

مدل سازی پراکنش بالقوه گونه‌های حیات وحش بر مبنای دانش بوم‌شناختی جوامع بومی در مقایسه با روش‌های یادگیری ماشینی (مطالعه موردی: آهوی ایرانی در منطقه حفاظت‌شده میشداغ)

زینب عبیداوی^{۱*}، کاظم رنگزن^۲، روح‌اله میرزایی^۳ و محمدرضا اشرف‌زاده^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان
۴. استادیار گروه شیلات و محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۸)

چکیده

پایش و مدیریت جمعیت‌های حیات‌وحش و زیستگاه‌ها نیازمند مدل‌سازی زیستگاه‌های مطلوب و پراکنش گونه‌ای است. بنابراین در این پژوهش، مدل‌سازی پراکنش بالقوه آهوی ایرانی با دو رویکرد فازی (مبتنی بر دانش بوم‌شناختی جوامع بومی) و مکسنت (مبتنی بر داده‌های حضور گونه) در منطقه حفاظت‌شده میشداغ اجرا شد؛ تا ضمن مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای با استفاده از سامانه استنتاج فازی (رویکرد فازی) و الگوریتم آنتروپی بیشینه (رویکرد مکسنت)، به بررسی و مقایسه کارایی هر یک از این دو رویکرد پرداخته شود. به‌علاوه، ارزیابی هر یک از مدل‌ها با استفاده از تحلیل چک‌نایف انجام شد. آستانه‌گذاری نیز با استفاده از آستانه حضور ۱۰٪ صورت گرفت. براساس یافته‌ها، سه متغیر کاربری سرزمین، فاصله از کشت‌زارها و فاصله از منابع آب در هر دو رویکرد فازی و مکسنت به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای مدل‌سازی شناخته شدند. همچنین، در هر یک از رویکردهای فازی و مکسنت به ترتیب ۴۷/۴۵٪ و ۱۴/۰۸٪ منطقه به‌عنوان منطقه حضور بالقوه پیش‌بینی شد. براساس تحلیل چک‌نایف، میزان موفقیت هر یک از مدل‌های فازی و مکسنت به ترتیب، ۸۰/۹۵٪ و ۶۶/۶۶٪ برآورد شد ($p < 0.01$). یافته‌های پژوهش مؤید کارایی بالای سامانه استنتاج فازی و الگوریتم آنتروپی بیشینه در مدل‌سازی پراکنش بالقوه آهوی ایرانی است. این مطالعه را می‌توان از یک سو تأکیدی بر ضرورت توجه به رویکردهایی همچون رویکرد فازی در مدل‌سازی پراکنش بالقوه گونه‌های حیات‌وحش کشور و از سوی دیگر تأکیدی بر ضرورت توجه به دانش بوم‌شناختی جوامع بومی هر منطقه دانست.

کلید واژگان: دانش بوم‌شناختی، جوامع بومی، پراکنش بالقوه، سامانه استنتاج فازی، الگوریتم آنتروپی بیشینه.

۱. مقدمه

می‌توانند در کاستن از زمان و هزینه پژوهش‌های مرتبط با گونه‌های گیاهی و جانوری به‌ویژه مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای ایفاگر نقش قابل توجهی باشند. در این زمینه، فرمول‌بندی ریاضی دانش بوم‌شناختی جوامع محلی، مسئله چالش برانگیزی است که ما را به بهره‌گیری از منطق فازی رهنمون می‌سازد. در واقع، سامانه‌های فازی یکی از مهم‌ترین سامانه‌های هوشمندی هستند که این تبدیل را با یک فرمول‌بندی به نسبت ساده انجام می‌دهند و امکان مدل‌سازی دانش سنتی برخاسته از روابط و تعاملات انسان و طبیعت را فراهم می‌آورند. امری که به‌ویژه در پژوهش‌های حیات‌وحش از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده، امکان بهره‌مندی از آگاهی‌های بوم‌شناختی بومیان هر منطقه را در راستای حفاظت و مدیریت مؤثر گونه‌های حیات‌وحش آن مناطق ممکن می‌سازد.

آهوی ایرانی (*Gazella subgutturosa*) براساس فهرست سرخ اتحادیه جهانی حفاظت از طبیعت و منابع طبیعی (IUCN) در طبقه آسیب‌پذیر (Vulnerable) قرار دارد. روند رشد جمعیت این گونه در ایران توسط Mallon در سال ۲۰۰۸، به صورت منفی یا کاهشی ارزیابی شده است. در حال حاضر، بیشتر جمعیت‌های آهوی ایرانی در مناطق حفاظت‌شده کشور زیست دارند و در اغلب زیستگاه‌های خارج از مناطق حفاظت‌شده به کلی از بین رفته‌اند و یا به شدت کاهش یافته‌اند (Hemami & Groves, 2001; Nowzari et al., 2007; Zachos et al., 2010)؛ که یکی از این مناطق، منطقه حفاظت‌شده میشداغ در استان خوزستان است. آهوی این منطقه به‌عنوان منبعی حائز اهمیت جهت انتقال و معرفی به دیگر مناطق استان، در راستای اجرای پروژه‌های معرفی مجدد آهو به زیستگاه‌ها از جایگاه قابل توجهی در سطح استان برخوردار است. از این رو، دستیابی به درک درستی از وضعیت جمعیت و زیستگاه‌های منطقه به منظور اتخاذ رویکردهای مدیریتی و حفاظتی بسیار ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، مدل‌سازی پراکنش

تحلیل زیست‌مندی جمعیت‌ها، تحلیل تضاد میان انسان و حیات‌وحش و شناسایی زیستگاه‌های مناسب برای حفاظت، به‌طور عمده وابسته به مدل‌سازی و شناخت رابطه میان زیستگاه و پراکنش گونه‌ها است (Carvalho & Gomes, 2003). بر این اساس، تاکنون در پژوهش‌های متعددی به مدل‌سازی زیستگاه و پراکنش گونه‌های مختلف پرداخته شده است. مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها، ضمن روشن ساختن روابط میان گونه‌ها و محیط‌زیست آنها، به درک اثرات بالقوه فعالیت‌های انسان بر پراکنش گونه‌ها کمک شایانی می‌نماید (Santos & Lirman, 2012). در حال حاضر، مدل‌سازی پراکنش بالقوه در کانون توجه پژوهش‌های مرتبط با بوم‌شناسی، زیست‌شناسی و جغرافیای زیستی واقع است (Holguin-Gonzalez, 2013). در واقع، این گونه مدل‌ها ضمن فراهم آوردن امکان درک نیازمندی‌های بوم‌شناختی گونه‌ها، از نقش کلیدی در هدایت طرح‌های حفاظتی برخوردارند (Zielinski et al., 2010)؛ که در این میان، مدل‌سازی زیستگاه‌ها و پراکنش گونه‌های در معرض تهدید با هدف پایش و مدیریت جمعیت‌های این گونه‌ها و زیستگاه‌هایشان به‌عنوان یک فرآیند ضروری مطرح است (Gaston, 1996). امروزه، رویکردهای متعددی به منظور مدل‌سازی زیستگاه و پراکنش گونه‌ها توسعه یافته است. الگوریتم‌های یادگیری ماشینی همانند آنتروپی بیشینه با گستردگی بیش‌تری، نسبت به بسیاری دیگر از رویکردها، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Phillips et al., 2006). الگوریتم آنتروپی بیشینه، مبتنی بر داده‌های حضور گونه‌های مورد مطالعه است؛ که پژوهشگران به منظور استفاده از آن ملزم به صرف زمان و هزینه برای نمونه‌برداری و تهیه داده‌های حضور هستند.

