مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه پایکا (*Ochotona rufescens*) با استفاده از روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی در پارک ملی گلستان

- **محمد حسنی*:** گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق پستی: **49138-15739**
- **حسین وارسته‌مرادی:** گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق پستی: **49138-15739**
- **حمید بخشی:** گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صندوق پستی: **49138-15739**

تاریخ دریافت: فروردین 1393 تاریخ پذیرش: تیر 1393

چکیده

ویژگی بوم‌شناختی گونه‌ها و تعیین مطلوبیت زیستگاه آن‌ها، یکی از ارکان اصلی مدیریت و حفاظت گونه‌های حیات‌وحش محسوب می‌گردد. در این مطالعه مطلوبیت زیستگاه پایکا (*Ochotona rufescens*) در پارک ملی گلستان مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور مدل‌سازي مطلوبیت زیستگاه این گونه از روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی (ENFA) و نرم‌افزار بایومپر استفاده شد. لایه‌هاي اطلاعاتي به‌کار برده شده به‌عنوان متغیرهاي مؤثر بر حضور گونه شامل ارتفاع، شیب، جهت، شاخص پوشش گیاهي(NDVI)[1]، فاصله از چشمه‌ها و رودخانه بود. نتایج در سطح معنی‌داری 95 درصد نشان داد که زیستگاه مطلوب این گونه به‌طور میانگین در ارتفاع 1325متر از سطح دریا و در شیب‌های 21 درجه، جهت جنوبی، فواصل 2291 و 3054 متری از آبراهه و چشمه‌ها قرار دارد. نتایج حاصل از مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه نشان داد که زیستگاه مطلوب پایکا در پارک ملي گلستان عمدتاً در مناطق صخره‌ای و کوهستانی با پوشش استپي است. پایکاها داراي آشیان بوم شناختي میانه‌ای هستند و به زیستگاه‌های حاشیه‌اي تمایل بیش‌تري دارند.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، پایکا، تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی، پارک ملی گلستان

1- Normalizel Difference Vegetation Index (NDVI)

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hasani.mohammad64@yahoo.com

مقدمه

تعیین مطلوبیت زیستگاه یکی از ارکان مدیریت و حفاظت گونه‌های حیات وحش محسوب می‌گردد. مشکل زمان و بودجه قابل دسترس برای مطالعه زیستگاه‌ها در مقیاس وسیع -مثلاً در مقیاس یک استان- اجرای بسیاری از مطالعات را دشوار می‌سازد. لذا روش‌های مدل‌سازی زیستگاه که از سال 1970 تا کنون به‌سرعت در مدیریت حیات وحش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ابزاری مناسب برای غلبه بر این مشکل معرفی شده‌اند (Anderson و همکاران، 2000). مطالعه انتخاب زیستگاه از طریق مدل‌سازی اطلاعات مفیدی را در زمینه رابطه بین زیستگاه و گونه‌ها فراهم می‌کند (Olivier و Wotherspoon، 2006). با روش‌های مدل‌سازی زیستگاه به یک برآورد در مقیاس وسیع از مطلوبیت زیستگاه گونه‌های حیات وحش بدون نیاز به جمع‌آوری اطلاعات از جزئیات ویژگی‌های فیزیولوژیک و رفتاری گونه می‌توان دست یافت (Morrison و همکاران، 1992). مشخص کردن محدوده پراکنش گونه‌ها، شناخت پارامترهای محیطی که توسط گونه در یک منطقه انتخاب می‌شود و پراکنش زیستگاه‌های مناسب از مهم‌ترین فعالیت‌ها در زیست‌شناسی حفاظت محسوب می‌شوند (ملکی-نجف‌آبادی و همکاران، 1389). با مدل‌سازی زیستگاه گونه‌ها براساس سیستم اطلاعات جغرافیایی از طریق رکوردهای ثبت شده گونه، می‌توان توزیع گونه را تخمین زد و برای ارزیابی حفاظت مورد استفاده قرار داد (Anderson و Meyer، 2004). اغلب مدل‌های پیش‌بینی توزیع جغرافیایی گونه‌ها، بر مفهوم آشیان بوم-شناختی استوار هستند که به بررسی ارتباط حضور گونه با متغیرهای محیطی می‌پردازند (فراشی و همکاران، 1388). اخیراً یک روش مناسب برای غلبه بر این مشکل به‌نام تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی (ENFA)[1] دسته روش‌های نوین مدل سازی با به کارگیری داده‌های فقط حضور گونه است و به‌دلیل صرفه جویی در زمان و کاهش هزینه مطالعه، به گستردگی مورد استفاده محققان قرار می‌گیرد (Master و همکاران، 2007؛ Hirzel و Guisan، 2002). این روش تا حدود زیادی به تحلیل به مؤلفه‌های اصلی(PCA)[2] شبیه است و با تبدیل متغیرهای زیستگاهی به عوامل (*Factors*) به بررسی رابطه حضور گونه با متغیرهای مستقل زیست محیطی می‌پردازد. امیدی و همکاران (1388) و فلاح‌باقری و همکاران (1388) به‌ترتیب مطلوبیت زیستگاه پلنگ و ارزیابی زیستگاه قوچ و میش اصفهانی در پارک ملی کلاه قاضی را با روش ENFA انجام دادند. Bruggeman (2010) به بررسی فاکتورهای موثر بر جمعیت‌های پایکا آمریکایی (*Ochotona princeps*) در شمال پارک ملی Cascades پرداخت. Haleem و همکاران (2012) به مطالعه و بررسی فراوانی و توزیع پایکا (*Ochotona roylei*) در حیات وحش Kedarnath در ارتفاعات مختلف Uttarakhand هیمالیا از هند پرداختند. Richardson (2012) به بررسی رابطه بین ارتفاع، درجه حرارت و روش‌های علفچری در پایکای آمریکایی (*Ochotona princeps*) در شمال پارک ملی Cascades در واشنگتن پرداخت. هرچند مطالعات بسیاری در مورد ارزیابی زیستگاه گونه‌های مختلف حیات وحش با روش‌های متفاوت در ایران صورت گرفته است، ولی در مورد زیستگاه پایکا افغانی (Afghan Pika) مطالعات محدودی در ایران انجام شده که از آن جمله می‌توان به ارزیابی زیستگاه پایکای افغانی توسط خاکی صحنه و همکاران (1390) در منطقه حفاظت شده لشگردر، همدان انجام شده اشاره کرد. هدف از این مطالعه مشخص نمودن عوامل موثر بر مطلوبیت زیستگاه پایکا در پارک ملی گلستان به‌عنوان الگویی از زیستگاه‌های کوهستانی ایران، تعیین مطلوبیت زیستگاه گونه در این منطقه و در نهایت بررسی امکان به‌کارگیری روش ENFA در امر مدیریت و حفاظت گونه‌های مختلف حیات وحش می‌باشد.

