بوم‌شناسی کاربردی/ سال چهاردهم / شماره سوم / ۱٤۰٤/ صفحات ۲۱ تا ۳٦

مقایسه عملکرد روش‌های اصلاح اریب مکانی داده‌های حضور در بهبود پیش‌بینی مدل‌های پراکنش

رسول خسروی*[۱]، حسین رحیمی نژاد[۲]، قصیده نیک‌آئین[۳] و سید رشید فلاح شمسی[٤]

(تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۱۰/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۵/۰۱/۲۹)

چکیده

اریب مکانی در داده‌های وقوع پستانداران به دلیل نمونه‌برداری غیریکنواخت، یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدل‌های پراکنش است. از این‌رو، ارزیابی اریب نقاط حضور، پیش‌نیاز بهبود دقت مدل‌های پراکنش است. در پژوهش حاضر، مجموعه‌ای از روش‌های متداول و نوین اصلاح اریب مکانی بر روی نقاط حضور دو علفخوار شاخص کشور شامل کل و بز (*Capra aegagrus*) و گوسفند وحشی (*Ovis gmelini/O.vignei*) به‌کار گرفته شد و با اعمال رویکردهای مختلف اصلاح اریب، تأثیر ناهمگونی تلاش نمونه‌برداری بر عملکرد مدل‌ها ارزیابی گردید. کارایی هر یک از این روش‌های پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازی نقاط حضور برای مجموعه‌ای از گونه‌های فرضی نیز ارزیابی و مقایسه شد. اگرچه تمامی روش‌های استفاده شده عملکرد مناسبی در پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها داشتند (AUC > ۰/۷۵)، اما بر اساس شاخص‌های تشابه، رویکرد تلفیقی گونه‌های هدف به‌عنوان مبنایی برای انتخاب نقاط پس زمینه و فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی در مقایسه با سایر روش‌ها عملکرد بهتری نشان داد. نتایج نشان داد که اصلاح اریب مکانی در داده‌های حضور علفخواران، نقش اساسی در بهبود دقت مدل‌های پراکنش دارد و به‌طور مؤثری اثر ناهمگونی تلاش نمونه‌برداری را کاهش داد. رویکردهای پیشنهادی می‌تواند الگویی جهت بهبود دقت مدل‌های پراکنش سایر گونه‌های جانوری باشد.

واژه‌های کلیدی: اریب مکانی، تلاش نمونه‌برداری، شاخص دسترسی، گونه‌های فرضی، مدل مکسنت

۱. دانشیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی، بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
٤. دانشیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: r-khosravi@shirazu.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

۱- مقدمه

مدل‌های پیش‌بینی پراکنش (Species distribution models, SDMs) یکی از مهم‌ترین ابزارهای کمّی در تحلیل الگوهای مکانی وقوع گونه‌ها در مدیریت حیات‌وحش هستند که با ترکیب داده‌های حضور و متغیرهای محیطی، روابط بوم‌شناختی میان گونه و زیستگاه را استخراج کرده و با تعمیم آن در مقیاس فضایی، احتمال حضور را در مناطق مختلف پیش‌بینی می‌کنند (۳۷). توانایی این مدل‌ها در تبدیل داده‌های پراکنده میدانی به اطلاعات کاربردی موجب شده است که در دو دهه اخیر به یک ستون اصلی در تصمیم‌گیری‌های حفاظتی تبدیل شوند (۲۰). مدل‌های پراکنش طیف وسیعی از رویکردهای آماری و یادگیری ماشین را در بر می‌گیرند (۳٦) که از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته (Generalized linear model, GLM) (۲۰) و مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته (Generalized additive model, GAM) (۲۰و۲۱) تا روش‌های غیرخطی پیچیده‌تر همچون شبکه عصبی (Artificial neural networks, ANN) (۳۲) و الگوریتم ژنتیک (Genetic algorithms for rule-set production, GARP) (٤۲) را شامل می‌شود. این مدل‌ها را می‌توان بر اساس نوع داده ورودی به مدل‌های حضور- عدم‌حضور (Presence-absence)، مدل‌های حضور-پس‌زمینه (Presence-background) و مدل‌های متکی به داده‌های حضور (Presence-only) طبقه‌بندی نمود.

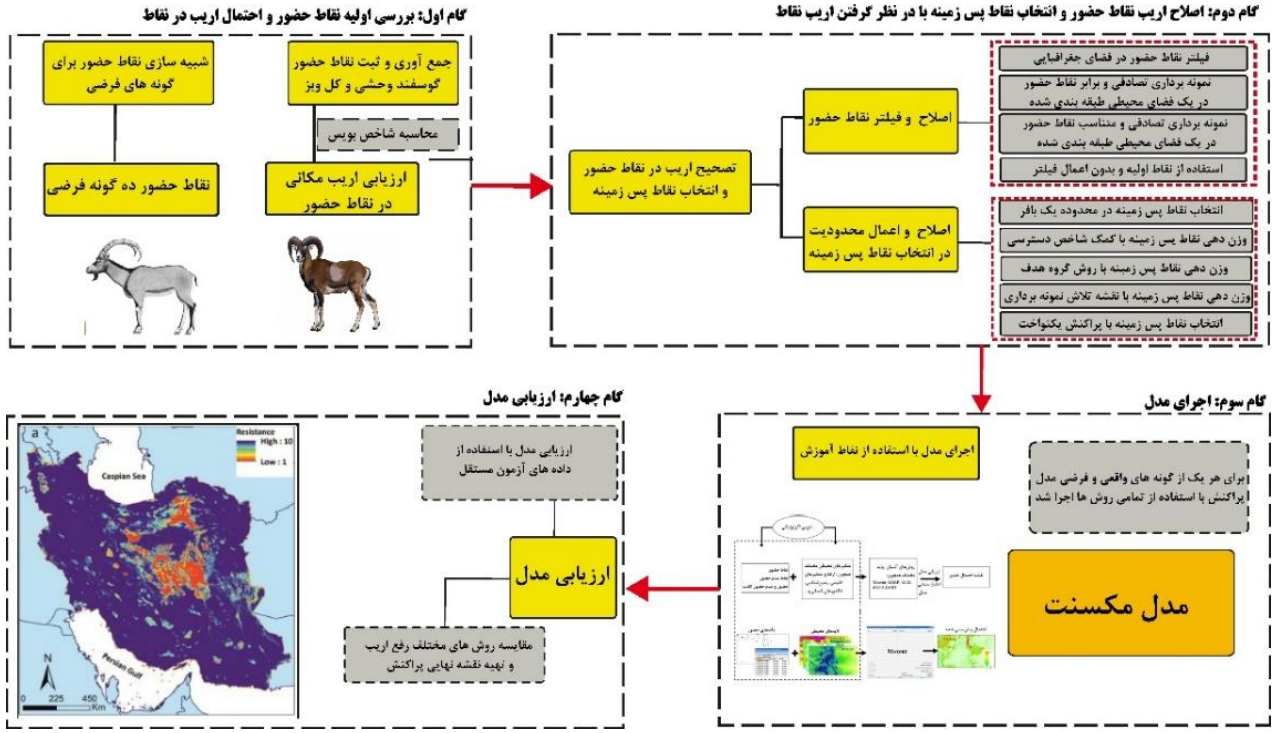
مدل‌های پراکنش کاربرد گسترده‌ای در شناسایی زیستگاه بالقوه گونه‌های در معرض خطر (۱٤)، تعیین زیستگاه‌های مطلوب جهت معرفی مجدد گونه‌ها (۳۰)، پیش‌بینی پراکنش و مسیر گسترش گونه‌های مهاجم (۱۰)، پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌ها (۱۹) و پیش‌بینی احتمال شیوع بیماری‌های حیات وحش (۲۹) دارند. پیشرفت‌های اخیر در استخراج داده-های مکانی و طراحی نمونه‌برداری، دقت مدل‌های پراکنش را افزایش داده است (۲۰). علیرغم کاربرد گسترده مدل‌های پراکنش در مدیریت تنوع زیستی، یکی از چالش‌های اصلی در پیش‌بینی احتمال وقوع گونه‌ها با استفاده از این مدل‌ها، اریب مکانی در ثبت داده‌های حضور است (۹ و ۱۱). داده‌های وقوع گونه‌ها معمولاً به‌صورت سیستماتیک جمع‌آوری نمی‌شوند، بلکه در مناطق با دسترسی بیشتر، تراکم نقاط نیز بیشتر است. (۳٤). این سوگیری مکانی منجر به تخمین نادرست روابط گونه و محیط، کاهش دقت مدل و اریبی در نقشه‌های پیش‌بینی شده می‌شود (۳۱ و ۳٤).