از سوی دیگر، جوامع محلی که از ارتباط مستقیم با گونه‌های گیاهی و جانوری برخوردار هستند، به‌واسطه دانش بومی و آگاهی‌های بوم‌شناختی ارزشمند خود

سالانه ۲۱۷/۶ میلی‌متر و میانگین رطوبت سالانه ۴۷ درصد گزارش شده است. از جوامع گیاهی موجود در منطقه، گونه‌های مختلف علف شور (*Salsola sp.*)، اسکنبیل گونه‌های مختلف سیاه شور (*Suaeda sp.*)، اسکنبیل بستانی (*Calligonum intertextum*) و استتبرق (*Calotropis procera*) قابل ذکر است. از علفخواران بزرگ منطقه نیز آهوی ایرانی و قوچ و میش (*Ovis orientalis*) را می‌توان نام برد. علاوه بر حضور شمار به نسبت اندکی از آهوهای ایرانی در زیستگاه‌های طبیعی منطقه، یک محل محصور نیز در حال حاضر برای نگهداری از این گونه وجود دارد (Obeidavi, 2015).

۲.۲. نقاط حضور گونه مورد مطالعه

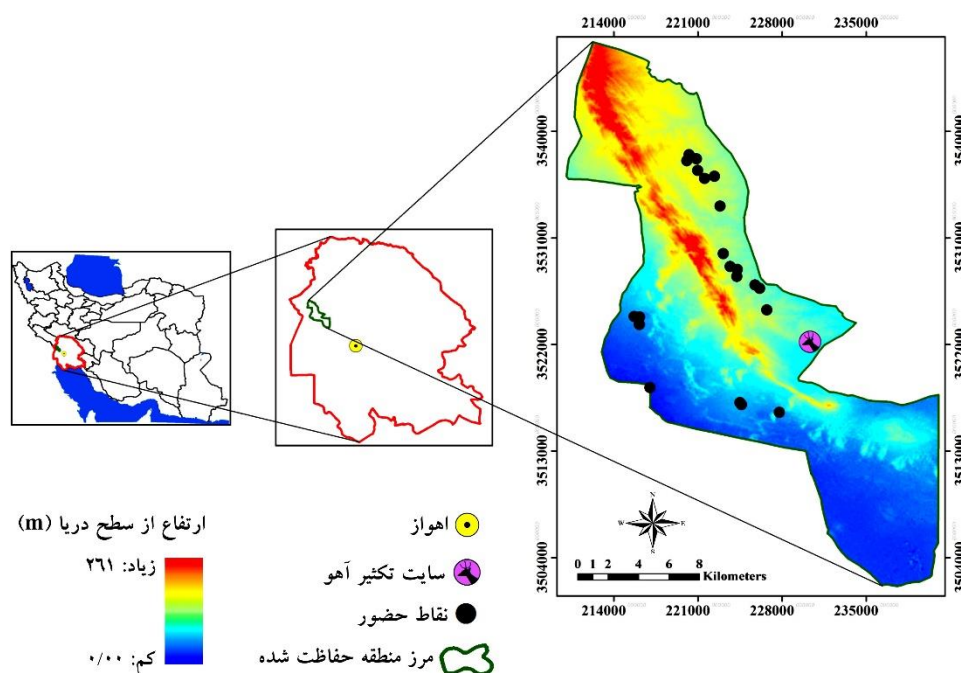
موقعیت نقاط پراکنش آهو در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴، با استفاده از مشاهده مستقیم گونه و نمایه‌ها، گزارش‌های محیط‌بانان و کارشناسان اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان و گزارش‌های قابل اعتماد ساکنین محلی تعیین و با کمک سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد (شکل ۱).

بالقوه این گونه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در اختیار مدیران و کارشناسان حیات وحش قرار دهد. در پژوهش حاضر، مدل‌سازی پراکنش بالقوه آهوی ایرانی با دو رویکرد فازی (مبتنی بر دانش بوم‌شناختی جوامع بومی) و مکسنت (مبتنی بر داده‌های حضور) در منطقه حفاظت‌شده میشداغ اجرا شد. به این ترتیب، ضمن مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای با استفاده از الگوریتم آنتروپی بیشینه (رویکرد مکسنت) و سامانه استنتاج فازی (رویکرد فازی)، به بررسی و مقایسه کارایی هر یک از این دو رویکرد پرداخته شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه حفاظت‌شده میشداغ (با نام محلی مشداخ) با مساحت بیش از ۵۴۳۶۲ هکتار در شهرستان دشت آزادگان (استان خوزستان) قرار گرفته است (بخشی از منطقه در شهرستان شوش واقع است) (شکل ۱). میانگین دمای سالانه منطقه ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارش



شکل ۱. موقعیت منطقه حفاظت‌شده میشداغ در استان خوزستان به همراه نقاط حضور آهو در منطقه مورد مطالعه

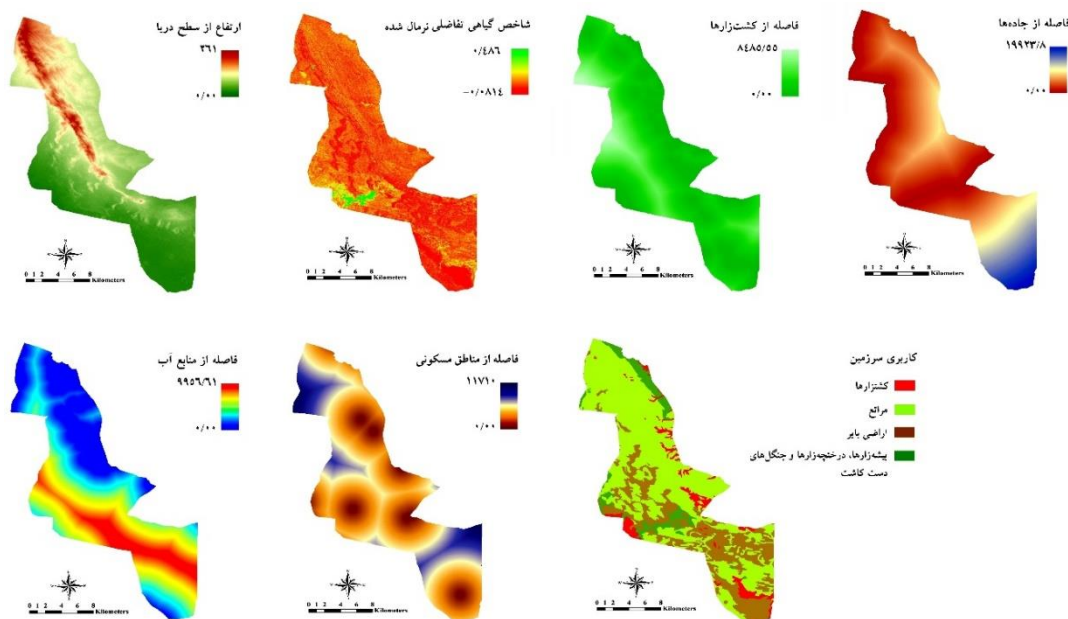
اتمسفری تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، این نمایه با استفاده از دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه گردید. به این ترتیب به همراه متغیر کاربری سرزمین، هفت متغیر برای ورود به مرحله مدل‌سازی انتخاب شدند (شکل ۲).

۲.۴. جمع‌آوری دانش سنتی بومیان منطقه

جامعه آماری پژوهش حاضر دربرگیرنده جوامع محلی داخل و پیرامون منطقه حفاظت‌شده میشداغ است؛ که به منظور دریافت دانش سنتی بومیان، از تکمیل پرسش‌نامه‌های جواب‌دار به همراه مصاحبه حضوری استفاده شد. این امر با هدف جمع‌آوری اطلاعات در رابطه با وضعیت زیستی و زیستایی آهوی منطقه، مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده گونه و زیستگاه، مهم‌ترین عوامل بر مطلوبیت زیستگاه، پراکنش آهو و ترجیح زیستگاهی آن، همچنین اولویت‌بندی آن‌ها از دیدگاه جوامع محلی صورت گرفت.