1 Ecological Niche Factor Analysis(ENFA)

2 Principal Component Analysis (PCA)

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: پارک ملی گلستان منطقه‌ای کوهستانی است که در منتهی‌الیه شرق جنگل‌های شمال کشور واقع شده است. این پارک از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل ′ 34 37 تا ′ 00 37 عرض شمالی و 00 55 تا 43 ′ 55 56 طول شرقی بین شهرستان‌های گنبد قابوس و بجنورد قرار گرفته است. پارک ملی گلستان در 55 کیلومتری شرق گنبد قابوس و 115 کیلومتری غرب بجنورد و در مسیر بزرگراه آسیایی تهران- مشهد واقع شده است که این بزرگراه به طول 35 کیلومتر آن را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند. این پارک در حوزه قضایی سه استان خراسان شمالی، سمنان و گلستان قرار دارد، اما از نظر تشکیلات و مسئولیت حفاظتی تحت نظر اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان قرار دارد (مجنونیان و همکاران، 1378) و منطقه‌ای کوهستانی با دامنه ارتفاع 450 تا 2411 متر از سطح دریا و با مساحتی برابر با 91895 هکتار است (درویش‌صفت، 1385).

معرفی گونه: پایکا یا خرگوش موش (*Ochotona rufescens*) پستاندارانی علفخوار متعلق به خانواده پایکاها (Ochotonidae) و راسته خرگوش‌ها (Lagomorpha) می‌باشد. گونه‌های جنس Ochotona معمولاً در مناطق سرد و صخره‌ای کوهپایه‌ها زندگی می‌کنند. در ایران طبق گزارش‌های موجود تنها گونه پایکا *O. rufescens* در ارتفاعات داخلی (زاگرس، البرز، هزار مسجد) وجود دارد. جایگاه اصلی این گونه افغانستان است ولی در ارتفاعات ایران، پاکستان و ترکمنستان در ارتفاعات 1800 تا 3600 متر دیده می‌شود (ضیایی، 1387).

روش تحقیق: در این تحقیق از دو نوع داده شامل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های به‌دست آمده از GPS در طی عملیات میدانی استفاده شده است. در این‌جا از روش ترانسکت خطی تصادفی با روش مشاهده مستقیم با شناسایی نمایه‌های پایکا (سرگین و کپه‌ای گیاهی جمع‌آوری شده توسط پایکا) نمونه‌برداری انجام شد (Beever و همکاران، 2003). این ترانسکت‌ها به‌صورت طولی و در جهت افزایش ارتفاع قرار گرفتند. نقطه شروع نمونه‌برداری به شکل تصادفی انتخاب و ترانسکت‌ها طوری قرار گرفتند که اولاً تمام بخش‌های مورد بررسی را پوشش دهند و ثانیاً تیپ‌ها و پستی بلندی‌های مختلف در طول مسیر را در بر گیرند. به این ترتیب 9 ترانسکت با مجموع طول 18 کیلومتر طی تابستان و پاییز 1391 مستقر گردید. در طول ترانسکت‌ها به‌منظور به حداقل رساندن همبستگی فضایی بین افراد گونه حداقل 50 متر در نظر گرفته شد (Guo و همکاران، 2012). در داخل هر پلات مختصات نقطه مرکز پلات به کمک GPS ثبت شد. در مجموع 83 پلات نمونه‌برداری جهت انجام آنالیزهای آماری تعیین گردید. اساس تجزیه و تحلیل به‌کار برده شده در این تحقیق را روش تجزیه و تحلیل فاکتورهاي آشیان اکولوژیک (ENFA) تشکیل می‌دهد. در این مطالعه از نرم‌افزار Biomapper براي تهیه مدل مطلوبیت زیستگاه و هم‌چنین از نرم‌افزار ادریسی[1] 3/2 براي ساخت لایه‌های اطلاعاتي و ورود آن‌ها به نرم‌افزار Biomapper استفاده شد. مطالعه خصوصیات اکولوژیکی و رفتارشناسی گونه یکی از عوامل مهم در تهیه اطلاعات مورد نظر برای استفاده از روش ENFA است. در این روش نقشه‌هایی با عنوان عوامل مستقل محیطی وارد مرحله تجزیه و تحلیل می‌شوند که با توجه به خصوصیات گونه مورد مطالعه و نیازهای آن در زیستگاه می‌توان این عوامل مستقل محیطی را با توجه به شرایط منطقه مشخص کرد. بدیهی است که برای استفاده از هر مدل می‌بایست متغیرهای متناسب با آن را جمع‌آوری کرد. سه دسته از متغیرهای اکولوژیکی که به‌عنوان مشخصه‌های پیش‌گویی کننده حضور

1 IDRISI

گونه معرفی شده‌اند عبارتند از (Guisan و Zimmermann، 2000):
الف- متغیرهای مربوط به منابع مورد نیاز گونه[1]: نشان‌دهنده ماده و انرژی مصرف شده توسط گیاهان و جانوران هستند. از قبیل: مواد مغذی، آب و نور مناسب.
ب- متغیرهای مستقیم[2]: مشخصه‌های محیط زیستی‌اند که اهمیت فیزیولوژیکی برای گونه دارند ولی به‌طور مستقیم مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. مانند: دما، pH.
ج- متغیرهای غیرمستقیم[3]: ارتباط فیزیولوژیکی مستقیمی بر عملکرد گونه ندارند. مانند: شیب، جهت، ارتفاع، موقعیت توپوگرافی، نوع زیستگاه، زمین‌شناسی.