تاکنون روش‌های متنوعی جهت کاهش اثرات اریب نمونه-برداری پیشنهاد شده است. در این رویکردها با اصلاح نقاط حضور و یا اعمال محدودیت در انتخاب نقاط پس زمینه (Backgrounds) اثرات اریب کاهش می‌یابد. به طور مثال فیلتر مکانی نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی یا محیطی (۷و۱۵)، تخمین تلاش نمونه‌برداری در یک فضای محیطی یا جغرافیایی (۱۲)، انتخاب نقاط پس‌زمینه بر اساس نقاط حضور گروه هدف (Target-group background) (۳۵) و استفاده از متغیرهای کمکی (Covariate) (۳) برخی از رویکردهای پیشنهادی به منظور کاهش اریب در داده‌های ورودی مدل‌های پراکنش است (۳). علیرغم تعدد رویکردهای کاهش اریب مکانی در نقاط حضور در مطالعات انجام شده در دنیا، در مطالعات اندکی به استفاده از رویکردهای تلفیقی پرداخته شده‌است. از سوی دیگر، علیرغم اریب احتمالی نقاط حضور پستانداران بزرگ جثه در کشور، مطالعه‌ای در این خصوص در کشورصورت نگرفته‌است. ضرورت حفاظت از پستانداران بزرگ جثه، بعنوان گونه‌های شاخص اکوسیستم‌های کشور، اهمیت استفاده از یک رویکرد مناسب جهت رفع اریب مکانی در نقاط حضور و در نتیجه بهبود نقشه‌های پراکنش این گونه‌ها را دوچندان می‌نماید.

علفخواران بزرگ‌جثه‌ای همچون کل‌وبز (*Capra aegagrus*) و گوسفند وحشی (*Ovis gmelini / O. vignei*) از گونه‌های شاخص اکوسیستم‌های کشور به شمار می‌روند. این گونه‌ها به دلیل نقش بوم‌شناختی مهم اولویت بالایی در مدیریت تنوع زیستی دارند. با این حال، داده‌های حضور این گونه‌ها اغلب محدود به مناطق تحت حفاظت یا مناطق با دسترسی بالا است و نوعی اریب مکانی در نقاط حضور مشاهده می‌شود (۲۳). در

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]



شکل ۱. فلوچارت روش پژوهش

نتیجه، مدل‌سازی پراکنش این گونه‌ها بدون در نظر گرفتن اریب مکانی ممکن است به تفسیر نادرست روابط محیطی منجر شود. در پژوهش حاضر با استفاده از نقاط حضور واقعی و همچنین شبیه‌سازی نقاط حضور برای گونه‌های فرضی، کارایی مجموعه‌ای از روش‌های مختلف رفع اریب ارزیابی و مقایسه گردید. نتایج این پژوهش می‌تواند در کاهش اثر اریب مکانی نقاط حضور علفخواران بزرگ جثه بر خروجی مدل‌های پراکنش این گونه‌ها و در نتیجه بهبود راهبردهای مدیریتی و شناسایی اولویت‌های حفاظتی مؤثر واقع شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و گونه‌های هدف

کشور ایران با وسعت ۱/٦٤ میلیون کیلومتر مربع به دلیل قرارگیری در محل تلاقی سه ناحیه زیست‌جغرافیایی، تنوع اقلیمی، پیچیدگی توپوگرافی و تنوع زیستگاهی، از غنای فون و فلور قابل توجهی برخوردار است (۲ و ۳۳). کل و بز و گوسفند وحشی از مهم‌ترین علفخواران اکوسیستم‌های ایران به شمار می‌روند که نقش کلیدی در پویایی اکوسیستم، پراکنش بذر و حفظ ساختار زیست‌بوم‌های خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌کنند (۱ و ۵). هر دو گونه به‌دلیل شکار غیرمجاز، تخریب زیستگاه، خشکسالی و رقابت با دام اهلی در سال‌های اخیر کاهش چشمگیری داشته‌اند و در نتیجه در اولویت حفاظت قرار دارند (۱۸). مراحل اجرای پژوهش حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- ثبت نقاط حضور گونه‌های واقعی و شبیه‌سازی نقاط حضور گونه‌های فرضی

بخش عمده داده‌های حضور گونه‌های مورد مطالعه از مشاهدات مستقیم کارشناسان و محیط‌بانان ادارات کل محیط‌زیست استان‌ها به‌دست آمد که در قالب فعالیت‌های گشت و پایش روزمره ثبت می‌شود. داده‌های ثبت‌شده شامل مشاهدات مستقیم، ثبت نمایه‌ها نظیر ردپا، سرگین، نشانه‌گذاری و آثار تغذیه بود. برای صحت‌سنجی، مختصات نقاط حضور در محیط

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

Google Earth بررسی شد و نقاط مشکوک یا دارای تناقض مکانی حذف گردیدند. در نهایت تعداد ۲۲۷٤ نقطه برای کل و بز و ۲۱۳۰ نقطه حضور برای گوسفند وحشی در سطح کشور گردآوری شد.

نزدیکی به مناطق تحت حفاظت و شبکه جاده‌ای دو فاکتور مهم در ثبت نقاط حضور علفخواران بزرگ جثه در کشور است. از اینرو، نقشه شاخص دسترسی (Accessibility Index) با ترکیب دو عامل فاصله از مناطق تحت حفاظت و جاده‌ها تهیه شد (رابطه ۱). فرض بر این است که با فاصله از مناطق تحت حفاظت و همچنین جاده‌ها میزان دسترسی یک منطقه برای ثبت نقاط حضور علفخواران کاهش می‌یابد (۱۱).

$$AI_i = \frac{1}{2}\left(e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{dist_C}{\sigma_C}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{dist_R}{\sigma_R}\right)^2}\right)$$ رابطه ۱

در این تابع، AI_i شاخص دسترسی در سلول i و $dist_C$ و $dist_R$ به ترتیب فاصله از مناطق تحت حفاظت و شبکه جاده‌ای است. σ_C و σ_R نیز به ترتیب انحراف معیار توزیع فواصل از شبکه مناطق تحت حفاظت و شبکه جاده‌ای است. پس از تهیه نقشه شاخص دسترسی، با استفاده از شاخص بویس (Boyce) و بسته نرم افزاری *ecospat* در محیط R نسخه ٤.٥.۲ اریب مکانی در نقاط حضور بررسی شد.

به منظور ارزیابی عملکرد روش‌های رفع اریب، نقاط حضور برای ۱۰ گونه فرضی نیز با استفاده از بسته *virtualspecies* تولید شد (۳). بدین منظور، با بهره‌گیری از همان متغیرهای محیطی وارد شده به مدل‌های پراکنش گونه‌های واقعی، نقشه‌های مختلفی از مطلوبیت زیستگاهی برای گونه‌های فرضی ایجاد گردید. سپس این مقادیر با تبدیل لجستیک به نقشه احتمال حضور و نقشه حضور-عدم حضور تبدیل شدند (۳). در گام نهایی از نقشه‌های حضور-عدم حضور پیش‌بینی شده، تعداد ۱۰۰۰ نقطه حضور برای هر یک از گونه‌های فرضی به‌صورت کاملاً تصادفی به‌عنوان داده حضور بدون اریب استخراج شد. برای اعمال اریب در داده‌های حضور گونه‌های فرضی نیز، برداشت نقاط حضور با استفاده از نقشه شاخص دسترسی وزن‌دهی شد (۳). پس از تهیه نقاط حضور اریب و بدون اریب مکانی برای گونه‌های فرضی، تمامی روش‌های رفع اریب برای گونه‌های واقعی، برای گونه‌های فرضی نیز اعمال شد تا نتایج روش‌های رفع اریب در گونه‌های واقعی، با استفاده از گونه‌های فرضی نیز ارزیابی شود.

۲-۳- متغیرهای محیطی و انسانی در مدل‌های پراکنش

متغیرهای وارد شده به مدل پراکنش هر یک از گونه‌ها در پنج طبقه متغیرهای اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، انسانی و کاربری/پوشش اراضی تقسیم‌بندی شد. متغیرهای اقلیمی از وبگاه اقلیم جهانی WorldClim (https://www.worldclim.org/data/bioclim.html) در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ استخراج شد و با اجرای مدل پراکنش با استفاده از ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی، متغیرهای تأثیرگذار اقلیمی در مدل نهایی پراکنش برای هر گونه شناسایی شد. نقشه رقومی ارتفاع از پایگاه‌های داده‌ای موجود (http://srtm.csi.cgiar.org) تهیه گردید. سپس تعدادی شاخص توپوگرافی از نقشه رقومی ارتفاع استخراج گردید. تمامی شاخص‌های توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با اندازه سلول ۹۰ متر محاسبه گردید و در نهایت به اندازه سلول مورد نظر (یک کیلومتر مربع) نمونه‌برداری مجدد شد. این شاخص‌ها شامل: شاخص فاصله از گریزگاه (فاصله هر سلول از مناطق با شیب بیش از ۳۰ درجه)، سهم مناطق صخره‌ای (نسبت مناطق با شیب بیش از ۳۰ درجه در یک سلول با در نظر گرفتن یک بافر به شعاع یک کیلومترمربع)، شاخص موقعیت توپوگرافی (موقعیت توپوگرافی هر سلول با در نظر گرفتن یک پنجره متحرک به شعاع یک کیلومتر اطراف هر سلول)، میانگین شیب (میانگین شیب در هر سلول با در نظر گرفتن یک بافر به شعاع یک کیلومتر در اطراف سلول (۲۵)، شاخص ناهمواری عوارض (انحراف معیار ارتفاع هر سلول در مقایسه با مناطق مجاور با در نظر گرفتن یک بافر به شعاع یک کیلومتر اطراف هر سلول) بود (۲۵). در رابطه با متغیرهای پوشش گیاهی نیز، شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

جدول ۱. متغیرهای استفاده شده در مدل‌های پراکنش گونه‌های واقعی و فرضی. متغیرهایی که با علامت (*) مشخص شده‌اند، به دلیل همبستگی با سایر متغیرها از مدل نهایی حذف شدند.

