



داده کاوی مکانی نقاط داغ زیستگاهی گونه در خطر انقراض سمندر لرستانی (*Neurergus kaiseri* Schmidt, 1952) و هم پوشانی آن با مناطق تحت حفاظت موجود

فائزه قیطانی^۱، زهرا اسدالهی^۲ و محمد کابلی^{۱*}

*- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- گروه محیط زیست و شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	مقدمه: تنوع زیستی به دلیل آگاهی از نقش و اهمیت آن و کاهش های بزرگ پیش بینی شده در جهان، در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. روند سریع تخریب محیط زیست و نابودی تنوع زیستی نشان دهنده لزوم حفاظت از مناطقی است که به طور جامع نماینده ای از تنوع زیستی کشور هستند. حفاظت کافی و مؤثر از تنوع زیستی به احداث شبکه مناطق تحت حفاظت کافی در هر کشور در راستای یک استراتژی جهانی نیازمند است تا به صورت پناهگاهی وسیع طیف گسترده ای از حیات گیاهی و جانوری را در خود جای داده و بقاء آن ها را تضمین نماید در مقیاس جهانی، دوزیستان در معرض تهدید ترین دسته از مهره داران هستند امروزه مهم ترین عامل کاهش گونه ها و جمعیت آن ها تخریب و انهدام زیستگاه های گیاهی و جانوری است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی مناطق تحت مدیریت موجود در حفاظت از سمندر لرستانی (<i>Neurergus kaiseri</i>) در استان های لرستان و خوزستان انجام شد.
تاریخچه مقاله:	مواد و روش ها: در این پژوهش تعداد ۶۲ نقطه حضور با استفاده از مطالعه ادبیات گذشته و اطلاعات ثبت شده توسط اداره کل محیط زیست استان لرستان و همچنین کسب اطلاعات از افراد محلی گردآوری و مطلوبیت زیستگاه با روش بی نظمی بیشینه در نرم افزار Rstudio مدل سازی شد. در ادامه روش های آمار فضایی شامل آماره گیتس-ارد جی (Getis-Ord Gi)، شاخص موران محلی (Anselin Local Moran's I) و روش شکست طبیعی (Natural Breaks Jenks) برای شناسایی لکه های داغ زیستگاهی مورد مقایسه قرار گرفتند. در نهایت کارایی مناطق حفاظت شده موجود در حفاظت از سمندر لرستانی طریق هم پوشانی لکه های داغ زیستگاهی مورد بررسی قرار گرفت.
دریافت:	
۱۴۰۴/۰۴/۰۳	
پذیرش:	
۱۴۰۴/۰۶/۲۰	
کلمات کلیدی:	سمندر لرستانی، مدل سازی مطلوبیت زیستگاه، لکه های داغ زیستگاهی، شبکه مناطق حفاظتی
	نتایج: نتایج مدل مطلوبیت زیستگاه مکسنت مبتنی بر شاخص سطح زیر منحنی ۹۵ درصد نشان داد که مدل مورد استفاده از قابلیت اطمینان و دقت کافی برای پیش بینی مناطق پراکنش سمندر لرستانی برخوردار است. همچنین نتایج نمودار جک نایف نشان داد که حداقل دما در سردترین ماه سال (Bio6)، بارش سالانه (Bio12)، بارش در سرد ترین فصل (Bio19)، هم دمایی (Bio3) و ارتفاع دارای بیشترین تأثیر در پیش بینی مطلوبیت زیستگاه سمندر لرستانی هستند. ارزیابی دقت روش های تحلیل فضایی نشان داد که روش گیتس-ارد جی با مقدار زیر منحنی (AUC) معادل ۰/۹۶ از بالاترین دقت در شناسایی لکه های داغ برخوردار است.
	بحث: مدل سازی توزیع گونه ها در سال های اخیر برای پشتیبانی از مدیریت تنوع زیستی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش حاضر تلاش شد با تلفیق روش بیشینه بی نظمی و داده کاوی مکانی نقاط داغ زیستگاهی

سمندر لرستانی شناسایی و پس از صحت‌سنجی، میزان هم‌پوشانی آن‌ها با مناطق تحت حفاظت موجود پایش گردد. طبق نتایج فقط ۶ درصد از لکه‌های داغ زیستگاهی (۳۱۵۲۰/۱۶ از ۵۷۹۱۰۶/۳۵ هکتار) در محدوده مناطق حفاظت‌شده قرار دارند. استان خوزستان با دارا بودن ۵۴ درصد از لکه‌های داغ زیستگاهی، فاقد هرگونه منطقه حفاظت‌شده اختصاصی برای این گونه است. همچنین مناطق شادابکوه (با ۹۸ درصد هم‌پوشانی) و تنگ هفت (با ۹۳ درصد هم‌پوشانی) در استان لرستان، به عنوان مؤثرترین مناطق حفاظتی برای سمندر لرستانی شناسایی شدند. یافته‌های این پژوهش بر ضرورت بازنگری اساسی در شبکه مناطق حفاظت‌شده موجود، ایجاد مناطق جدید حفاظتی در شمال خوزستان و طراحی کریدورهای اتصال زیستگاهی برای حفاظت مؤثر از این گونه تأکید دارند.

مقدمه

تنوع زیستی جزء حیاتی اکوسیستم‌های زمین است که منابع متعددی را فراهم می‌کند و نقش اساسی در حفظ پایداری و عملکرد اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند. تنوع زیستی به طور مستقیم با زندگی و رفاه انسان‌ها ارتباط دارد. لذا حفاظت از آن از اهمیت بالایی برخوردار است (Jeong et al., 2024). امروزه مهم‌ترین عامل کاهش گونه‌ها و جمعیت آن‌ها تخریب و انهدام زیستگاه‌های گیاهی و جانوری است (Majnounian, 2000). تخریب زیستگاه به طور عمده نتیجه بهره‌برداری غیرعقلانی و غیراقتصادی از محیط‌های طبیعی است و به طور عمده در اثر تبدیل اراضی و تغییر کاربری زمین به وجود می‌آید. تنوع زیستی به دلیل آگاهی از نقش و اهمیت آن و کاهش‌های بزرگ پیش‌بینی شده در جهان، در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. روند سریع تخریب محیط زیست و نابودی تنوع زیستی نشان‌دهنده لزوم حفاظت از مناطقی است که به طور جامع نماینده‌ای از تنوع زیستی منطقه هستند. حفاظت کافی و مؤثر از تنوع زیستی به احداث شبکه مناطق تحت حفاظت کافی در هر کشور در راستای یک استراتژی جهانی نیازمند است تا به صورت پناهگاهی وسیع طیف گسترده‌ای از حیات گیاهی و جانوری را در خود جای داده و بقاء آن‌ها را تضمین نماید (Majnounian, 2000).

در مقیاس جهانی، دوزیستان در معرض تهدیدترین دسته از بهره‌داران هستند (Luedtke et al., 2023) و کاهش جمعیت آن‌ها در درجه اول نتیجه فعالیت‌های انسانی است (Houlahan et al., 2000; Pimm et al., 2014; Stuart et al., 2004; Niknaddaf et al., 2023). دوزیستان توانایی پراکندگی محدودی دارند و الگوهای توزیع آن‌ها به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های زیستگاه‌های محلی است که در محدوده‌ی جغرافیایی کوچکشان قرار دارد (Dillard et al., 2008).

