

بررسی عوامل بوم‌شناختی مؤثر بر توزیع جغرافیایی بیماری لیشمانیوز

پوستی در استان فارس

فرزین شهریاری^۱، محمود رضا همایی^۲، کوروش عزیزی^۳، احمد علی حنفی بجد^۴، زهرا نیک نداف^{۵*}

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰)

چکیده

بیماری لیشمانیوز پوستی به عنوان یکی از مهم‌ترین بیماری‌های مشترک بین انسان و حیوان، تهدیدی جدی برای سلامت انسان است. عامل این بیماری انگل خونی بسیار ریز به نام لیشمانیوز است که از طریق ناقلین خاص (پشه خاکی) منتقل می‌شود و می‌تواند سبب بروز عفونت در میزبانهای مهره‌دار (مخازن: انسان یا حیوان) گردد. با توجه به شیوع بالای لیشمانیوز پوستی در استان فارس، مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی ناقل و مخازن اصلی با هدف شناسایی مناطق بالقوه در معرض خطر این بیماری با استفاده از الگوریتم MaxEnt انجام شد. تحلیل همپوشانی آشیان بوم‌شناختی گونه‌های هدف با استفاده از شاخص Schoener's D ارزیابی شد. نتایج نشان داد که ۸٪ از کل سطح استان فارس به عنوان مناطق با مطلوبیت بسیار بالا (مطلوبیت بیش از ۷۰٪) برای گونه‌های ناقل و مخازن است. بخش‌های مرکزی استان به عنوان پرخطرترین نواحی این بیماری شناخته شد. گستره زیستگاهی ناقل نسبت به مخازن وسیع‌تر بوده و همپوشانی زیستگاهی ناقل با مخازن، زیاد ارزیابی شد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند تصویر روشن‌تری از کانون‌های اولویت‌دار حفاظتی در مواجهه با این بیماری در ابعاد یک سیستم بهداشتی برای سیاست‌گذاران سلامت فراهم آورد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه، پشه خاکی، جوندگان، شاخص همپوشی آشیان شائر، بیماریهای زئونوز

۱. دانش آموخته ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، فارس، ایران.

۴. گروه بیولوژی و کنترل ناقلین بیماری‌ها، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

۵. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: zahraniknadaf@na.iut.ac.ir

مقدمه

گسترش بیماری‌های عفونی در هر منطقه جغرافیایی، پیامد برهم‌کنش پیچیده‌ای از عوامل محیط زیستی، اقلیمی، بوم‌شناختی و انسانی است. این عوامل اجزای اصلی چرخه انتقال بیماری، شامل عامل بیماری‌زا، ناقل، میزبان واسط و میزبان نهایی را در زمان و مکان مناسب گرد هم می‌آورد (۱ و ۱۶). در این چارچوب، مطالعات بوم‌شناختی، نقشی کلیدی در شناسایی، تحلیل و پیش‌بینی الگوهای مکانی و زمانی شیوع بیماری‌ها ایفا می‌کنند. این مطالعات با تمرکز بر تعاملات میان عوامل محیطی، زیستی و رفتاری، بستر تحلیلی دقیقی برای درک پویایی بیماری‌ها فراهم می‌سازند؛ از این رو، این مطالعات به‌عنوان ابزاری کارآمد در مدیریت کانون‌های بروز بیماری مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند (۲۲ و ۲۵).

یکی از بارزترین نمونه‌های بیماری‌های متأثر از شرایط بوم‌شناختی، لیشمانیوز پوستی (Cutaneous Leishmaniasis) است که به‌عنوان یک بیماری بومی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌ویژه در کشورهای خاورمیانه، از جمله ایران، شیوع گسترده‌ای دارد (۱ و ۱۳ و ۳۷). این بیماری یکی از شش بیماری مهم گرمسیری اعلام‌شده توسط سازمان جهانی بهداشت است که از نظر بار ناشی از بیماری‌های انگلی، پس از مالاریا در جایگاه دوم قرار دارد (۴ و ۵۳). لیشمانیوز پوستی نوعی عفونت انگلی پوستی ناشی از انگل‌های تک‌یاخته‌ای جنس *Leishmania* است که از طریق گزش پشه‌های خاکی ماده از زیرخانواده *Phlebotominae* منتقل می‌شود. به دلیل قابلیت انتقال بین حیوانات و انسان، این بیماری در رده عفونت‌های زئونوز قرار می‌گیرد و طیفی از پستانداران خون‌گرم به‌عنوان مخازن آن شناخته می‌شوند. در ایران این بیماری به لحاظ منبع و الگوی شیوع به دو شکل زئونوتیک یا حیوان-منشأ (معمولاً بیشتر در مناطق روستایی) و آنتروپونوتیک یا انسان-منشأ (بیشتر در مناطق شهری) تقسیم می‌شود. ناقل اصلی در فرم روستایی پشه خاکی *Phlebotomus papatasi* و در فرم شهری *Ph. sergenti* است که به ترتیب زخم‌های مرطوب و خشک را در انسان ایجاد

می‌کنند (۱۹). در نوع زئونوتیک، جوندگان همچون جرد لیبی (*Meriones libycus*) و جربیل هندی (*Tatera indica*) نقش مخزن اصلی بیماری را دارند، در حالی که در نوع شهری، انسان به‌عنوان مخزن عمده شناخته می‌شود. همچنین، دوره کمون بیماری بسته به فرم آن متفاوت بوده و از یک تا چند ماه متغیر است (۱۶).

در سال‌های گذشته، رویکردهای مختلفی برای شناسایی کانون‌های پرخطر این بیماری توسط پژوهشگران به‌کار گرفته شده است. برخی مطالعات با استفاده از مدل‌های فضایی در محیط ArcGIS به تجزیه و تحلیل پراکنش بیماری پرداخته‌اند (۱ و ۲۹ و ۳۴ و ۴۴)، در حالی که گروهی دیگر با ترکیب مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) با تحلیل‌های فضایی، اقدام به تهیه نقشه‌های اولویت‌بندی خطر و توزیع بیماری کرده‌اند (۳۶ و ۵۲). در سال‌های اخیر، رویکرد مدل‌سازی توزیع گونه‌ها (Species Distribution Models, SDMs) به‌عنوان ابزاری نوین و کارآمد در شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و کنترل بیماری‌ها، به‌ویژه در حوزه سلامت عمومی، مورد توجه قرار گرفته است (۳۹). مطالعات متعددی در ایران از این رویکرد برای شناسایی و تحلیل مناطق مستعد و پرخطر در جهت مدیریت بهتر بیماری بهره برده‌اند (۹ و ۲۲ و ۲۳ و ۴۳).