طبقه	نام متغیرها	منبع	قدرت تفکیک	سال
اقلیمی	میانگین دمای سالانه، بارندگی سالانه، بارش خشک‌ترین فصل سال	www.worldclim.org	۱ کیلومتر	۲۰۰۰-۱۹۷۰
توپوگرافی	فاصله از گریزگاه، سهم مناطق صخره‌ای، موقعیت توپوگرافی، میانگین شیب، ناهمواری عوارض*	srtm.csi.cgiar.org	۹۰ متر	۲۰۱۸
پوشش گیاهی	تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی اسفند تا تیر و مرداد تا بهمن*	earthengine.google.com	۲۵۰ متر	۲۰۱۵، ۲۰۱۸، ۲۰۲۲، ۲۰۲۳
انسانی	رد پای انسانی	https://wcshumanfootprint.org	۲۵۰ متر	۲۰۱۵، ۲۰۲۰
پوشش/کاربری اراضی	فراوانی نسبی و فاصله از هر یک از پوشش/کاربری‌های جنگلی، مرتعی، کشاورزی، و بایر	frw.ir/fa	۱/۱۰۰۰۰۰	۲۰۱۵

(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۸، ۲۰۲۲، و ۲۰۲۳ و در دو بازه زمانی فصل رویش (اسفند تا تیر) و فصل خشک سال (مرداد تا بهمن) با قدت تفکیک ۲۵۰ متر محاسبه شد (۲۵). در رابطه با متغیرهای انسانی نیز، از میانگین نقشه ردپای انسانی (Human Footprint) در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر استفاده شد (۳۸). برای متغیرهای پوشش/کاربری اراضی نیز از نقشه پوشش/کاربری اراضی سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور استفاده شد و طبقات اراضی کشاورزی، جنگلی، مرتعی و بایر استخراج گردید. فراوانی نسبی هر یک از کاربری‌های اشاره شده در هر سلول با در نظر گرفتن یک بافر به شعاع یک کیلومتر اطراف سلول و همچنین فاصله هر سلول از کاربری‌های اشاره شده محاسبه گردید. به منظور کاهش تعداد متغیرهای وارد شده به مدل، از روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده شد (۲۶). بدین منظور در ابتدا با استفاده از شاخص همبستگی پیرسون تمامی متغیرها در چند گروه همبسته طبقه‌بندی شدند. سپس، مدلسازی با استفاده از متغیرهای هر گروه اجرا و متغیرهای با بیشترین درصد اهمیت برای اجرای مدل نهایی انتخاب گردید. مراحل ارزیابی همبستگی بین متغیرها، در بسته *virtualspecies* در محیط R انجام شد (۳). بر اساس نتایج به‌دست آمده، شاخص ناهمواری عوارض و شاخص پوشش گیاهی مرداد تا بهمن به دلیل همبستگی بالا، به ترتیب با، میانگین دمای سالانه و شاخص پوشش گیاهی اسفند تا تیر از فرایند نهایی مدل‌سازی حذف گردید (جدول ۱).

۲-٤- تصحیح اریب مکانی در نقاط حضور

در رویکردهای پیشنهادی جهت رفع تاثیر اریب بر مدل‌های پراکنش تلاش بر این است که با (۱) اصلاح یا فیلتر مکانی نقاط حضور و (۲) اصلاح یا اعمال محدودیت در انتخاب نقاط پس زمینه، اثرات اریب نقاط حضور بر خروجی مدل‌های پراکنش کاهش یابد. در پژوهش حاضر مجموعه‌ای از هر دو رویکرد به منظور مقایسه و انتخاب مناسب‌ترین روش استفاده شد. بدین منظور از چهار روش مرتبط با رویکردهای مبتنی بر اصلاح یا فیلتر مکانی نقاط حضور که شامل (الف) فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی (Filtered_points)، (ب) نمونه‌برداری تصادفی و برابر نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده (Equal Environmental Bias Correction, EBCe)، (ج)

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

نمونه‌برداری تصادفی و متناسب نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده (Proportional Environmental Bias Correction, EBCe) و (د) استفاده از نقاط اولیه و بدون اعمال فیلتر مکانی (Original_points) استفاده شد. در روش اول، نقاط حضور هر یک از گونه‌ها با در نظر گرفتن یک فیلتر به اندازه میانگین شعاع گستره خانگی (یک کیلومتر) و با استفاده از بسته *spThin* (٤٦) فیلتر شد. در روش دوم، ابتدا منطقه مورد مطالعه بر اساس تشابه در ویژگی‌های اقلیمی و پنج مولفه اول تحلیل تجزیه به مولفه‌های اصلی در بسته نرم‌افزای *cluster* به ۵۰ طبقه (خوشه) تقسیم‌بندی شد (۲۷). سپس تعداد نقاط حضور هر گونه در هر طبقه متناسب با تعداد کل نقاط حضور (هر دو گونه) در طبقه‌ای با بیشترین تراکم مشاهدات، نمونه‌برداری مجدد شد (۹). در روش سوم، همچون روش قبلی عمل شد با این تفاوت که تعداد نقاط حضور هر گونه در هر طبقه برای هر گونه در مساحت آن طبقه ضرب گردید (۹). روش‌های دوم و سوم با استفاده از تابع *wsl.ebc* در محیط R اجرا شد (۹). در روش چهارم و به منظور مقایسه کارایی سه روش قبلی، نقاط حضور هر یک از گونه‌ها بدون هیچگونه دستکاری و فیلتر مکانی وارد مدل شد.

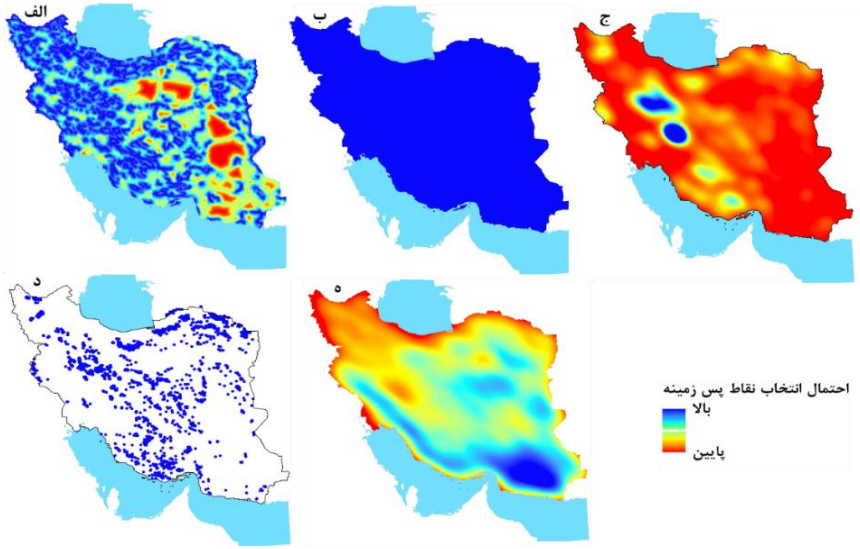
در دسته دوم رویکردها (رویکردهای مبتنی بر اصلاح یا اعمال محدودیت در انتخاب نقاط پس‌زمینه) نیز از پنج روش استفاده شد که شامل (الف) انتخاب نقاط پس‌زمینه در محدوده یک بافر اطراف نقاط حضور (Buffer) (ب) وزن‌دهی احتمال انتخاب نقاط پس‌زمینه با استفاده از نقشه شاخص دسترسی (Accessibility_index) (ج) وزن‌دهی احتمال انتخاب نقاط پس‌زمینه با استفاده از روش گروه هدف (Target-group) (د) وزن‌دهی احتمال انتخاب نقاط پس‌زمینه با استفاه از نقشه سطح تلاش نمونه برداری (Sampling_effort) و (ه) انتخاب نقاط پس زمینه با پراکنش یکنواخت و بدون هیچگونه دستکاری (Uniform) بود. در روش اول، نقاط پس‌زمینه در محدوده یک بافر اطراف نقاط حضور انتخاب شد (۳۵). در روش دوم، انتخاب نقاط پس‌زمینه با استفاده از نقشه شاخص دسترسی وزن‌دهی شد، بدین معنی که در مناطقی با شاخص دسترسی بالا، تعداد نقاط پس زمینه بیشتری انتخاب گردید. در روش سوم، از نقاط حضور هر دو گونه مورد مطالعه برای ایجاد فایل پس زمینه استفاده شد. بدین منظور با استفاده از تابع کرنل تراکم نقاط محاسبه و تبدیل به یک سطح پیوسته شد (۹ و ۳۵). در نهایت از لایه ایجاد شده برای وزن‌دهی احتمال انتخاب نقاط پس زمینه استفاده گردید. در روش چهارم، تلاش نمونه برداری با محاسبه تعداد نقاط حضور ثبت شده در هر پیکسل محاسبه شد. سپس داده‌های به‌دست آمده با استفاده از تابع تراکم کرنل به یک سطح پیوسته تبدیل گردید و از آن لایه در مدل جهت وزن‌دهی احتمال انتخاب نقاط پس زمینه استفاده شد. تهیه نقشه سطح تلاش نمونه‌برداری با استفاده از بسته‌های *raster*, *ks*, *spatialEco* در محیط R انجام شد. در روش پنجم نیز، نقاط پس‌زمینه بدون هیچگونه دستکاری به صورت یکنواخت از کل منطقه مطالعاتی انتخاب گردید (شکل ۲).