۳.۲. متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش گونه

پس از تعیین متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش آهوی ایرانی براساس پژوهش‌های انجام شده پیرامون زیستگاه و نیازهای بوم‌شناختی گونه مورد مطالعه (Akbari-Harouni *et al.*, 2008; Durmus, 2010; Nowzari *et al.*, 2007)، نظر کارشناسان و بومیان منطقه، به منظور تشکیل پایگاه داده‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی از نقشه‌های با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصویر سنجنده ETM ماهواره لندست ۸ با گذر ۱۶۶ و ردیف ۳۸ مربوط به تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۹ و DEM بیست متری منطقه استفاده شد. محاسبات تصویری، استخراج و آماده‌سازی متغیرهای ورودی با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI 5.1 و ArcGIS 10 انجام شد. در برخی لایه‌های اطلاعاتی شامل منابع آبی، کشتزارها، مناطق مسکونی و جاده‌ها از معیار فاصله آهو نسبت به هر کدام از این منابع استفاده شد؛ که به این منظور از تحلیل فاصله کمک گرفته شد. در تهیه نمایه گیاهی تفاضلی نرمال شده^۱، پس از تصحیح



شکل ۲. متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش آهوی ایرانی در منطقه حفاظت‌شده میشداغ

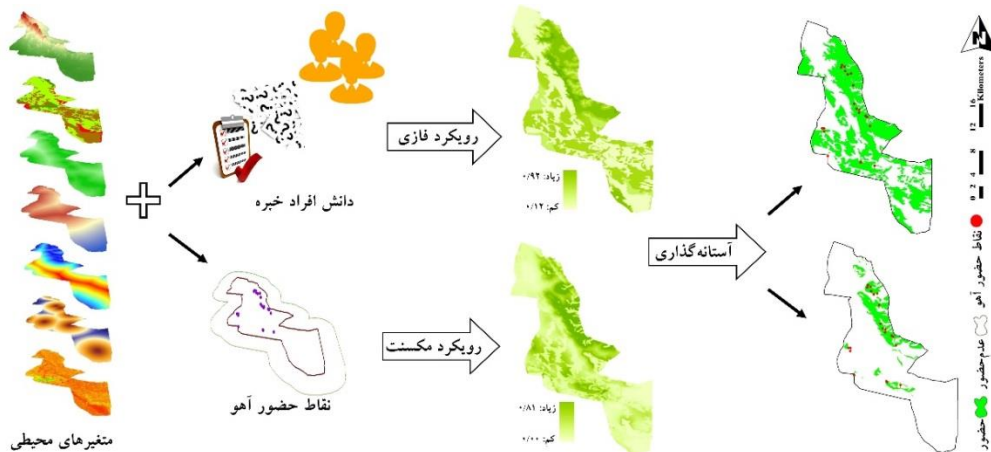
^۱ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

(KMO) استفاده شده، نقطه عطف ۰/۴۰ به‌عنوان حداقل بار عاملی مورد نیاز برای حفظ هر عبارت در عوامل استخراج شده از تحلیل عاملی در نظر گرفته شد (Madhoushi & Jabbari, 2014). تعیین پایایی پرسشنامه نیز با استفاده از آلفای کرونباخ (ضریب آلفا) اندازه‌گیری شد. به منظور برخورداری از همسانی درونی در حد خوب و کافی، سطح آلفای کرونباخ بین ۰/۷۰ تا ۰/۸۰ لحاظ شد (Bland & Atman, 1997). محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 21 و Excel صورت گرفت.

۵.۲. مدل‌سازی پراکنش بالقوه آهوی ایرانی با

دو رویکرد فازی و مکسنت

همان گونه که پیش از این اشاره شد، به منظور مدل‌سازی پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه از دو رویکرد فازی و مکسنت استفاده شد (شکل ۳).



شکل ۳. فرآیند مدل‌سازی پراکنش بالقوه آهوی ایرانی با دو رویکرد فازی و مکسنت

استنتاج و در نهایت غیرفازی‌سازی خروجی در دستور کار قرار گرفت. در نخستین گام، متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش گونه مورد مطالعه، بر حسب نیاز رسترسازی شدند و تمامی متغیرها به فرمت متنی تبدیل شد. همچنین،

شایان ذکر است که، در آماده‌سازی پرسشنامه و تعیین متغیرهای آن از سایر پژوهش‌های مرتبط (Akbari-Harouni *et al.*, 2008; Durmus, 2010; Nowzari *et al.*, 2007) و دریافت نظر کارشناسان استفاده شد؛ همچنین به بومیان امکان ارائه نظرات، پیشنهادها و نیز افزودن متغیرهایی خارج از فهرست موجود، داده شد.

جامعه آماری پژوهش، ۶۸ نفر از جوامع محلی منطقه ساکن در شهر بستان و روستاهای ام‌الدبس، ابوغریب و مراغیه) را شامل می‌شود. در انتخاب نمونه‌ها نیز از روش نمونه‌گیری گلوله برفی یا زنجیره‌ای استفاده شد. زیرا با توجه به محدودیت زمانی و نیز عدم اطلاع از افراد دارای شرایط برای انجام مصاحبه، بهترین روش انتخاب افراد، نمونه‌گیری به روش گلوله برفی یا زنجیره‌ای بود (Azkia & Darban-Astane, 2003). همچنین بررسی و تعیین روایی سازه با استفاده از روش تحلیل عاملی انجام شد. در این پژوهش از تحلیل عاملی اکتشافی با استفاده از آزمون شاخص نمونه‌گیری کیسر-مایر-الکین

۱.۵.۲. رویکرد فازی

این رویکرد با بهره‌گیری از سامانه استنتاج فازی پیاده‌سازی شد. به منظور طراحی و اجرای مدل، فازی‌سازی متغیرهای ورودی و خروجی، ساخت موتور

منطقه مطالعاتی انتخاب شد. همچنین، مدل‌سازی با استفاده از ۱۵ اجرا و ۵۰۰۰ تکرار (به روش ارزیابی بوت استرپ^۲) صورت گرفت. سرانجام، نقشه میانگین ارائه شده به‌عنوان نقشه نهایی پراکنش بالقوه آهوی ایرانی در نظر گرفته شد.

۶.۲. ارزیابی مدل

با توجه به تعداد کم نقاط حضور مورد استفاده در پژوهش، ارزیابی هر یک از مدل‌های فازی و مکسنت با استفاده از تحلیل جک‌نایف (برنامه P value Compute) انجام شد. آستانه‌گذاری جهت تبدیل نقشه پیوسته احتمال حضور گونه به نقشه دو طبقه‌ای حضور و عدم حضور نیز با استفاده از حد آستانه حضور ۱۰ درصد صورت گرفت (Anderson & Gonzalez, 2011; Escalante et al., 2013; Obeidavi, et al., 2017a; Pearson et al., 2007). دلیل انتخاب این آستانه، پرهیز از کم یا بیش‌برآورد پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه در سطح منطقه مطالعاتی است؛ به‌علاوه، آستانه مذکور یکی از پرکاربردترین آستانه‌های مورد استفاده است.

۷.۲. بررسی اهمیت و روابط میان متغیرهای

محیطی و پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، به منظور ارائه مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر بر مدل‌سازی، در رویکرد فازی از آزمون رتبه‌بندی فریدمن و در رویکرد مکسنت از تحلیل جک‌نایف به منظور حساسیت‌سنجی مدل و مشخص نمودن متغیرهای محیطی مهم در مدل‌سازی پراکنش بالقوه آهوی ایرانی استفاده شد. همچنین، منحنی‌های مربوط به هر یک از متغیرهای محیطی به تفکیک رویکردهای مدل‌سازی برای نمایش روابط موجود میان هر یک از متغیرهای محیطی و پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه ارائه شده است.