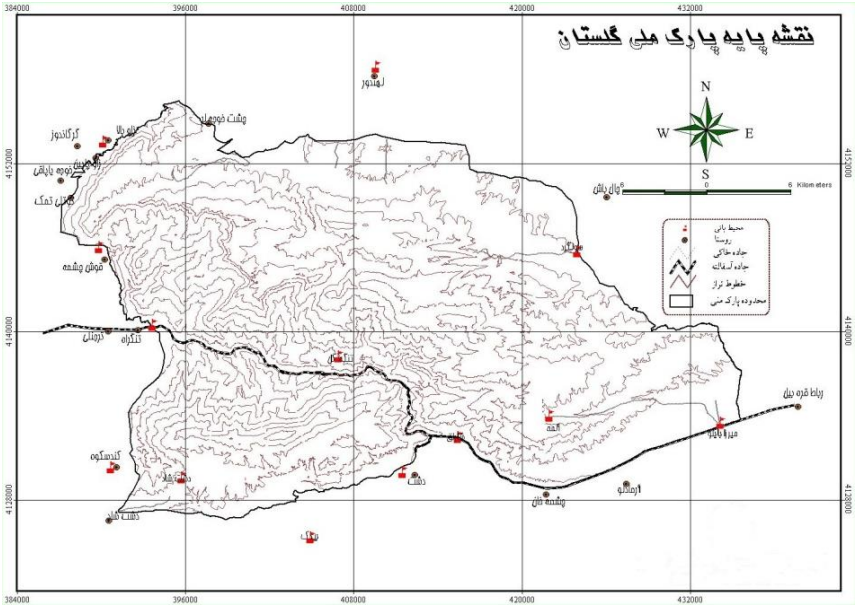
لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل در نرم‌افزار Biomapper را می‌توان به دو دسته لایه‌های اطلاعاتی شامل نرم‌افزار Work map و Ecogeographical maps طبقه‌بندی کرد. این لایه‌ها در ابتدا در نرم افزار IDRISI تهیه و تنظیم و سپس به نرم‌افزار Biomapper وارد شوند:

1-Work map: این نقشه به‌عنوان متغیر وابسته و شامل نقاط حضور گونه مورد مطالعه در سطح منطقه است. این نقاط ابتدا به شکل وکتوری در یک لایه گنجانده و سپس به شکل رستری تبدیل و در نهایت به نقشه بولی تبدیل شد تا به‌عنوان لایه اطلاعاتی وابسته قابل ورود به آنالیز ENFA باشد.

2-Ecogeographical maps: این نقشه‌ها اطلاعات متغیرهای مستقل زیستگاهی هستند که حضور و یا عدم حضور گونه به آن‌ها بستگی دارد.

با مطالعه رفتارشناسی پایکا در منابع مختلف (Bruggeman، 2011؛ Bruggeman، 2010) و همچنین مشاهدات صحرایی در منطقه مورد مطالعه و منابع قابل دسترس، فاکتورهای عمده‌ای که به‌عنوان متغیرهای محیطی مدنظر و مورد سنجش قرار گرفتند عبارتند از: شیب (بر حسب درجه)، جهت جغرافیایی (به‌صورت درجه از شمال جغرافیایی)، ارتفاع از سطح دریا (بر حسب متر)، درصد پوشش گیاهی، آبراهه، چشمه و نوع خاک منطقه است. هم‌چنین از قالب مدل رقومی ارتفاع[4] به‌عنوان مرجع استفاده شد تا نقشه‌ها قابلیت روی‌هم گذاری را داشته باشند.

2 Resource variables
3 Direct variables
4 Indirect variables
5 Digital ElevationModel (DEM)



شکل 1: موقعیت جغرافیایی پارک ملی گلستان

پردازش داده‌ها: قبل از انجام تجزیه و تحلیل در نرم‌افزار Biomapper لازم است تا نقشه‌های رستری تهیه شده مورد پردازش اولیه قرار گیرند تا قابلیت روی‌هم گذاری و تحلیل‌های بعدی را داشته باشند. این پردازش‌ها عبارتند از:

1- بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها: روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی تا حدود زیادی به نرمال بودن داده‌های اولیه حساسیت دارد. یکی از بهترین روش‌های پیشنهاد شده برای نرمال بودن داده‌ها در Biomapper روش باکس- کاکس (Box-Cox) است.

تغییر شکل داده‌ها در این روش با معادله $T(X) = (XY-1)/Y$ صورت می‌پذیرد (X: متغیر اصلی، T(X): مقدار تغییر شکل یافته و Y: ضریب همبستگی بین داده‌ها و اگر مقدار آن صفر باشد از لگاریتم داده‌ها به‌جای فرمول بالا استفاده می‌شود.

2- بررسی میزان همبستگی داده‌ها: آنالیز ENFA در Biomapper نیاز به متغیرهایی دارد که با هم همبستگی ندارند. معمولاً توصیه می‌شود چنان‌چه دو یا چند متغیر دارای همبستگی بیش از 0/85 باشند، حذف یکی از آن‌ها از فهرست متغیرهای وارد شونده به آنالیز ENFA الزامی است. برای این مرحله، ماتریس همبستگی (Correlation Matrix) نقشه‌ها محاسبه شد. میزان همبستگی بین متغیرها کم‌تر از میزان بحرانی برای حذف یکی از متغیرها بود، لذا تمامی متغیرها برای آنالیز مورد استفاده قرار گرفتند (جدول 1).

جدول 1: ماتریس همبستگی متغیرهای مستقل محیطی

ردیف	جهت	ارتفاع	آبراهه	چشمه	تراکم پوشش گیاهی	شیب	خاک
جهت	1	-0/67	0/32	-0/080	0/150	0/095	0/074
ارتفاع	-0/67	1	0/334	0/017	-0/157	-0/035	-0/116
آبراهه	0/32	0/334	1	-0/074	-0/019	0/019	0/004
چشمه	-0/080	0/017	-0/074	1	-0/257	-0/252	-0/122
تراکم پوشش گیاهی	0/150	-0/157	-0/019	-0/257	1	0/436	0/560
شیب	0/095	-0/035	0/019	-0/252	0/436	1	0/322
خاک	0/074	-0/116	0/004	-0/122	0/560	0/322	1

آنالیزهای انجام شده توسط ENFA مشابه آنالیز تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، به محاسبه عواملی می‌پردازد که توضیح‌دهنده بخش عمده‌ای از تأثیر متغیرهای مستقل محیط زیست گونه است.

