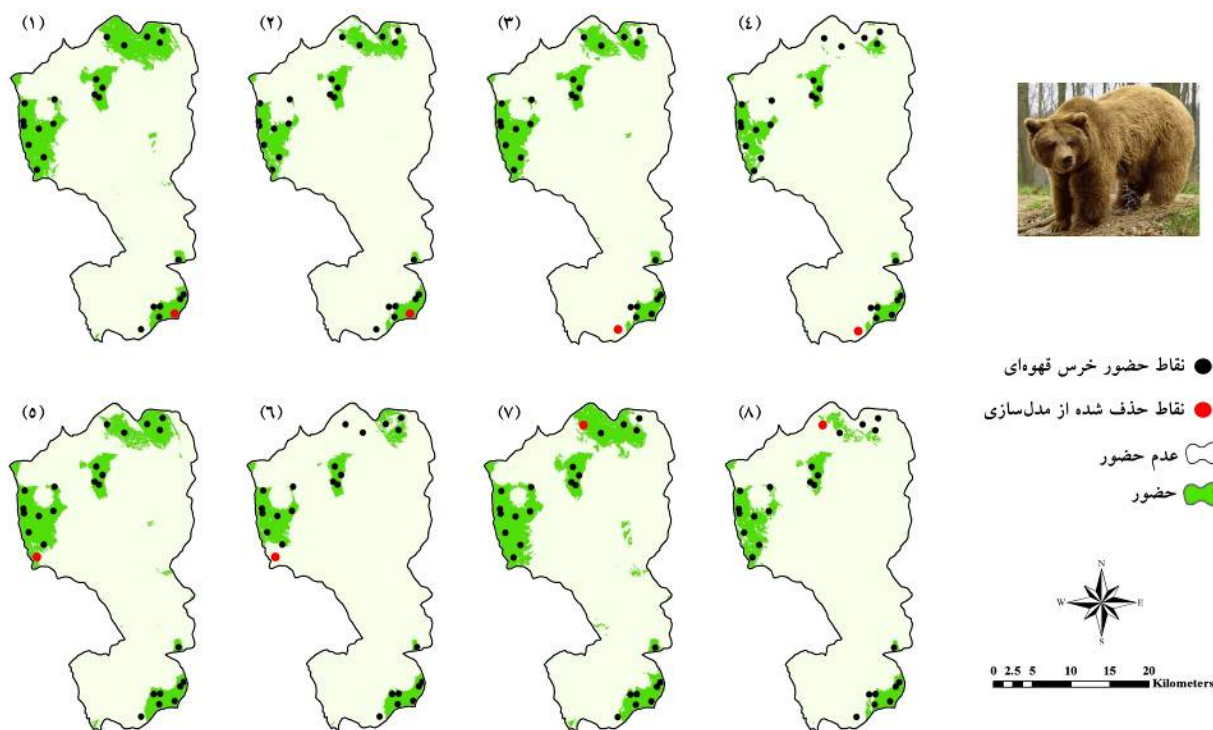
شکل ۲. نقشه پیوسته مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای به همراه نقشه‌های دوطبقه‌ای حضور و عدم حضور گونه در منطقه حفاظت شده شیمبار



شکل ۳. منحنی ROC و میزان AUC مربوط به مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای در منطقه مطالعاتی

مناطق مطلوب بالقوه (Success rate=Low omission rate) با آستانه حداقل حضور، ۸۸/۴۶ درصد و با آستانه حضور ۱۰٪، ۶۱/۵۴ درصد به دست آمد که این یافته در هر دو آستانه از اختلاف آماری معناداری برخوردار بود (LPT، $P=0/000$ ، $P=0/0036$) (جدول ۲). براساس یافته‌های مورد اشاره، نرخ موفقیت در هر دو آستانه بیش از

و (۸) از همین شکل، باز هم شاهد پیش‌بینی درست نقطه حضور حذف شده از مدل‌سازی تنها با اعمال آستانه حداقل حضور هستیم؛ با این تفاوت که در این زمینه اگرچه آستانه حضور ۱۰٪ قادر به پیش‌بینی درست نقطه حضور حذف شده از مدل‌سازی نبود اما این نقطه در مجاورت مناطق حضور، پیش‌بینی شده است. در مجموع میزان موفقیت مدل در پیش‌بینی



شکل ۴. چند نمونه از آزمون‌های جک‌نایف: در هر مورد ضمن نمایش نقاط حضور گونه مطالعاتی (نقاط سیاه رنگ)، نقاطی که در هر بار، مدل‌سازی بدون آنها صورت گرفته (نقاط قرمز رنگ) نمایش داده شده‌اند، در این شکل، موارد مشخص شده با اعداد فرد (۱)، (۳)، (۵) و (۷) مربوط به آستانه حداقل حضور و موارد مشخص شده با اعداد زوج (۲)، (۴)، (۶) و (۸) مربوط به آستانه حضور ۱۰٪ می‌باشند (رنگی در نسخه الکترونیکی).