رویکرد مدل‌سازی توزیع گونه‌ها با تلفیق داده‌های مکانی مربوط به حضور گونه‌ها با متغیرهای محیطی، امکان ترسیم نقشه‌های خطر و شناسایی مناطق مستعد برای گسترش بیماری را فراهم می‌آورد. مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان به‌کارگیری این روش را در زمینه پیش‌بینی توزیع ناقلان لیشمانیوز گزارش کرده‌اند. برای نمونه، دل کارو و همکاران (۱۰) در برزیل از مدل MaxEnt برای پیش‌بینی پراکنش بالقوه *Lutzomyia longipalpis*، مهم‌ترین ناقل لیشمانیوز ویسرال در آمریکای جنوبی، استفاده کردند و دریافتند که برون‌زده‌های سنگی و تغییرات فصلی دما از عوامل کلیدی مؤثر بر پراکنش این گونه‌اند. همچنین، پرهام و همکاران (۳۸) در پژوهش خود، به بررسی

لیشمانیوز پوستی است؛ به گونه‌ای که نتایج حاصل بتواند در قالب راهکارهای علمی و اجرایی، به بهبود سیاست‌گذاری‌های سلامت عمومی و کنترل بیماری در سطح منطقه‌ای و ملی منجر شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

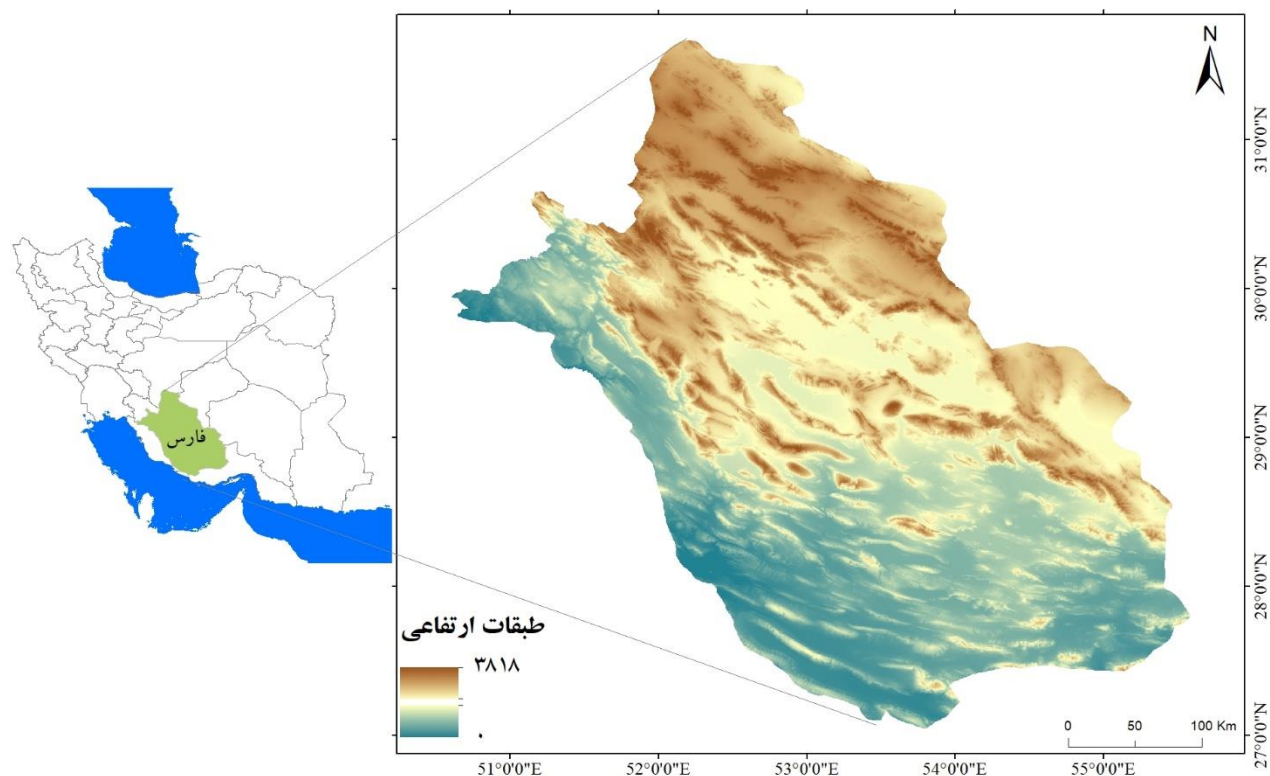
استان فارس با وسعتی بالغ بر ۱۲۲٬۶۰۸ کیلومتر مربع، یکی از پهناورترین استان‌های ایران به‌شمار می‌رود. رشته‌کوه‌های زاگرس که امتداد شمال‌غربی به جنوب‌شرقی دارند، این استان را به دو ناحیه طبیعی مجزا شامل ناحیه شمالی-شمال‌غربی و ناحیه جنوبی-جنوب‌شرقی تقسیم کرده‌اند. از نظر تقسیمات کشوری، استان فارس با برخورداری از ۲۹ شهرستان، رتبه نخست را در کشور داراست. طبق نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن در آبان ۱۳۹۳، جمعیت استان برابر با ۴٬۵۹۶٬۶۵۸ نفر بوده است که از این نظر پس از استان‌های تهران، خراسان رضوی و اصفهان، در جایگاه چهارم کشور قرار دارد. از این تعداد، ۲٬۳۱۵٬۹۱۴ نفر (۵۰/۴٪) مرد و ۲٬۲۸۰٬۷۴۴ نفر (۴۹/۶٪) زن بوده‌اند. همچنین ۶۷/۶٪ از جمعیت در نواحی شهری و ۳۲/۴٪ در نواحی روستایی ساکن بوده‌اند (شکل ۱ و منبع شماره ۵۰).