ماتریس امتیازات[1] میزان حاشیه‌گرایی[2] و تخصص‌گرایی[3] پایکا را در زیستگاه‌های مختلف این منطقه نشان می‌دهد. ستون اول این جدول نشان‌دهنده میزان حاشیه‌گرایی پایکا در منطقه و به معنای فاصله بوم‌شناختی میانگین پراکنش پایکا در هر متغیر بوم‌شناختی تا میانگین همان متغیر در سطح کل منطقه مورد مطالعه است (Hirzel و همکاران، 2006). این نمایه از رابطه $M=|m_G - m_S| / 1/96S_G$ محاسبه می‌گردد. در این رابطه میانگین توزیع گونه، میانگین توزیع عمومی و انحراف استاندارد توزیع عمومی است. مقادیر مثبت این نمایه نشان دهنده آن است که پایکا زیستگاه‌هایی را ترجیح می‌دهد که دارای مقادیر بیشتری از متغیر مربوطه نسبت به میانگین کل این متغیر در سطح منطقه است. به‌عبارت دیگر این عمل بیان می‌کند که آیا گونه مورد مطالعه زیستگاه‌های کرانه‌ای را برگزیده و یا این که در محدوده میانی از گستره منابع مورد استفاده خود زیست می‌کند. هم‌چنین عامل تحمل‌پذیری کل[4] جهت تعیین تحمل‌پذیری (یا به‌عبارت دیگر تخصصی بودن گونه) در محدوده منابع مورد استفاده خود در زیستگاه محاسبه شد. این فاکتور در واقع معکوس میزان تخصصی بودن گونه است، به‌طوری‌که مقدار کم آن نشان دهنده یک گونه با توان تحمل پایین در محدوده شرایط محیطی خود است. به‌عبارت دیگر این دسته از گونه‌ها دارای آشیان بوم‌شناختی کم عرض بوده و به زندگی در محدوده باریکی از شرایط محیطی خود تمایل بیشتری دارند.

پس از اجرای تحلیل ENFA و دستیابی به خروجی‌های مربوطه می‌توان به محاسبه نقشه مطلوبیت زیستگاه پرداخت. گام اول در محاسبه نقشه مطلوبیت زیستگاه محاسبه map Factor است. نتایج این تحلیل برای محاسبه نقشه مطلوبیت زیستگاه الزامی است. نکته حائز اهمیت در این تحلیل تعیین تعداد نقشه‌های ENFA وارد شونده به تحلیل مطلوبیت زیستگاه (Habitat suitability) است. در تحلیل Factor map، کاربر تعیین می‌کند چند نقشه ENFA طی این تحلیل تولید گردد. البته Biomapper خود نیز براساس معیار چوب شکسته مک-آرتور[5] تعداد نقشه‌های ENFA را پیشنهاد می‌کند لیکن کاربر می‌تواند خود این تعداد را براساس مقدار تجمعی واریانس توجیه شده توسط فاکتورها تعیین نماید. برای تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه در نرم‌افزار Biomapper امکان به‌کارگیری الگوریتم‌های متفاوتی شامل الگوریتم میانگین میانه[6]، الگوریتم میانگین هندسی[7]، الگوریتم میانگین هارمونیک[8] و الگوریتم حداقل فاصله[9] فراهم شده است. با توجه به این که نتایج حاصل بر مبنای انتخاب و به‌کارگیری هر الگوریتم متفاوت خواهد بود، لذا انتخاب یک الگوریتم مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است. در نسخه بایومپر4 این امکان فراهم شده است تا با استفاده از شاخص بویس[10] به‌توان یک الگوریتم مناسب برای تهیه نقشه مطلوبیت انتخاب نمود (Boyce، 2006). در مقایسه بین 4 الگوریتم یاد شده، هرچه میزان این شاخص بیشتر و انحراف معیار (SD) کم‌تر باشد، نشان دهنده آن است که الگوریتم انتخاب شده مناسب‌تر است (Hirzel و همکاران، 2006).

تعیین طبقات نقشه مطلوبیت با استفاده از شاخص Boyce: در

1 Score Matrix
2 Marginality
3 Specialization
4 Global Tolerance

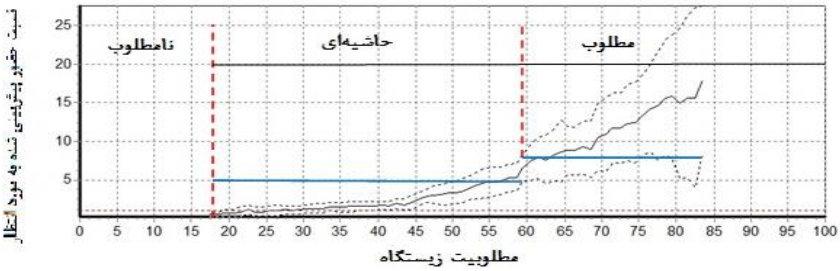
5 Mc-Arthur
6 Median mean
7 Geometric mean
8 Harmonic mean
9 Minimal distance
10 Boyce

نمودار خطی حاصل از به‌کارگیری شاخص Boyce، محور عمودی (Fi) نشان دهنده نسبت مقدار عددی پیش‌بینی شده برای هر کلاس (i)، به مقدار مورد انتظار است. بنابراین، هر چه میزان Fi بیشتر باشد نشان دهنده یک مدل خوب است (Boyce و همکاران، 2002). با توجه به نمودار حاصل (شکل 2)، در جایی‌که Fi<1 باشد زیستگاه نامطلوب و در مواردی که Fi>1 و به سمت اعداد بالاتر سیر می‌کند، مطلوبیت زیستگاه نیز افزایش می‌یابد (Boyce، 2006):

$$Fi = Oi / Ei$$

مقدار شاخص Boyce از 1- تا 1+ متغیر است. مقادیر مثبت نشان دهنده مدلی است که محاسبه آن به‌واسطه نقاط پراکنش حضور گونه در آنالیز داده‌ها استفاده می‌شود و مقادیر نزدیک به صفر نمایانگر یک مدل تصادفی است. مقادیر منفی نیز نشان دهنده نواحی از زیستگاه با کیفیت پایین است. گونه مورد نظر از این نواحی استفاده نمی‌برد و صرفاً به‌عنوان محل رفت‌و آمد و گذر حیوان می‌باشد (Hirzel و همکاران، 2006).