سمندر لرستانی (*Neurergus kaiseri*) یک گونه اندمیک ایران است و فقط در چند منطقه محدود از ناحیه رویشی زاگرس با درختان غالب بلوط (*Quercus brantii*) و بنه (*Pistacia atlantica*) مشاهده شده است. پراکنش این گونه از جنوب لرستان تا شمال غربی خوزستان ادامه دارد. این گونه در این مناطق به طور عمده در نواحی کوهستانی و نیمه‌کوهستانی زیست می‌کند (Safaei Mahroo, 2014). مناطق کوهستانی به دلیل تنوع زیستی بالا، اغلب به عنوان نقاط داغ تنوع زیستی شناخته می‌شوند. این گونه تنها دوزیست ایرانی است که در ضمیمه‌ی I کنوانسیون منع تجارت بین‌المللی گونه‌های جانوری و گیاهی وحشی در معرض خطر (CITES) ثبت شده است. ضمیمه‌ی I شامل گونه‌هایی است که در معرض بیشترین خطر انقراض قرار دارند و تجارت بین‌المللی آن‌ها ممنوع است (Safaei Mahroo, 2023). با این وجود تخریب و تکه‌تکه‌شدگی زیستگاه به دلیل فعالیت‌های راه‌سازی اعم از جاده‌سازی و توسعه راه‌آهن در زیستگاه‌های سمندر لرستانی (Vaissi & Mobaraki et al., 2014; Safaei-Mahroo et al., 2023; Karami et al., 2024) و همچنین اثرات منفی که فعالیت سدها بر زیستگاه‌های سمندر لرستانی در پایین‌دست و بالادست می‌گذارد (Sharifi et al., 2008; Vaissi & Sharifi et al., 2019; Karami et al., 2024) از جمله تهدیدات این گونه ارزشمند است. لذا به نظر می‌رسد که زیستگاه‌های بالقوه و بالفعل این گونه در شبکه مناطق

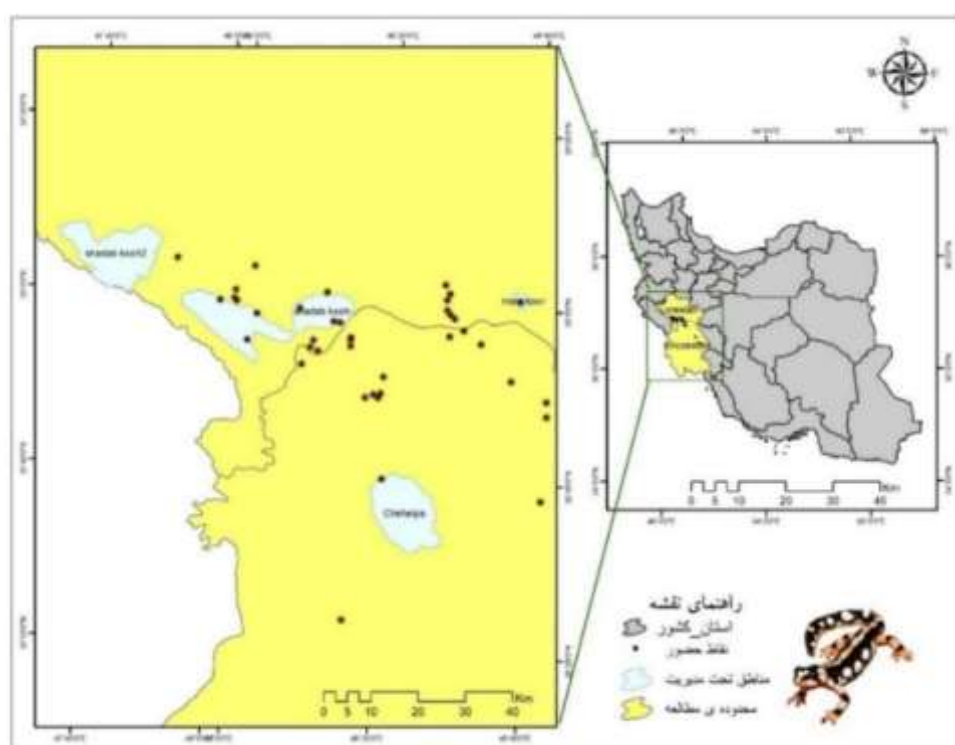
این گونه به چشمه‌ها و جویبارهای تراز اول، پراکندگی آن به صورت لکه‌ای به نواحی کوهستانی محدود شده است (Goudarzi et al., 2019). حد تلاقی دو استان لرستان و خوزستان، زیستگاه و محل زندگی این گونه آسیب‌پذیر است (شکل ۱). در بیشتر محدوده پراکنش این گونه، سیمای سرزمین دارای ویژگی‌های توپوگرافی خشن است به نحوی که برخی کوه‌ها ارتفاعی بیش از ۴۰۰۰ متر از سطح دریا دارند. خاک‌های زیستگاه این گونه در این مناطق بسیار کم‌عمق بوده و همچنین گستره وسیعی از صخره‌های سنگی عظیم و پوشش گیاهی بسیار تنک مشاهده می‌شود (Vaissi & Sharifi, 2019). شرایط آب‌وهوایی در حاشیه جنوبی فلات ایران (ناحیه جنوبی رشته‌کوه زاگرس) با تابستان‌های طولانی و گرم و زمستان‌های تقریباً بدون یخبندان مشخص می‌شود. میانگین بارش سالانه در این منطقه حدود ۵۰۰ میلی‌متر است و بیشتر این بارندگی‌ها در ماه‌های دی و بهمن به صورت باران اتفاق می‌افتد (Sharifi et al., 2008).

حفاظتی کشور تنها مناطقی هستند که می‌توانند بقاء بلندمدت گونه را حفظ نمایند.

به همین سبب دستیابی به درک دقیق و جامع از الگوی پراکنش این گونه در خطر انقراض در کشور و بررسی میزان اثربخشی مناطق حفاظتی در حفاظت از زیستگاه‌های این گونه یک ضرورت جدی قبل از هر اقدام مدیریتی و حفاظتی محسوب می‌گردد. هدف در این مطالعه، تعیین نقاط داغ مطلوبیت زیستگاهی گونه سمندر لرستانی و بررسی میزان همپوشی شبکه فعلی مناطق حفاظتی کشور با این نقاط داغ در جنوب غربی کشور است تا بتوان خلاء موجود در شبکه مناطق حفاظتی را برای حفاظت مؤثر از این گونه ارزشمند شناسایی و راهکارهای مناسب را به سازمان حفاظت محیط زیست ارائه نمود.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعه: سمندر لرستانی بومی رشته‌کوه زاگرس در ایران است و به واسطه وابستگی بالای



شکل ۱ - موقعیت مکانی و محدوده مورد مطالعه

روش‌شناسی پژوهش: شکل ۲ مدل مفهومی پژوهش را نشان می‌دهد. مدل سازی به روش بی‌نظمی بیشینه (MaxEnt) ابزاری پرکاربرد برای ارزیابی پراکنش بالقوه گونه‌ها است (Low et al., 2021). این روش از

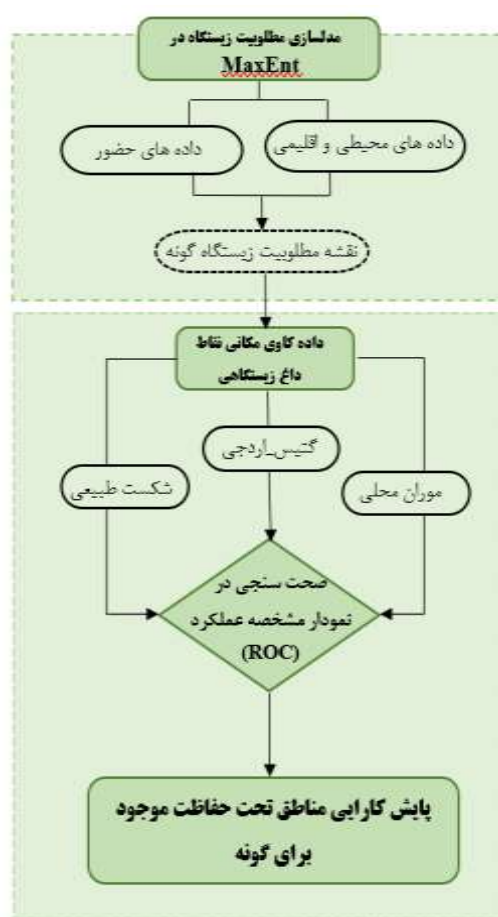
روش‌شناسی پژوهش: شکل ۲ مدل مفهومی پژوهش را نشان می‌دهد. مدل سازی به روش بی‌نظمی بیشینه

(۲۰۱۳)، میانگین فاصله نزدیک‌ترین لکه حضور گونه در زیستگاه‌های مورد مطالعه در حدود ۴/۶۱ کیلومتر برآورد شده است (با گستره ۱۲/۳۹ - ۰/۹۳ کیلومتر). با استناد بر این نتایج به منظور کاهش اثرات داده‌های حضور تکراری سعی شد که از بین دو نقطه‌ای که فاصله کمتر از یک کیلومتر دارند، فقط از یک نقطه حضور استفاده شود و در نهایت از ۶۲ نقطه اولیه، ۵۰ نقطه حضور برای ورود به مدل انتخاب شد که ۲۵ نقطه در محدوده استان لرستان و ۲۵ نقطه در محدوده استان خوزستان قرار دارند.

