مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال پانزدهم، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۲
ص ۱۰۵-۸۷
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2022.321103.1837
شناسه دیجیتال (DOR):20.1001.1.20086113.1402.15.2.6.1

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خفاش‌های غارزی شهرستان رودبار به‌منظور معرفی یکان حفاظت- مدیریت جنگل

شیوا پیروی لطیف[۱]، رخشاد حجازی[۲*]، سهراب اشرفی[۳] و سید علی جوزی[۴]

[۱] دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۲] استادیار گروه محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۳] دانشیار گروه محیط زیست، دانشکدهٔ محیط زیست و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
[۴] استاد گروه محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۶)

چکیده

مدیریت منابع، آشفتگی‌های طبیعی و زیستگاه حیات وحش، مهم‌ترین مؤلفه‌های مدیریت جنگل‌اند. مدیران برای دستیابی به اهداف مدیریتی و حفاظتی، نیازمند اطلاعات اکولوژیک روشن از توزیع لکه‌های داغ تنوع زیستی در بستری از سیمای جنگلی- کوهستانی هستند. خفاش‌های غارزی به‌عنوان گونهٔ سنگ سرطاق غارها و شاخص اکولوژیک کیفیت جنگل به تغییرات اکوسیستم حساس‌اند و مدل‌های آشکارساز فضایی به‌عنوان ابزاری مناسب برای شناسایی مناطق حساس زیستی در دستیابی به زیستگاه‌های کلیدی جنگل کاربرد دارند. در این پژوهش از موقعیت جغرافیایی غارهای شناسایی‌شده در منطقه برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه لانه‌گزینی خفاش‌ها استفاده شد. مدل‌های فضایی با استفاده از متغیرهای اراضی کشاورزی، جهت، آب‌وهوا، جنگل، شاخص سبزینگی، بارش، مرتع و منابع آبی (ترکیبی از رودخانه‌ها و رودره‌ها) و به‌کارگیری شش الگوریتم Brt، Mars، Mda، Rf، Rpart و Svm به‌صورت مجزا و گروهی مدل‌سازی شدند. براساس معیار AUC مناسب‌ترین مدل‌ها، مدل‌های Rf و Brt با مقدار ۰/۸۷ و مدل Rpart با مقدار ۰/۶۷ کمترین میزان این سنجه را داشته‌اند. متغیرهای منابع آبی و جنگل بیشترین سهم را در توضیح مدل‌ها داشته‌اند. زیستگاه‌های مطلوب پیش‌بینی‌شده در مدل گروهی به‌عنوان یکان مدیریت اکوسیستم جنگل در سطح سیمای سرزمین تعیین شد و ناحیه‌ای از این یکان که توسط جاده‌ها و فعالیت‌هایی مانند برداشت شن و ماسه و توسعهٔ گردشگری در معرض تهدید است به‌عنوان یکان حفاظت معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: زیستگاه آبساری، شاخص اکولوژیک، گونهٔ سنگ سرطاق، مدل گروهی.

مقدمه

مدیریت منابع، آشفتگی‌های طبیعی و زیستگاه حیات وحش، مهم‌ترین مؤلفه‌های مدیریت جنگل‌اند. مدیریت منابع اشاره به طرح‌ریزی برداشت دارد و مدیریت اختلالات طبیعی شامل مدیریت آتش، حشرات و بیماری‌هاست. مدیریت زیستگاه حیات وحش شامل مدیریت درختان کهنسال، حفاظت از تنوع زیستی، زیبایی‌شناسی سیمای سرزمین به‌منظور تفرج و اکوتوریسم، کالاها و خدمات اکوسیستم است (Li et al., 2011). علاوه‌بر این مدیریت جنگل با بوم‌شناسی سیمای سرزمین پیوند نزدیکی دارد. پژوهش‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین در اکوسیستم‌های جنگلی به دو حوزهٔ کلی تقسیم می‌شود: ۱. مطالعهٔ مسائل مربوط به چندپارگی که بر

* نویسندهٔ مسئول شماره تماس: ۰۹۱۲۲۸۸۲۲۵۳ ایمیل: RokhshadHejazi@yahoo.com

تأثیرات تکه‌تکه شدن جنگل بر حفاظت از گونه‌ها تمرکز دارد؛ ۲. توسعهٔ مدل‌های پردازش سیمای سرزمین که بر پویایی لکه‌ها و تأثیرات چیدمان فضایی آنها بر فرایندهای اکوسیستم متمرکز است (Boutin., 2002, Li et al., 2011).

مدیریت علمی و مدرن اکوسیستم‌های جنگلی در ایران بسیار جوان است و فعالیت‌های جنگلداری هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارند. امروزه مدیریت جنگل هم در اهداف و هم در فلسفه به‌طور کلی متفاوت با گذشته است. در گذشته مدیریت جنگل با هدف تولید چوب و کالا انجام می‌گرفت، اما اولویت امروز مدیریت جنگل به‌ویژه در منطقهٔ هیرکانی که نمونهٔ منحصربه‌فردی از جنگل‌های باستانی است و ارزش تاریخی دارد، حفظ پیچیدگی‌های میکروتوپوگرافیکی، تنوع زیستی (Peyravi Latif et al., 2021)، پایداری و حفظ ذخایر ژنتیکی است که به‌معنای حفظ خاک، فراهم کردن آب‌وهوای پاک و فراهم‌آورندهٔ زیستگاه باکیفیت برای حیات وحش است (Sagheb_Talebi et al., 2014). همهٔ این ارزش‌ها در صورتی به‌طور کامل محقق خواهد شد که بهره‌برداری از منابع جنگلی به‌شکل پایدار مدیریت شود (Li et al., 2011). در اینجا مدیریت به‌معنای سرپرستی[1] است، یعنی مراقبت از همهٔ عناصر زیستی و غیرزیستی اکوسیستم جنگل که برای حیات وحش ارزشمند است. از این‌رو مدیران جنگل در یک منطقهٔ مشخص برای دستیابی به تعادل پایدار در جوامع جنگلی، به‌طوری که در بلندمدت، فعالیت‌های اقتصادی و بهره‌برداری از منابع جنگلی و حفاظت از تنوع زیستی توأم با یکدیگر را تضمین کند، به اطلاعات اکولوژیک دقیق و روشن از عناصر تشکیل‌دهندهٔ اکوسیستم جنگل در سیمای سرزمین نیاز دارند (Rainho, 2011). یکی از راه‌های دستیابی به این نوع اطلاعات اکولوژیک استفاده از گونه‌های شاخص به‌همراه بهره‌گیری از ابزارها و مدل‌های جدید است (Razgour et al., 2016).

خفاش‌ها به‌دلیل حساسیت به تغییرات کاربری اکوسیستم توسط انسان، شاخص اکولوژیک کیفیت و سلامت زیستگاه شناخته می‌شوند (Jones et al., 2009; Hutson et al., 2001). آنها همچنین طعمه‌خوارانی در انتهای زنجیرهٔ غذایی هستند که حذف یا کاهش آنها موجب اختلال در کارکرد و کاهش تاب‌آوری اکوسیستم‌های جنگلی می‌شود (García-Morales et al., 2016). تنوع و فراوانی خفاش‌ها نمایانگر سلامت یا کیفیت اکوسیستم است. نابودی کلنی خفاش‌ها، افزایش جمعیت حشرات را در پی خواهد داشت. خفاش‌ها با کم نگه داشتن جمعیت حشرات سهم زیادی در جلوگیری از گسترش و شیوع آفات درختان جنگلی و کنترل آفات مزارع کشاورزی، باغ‌ها و حشرات مزاحم برای انسان دارند. بعضی از گونه‌ها در گرده‌افشانی و انتشار بذر نقش دارند و با این کار به ترمیم پوشش گیاهی و احیای ترکیب جامعهٔ گونه‌های جنگلی کمک می‌کنند (Benda et al., 2012; Altringham, 2011; Voigt & Kingston, 2016; Le Roux et al., 2017).

در حال حاضر در سطوح مختلف قاره‌ای، منطقه‌ای و محلی، بیشتر جمعیت خفاش‌ها در معرض خطر انقراض قرار دارند (Hutson et al., 2001). مهم‌ترین عواملی که خفاش‌ها را تهدید می‌کند مزاحمت در مکان‌های زمستان‌خوابی و تغییر در زیستگاهی است که در آن تغذیه می‌کنند (Benda et al., 2012; Altringham, 2011; Voigt and Kingston., 2016). بنابراین حفاظت از خفاش‌ها هم نیازمند حفاظت از محل‌های تولید مثل، استراحت روزانه و زمستان‌خوابی آنها و هم مستلزم مراقبت از زیستگاه‌های خوراک‌جویی و مسیرهای جابه‌جایی بین آنهاست که در بستری از مزارع کشاورزی، باغ‌ها، جاده‌ها و مناطق مسکونی قرار دارند.

با افزایش جمعیت انسان و تقاضا برای غذا و مسکن، دامنهٔ فعالیت‌ها و ساخت‌وساز در مناطق

1. stewardship

جنگلی شمال کشور رو به گسترش نهاده که چندپارگی رویشگاه‌های جنگلی کهنسال را در پی داشته است (Forman, 1995). چندپارگی جنگل بر توانایی جست‌وجو و جابه‌جایی خفاش‌ها بین موزاییک‌های جنگلی در ماتریس سیمای سرزمین تغییرشکل‌یافته اثرگذار خواهد بود (Faria, 2006). افزایش این نوع فعالیت‌های ناپایدار سبب کاهش تنوع زیستی (Noss & Cooperrider, 1994) و به‌تبع آن کاهش تنوع خفاش‌ها می‌شود (Peyravi Latif et al., 2021). بنابراین شناسایی و حفاظت از رویشگاه‌های جنگلی، کریدورهای ارتباطی و غارها در راستای حفاظت از تنوع زیستی خفاش‌ها و حفظ تعادل و پویایی جنگل‌های هیرکانی شمال کشور ضرورت دارد.