به‌منظور مقایسه نتایج حاصل از ENFA در نرم‌افزار Biomapper، می‌توان از حساسیت‌سنجی مدل نسبت به فاکتورهای متعدد محیطی استفاده نمود.



شکل 2: طبقه‌بندی مطلوبیت زیستگاه براساس نمودار حاصل از شاخص بویس

بدین منظور ابتدا با به‌کارگیری Logistic Regression و وارد نمودن نقشه حضور گونه به‌مراه 7 فاکتور مستقل محیطی، نتیجه‌ای حاصل گردید که براساس آن هر چه عدد R-Square به سمت 0/2 (Clark و Hosking، 1986) و عدد ROC (Relative Operating Characteristic) به سمت 1 گرایش یابد نشان دهنده صحت مدل است (Pontius و Schneider، 2001). برای تعیین حساسیت مدل نسبت به هر یک از فاکتورهای وارد شده به تحلیل و مشخص نمودن عواملی که بیش از بقیه در ساخت مدل و نتایج حاصله، نقش دارند می‌توان از تحلیل حساسیت و مقایسه فاکتورهای مختلف استفاده نمود. بدین منظور با بهره‌گیری از Logistic Regression، به تعداد فاکتورهای محیطی، هفت بار تحلیل مربوطه اجرا می‌گردد و در هر نوبت یکی از فاکتورها از تحلیل حذف می‌شود تا نتیجه حاصله در غیاب آن عامل با نتیجه کلی مقایسه گردد.

نتایج

معادلات صفات تولیدی: معادلات ضریب اقتصادي تولید شیر به‌همراه ضریب اقتصادي درصد چربي و پروتئین و طول عمر گله در گرایش حداکثر سود و در گرایش حداقل هزینه به شرح جدول 1 به‌دست آمد:

تحلیل پارامترهای آشیان بوم‌شناختی (ENFA): با توجه به ماتریس امتیازات (جدول 2) میزان حاشیه‌گرایی برای پایکا در این منطقه 0/66 محاسبه شد. از آن‌جاکه مقدار کم (نزدیک به صفر) این عامل نشان دهنده مرکز گرایی و مقادیر نزدیک به 1 بیانگر حاشیه‌گزینی گونه مربوطه در محدوده منابع مورد استفاده است، لذا میزان محاسبه شده برای پایکا

نشان دهنده این است که این جانور تمایل به زندگی در زیستگاه‌های حاشیه‌ای دارد. مقدار عامل تحمل‌پذیری کل برای پایکا در پارک ملی گلستان 0/428 و تقریباً در میانه محدوده معرفی شده (1- 0) می‌باشد و بیانگر این است که گونه مورد مطالعه از نظر تخصصی بودن در محدوده منابع مورد استفاده خود در زیستگاه تقریباً حد میانه را حفظ می‌کند. به‌عبارتی دیگر، گونه مورد مطالعه دارای آشیان بوم‌شناختی چندان کم عرض نیست و به زندگی در محدوده میانه‌ای از شرایط محیطی تمایل بیشتری دارد.

جدول 2: ماتریس امتیازات متغیرهای مستقل زیست محیطی

متغیرهای مستقل	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم	عامل پنجم	عامل ششم	عامل هفتم
زیست محیطی	%100حاشیه گرایی % 47 تخصص گرایی	% 40 تخصص گرایی	% 5 تخصص گرایی	% 3 تخصص گرایی	% 2 تخصص گرایی	% 1 تخصص گرایی	% 1 تخصص گرایی
جهت	-0/046	0/073	0/389	-0/635	0/540	-0/137	-0/041
ارتفاع	-0/201	-0/902	0/121	-0/153	0/064	0/265	0/208
آبراهه	0/225	0/117	-0/042	0/210	0/173	0/350	-0/743
چشمه	0/354	-0/398	-0/525	-0/031	0/177	-0/715	-0/272
تراکم‌پوشش گیاهی	-0/841	0/059	-0/246	-0/095	-0/174	-0/207	-0/430
شیب	-0/254	0/029	-0/348	0/503	0/764	-0/006	0/311
خاک	0/095	-0/069	-0/612	-0/515	-0/171	0/483	0/217

0/428 :(1/S) تحمل‌پذیری کل 2/334 :تخصص‌گرایی 0/660 :حاشیه‌گرایی

ستون اول در جدول2 به تنهایی 100% از حاشیه‌گرایی و 47% از تخصص‌گرایی را بیان می‌کند و ستون‌های بعدی به ترتیب 40%، 5%، 3%، 2%، 1% و 1% تخصص‌گرایی را نشان می‌دهند.

تهیه نقشه مطلوبیت زیستگاه (Habitat suitability map) : در این مطالعه تعداد نقشه ENFA حاصل از تحلیل Factor map برای محاسبه نقشه مطلوبیت زیستگاه 3 نقشه در نظر گرفته شد. به‌عبارت دیگر کلیه اطلاعات مربوط به تمامي فاکتورهاي محیط زیستي مورد استفاده در آنالیز در 3 نقشه خلاصه شده که درمجموع حاوي96 % ازکل اطلاعات مي‌باشند. مقادیر موجود در جدول 3 نشان‌دهنده سهم هریک از نقشه‌هاي ENFAبر حسب درصد در ساخت نقشه مطلوبیت زیستگاه مي‌باشد.