براساس دانش بوم‌شناختی جوامع محلی که از طریق توزیع پرسش‌نامه و مصاحبه با بومیان منطقه به دست آمد، تعریف و تعیین متغیرهای زبانی، مقادیر زبانی و محدوده هر یک از آنها صورت گرفت. سپس توابع عضویت فازی هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی تعریف شد؛ که در این پژوهش دو نوع تابع عضویت دوزنقه‌ای (Mocq et al., 2013; Obeidavi et al., 2017b) و فازی گسسته (Obeidavi et al., 2017b) مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، تابع عضویت متغیر خروجی پژوهش با عنوان نمایه پراکنش بالقوه آهوی ایرانی تعیین شد. در مرحله بعد به منظور مدل‌سازی اطلاعات مرتبط با پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه، پایگاه قوانین براساس نظرات دریافتی از شرکت‌کنندگان یا به عبارت دیگر براساس دانش بوم‌شناختی جوامع محلی مشارکت‌کننده در پژوهش، تشکیل شد. همچنین، در فرآیند نتیجه‌گیری از مجموعه قوانین فازی تعریف شده، سامانه استنتاج ممدانی^۱ مورد استفاده قرار گرفت. در آخرین گام، غیرفازی‌سازی مجموعه فازی خروجی که تبدیل آن به یک مجموعه قطعی را شامل می‌شود، انجام شد؛ طی پژوهش حاضر، غیرفازی‌سازی خروجی با استفاده از روش مرکز ثقل صورت گرفت. تمام مراحل طراحی و اجرای مدل با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شد.

۲.۵.۲. رویکرد مکسنت

در این رویکرد، مدل‌سازی پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم آنتروپی بیشینه صورت گرفت. به منظور مدل‌سازی، متغیرهای محیطی انتخاب شده به همراه نقاط حضور فاقد همبستگی مکانی (تقسیم شده به دو گروه داده‌های آموزش (۷۵٪) و داده‌های آزمون (۲۵٪)) به‌عنوان متغیرهای ورودی وارد نرم‌افزار MaxEnt 3.3.3k شد (Phillips et al., 2006). در این پژوهش، حد آستانه همگرایی برابر ۰/۰۰۰۰۱ در نظر گرفته شد. نقاط حضور کاذب نیز تحت عنوان نقاط پس‌زمینه به تعداد ۱۰۰۰۰ نقطه به طور تصادفی از تمام

¹ Mamdani

² Bootstrap

۳. نتایج

۱.۳. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مشارکت‌کنندگان

در پژوهش حاضر از مجموع ۶۸ نفری که مورد پرسش و مصاحبه قرار گرفتند؛ ۳۳/۸۲ درصد زن و ۶۶/۱۸ درصد مرد بودند. میانگین سنی زنان شرکت‌کننده در پژوهش $38/80 \pm 5/78$ سال و میانگین سنی مردان $42/16 \pm 6/49$ سال بود؛ که ۶۹/۵۷ درصد زنان و ۸۰ درصد مردان متأهل بودند. درصد بی‌سوادی در میان زنان ۱۹/۷۴ درصد و در میان مردان ۱۷/۷۸ درصد بود که این درصد فراوانی بیش‌تر مربوط به سنین بالا بود. به‌علاوه، بیش‌تر مردان شرکت‌کننده در پژوهش (۶۲/۲۳ درصد) را کشاورزان تشکیل می‌دادند و اغلب زنان (۴۳/۴۸ درصد) را افراد خانه‌دار مشارکت‌کننده در امور کشاورزی تشکیل می‌دادند.

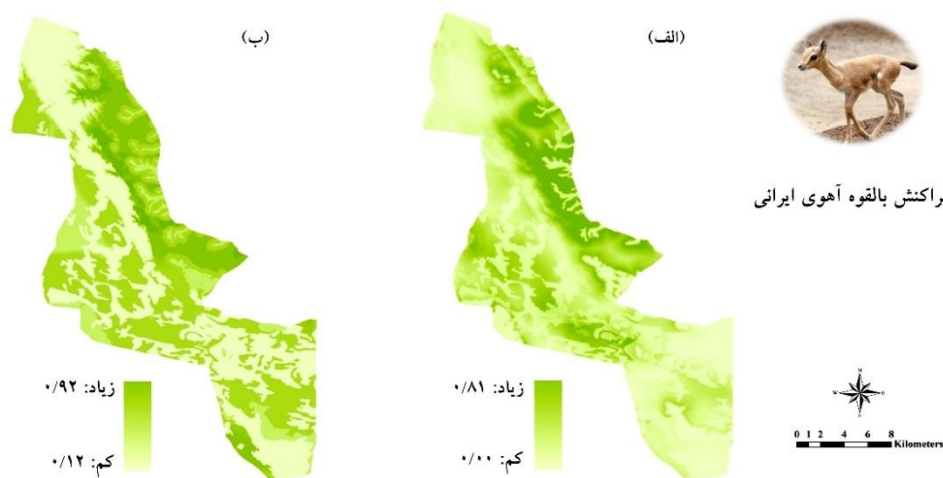
۲.۳. یافته‌های مدل‌سازی پراکنش بالقوه

پراکنش بالقوه آهوی ایرانی در منطقه حفاظت‌شده میشداغ در هر دو رویکرد فازی و مکسنت در شکل ۴ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، شرق و شمال‌شرق منطقه حفاظت‌شده در هر دو رویکرد به‌عنوان مطلوب‌ترین بخش‌های منطقه جهت حضور گونه مورد مطالعه برآورد شده است. همچنین، نقشه دو طبقه‌ای حضور و عدم حضور آهوی ایرانی در منطقه که با استفاده از

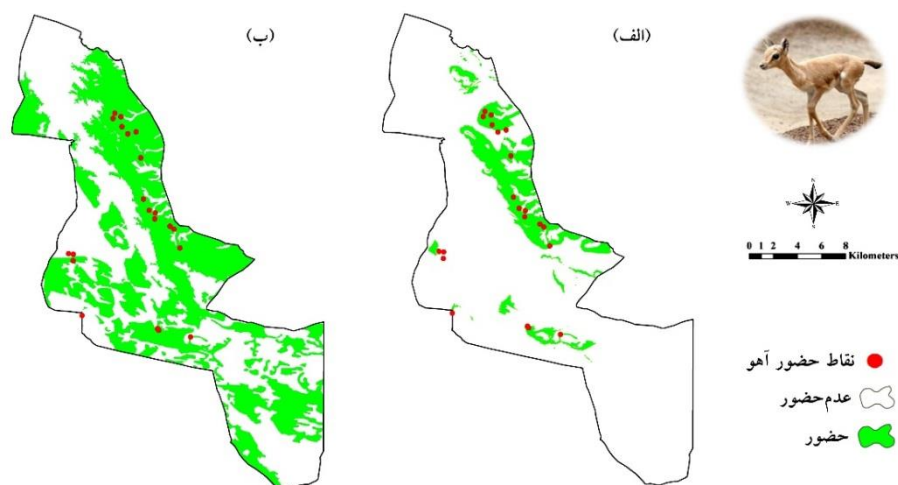
آستانه حضور ۱۰ درصد به‌دست آمد، در شکل ۵ نمایش داده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که براساس مدل حاصل از سامانه استنتاج فازی و با آستانه حضور ۱۰ درصد، ۴۷/۴۵ درصد منطقه حفاظت‌شده میشداغ را می‌توان به‌عنوان منطقه حضور بالقوه آهوی ایرانی در نظر گرفت. این در حالی است که طی مدل‌سازی بر مبنای الگوریتم آنتروپی بیشینه درصد مناطق حضور بالقوه معادل ۱۴/۰۸ درصد منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. تفاوت موجود در میزان مناطق حضور بالقوه برآورد شده، ریشه در ماهیت هر یک از دو رویکرد مورد استفاده دارد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۳.۳. ارزیابی مدل

براساس تحلیل جک‌نایف، میزان موفقیت هر یک از مدل‌های فازی و مکسنت در پیش‌بینی مناطق پراکنش بالقوه (Success rate = Low omission rate) با آستانه حضور ۱۰ درصد به ترتیب، ۸۰/۹۵ درصد و ۶۶/۶۶ درصد محاسبه شد، که این یافته از اختلاف آماری معناداری برخوردار است ($p < 0.01$). این یافته مؤید توان و کارایی هر دو رویکرد به‌ویژه منطق فازی در مدل‌سازی پراکنش بالقوه آهوی ایرانی در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۴. پراکنش بالقوه آهوی ایرانی در منطقه حفاظت‌شده میشداغ: الف - آنتروپی بیشینه، ب - سامانه استنتاج فازی



شکل ۵. نقشه دو طبقه‌ای حضور و عدم حضور آهو ایرانی در منطقه مورد مطالعه: الف- آنتروپی بیشینه، ب- سامانه استنتاج فازی

معرفی شد (هر چه میانگین رتبه‌ها کم‌تر باشد، اهمیت متغیر مربوطه بیش‌تر خواهد بود) (جدول ۱).