هدف این پژوهش تعیین مناطق حساس اکوسیستم جنگل‌های خزری در محدودهٔ شهرستان رودبار با استفاده از فاکتورهای مهم انتخاب زیستگاه خفاش‌ها در مقیاس سیمای سرزمین است. با توجه به گسترهٔ جغرافیایی وسیع و پیچیدگی نوع سیستم مورد مطالعه و ناکارایی مدل‌های ضمنی[1] برای ارزیابی اکوسیستم‌های کوهستانی- جنگلی در ارتباط با حفاظت از تنوع زیستی در سطح سیمای سرزمین که در برنامه‌های مدیریت جنگل کاربرد داشته باشد، تدوین نوعی مدل صریح[2] گامی مؤثر در شناخت الگوها و روابط اکولوژیکی در فرایند طرح‌ریزی فضایی اکوسیستم جنگل‌های هیرکانی خواهد بود. Milen et al. (2006) در ناحیهٔ شمالی استرالیا با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته[3] احتمال حضور ۲۵ گونهٔ مختلف از خفاش‌های حشره‌خوار را پیش‌بینی کردند و در نهایت با ترکیب نقشه‌های احتمال حضور پیش‌بینی‌شده، نواحی با غنای گونه‌ای زیاد خفاش‌ها را شناسایی کردند. در ایران Peyravi Latif et al. (2021) در محدودهٔ اکوسیستم کوهستانی- جنگلی شهرستان رودبار-گیلان به بررسی تنوع و فراوانی جامعهٔ خفاش‌ها با استفاده از روش زیست‌صوت‌شناسی پرداختند. در این اکوسیستم احتمال حضور گونه‌های مختلفی از هشت جنس متفاوت از خفاش‌های *Myotis*، *Pipistrellus*، *Plecotus*، *Nyctalus*، *Rhinolophus*، *Miniopterus*، *Barbastella* و *Eptesicus* متعلق به سه خانوادهٔ Vespertilionidae، Rhinolophidae و Miniopteridae پیش‌بینی شده است. یافته‌های آنها نشان داد که منطقهٔ پژوهش به‌دلیل برخورداری از زیستگاه‌های متنوع کوهستانی، جنگلی، آبی و کشاورزی از تنوع و فراوانی زیادی از خفاش‌ها برخوردار است. از طرفی اولویت‌بندی و طرح‌ریزی مدیریت اکوسیستم‌های جنگلی مبتنی بر حفاظت از خفاش‌ها به‌عنوان نمایندهٔ دیگر اشکال تنوع زیستی تاکنون برای اکوسیستم جنگل‌های هیرکانی انجام نگرفته است. فرایندهای فضایی به‌طور ذاتی پیچیده‌اند. این پیچیدگی در اکوسیستم‌هایی که ترکیبی از ساختار کوهستانی و جنگلی را در خود جای داده‌اند به‌مراتب افزایش پیدا می‌کند. با توجه به پیچیدگی نوع سیستم که سیمایی کوهستانی- جنگلی دارد، دستیابی به این هدف نیازمند ابزارها و رویکردهای مناسب است. یکی از این رویکردها، مدل‌سازی آشکارساز فضایی[4] مبتنی بر سیمای سرزمین است که می‌تواند به‌منزلهٔ ابزار تصمیم‌گیری سودمند برای مدیران جنگل و سایر ذی‌نفعان محلی کاربرد داشته باشد.

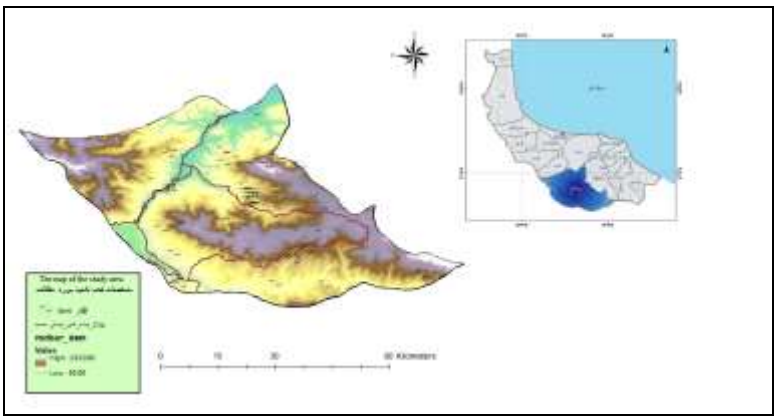
مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

جنگل‌های هیرکانی شامل کمربند ممتد ۸۰۰ کیلومتری در جنوب دریای خزر در نیمرخ شمالی رشته‌کوه البرز است که ۱/۸۵ میلیون هکتار آن در داخل مرزهای ایران و حدود ۵۰ هزار هکتار آن در کشور آذربایجان واقع شده است. جنگل‌های هیرکانی شمال کشور با قدمت دست‌کم ۲۵ میلیون سال

1. Implicit
2. Explicit
3. GLM
4. Spatially Explicit Models

باقی‌مانده از دورهٔ چهارم یخبندان است و نمادی از فسیل زنده و میراث طبیعی جهان شناخته می‌شود. منطقهٔ هیرکانی (شامل زیستگاه‌های جنگلی و غیرجنگلی) دربردارندهٔ عناصر رویشی ناحیهٔ اروپا-سیبری است (Haghgooy & Pourbabaei, 2012) و از غنای تنوع زیستی و بومزادی گیاهی زیادی برخوردار بوده و با ۳۲۳۴ گونهٔ شناخته‌شده دربردارندهٔ ۴۴ درصد فلور ایران است (Tohidifar et al., 2016). یکی از این رویشگاه‌ها، جنگل‌های دامنهٔ اطراف قلهٔ درفک شهرستان رودبار است که از بکرترین و باارزش‌ترین جنگل‌های گیلان به‌شمار می‌رود. شهرستان رودبار با وسعت ۲۵۷۴ کیلومتر مربع، دومین شهرستان استان گیلان به لحاظ وسعت است که از شمال به شهرستان رشت و شفت، از شرق به سیاهکل، از جنوب به استان قزوین و از غرب به استان زنجان محدود شده است (شکل ۱). متوسط درجهٔ حرارت سالیانه براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی منطقهٔ رودبار ۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد است (Haghgooy & Pourbabaei, 2012). در ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند و فرودین، درجهٔ حرارت کمتر از متوسط سالیانه و در شش ماه دیگر بیشتر از آن است. سردترین ماه‌های سال، دی و بهمن با ۷/۷ درجهٔ سانتی‌گراد و گرم‌ترین ماه سال مرداد ماه با ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد است. حداقل متوسط سالانهٔ درجهٔ حرارت در سردترین ماه سال ۲/۸ درجهٔ سانتی‌گراد و حداقل در طول سال ۱۰/۶ درجهٔ سانتی‌گراد است، به‌طوری که دامنهٔ تغییرات درجه حرارت به ۱۷/۱ درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد. متوسط حداکثر درجهٔ حرارت در گرم‌ترین ماه سال به ۳۱/۱ و در سردترین ماه سال به ۱۲/۲ درجهٔ سانتی‌گراد در دی‌ماه کاهش می‌یابد (Sadeghipour Halimehjani, 2015). مهم‌ترین ذخایر جنگلی در محدودهٔ شهرستان رودبار شامل ذخیره‌گاه ارس (*Juniperus excelsa* M.Bieb) در محدودهٔ بخش عمارلو (۱۲۵۰ هکتار)، کتبه‌کلاس (۱۰۰۰ هکتار) و اشکه‌سر (۵۰۰ هکتار)، ذخیره‌گاه سفیدپلت (*Populus caspica* Bornm) در محدودهٔ حلیمه‌جان به وسعت ۱۰ هکتار و ذخیره‌گاه زربین (*Cupressus sempervirens* var. horizontalis) به وسعت ۱۸۵ هکتار در محدودهٔ سیدان قرار دارند (Tohidifar et al., 2016). در محدودهٔ پژوهش، منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ سیاه‌رود و منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ گشت‌رودخان و سیاه‌مزگی وجود دارد که تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست است. منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ گشت‌رودخان و سیاه‌مزگی با وسعت ۳۹۵۱۴/۴۴ هکتار در شهرستان‌های فومن، شفت و بخش کوچکی از آن نیز در محدودهٔ شهرستان رودبار در مختصات جغرافیایی طول شرقی E492018 E490308 و عرض شمالی N365602 N371149 واقع شده است. این منطقه از تاریخ ۱۳۷۸/۱۰/۱۵ تحت مدیریت و حفاظت قرار گرفته است.