جدول ۲. تحلیل جک‌نایف مربوط به مدل‌های مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای

آستانه حضور ۱۰ درصد			آستانه حداقل حضور		
P value	تعداد پیش‌بینی‌های صحیح	تعداد نقاط حضور	P value	تعداد پیش‌بینی‌های صحیح	تعداد نقاط حضور
۰/۰۰۳۶	۱۶	۲۶	۰/۰۰۰	۲۳	۲۶

به‌خود اختصاص داده، بدین ترتیب طی پژوهش حاضر مبنای قضاوت قرار گرفت.

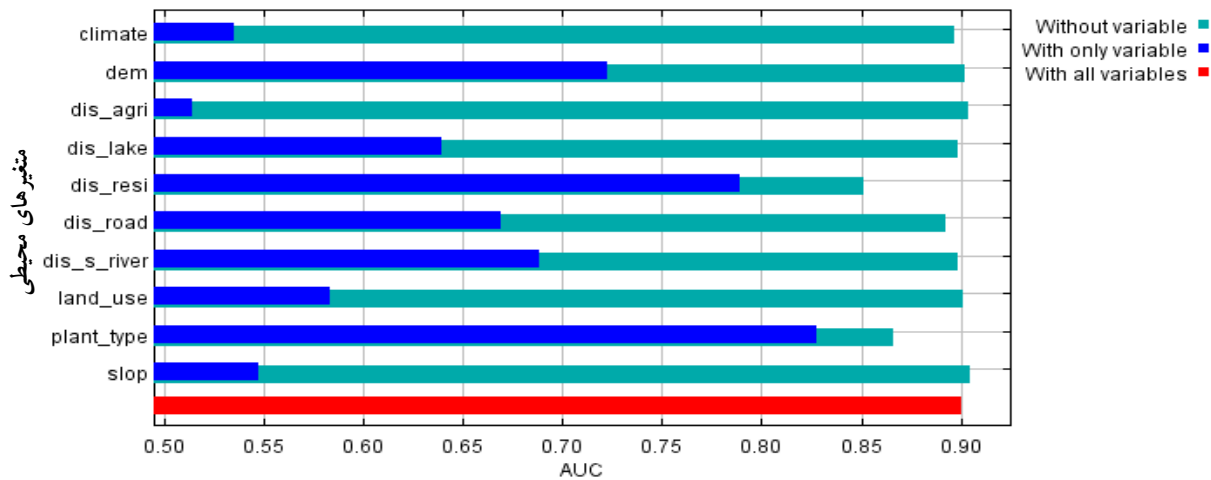
در ادامه، نتایج آزمون جک‌نایف جهت تعیین مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر در مدل‌سازی که در قالب سه حالت شامل مدل‌سازی با حذف متغیر محیطی موردنظر، مدل‌سازی تنها براساس وجود یک متغیر و مدل‌سازی براساس تمام

۵۰ درصد بوده، بدین ترتیب براساس تحلیل جک‌نایف مدل پیش‌بینی شده بهتر از حالت تصادفی ارزیابی می‌شود.

نتایج ارزیابی ترکیب‌های مختلف متغیرها با بهره‌گیری از نرم‌افزار MMS 1.07 بر مبنای میزان AUC در جدول ۳، آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود حالت چهارم با ۱۰ متغیر و میزان AUC معادل ۰/۹۶۵ بالاترین میزان AUC را

جدول ۳. کارآمدترین مجموعه متغیرهای محیطی در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای

مدل	متغیرهای محیطی	تعداد متغیرها	AUC
۱	اقلیم، کاربری اراضی، تیپ‌بندی گیاهی، فاصله از زمین‌های کشاورزی، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از رودخانه‌های فصلی، فاصله از دریاچه	۸	۰/۹۱۳
۲	کاربری اراضی، تیپ‌بندی گیاهی، فاصله از زمین‌های کشاورزی، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از رودخانه‌های فصلی، فاصله از دریاچه، نقشه رقومی ارتفاع (DEM)	۸	۰/۹۱۱
۳	اقلیم، کاربری اراضی، تیپ‌بندی گیاهی، فاصله از زمین‌های کشاورزی، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از رودخانه‌های فصلی، فاصله از دریاچه، نقشه رقومی ارتفاع (DEM)	۹	۰/۹۳۰
۴	اقلیم، کاربری اراضی، تیپ‌بندی گیاهی، فاصله از زمین‌های کشاورزی، فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از رودخانه‌های فصلی، فاصله از دریاچه، نقشه رقومی ارتفاع (DEM)، شیب	۱۰	۰/۹۶۵



شکل ۵. میزان اهمیت متغیرهای محیطی در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای براساس آزمون جک‌نایف

به ترتیب در جایگاه دوم و سوم قرار دارند. به علاوه، متغیر تیپ‌بندی گیاهی متغیری است که به‌تنهایی قادر به ایجاد AUC معادل ۰/۸۲۷ می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که این متغیر به‌تنهایی حاوی اطلاعات بسیار ارزشمندی جهت مدل‌سازی زیستگاه است. در این زمینه متغیر فاصله از مناطق مسکونی (AUC=۰/۷۸۷) و ارتفاع از سطح دریا (AUC=۰/۷۲۲) در

متغیرها انجام می‌شود، آورده شده است. همان‌گونه که شکل ۵ نشان می‌دهد، فاصله از مناطق مسکونی متغیری است که بدون آن بیش‌ترین کاهش در میزان AUC رخ داده و میزان این شاخص به ۰/۸۵ تنزل یافته است که این امر بیانگر اهمیت این متغیر در مدل‌سازی است؛ در این زمینه دو متغیر تیپ‌بندی گیاهی (AUC=۰/۸۶۵) و فاصله از جاده (AUC=۰/۸۹۲)

جایگاه‌های بعدی قرار دارند.

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر اگرچه حاکی از موفق بودن الگوریتم آنتروپی بیشینه در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونه مورد مطالعه است؛ اما آنچه در این میان مهم می‌نماید، لزوم اجتناب از بیش یا کم برآوردهایی است که می‌تواند ایفاگر نقش گمراه‌کننده‌ای در طرح‌ریزی حفاظت، پایش و مدیریت حیات وحش باشد. از اینرو در استفاده از این گونه روش‌ها همواره این نکته قابل توجه مطرح است که سطح اطمینان پژوهشگر از داده‌های موجود به چه میزان می‌باشد؛ امری که بهره‌گیری از آستانه‌های مختلف را مطرح می‌سازد. در این زمینه اگرچه استفاده از آستانه‌هایی همچون LPT بنا به اذعان پیرسون و همکاران (۲۱) بسیار خوشبینانه بوده، لویسله و همکاران (۱۹) آن را ایفاگر نقشی گمراه‌کننده در امر حفاظت از گونه‌ها دانسته، کاهش پیش‌بینی‌های حضور کاذب (به حداقل رساندن نسبت منطقه مطالعاتی پیش‌بینی شده به عنوان حضور) را به‌عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی در برنامه‌های حفاظت مطرح می‌کنند؛ اما باید خاطر نشان کرد که، در مواردی که حفاظت از گونه‌های تهدید شده و در معرض خطر مطرح است کاربرد چنین آستانه‌هایی می‌تواند مفید واقع شود؛ چرا که در این صورت مطمئن‌ترین حالت ممکن برای طرح‌ریزی مناطق حفاظت این گونه‌ها در نظر گرفته خواهد شد. بر این اساس با توجه به وضعیت حفاظتی گونه مطالعاتی، طرح‌ریزی مناطق حفاظت گونه بر مبنای آستانه LPT مناسب‌تر می‌نماید. چرا که این امر منجر به حفاظت از تمامی لکه‌های زیستگاهی شناسایی شده خرس قهوه‌ای در سطح منطقه مطالعاتی خواهد شد. بدین ترتیب با این رویکرد، ۲۰/۷۵ درصد از منطقه حفاظت شده شیمبار به‌عنوان زیستگاه مطلوب (منطقه حضور) خرس قهوه‌ای پیش‌بینی می‌شود. در بررسی متغیرهای محیطی مؤثر بر مدل‌سازی نیز یافته‌ها حاکی از وجود تطابق میان یافته‌های این پژوهش و