همچنین، اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم آنتروپی بیشینه براساس تحلیل جک‌نایف در شکل ۶ نشان داده شده است. بر این اساس، سه متغیر فاصله از منابع آب، فاصله از کشتزارها و کاربری سرزمین به ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای مدل‌سازی تعیین شده‌اند. بنابراین، در هر دو رویکرد فازی و مکسنت، سه متغیر یاد شده به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در مدل‌سازی به‌شمار می‌روند.

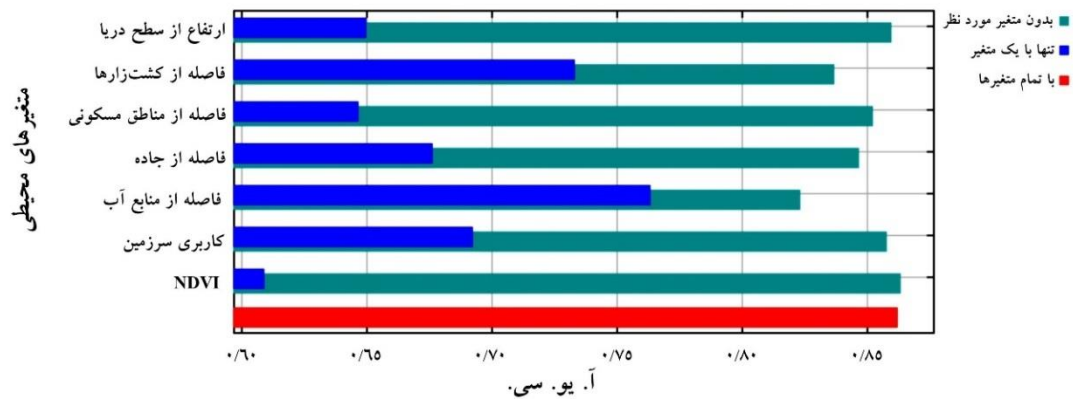
۴.۳. بررسی متغیرهای محیطی در ارتباط با

پراکنش گونه

نتایج حاصل از آزمون فریدمن که به منظور بررسی اولویت‌بندی انجام شده توسط افراد محلی پیرامون متغیرهای محیطی مورد استفاده قرار گرفت، حاکی از وجود تفاوت آماری معنادار در اولویت‌بندی صورت گرفته است ($p < 0.01$). براساس یافته‌ها، به ترتیب متغیرهای کاربری سرزمین، فاصله از کشتزارها و فاصله از منابع آب به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر پراکنش بالقوه آهو در منطقه مورد مطالعه از دیدگاه جوامع محلی

جدول ۱. بررسی وجود تفاوت آماری معنادار در اولویت‌بندی متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش آهو ایرانی از سوی جوامع محلی

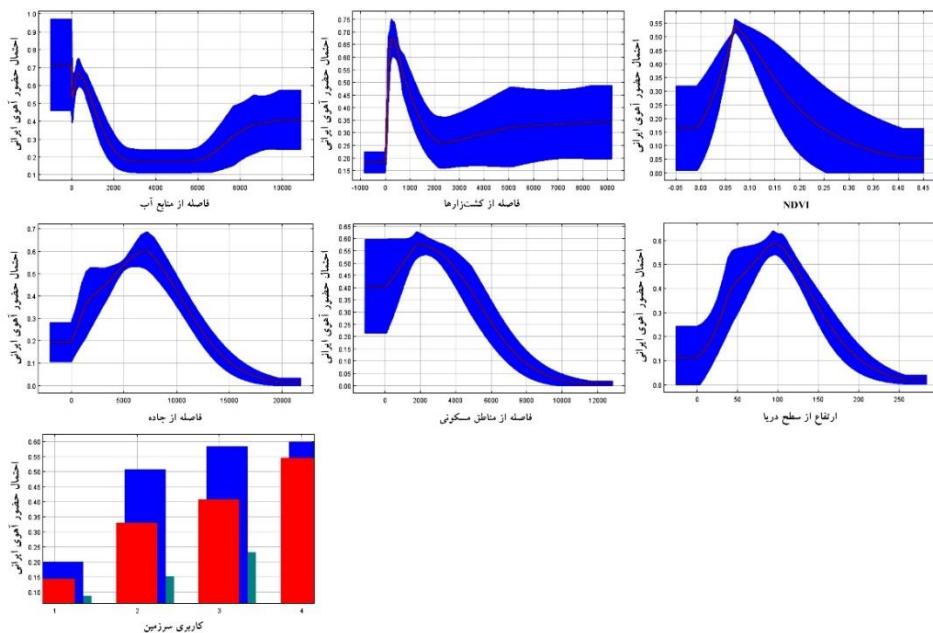
Sig	درجه آزادی	آماره کای دو	متغیرهای محیطی		
			ردیف	نام متغیر	میانگین رتبه‌ها
۰/۰۰۵	۹	۴۶۶/۳۲۲	۱	کاربری سرزمین	۲/۳۹
			۲	فاصله از کشتزارها	۳/۳۳
			۳	فاصله از منابع آب	۴/۰۹
			۴	فاصله از مناطق مسکونی	۴/۵۱
			۵	فاصله از جاده	۵/۶۴
			۶	ارتفاع از سطح دریا	۵/۸۱
			۷	NDVI	۶/۵۹



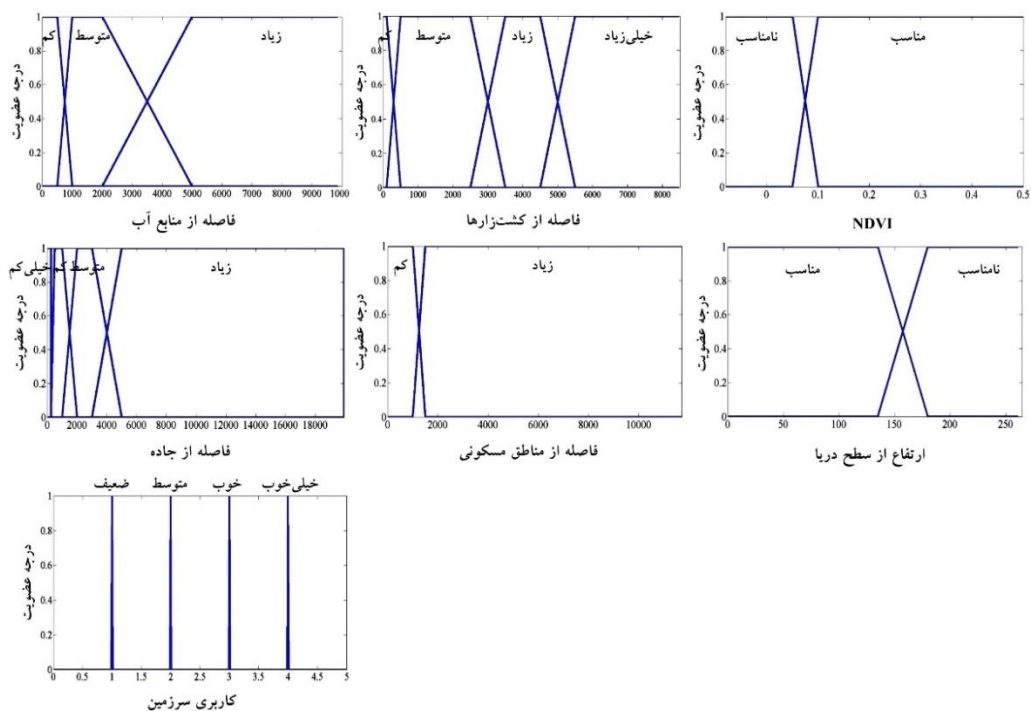
شکل ۶. بررسی اهمیت متغیرهای محیطی مؤثر بر پراکنش گونه مورد مطالعه طی رویکرد مکسنت با استفاده از آزمون جک‌نایف