شکل ۱- نقشهٔ منطقهٔ پژوهش در استان گیلان به‌همراه موقعیت غارهای شناسایی‌شده در شهرستان رودبار

Figure 1. The map of the study area in Gilan province along with the location of the caves identified in Rudbar county

شیوهٔ اجرای پژوهش

نمونه‌برداری از غارها و شناسایی خفاش‌های ساکن در آن تحت مجوز سازمان حفاظت محیط زیست و با هماهنگی ادارهٔ کل محیط زیست استان گیلان و ادارهٔ محیط زیست شهرستان رودبار انجام گرفت. نمونه‌برداری مقدماتی از خرداد ۱۳۹۷ آغاز شد و برنامهٔ نمونه‌برداری اصلی از اواسط بهار ۱۳۹۸ (اردیبهشت) همزمان با شروع فعالیت زیستی (تولید مثل و خوراک‌جویی) خفاش‌ها اجرا شد. در اولین مرحله، پس از مصاحبه با بومیان ساکن در مناطق جنگلی شهرستان رودبار، داده‌های موجود در ادارهٔ محیط زیست و داده‌های به‌دست‌آمده از متخصصان و فعالان سازمان‌های مردم‌نهاد محلی (مؤسسهٔ سبزکاران بالان) و پایان‌نامه‌های دانشجویی (Sadeghipour Halimehjani, 2015) انجام‌گرفته در منطقه و اطلاعات مربوط به غارها و مناطق حضور و فعالیت خفاش‌ها گردآوری شد. براساس منابع و گزارش‌ها، ۸۰ غار در محدودهٔ شهرستان رودبار وجود دارد (Sadeghipour Halimehjani, 2015). براساس تفکیک شهرستان به بخش، در بخش رودبار مرکزی ۱۶ غار، در بخش رحمت‌آباد و بلوکات ۲۲ غار، در بخش خورگام ۳۱ غار و در بخش عمارلو ۱۱ غار شناسایی شده است (جدول ۱). با توجه به اینکه تعدادی از غارها یک عنوان دارند و از نظر موقعیت فضایی و جغرافیایی در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند، در مجموع ۵۵ غار شناسایی و تفکیک شد. براساس پژوهش‌های پیشین، به‌جز غار یخی درفک، نمایهٔ حضور خفاش‌ها در غارهای دیگر دیده شده و بیشترین تجمع خفاش‌ها در غار دربندرشی، گوورد، غارچه‌های دست‌کند جهانی و دیورش مشاهده شده است (Sadeghipour Halimehjani, 2015). در این پژوهش، ۱۱ غار به‌دلیل نداشتن موقعیت جغرافیایی و چهار غار به‌دلیل قرار داشتن در خارج از مرز محدودهٔ تحت بررسی از فهرست انتخاب‌شده حذف شدند. در مجموع ۴۰ مورد از ۸۰ غار در محدودهٔ شهرستان رودبار که به‌طور بالقوه قابلیت انتخاب توسط خفاش‌ها را داشتند برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه انتخاب شد. به‌منظور تعیین ترکیب تنوع گونه‌ای و فراوانی خفاش‌های غارزی، بازدید میدانی و نمونه‌برداری از ۲۰ سایت انجام گرفت (جدول ۱). پس از حضور در هر سایت، به‌منظور شناسایی دقیق گونه با توجه به نوع دهانهٔ ورودی، عمق و ارتفاع دیوارهٔ هر غار و همچنین موقعیت قرارگیری خفاش‌ها (محل استراحت) در داخل غار، با استفاده از تور دستی در داخل غار یا نصب تور نامرئی[1] در دهانهٔ ورودی، از خفاش‌ها نمونه‌گیری شد (Battersby, 2010). به‌منظور جلوگیری از استرس و آشفتگی در هر کلنی تنها یک فرد به‌عنوان نمایندهٔ جمعیت برای شناسایی صید شد. پس از صید هر فرد و برای شناسایی گونه و مقایسه با کلید شناسایی خفاش‌ها با استفاده از دوربین عکاسی Canon EOS 700D از آن عکس‌برداری شد و سپس خفاش در محل صیدشده درون غار رها شد. نقاط حضور و خوابگاه خفاش‌ها با استفاده از دستگاه[2] GPS با دقت ۱۰ متر ثبت شد.

روش تحلیل

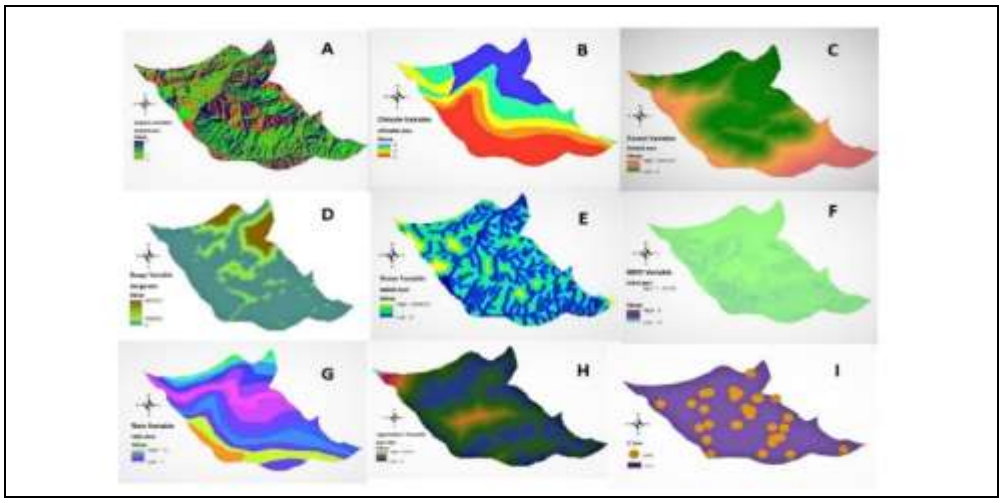
در این پژوهش، موقعیت جغرافیایی غارها (نقاط حضور) به‌عنوان متغیر وابسته و تابعی از متغیرهای مستقل محیط زیستی در مدل در نظر گرفته شد (شکل ۲). از موقعیت جغرافیایی غارهای شناسایی‌شده در منطقه برای مدل‌سازی زیستگاه خفاش‌های غارزی و از نقشه‌های خروجی به‌دست‌آمده برای شناسایی داغ‌ترین مناطق جنگلی-کوهستانی به‌منظور مدیریت و حفاظت از آنها استفاده شد (Razgour et al., 2016).

1. Mist net
2. Garmin 60 X

جدول ۱- اسامی غارهای بررسی‌شده

Table 1. Names of studied caves

بخش رودبار Rudbar district	تعداد No.	غارهای موجود در بخش‌های چندگانهٔ شهرستان رودبار Caves in districts of Rudbar county	خوابگاه‌های بررسی‌شده در این پژوهش Roosts surveyed in this research	تعداد No.
رودبار مرکزی Central Rudbar	16	چشمه باد، اربا‌چاله، جهانی ۱ و ۲، چرپه ۱ و ۲، کوکر، کران، گاوکول، فتلک (ده‌متری)، لانهٔ پلنگ، غار تاریک، کُلسیم، شعبان‌دره، کبته ۱ و ۲ Cheshme bad, Arba chale, Jahani 1 and 2, Chorpe 1 and 2, kockar, Keran, Gav kool, Fatalak (Dah metri), Laneh palang, Ghar Tarik, Kulsim, Shaban darreh, Kabte 1 and 2	چشمه باد، جهانی ۱ و ۲، چرپه ۱ و ۲، فتلک Cheshme bad, Jahani 1 and 2, Chorpe 1 and 2, Fatalak	6
رحمت‌آباد و بلوکات Rahmatabad and Blukat	22	دیورش (نورچشمه، دیو چشم ۱ و ۲)، چاستکول، بابو، خانه خدا، دربند ۱ و ۲، آبدر، هفت‌دری، گنبک، سیاه‌کمر ۱ و ۲، لانه خرس، کوییل قلعه، کول، گرم آوه، مگس کمر ۱ و ۲ و ۳، کردمیر، پُرددیار شهربیجار Divrash (Noor cheshme, Divcheshm 1 and 2), Chastkool, Baaboo, Khane khoda, Darband 1 and 2, Abdar, Haft dari, Gonbak, Siah kamar 1 and 2, Laneh Khers, Kouil ghalle, Kul, Garm aveh, Magas kamar 1 and 2 and 3, Kordmir (Dar ahani), Porddiar bijar	دیورش ۱ و ۲، دربند ۱ و ۲، پرددیار بیجار، کردمیر (درب آهنی) Divrash 1 and 2, Darband 1 and 2, Porddiar bijar, Kordmir	6
خورگام Khorgam	31	هشت‌دری ۱ و ۲ و ۳، سنگاپ، مالهان ۱ و ۲، سنگ ببر، غارچه‌های حشمت‌آباد، سالَسال، هزارواز، سرب، عمو وجیه، عروس داماد ۱ و ۲، سنگسرک، دیوچاه، اسپهبدان، شیخ حسن، غار چراغی، یاور ۱ و ۲، تاک وِجی، کافردیل (قره یا وجی)، غار یخی درفک، اسب کرنی، لارکرنی، سیاه کرنی، اشتنیف (خربره) و کبوتر کرنی Hasht dari 1 and 2 and 3, Sangap, Malhan 1 and 2, Sang babr, Gharche Heshmat abad, Salsal, Hezar vaaz, Sorb, Amo vajih, Aroos damad 1 and 2, Sangsarak, Div chah, Espahbodan, Sheykh hasan,Ghar cheraghi, Yavar 1 and 2, Tak veji, Kafer dil (ghaaree or Veji), Ghar yakhi dorfak, Asb karani, Lar karani,Siah karani,Eshtenif (Kharbere) and Kabotar karani	غارچه‌های حشمت آباد، اسپهبدان Gharche Heshmat abad Espahbodan	2
عمارلو Amarlu	11	زرگردکان (اسکابن)، هفت لوکان، جن خانه، خشک‌رودخان، مه سیم، گرم لوکای، گمگاه، چپلک، ماغار، ولی (گورد)، خلوشت. Zargar dokkan (Eskabon), Haft lokan, Jen khane, Khoshk roodkhan, Mahsim,Garm lokai, Gomgah, Chapalak, Maghar, Vali (Govard), Khalosht	چپلک، جن خانه، خلوشت، خانه باغ‌های روستای انبوه (۱،۲،۳) Chapalak, Jen khane, Khalosht, Anbooh garden house 1, 2, 3	6
جمع Total	80			20