گونه‌های هدف

گونه‌های هدف این مطالعه در دو گروه مخازن و ناقل تقسیم‌بندی می‌شوند. جرد لیبی (*Meriones libycus*) و جربیل هندی (*Tatera indica*) مخازن و گونه فلپوتوموس پاپاتاسی (*Ph. papatasi*) ناقل این بیماری می‌باشند. جرد لیبی اغلب روزفعال بوده، به‌صورت اجتماعی زندگی می‌کند و لانه‌های خود را در مجاورت بوته‌ها و حاشیه جویبارها در اراضی کشاورزی ایجاد می‌نماید. این گونه در سراسر ایران پراکندگی دارد. جربیل هندی، جانوری شب‌فعال و کم‌تحمل نسبت به مناطق خشک است که عمدتاً در نزدیکی مزارع و در مجاورت انسان زندگی می‌کند. این گونه در جنوب کشور گسترش دارد، به‌طوری که

تأثیر تغییرات اقلیمی، عوامل محیطی و متغیرهای اجتماعی-اقتصادی بر الگوهای انتقال بیماری‌های منتقله توسط ناقلین پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که پدیده‌هایی نظیر گرمایش جهانی، دگرگونی در الگوهای بارش و تغییر کاربری اراضی می‌توانند با جابجایی جغرافیایی زیستگاه ناقلان و افزایش سطح تماس میان انسان و ناقل، زمینه‌ساز گسترش این بیماری‌ها در مناطق جدید باشند. در ایران نیز پژوهش‌های مشابهی انجام شده است. صوفی زاده و همکاران (۴۹) با استفاده از مدل‌سازی توزیع گونه‌ها، تأثیر متغیرهای محیطی را بر پراکنش فلپوتوموس پاپاتاسی در استان گلستان بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که پوشش گیاهی، متوسط درجه حرارت سالیانه، شیب و ارتفاع از سطح دریا از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر توزیع این گونه به شمار می‌آیند. همچنین، بزرگ-امید و همکاران (۷) با بهره‌گیری از مدل اقلیمی MIROC6 و سناریوهای SSP، تأثیر گرمایش جهانی بر الگوی ماهانه فعالیت فلپوتوموس پاپاتاسی در ایران را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تحت سناریوی SSP5-8.5، فصل فعالیت این ناقل، به‌ویژه در استان‌های جنوبی، یک تا دو ماه افزایش می‌یابد و این امر می‌تواند خطر انتقال بیماری را تشدید کند. این مجموعه از مطالعات، مؤید آن است که مدل‌سازی توزیع گونه‌ها ابزاری کارآمد در پیش‌بینی ریسک شیوع بیماری‌های منتقله از طریق ناقلین محسوب می‌شود (۸ و ۱۰ و ۳۸ و ۴۹).

ایران در میان شش کشور دارای بالاترین میزان شیوع لیشمانیوز پوستی در جهان قرار دارد (۳ و ۴ و ۴۷) و استان فارس یکی از مناطق با بیشترین گزارش ابتلا به این بیماری است (۹ و ۲۲ و ۳۸). شیوع این بیماری، هم نواحی روستایی و هم مناطق شهری را درگیر کرده است (۳۳). بر همین اساس، هدف پژوهش حاضر، بهره‌گیری از رویکردهای بوم‌شناختی و مدل‌سازی برای تحلیل رابطه میان عوامل محیطی (نظیر اقلیم، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و توپوگرافی)، پراکنش مخازن (جربیل لیبی و جربیل هندی)، ناقل اصلی انگل در استان فارس (*Ph. papatasi*) و عوامل انسان‌ساخت در بروز و تشدید کانون‌های بیماری



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

برای پشه خاکی فلبوتوموس پاپاتاسی شناسایی گردید. به منظور بررسی وجود خودهمبستگی مکانی در داده‌ها، آزمون موران (Moran's I) مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، برای کاهش تأثیر خودهمبستگی مکانی، از ابزار Hawth's Tools در نرم‌افزار ArcGIS 10.8.2 استفاده شد. در نهایت در مجموع ۵۶ نقطه حضور برای گونه‌های مخزن (۲۶ نقطه برای جرد لیبی و ۳۰ نقطه برای جربیل هندی) و ۷۱ نقطه برای پشه خاکی فلبوتوموس پاپاتاسی به عنوان نقاط حضور به مدل وارد شد.

متغیرهای مستقل محیطی

۲ متغیر اقلیمی استخراج شده از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور برای استان فارس سالهای ۱۳۵۶ تا ۱۳۹۵ و ۵ متغیر محیطی از سازمان زمین‌شناسی، وزارت نیرو، و سازمان جنگل‌ها و آبخیزداری گردآوری شد (جدول ۱). لازم به ذکر است که نقشه‌های پیوسته متغیرهای اقلیمی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی تهیه

جنوب غربی کشور، به ویژه استان‌های خوزستان، بوشهر و ایلام، کانون‌های اصلی حضور این گونه به شمار می‌روند (۴۸ و ۵۴). پشه خاکی فلبوتوموس پاپاتاسی نیز گونه‌ای با پراکندگی وسیع در سراسر دنیای قدیم (به استثنای استرالیا و قطب جنوب) است (۴۷) و ایران یکی از کانون‌های اصلی حضور این ناقل محسوب می‌شود (۳۶). به‌طوریکه در بیش از نیمی از استان‌های ایران پراکنده است (۴۶). شایان ذکر است که ۶۳٪ از پراکنش بیماری لیشمانیوز در ایران مربوط به مناطق روستایی است (۱۵ و ۱۷).

جمع‌آوری و پیش‌پردازش نقاط حضور

بخش اعظم اطلاعات مربوط به نقاط حضور گونه‌های هدف از طریق پیمایش مستقیم میدانی (۱۱۳ نقطه حضور) جمع‌آوری شد. همچنین با مرور منابع علمی موجود (۱۸ و ۲۸) تعداد ۵ نقطه حضور جرد لیبی و ۲۲ نقطه حضور پشه خاکی جمع‌آوری گردید. در مجموع، ۶۹ نقطه حضور برای گونه‌های مخزن (۳۴ نقطه برای جرد لیبی و ۳۵ نقطه برای جربیل هندی) و ۸۵ نقطه

جدول ۱. متغیرهای مستقل مورد استفاده در تحلیل به همراه مقادیر عامل تورم واریانس.