بر اساس مطالعات انجام شده منابع Ashrafzadeh و Taghipour (۲۰۱۹)، Amiri و همکاران (۲۰۱۹)، Tondravan Zangene و همکاران (۲۰۱۶) و Vaissi و Sharifi (۲۰۱۹)، ۱۳ متغیر محیط زیستی و اقلیمی مؤثر در پراکنش این گونه انتخاب شدند متغیرهای محیط زیستی شامل شیب، جهت، ارتفاع، نقشه پوشش زمین و نقشه ردپای انسان (Sedac.ciesin.columbia.edu) بوده است که برای ورود تأثیر حضور انسان در زیستگاه‌های این گونه استفاده شد. همچنین متغیرهای اقلیمی شامل میانگین دمای سالانه (Bio1)، بارش سالانه (Bio12)، بارش در گرم‌ترین فصل (Bio18)، حداقل دما در سردترین ماه (Bio6)، بارش در سردترین فصل (Bio19)، بارش در مرطوب‌ترین ماه (Bio13)، هم دمای (Bio3) و محدوده سالانه دما (Bio7)، برای ورود به مدل‌سازی انتخاب شدند. متغیرهای اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش از پایگاه داده‌ای جهانی WordClim^۱ استخراج شدند. سپس همبستگی بین متغیرها با استفاده از روش PCA در فضای نرم افزار Arc GIS 10.8 ارزیابی گردید.

متغیرهای محیط زیستی و اقلیمی به ترتیب با اندازه سلول ۳۰ و ۱۰۰۰ متر در Arc GIS 10.8 آماده‌سازی و برش داده شدند. سپس اختلاف حد تفکیک مکانی^۲ و سیستم مختصات لایه‌های مورد نظر با انجام عملیات تعیین سیستم مختصات و استفاده از توابع Project و resample در نرم‌افزار Rstudio برطرف گردید. به منظور مدل‌سازی زیستگاه این گونه، نقاط حضور و نقشه‌های ورودی به محیط نرم افزاری Rstudio وارد شدند و با استفاده از بسته نرم‌افزاری dismo مدل‌سازی با روش

انعطاف‌پذیری بسیار بالایی برای مدل‌سازی روابط خطی ساده (غیر پیچیده) بین مناطق حضور گونه و متغیرهای محیطی برخوردار است. این ویژگی باعث می‌شود که مکسنت به طور گسترده‌ای در مطالعات بوم شناختی و پیش‌بینی پراکنش گونه‌ها استفاده شود (Abdollahi et al., 2023). از سوی دیگر، تحلیل لکه‌های داغ به عنوان یک روش تحلیل و نقشه‌سازی فضایی، به بررسی و تعیین موقعیت نقاط داغ در پهنه‌های زیستگاهی می‌پردازد. این تکنیک امکان شناسایی نواحی همگن در زیستگاه‌های حیات وحش را فراهم نموده و به عنوان ابزاری کارآمد در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری برای اقدامات حفاظتی آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bregović & Zgajmajster, 2016).



شکل ۲- مدل مفهومی پژوهش

مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه: در این پژوهش تعداد ۶۲ نقطه حضور با استفاده از مطالعه ادبیات گذشته و اطلاعات ثبت شده توسط اداره کل محیط زیست استان لرستان و همچنین کسب اطلاعات از افراد محلی گردآوری شد. بر اساس مطالعه Sharifi و همکاران

¹ <http://www.worldclim.org/>

² Resolution

سرد زیستگاهی را در محدوده مطالعه نشان می‌دهند (Mohammadpour et al., 2023).

روش Anselin Local Moran's I: روش موران محلی یکی از معتبرترین رویکردهای فضایی به منظور نمایش مکانی پدیده‌ها (لکه‌های زیستگاهی) بر اساس اصول آماری است. در این رویکرد، با استفاده از عوارض مکانی وزن‌دهی شده، نقاط با مقادیر بالا و پایین که از الگوی پراکنش خوشه‌ای برخوردارند و همچنین مقادیر با اختلاف ارزشی قابل توجه (ناخوشه‌ای) شناسایی می‌شوند. شاخص موران محلی، الگوی ارتباط فضایی پدیده‌های مکانی را در محدوده همسایگی با سایر پدیده‌ها تحلیل می‌کند. در این رویکرد، الگوی ارتباط مکانی پدیده‌ها در محدوده همسایگی پدیده‌ها با یکدیگر ارزیابی می‌شود (Yuan et al., 2018).

روش Natural Breaks Jenks: روش شکست طبیعی با بهینه‌سازی واریانس درون‌گروهی، طبقاتی ایجاد می‌کند که در آن داده‌های درون هر گروه باهم بیشترین شباهت و با سایر گروه‌ها بیشترین تفاوت را دارند. کلاس‌ها و طبقه‌بندی در روش نقاط شکست طبیعی بر اساس گروه‌بندی‌های طبیعی ذاتی در هر گروه تعیین می‌شود (Mohammadpour et al., 2023).

تحلیل ROC و مقایسه رویکردها: برای ارزیابی عملکرد مدل از منحنی مشخصه عملکرد ROC^۷ استفاده شد. منحنی مشخصه عملکرد یک شاخص کمی بین صفر تا یک است که نشان دهنده میزان دقت و صحت مدل در تمایز بین نقاط حضور و عدم حضور در مدل است (Phillips et al., 2006) و هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، پیش‌بینی بالا و بهتر مدل را نشان می‌دهد. دقت مکانی نقشه‌های تولید شده در مرحله قبل، با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد در فضای نرم‌افزار ادیسی TerrSet مورد بررسی قرار گرفت. در این روش، ارتباط بین سلول‌های با طبقه‌بندی صحیح و سلول‌های نادرست مورد تحلیل قرار می‌گیرد. دقت مدل بر اساس مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) سنجیده می‌شود، به طوری که مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده صحت مکانی بالا و عملکرد مطلوب مدل بوده، در حالی که مقادیر نزدیک به ۰/۵ حاکی از دقت مکانی پایین مدل است

بی‌نظمی بیشینه انجام گردید. در این روش ۱۰۰۰ نقطه به صورت تصادفی توسط نرم‌افزار به عنوان نقاط زمینه انتخاب شدند. همچنین ۷۰ درصد از نقاط حضور به عنوان داده‌های آموزشی^۳ و ۳۰ درصد به عنوان داده‌های آزمون^۴ در نظر گرفته شد.

داده‌کاوی مکانی نقاط داغ زیستگاهی: پس از ارزیابی مطلوبیت زیستگاه سمندر لرستانی، به منظور شناسایی و تحلیل لکه‌های زیستگاهی این گونه از سه رویکرد گیتس-اردجی، تحلیل موران محلی و نقاط شکست طبیعی استفاده شد. برای شروع مدلسازی فضایی، نقشه رستری مطلوبیت زیستگاه در محیط ArcGIS10.8 به پلیگون تبدیل شد. همسایگی به عنوان یکی از مبانی کلیدی در آمار فضایی شناخته می‌شود که روش‌های مختلفی برای تعریف آن وجود دارد. از میان این روش‌ها، دو رویکرد فاصله معکوس^۵ و مجاورت بر اساس حاشیه^۶ از کاربرد بیشتری برخوردارند (Bartaw et al., 2013). در روش مجاورت بر اساس حاشیه، فقط پدیده‌هایی به عنوان همسایه در نظر گرفته می‌شوند که دارای مرز مشترک یا نواحی همپوشان باشند (Abdollahi et al., 2021). در نتیجه در این مطالعه، با توجه به ساختار لکه‌ای واحدهای زیستگاهی، مدلسازی فضایی بر اساس معیار مجاورت بر اساس حاشیه انجام شد.

روش Getis-Ord Gi: تحلیل الگوهای فضایی با روش آماری گیتس-اردجی از طریق محاسبه مقادیر Z-Score و P-Value در سطوح اطمینان مختلف، توانایی شناسایی خوشه‌های مکانی معنی‌دار را دارد. این روش به طور خاص قادر است نقاط داغ که نشان‌دهنده تمرکز مقادیر بالا هستند و نقاط سرد که بیانگر تمرکز مقادیر پایین می‌باشند را در لکه‌های زیستگاهی با دقت آماری تشخیص دهد (Jana & Sar, 2016). آماره G در این رویکرد نوعی امتیاز Z است. هرگاه مقادیر ارزشی Z محاسبه شده ۳+ و ۳- باشد، سطح اطمینان نقاط داغ و سرد زیستگاهی ۹۹ درصد خواهد بود. به همین ترتیب مقادیر ارزشی ۲+ و ۲- این آماره سطوح اطمینان ۹۵ درصد و مقادیر ارزشی ۱+ و ۱- سطوح اطمینان ۹۰ درصد پراکنش مکانی نقاط داغ و

³ Training

⁴ Testing

⁵ Inverse Distance

⁶ Contiguity edge only

⁷ Receiver Operating Characteristic

از عملکرد بسیار مطلوب مدل در پیش‌بینی پراکنش این گونه در منطقه مطالعاتی است.