جدول 3: میزان اطلاعات نقشه‌های ENFA

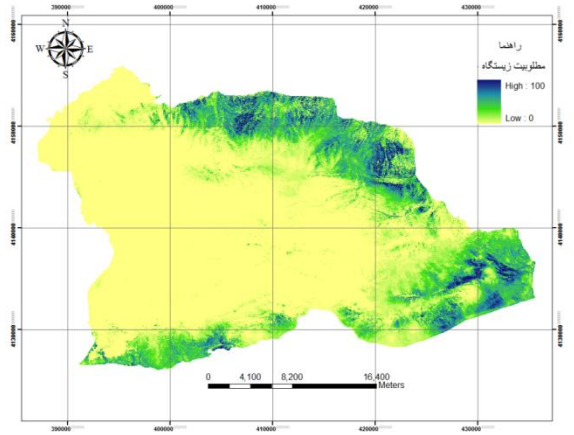
نقشه	میزان	درصد
ENFA-01_ST	1/468	73/24
ENFA-02_ST	0/402	20/05
ENFA-03_ST	0/054	2/69
جمع	1/924	96/00

تعیین الگوریتم مناسب با استفاده از شاخص Boyce: در این مطالعه، با مقایسه اعداد حاصل (جدول 4)، الگوریتم هندسی انتخاب شد. نقشه خروجی مطلوبیت زیستگاه شامل یک نقشه پیوسته از ارزش‌ها بین بازه 0 تا 100 است که هرچه به‌مقدار 100 نزدیکتر باشد مطلوبیت افزایش می‌یابد. در نتیجه طبقاتی با شماره بالاتر دارای مطلوبیت بیشتری هستند.
به‌منظور درک بهتر و استفاده راحت‌تر از نقشه حاصل، براساس به‌کارگیری شاخص Boyce تعداد 3 طبقه برای نقشه مطلوبیت زیستگاه تعیین شد (شکل 3). شکل 4، نقشه طبقه‌بندی شده مطلوبیت زیستگاه پایکا را در پارک ملی گلستان نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصله، بیشترین مساحت

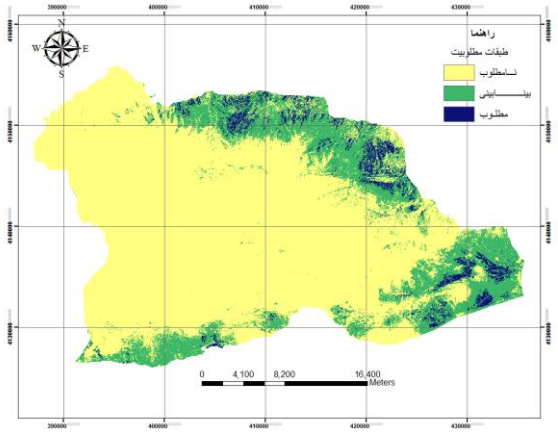
مربوط به کلاس1 (زیستگاه نامطلوب) و کم‌ترین متعلق به کلاس 3 (زیستگاه مطلوب) می‌باشد.

جدول 4: مقایسه شاخص بویس در الگوریتم‌های مختلف

ردیف	الگوریتم	انحراف معیار ± شاخص بویس
1	میانه	0/468 ±0/2965
2	هارمونیک	0/737 ±0/3205
3	هندسی	0/877 ±0/1726
4	حداقل فاصله	0/64 ±0/3133



شکل 3: مطلوبیت زیستگاه پایکا در پارک ملی گلستان



شکل 4: طبقه‌بندی مطلوبیت زیستگاه (مطلوب، بینابینی و نامطلوب)

ارزیابی صحت پیش‌بینی مدل برآورد شده از طریق شاخص Boyce: در این مطالعه همان‌طورکه از جدول3 مشخص است، مقادیر شاخص بویس به سمت 1 گرایش دارد و در الگوریتم به‌کار گرفته شده نیز میزان این شاخص 87% به‌دست آمد که این مقدار نشان دهنده صحت قابل‌قبول مدل است.

آزمون حساسیت در نرم‌افزار Idrisi: براساس نتایج حاصله از Logistic Regression، فاکتورهای محیطی شامل: شاخص پوشش گیاهی، خاک منطقه و ارتفاع، نقش موثر و مهمی در ساخت مدل و ارائه نقشه مطلوبیت زیستگاه پایکا دارند (جدول 5).

جدول 5: مقایسه مقادیر حاصل از Logistic Regression

ردیف	فاکتورمستقل محیطی	Pseudo R-Square	Roc
1	جهت	0/1231	0/8965
2	ارتفاع	0/1108	0/8720
3	آبراهه	0/1132	0/8926
4	چشمه	0/1207	0/8988
5	تراکم پوشش گیاهی	0/0284	0/6793
6	شیب	0/1204	0/8953
7	خاک	0/00914	0/8587
8	سری کامل داده‌ها	0/1231	0/8968

جدول 6: خلاصه نتایج تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی و رگرسیون لجستیک

تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی	رگرسیون لجستیک
شاخص پوشش گیاهی	شاخص پوشش گیاهی
چشمه	خاک
شیب	ارتفاع
آبراهه	آبراهه
ارتفاع	شیب

عوامل مؤثر بر مطلوبیت زیستگاه پایکا به‌ترتیب کاهش میزان اهمیت مرتب شده‌اند.

بحث

نتایج حاصل از تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی (ENFA) برای پایکا در پارک ملی گلستان براساس متغیرهای مستقل زیستگاهی مورد استفاده نشان می‌دهد که زیستگاه مطلوب پایکا در این منطقه به‌طور میانگین در ارتفاع 1325متر