شکل ۲- متغیرهای مستقل محیط زیستی شامل جهت (A)، اقلیم (B)، جنگل (C)، مرتع (D)، منابع آبی (E)، شاخص سبزینگی (F)، بارش (G)، اراضی کشاورزی (H) و نقاط حضور غارهای منطقه (I)

Figure 2. Independent environmental variables including aspect (A), climate (B), forest (C), range (D), water resources (E), NDVI index (F), precipitation (G), agricultural lands (H) and presence points of caves in the region (I)

به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خفاش‌های غارزی، در مرحلهٔ اول پس از شناسایی غارها و بررسی محل استراحت و زادآوری آنها، نقاط حضور و لایه‌های متغیرهای مستقل زیست‌محیطی در نرم‌افزار GIS وارد شد و پس از آماده‌سازی لایه‌ها و ورود آن به نرم‌افزار R و با بهره‌گیری از Package SDM ver.1.0-67 از شش مدل Brt، Mars، Mda، Rf، Rpart و Svm با استفاده از روش بوت‌استرپ و دو تکرار برای هر مدل، مناطق مطلوب خفاش‌ها مدل‌سازی شد. انتخاب مناسب‌ترین مدل براساس آمارهٔ مهارت واقعی[1] TSS، COR[2]، Deviance و سطح زیر منحنی AUC تعیین شد که بیشترین مقدار آماره نشان‌دهندهٔ مناسب‌ترین مدل است. استفاده ترکیبی از مدل‌های منفرد نتایج بهتری را نسبت به استفادهٔ مجزا از آنها به بار می‌آورد (Ghadirian, 2019)؛ بنابراین به‌منظور بهبود عملکرد مدل‌های انفرادی از مدل‌سازی Ensemble (گروهی) استفاده شد. در این راستا از شش الگوریتمی که به‌صورت جداگانه در مدل‌سازی زیستگاه لانه‌گزینی (غارها) خفاش‌ها استفاده شدند، در مدل‌سازی گروهی استفاده شد. مدل‌سازی گروهی با استفاده از تجمیع این شش الگوریتم صورت گرفت تا از عدم قطعیت ناشی از مدل‌سازی منفرد هر یک از الگوریتم‌ها کاسته شود و نتایج بهتری به‌دست آید (Askaripour, 2018). در مرحلهٔ بعد با رجوع به لکه‌های زیستگاهی مطلوب شناسایی‌شده که توسط مدل گروهی پیشنهاد شده، مکان‌هایی از زیستگاه‌های مطلوب یا غارهایی که در آنجا فرایندهای اکوسیستم ناشی از فعالیت‌های انسان دچار اختلال شده است شناسایی و برای حفظ یکپارچگی سیمای تاریخی جنگل‌های هیرکانی براساس شرایط موجود پیشنهادهای مدیریتی برای بهسازی و حفاظت ارائه شد (شکل ۳).

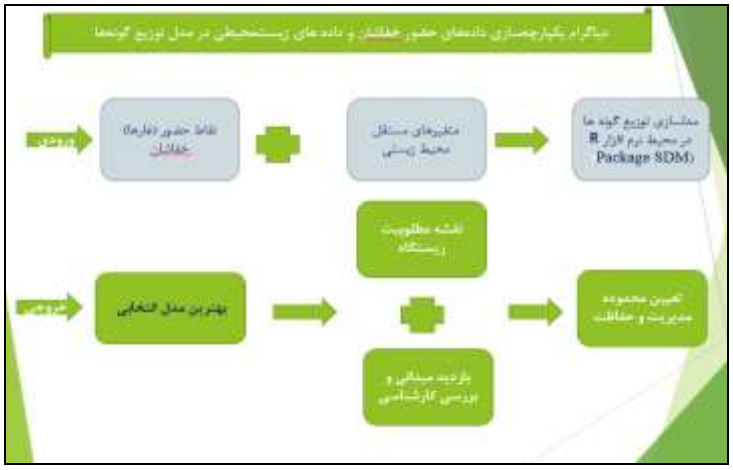
نتایج

شناسایی خفاش‌های غارزی

به‌منظور تعیین ترکیب کلنی (گونه و تعداد افراد هر کلنی) خفاش‌های غارزی، براساس قابلیت دسترسی به غارها، زمان، هزینهٔ نمونه‌برداری و نمایه‌های حضور گزارش‌شده در پژوهش‌های پیشین، ۱۷ سایت از بین ۸۰ غار و نیز سه سایت جدید (خانه‌باغ‌های قدیمی) در

1. True skill Statistics
2. correlation

باغ‌های انار روستای انبوه، بررسی و نمونه‌برداری شد. از ۲۰ غار بررسی‌شده در شش غار کلنی خفاش نعل‌اسبی و در پنج غار کلنی خفاش گوش‌موشی کوچک مشاهده شد. در بقیهٔ غارها نمایه‌های حضور (گوانو) مشاهده شد. بر اساس اندازه، شکل و حجم گوانوهای مشاهده‌شده در این غارها و همچنین موقعیت محل استراحت خفاش‌ها در سقف غار می‌توان گفت که این نمایه‌ها مربوط به خفاش‌های جنس *Rhinolophus* و احتمالاً گونه نعل‌اسبی کوچک یا نعل‌اسبی بزرگ یا گونه‌هایی از خفاش‌های جنس گوش‌بلند (*Plecotus*) هستند که به‌صورت هم‌بوم در آن زیستگاه زندگی و احتمالاً از این غارها به‌عنوان محل استراحت موقت یا خوردن و هضم طعمه استفاده می‌کنند. به‌طور کلی، از نظر فراوانی حضور خفاش‌ها در غارها می‌توان گفت که گونهٔ خفاش نعل‌اسبی کوچک گونهٔ غالب مناطق جنگلی شهرستان رودبار است که اغلب در غارهای کوچک تا متوسط ساکن است. بزرگ‌ترین کلنی‌های زادآور خفاش نعل‌اسبی کوچک در دهانهٔ سمت چپ (دهانهٔ بالایی) غار دیورش (بیشتر از ۳۵ فرد) و در یک خانهٔ گلی (آغل قدیمی) (۲۹ فرد) در محدودهٔ باغ‌های روستای انبوه مشاهده شد. از نظر فراوانی افراد کلنی، خفاش گوش‌موشی کوچک، گونهٔ غالب غارهای بزرگ منطقه است. بیشترین فراوانی این گونه در غار دربند رشی با میانگین ۲۵۰۰ فرد و کمترین فراوانی این گونه با ۱ فرد در غارچه سرچرپه در نزدیکی روستای شمام مشاهده شد (شکل ۴).



شکل ۳- نمودار یکپارچه‌سازی نقاط حضور خفاش‌های غارزی با لایه‌های زیست‌محیطی در تعیین واحد مدیریت و حفاظت جنگل

Figure 3. Diagram of integrating the presence points of cave dweller bats with environmental layer in the determination of the forest management and conservation unit

شکل ۴- خفاش گوش‌موشی کوچک (*Myotis blythii*) در غار دیورش (تصویر چپ) و خفاش نعل‌اسبی کوچک (*Rhinolophus hipposideros*) در غار پرددیار شهر بیجار گیلان (تصویر راست)

Figure 4. Lesser mouse-eared bat (*Myotis blythii*) bat in Divrash cave (left picture) and lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros*) in Pardiyar cave of Bijar city of Gilan (right picture)

نتایج مدل‌سازی زیستگاه

از مجموعه ۵۵ غار شناسایی‌شده در شهرستان رودبار ۴۰ غار که موقعیت فضایی آنها مشخص بود و از نظر ویژگی‌های ساختاری مثل عمق، ارتفاع و عرض دهانهٔ ورودی، قابلیت انتخاب توسط خفاش‌ها برای خوابگاه یا لانه‌گزینی[1] را داشتند، به‌منظور مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه خفاش‌ها انتخاب شد (جدول ۱). به‌منظور تعیین زیستگاه‌های مطلوب دو گونهٔ رایج (خفاش نعل‌اسبی کوچک و خفاش گوش‌موشی کوچک) غارهای محدودهٔ شهرستان رودبار از مدل‌های آشکارساز فضایی استفاده شد. براساس این مدل‌ها و با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی[2] نقشه‌های احتمال حضور این گونه‌ها در غارهای منطقه براساس ترکیبی از متغیرهای زیست‌محیطی به‌عنوان واحد مدیریت در اولویت قرار داده شد. قابلیت اعتماد مدل‌ها متغیر بود. براساس معیارهای ارزیابی دقت هر یک از مدل‌ها، دو نوع از مدل‌ها عملکرد ضعیفی داشته‌اند (Mda, Rpart) و بقیه مدل‌ها از توانایی بهتری در پیش‌بینی مدل زیستگاهی برخوردار بوده‌اند (جدول ۳).

مدل‌سازی انفرادی

زیستگاه لانه‌گزینی خفاش‌ها به‌کمک هشت متغیر محیط زیستی شامل متغیرهای اراضی کشاورزی، جهت، آب‌وهوا، جنگل، شاخص سبزینگی، بارش، مرتع و منابع آبی (رودخانه‌ها و آبراهه‌ها) و با استفاده از شش الگوریتم به‌صورت جداگانه مدل‌سازی شد. مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های Brt، Mars، Mda ، Rf، Rpart و Svm به‌روش بوت‌استرپ و با دو تکرار برای هر مدل اجرا شد.

درصد اهمیت نسبی هر یک از این متغیرها براساس سنجه همبستگی پیرسون و AUC در جدول ۲ ارائه شده است. متغیر منابع آبی با ۱۶/۳ درصد و متغیر جنگل با ۱۳ درصد بیشترین سهم و متغیرهای آب‌وهوا با ۳/۸ درصد و مرتع با ۵/۵ درصد کمترین سهم را در توضیح مدل‌های مطلوبیت داشته‌اند.