شده است؛ تا نحوه تأثیرپذیری پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه از این متغیرها به شکل واضح‌تری نمایش داده شود؛ به این ترتیب که، تمرکز نقاط در محدوده‌های خاصی از هر یک از این متغیرها به شدت تأثیرپذیری پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه از این متغیرها در آن محدوده‌های خاص اشاره دارد؛ به‌علاوه، متغیرهای با بیش‌ترین تمرکز نقاط را می‌توان برخوردار از تأثیر و سهم بیش‌تری در مدل‌سازی دانست.

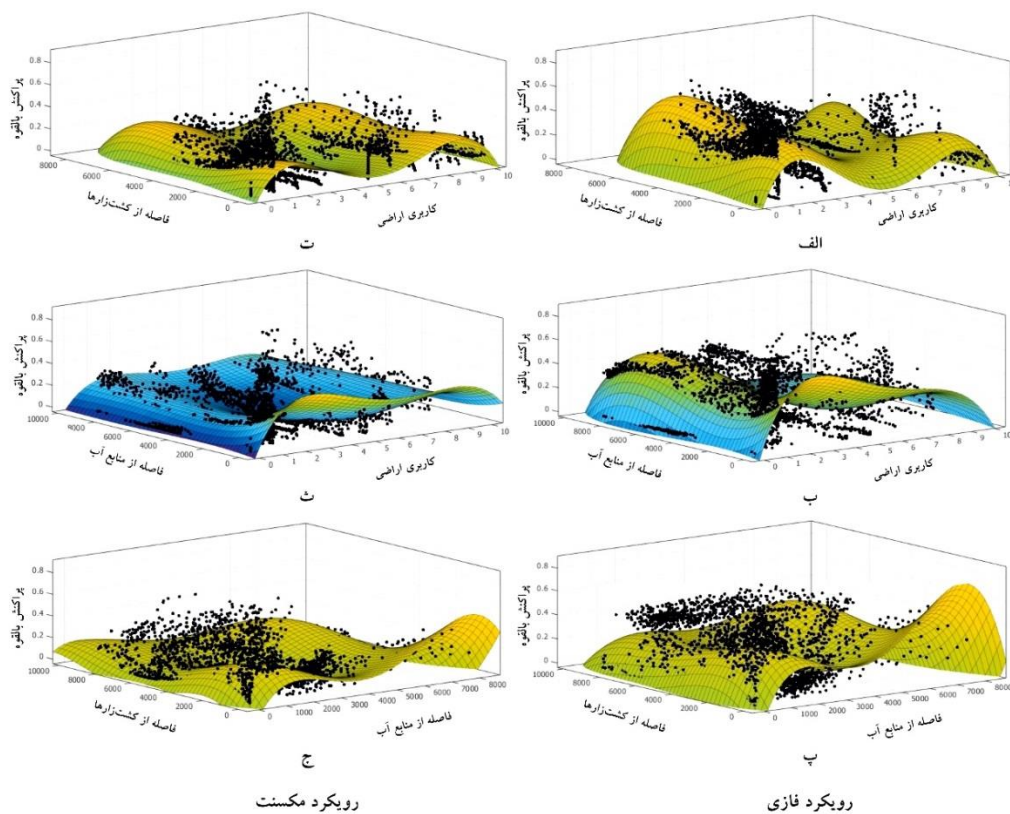
در ادامه، منحنی‌های پاسخ هر یک از متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی با رویکرد مکسنت (الگوریتم آنتروپی بیشینه) نشان داده شده است (شکل ۷). همچنین، توابع عضویت مربوط به هر یک از متغیرهای محیطی مورد استفاده در مدل‌سازی با رویکرد فازی در شکل ۸، قابل مشاهده است. به‌علاوه، نمایش سه بعدی عملکرد سه متغیر کاربری سرزمین، فاصله از کشتزارها و فاصله از منابع آب به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای مدل‌سازی در شکل ۹ آورده



شکل ۷. منحنی‌های پاسخ هر یک از متغیرهای محیطی طی مدل‌سازی با رویکرد مکسنت



شکل ۸. توابع عضویت هر یک از متغیرهای محیطی طی مدل سازی با رویکرد فازی



شکل ۹. نمایش سه بعدی عملکرد سه متغیر کاربری سرزمین، فاصله از کشتزارها و فاصله از منابع آب در مدل سازی

به‌علاوه، یافته‌های پژوهش بیانگر آن است که بهره‌گیری از سامانه استنتاج فازی درصد بیش‌تری از مناطق مورد مطالعه را به‌عنوان مناطق مطلوب (حضور بالقوه) پیش‌بینی می‌نماید؛ که در این زمینه می‌توان اظهار داشت که، بهره‌گیری از روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف مدل‌سازی می‌تواند منجر به پیش‌بینی‌های متفاوت گردد (Thuiller *et al.*, 2004; Elith *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2007). به‌علاوه، چنانچه این یافته را با ضرورت اجتناب از بیش برآوردهایی که می‌توانند نقش گمراه‌کننده‌ای در طرح‌ریزی حفاظت، پایش و مدیریت حیات‌وحش ایفا نمایند، در نظر آوریم، شاید بتوان مدل پیش‌بینی شده توسط الگوریتم آنتروپی بیشینه را در این زمینه مناسب‌تر دانست؛ اما در مقابل چنانچه کاربردهایی را که هدفشان هدایت نمودن کار میدانی در جهت شناسایی مناطق پراکنش ناشناخته و گونه‌های کشف نشده است، در نظر بیاوریم، سامانه استنتاج فازی بسیار مناسب‌تر خواهد بود. به هر حال پرهیز از کلی‌گویی در برتری دادن هر یک از دو رویکرد فازی و مکسنت نسبت به یکدیگر شایسته‌تر می‌نماید؛ چرا که هر یک از این رویکردها، کاربردهای خاص خود را داشته، از مزایا و معایبی برخوردارند (Obeidavi, 2015).

الگوریتم آنتروپی بیشینه به‌عنوان یک روش مبتنی بر داده‌های حضور بی‌شک متأثر از ابهام و عدم قطعیت موجود در داده‌های ورودی به‌ویژه داده‌های حضور خواهد بود. در حالی که سامانه استنتاج فازی به دلیل برخورداری از قابلیت مدل نمودن ابهام و عدم قطعیت موجود در داده‌های ورودی، همچنین عدم وابستگی به داده‌های حضور به مراتب از حساسیت بسیار کم‌تری نسبت به ابهام و عدم قطعیت موجود در این داده‌ها برخوردار است. به‌علاوه، آنچه روشن است این است که در رویکرد مکسنت، الگوریتم آنتروپی بیشینه با مبنا قرار دادن داده‌های حضور و تمرکز دادن جستجوها در نزدیکی این نقاط، به شدت تحت تأثیر نقاط حضور است؛ در حالی که سامانه استنتاج فازی با مبنای کار قرار دادن دانش

بر این اساس، نمودار الف (مربوط به مدل‌سازی با رویکرد فازی) با برخورداری از بیش‌ترین تمرکز نقاط، نشان‌دهنده شدت تأثیرپذیری پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه از دو متغیر کاربری سرزمین و فاصله از کشتزارها یا به عبارت دیگر سهم بیش‌تر این دو متغیر در مدل‌سازی فازی است. این یافته پیش از این نیز، از سوی جوامع محلی مورد تأکید قرار گرفته بود؛ به این ترتیب که، جوامع محلی دو متغیر کاربری سرزمین و فاصله از کشتزارها را به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه مورد تأکید قرار دادند (جدول ۱).