از سطح دریا و در شیب‌های 21 درجه، جهت جنوبی، خاک‌های لومی، تراکم پوشش گیاهی 13 درصد و فواصل 2291 و 3054 متری از آبراهه و چشمه‌ها قرار داشته به‌طوری‌که بیشترین بخش از زیستگاه مطلوب در مناطق کوهستانی و صخره‌ای قرار دارد. درباره علت انتخاب این عوامل زیستگاهی توسط گونه با توجه سایر تحقیقاتی که در مورد پایکاها صورت گرفته است (Bruggeman، 2010) مشخص می‌گردد که یکی از عوامل اصلی در انتخاب زیستگاه توسط پایکاها ساختار پوشش زمین است. پایکاها از صخره‌ها هم به‌عنوان لانه و گریزگاه در برابر شکارچیان استفاده می‌کنند (Guo و همکاران، 2012). از آن‌جا که پایکاها به‌عنوان پستانداران علفخواری که اقدام به جمع‌آوری کپه‌های گیاهی می‌کنند، شناخته می‌شوند لذا مناطق مرتفع را به‌علت تنوع گیاهی ترجیح می‌دهند. نقش دیگری که ارتفاع می‌تواند داشته باشد، تأثیر در میزان آب شدن برف است. در مناطق مرتفع و دامنه‌های که نسبت به شمال جغرافیایی زاویه بیشتری دارند، پوشش برف دیرتر آب می‌شود و می‌تواند به‌عنوان عایقی گیاهان زیرین را از یخزدگی محافظت کند، هم‌چنین در بهار دیر آب شدن برف‌ها در مناطق مرتفع و دامنه‌های جنوبی سبب رشد گونه‌های متنوع گیاهی شده و گیاهان را برای مدت زمان بیشتری سرسبز و آبدار نگه می‌دارد، بنابراین باعث جذب پایکاها به این مناطق می‌گردد (خاکی‌صحنه و همکاران، 1390). در این تحقیق نتیجه به‌دست آمده ارزیابی زیستگاه پایکا مشخص نمود که زیستگاه انتخابی پایکا در سطح پارک ملی گلستان، مناطقي با پوشش سنگي و صخره‌اي به‌هم پیوسته که دارای درزها و شکاف‌های متعدد می‌باشد، که این نتیجه با سایر تحقیقاتی که روی این گونه صخره‌زی صورت گرفته شباهت زیادی دارد. از جمله می‌توان به نتایج خاکی صحنه و همکاران (1390) که مطلوبیت زیستگاه این گونه را در منطقه لشگردر استان همدان با روش رگرسیون منطقي دوتایي و HEP و هم‌چنین Haleem و همکاران (2012) که فراواني و توزیع پایکا را در آتراخاند هیمالیا، هند انجام داده‌اند و Bruggeman (2011) اشاره نمود. میزان حاشیه‌گرایی، تخصص‌گرایی و تحمل کل در این مطالعه به‌ترتیب 0/66، 2/334 و 0/428 محاسبه شد و نشان دهنده آن است که گونه تمایل به زندگی در زیستگاه‌های حاشیه‌ای داشته و از نظر تخصصی بودن در محدوده منابع مورد استفاده خود در زیستگاه تقریباً حد میانه را حفظ می‌کند. به‌عبارتی دیگر، دارای آشیان بوم‌شناختی چندان کم عرض نیست و به زندگی در محدوده میانه‌ای از شرایط محیطی تمایل بیشتری دارد و این نتیجه با رفتارشناسی و انتخاب زیستگاه پایکا هم‌خوانی و مطابقت دارد (Richardson، 2012). براساس نتایج حاضر مهم‌ترین عامل در تعیین مطلوبیت زیستگاه پایکا، شاخص تراکم پوشش گیاهی بوده که تأثیر منفی بر پراکنش گونه دارد بدین ترتیب که گونه در مناطق جنگلی و نیمه‌جنگلی حضور نداشته و تنها در مناطق مرتفع با پوشش استپی و درختان ارس و کرکو حضور دارد (بر اساس مشاهدات میدانی و نقاط ثبت شده حضور گونه). پایکاها به‌واسطه پاهای کوتاه و پرزهای کف پا قادر به جابه‌جایی زیاد و حرکت روی سطح خاک و مناطقی با تراکم گیاهی بالا نیستند (Bruggeman، 2011). علاوه بر NDVI، فاصله از چشمه‌ها و در مرحله بعد عامل شیب نیز به‌عنوان عوامل موثر بر میزان مطلوبیت زیستگاه در مدل وارد شده‌اند (جدول 6). این درحالی است که خاکی‌صحنه و همکاران (1390)، ساختار پوشش زمین را به‌عنوان مهم‌ترین عامل محیطی موثر بر انتخاب زیستگاه پایکا معرفی نمودند. هم‌چنین عامل فاصله از آبراهه نیز دیگر عامل معنی‌دار وارد شده در مدل می‌باشد. از آن‌جاکه زیستگاه پایکا مناطقي با پوشش سنگي و صخره‌اي به‌هم پیوسته

که دارای درزها و شکاف‌های متعدد می‌باشد لذا پایکاها برای جلوگیری از آب گرفتگی لانه از مسیر آبراهه‌ها فاصله می‌گیرند. از دیگر عوامل وارد شده در مدل عامل شیب است. با توجه به این که زیستگاه گونه در مناطق مرتفع و کوهستانی قرار دارد به‌نظر می‌رسد شیب نیز به‌عنوان یک عامل تحت تأثیر شرایط زیستگاهی وارد مدل شده است (جدول 6).

بنابراین می‌توان گفت نتایج حاصل با نتایج مطالعه Haleem و همکاران، (2012) و Bruggeman (2011) مطابقت دارد. در بررسی صحت مدل، با دقت در نتایج به‌دست آمده و درنظر گرفتن موارد مطرح شده در تحلیل حساسیت و نیز عدد R^2 (ضریب همبستگی اسپیرمن) می‌توان صحت مدل و دقت آن را تایید نمود (جدول 5). در این‌جا نیز عامل تراکم پوشش گیاهی، خاک منطقه و ارتفاع به‌ترتیب از مهم‌ترین عوامل در پراکنش گونه انتخاب شده که فاکتور پوشش گیاهی تاثیر منفی بر پراکنش گونه دارد (جدول 5). در پایان لازم به توضیح است استفاده از روش تحلیل عاملی آشیان بوم-شناختی (ENFA) نیاز به وارد نمودن حجم زیادی از اطلاعات نسبتاً دقیق از متغیرهای زیستگاهی به‌صورت لایه‌های رستری در نرم افزار دارد.

لذا به‌کارگیری این روش برای دستیابی به مطلوبیت زیستگاه بسیاری از گونه‌های جانوری در ایران به سختی امکان‌پذیر است، زیرا بانک اطلاعاتی جامعی از گونه‌های مختلف حیات وحش در مناطق متنوع ایران همراه با لایه‌های اطلاعاتی صحیح از متغیرهای زیستگاهی آن‌ها هنوز ایجاد نشده است و این امر مستلزم صرف وقت و هزینه جهت انجام مطالعات اولیه و جمع‌آوری داده‌های معتبر می‌باشد.