شماره	متغیرهای اولیه	واحد	منبع	ارزش VIF
۱	بارندگی	میلی‌متر (mm)	سازمان هواشناسی کشور	۲/۷۰
۲	تعداد ساعات آفتابی	ساعت		۲/۶۲
۳	میزان شیب اراضی	درصد (%)	سازمان زمین‌شناسی	۱/۱۱
۴	فاصله از آبگیرها و دریاچه‌ها	متر (m)	وزارت نیرو	۲/۱۶
۵	فاصله از جنگل	متر (m)	سازمان جنگل‌ها و آبخیزداری	۱/۶۷
۶	فاصله از اراضی کشاورزی	متر (m)		۱/۶۰
۷	فاصله از مناطق مسکونی (شهری و روستایی)	متر (m)		۴/۱۹

گردد. بدین صورت که روش درونیابی برای تولید این نقشه‌ها به‌کار رفت (۲۹) و به منظور اعتبارسنجی برآوردها، از روش جک‌نایف و ارزیابی متقابل بهره گرفته شد. سپس با استفاده از ضریب تورم واریانس (Variance Inflation Factor, VIF) بسته "usdm" در نرم‌افزار R متغیرهای دارای همبستگی بالا (بیش از ۰/۹) حذف شد. در نهایت، ۷ متغیر با قدرت تفکیک ۳۵۰ متری به‌عنوان ورودی مدل (Maximum Entropy Modeling, MaxEnt) انتخاب شدند (جدول ۱).

ارزیابی همپوشانی زیستگاه

در این بخش، به‌منظور تحلیل همپوشانی زیستگاهی گونه‌ها، از نرم‌افزار ENM Tools و شاخص همپوشانی آشپان شائر (Schoener's D) بهره‌گیری گردید. این شاخص اختلاف زیستگاه‌ها در طیفی از دسته‌ها را به‌صورت عددی بیان می‌کند و ابزاری مناسب برای سنجش همپوشانی فضایی گونه‌ها است. مقادیر این شاخص از صفر تا یک متغیر است. بدین ترتیب، هر چقدر نتیجه به دست آمده به ارزش یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده همپوشانی بیشتر دو آشپان بوم‌شناختی است (۴۲).

نتایج

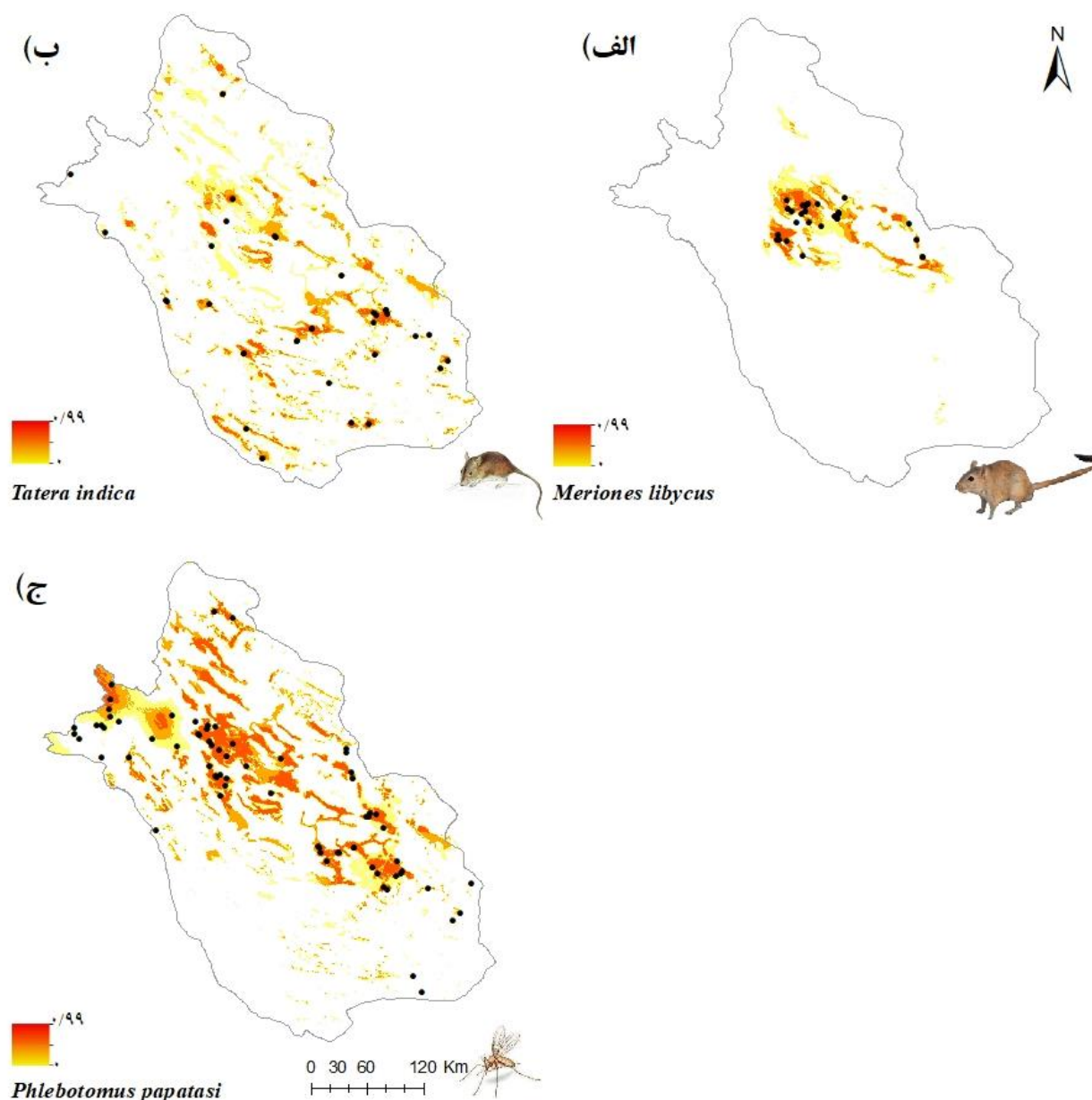
بر اساس نتایج مدل‌سازی، گستره‌ی زیستگاه مطلوب گونه‌ی ناقل (*Ph. papatasi*) نسبت به دو گونه‌ی مخزن، وسعت بیشتری دارد (شکل ۲). شایان ذکر است که کمترین وسعت زیستگاه مطلوب مربوط به گونه‌ی جرد لیبی بود و در نواحی مرکزی استان

گردد. بدین صورت که روش درونیابی برای تولید این نقشه‌ها به‌کار رفت (۲۹) و به منظور اعتبارسنجی برآوردها، از روش جک‌نایف و ارزیابی متقابل بهره گرفته شد. سپس با استفاده از ضریب تورم واریانس (Variance Inflation Factor, VIF) بسته "usdm" در نرم‌افزار R متغیرهای دارای همبستگی بالا (بیش از ۰/۹) حذف شد. در نهایت، ۷ متغیر با قدرت تفکیک ۳۵۰ متری به‌عنوان ورودی مدل (Maximum Entropy Modeling, MaxEnt) انتخاب شدند (جدول ۱).