۴. بحث و نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های پژوهش، پیش‌بینی بسیار خوب سامانه استنتاج فازی و الگوریتم آنتروپی بیشینه مورد تأیید قرار می‌گیرد؛ که در رابطه با الگوریتم آنتروپی بیشینه این یافته دال بر موفقیت‌آمیز بودن بهره‌گیری از بررسی‌های میدانی محدود در ارتباط با متغیرهای محیطی در پیش‌بینی پراکنش گونه مورد مطالعه است. در واقع امیدبخش بودن بهره‌گیری از این گونه مدل‌ها در پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه‌های حیات‌وحش در پژوهش‌های دیگر از جمله پژوهش Swanepoel و همکاران (۲۰۱۲)، Velez-Liendo و همکاران (۲۰۱۳)، McCarthy و همکاران (۲۰۱۵) و Obeidavi و همکاران (۲۰۱۷a) مورد تأکید قرار گرفته، این پژوهشگران خاطر نشان کرده‌اند که، این گونه مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری مؤثر در طرح‌ریزی حفاظت، پایش و مدیریت تنوع‌زیستی مطرح باشند. در رابطه با سامانه استنتاج فازی نیز یافته‌های این پژوهش بر عملکرد موفق این مدل در پیش‌بینی پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه تأکید دارند؛ کارایی این سامانه در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای پیش از این توسط Lu و همکاران (۲۰۱۲)، Mocq و همکاران (۲۰۱۳)، Costa و همکاران (۲۰۱۵) و Obeidavi و همکاران (۲۰۱۷b) مورد تأکید قرار گرفته بود.

افراد خبره و ویژگی‌های بوم‌شناختی گونه‌ها، دامنه جستجوهای خود را به کل منطقه تعمیم داده، به جستجوی بخش‌های مطلوب در سرتاسر منطقه می‌پردازد. امری که می‌تواند منجر به شناسایی هر چه بهتر لکه‌های پراکنش ناشناخته جهت لحاظ شدن در برنامه‌های حفاظتی شود (Obeidavi, 2015).

نکته قابل توجه دیگر، عملکرد موفق سامانه استنتاج فازی در مدل‌سازی دانش بوم‌شناختی جوامع محلی در رابطه با پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه است؛ به گونه‌ای که پژوهش حاضر، نمونه‌ای موفق از مدل‌سازی دانش سنتی بومیان یک منطقه در رابطه با پراکنش بالقوه یک نمونه از گونه‌های حیات‌وحش بوده، می‌توان اظهار داشت که آگاهی‌های بوم‌شناختی بومیان هر منطقه منبعی غنی از واقعیات مرتبط با کنش‌ها و واکنش‌های متقابل حیات‌وحش و محیط‌زیست پیرامون آن است. بنابراین، بهره‌گیری از این آگاهی‌ها در قالب سامانه‌های استنتاج فازی می‌تواند ما را به درک صحیحی از پاسخ گونه‌های حیات‌وحش به مجموعه محرک‌های محیطی برساند. مشکلی که فائق آمدن بر آن ارج نهادن به دانشی را می‌طلبد که انسان آن را در طول زمان از طبیعت آموخته است؛ اما عدم آگاهی از چگونگی به‌کارگیری آموزه‌های طبیعت چالش عمده‌ای است که اغلب به غافل شدن از این گنجینه ارزشمند می‌شود؛ و اینجاست که رویکرد فازی با فائق آمدن بر وابستگی‌های موجود به اندازه‌گیری‌ها و نمونه‌برداری‌های زمان‌بر و پرهزینه و در مقابل ارج نهادن به دانش سنتی بومیان هر منطقه (دانش افراد خبره) می‌کوشد تا پدیده‌های مختلف را آن گونه که افراد خبره می‌بینند یا می‌پندارند به تصویر بکشد. امری که به لحاظ زمان و هزینه بسیار مقرون به صرفه خواهد بود.

به‌علاوه، در بررسی متغیرهای محیط‌زیستی مؤثر بر مدل‌سازی، معرفی متغیر کاربری سرزمین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای مدل‌سازی پراکنش بالقوه گونه مورد مطالعه و چگونگی اثر آن بر پراکنش و فراوانی موجودات را می‌توان با بوم‌شناسی سیمای سرزمین مرتبط دانست

(Flather & Sauer, 1996). مفهومی که در دنیای در حال توسعه و پیشرفت کنونی، می‌بایست آن را فراتر از آنچه تنها در قالب مفاهیم جغرافیایی، بوم‌شناختی یا بیولوژیکی مطرح است (Potschin, 2002)، دانست؛ و بحث از آن را با توجه و تأکید بر ابعاد چند رشته‌ای و متشکل از علوم مختلف ترتیب داد (Makhdoum, 2008).

همچنین، اهمیت متغیر فاصله از کشت‌زارها حاکی از گرایش گونه به کشت‌زارها است. گرایش آهوان کشور به کشت‌زارها طی پژوهش‌های پیشین (Akbari-Harouni et al., 2008; Shams Esfandabad, 2002) به اثبات رسیده است؛ که مطالعه حاضر نیز ضمن تأیید این امر در منطقه مورد مطالعه، تداخلات موجود میان حیات‌وحش منطقه و مشاغل همچون کشاورزی را گوشزد می‌نماید. به‌علاوه، معرفی متغیر فاصله از منابع آب به‌عنوان یکی دیگر از متغیرهای مهم اثرگذار در مدل‌سازی نیز یافته‌ای است که با یافته‌های سایر پژوهش‌های صورت گرفته در رابطه با آهوی ایرانی (Akbari-Harouni et al., 2008; Farhadinia et al., 2009; Ramezanizadeh et al., 2013) مطابقت دارد؛ به گونه‌ای که پیش از این Akbari-Harouni و همکاران در پژوهشی که در سال ۲۰۰۸ انجام دادند، اظهار داشتند که در منطقه کالمندها بهادران بیش‌ترین فراوانی آهوان تا شعاع ۵ کیلومتری از منابع آب است. همچنین این گونه در فصل تابستان فاصله خود را از منابع آب به طور محسوسی کاهش می‌دهد. به‌علاوه، Ramezanizadeh و همکاران (۲۰۱۳) طی پژوهش خود دریافتند که، آهوان مناطقی را که در مجاورت منابع آب قرار دارند به سایر مناطق ترجیح داده، فراوانی آهوان در این مناطق بیش از سایر مناطق است. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۹ توسط Farhadinia و همکاران در پناهگاه حیات‌وحش میاندشت صورت گرفت نیز منابع آب به‌عنوان یک عامل مهم و اثرگذار بر پراکنش و فراوانی آهوان شناخته شدند. به طور کلی، تطابق موجود در زمینه مهم‌ترین متغیرهای محیطی تأثیرگذار بر مدل‌سازی در هر دو رویکرد فازی و مکسنت و نیز

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از همکاری و همراهی صمیمانه آقایان سید محمدباقر موسوی (محیطبان منطقه حفاظت‌شده میشداغ) و سید محمد موسوی در طول عملیات میدانی صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند. همچنین، از اهالی خونگرم و صمیمی شهر بستان و روستاهای ام‌الدبس، ابوغریب و مراغیه که با صبر و حوصله ما را در انجام این پژوهش همراهی نمودند، بی‌نهایت سپاسگزاریم.