سایر پژوهش‌های صورت گرفته در رابطه با این گونه (۲، ۶ و ۱۰) می‌باشد. در بحث متغیر فاصله از مناطق مسکونی، کاهش میزان AUC به پایین‌ترین مقدار خود در صورت حذف این متغیر از مدل‌سازی، حاکی از اهمیت اثر این متغیر بر مطلوبیت زیستگاه‌های خرس قهوه‌ای است، امری که از سوی پژوهشگران مختلف مورد تأکید واقع شده است؛ در این زمینه عطایی و همکاران (۲) اظهار داشته‌اند که خرس از سایر فعالیت‌های انسانی نظیر جاده، روستا و سد دوری می‌کند. آنها این یافته را دلیلی بر تعارض میان خرس و فعالیت‌های انسانی دانسته‌اند. در این زمینه فرناندز و همکاران (۱۰) نیز بر اجتناب خرس قهوه‌ای از حضور در نزدیکی مناطق مسکونی تأکید کرده‌اند. هم‌چنین شناسایی متغیر تیپ‌بندی گیاهی به‌عنوان متغیری که به تنهایی حاوی اطلاعات بسیار ارزشمندی جهت مدل‌سازی زیستگاه است، قابل توجه می‌باشد. بررسی موقعیت پراکنش گونه در ارتباط با این متغیر حاکی از گرایش گونه مطالعاتی به مناطق جنگلی است. در واقع تمایل حضور خرس قهوه‌ای به ترتیب در جنگل‌های انبوه، نیمه‌انبوه و تنک پوشیده از درختان بلوط، بادام کوهی، پسته وحشی و... نشانگر تأثیرپذیری غیرقابل انکار مطلوبیت زیستگاه این گونه از مناطق جنگلی می‌باشد. فرناندز و همکاران (۱۰) نیز در این زمینه به نتیجه مشابهی دست یافتند؛ آنها در مطالعه خود بیان داشتند که خرس‌ها معمولاً در مناطق جنگلی و پس از آن در زیستگاه‌های حاشیه‌ای پوشیده از گیاهان علفی و بوته‌ای حضور دارند. به‌علاوه، در ارتباط با متغیر ارتفاع از سطح دریا که طی تحلیل جک‌نایف از جمله متغیرهای مهم در مدل‌سازی شناخته شد؛ بررسی‌های بیشتر حاکی از تمایل خرس به حضور در مناطق مرتفع (۲۰۰۰-۱۰۰۰ متر) بود که این یافته با آنچه نظامی (۶)، عطایی و همکاران (۲) و نواز و همکاران (۲۰) بدان دست یافته بودند، مطابقت دارد. این پژوهشگران در پژوهش‌های خود به تمایل خرس قهوه‌ای به استفاده از زیستگاه‌های مرتفع اشاره داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

لزوم بهره‌گیری از این روش به‌عنوان ابزاری نیرومند در جهت بهبود اطلاعات موجود در زمینه پراکنش گونه‌ها در سطح کشور را مطرح می‌سازد. به‌علاوه، مطالعه وضعیت زیستگاه‌های خرس قهوه‌ای در سطح کشور و تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه آن به‌عنوان یک گونه چتر می‌تواند گام مؤثری در راستای مدیریت بهینه زیستگاه‌های این گونه و به تبع آن بهبود وضعیت حفاظتی سایر گونه‌های هم‌بوم با این گونه در سطح کشور باشد.

به‌طور کلی یافته‌های این پژوهش حاکی از موفقیت‌آمیز بودن الگوریتم آنتروپی بیشینه در مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای در منطقه حفاظت شده شیمبار است. این یافته دال بر موفقیت‌آمیز بودن بهره‌گیری از بررسی‌های میدانی محدود در ارتباط با متغیرهای محیطی در شناسایی مطلوبیت زیستگاه گونه‌های حیات وحش مانند خرس قهوه‌ای است. امری که