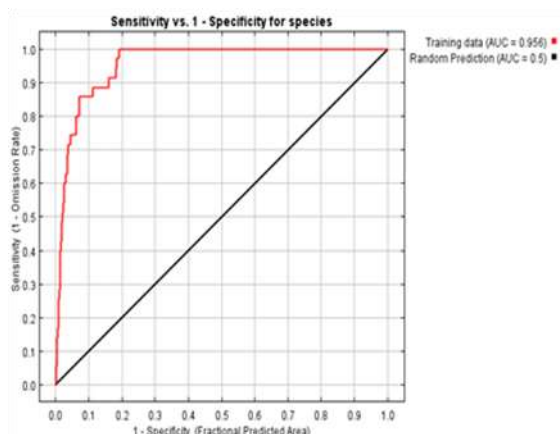
جدول ۱- درصد مشارکت متغیرها در مدلسازی مطلوبیت زیستگاه سمندر لرستانی

متغیر	درصد مشارکت هر متغیر در مدل
bio12	۳۱/۳۰۸۲
bio19	۲۶/۱۳۹۶
bio3	۱۳/۵۲۳۵
bio6	۰/۳۳۷۲
elevation	۱۱/۸۰۷۱

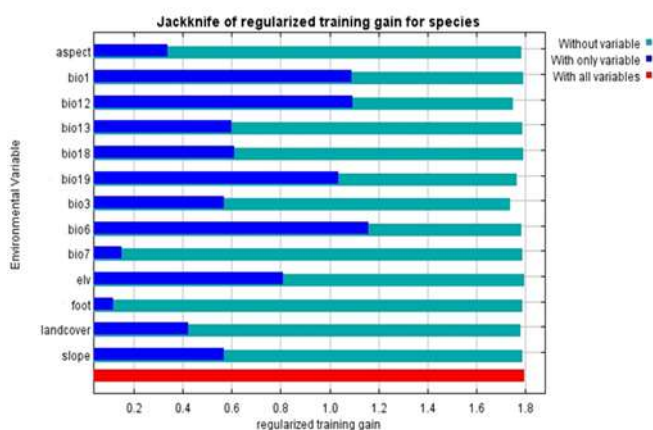
(Ilanloo, 2011). نقشه‌های تولیدشده از روش‌های ذکرشده به عنوان شاخص‌هایی از لکه‌های داغ زیستگاهی مورد مقایسه قرار گرفتند و دقت و صحت مکانی هر روش با کمک نقاط حضور به عنوان نقشه مرجع، در تحلیل منحنی مشخصه عملکرد و محاسبه مساحت زیر منحنی ارزیابی شد.

نتایج

مدلسازی مطلوبیت زیستگاه: نتایج ارزیابی مدل مبتنی بر شاخص سطح زیر منحنی (AUC) نشان داد که مدل مورد استفاده از قابلیت اطمینان و دقت کافی برای پیش‌بینی مناطق پراکنش سمندر لرستانی برخوردار است. مقدار AUC برابر با ۰/۹۵ برای داده‌های آموزشی، حاکی



(a)

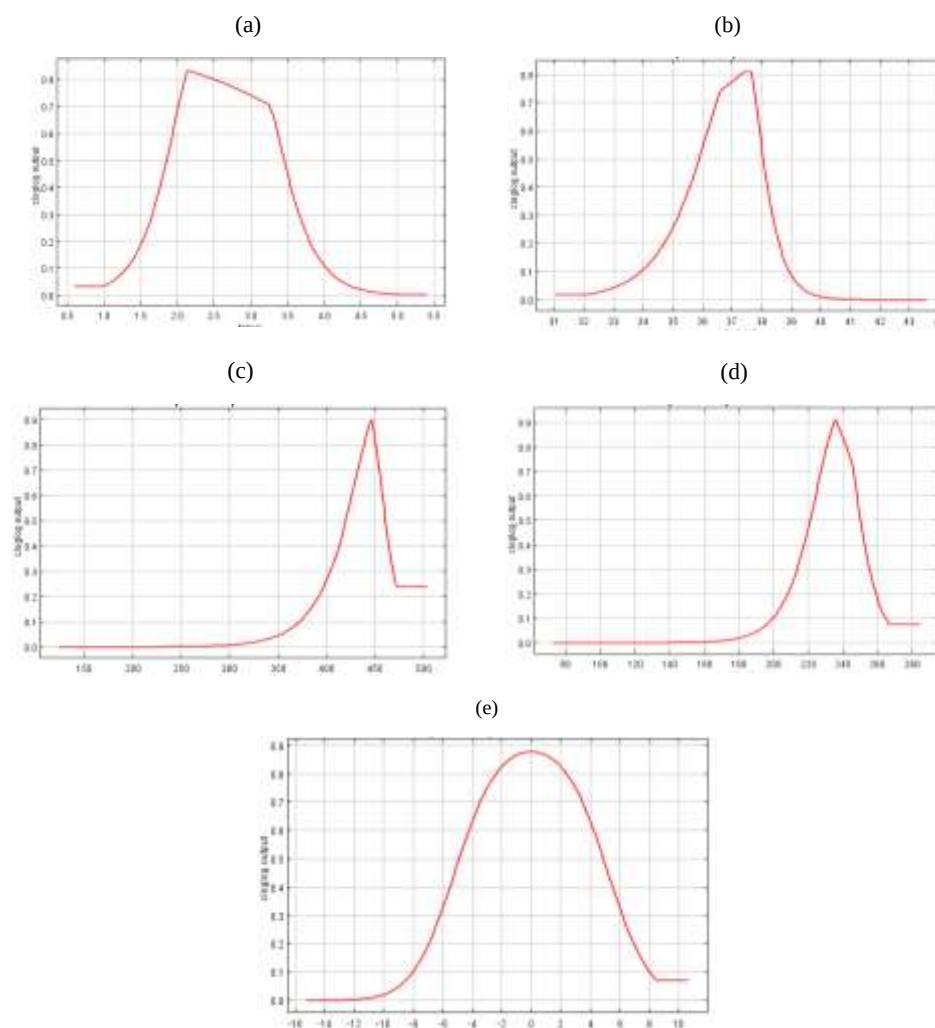


(b)

شکل ۳- (a) سطح زیر منحنی (AUC) و (b) نتایج نمودار جک‌نایف مدل مطلوبیت زیستگاه MaxEnt

منحنی‌های پاسخ نشان دادند که حداقل دمای مطلوب برای سمندر لرستانی در سردترین فصل صفر درجه است و با افزایش دما مطلوبیت زیستگاه کاهش پیدا می‌کند. با افزایش ارتفاع تا ۲۰۰۰ متر مطلوبیت زیستگاه گونه افزایش می‌یابد و از این ارتفاع به بعد نامطلوب می‌شود. همچنین مناسب‌ترین محدوده بارش سالانه، ۴۲۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر است که در محدوده بارشی زیر ۴۰۰ میلی‌متر مطلوبیت گونه کاهش پیدا می‌کند.

نتایج نمودار جک‌نایف نشان داد که حداقل دما در سردترین ماه (Bio6)، بارش سالانه (Bio12)، بارش در سردترین فصل (Bio19)، هم‌دمایی (Bio3) و ارتفاع دارای بیشترین سهم در پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه سمندر لرستانی بودند (شکل ۳). منحنی‌های پاسخ هر یک از متغیرهای زیستی و اقلیمی در مدل پیش‌بینی مطلوبیت زیستگاه ارائه شده‌اند.