مدلسازی آشپان بوم‌شناختی

به‌منظور مدل‌سازی پراکنش گونه‌ها، از الگوریتم MaxEnt بهره‌گیری شد. این مدل به دلیل مزایایی مانند عدم نیاز به داده‌های عدم‌حضور و توان پیش‌بینی بالا حتی با داده‌های اندک، کاربرد گسترده‌ای در مطالعات بوم‌شناسی دارد (۱۷ و ۲۵ و ۳۶ و ۳۷). اندازه سلول‌ها برای تحلیل، متناسب با مقیاس مطالعه و دامنه حرکتی گونه‌ها، برابر ۳۵۰ متر تعیین شد. در هر اجرای مدل، ۷۵٪ داده‌ها برای آموزش و ۲۵٪ برای آزمون مدل تخصیص یافتند. نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی بدون جای‌گذاری و با ۱۰ بار تکرار انجام شد تا از توزیع مناسب داده‌ها در سطح منطقه اطمینان حاصل شود.

عملکرد مدل با استفاده از دو شاخص، شاخص مساحت زیر منحنی (Area Under the Curve, AUC) منحنی ویژگی عملکرد



شکل ۲. نقشه مطلوبیت زیستگاهی گونه‌های جرد لیبی (الف)، جربیل هندی (ب) و پشه خاکی فلبوتوموس پاپاتاسی (ج) در استان فارس.

(بیش از ۷۰٪) برای هر سه گونه که دارای همپوشی با یکدیگر بودند، معادل ۸٪ از کل استان فارس برآورد گردید (جدول ۲). بر اساس میانگین دو شاخص عملکردی مدل، یعنی قابلیت تشخیص (AUC) و درستی طبقه‌بندی (TSS) مشخص شد که تمامی مدل‌ها از صحت پیش‌بینی خوبی برخوردارند (جدول ۳). منحنی‌های پاسخ، اثر هر متغیر محیطی را بر احتمال حضور گونه‌ها نمایش می‌دهند. احتمال حضور هر سه گونه با افزایش

فارس به‌دست آمد. نسبت مساحت زیستگاه مطلوب گونه‌های مخزن، شامل جرد لیبی و جربیل هندی، نسبت به کل مساحت استان فارس به‌ترتیب ۵۰/۶۰٪ و ۱۱/۸۱٪ تخمین زده شد. در مقابل، بیشترین مساحت زیستگاه مطلوب در استان مربوط به گونه‌ی ناقل فلبوتوموس پاپاتاسی و معادل ۱۶/۸۶٪ از کل استان بود. همچنین، درصد سطح زیستگاه‌های با مطلوبیت بسیار بالا

جدول ۲. درصد زیستگاه‌های مطلوب برای گونه‌های مخازن و ناقلین مورد استفاده در مدلسازی، مطالعه موردی استان فارس.

گونه	درصد مساحت مطلوب نسبت به مساحت کل استان	درصد مساحت زیستگاه‌های بسیار مطلوب (مطلوبیت بیش از ۷۰٪) نسبت به کل استان
جرد لیبی	۵/۶۰	۱/۵۴
جربیل هندی	۱۱/۸۱	۱/۶۸
فلبوتوموس پاپاتاسی	۱۶/۸۵	۴/۸۴
(مناطق مشترک) هر دو گونه مخزن با یکدیگر	۵/۶۰	

جدول ۳. مقادیر قابلیت تشخیص (AUC) و درستی طبقه‌بندی (TSS).

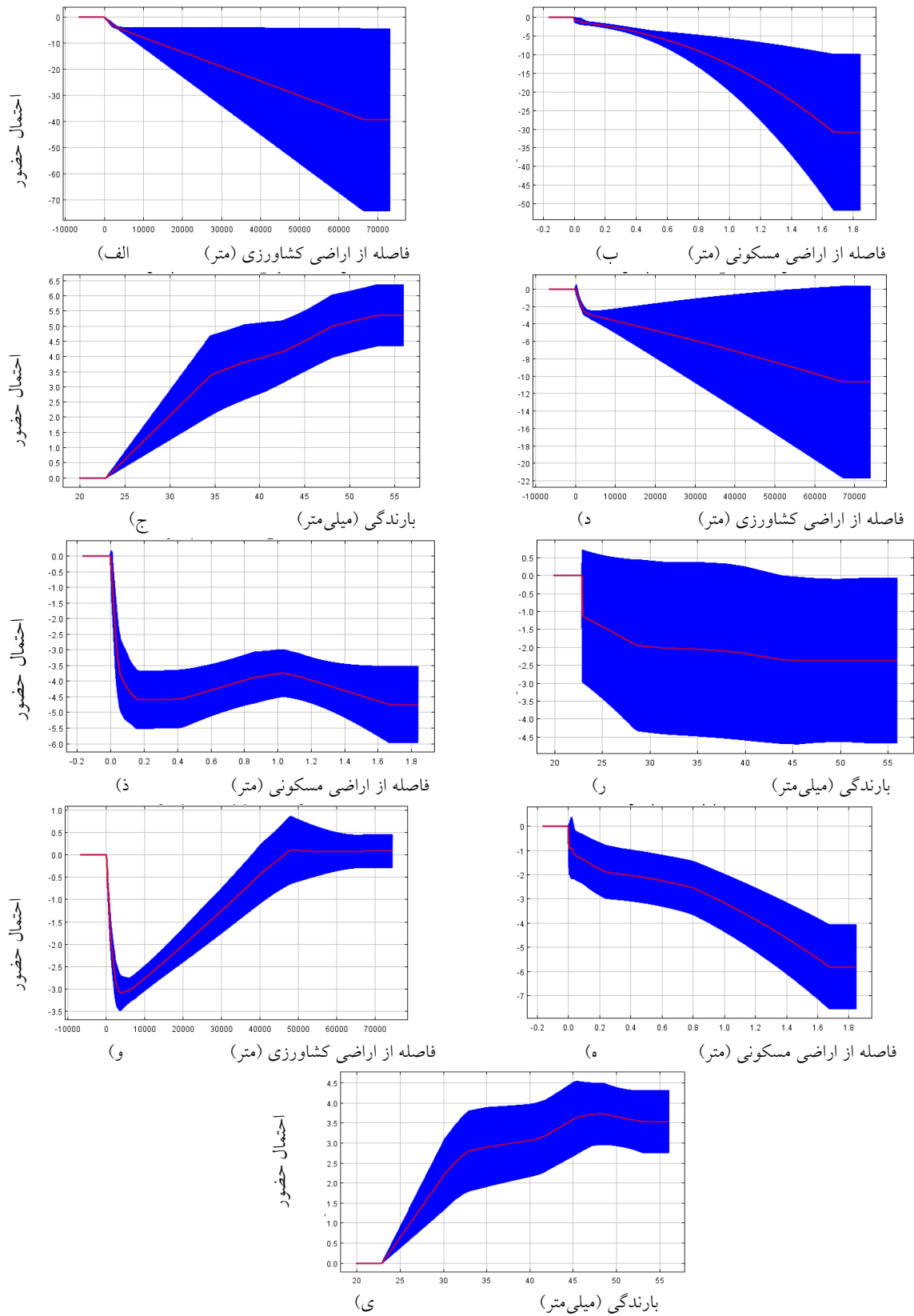
Species	AUC	TSS
<i>M. libycus</i>	۰/۹۷	۰/۸۷
<i>T. indica</i>	۰/۹۱	۰/۶۷
<i>Ph. papatasi</i>	۰/۸۳	۰/۵۰