منابع مورد استفاده

۱. عبیدادی، ز. ۱۳۹۴. طراحی سامانه Web GIS حیات وحش استان خوزستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲. عطایی، ف.، م. کرمی و م. کابلی. ۱۳۹۱. مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه تابستانه خرس قهوه‌ای (*Ursus arctos syriacus*) در منطقه حفاظت شده البرز جنوبی. نشریه محیط‌زیست طبیعی ۶۵(۲): ۲۴۵-۲۳۵.
۳. کمایی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی اثر کاربری اراضی بر مطلوبیت زیستگاه خرس قهوه‌ای در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. میرزایی، ر.، م. همای، ع. اسماعیلی ساری و ح. رضایی. ۱۳۹۲. تعیین پراکنش سارگپه معمولی (*Buteo buteo*) و عوامل مؤثر بر آن در استان گلستان با استفاده از الگوریتم آنتروپی بیشینه، نخستین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین، اصفهان، ۸-۷ آبان ۱۳۹۲.
۵. میرعباسی نجف‌آبادی، ر.، ی. دین‌پژوه و ا. فاخری‌فرد. ۱۳۹۰. مدل‌سازی بارش رواناب با استفاده از اصل ماکزیمم آنتروپی (مطالعه موردی: حوضه کسپلیان). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۵(۵۸): ۵۱-۳۹.
۶. نظامی، ب. ۱۳۸۷. بررسی بوم‌شناختی خرس قهوه‌ای در بخش شمالی منطقه حفاظت شده البرز مرکزی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.
7. Almpandou, V., A. D. Mazaris, Y. Mertzanis, I. Avraam, I. Antoniou, J. D. Pantis and S. P. Sgardelis. 2014. Providing insights on habitat connectivity for male brown bears: A combination of habitat suitability and landscape graph-based models. *Ecological Modelling* 286: 37-44.
8. Brendan, A. W., E. Jane and M. P. Joanne. 2005. Fauna habitat modelling and mapping: A review and case study in the Lower Hunter Central Coast region of NSW. *Austral Ecology* 30(7): 719-738.
9. CITES. 2016. Convention on International Trade in Endangered Species of wild fauna and flora, Appendices I, II and III. Washington, USA, 3 March 1973, entered into force on 1 July 1975, p: 9. Available at: <https://www.fws.gov/le/pdf/CITESTreaty.pdf>.
10. Fernandez, N., N. Selva, C. Yuste, H. Okarma and Z. Jakubiec. 2012. Brown bears at the edge: Modeling habitat constrains at the periphery of the Carpathian population. *Biological Conservation* 153: 134-142.
11. Fielding, A. H. and J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environment Conservation* 24: 38-49.
12. Garcia, P., J. Lastra, J. Marquinez and C. Nores. 2007. Detailed model of shelter areas for the Cantabrian brown bear. *Ecological Informatics* 2: 297-307.
13. Guisan, A. and N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling* 135: 147-186.
14. Guisan, A. and U. Hofer. 2003. Predicting reptile distributions at the mesoscale: relation to climate and topography.

- Biogeography* 30(8): 1233-1243.
15. Gutleb, B. and H. Ziaie. 1999. On the distribution and status of brown bears *Ursus arctos* and the Asiatic black bear, *U. thibetanus* in Iran. *Zoology in the Middle East* 18: 5-8.
 16. Hirzel, A. H. 2001. When GIS come to life. Linking landscape and population ecology for large population management modelling: the case of ibex (*Capra ibex*) in Switzerland. PhD dissertation, The University of Lausanne, Lausanne.
 17. Koren, M., S. Findo, M. Skuban and M. Kajba. 2011. Habitat suitability modelling from non-point data: The case study of brown bear habitat in Slovakia. *Ecological Informatics* 6: 296-302.
 18. Kumar, S. and T. J. Stohlgren. 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment* 1(4): 094-098.
 19. Loiselle, B. A., C. A. Howell, C. H. Graham, J. M. Goerck, T. Brooks, K. G. Smith and P. H. Williams. 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conservation Biology* 17: 1591-1600.
 20. Nawaz, M. A., J. Martin and J. E. Swenson. 2014. Identifying key habitats to conserve the threatened brown bear in the Himalaya. *Biological Conservation* 170: 198-206.
 21. Pearson, R. G., C. J. Raxworthy, M. Nakamura and A. T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Biogeography* 34: 102-117.
 22. Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190: 231-259.
 23. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015-4. <http://www.iucnredlist.org>. Downloaded on 29 June 2016.
 24. Verbruggen, H. 2011. Occurrence Thinner 1.03. <http://www.phycoweb.net/software/OccurrenceThinner/>. Accessed: 7 October 2012.
 25. Verbruggen, H., L. Tyberghein, M. F. Belton, A. Jueterbock, G. Hoarau, C. F. D. Gurgel and O. De Clerck. 2013. Improving transferability of introduced species' distribution models: new tools to forecast the spread of highly invasive seaweed. *PLOS ONE* 8 (6): e68337.