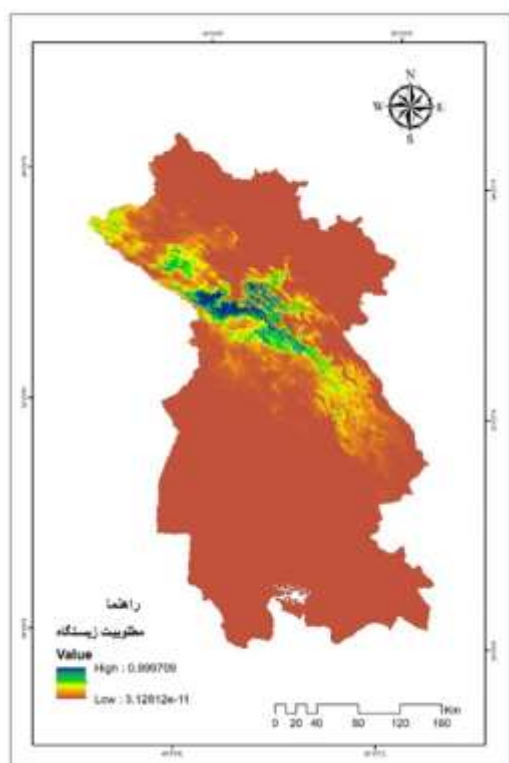


شکل ۴ - منحنی‌های پاسخ مدل MaxEnt برای مطلوبیت زیستگاه سمندر لرستانی. پاسخ گونه به متغیرهای (a): ارتفاع، (b): متغیر Bio3، (c): متغیر Bio12، (d): متغیر Bio19 و (e) متغیر Bio6

زیستگاه (۱ - ۰)، مناطق با مقادیر بالاتر ۰/۶ به دلیل دارا بودن شرایط و ویژگی‌های زیستگاهی مطلوب، به عنوان نقاط داغ شناسایی شدند. در این شکل (a) الگوی پراکنش نقاط داغ زیستگاهی به دست آمده از روش موران محلی را نشان می‌دهد. پراکنش خوشه‌های با ارزش بالا در مناطق مرکزی محدوده مطالعه دیده می‌شود که نشانگر بیشترین مطلوبیت زیستگاه در این مناطق است و لکه‌های دارای همبستگی مثبت در این قسمت‌ها قرار گرفته‌اند. همچنین خوشه‌های با ارزش کم و همبستگی پایین که همان مناطق فاقد مطلوبیت هستند، مساحت زیادی از محدوده مطالعه در شمال لرستان و جنوب خوزستان را می‌پوشانند. همچنین در این شکل ۷ قسمت (c) الگوی پراکنش لکه‌های زیستگاهی به دست آمده با استفاده از روش گیتس-اردجی را نمایش می‌دهد. این

نقشه مطلوبیت زیستگاه سمندر لرستانی نشان می‌دهد که ۱۷۷۰۵۰۸/۱۱ هکتار از مساحت دو استان لرستان و خوزستان (۹۲۳۲۴۹۰ هکتار)، برای سمندر لرستانی دارای مطلوبیت است که این مساحت به‌طور مشخص به شمال استان خوزستان و جنوب لرستان معطوف می‌شود. این مساحت ۱۹ درصد از کل محدوده مطالعه را دربر می‌گیرد. سطوح آبی تا سبز رنگ در شکل ۵ مطلوب‌ترین مناطق حضور و پراکنش گونه در سطح دو استان لرستان و خوزستان را نشان می‌دهد.

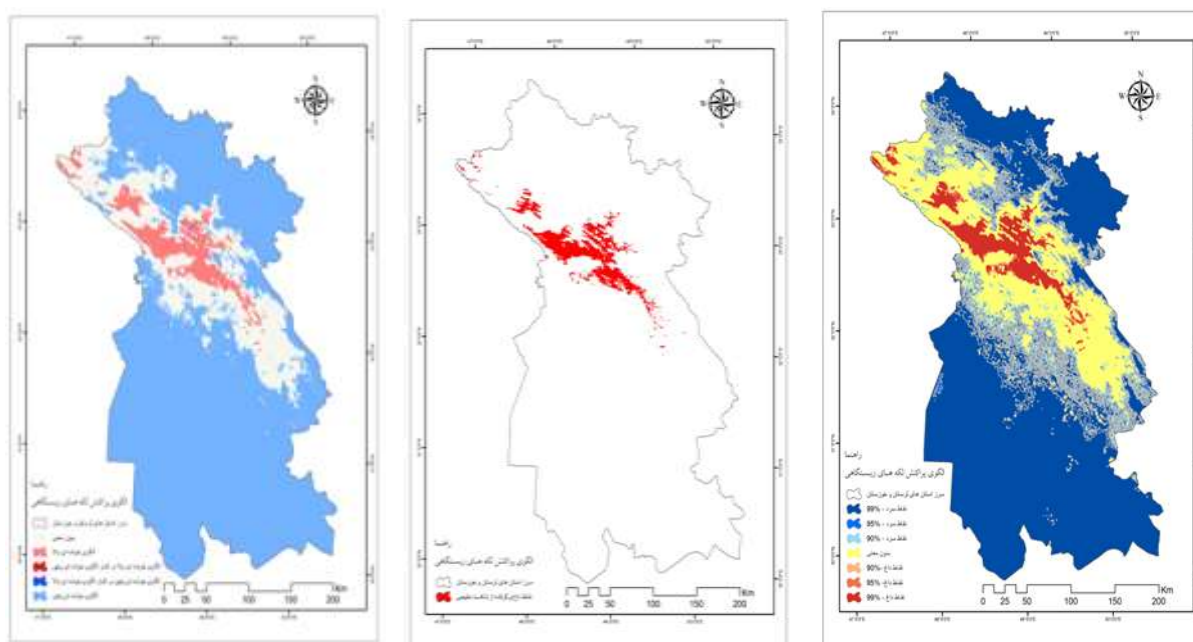
لکه‌های داغ زیستگاهی: داده‌کاوی مکانی لکه‌های زیستگاهی سمندر لرستانی طبق دستورالعمل‌های ذکرشده انجام شد. شکل ۶ الگوی پراکنش فضایی نقاط داغ زیستگاهی این گونه را با استفاده از نقاط شکست طبیعی نمایش می‌دهد. بر اساس طیف مقادیر مطلوبیت



شکل ۵ - مدل مطلوبیت زیستگاه کنونی سمندر لرستانی

شکل نشان می‌دهد که لکه‌های داغ ۹۹ درصد دارای بیشترین مساحت در بین لکه‌های زیستگاهی شناسایی شده هستند (۳۱۵۲۰/۱۶ هکتار از ۵۷۹۱۰۶/۳۵ هکتار) که معادل ۷۰ درصد از کل مساحت لکه هاست و به دلیل تمرکز لکه‌های زیستگاهی در بخش‌های مرزی بین دو استان، مساحت قابل توجهی از محدوده مطالعه را لکه‌های سرد ۹۹ درصد پوشانده‌اند. همچنین از کل مساحت لکه‌های زیستگاهی منتج شده از رویکرد گیتس-ارد جی، ۴۶ درصد (۲۶۶۹۱۳/۰۹ هکتار) در محدوده استان لرستان و ۵۴ درصد (۳۱۲۱۹۳/۲۶ هکتار) در محدوده استان خوزستان قرار گرفته است.

با توجه به تشابه الگوی پراکنش فضایی نقاط داغ زیستگاهی شناسایی شده از سه روش موران محلی، گیتس-ارد جی و نقاط شکست طبیعی در سطح محدوده مطالعه، دقت و صحت مکانی نقشه‌های تولیدی از طریق تحلیل منحنی مشخصه عملکرد (ROC) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت (شکل ۷).



شکل ۶ - الگوی پراکنش نقاط داغ زیستگاهی با سه رویکرد (a) Anselin Local Moran's I و (b) Natural Breaks Jenks و (c) Getis-Ord Gi*

روش‌ها برای شناسایی لکه‌های زیستگاهی گونه مورد مطالعه است. به این ترتیب درصد زیر منحنی (AUC) برای روش گیتس-ارد جی ۹۶ درصد، برای روش نقاط شکست طبیعی ۷۰ درصد و برای روش موران محلی ۶۸ درصد بوده است.