در جدول ۳ دقت هر یک از مدل‌ها براساس معیارهای AUC ، COR، TSS ارائه شده است. براساس معیار AUC بهترین مدل، مدل‌های Brt و Rf با مقدار ۰/۸۷ و مدل rpart با مقدار ۰/۶۷ کمترین میزان این سنجه را داشته‌اند. براساس سنجهٔ COR بهترین مدل با مقدار ۰/۶۵ برای Rf و کمترین مقدار برای مدل Rpart با مقدار ۰/۴ است. براساس سنجهٔ TSS بهترین مدل Rf با مقدار ۰/۷۱ و سپس Brt با مقدار ۰/۷۰ است. براساس این آماره مدل Rpart با ۰/۴۰ کمترین مقدار را داشته است. در مدل Rf هرچه به رنگ آبی نزدیک‌تر می‌شویم مطلوبیت بیشتر می‌شود و هرچه رنگ به زرد نزدیک می‌شویم از مطلوبیت کاسته شده یا به‌عبارتی زیستگاه برای لانه‌گزینی نامطلوب می‌شود. این نقشه‌ها تغییرات پیش‌بینی‌های مدل‌ها را با تکنیک‌های مختلف نشان می‌دهد. تفاوت زیادی بین برخی از مدل‌های استفاده‌شده وجود دارد. واضح‌ترین تفاوت‌ها در پیش‌بینی نسبت وسعت زیستگاهی است که به‌نظر می‌رسد برای خفاش‌ها مناسب‌ترین است. تغییرات AUC، COR، TSS نشان‌دهندهٔ تفاوت‌های واقعی بین مدل‌هاست.

نتایج نشان داد که از بین شش مدل و براساس آماره‌های AUC و COR، TSS و Deviance بهترین مدل‌ها، مدل Rf و سپس Brt است که از بین آنها، مدل Rf بیشترین دقت را دارد. ارزیابی متغیرها و انتخاب مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده براساس نتایج این مدل ارائه شده است.

1. Roost site
2. GIS

جدول ۲- درصد اهمیت نسبی متغیرها براساس سنجهٔ همبستگی پیرسون و AUC

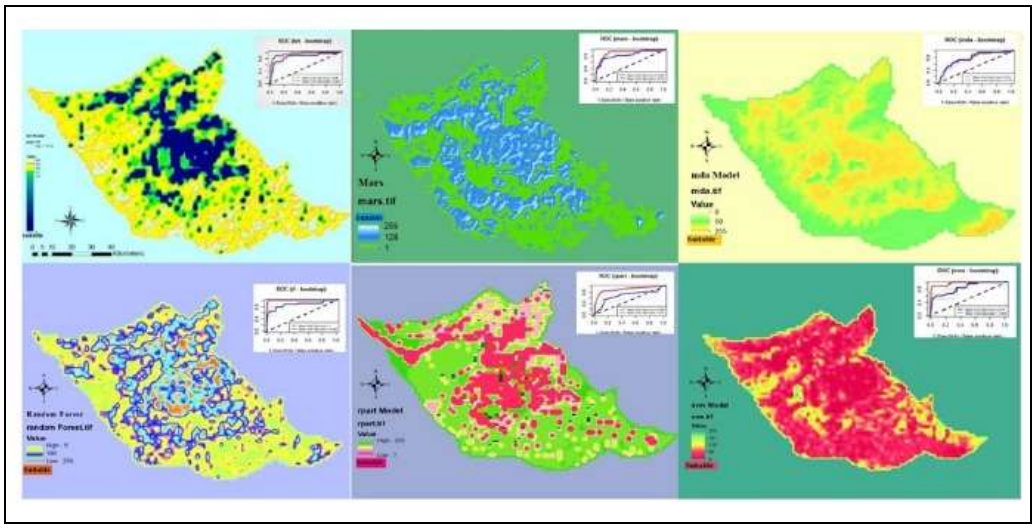
Table 2. Percentage of relative importance of variables based on Pearson correlation and AUC

سهم متغیر در مدل (درصد) Variable contribution in the model (percent)	نام متغیر Variable names
16.3	منابع آبی Water sources
13	جنگل Forest
10.1	بارش Precipitation
8.2	شاخص سبزینگی NDVI Index
7.7	جهت Aspect
5.7	اراضی کشاورزی Agricultural lands
5.5	مرتع Range
3.8	آب‌وهوا Climate

جدول ۳- دقت هر یک از مدل‌ها

Table 3. The accuracy of each models

Models	TSS	COR	AUC	Deviance
Brt	0.70	0.45	0.87	0.31
Mars	0.63	0.50	0.83	0.42
Mda	0.52	0.22	0.78	0.37
Rf	0.71	0.65	0.87	0.23
Rpart	0.40	0.14	0.67	0.42
Svm	0.58	0.33	0.84	0.37



شکل ۵ - نمایی از خروجی مدل‌ها و نمودار سطح زیر منحنی (AUC)

Figure 5. A view of the output of the models and area under the curve (AUC)

مدل‌سازی ترکیبی[1]

سطح زیر منحنی ویژگی عامل دریافت‌کنندهٔ مقدار ۰/۸۳۷ را نشان می‌دهد. سطح زیر منحنی ویژگی دارای دامنه‌ای بین صفر تا ۱ است. در این دامنه، عدد ۱ بیانگر تفکیک کامل نقاط حضور از نقاط عدم حضور و قدرت زیاد پیش‌بینی و تشخیص مدل است. بنابراین مقدار AUC تعیین‌شده توسط نرم‌افزار برای مدل ترکیبی، نشان‌دهندهٔ صحت به‌نسبت زیاد مدل است. به‌منظور مقایسهٔ عملکرد مدل‌های انفرادی با مدل ترکیبی از دو شاخص AUC به‌عنوان عملکرد مدل و همچنین ناسازگاری مدل استفاده شد. ازآنجا که هرچه AUC بیشتر شود و از طرفی ناسازگاری مدل (عدم قطعیت مدل) کاهش یابد، صحت پیش‌بینی افزایش می‌یابد، برای مدل ترکیبی سطح زیر منحنی ویژگی عامل دریافت‌کنندهٔ مقدار ۰/۸۳ را نشان می‌دهد که در این پژوهش برابر با دقت مدل انفرادی Mars است. اگرچه AUC مدل گروهی کمتر از مدل‌های Rf، Brt و Svm است، با توجه به اینکه مدل گروهی میانگینی از شش مدل را با یکدیگر ترکیب می‌کند و ارائه می‌دهد کارایی خوبی در انتخاب مناسب‌ترین مدل داشته است.

مطلوبیت زیستگاه

پس از جمع‌آوری اطلاعات زیستگاهی و توزیع فضایی غارها و اجرای طرح نمونه‌گیری از غارها، براساس مکان‌های لانه‌گزینی خفاش‌ها و نقاط حضور، مدل‌سازی فضایی صورت گرفت و مناطق مطلوب زیستگاه لانه‌گزینی برای خفاش‌ها تعیین شد. نقشهٔ مطلوبیت زیستگاه لانه‌گزینی، خوراک‌جویی و مسیریابی[2] خفاش‌های غارزی در شکل ۶ نشان داده شده است. در مدل مطلوبیت زیستگاه به‌دست‌آمده دو متغیر منابع آبی و جنگل بیشترین سهم در پیش‌بینی مدل را دارند. متغیر منابع آبی از ترکیب رودره‌ها، آبراهه‌های بزرگ و کوچک که به‌طور معمول از ارتفاعات کوهستانی سرچشمه می‌گیرند به‌دست آمده است. نواحی مطلوب بیانگر زیستگاه‌های آبساری[3] است که در مقیاس خردزیستگاهی به‌عنوان زیستگاه لانه‌گزینی، در مقیاس محلی به‌عنوان زیستگاه خوراک‌جویی و در سطح سیمای سرزمین به‌عنوان کریدور (خفاش‌ها مسیرهای خطی را برای مسیریابی و حرکت بین زیستگاه خوراک‌جویی و استراحت خود ترجیح می‌دهند) برای خفاش‌ها قابل استفاده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، هرچه به نواحی قرمزرنگ نزدیک می‌شویم، مطلوبیت زیستگاه لانه‌گزینی، خوراک‌جویی و مسیریابی افزایش می‌یابد. نواحی سبزرنگ نیز مطلوبیت متوسط زیستگاه‌های لانه‌گزینی، خوراک‌جویی و مسیریابی را نشان می‌دهد؛ در صورتی که هرچه به‌سمت نواحی روشن می‌رویم از مطلوبیت زیستگاه لانه‌گزینی، خوراک‌جویی و مسیریابی کاسته و زیستگاه نامطلوب می‌شود.