۲-۵- اجرای مدل و تحلیل‌های آماری

نقشه پراکنش برای هر یک از گونه‌های مورد مطالعه و همچنین گونه‌های فرضی با استفاده از الگوریتم مکسنت در بسته *dismo* در محیط R پیش‌بینی شد (۲۲). به همین منظور برای هر یک از گونه‌های مورد مطالعه و همچنین گونه‌های فرضی، مدل مکسنت برای تمامی ترکیبات روش‌های پیشنهادی جهت رفع اریب اجرا گردید. از این‌رو مدل مکسنت برای هر یک از گونه-های واقعی و فرضی در ۲۰ حالت مختلف اجرا شد. به منظور بهینه سازی پارامترهای ورودی مدل (پارامتر هموارسازی (Regularization parameter) و نوع عارضه (Feature type)) از مقادیر مختلفی از این پارامترها استفاده و بهترین مقدار برای هر مدل، بر اساس شاخص مساحت زیر منحنی (Area Under the Curve, AUC) تشخیص عملکرد نسبی (Receiver Operating Characteristics, ROC) انتخاب گردید. اجرای مدل مکسنت با ترکیبات مختلف دو پارامتر اشاره شده در بسته *dismo* انجام شد. پس از انتخاب پارامترهای بهینه، مدل نهایی مکسنت برای هر گونه و هر کدام از روش‌های رفع اریب با ۱۰ تکرار، ۱۰۰۰۰

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]



شکل ۲. رویکردهای استفاده شده به منظور انتخاب نقاط پس زمینه. رنگ‌ها بیانگر احتمال نسبی انتخاب هر سلول به‌عنوان پس‌زمینه است. (الف) شاخص دسترسی، (ب) پس‌زمینه یکنواخت، (ج) تلاش نمونه‌برداری، (د) پس‌زمینه محدودشده به شعاع مشخص اطراف نقاط حضور، (ه) گروه هدف

نقطه پس زمینه و روش ارزیابی متقابل (Cross-validation) اجرا شد.

از شاخص‌های تشابه مکانی به منظور مقایسه نقشه‌های پراکنش مرجع و نقشه‌های به‌دست آمده از روش‌های مختلف رفع اریب، برای هر دو گروه گونه‌های واقعی و فرضی استفاده شد. بدین منظور نقشه پیش‌بینی شده با استفاده از روش فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی و انتخاب نقاط پس زمینه با استفاده از رویکرد گونه‌های هدف به عنوان نقشه مرجع در نظر گرفته و تمامی مقایسات با استفاده از این نقشه انجام شد (۳). قبل از مقایسه عملکرد روش‌های مختلف رفع اریب، اثربخشی روش فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی و انتخاب نقاط پس زمینه با استفاده از رویکرد گونه‌های هدف در کاهش رفع اریب نقاط حضور با استفاده از داده‌های گونه‌های فرضی ارزیابی شد.

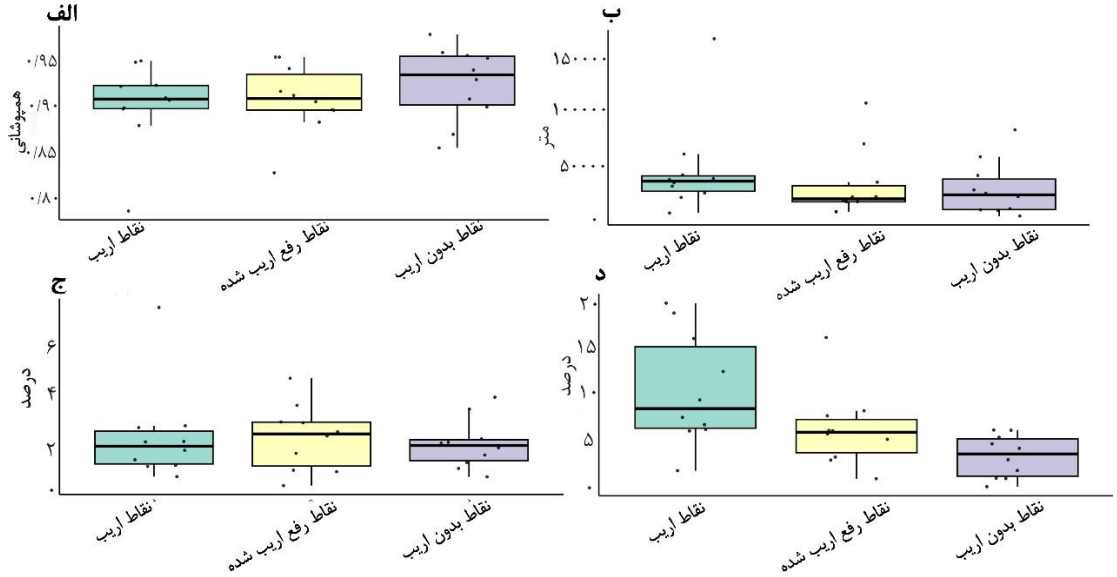
به منظور مقایسه نقشه‌های تولیدی با استفاده از رویکردهای مختلف رفع اریب، سه شاخص شامل هم‌پوشانی آشیان بوم-شناختی (Schoener's D)، جابه‌جایی نقطه مرکزی محدوده پراکنش، و تغییرات اندازه محدوده پراکنش (افزایش یا کاهش) محاسبه شد. شاخص همپوشانی Schoener's D بین دو نقشه مورد مقایسه با استفاده از بسته *ENMtools* انجام شد (٤٤). جابه‌جایی نقطه مرکزی محدوده پراکنش به‌صورت فاصله اقلیدسی بین نقاط مرکزی (وزن‌دهی‌شده بر اساس میزان مطلوبیت) دو نقشه مورد مقایسه با استفاده از بسته *SpatialEco* محاسبه شد (۱۳). محاسبه و تغییرات اندازه محدوده پراکنش نیز با در نظر گرفتن افزایش و کاهش سطح زیستگاه‌های مطلوب برآورد گردید. در نهایت تفاوت آماری بین کارایی روش‌های اصلاح اریب با استفاده از آزمون فریدمن ارزیابی شد (۳).

۳- نتایج

۳-۱- نقاط حضور گونه‌های واقعی و فرضی و متغیرهای محیطی

شاخص بویس برای کل و بز و گوسفند وحشی به ترتیب ۰/۹۱۷ و ۰/۹۷۱ به‌دست آمد که نشان از اریب در ثبت نقاط حضور بود. با در نظر گرفتن همبستگی بین متغیرها، در نهایت تعداد ۱۷ متغیر برای اجرای مدل‌های پراکنش برای گونه‌های

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]



شکل ۳. مقایسه رویکردهای مختلف رفع اریب در نقاط حضور گونه‌های فرضی بر اساس (الف) شاخص همپوشانی، (ب) تغییر نقطه مرکزی محدوده پراکنش، (ج) افزایش و (د) کاهش محدوده پراکنش

جدول ۲. نتایج آزمون فریدمن بین روش‌های مختلف رفع اریب در نقاط حضور گونه‌های واقعی و فرضی بر اساس شاخص‌های تشابه

داده‌ها	شاخص تشابه	N	X2	df	p-value	Effect size	Magnitude
گونه‌های واقعی	Schoener's D	۲	۳۲/۹۷	۱۸	۰/۰۱۷	۰/۹۱۶	Large
گونه‌های واقعی	Centroid Shift (km)	۲	۳۱/۳۶	۱۸	۰/۰۲۶	۰/۸۷۱	Large
گونه‌های واقعی	Range Gain (%)	۲	۳۲/۴۶	۱۸	۰/۰۱۹	۰/۹۰۲	Large
گونه‌های واقعی	Range Loss (%)	۲	۳۴/۲۰	۱۸	۰/۰۱۲	۰/۹۵۰	Large
گونه‌های فرضی	Schoener's D	۱۰	۶/۲۰	۲	۰/۰۴۵	۰/۳۱۰	Moderate
گونه‌های فرضی	Centroid Shift (km)	۱۰	۳/۸۰	۲	۰/۱۵۰	۰/۱۹۰	Small
گونه‌های فرضی	Range Gain (%)	۱۰	۲/۶۰	۲	۰/۲۷۳	۰/۱۳۰	Small
گونه‌های فرضی	Range Loss (%)	۱۰	۱۴/۶	۲	۰/۰۰۰	۰/۷۳۰	Large

واقعی و فرضی استفاده شد. اعتبارسنجی و ارزیابی کارایی روش ترکیبی انتخاب نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی و استفاده از رویکرد گونه‌های هدف برای انتخاب نقاط پس زمینه نشان داد که بر اساس شاخص‌های تشابه، این روش در رابطه با گونه‌های فرضی نتایجی شبیه به مدل اجرا شده با استفاده از نقاط بدون اریب دارد که این موضوع تأیید کننده اعتبار این روش به عنوان مبنا و استاندارد برای مقایسه روش‌های مختلف رفع اریب در مراحل بعدی بود (شکل ۳). آزمون فریدمن نیز نشان داد که در رابطه با شاخص همپوشانی و کاهش محدوده پراکنش تفاوت معنی‌دار بین روش‌های رفع اریب در رابطه با گونه‌های فرضی مشاهده می‌شود (جدول ۲).