جدول ۴. تحلیل مشارکت متغیرهای اقلیمی و محیطی در گونه‌های مخازن و ناقل، مطالعه موردی استان فارس.

متغیر	جرد لیبی	جربیل هندی	فلبوتوموس پاپاتاسی
	درصد	درصد	درصد
	مشارکت	مشارکت	مشارکت
	جایگشتی	جایگشتی	جایگشتی
فاصله از جنگل	۲/۱۰	۱۷/۹۲	۷/۳۱
فاصله از اراضی کشاورزی	۳۶/۹۰	۵۴/۰۴	۴۹/۱۴
فاصله از آبگیرها و دریاچه‌ها	۲۹/۰۹	۸/۱۲	۹/۱۶
بارندگی	۳/۳۷	۰/۳۱	۲۱/۲۸
شیب	۱۲/۱۷	۲/۱۲	۲/۸۸
تعداد ساعات آفتابی	۳/۹۸	۲/۷۶	۵/۵۲
فاصله از مناطق مسکونی	۱۲/۴۰	۱۴/۷۲	۴/۷۲

مدل را تأیید می‌کند (جدول ۴ و شکل ۳). برای گونه‌ی جربیل هندی، احتمال حضور این گونه با افزایش فاصله از اراضی کشاورزی کاهش و با فاصله گرفتن از اراضی جنگلی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. متغیرهای فاصله از اراضی کشاورزی و مسکونی در مجموع ۷۳/۱۳٪ از مشارکت مدل را تشکیل داده‌اند. بیشترین کاهش AUC در این مدل نیز مربوط به جایگزینی متغیر فاصله از اراضی کشاورزی بود. مقدار AUC در این مدل ۰/۹۱ و انحراف معیار آن ۰/۵۶ گزارش شد (جدول ۴ و شکل ۳).

شیب، افزایش می‌یابد. اما در مقابل، با فاصله گرفتن از آبگیرها، دریاچه‌ها و مناطق مسکونی، احتمال حضور گونه‌ها کاهش می‌یابد. برای گونه‌ی جرد لیبی، متغیرهای فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از آبگیرها و دریاچه‌ها، فاصله از اراضی مسکونی و شیب در مجموع ۹۰/۵۶٪ از مشارکت مدل را شامل شدند. بیشترین کاهش AUC نیز در صورت جایگزینی متغیر فاصله از اراضی کشاورزی با داده‌های پس‌زمینه مشاهده شد. مقدار سطح زیر منحنی (ROC) در این مدل برابر با ۰/۹۷ و انحراف معیار آن ۰/۰۴ برآورد شد که این مقدار عملکرد مطلوب



شکل ۳. منحنی‌های پاسخ مهم‌ترین متغیرها برای گونه‌های جرد لیبی (الف، ب، ج)، جریبل هندی (د، ذ، ر) و فلبوتوموس پاپاتاسی (و، ه، ی).

جدول ۵. میزان همپوشانی آشیان‌های بالقوه گونه‌های مخازن و ناقلین با یکدیگر بر اساس شاخص شانون (Schoener's D).

فلبوتوموس پاپاتاسی	جربیل هندی	جرد لیبی	
۰/۶۵۴	۰/۴۲۲	۱	جرد لیبی
۰/۴۹۵	۱	۰/۴۲۲	جربیل هندی
۱	۰/۴۹۵	۰/۶۵۴	فلبوتوموس پاپاتاسی

یافته‌ها با مطالعات پیشین مبنی بر احتمال بالای حضور این گونه‌ها در نواحی مرکزی و جنوبی ایران مطابقت دارد (۱۶). همچنین، تحلیل همپوشانی آشیان بوم‌شناختی نشان داد که زیستگاه گونه‌های مخزن، همپوشانی بالایی با زیستگاه گونه‌ی ناقل دارد. آزمون‌های آماری نیز این مشابهت را به صورت معناداری تأیید کردند. به عبارت بیشتر، نتایج نشان‌دهنده آن است که زیستگاه مطلوب گونه‌ی ناقل، زیستگاه‌های مطلوب گونه‌های مخزن را دربر گرفته است. از آنجا که منابع خونی (مخازن) نقش حیاتی در چرخه انتقال لیشمانیوز دارند (۵). بنابراین، همپوشانی زیستگاه آن‌ها با ناقلین، اهمیت ویژه‌ای در کنترل اپیدمی بیماری دارد. در مطالعه‌ای مشابه، حنفی‌بجد و همکاران (۱۹) با استفاده از مدل‌سازی پراکنش ناقلین *Ph. papatasi* و *Ph. sergenti* در ایران طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳، گزارش نمودند که بیش از ۶۰ درصد مناطق هدف، پتانسیل بالایی در انتقال بیماری دارند که بخش عمده‌ای از آن‌ها در نواحی مرکزی کشور قرار دارند.