منابع

1. **امیدی، م.؛ کابلی، م.؛ کرمی، م.؛ سلمان‌ماهینی، ع. و حسن‌زاده-کیابی، ب.، 1388.** مدل‌سازی زیستگاه پلنگ ایرانی (*Panthera pardus saxicolor*) به‌روش تحلیل عاملی آشیان بوم‌شناختی در پارک ملی کلاه قاضی، استان اصفهان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. دوره 12، شماره 1، صفحات 137 تا 148.
2. **خاکی‌صحنه، س.؛ علیزاده‌شعبانی، ا.؛ میرسنجری، م.؛ کابلی، م.؛ نوری، ز. و فتاحی، ب.، 1390.** ارزیابی زیستگاه پایکای افغانی (*Ochotona rufescens*) با استفاده از روش‌های رگرسیون منطقی دتایی و HEP (مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده لشگردر، همدان). فصلنامه محیط زیست جانوری. سال 3، شماره 3، صفحات 1 تا 10.
3. **درویش‌صفت، ع.، 1385.** اطلس مناطق حفاظت شده. انتشارات دانشگاه تهران. 157 صفحه.
4. **ضیایی، ه.، 1387.** راهنمایی صحرایی پستانداران ایران. انتشارات کانون آشنایی با حیات وحش. 191 صفحه.
5. **فلاح‌باقری، ف.؛ کابلی، م. و فراشی، آ.، 1388.** ارزیابی زیستگاه قوچ و میش اصفهانی (*Ovis orientalis isfahanica*) در پارک ملی کلاه قاضی با روش ENFA. همایش و نمایشگاه ژئوماتیک. سازمان نقشه برداری کشور. تهران. 7 صفحه.
6. **فراشی، آ.؛ کابلی، م. و فلاح-باقری، ف.، 1388.** کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی در مطالعات حیات وحش. همایش و نمایشگاه ژئوماتیک. سازمان نقشه برداری کشور. تهران. 10 صفحه.
7. **مجنونیان، ه.؛ زاهد، ب.؛ حسن-زاده‌کیابی، ب.؛ فرهنگ دره‌شوری، ب. و گشتاسبمیگونی، ح.، 1378.** پارک ملی گلستان (ذخیره‌گاه زیستکره). سازمان حفاظت محیط زیست. تهران. 129 صفحه.
8. **ملکی‌نجف‌آبادی، س.؛ همامی، م.؛ سلمان‌ماهینی، ع. و راهداری، و.، 1389.** استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیای جهت مدیریت زیستگاه حیات وحش: مطالعه موردی قوچ و میش اصفهانی (*Ovis orientalis isfahanica*) در پناهگاه حیات وحش موته. همایش ملی ژئوماتیک. سازمان نقشه برداری کشور. تهران. 10 صفحه.
9. **Anderson, M.C.; Watts , J.M.; Freilich, J.E.; Yool, S.R.; Wakefield, G.I.; Mccaulery, J.F. and Fahnestock, A., 2000.** Regression-tree modeling of

desert tortoise habitat in the centeral Mojave. Ecological Applications. Vol. 10, No. 3, pp: 890-900.

10. **Anderson, R.P. and Meyer, E.M., 2004.** Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (Heteromys) of Ecuador. Biological Conservation. Vol. 116, No. 2, pp: 167-179.
11. **Beever, E.A.; Brussard, P.F. and Berger, J., 2003.** Patterns of apparent extirpation among isolated populations of pikas (*Ochotona princeps*) in the Great Basin. J. Mamm. Vol. 84, pp: 37-54.
12. **Boyce, M.S., 2006.** Scale for resource selection functions. Diversity Distrib. Vol. 12, No. 3, pp: 269-276.
13. **Boyce, M.S.; Vernier, P.R.; Nielsen, S.E. and Schmiegelow, F. K., 2002.** Evaluating resource selection functions. Ecology. Vol. 157, pp: 281-300.
14. **Bruggeman, J.B., 2010.** Pilot study on factors affecting pika population in the north cascades ecosystem. Final report. Beartooth Wildlife Research, California Press, Berkeley, California, USA. 197 p.
15. **Bruggeman, J.B., 2011.** Factors Affecting Pika Populations In The North Cascades National Park Service Complex. Beartooth Wildlife Research, LLC 700 Ninth Street Farmington, Minnesota 55024. 213 p.
16. **Clark, W.A. and Hosking, P.L., 1986.** Statistical Methods for Geographers, Chapter13. New York: John Wile & Sons. 135 p.
17. **Guisan, A. and Zimmermann, N.E., 2000.** Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling. Vol. 135, pp: 147-186.
18. **Guo, Z.G.; Li, X.F.; Liu, X.Y. and Zhou, X.R., 2012.** Response of alpine meadow communities to burrow density changes of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) in the Qinghai-Tibet Plateau. Acta Ecologica Sinica. Vol. 32, PP: 44-49.
19. **Haleem, A.; Ilyas, O.; Syed, Z. and Arya, S.K., 2012.** Abundance and distribution of Royle's Pika (*Ochotona roylei*) along different altitudinal ranges of Kedarnath Wildlife Sanctuary, Uttarakhand Himalayas, India. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT) ISSN: 2319-2402, ISBN: 2319-2399. Vol. 1, No. 2, pp: 13-16.
20. **Hirzel, A.H.; Lay, G.L.; Helfer, V.; Randin, C. and Guisan, A., 2006.** Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. Ecological Modelling. Vol. 199, pp: 142-152.
21. **Hirzel, A. and Guisan, A., 2002.** Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modeling, Ecological modeling. Vol. 157, pp: 331-341.
22. **Master, F.M.; Ferreira, J.P. and Mira, A., 2007.** Modeling the distribution of the European Polecat Mustela putorius in a Mediterranean agricultural landscape, Revue d'Ecologie (Terre Vie). Vol. 62, pp: 35-47.
23. **Morrison, M.L.; Marcot, B.G. and Mannan, R.W., 1992.** Wildlife-habitat relationships: Concepts and applications. University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, USA. 147 p.
24. **Olivier, F. and Wotherspoon. S.J., 2006.** Modelling habitat selection using presence-only data: Case study of a colonial hollow nesting bird, the snow petrel. Ecological modeling. Vol. 195, pp: 187-204.
25. **Pontius, R.G.J. and Schneider, L., 2001.** Land-use change model validation by a ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol. 85, No. 1-3. pp: 239-248.
26. **Richardson, R.M., 2012.** Factors Influencing Pika Foraging Behavior in North Cascades National Park Service Complex, Washington. Division of Biological Sciences, University of Montana, Missoula, MT, 59812, USA. 139 p.