ارزیابی کارایی روش‌های مختلف رفع اریب بر اساس شاخص AUC نشان داد که در هر دو گونه کل و بز و گوسفند وحشی و همچنین گونه‌های فرضی، شاخص AUC بالاتر از ۰/۷۵ بود (جدول ۳). با توجه به اینکه اکثر رویکردهای استفاده شده در مطالعه حاضر دقت بالایی در پیش‌بینی پراکنش گونه‌های

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

جدول ۳. نتایج ارزیابی عملکرد رویکردهای اصلاح اریب در نقاط حضور کل و بز و گوسفند وحشی

روش اصلاح اریب	Mean AUC (SD)		روش اصلاح اریب	Mean AUC (SD)	
	گوسفند وحشی	کل و بز		گوسفند وحشی	کل و بز
Filtered_points_Accessibility_index	۰/۹٤٤(۰/۰۱۱)	۰/۹۸۷(۰/۰۰۲)	EBCe_Accessibility_index	۰/۹۵۳(۰/۰۰۹)	۰/۹٦۱(۰/۰۰٦)
Filtered_points_Buffer	۰/۹۲۸(۰/۰۵۰)	۰/۹٤۳(۰/۰۲۱)	EBCe_Buffer	۰/۹۰۳(۰/۰۲۱)	۰/۸۰۳(۰/۰٤۰)
Filtered_points_Sampling_effort	۰/۹۰۷(۰/۰۱۵)	۰/۹۷۷(۰/۰۰٤)	EBCe_Sampling_effort	۰/۹۲۰(۰/۰۱۷)	۰/۹۵۰(۰/۰۰۸)
Filtered_points_Target_group	۰/۹۳۰(۰/۰۲۰)	۰/۹۸۵(۰/۰۰۲)	EBCe_Target_group	۰/۹٤۱(۰/۰۱۵)	۰/۹۵٦(۰/۰۰٦)
Filtered_points_Uniform	۰/۹۹۸(۰/۰۰۲)	۰/۹۹۱(۰/۰۰۱)	EBCe_Uniform	۰/۹۸۵(۰/۰۰۲)	۰/۹۷۷(۰/۰۰۱)
Original_points_Accessibility_index	۰/۹٦۵(۰/۰۰٤)	۰/۹۹۰(۰/۰۰۱)	EBCp_Accessibility_index	۰/۹۳۵(۰/۰۰۹)	۰/۹٦٤(۰/۰۰٦)
Original_points_Buffer	۰/۹۵۹(۰/۰۱۱)	۰/۹۷۰(۰/۰۰۱)	EBCP_Buffer	۰/۷۵٤ (۰/۰۵۱)	۰/۸۳۲(۰/۰۵۵)
Original_points_Sampeling_effort	۰/۹٤۹(۰/۰۱۱)	۰/۹۸٤(۰/۰۰۱)	EBCp_Sampling_effort	۰/۸۳۲(۰/۰۱٦)	۰/۸۳۵(۰/۰۱۵)
Original_points_Target_group	۰/۹٦۲(۰/۰۰۹)	۰/۹۹۰(۰/۰۰۱)	EBCp_Target_group	۰/۸۵۲(۰/۰۵۳)	۰/۹٤۸(۰/۰۱۰)
Original_points_Uniform	۰/۹۹۰(۰/۰۰۱)	۰/۹۹۳(۰/۰۰۰)	EBCp_Uniform	۰/۹۸۲(۰/۰۰۱)	۰/۹۳۸(۰/۰۰۲)

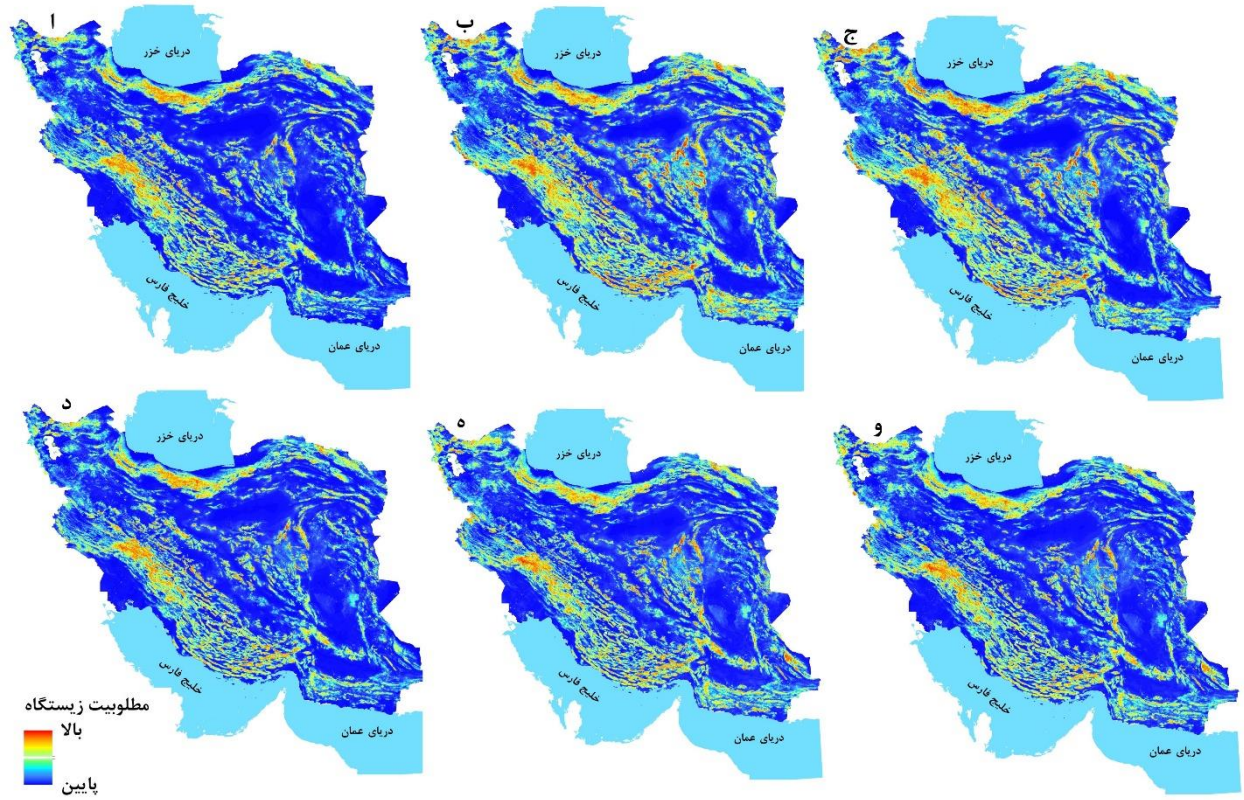
مورد مطالعه داشتند، به همین دلیل مقایسه رویکردهای رفع اریب با استفاده از معیارهایی همچون AUC می‌تواند گمراه‌کننده باشد، زیرا چنانچه داده‌های وقوع دارای اریب نمونه‌برداری باشند، در برخی موارد حتی مدل‌های اجرا شده با داده‌های اریب ممکن است عملکرد بهتری در مقایسه با مدل‌های بدون اریب نشان دهند (۳). از این‌رو، در مطالعه حاضر به منظور مقایسه عملکرد روش‌های استفاده شده از شاخص‌های تشابه (شاخص همپوشانی شانر، شاخص تغییر نقطه مرکزی محدوده پراکنش و تغییر (افزایش/کاهش) محدوده پراکنش) استفاده شد (۳).

مقایسه نقشه پراکنش کل و بز با استفاده از رویکردهای مختلف جهت کاهش تاثیر اریب مکانی در نقاط حضور نشان می‌دهد که تفاوت‌هایی در نقشه پیش‌بینی شده با استفاده از رویکردهای مختلف رفع اریب دیده می‌شود (شکل ٤). به طور مثال، زمانی که از روش ترکیبی فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی و وزن‌دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاده از روش گونه‌های هدف استفاده شد، میزان مطلوبیت پیش‌بینی شده در مناطق مرکزی کشور متفاوت از حالتی بود که هیچگونه دستکاری در نقاط حضور و یا نقاط پس زمینه اعمال نمی‌شد. همچنین تفاوتی بین نقشه‌های خروجی در رویکرد نمونه‌برداری تصادفی و متناسب نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده و وزن دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاده از شاخص دسترسی با رویکرد عدم دستکاری در نقاط حضور و یا نقاط پس زمینه مشاهده می‌شود. در رویکردهای رفع اریب نسبت زیستگاه‌های مطلوب پیش‌بینی شده بخصوص در مناطق مرکزی و جنوب غربی کشور بیشتر از روش بدون رفع اریب است. در رابطه با گوسفند وحشی نیز، نتایج نشان داد که در روش‌های رفع اریب به خصوص نمونه‌برداری تصادفی و متناسب نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده سطح پیش‌بینی شده مناطق مطلوب بیشتر از زمانی است که نقاط حضور اولیه و بدون هیچگونه فیلتر مکانی وارد مدل می‌شوند (شکل ۵). در مجموع به نظر می‌رسد که استفاده از رویکردهای رفع اریب به خصوص زمانی که تراکم نقاط حضور با استفاده از روش‌هایی همچون نمونه‌برداری تصادفی و متناسب نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده کاهش می‌یابد، سطح زیستگاه‌های مطلوب پیش‌بینی شده تغییر می‌کند که این موضوع تاثیر تراکم بالای نقاط حضور بر دقت مدل‌های پراکنش را نشان می‌دهد.