گسترده‌ی زیستگاه‌های پیش‌بینی‌شده برای گونه‌های مورد مطالعه در سطح استان، می‌تواند ناشی از چند عامل باشد: محدود بودن تعداد متغیرهای ورودی اقلیمی، و همچنین پراکنش وسیع جربیل هندی در سطح استان. این گونه، براساس داده‌های میدانی، از بیشترین فراوانی در میان جوندگان صیدشده در استان برخوردار بوده و حتی در مناطق شمالی استان نیز مشاهده شده است؛ از این رو، می‌توان آن را به‌عنوان مهم‌ترین مخزن لیشمانیوز پوستی در استان فارس معرفی کرد. تحلیل نقش متغیرهای اقلیمی و محیطی در مدل‌سازی نشان داد که عواملی همچون فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از آبگیرها و دریاچه‌ها، بارندگی، شیب زمین، فاصله از جنگل و فاصله از مناطق مسکونی بیشترین تأثیر را بر پراکنش گونه‌ها دارند. این نتایج با یافته‌های سایر مطالعات

در مورد گونه‌ی ناقل فلبوتوموس پاپاتاسی، فاصله از اراضی کشاورزی و بارندگی در مجموع ۷۴/۱٪ از مشارکت مدل را شامل شدند. بیشترین احتمال حضور گونه در بازه‌ای مشاهده شد که بارندگی بین ۵۰ تا ۵۵ میلی‌متر قرار داشت. احتمال حضور این گونه با فاصله گرفتن از اراضی مسکونی، کاهش و با فاصله گرفتن از اراضی کشاورزی افزایش میابد (جدول ۴ و شکل ۳).

جدول ۵ مقادیر همپوشانی آشیان بوم‌شناختی مخازن و ناقل را بر اساس شاخص D شانون نمایش می‌دهد. این نتایج نشان داد که آشیان بوم‌شناختی دو گونه‌ی مخزن با یکدیگر دارای همپوشانی ۰/۴۲ و هر یک از آن‌ها با گونه‌ی ناقل دارای همپوشانی ۰/۶۵ بوده‌اند. بر این اساس، کمترین و بیشترین همپوشانی آشیان به ترتیب میان مخازن (جرد لیبی و جربیل هندی) و میان ناقل با هر یک از مخازن (جرد لیبی و فلبوتوموس پاپاتاسی و یا جربیل هندی و فلبوتوموس پاپاتاسی) برآورد شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، از مدل‌سازی آشیان بوم‌شناختی به‌منظور بررسی پراکنش جغرافیایی و شناسایی مهم‌ترین متغیرهای محیطی مؤثر بر حضور گونه‌های ناقل و مخزن لیشمانیوز پوستی در استان فارس استفاده شد. در این راستا، فاکتورهای اقلیمی و محیطی مؤثر بر پراکنش، و همچنین نقشه‌های مطلوبیت زیستگاه گونه‌های هدف تهیه و تحلیل گردید. ارزیابی صحت مدل، حاکی از عملکرد مناسب الگوریتم MaxEnt در پیش‌بینی پراکنش این گونه‌ها بود. بر اساس نتایج، گستره‌ی زیستگاه مطلوب جرد لیبی در نواحی مرکزی استان فارس متمرکز بوده و نسبت به گونه‌های جربیل هندی و فلبوتوموس پاپاتاسی محدودتر برآورد شد. این

در ایران نیز مطابقت دارد (۱۶ و ۲۴ و ۴۴). همچنین، محمدی و همکاران (۳۲) به نقش عوامل اجتماعی-اقتصادی همچون نرخ بالای بی‌سوادی، تراکم جمعیت، کیفیت پایین محیط‌زیست و ویژگی‌های زمین‌شناسی خاص، در تشدید شیوع لیشمانیوز در نواحی شهری اشاره کرده‌اند.

از نظر بوم‌شناختی، جوندگان نقش مخربی در اراضی کشاورزی ایفا می‌کنند، چراکه این اراضی منبع غذا و محل لانه‌سازی آن‌هاست. بنابراین، با فاصله گرفتن از اراضی کشاورزی، زیستگاه مطلوب آن‌ها کاهش می‌یابد؛ این نکته با منحنی‌های پاسخ به دست‌آمده همخوانی دارد. برای مثال، جرد لیبی عمدتاً در نواحی بیابانی و نیمه‌بیابانی با تپه‌های شنی تثبیت‌شده زیست می‌کند و در نواحی جنگلی حضور ندارد (۴۳). لذا فاصله‌گیری از جنگل موجب افزایش مطلوبیت زیستگاه برای این گونه می‌شود. بررسی نقشه‌های اقلیمی استان نیز نشان داد که حضور این گونه در مناطق خشک و نیمه‌خشک استان متمرکز است.

در مورد جربیل هندی نیز مشخص شد که نزدیکی به اراضی کشاورزی باعث افزایش احتمال حضور آن می‌شود؛ زیرا این گونه توانایی بقا در نواحی خشک را نداشته و اغلب در مجاورت زیستگاه‌های انسانی و کشتزارها یافت می‌شود. در مطالعه لیاو و همکاران (۳۰)، زیستگاه مطلوب جرد لیبی در ارتفاع میانگین حدود ۲۵۰۰ متر از سطح دریا گزارش شد. به طور مشابه، بر اساس نتایج این مطالعه، بیشترین احتمال حضور گونه در شیب ۸ تا ۹ درصد برآورد شد و شرایط زیستی گونه در شیب کمتر از این بازه کاهش می‌یابد. در رابطه با گونه‌ی ناقل فلبوتوموس پاپاتاسی، بارندگی مهم‌ترین متغیر اقلیمی پیش‌بینی‌کننده حضور محسوب شد و محدوده‌ی دمایی بهینه برای فعالیت آن در حدود ۴۰ تا ۴۵ میلی‌متر برآورد گردید (۲۵). در مطالعات مشابه، متغیرهایی چون ارتفاع (۲۴ تا ۲۵۶۸ متر)، نوع خاک، پوشش