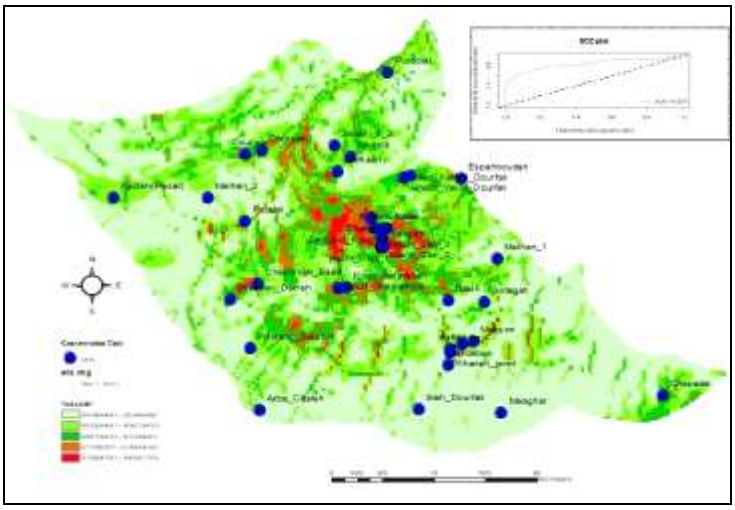
بحث

تعیین یکان حفاظت جنگل در سطح محلی

در مقیاس محلی با رجوع به مناطق و زیستگاه‌هایی که از مطلوبیت برخوردارند مکان‌هایی از زیستگاه‌های مطلوب یا کریدورها که در آن فرایندهای اکوسیستم توسط فعالیت‌های انسان دچار اختلال شده است شناسایی شد. واحد حفاظت در سطح محلی از محدودهٔ رستم‌آباد تا امامزاده هاشم انتخاب شده است (شکل ۷). از نظر حفاظت از تنوع زیستی جنگل، در حال حاضر جادهٔ اصلی تهران به رشت که از شهرهای منجیل و رودبار عبور می‌کند مهم‌ترین عارضه‌ای است که زیستگاه‌های جنگلی را از یکدیگر جدا می‌کند. براساس مشاهدات میدانی مهم‌ترین ناحیه‌ای که در حال حاضر از تراکم زیاد درختان جنگلی برخوردار است و در نزدیک‌ترین نقطه‌ای است که رویشگاه‌های جنگلی دو

1. Ensemble
2. Navigation
3. Riparian

طرف جاده را به هم می‌رساند، ناحیه‌ای در محدودهٔ روستای حلیمه‌جان در سمت راست جاده و رویشگاه‌های جنگلی محدودهٔ رستم‌آباد در سمت چپ جاده است (شکل ۷). این ناحیه به‌عنوان نزدیک‌ترین واحد ارتباط گیاهی بین دو طرف جاده و رودخانه شناسایی شد که امکان تبادل ماده و انرژی در اکوسیستم جنگل، انتقال گرده و دانه‌ها برای گونه‌های گیاهی جنگلی و جابه‌جایی افراد گونه‌های جانوری در این ناحیه آسان‌تر است. این ناحیه برای خفاش‌ها کم‌هزینه‌ترین مسیر هوایی از نظر فاصله، آلودگی نوری (Bolliger et al., 2020; Finch et al., 2020) و برای سایر گونه‌های جانوری کمترین فاصلهٔ ارتباطی بین توده‌های جنگلی دو طرف جاده است. در این ناحیه دو نوع کریدور طبیعی و مصنوعی (انسان‌ساخت) شناسایی شد (شکل ۷). کریدور طبیعی رودخانه سفیدرود است که از ارزش اکولوژیک زیادی برای مهاجرت و جابه‌جایی گونه‌های آبزی به‌ویژه ماهیان برخوردار است. همچنین تونل‌های احداث‌شده در این ناحیه به‌عنوان روگذر برای مهره‌داران خشکی‌زی ارزش اکولوژیک زیادی دارند (شکل ۷).



شکل ۶- خروجی مدل گروهی و میزان سطح زیر منحنی (AUC)

Figure 6. Output of the Ensemble model and area under the curv (AUC)

شکل ۷- نقشهٔ محدودهٔ یکان حفاظت جنگل و کریدورهای شناسایی‌شده در بازدید میدانی. نمایی از کریدور خطی رودخانه (ماهی‌ها و دوزیستان) (آبی)، روگذر انسان‌ساخت (پستانداران، خزندگان) (سبز) و مسیر هوایی (پرندگان و خفاش‌ها) (زرد)

Figure 7. Map of the scope of the forest conservation unit and corridors identified in the field survey. A view of the river linear corridor (fish and amphibians) (blue), man-made overpass (mammals, reptiles) (green) and airway (birds and bats) (yellow)

یکان حفاظت تعیین‌شده نزدیک به مناطق شهری، جاده، پمپ بنزین و دیگر عوارض انسان‌ساخت است که اثرهای آنها به‌صورت تجمعی عمل می‌کنند و به‌صورت آلودگی نوری، صوتی، آلودگی آب‌وخاک، استقرار گونه‌های غیربومی و مهاجم مثل سگ‌ها و گربه‌های ولگرد و پاک‌تراشی درختان بروز می‌یابند (Brook et al., 2008). این تغییرات در بلندمدت سبب تغییر در مسیرهای جابه‌جایی و میزان استفاده گونه‌ها از زیستگاه و به‌تبع آن تغییر جوامع گونه‌های جانوری و گیاهی می‌شود. زمانی که سرپرستی و مراقبت با شکست مواجه می‌شود حفاظت ضرورت می‌یابد. تحت این شرایط، مدیریت به فعالیت‌های بهسازی و ترمیمی تغییر می‌یابد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در این ناحیه برنامهٔ پایش اکوسیستم به‌منظور بهسازی، ترمیم و احیای جوامع گیاهی و جانوری در راستای اهداف بلندمدت حفاظت از تنوع زیستی جنگل اجرا شود.

تعیین یکان مدیریت اکوسیستم جنگل در سطح سیمای سرزمین

جنگل‌های هیرکانی با توجه به تنوع گونه‌ای و خردزیستگاهی در مقایسه با جنگل‌های اروپا ساختاری به‌نسبت پیچیده داشته و در مراحل پیشرفته‌ای از توالی توده‌های جنگلی قرار دارند (Sefidi & Sadeghi, 2020). بنابراین به‌منظور حفظ فرایندها و کارکردهای آن در بلندمدت، حفاظت از تنوع زیستی و حفظ یکپارچگی آن از طریق حفاظت از عناصر مختلف آن که در سطح سیمای سرزمین پراکنده‌اند ضروری است. هدف اصلی، حفاظت از رویشگاه‌های جنگلی (که از غنا و تنوع زیادی از گونه‌های جانوری و گیاهی برخوردارند) در سطوح مختلف به‌منظور تأمین سلامت اکوسیستم در بلندمدت است (Pilehvar et al., 2010). این کار از طریق به‌کارگیری گونه‌های شاخص سلامت زیستگاه، مثل خفاش‌ها (Hutson et al., 2001) و با بهره‌گیری از مدل‌های آشکارساز فضایی قابل دستیابی است (Razgour et al., 2016). مدل‌های آشکارساز فضایی با استفاده از مناطق حضور خفاش‌های غارزی[1] و متغیرهای زیست‌محیطی مرتبط با زیستگاه خفاش‌های غارزی، مهم‌ترین قطعات رویشگاه‌های جنگلی و آبی را برای مراقبت و حفاظت از این پستاندار پرنده پیش‌بینی می‌کند (Rainho, 2011; Le Roux et al., 2017). غارها علاوه‌بر ارزش زیستگاهی (تولید مثل و استراحت روزانه) برای خفاش‌ها Furey (& Racey, 2016)، برای دیگر پستانداران، دوزیستان، پرندگان، خزندگان، حشرات، قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها نیز دارای اهمیت‌اند و ارزش‌های تاریخی، فرهنگی، گردشگری و غارنوردی در سطح محلی، ملی و جهانی نیز دارند. در این پژوهش، همبستگی مثبت بین زیستگاه زادآوری و استراحت روزانهٔ خفاش‌ها (غارها) با متغیرهای منابع آبی و جنگل برقرار است. Milen et al. (2006) نشان دادند که مهم‌ترین متغیرهای معنی‌دار در پیش‌بینی توزیع خفاش‌های حشره‌خوار، متغیر مقدار بارش سالیانه و پیچیدگی زیستگاه‌اند. آنها نشان دادند که با افزایش این دو متغیر غنای گونه‌ای خفاش‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین با سرپرستی و مراقبت از زیستگاه خفاش‌های غارزی می‌توان اکوسیستم جنگل و دیگر گونه‌های هم‌بوم[2] با آن را در سطوح پیچیدهٔ سیمای سرزمین محافظت کرد (Medellín et al., 2017).

نتیجه‌گیری

یکی از اهداف این پژوهش حفظ یکپارچگی اکوسیستم جنگلی است. حفظ لکه‌های بزرگ جنگلی، حفاظت از زیستگاه‌های آبساری[3]، کاهش ازهم‌گسیختگی توده‌های جنگلی متراکم با ایجاد و استقرار پله سنگ‌های زیستگاهی، همگی از اصول