استفاده از شاخص‌های تشابه به شکل بهتری در مقایسه با شاخص AUC کارایی روش‌های مختلف را نشان داد. مقایسه روش‌های مختلف رفع اریب نشان داد که استفاده از رویکرد فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی و انتخاب نقاط پس زمینه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]



شکل ٤. نقشه پراکنش کل و بز با استفاده از رویکردهای مختلف رفع اریب. (الف) استفاده از نقاط حضور اولیه و بدون فیلتر و انتخاب نقاط پس زمینه با پراکنش یکنواخت و بدون دستکاری، (ب) نمونه‌برداری تصادفی و متناسب نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده و وزن دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاده از شاخص دسترسی (ج) نمونه‌برداری تصادفی و متناسب نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده و انتخاب نقاط پس زمینه با پراکنش یکنواخت و بدون دستکاری (د) استفاده از نقاط حضور اولیه و بدون فیلتر و وزن دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاد از شاخص دسترسی، (ه) فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی و وزن‌دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاده از روش گونه‌ها هدف، (و) استفاده از نقاط حضور اولیه و بدون فیلتر و وزن‌دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاده از روش گونه‌ها هدف

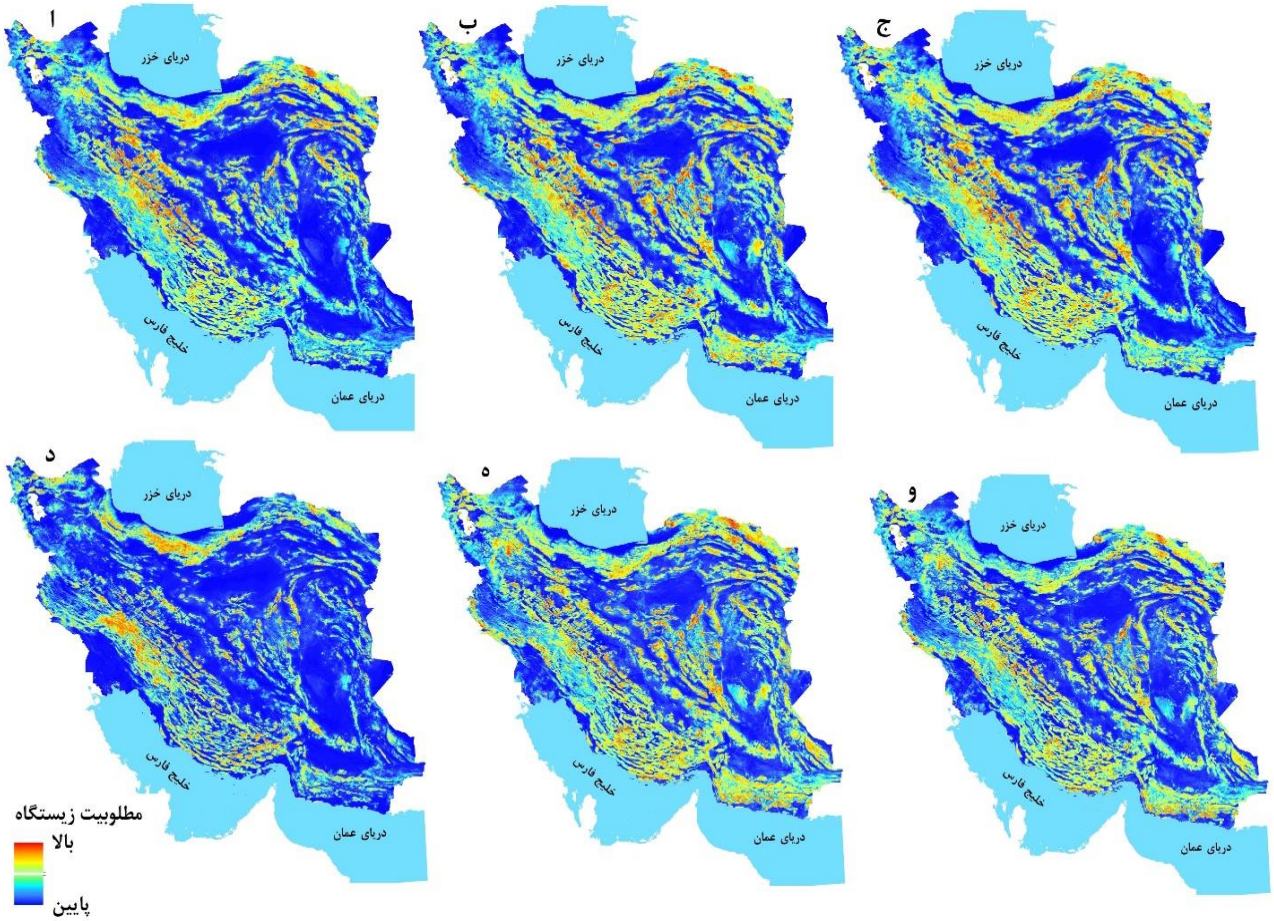
با استفاده از روش گونه‌های هدف، به شکل کارآمدی سبب بهبود پیش‌بینی مدل می‌شود. نتایج تحلیل فریدمن نیز نشان از تفاوت بین کارایی روش‌های مختلف در مقایسه با روش مبنا در دو گروه گونه‌های واقعی و گونه‌های فرضی بود (جدول ۲).

٤- بحث

اگرچه توسعه بانک‌های اطلاعاتی برخط تنوع زیستی، موجب افزایش توجه به مدل‌های پراکنش متکی به داده‌های حضور شده است (٤١ و ٤٥)، اما از آن‌جا که این داده‌ها اغلب به‌صورت غیرسیستماتیک و فرصت‌طلبانه جمع‌آوری می‌شوند، معمولاً نوعی اریب مکانی دارند که می‌تواند بر نتایج مدل‌سازی تأثیر بگذارد. بنابراین، توجه به این موضوع در تحلیل و مدل‌سازی نقشه‌های پراکنش اهمیت ویژه‌ای دارد (۸ و ۳۵). در تایید این موضوع، نتایج شاخص بویس با استفاده از نقشه احتمال دسترسی نشان داد که نزدیکی به مناطق تحت حفاظت و شبکه جاده‌ای دو عامل مهم در احتمال ثبت نقاط حضور علفخواران در کشور است. مناطق تحت حفاظت معمولاً کانون تمرکز فعالیت‌های پژوهشی و پایش حیات‌وحش هستند و به همین دلیل، مشاهدات

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]



شکل ۵. نقشه پراکنش گوسفند وحشی با استفاده از رویکردهای مختلف رفع اریب. (الف) استفاده از نقاط حضور اولیه و بدون فیلتر و انتخاب نقاط پس زمینه با پراکنش یکنواخت و بدون دستکاری، (ب) نمونه‌برداری تصادفی و متناسب نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده و وزن دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاد از شاخص دسترسی (ج) نمونه‌برداری تصادفی و متناسب نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده و انتخاب نقاط پس زمینه با پراکنش یکنواخت و بدون دستکاری (د) استفاده از نقاط حضور اولیه و بدون فیلتر و وزن دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاد از شاخص دسترسی، (ه) فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی و وزن‌دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاده از روش گونه‌ها هدف، (و) استفاده از نقاط حضور اولیه و بدون فیلتر و وزن‌دهی انتخاب نقاط پس زمینه با استفاده از روش گونه‌ها هدف.

گونه‌ها در این نواحی با فراوانی بیشتری ثبت می‌شود. این تمرکز غیرتصادفی مشاهدات در اطراف مناطق حفاظت‌شده و شبکه جاده‌ای سبب می‌شود که الگوی مکانی داده‌های حضور بیشتر بازتاب‌دهنده الگوی تلاش نمونه‌برداری باشد تا پراکنش واقعی گونه (۲٤،۳ و ۲۸). با توجه به نتایج به‌دست آمده، در نظر گرفتن و اصلاح اریب مکانی در مدل‌های پراکنش گونه‌ها در مطالعات آتی امری ضروری است.