در این ارزیابی، از مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) به عنوان معیار اصلی سنجش دقت هر روش استفاده شد (جدول ۲). نمودار مشخصه عملکرد عملکرد رویکرد گیتس-ارد جی فاصله بیشتری با حد آستانه دارد که بیانگر دقت و صحت بیشتر این روش نسبت به سایر

جدول ۲- مقادیر سطوح زیر منحنی AUC برای صحت سنجی هریک از رویکردهای داده کاوی مکانی

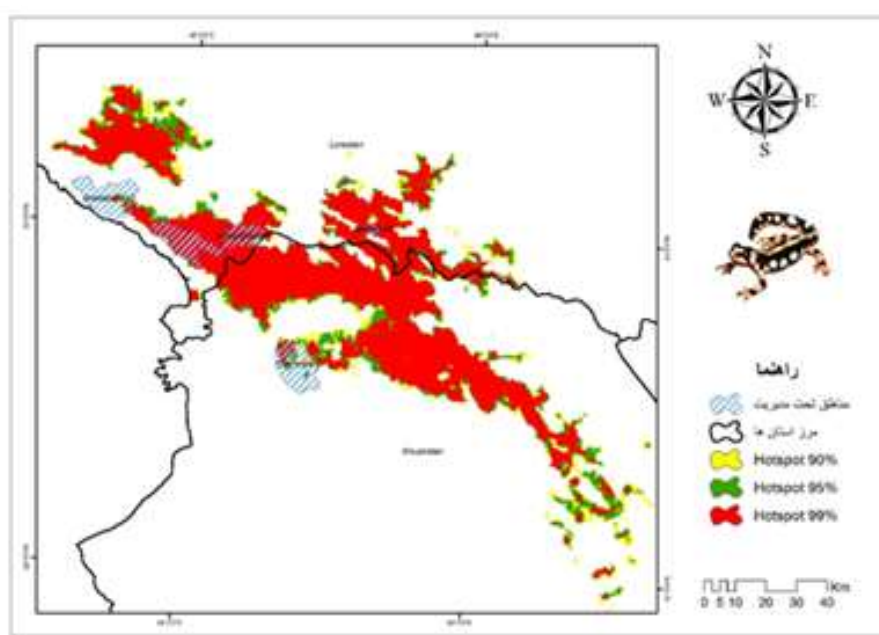
سطح زیر منحنی (AUC)	رویکرد های داده کاوی مکانی
۷۰ درصد	رویکرد Natural Breaks Jenks
۶۸ درصد	رویکرد Anselin Local Moran's I
۹۶ درصد	رویکرد Getis-Ord Gi



شکل ۷- منحنی مشخصه عملکرد (ROC) رویکردهای داده کاوی مکانی لکه های زیستگاهی سمندر لرستانی.

لکه‌های داغ همپوشانی دارند. در بین این مناطق، شادابکوه (۹۸ درصد همپوشانی) و تنگ هفت (۹۳ درصد همپوشانی) که بیشتر با لکه‌های داغ زیستگاهی ۹۹ درصد همخوانی دارند، به عنوان مؤثرترین مناطق حفاظتی برای سمندر لرستانی شناسایی شدند (جدول ۳).

پایش کارایی مناطق تحت مدیریت دو استان در حفاظت از سمندر لرستانی: نتایج روی هم‌گذاری نقشه مناطق تحت مدیریت استان‌های لرستان و خوزستان با لکه‌های داغ شناسایی شده از روش گیتس-ارد جی (شکل ۸) نشان داد که فقط چهار منطقه تحت مدیریت با



شکل ۸ - میزان هم پوشانی مناطق تحت مدیریت با لکه های داغ زیستگاهی سمندر لرستانی

شکل ۸ نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از لکه‌های داغ زیستگاهی در خارج از محدوده مناطق تحت مدیریت قرار دارند. از کل مساحت ۵۷۹۱۰۶/۳۵ هکتاری لکه‌های داغ شناسایی شده با روش گیتس-ارد جی، فقط ۳۱۵۲۰/۱۶ هکتار (معادل ۶ درصد) تحت حفاظت هستند. این سهم ناچیز از حفاظت، ضرورت بازنگری در محدوده مناطق

حفاظت شده موجود و تدوین برنامه‌های حفاظتی پایدار برای این گونه آسیب‌پذیر را آشکار می‌سازد. همچنین این لکه‌های داغ می‌توانند به عنوان مناطق جدید حفاظتی یا کریدورهای اتصال بین مناطق تحت حفاظت موجود در نظر گرفته شوند.

جدول ۳- میزان همپوشانی مناطق تحت حفاظت موجود با لکه‌های داغ زیستگاهی سمندر لرستانی

مناطق تحت حفاظت	چهل پا	تنگ هفت	شادابکوه	تالاب‌های پلدختر		
نوع لکه‌های داغ	%۹۹	%۹۵	%۹۰	%۹۹	%۹۵	%۹۰
میزان هم‌پوشانی (هکتار)	۲۶۴۳/۳۹	۲۱۹۹/۶	۱۳۷۵/۸۳	۷۹۰/۹۲	۴۲/۹۳	۰
درصدکل هم‌پوشانی	%۳۷	%۹۳	%۹۸	%۱۵		

بحث

مدلسازی توزیع گونه‌ها در سال‌های اخیر برای پشتیبانی از مدیریت تنوع زیستی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Cursach et al., 2020). شناسایی مناطق داغ زیستگاهی جهت شناسایی مناطق اولویت‌دار حفاظتی و همچنین جهت‌دهی به تصمیمات مدیریتی، ابزار قدرتمندی جهت یکپارچه‌سازی مفهوم خدمات اکوسیستم با برنامه‌ریزی مکانی سیمای سرزمین است (Mohammadpour et al., 2023). در پژوهش حاضر تلاش شد با تلفیق روش بیشینه بی‌نظمی و داده کاوی مکانی، نقاط داغ زیستگاهی سمندر لرستانی شناسایی و پس از صحت‌سنجی، میزان همپوشانی آن‌ها با مناطق تحت حفاظت موجود پایش گردد. نتایج این پژوهش و مطالعه Mohammadpour و همکاران (۲۰۲۳) که در آن نرم‌افزار InVEST برای ارزیابی کیفیت زیستگاه اجرا شد، دارای تفاوت‌هایی است. InVEST رویکردی زیستگاه محور دارد و تهدیدات تنوع زیستی و مطلوبیت زیستگاهی برای هر طبقه کاربری و پوشش اراضی را در نظر می‌گیرد و برای ارزیابی وضعیت کلی تنوع زیستی در مقیاس‌های وسیع مناسب است. درحالی که مدل MaxEnt رویکردی گونه‌محور دارد و به صورت اختصاصی با در نظر گرفتن پراکنش و توزیع گونه

و در نظر گرفتن شرایط منحصربه فرد زیستگاه گونه، امکان تحلیل دقیق‌تر الگوهای پراکنش یک گونه خاص را ممکن می‌سازد و شناسایی دقیق مناطق با اولویت حفاظتی برای آن گونه را فراهم می‌نماید.

در بحث مدلسازی پراکنش بالقوه گونه سمندر لرستانی با مکسنت متغیرهای Bio3، Bio6، Bio12، Bio19 و ارتفاع دارای بیشترین سهم در ارزیابی مطلوبیت زیستگاه بودند که با نتایج مطالعات Amiri و همکاران (۲۰۱۹) و Tondra van Zangene و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت داشت. همچنین برای گونه‌های نادر با تعداد افراد محدود، جمعیت‌های پراکنده و وابسته به آب مانند سمندر لرستانی می‌توان با آزمون DNA محیطی حضور یا عدم حضور آن‌ها در حوضچه‌ها را شناسایی کرد (Malekian et al., 2018) و به این ترتیب بررسی‌های هیدرولوژیکی زیستگاه‌های سمندر را نیز با سهولت بیشتری انجام داد.

روش گیتس-ارد جی همواره به عنوان روشی قابل اطمینان و با صحت بالا در جهت شناسایی نقاط داغ (در این پژوهش لکه‌های زیستگاهی با اهمیت) استفاده شده است (Mohammadpour et al., 2023; Abdollahi et al., 2023). در این پژوهش نیز روش گیتس-ارد جی در تحلیل منحنی مشخصه عملکرد دارای بیشترین صحت

مواجه سازد. بنابراین، توجه به آرایش فضایی مناطق پیشنهادی با هدف بهبود ارتباطات ساختاری و عملکردی بین مناطق ضروری است (Moradi et al., 2024).

طبق ارزیابی جهانی دوزیستان، تخریب و از دست دادن زیستگاه یک تهدید بزرگ برای ۶۳ درصد از همه گونه‌های دوزیستان است. در این میان بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب، تهدیدی جدی برای بقای بلندمدت سمندر لرستانی است. به دلیل بهره‌برداری از چشمه‌ها برای تأمین آب توسط عشایر و کشاورزان، منابع حیاتی آبی مورد نیاز این گونه در حال کاهش است. همچنین تکه‌تکه‌شدن زیستگاه و تجارت غیرقانونی، دو تهدید اصلی برای این گونه است (Safaei Mahroo et al., 2023). تجارت غیر قانونی و بین‌المللی این گونه ممنوع است، مگر در شرایط خاص و با مجوزهای ویژه، که هدف آن جلوگیری از انقراض این گونه نادر و حفاظت از تنوع زیستی منطقه باشد.