1. Cave dweller bats
2. Co-Occurrence
3. Riparian zone

بنیادین طرح‌ریزی سیمای سرزمین برای حفاظت از تنوع زیستی‌اند (Forman, 1995). بنابراین با برقراری ارتباط بین مجموعه‌ای از فاکتورهای مهم زیستگاهی برای خفاش‌ها مثل درختزارها و رویشگاه‌های جنگلی، مراتع و نواحی کران‌رودی[1] می‌توان به ناحیهٔ مدیریتی معینی دست یافت (Le Roux et al., 2017). این ناحیهٔ مدیریتی در سه سطح قابل دستیابی است و در قالب نقشهٔ مطلوبیت زیستگاه نشان داده شده است (شکل ۶). سطح اول مربوط به خردزیستگاه داخل هریک از غارهاست که تأمین‌کنندهٔ پناه است. سطح دوم مربوط به زیستگاه‌های اطراف هریک از غارهاست که تأمین‌کنندهٔ غذای کلنی است و سطح سوم مربوط به کل سیمای جنگلی-کوهستانی است که عناصر تسهیل‌کنندهٔ ارتباط بین کلنی‌های مختلف را از طریق کریدورها تأمین می‌کند. براساس نقشهٔ مطلوبیت زیستگاه لانه‌گزینی خفاش‌های غارزی در مقیاس سیمای سرزمین، مناسب‌ترین ناحیه کوهستانی-جنگلی به‌منظور مدیریت، نواحی‌اند که در دو طبقه و با رنگ قرمز و سبز نشان داده شده است (شکل ۶). نتایج حاکی از این است که دو متغیر منابع آبی و مناطق جنگلی به‌تنهایی و در ترکیب با یکدیگر سهم بزرگی در شکل‌گیری زیستگاه خوراک‌جویی و جابه‌جایی خفاش‌های غارزی دارند. علاوه‌بر این نتایج حاصل از مدل‌های مطلوبیت زیستگاه بیانگر اهمیت منابع آبی و رویشگاه‌های جنگلی در سازمان‌بندی سیمای سرزمین (فرم) و تعیین ساختار زیستگاه (عناصر درختی و آب) خفاش‌های غارزی و غیرغارزی است. لایهٔ متغیر منابع آبی از ترکیب رودره‌ها، آبراهه‌های بزرگ و کوچک که اغلب از ارتفاعات کوهستانی سرچشمه می‌گیرند به‌دست آمده است. این منبع در ترکیب با پوشش گیاهی حاشیهٔ خود زیستگاه غنی از حشرات برای خوراک‌جویی خفاش‌ها فراهم می‌کند. بنابراین در مدل به‌دست‌آمده نواحی مطلوب بیانگر زیستگاه‌های آبساری است. زیستگاه‌های آبساری یکی از عناصر اصلی سیمای سرزمین در مناطق کوهستانی- جنگلی است که از تنوع زیادی از خفاش‌ها برخوردارند (Peyravi et al., 2021; Rainho, 2009) این نوع زیستگاه جنگلی دربردارندهٔ رده‌های مختلفی از مهره‌داران خشکی‌زی و آبزی است (Franklin et al., 1992). این گروه‌ها شامل پرندگان، پستانداران، خزندگان، دوزیستان، ماهیان، گیاهان آبزی و گونه‌های درختی وابسته به زیستگاه‌های آبساری جنگل‌های هیرکانی است (Tohidifar et al., 2016).

Milen et al. (2006) نواحی شناسایی‌شده با پیچیدگی زیستگاهی زیاد را منطبق بر زون آبساری می‌دانند و معتقدند که حضور خفاش‌های وابسته به غار[2] ارتباط زیادی با متغیر پیچیدگی زیستگاه دارند. Woinarski et al. (2005) نیز استدلال می‌کنند که تفاوت‌های ظریف در عناصر سیمای سرزمین، منابع متفاوتی را فراهم می‌کند که نوسان‌های این منابع نسبت به ماتریس اصلی سیمای سرزمین تا اندازه‌ای خارج از فاز قرار دارند. این تفاوت‌های کوچک در میزان پایداری و بقای جمعیت‌های وابسته به این نوع از منابع در شرایط بحرانی تأثیرگذار خواهد بود.

مهم‌ترین گونه‌های درختی وابسته به زیستگاه‌های آبساری در جنگل‌های هیرکانی، درختان رطوبت‌پسندی مانند توسکای شرقی (*Alnus glutinosa*)، سفیدپلت (*Populus caspica*)، بیدمشک (*Salix aegyptiaca*)، بیدسفید (*Salix alba*)، لرگ (*Pterocarya fraxinifolia*)، افرا (*Acer velutinum*) و خرمندی (*Diospyros lotus*) هستند. در دره‌های عمیق و صخره‌های شیب‌دار گونه‌های سایه‌پسندی مانند همیشک (*Danae racemose*) و گونه‌های مختلفی از سرخس‌ها مثل *Athyrium filix-femina*، *Dryopteris pallid*، *Polypodium vulgare*، *Cystopteris fragilis* و *Polystichum aculeatum*

1. Riparian Habitat

2. Obligate Cave -roosting bats

حضور دارند (Tohidifar et al., 2016). اهمیت زیستگاه‌های آبساری برای خفاش‌ها در سه سطح بوم‌شناسی شایان بررسی است. در مقیاس خردزیستگاهی، زیستگاه‌های آبساری تأمین‌کنندهٔ پناه[1] برای خفاش‌هاست (Jason et al., 2006; Zarazúa et al., 2017). بیشتر غارها، بیرون‌زدگی‌های سنگی، شکاف‌ها و حفره‌های ایجادشده در محدودهٔ زیستگاه‌های آبساری قرار دارند. حفره‌ها و غارهای دارای منشأ آهکی که توسط آب در زمان‌های گذشته ایجاد شده‌اند و اغلب در دامنه‌ها و بخش‌های بالایی رودره‌ها قرار دارند، محلی برای زادآوری، استراحت و تغذیهٔ خفاش‌ها فراهم می‌کند. در سطح محلی، وجود منابع آبی، گیاهان و فراوانی گونه‌های مختلف حشره‌ها، زیستگاه مطلوبی را برای خوراک‌جویی خفاش‌ها فراهم می‌کند (Rainho, 2009; Scott et al., 2010). در سطح سیمای سرزمین زیستگاه‌های آبساری به‌عنوان کریدور (خفاش‌ها عوارض خطی مثل دارمرز یا پرچین را برای حرکت و مسیریابی انتخاب می‌کنند) و برای جابه‌جایی بین زیستگاهی (مهاجرت‌های فصلی، تغییر محل تولید مثل و استراحت روزانه، رفت‌وآمد بین محل تغذیه و استراحت شبانه) برای خفاش‌ها و سایر گونه‌های آبزی مثل ماهیان رودخانه‌ای قابل استفاده است (Forman, 1995; Williams et al., 2006). مهم‌ترین مناطق جنگلی شناسایی‌شده به‌منظور مدیریت، نواحی جنگلی اطراف غارهای دربندرشی، دیورش، چرپه، غارچه‌های دست‌کند جهانی، چپلک، گوورد، کردمیر، گیاش و پرددیار است. با شناسایی این مناطق می‌توان از آنها در برنامه‌های مدیریت و حفاظت از تنوع زیستی جنگل استفاده کرد. بنابراین استفاده از این نوع روش‌ها در مقیاس منطقه‌ای و سیمای سرزمین ابزاری سودمند در تعیین واحد مدیریت جنگل است. علاوه‌بر این، از این نوع روش می‌توان در طراحی اتصالات بین مناطق حفاظت‌شده و پارک‌های ملی و طراحی اتصالات بین هر یک از غارها یا طراحی اتصالات بین غارها و زیستگاه‌های خوراک‌جویی خفاش‌ها بهره گرفت (Le Roux et al., 2017). واحد مدیریت در سطح سیمای سرزمین شامل نواحی مطلوب پیش‌بینی‌شده توسط مدل است (شکل ۶). کارکرد این نواحی به‌عنوان مسیرهای جابه‌جایی بین زیستگاه زمستان‌خوابی، خوراک‌جویی و تولید مثل برای خفاش‌ها دارای اهمیت است (Rainho, 2009; Rainho, 2011). در سطح خردزیستگاهی این نواحی شامل فضای داخلی هر یک از غارهای شناسایی شده است که از میکروکلیمای پایداری برخوردار است. کارکرد این نواحی به‌عنوان مکان استراحت روزانه، زادآوری و پرورش نوزادان دارای اهمیت است (Furey & Racey, 2016; Medellín et al., 2017). در نهایت نگهداری و مدیریت جنگل‌های کهنسال (Haghighat doost, 2021) و جنگل‌های کران‌رودی (Tohidifar et al., 2016) در مناطقی که به‌عنوان زیستگاه مطلوب در مدل پیش‌بینی‌شده، راهبرد بسیار مؤثری برای حفظ جمعیت خفاش‌ها و به‌تبع آن حفظ فرایندها و کارکرد اکوسیستم است که پیشنهاد می‌شود سازمان‌ها و نهادهای دولتی و خصوصی از این راهبرد در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و زیست‌محیطی خود بهره بگیرند.

سپاسگزاری

از آقای مهندس حامد منصوری‌فرد کارشناس ادارهٔ کل محیط زیست و توسعهٔ پایدار شهرداری تهران بابت همکاری در آماده‌سازی نقشهٔ متغیرهای زیستگاهی و همچنین از آقای نریمان عسکرپور بابت همکاری در تهیهٔ مدل‌های مطلوبیت زیستگاه سپاسگزاریم. از مؤسسهٔ سبزکاران بالان به‌ویژه خانم مهندس هلاله ناطقه و همچنین از خانم مهندس سیما صادقی‌پور حلیمه‌جانی بابت ارائهٔ اطلاعات مربوط به نقاط حضور غارها تشکر می‌شود. از آقای علی‌اصغر زارعی از گروه محیط زیست دانشگاه تهران و

1. Roost

آقایان ایوب میرزاپور و غلامحسین صادقی‌پور حلیمه‌جانی که در جمع‌آوری اطلاعات صحرایی و نمونه‌برداری از خفاش‌ها همکاری داشته‌اند نیز تقدیر و تشکر می‌شود. از ادارهٔ کل حفاظت محیط زیست استان گیلان به‌ویژه جناب آقای مهندس مرتضی بازقلعه و ادارهٔ محیط زیست شهرستان رودبار به‌ویژه آقای مهندس حسن کاظمی شیرکدهی بابت هماهنگی امور اداری و بازدید از غارها متشکریم.

References

Altringham, J. (2011). *Bats: From Evolution to Conservation*. Oxford University Press, 1-352.

Askaripour, N. (2018). *Summer roosting habitat Selection of Rhinopoma microphyllum & Rhinopoma muscatellum in Iran*. MSc thesis, University of Tehran Faculty of Natural resources Department of Environmental Science and Engineering, karaj, Iran, 105 p.