در بین رویکردهای استفاده شده در پژوهش حاضر، ترکیبی از روش فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی یا محیطی و وزن‌دهی احتمال انتخاب نقاط پس‌زمینه با استفاده از روش گونه‌های هدف و یا نقشه شاخص دسترسی بعنوان رویکردهای مناسب جهت کاهش تاثیر اریب مکانی در نقاط حضور علفخواران پیشنهاد شد. فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی با کاهش تراکم نقاط حضور در نواحی

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

بیش‌نمونه‌برداری‌شده، وابستگی مدل به الگوی نمونه‌برداری را کاهش می‌دهد. در تایید نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، پژوهش‌های پیشین نیز اثر رویکرد فیلتر نقاط حضور در کاهش اثر خوشه‌بندی فضایی داده‌ها و عملکرد آماری مدل‌های پراکنش را نشان داده‌است (۷، ۱٦). علاوه بر این، رویکرد نمونه‌برداری تصادفی نقاط حضور در یک فضای محیطی طبقه‌بندی شده نیز کارایی مناسبی در مقایسه با سایر روش‌ها نشان داد. این رویکرد که بر تفکیک فرآیند بوم‌شناختی از فرآیند مشاهده در مدل‌های پراکنش گونه‌ها تمرکز دارند (۹)، قادر است با اعمال یک نمونه‌برداری تصادفی لایه‌بندی‌شده در فضای محیطی، عدم‌تعادل موجود در طراحی نمونه‌برداری داده‌های مشاهده‌ای را که اغلب ناشی از تمرکز تلاش نمونه‌برداری در شرایط محیطی خاص است، به‌طور مؤثری کاهش دهد (٤، ۹ و٤۰). این رویکرد به خصوص در شرایط کشور که تمرکز داده‌ها بیشتر در مناطق با قابلیت دسترسی بیشتر (همچون مناطق تحت حفاظت و یا نزدیکی جاده‌ها) است، می‌تواند منجر به افزایش دقت پیش‌بینی و کاهش الگوهای مصنوعی ناشی از تمرکز داده‌ها در مناطق خاص شود. با این حال، در مواردی که خوشه‌بندی نقاط حضور لزوماً ناشی از اریب نمونه‌برداری نباشد و بازتاب الگوهای واقعی بوم‌شناختی یا ساختار جمعیتی گونه باشد، حذف نقاط حضور با استفاده از روش فیلتر مکانی در یک فضای جغرافیایی یا محیطی ممکن است به از دست رفتن اطلاعات و تضعیف نقش بوم-شناسی گونه در مدل منجر شود (۹ و ٤۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی در صورت دسترسی به پایگاه داده بزرگ از نقاط حضور گونه‌های جانوری و همگن بودن محیط از نظر شرایط محیطی، از روش فیلتر جغرافیایی نقاط حضور و در صورت تغییرات معنی‌دار در شرایط محیطی از روش فیلتر محیطی استفاده شود.

در بین رویکردهای کاهش اریب مکانی مبتنی بر اصلاح و اعمال دستکاری در انتخاب نقاط پس زمینه مدل نیز، رویکرد وزن دهی احتمال انتخاب نقاط پس زمینه بر اساس رویکرد گونه‌های هدف یا شاخص دسترسی روش مناسبی برای کاهش اثرات اریب در مدل‌ها پیشنهاد شد. در پژوهش‌های بسیاری به کارایی رویکرد گونه‌های هدف اشاره شده‌است (۳ و ۳۵). این رویکرد به خصوص در شرایط کشور که اطلاعات دقیقی از میزان تلاش نمونه‌برداری در ثبت نقاط حضور گونه‌های جانوری در دسترس نیست، گزینه عملی مناسبی برای کاهش اریب نمونه‌برداری در نقاط پستانداران بزرگ جثه است. علاوه بر روش استفاده از گونه‌های هدف، استفاد از شاخص دسترسی نیز کارایی مناسبی را در بهبود مدل نشان داد. شاخص دسترسی به‌عنوان نماینده‌ای از الگوی تلاش نمونه‌برداری، ابزاری کارآمد برای شناسایی و اصلاح اریب مکانی داده‌های حضور است (۱۱). این شاخص، که مبتنی بر فاصله از جاده‌ها و مناطق تحت حفاظت است، نشان می‌دهد که داده‌های حضور اغلب در نواحی با دسترسی بیشتر متراکم شده‌اند؛ پدیده‌ای که می‌تواند منجر به بیش‌برآورد یا کم‌برآورد مطلوبیت زیستگاهی در مناطق خاص شود. اگرچه باید در نظر داشت که شدت و کارایی اصلاح اریب مبتنی بر شاخص دسترسی به‌طور معناداری به ویژگی‌های مکانی منطقه وابسته است؛ به‌طوری‌که در مناطقی با تمرکز بالای نقاط حضور و مناطق با دسترسی بیشتر اثر استفاده از این شاخص به‌مراتب قوی‌تر از مناطقی با توزیع نسبتاً همگن نقاط حضور و همچنین شبکه مناطق تحت حفاظت و جاده‌است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، پیشنهاد می‌شود که در شرایط حال حاضر کشور که در اغلب مواقع تعداد نقاط حضور پستانداران وحشی اندک است، استفاده از نقشه‌هایی همچون شاخص دسترسی یا متغیرهای کمکی دیگر در انتخاب نقاط پس زمینه این امکان را فراهم می‌کند که بدون حذف داده‌های حضور، الگوی اریب نمونه‌برداری در داده‌های پس‌زمینه بازتولید شود. در مطالعات پیشیتن نیز به کارایی این روش‌ها اشاره شده‌است (۱۷).

علیرغم نتایج به‌دست‌آمده، پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی همچون عدم دسترسی به نقاط عدم حضور واقعی از گونه‌های مورد مطالعه و همچنین نقشه‌های با قدرت تفکیک مکانی خرد مواجه بود که می‌توانددر مطالعات آتی مد نظر قرار گیرد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

۵- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده تلفیقی از رویکردهای مبتنی بر فیلتر نقاط حضور و همچنین اعمال محدودیت در انتخاب نقاط پس‌زمینه می‌تواند رویکرد مناسبی برای کاهش تاثیر اریب بر پیش‌بینی مدل‌های پراکنش علفخواران بزرگ جثه باشد. در بین رویکردها مذکور، فیلتر نقاط حضور در یک فضای جغرافیایی و همچنین انتخاب نقاط پس‌زمینه با در نظر گرفتن تراکم نقاط حضور گونه‌های مشابه، بهترین عملکرد را نشان داد. در کنار این رویکرد، در نظر گرفتن متغیرهای مرتبط با تلاش نمونه‌برداری و رفتار مشاهده‌گران، همچون دسترسی به مناطق تحت حفاظت از طریق شبکه جاده‌ای، می‌تواند به‌طور قابل توجهی اثر اریب مکانی را در مدل‌های پراکنش کاهش دهد (۹). اهمیت نتایج به‌دست آمده زمانی دوچندان می‌شود که مدل‌های پراکنش به‌طور گسترده به‌عنوان ابزاری کلیدی در برنامه‌ریزی، مدیریت و اجرای پروژه‌های حفاظتی پستانداران وحشی کشور مورد استفاده قرار گیرد (٦ و ۳۹).

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های ارزشمند ادارهٔ کل حفاظت محیط‌زیست استان فارس (شمارهٔ طرح: ۱٤۰۲/٤۰۰/٦۱۸۱ ص)، سازمان حفاظت محیط زیست، دانشگاه شیراز، و همچنین مدیران، کارشناسان و محیط‌بانان ادارات محیط‌زیست کشور تشکر و قدردانی به عمل آورند.

منابع

1. Amininasab, S.M., Zamani, N., Taleshi, H. and Xu, C.C., 2023. Ensemble modelling the distribution and habitat suitability of wild goat *Capra aegagrus* in southwestern Iran. *Biodiversity*, *24*(3): 124-136.
2. Amiri, M.S., Yazdi, M.E.T. and Rahnama, M., 2021. Medicinal plants and phytotherapy in Iran: Glorious history, current status and future prospects. *Plant Science Today*, 8(1): 95-111.
3. Barber, R.A., Ball, S.G., Morris, R.K.A. and Gilbert, F., 2022. Target-group backgrounds prove effective at correcting sampling bias in Maxent models. *Diversity and Distributions*, 28: 128–141.
4.Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C.H. Thuiller, W., 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: How, where and how many?. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2): 327-338
5. Bashari, H. and Hemami, M.R., 2013. A predictive diagnostic model for wild sheep (*Ovis orientalis*) habitat suitability in Iran. *Journal for Nature Conservation*, 21(5): 319-325.
6. Blair, M.E., Le, M.D. and Xu, M., 2022. Species distribution modeling to inform transboundary species conservation and management under climate change: Promise and pitfalls. *Frontiers of Biogeography*, 14(1): e54662
7. Boria, R.A., Olson, L.E., Goodman, S.M. and Anderson, R. P., 2014. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling,* 275: 73-77
8. Bracho-Estévanez, C.A., Arenas-Castro, S., González-Varo, J.P. and González-Moreno, P., 2024. Spatially explicit metrics improve the evaluation of species distribution models facing sampling biases. *Ecological Informatics*, 84: 102916.
9. Chauvier, Y., Zimmermann, N.E., Poggiato, G., Bystrova, D., Brun, P. and Thuiller, W., 2021. Novel methods to correct for observer and sampling bias in presence-only species distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 30(11): 2312-2325.
10. De Groot, M., Kozamernik, E., Kermavnar, J., Kolšek, M., Marinšek, A., Nève Repe, A. and Kutnar, L., 2024. Importance of habitat context in modelling risk maps for two established invasive alien plant species: the case of *Ailanthus altissima* and *Phytolacca americana* in Slovenia (Europe). *Plants*, 13(6): 883-890.
11. Dubos, N., Préau, C., Lenormand, M., Papuga, G., Monsarrat, S., Denelle, P. and Luque, S., 2022. Assessing the effect of sample bias correction in species distribution models. *Ecological Indicators*, 145: 109487.
12. Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudı ´k, M., Chee, Y. E. and Yates, C.J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17: 43–57
13.Evans, J.S., 2020 spatialEco: R package version 1.3-1.Retrieved from https://cran.r-project.org/packa ge=spati alEco