علیرغم اینکه ۵۴ درصد از لکه‌های داغ زیستگاهی سمندر لرستانی استان خوزستان قرار دارند، با مناطق تحت حفاظت فعلی هم‌پوشانی ندارند که لزوم طراحی و ایجاد یک منطقه حفاظت‌شده جدید در شمال این استان را به شدت ضروری می‌سازد. در پایان پیشنهاد می‌شود که از روش‌های داده‌کاوی مکانی برای شناسایی لکه‌های زیستگاهی با اهمیت و دارای الویت، برای سایر گونه‌های در معرض خطر انقراض استفاده شود و پژوهش‌های آینده با به کارگیری ابزارهای طراحی کریدور در بین لکه‌های زیستگاهی، به سوی طراحی شبکه‌های مناطق حفاظتی بروند. همچنین از لکه‌های شناسایی شده در این پژوهش و پژوهش‌های مشابه، می‌توان به عنوان کریدورهای اتصال میان لکه‌های بزرگ‌تر استفاده کرد و بهره گرفت.

با ادغام نتایج مطالعات ژنتیکی سمندر لرستانی که وجود حداقل دو جمعیت مجزا در نواحی شمالی و جنوبی را تأیید می‌کند، همراه با تحلیل داده‌کاوی مکانی و بررسی اتصالات جمعیت‌ها، می‌توان دقت مدل‌سازی‌ها را افزایش داد. این رویکرد امکان شناسایی مناطق اولویت‌دار برای مدیریت و حفاظت این گونه‌ی ارزشمند را فراهم می‌کند و تضمین‌کننده جریان ژن میان جمعیت‌ها خواهد بود.

بوده است که با مطالعات Mohammadpour و همکاران (۲۰۲۳) و Abdollahi و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت و برتری قابل توجهی نسبت به روش‌های جایگزین دارد (Braithwaite & Li, 2007; Li et al., 2017).

نتایج این پژوهش نشان داد با اینکه منطقه حفاظت‌شده شادابکوه و تنگ هفت، همپوشانی قابل قبولی با لکه‌های داغ زیستگاهی سمندر لرستانی داشتند، بخش عمده‌ای از لکه‌های داغ زیستگاهی خارج از محدوده مناطق تحت حفاظت قرار دارند. از جمله مطالعات مشابه می‌توان به مطالعه (Skrekas et al., 2024) اشاره کرد که به منظور شناسایی نقاط داغ چند خزنده و دوزیست از روش گیتس-اردجی استفاده کردند و با بررسی هم‌پوشانی نقاط داغ حاصل از این رویکرد با مناطق با اهمیت حفاظتی، اهمیت توجه ویژه به این مناطق در برنامه‌ریزی‌های حفاظتی را نشان دادند.

قرار گرفتن سمندر لرستانی در پیوست اول کنوانسیون منع تجارت بین‌المللی گونه‌های جانوری و گیاهی وحشی در معرض خطر (CITES) باعث بهبود شرایط این گونه‌ی ارزشمند و مصون ماندن آن از دست‌درازی‌ها گشت. آن‌چنان که Sharifi و همکارانش در (۲۰۱۳) گزارش دادند که این گونه به طور غیرقانونی برای تجارت حیوانات خانگی در داخل و خارج از کشور برداشت می‌شود و نمونه‌هایی نیز برای انجام مطالعات علمی جمع‌آوری می‌شوند. آن‌ها افزودند هر سال بهار تعداد نامعلومی از این گونه برای تجارت داخلی برداشت می‌شود و نگرانی‌هایی درباره تأثیر تجارت بین‌المللی وجود دارد. به نظر می‌رسد با وجود بهبود تنش برداشت‌های غیرقانونی از جمعیت‌های سمندر لرستانی، این گونه آسیب‌پذیر امروزه با تهدیدات دیگری روبه‌رو است که مهم‌ترین آن‌ها از دست رفتن و تکه‌تکه‌شدن زیستگاه‌ها است. این تهدید نه تنها برای سمندر لرستانی بلکه برای تمامی دوزیستان جهان، یک تهدید اساسی تلقی می‌شود (Womack et al., 2022; Luedtke et al., 2023; Ficetola et al., 2015). مناطق حفاظتی به عنوان جذب‌کننده و متمرکز کننده اقدامات مدیریتی در سطح ملی باید بتوانند از کارایی لازم برخوردار باشند. امروزه، بسیاری از مناطق تحت حفاظت کشور به دلیل دخالت‌های انسانی و توسعه ناپایدار تبدیل به جزایری منزوی شده‌اند که این موضوع می‌تواند حفاظت ژنتیکی گونه‌های جانوری را با پیچیدگی‌هایی

منابع

9. Cademus, R., Escobedo, F.J., McLaughlin, D. and Abd-Elrahman, A., 2014. Analyzing trade-offs, synergies, and drivers among timber production, carbon sequestration, and water yield in *Pinus elliotii* forests in southeastern USA. *Forests*, 5(6), 1409-1431.
10. Cursach, J., Far, A.J. and Ruiz, M., 2020. Geospatial analysis to assess distribution patterns and predictive models for endangered plant species to support management decisions: a case study in the Balearic Islands. *Biodiversity and Conservation*, 29(11), 3393-3410.
11. Dillard, L.O., Russell, K.R. and Ford, M.W., 2008. Macrohabitat models of occurrence for the threatened CheatMountain salamander, *Plethodon nettingi*. *Appl. Herpetol.* 5 (3), 201.
12. Guerri, G., Crisci, A., Congedo, L., Munafò, M. and Morabito, M., 2022. A functional seasonal thermal hot-spot classification: Focus on industrial sites. *Science of the Total Environment*, 806, 151383.
13. Goudarzi, F., Hemami, M.R., Malekian, M. and Fakheran, S., 2019. Ecological Characterization of the breeding habitat of Luristan newt (*Neurergus kaiseri*) at local scale. *Journal of Natural Environment*, 72(1), 113-127.
14. Ilanloo, M., 2011. A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: An experience of Karaj dam basin in Iran. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 19, 668-676.
15. Jana, M. and Sar, N., 2016. Modeling of hotspot detection using cluster outlier analysis and Getis-Ord Gi* statistic of educational development in upper-primary level, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, 1-10.
16. Karami, P., Tavakoli, S. and Esmaeili, M., 2024. Integrating fine-scale habitat suitability and hydrological structures to assess population connectivity for the Kaiser's mountain newt (*Neurergus kaiseri*) in southwest of Iran. *Global Ecology and Conservation*, 54, e03194.
17. Kypraios-Skrekas, V., Lazaris, A., Koutroudisou, L.K., Sotiropoulos, K. and Giokas, S., 2024. Patterns and drivers of abundance and diversity of reptiles and amphibians in the protected area of Mount Chelmos. *Amphibia-Reptilia*, 45(4), 383-397.
18. Li, Y., Zhang, L., Yan, J., Wang, P., Hu, N., Cheng, W. and Fu, B., 2017. Mapping the hotspots and coldspots of
1. Abdollahi, S., Ildoromi, A., Salmanmahini, A. and Fakheran, S., 2021. Evaluating spatial patterns of ecosystem services based on a comparative approach on spatial statistics in the central part of Isfahan province. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(1), 41-54. (In Persian with English abstract).
2. Abdollahi, S., Morovati, M., Jumapour, M. and Delkandi, M.R., 2024. Evaluation of Wild Goat (*Capra aegagrus*) Habitat and Spatial Data Mining of Habitat Hotspots in Daruneh Protected Area, Khorasan-e Razavi. (In Persian with English abstract).
3. Alitavoli, A. and Kaboli, M., 2024. Habitat modeling of Black Cobra (*Walterinnesia morgani*) in Iran; predicting current and future potential distribution under habitat conditions and climate change. *Journal of Natural Environment*, 77(Ecology and Biodiversity Management), 1-14. (In Persian with English abstract).
4. Amiri, M., Pesarakloo, A. and Najibzadeh, M., 2019. Habitat suitability of the Critically Endangered Lorestan Newt, *Neurergus kaiseri* (SCHMIDT, 1952) In Southwestern Iran. (In Persian with English abstract).
5. Ashrafzadeh, M. and Taghipour, A.A., 2019. Habitat suitability modeling for the (*Neurergus kaiseri*) in Lorestan and Khuzestan provinces. In *Proceedings of the 2nd National Conference on Natural Resources and Sustainable Development in Zagros* (PaperNo.NRSTZAGROS02_149, Shahrekord, Iran).
6. Bartaw, I., Hajinezhad, A., Asgary, A. and Goli, A., 2013. Pattern analysis on Residential burglary by Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA), Case study: Zahedan city. *Strategic Research on Social Problems in Iran*, 2(2), 1-23. (In Persian with English abstract).
7. Bregović, P. and Zagmajster, M., 2016. Understanding hotspots within a global hotspot-identifying the drivers of regional species richness patterns in terrestrial subterranean habitats. *Insect Conservation and Diversity*, 9(4), 268-281.
8. Braithwaite, A. and Li, Q., 2019. Transnational terrorism hot spots: Identification and impact evaluation. In *Transnational Terrorism* (pp. 65-80). Routledge.