Battersby, J. (2010). *Guidelines for Surveillance and Monitoring of European Bats*. EUROBATS Publication Series No. 5. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 95 p.

Benda, P., Faizolâhi, K., Andreas, M., Obuch, J., Reiter, A., Ševčík, M., Uhrin, M., Vallo, P., & Ashrafi, S. (2012). Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean and Middle East. Part 10. Bat fauna of Iran. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, *76*, 163-582.

Bolliger, J., Hennet, T., Wermelinger, B., Bosch, R., Pazur, R., Blum, S., Haller, J., & Obrist, M.K. (2020). Effects of traffic-regulated street lighting on nocturnal insect abundance and bat activity. *Basic and Applied Ecology*, *47*, 44-56.

Boutin, S., & Hebert, D. (2002). Landscape Ecology and Forest Management: Developing an Effective Partnership. *Ecological Applications*, *12*, 390-397.

Brook B.W., Sodhi N.S., & Bradshaw C. J. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution*, *23*(8), 453-460.

Faria, D. (2006). Phyllostomid bats of a fragmented landscape in the north-eastern Atlantic forest, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, *22*, 531-542.

Finch, D., Corbacho, D. P., Schofield, H., Davison, S., Wright, P., Broughton, R., & Mathews, F. (2020). Modelling the functional connectivity of landscapes for greater horseshoe bats *Rhinolophus ferrumequinum* at a local scale. *Landscape Ecology*, *35*, 577-589.

Forman, R.T. (1995). *Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press. 656 p.

Franklin, J.F. (1992). *Scientific basis for new perspectives in forests and streams*, 25-72.

Furey, N M., & Racey P.A. (2016). Conservation Ecology of Cave Bats. In: Voigt C., Kingston T. (eds) *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*. Springer, Cham. 606 p.

García-Morales, R., Moreno, C.E., Badano, E.I., Zuria, I., Galindo-González, J., Rojas-Martı´nez A.E., & A´vila-Go´mez, E.S. (2016). Deforestation Impacts on Bat Functional Diversity in Tropical Landscapes. *PLOS ONE*, *11*(12).1-16.

Ghadirian, O., Hemami, M.R., Soffianian, A., Malekian, M., Poormanafi, S., & Amiri, M. (2019). The prediction of Persian Squirrel Distribution Using a Combined Modeling Approach in the Forest Landscapes of Luristan Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, *8*(1), 47-58. (In persian)

Haghgooy, T., & Pourbabaei, H. (2012). Presentation of flora, life form and chorotype of plants in Sadetarik Forest Park, Roudbar, Guilan. *Iranian Journal of Forest*, *3*(4), 331-340. (In persian)

Haghighat Doust, A., & Waez-Mousavi, S.M. (2021). Frequency of tree micro-habitats in Persian ironwood-hornbeam forest at Bahramnia forestry plan (Gorgan). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, *27*(4), 113-129. (In persian)

Hutson, A.M., Mickleburgh, S.P., & Racey, P.A. (2001). *Microchiropteran bats: global status survey and conservation action plan*. IUCN/SSC Chiroptera Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 258 p.

Jones, G., Jacobs, D.S., Kunz, T.H., Willig, M.R., & Racey, P.A. (2009). Carpe Noctem: The importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*, *8*, 93-115.

Li, Ch., Lafortezza, R., Chen, J. (2011). *Landscape Ecology in Forest Management and Conservation*: Challenges and Solutions for Global Change. Springer, Berlin, Heidelberg press. 420 p. https://doi.org/ 10.1007/978-3-642-12754-0

Le Roux, M., Redon, M., Archaux, F., Long, J., Vincent, S., & Luque, S. (2017). Conservation planning with spatially explicit models: a case for horseshoe bats in complex mountain landscapes. *Landscape ecology*, *32*(5), 1005-1021.

Medellín, R.A., Wiederholt, R., & López-Hoffman, L. (2017). Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. *Biological Conservation*, *211*, 45-50.

Milen, D., Fisher, A., & Pavey, Ch. (2006). Models of the habitat associations and distributions of insectivorous bats of the Top End of the Northern Territory, Australia. *Biological Conservation*, *130*, 370-385.

Noss R.F., & Cooperrider, A.Y. (1994). *Saving Nature's Legacy: Protecting and Restoring Biodiversity*. Island Press, Washington DC. 443 p.

Peyravi Latif, Sh., Hejazi, R., Ashrafi, S., & Jozi, S. A. (2021). Biodiversity and abundance of bats community using bioacoustics method in mountain-forest ecosystem of Roudbar, Gilan province. *Journal of Animal Environment*, *13*(1), 27-36. (In persian)

Pilehvar, B., Veiskarami, Gh., Taheri Abkenar, K., Soosani, J., & Akbari, H. (2010). Conservation priority setting of different vegetation types in off reserve areas of Zagros forests, based on their diversity contained. *Iranian Journal of Forest*, *2*(1), 81-91. (In persian)

Rainho, A., & Palmeirim, J.M. (2011). The Importance of Distance to Resources in the Spatial Modelling of Bat Foraging Habitat. *PLoS ONE*, *6*(4). 1-10.

Rainho, A. (2009). Summer foraging habitats in a Mediterranean region of the Iberian Peninsula. *Acta Chiropterologica*, *9*, 171-181.

Razgour, O., Rebelo, H., Di Febbraro, M., & Russo, D. (2016). Painting maps with bats: species distribution modelling in bat research and conservation. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, *27*(1). 1-8.

Sadeghipour halimejani, S. (2015). *Suggestions for Improving Tourism Industry in Roudbar: Cave Adventuring*. MA thesis, Islamic Azad University Rasht Branch Faculty of Humanism, Department of Geography, Rasht, Iran, 171 p. (In persian)

Sagheb-Talebi, Kh., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). *Forests of Iran: a treasure from the past, a hope for the future*. Dordrecht: Springer. 152 p.

Scott, S., McLaren, G., Jones, G., & Harris, S. (2010). The impact of riparian habitat quality on the foraging and activity of pipistrelle bats (Pipistrellus spp.). *Journal of Zoology*, *280*, 371-378.

Sefidi, K., & Sadeghi, S.M.M. (2020). The diversity of microhabitats and the ecological value of habitat trees in oriental beech stands. *Iranian Journal of Forest*, *12*(2), 147-160

Tohidifar, M., Moser, M., Zehzad, B., & Ghadirian, T. (2016). *Biodiversity of the Hyrcanian Forests: A synthesis report*. 10.13140/RG.2.2.31436.00649.

Voigt C.C., & Kingston, T. (2016). Bats in the Anthropocene. In: Voigt C., Kingston, T. (eds) Bats in the Anthropocene: *Conservation of Bats in a Changing World*. Springer, Cham press. 606 p.

Williams, J., O'Farrell, M., & Riddle, B. (2006). Habitat Use by Bats in a Riparian Corridor of the Mojave Desert in Southern Nevada. *Journal of Mammalogy*, *87*(6), 1145–1153.

Woinarski, J.C.Z., Williams, R.J., Price, O., & Rankmore, B. (2005). Landscapes without boundaries: wildlife and their environments in Northern Australia. *Wildlife Research*, *32*, 377-388.

Zarazúa-Carbajal, M., Avila-Cabadilla, L.D., Alvarez-Añorve, M.Y., Benítez-Malvido, J., & Stoner, K.E. (2017) Importance of riparian habitat for frugivorous bats in a tropical dry forest in western Mexico. *Journal of Tropical Ecology*. Cambridge University Press, *33*(1), 74–82.

Iranian Journal of Forest
Vol. 15, No. 1, Spring 2023
pp. 87-105

DOI: 10.22034/ijf.2022.321103.1837
DOR: 20.1001.1.20086113.1402.15.2.6.1

Research Article

Habitat suitability modeling of cave dweller bats in Rudbar county to introduce the conservation-management unit of forest

Sh. Peyravi Latif[1], R. Hejazi[2]*, S. Ashrafi[3], and S.A. Jozi[4]

[1]Ph.D. Student of Environment Management, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran
[2] Assistant Prof., Dept. of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran
[3]Associate Prof., Dept. of Environmental, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran
[4] Prof., Dept. of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran

(Received: 22 January 2022; Accepted: 17 August 2022)

Abstract

Forest management involves resource management, natural disturbance, and wildlife habitat. To achieve a sustainable equilibrium, managers require explicit ecological information about the distribution of biodiversity hotspots in the matrix of the mountain-forest landscape. Cave-roosting bats are a keystone species in caves and an ecological indicator of forest quality that are sensitive to ecosystem changes caused by human activities. Spatial explicit models are appropriate tools to identify biologically sensitive areas in achieving key habitats of the forest. In this study, we used the geographical locations of caves in the study area for habitat suitability modeling of cave-dwelling bats. We used spatial explicit models with variables of agriculture, aspect, climate, forest, NDVI, precipitation, range, and water resources (a combination of rivers and streams) and six algorithms: Boosted Regression Tree, Multivariate Adaptive Regression Splines, Mixture Discriminant Analysis, Random Forest, Recursive Partitioning and Regression Trees, and Support Vector Machines in the sdm package. According to the AUC criterion, the best models were RF and BRT with a value of 0.87, and the RPART model with a value of 0.67 had the lowest value of this measure. In explaining the models, water resources and forest variables had the highest scores. We determined the suitable habitats predicted by the ensemble model as a unit of forest ecosystem management at the landscape level. An area of the management unit that has been disrupted by roads and other activities such as sand extraction and tourism development has been determined as a conservation unit.

Keywords: Ecological indicator, Ensemble model, Keystone species, Riparian habitats.

* Corresponding author Tel: +98 9122882253 Email: RokhshadHejazi@yahoo.com