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

14.Eyre, A.C., Briscoe, N.J., Harley, D.K., Lumsden, L.F., McComb, L.B. and Lentini, P.E., 2022. Using species distribution models and decision tools to direct surveys and identify potential translocation sites for a critically endangered species. *Diversity and Distributions*, 28(4): 700-711.
15. Fourcade, Y., Engler, J.O., Rodder, D. and Secondi, J., 2014. Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias Bias. *PLoS ONE*, 9(5): e97122.
16.Freeman, M.S., Dick, J.T. and Reid, N., 2022. Dealing with non-equilibrium bias and survey effort in presence-only invasive Species Distribution Models (iSDM); predicting the range of muntjac deer in Britain and Ireland. *Ecological Informatics*, 69: 101683.
17.Gaul, W., Sadykova, D., White, H.J., Leon-Sanchez, L., Caplat, P., Emmerson, M.C. and Yearsley, J. M., 2020. Data quantity is more important than its spatial bias for predictive species distribution modelling. *PeerJ*, 8: e10411
18.Ghoddousi, A., Soofi, M., Hamidi, A. K., Ashayeri, S., Egli, L., Ghoddousi, Speicher, J., Khorozyan, I., Kiabi, B. and Waltert, M., 2019. The decline of ungulate populations in Iranian protected areas calls for urgent action against poaching. *Oryx*, 53(1): 151-158.
19. González-Trujillo, J.D., Naimi, B., Assis, J. and Araújo, M.B., 2024. Reshuffling of Azorean coastal marine biodiversity amid climate change. *Journal of Biogeography*, 51(12): 2546-2555.
20. Guisan, A., Thuiller, W. and Zimmermann, N. E., 2017. Habitat Suitability and Distribution Models: with Applications in R. Cambridge University Press.
21.Hastie, T. and Tibshirani, R., 1986. Generalized additive models. *Statistical Science*, 1(3): 297-310.
22. Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J. and Hijmans, M.R.J., 2017. Package 'dismo'. *Circles*, 9(1): 1-68.
23. Khosravi, M., Chamani, A. and Mirzaei, R., 2021. Species distribution models unveil niche partitioning in bovid guilds of southwestern Asia. *Annales Zoologici Fennici*, 58(1-3): 75-86.
24. Komori, O., Eguchi, S., Saigusa, Y., Kusumoto, B. and Kubota, Y., 2020. Sampling bias correction in species distribution models by quasi-linear Poisson point process. *Ecological Informatics*, 55: 101015.
25. Kuemmerle, T., Bluhm, H., Ghoddousi, A., Arakelyan, M., Askerov, E., Bleyhl, B. and Zazanashvili, N., 2020. Identifying priority areas for restoring mountain ungulates in the Caucasus ecoregion. *Conservation Science and Practice*, 2(11): e276.
26. Louppe, V., Leroy, B., Herrel, A. and Veron, G., 2020. The globally invasive small indian mongoose *Urva auropunctata* is likely to spread with climate change. *Scientific Reports*, 10: 1–11.
27. Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M. and Hornik, K., 2021. Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.1.2
28. Mccarthy, K.P., Fletcher Jr, R.J., Rota, C.T. and Hutto, R. L., 2012. Predicting species distributions from samples collected along roadsides. *Conservation Biology*, 26(1): 68-77.
29. Mejía-Jurado, E., Echeverry-Cárdenas, E. and Aguirre-Obando, O.A., 2024. Potential current and future distribution for *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Colombia: important disease vectors. *Biological Invasions*, 26(7): 2119-2137.
30. Miranda, E.B., Menezes, J.F.S., Farias, C.C., Munn, C. and Peres, C.A., 2019. Species distribution modeling reveals strongholds and potential reintroduction areas for the world's largest eagle. *PloS one*, 14(5): e0216323.
31. Moudrý, V., Bazzichetto, M., Remelgado, R., Devillers, R., Lenoir, J., Mateo, R.G. and Šímová, P., 2024. Optimising occurrence data in species distribution models: sample size, positional uncertainty, and sampling bias matter. *Ecography*, 2024(12): e07294.
32.Noack, S., Knobloch, A., Etzold, S.H., Barth, A. and Kallmeier, E., 2014. Spatial predictive mapping using artificial neural networks. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume XL-2, 2014 ISPRS Technical Commission II Symposium, 6 – 8 October 2014, Toronto, Canada
33. Noori, S., Zahiri, R., Yusefi, G. H., Rajabizadeh, M., Hawlitschek, O., Rakhshani, E. and Rajaei, H., 2024. Patterns of zoological diversity in Iran—a review. *Diversity*, 16(10): 621-631.
34.Oliveira, U., Soares-Filho, B. and Nunes, F., 2024. Controlling the effects of sampling bias in biodiversity models. *Journal of Biogeography*, 51(9): 1755-1766.
35.Phillips, S.J., Dudik, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J. and Ferrier, S., 2009. Sample selection bias and presence-only distribution model: Implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Society of America*, 19: 181–197
36. Ramampiandra, E.C., Scheidegger, A., Wydler, J. and Schuwirth, N., 2023. A comparison of machine learning and statistical species distribution models: Quantifying overfitting supports model interpretation. *Ecological Modelling*, 481: 110353.
37. Rathore, M.K. and Sharma, L.K., 2023. Efficacy of species distribution models (SDMs) for ecological realms to ascertain biological conservation and practices. *Biodiversity and Conservation*, 32(10): 3053-3087.
38. Sanderson, E. W., 2002. The human footprint and the last of the wild. *Bioscience,* 52: 891–904.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

39. Sorbe, F., Gränzig, T. and Förster, M., 2023. Evaluating sampling bias correction methods for invasive species distribution modeling in Maxent. *Ecological Informatics*, 76: 102124.
40. Steen, B., Broennimann, O., Maiorano, L. and Guisan, A., 2024. How sensitive are species distribution models to different background point selection strategies? A test with species at various equilibrium levels. *Ecological Modelling*, 493: 110754.
41. Steen, V.A., Tingley, M.W., Paton, P.W. and Elphick, C.S., 2021. Spatial thinning and class balancing: Key choices lead to variation in the performance of species distribution models with citizen science data. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(2): 216-226.
42. Stockwell, D., 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(2): 143-158.
43. Ten Caten, C. and Dallas, T., 2023. Thinning occurrence points does not improve species distribution model performance. *Ecosphere*, 14(12): e4703
44. Warren, D.L., Matzke, N., Cardillo, M., Baumgartner, J., Beaumont, L., Huron, N. and Dinnage, R. (2019). ENMTools (Software Package). Retrieved from https://github.com/danlw arren/ ENMTools 2025-07-22
45. Wüest, R.O., Zimmermann, N.E., Zurell, D., Alexander, J.M., Fritz, S.A., Hof, C., Kreft, H., Normand, S., Cabral, J. S., Szekely, E., Thuiller, W., Wikelski, M. and Karger, D.N., 2020. Macroecology in the age of Big Data—Where to go from here. *Journal of Biogeography*, 47: 1–12.
46. Zhang, F.G., Zhang, S., Wu, K., Zhao, R., Zhao, G. and Wang, Y., 2024. Potential habitat areas and priority protected areas of *Tilia amurensis* Rupr in China under the context of climate change. *Frontiers in Plant Science*, 15: 1365264.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Comparison of Spatial Bias Correction Methods for Presence Data in Improving Species Distribution Model Predictions

Rasoul Khosravi[1*], Hossein Rahimi-Nezhad[2], Ghaside Nikaeen[3] and Seyed Rashid Fallah Shamsi[4]

(Received: January 15-2026; Accepted: April 18-2026)

Abstract

Spatial bias in mammal occurrence data due to uneven sampling represents a major challenge for species distribution models. Therefore, assessing bias in presence data is a prerequisite for improving the accuracy of models. At the present study, a range of commonly used and novel methods for correcting spatial bias was applied to the presence data of two herbivores, the wild goat (*Capra aegagrus*) and the wild sheep (*Ovis gmelini* / *O. vignei*) and by implementing different bias-correction approaches, the effect of heterogeneous sampling effort on model performance was evaluated. The effectiveness of each method was further assessed using simulated presence records generated for a set of virtual species. While all methods showed high performance in prediction the spatial range of the species (AUC > 0.75), similarity indices indicated that combination of target-group approach, used as a basis for selecting backgrounds, and filtering presence data within a geographic space performed better than the other methods. The findings demonstrated that correcting spatial bias in presence data plays a fundamental role in improving the accuracy of distribution models and effectively reduced the impact of uneven sampling effort. The proposed approaches provide a useful framework for improving distribution modelling of other species.

Keywords: Spatial bias, Sampling effort, Accessibility index, Virtual species, MaxEnt model

1- Associate Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2- MSc Student, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- BSc Student, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
4- Associate Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
* Corresponding Author, Email: r-khosravi@shirazu.ac.ir

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: 10.47176/ijae.14.3.837]