- conserve amphibian species in Iran. *Biodiversity*, 24(4), 231-241.
28. **Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E., 2006.** Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259.
29. **Sharifi, M., Rastegar-Pouyani, N., Akmal, V. and Assadian-Narengi, S., 2008.** On distribution and conservation status of *Neurergus kaiseri* (Caudata: Salamandridae). *Russian Journal of Herpetology*, 15(3), 169-172.
30. **Sharifi, M., Farasat, H., Barani-Beiranv, H., Vaissi, S. and Foroozanfar, E., 2013.** Notes on the distribution and abundance of the endangered Kaiser's Mountain Newt, *Neurergus kaiseri* (Caudata: Salamandridae), in southwestern Iran. *Herpetological Conservation and Biology*, 8(3), 724-731.
31. **Safaei-Mahroo, B., Ghaffari, H., Miri, A., Kamangar, A. and Adak, S., 2023.** Estimating The Population Size of *Neurergus kaiseri* (Caudata: Salamandridae) In Iran: Comparison of Estimation Methods Provides Implications for Conservation. *Conserv. Biol*, 18(2), 337-347.
32. **Stuart, S.N., Chanson, J.S., Cox, N.A., Young, B.E., Rodrigues, A.S., Fischman, D.L. and Waller, R.W., 2004.** Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306(5702), 1783-1786.
33. **Tondra van Zangene, M., Fakheran Esfahani, S., Poormanafi, S. and Senn, J., 2016.** Assessment of the conservation status and habitat suitability of critically endangered Lorestan Newt (*Neurergus Kaiseri*) in Lorestan and Khuzestan Provinces. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 5(17), 11-24. (In Persian with English abstract).
34. **Vaissi, S. and Sharifi, M., 2019.** Integrating multi-criteria decision analysis with a GIS-based siting procedure to select a protected area for the Kaiser's mountain newt, *Neurergus kaiseri* (Caudata: Salamandridae). *Global Ecology and Conservation*, 20, e00738.
35. **Yuan, Y., Cave, M. and Zhang, C., 2018.** Using Local Moran's, I to identify contamination hotspots of rare earth elements in urban soils of London. *Applied geochemistry*, 88, 167-178.
- ecosystem services in conservation priority setting. *Journal of Geographical Sciences*, 27, 681-696.
19. **Luedtke, J.A., Chanson, J., Neam, K., Hobin, L., Maciel, A.O., Catenazzi, A., ... and Stuart, S.N., 2023.** Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature*, 622(7982), 308-314.
20. **Low, B.W., Zeng, Y., Tan, H.H. and Yeo, D.C., 2021.** Predictor complexity and feature selection affect Maxent model transferability: Evidence from global freshwater invasive species. *Diversity and Distributions*, 27(3), 497-511.
21. **Mohammadpour, N., Jahanishakib, F. and Asadolahi, Z., 2023.** Modeling the Supply of Habitat Service and Spatial Data mining of Hotspots in Arid Ecosystems. *Journal of Environmental Studies*, 49(1), 33-49. (In Persian with English abstract).
22. **Mohammadpour, N., Jahanishakib, F. and Asadolahi, Z., 2023.** Development of sustainable protection of biodiversity using modeling corridors of the landscape based on circuit theory. *Geography and Environmental Sustainability*, 13(4), 55-68.
23. **Moradi, M., Ashrafzadeh, M.R. and Naghipour, A.A., 2024.** Comparison of Bioclim, MaxNet and MaxEnt algorithms in predicting the distribution of Caspian snowcock (*Tetraogallus caspius*) in Iran. *Journal of Natural Environment*, 77(Ecology and Biodiversity Management), 163-174. (In Persian with English abstract).
24. **Mubarak, A., Amiri, M., Alvandi, R., Tehrani, M.E., Kia, H.Z., Khoshnamvand, A., ... and Browne, R.K., 2014.** A conservation reassessment of the critically endangered, Lorestan newt *Neurergus kaiseri* (Schmidt 1952) in Iran. *Amphibian and Reptile Conservation*, 9(1), 16-25.
25. **Majnounian, H., 2000.** Wildlife habitats in the world. Tehran, Iran: Department of Environment Publishing.
26. **Malekian, M., Sadeghi, P.A.R.I.S.A. and Goudarzi, F., 2018.** Assessment of environmental DNA for detection of an imperiled amphibian, the luristan newt (*Neurergus kaiseri*, Schmidt 1952). *Herpetological Conservation and Biology*, 13(1), 175-182.
27. **Niknaddaf, Z., Loeffler-Henry, K. and Hemami, M.R., 2023.** A guide to





Spatial Data Mining of Habitat Hotspots for The Endangered Lorestan Newt (*Neurergus Kaiseri* Schmidt, 1952) And Their Overlap with Existing Protected Areas

Faezeh Gheitani¹, Zahra Asadolahi², Mohammad Kaboli^{*1}

1*- Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Faculty of Natural Resources, Department of Environment and Fishery, Lorestan University, Lorestan, Iran

Original Article

Received:
2025.06.24

Accepted:
2025.09.11

Keywords:
Neurergus Kaiseri,
Habitat Suitability
Modeling,
Habitat Hotspots,
Protected Area
Network

Abstract

Introduction: Biodiversity has gained significant attention in recent decades due to growing awareness of its ecological role, global importance, and projected large-scale declines. The rapid pace of environmental degradation and biodiversity loss underscores the urgent need to protect areas that comprehensively represent regional biodiversity. Effective conservation requires establishing adequate networks of protected areas within each country, aligned with global strategies, to serve as refuges safeguarding diverse flora and fauna while ensuring their long-term survival. At a global scale, amphibians are the most threatened group of vertebrates. Currently, habitat degradation and destruction constitute the primary drivers of species and population declines. This study evaluates the efficacy of existing protected areas in conserving the Lorestan newt (*Neurergus kaiseri*), an endangered endemic species, across Lorestan and Khuzestan provinces in Iran.

Materials and Methods: This study utilized 62 presence points collected from historical literature, official records of the Lorestan Department of Environment, and local ecological knowledge. Habitat suitability was modeled using Maximum Entropy (MaxEnt) in RStudio. Spatial statistical methods—including the Getis-Ord Gi* hotspot analysis, Anselin Local Moran's I (for spatial autocorrelation), and Natural Breaks (Jenks) classification—were compared to identify critical habitat patches. The efficacy of existing protected areas for conserving the Lorestan newt was then evaluated by spatially overlaying these habitat hotspots with current protected area boundaries.

Results: The MaxEnt habitat suitability model demonstrated high reliability and predictive accuracy for Lorestan newt distribution, as evidenced by an AUC (Area Under the Curve) value of 0.95. Jackknife analysis identified the most influential environmental variables as: minimum temperature of the coldest month (Bio6), annual precipitation (Bio12), precipitation of the coldest quarter (Bio19), isothermality (Bio3), and elevation. Comparative evaluation of spatial analysis methods revealed that the Getis-Ord Gi* approach achieved superior performance in hotspot detection, with an AUC

of 0.96.

Discussion: Species distribution modeling has become an increasingly vital tool for supporting biodiversity conservation management. This study integrated maximum entropy modeling with spatial data mining techniques to identify habitat hotspots for the Lorestan newt and evaluate their overlap with existing protected areas. The results revealed that only 6% of critical habitat hotspots (31,520.16 out of 579,106.35 hectares) currently fall within protected area boundaries. Notably, Khuzestan Province - containing 54% of all identified hotspots - lacks any designated protected areas for this species. In contrast, two regions in Lorestan Province demonstrated high conservation efficacy: Shadabkuh 1 (98% overlap) and Tang-e Haft (93% overlap). These findings highlight three urgent conservation priorities: (1) comprehensive revision of the current protected area network, (2) establishment of new protected zones in northern Khuzestan, and (3) creation of habitat connectivity corridors to ensure long-term species survival.