تطابق این بخش از یافته‌ها با یافته‌های پژوهش‌های پیشین، تأییدکننده لزوم توجه به دانش بوم‌شناختی جوامع محلی هر منطقه است. این تطابق انتخاب درست متغیرها از سوی جوامع محلی و در نتیجه پیش‌بینی قابل اطمینان توسط سامانه استنتاج فازی را نشان می‌دهد. از این رو، این مطالعه را می‌توان از یک سو تأکیدی بر ضرورت توجه به رویکردهایی همچون رویکرد فازی در مدل‌سازی پراکنش بالقوه گونه‌های حیات‌وحش کشور و از سوی دیگر تأکیدی بر ضرورت توجه به دانش بوم‌شناختی جوامع بومی هر منطقه دانست.

References

- Akbari-Harouni, H., Behrouzi-Rad, B., Hasanzade-Kiabi, B. 2008. Investigation on Habitat Suitability of *Gazella Subgutturosa* in Kalmand-Bahadoran Protected Area in Yazd Province. *Environmental studies*, 46: 113-118. (in Persian)
- Anderson, R.P., Gonzalez-Jr, I. 2011. Species-specific tuning increases robustness to sampling bias in models of species distributions: An implementation with Maxent. *Ecological Modelling*, 222: 2796– 2811.
- Azkiya, M., Darban-Astane, A.R. 2003. Applied methods of research. Keyhan Press, Tehran, 225 p.
- Bland, J.M, Atman, D.G. 1997. Statistic Note: Cronbach Alpha. Clinical research ed. *British Medical Journal*, 7080: 314-572.
- Carvalho, J.C., Gomes, P. 2003. Habitat suitability model for European wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) with implications for restocking. *Game and Wildlife Science*, 20: 287-301.
- Costa, H., Ponte, N.B., Azevedo, E.B., Gil, A. 2015. Fuzzy set theory for predicting the potential distribution and cost-effective monitoring of invasive species. *Ecological Modelling*, 316: 122–132.
- Durmus, M. 2010. Determination of home range size and habitat selection of gazelles (*Gazella subgutturosa*) by GPS telemetry in Sanliurfa, Master's thesis, Department of Biological Sciences, Middle East Technical University. 139 p.
- Escalante, T., Rodriguez-Tapia, G., Linaje, M., Illoldi-Rangel, P., Gonzalez-Lopez, R. 2013. Identification of areas of endemism from species distribution models: Threshold selection and NEARCTIC mammals. *TIP Revista Especializada en Ciencias Quimico-Biologicas*, 16 (1): 5-17.
- Farhadinia, M.S., Shams Esfandabad, B., Karami, M., Hosseini-Zavarei, F., Absalan, H., Nezami, B. 2009. Goitered gazelle (*Gazella subgutturosa*): its habitat preference and conservation needs in Miandasht Wildlife Refuge, northeastern Iran. *Zoology in the Middle East*, 46: 9-18.
- Flather, C.H., Sauer, J.R. 1996. Using landscape ecology to test hypotheses about large-scale abundance patterns in migratory birds, *Ecology*, 77: 28–35.
- Gaston K.J. 1996. Species richness: measure and measurement. Biodiversity: a biology of numbers and difference, Blackwell Science, Oxford, pp. 77–113.
- Hemami, M.R., Groves, C.P. 2001. Iran. pp. 114-118, In: Mallon, D.P., Kingswood, S.C., (Eds.), Antelopes, Part 4: North Africa, the Middle East and Asia, Global Survey and Regional Action Plans, IUCN/SSC Antelope Specialist Group, IUCN, Gland and Cambridge.
- Holguin-Gonzalez, J.E. 2013. Integrated ecological modeling for decision support in river management. PhD thesis, Ghent University, Ghent, Belgium.

- Lu, C.Y., Gu, W., Dai, A.H., Wei, H.Y. 2012. Assessing habitat suitability based on geographic information system (GIS) and fuzzy: A case study of *Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils. In Qinling Mountains, China. *Ecological Modelling*, 242: 105–115.
- Madhoushi, M., Jabbari, N. 2014. Theory Development from Qualitative Data Mining in Knowledge Sharing and Designing its Native Scale: A case study. *New Approaches in Educational Administration*, 4 (16): 83-104.
- Makhdoum, M.F. 2008. Landscape ecology or environmental studies (Land Ecology) (European Versus Anglo- Saxon schools of thought). *Environmental Application & Science*, 3 (3): 147-160.
- Mallon, D.P. 2008. *Gazella subgutturosa*. In: IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.2. Available from <http://www.iucnredlist.org>. Accessed 11th November 2009.
- Mirzaei, R., Hemami, M.R., Esmaili Sari, A., Rezaei, H.R. 2013. Determination of common buzzard (*Buteo buteo*) distribution and influencing factors in Golestan province using Maximum Entropy algorithms. Proceedings of 1th international conference of IALE-Iran, Isfahan, Iran. 10 p. (in Persian)
- Mocq, J., St-Hilaire, A., Cunjak, R.A. 2013. Assessment of Atlantic salmon (*Salmo salar*) habitat quality and its uncertainty using a multiple-expert fuzzy model applied to the Romaine River (Canada). *Ecological Modelling*, 265: 14–25.
- Nowzari, H., Behrouzi Rad, B., Hemami, M.R. 2007. Habitat use by Persian gazelle (*Gazella subgutturosa subgutturosa*) in Bamoo National park during autumn and winter, *Acta Zoologica Mexicana*, 23: 109–121.
- Obeidavi, Z. 2015. Designing a Web GIS system for wildlife of Khuzestan province. Master's thesis, Department of Remote Sensing and Geographic Information System, Shahid Chamran University of Ahvaz. 102 p. (in Persian)
- Obeidavi, Z., Rangzan, K., Mirzaei, R., Kabolizade, M. 2017a. Habitat Suitability Modelling of Brown Bear (*Ursus arctos*) in Shimbar Protected Area, Khuzestan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 5 (18): 61-72.
- Obeidavi, Z., Rangzan, K., Mirzaei, R., Kabolizade, M., Amini, A. 2017b. Wildlife Habitats Suitability Modelling using Fuzzy Inference System: A Case Study of Persian Leopard (*Panthera pardus saxicolor*) in Shimbar Protected Area. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 6 (1): 57-67. (in Persian)
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., Peterson, A.T. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Biogeography*, 34: 102–117.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 190: 231-259.
- Potschin, M. 2002. Landscape ecology in different parts of the world. In: Bastian O and Steinhardt U (Eds.), Development and perspectives of landscape ecology. Kluwer Academic Publishers. Boston.
- Ramezanizadeh, S., Mansoori, J., DehdarDargahi, M., Shams Esfandabad, B. 2013. Iranian gazelle (*Gazella subgutturosa subgutturosa*) habitat evaluation in Salook National Park using ecological niche factor analysis (ENFA). Proceedings of 1th National Conference on strategies for sustainable development in agriculture, natural resources and environment, Tehran, Iran. 8 p. (in Persian)
- Santos, R.O., Lirman, D. 2012. Using habitat suitability models to predict changes in seagrass distribution caused by water management practices. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69(8): 1380-1388.
- Shams Esfandabad, B. 2002. Ecological and biological studies of gazelle in Sohrin plain. Master's thesis, Tehran University. 113 p. (in Persian)
- Zachos, F.E., Karami, M., Günther B.H., Eckert, I., Kirschning J. 2010. First genetic analysis of a free-living population of the threatened goitered gazelle (*Gazella subgutturosa*). *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*, 75 (3): 277-282.
- Zielinski, W.J., Dunk, J.R., Yaeger, J., Scott, L., David, W. 2010. Developing and testing a landscape-scale habitat suitability model for fisher (*Martes pennanti*) in forests of interior northern California. *Forest Ecology and Management*, 260 (2010): 1579–1591.