اراضی، دما، رطوبت، بارش و دسترسی به مواد آلی به‌عنوان عوامل مؤثر بر زیستگاه این گونه شناسایی شده‌اند (۲۷ و ۲۸ و ۵۱ و ۵۲). ابراهیمی و همکاران (۹) نیز ارتباط مثبت بین ارتفاع و سایت‌های زادآوری این گونه را گزارش کرده‌اند. به‌طورکلی، شرایط محیطی همچون آب، دما، بارش، رطوبت، جهت جغرافیایی، شیب، پوشش زمین و نوع خاک از عوامل کلیدی در مراحل مختلف رشد و تکامل پشه خاکی فلبوتوموس پاپاتاسی هستند (۴ و ۱۰ و ۱۲ و ۲۱). از آنجا که حشره ماده برای تخم‌ریزی نیاز به خونخواری دارد، حضور در نزدیکی سکونتگاه‌های انسانی، برای بقای جمعیت این گونه حیاتی است. همچنین وجود مواد آلی در خاک‌های کشاورزی و مناطق مسکونی شرایط ایده‌آلی برای تغذیه‌ی لاروها فراهم می‌آورد. بنابراین، کاهش مطلوبیت زیستگاه این گونه در فاصله گرفتن از این اراضی قابل‌توجیه است.

در پایان، انتخاب راهبرد مناسب برای کنترل لیشمانیوز جلدی روستایی نیازمند در نظر گرفتن نوع بیماری، گونه‌های ناقل و مخزن، پراکنش جغرافیایی آن‌ها، ویژگی‌های زیستی و اپیدمیولوژیکی، و همچنین عوامل انسانی و محیطی است. نتایج این مطالعه، بر اهمیت پایش و مدیریت تغییرات کاربری اراضی، کنترل جمعیت جوندگان، و استفاده از روش‌های نوین در کشاورزی جهت کاهش جمعیت ناقلین تأکید دارد. همچنین، با توجه به سابقه‌ی خشکسالی‌های متوالی در استان فارس و کاهش منابع آبی، احتمال افزایش حضور جوندگان وجود دارد. در صورت عدم کنترل مناسب، احتمال شیوع گسترده بیماری وجود خواهد داشت.

سپاسگزاری

از آقای دکتر سعید پورمنافی برای ارائه نظرات و پیشنهادات راهگشای ایشان سپاسگزاریم.

منابع

1. Alimohammadi, A. and Mozafari, Z. 2013. The role of time intervals in modeling the relationship between the distribution of cutaneous leishmaniasis and environmental variables using remote sensing and GIS techniques.

- In: Proceedings of the Second Specialized Seminar on Applications of Geoinformatics Sciences and Technology in Health System (Geoinformatics in Service of Healthy Environment)*; Tehran, Iran. (In Persian).
- Alvar, J., Velez, I. D., Bern, C., Herrero, M., Desjeux, P., Cano, J., Jannin, J. and Boer, M. D. 2012. WHO Leishmaniasis Control Team. Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence. *PLoS ONE* 7: e35671.
 - Badirzadeh, A., Mohebbali, M., Asadgol, Z., Soong, L., Zeinali, M., Mokhayeri, Y., Shirzadi, M.R. & Spotin, A. 2017. The burden of leishmaniasis in Iran, acquired from the global burden of disease during 1990–2010. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*. 7(9):513–518.
 - Bakhshizadeh, F. 2011. The role of climate in the prevalence of cutaneous leishmaniasis. 1st ed. Jahad Daneshgahi Publications, Tehran, Iran. (In Persian).
 - Baneth, G., Petersen, C., Solano-Gallego, L. and Sykes, J. E. 2022. Leishmaniosis. pp. 1179–1202. *In: Sykes, J. E. (Ed.), Greene's Infectious Diseases of the Dog and Cat*. 5th ed. W.B. Saunders. St. Louis, Missouri.
 - Bamorovat, M., Sharifi, I., Aflatoonian, M., Salarkia, E., Afshari, S., Pourkhosravani, M., Karamoozian, A., Khosravi, A., Aflatoonian, B., Sharifi, F., Divsalar, H., Amiri, B. and Shirzadi, M.R. 2024. A prospective longitudinal study on the elimination trend of rural cutaneous leishmaniasis in southeastern Iran: climate change, population displacement, and agricultural transition from 1991 to 2021. *Science of the Total Environment* 913: 169684.
 - Bozorg-Omid, F., Kafash, A., Jafari, R., Akhavan, A.A., Rahimi, M., Foroushani, A.R., Youssefi, F., Shirzadi, M.R., Taghizadeh, A.O. and Hanafi-Bojd, A.A. 2023. Predicting current and future high-risk areas for vectors and reservoirs of cutaneous leishmaniasis in Iran. *Scientific Reports* 13(1): 11546.
 - Bozorg-Omid, F., Youssefi, F., Hassanpour, G., Foroushani, A.R., Rahimi, M., Shirzadi, M.R., Jafari, R. and Hanafi-Bojd, A.A. 2025. Predicting the Effect of Temperature Changes on *Phlebotomus papatasi* Activity, as the main vector of Zoonotic Cutaneous Leishmaniasis in Iran. *Transboundary and Emerging Diseases* 2025(1): 9518371.
 - Charrahy, Z., Yaghoobi-Ershadi, M.R., Shirzadi, M.R., Akhavan, A.A., Rassi, Y., Hosseini, S.Z., Webb, N., Haque, U., Bozorg-Omid, F. and Hanafi-Bojd, A.A. 2022. Climate change and its effect on the vulnerability to zoonotic cutaneous leishmaniasis in Iran. *Transboundary and Emerging Diseases* 69: 1506–1520.
 - Del Carro, K. B., Leite, G. R., de Oliveira Filho, A. G., Dos Santos, C. B., de Souza Pinto, I., Fux, B. and Falqueto, A. 2020. Assessing geographic and climatic variables to predict the potential distribution of the visceral leishmaniasis vector *Lutzomyia longipalpis* in the state of Espírito Santo, Brazil. *PLoS One* 15(9): e0238198.
 - Ebrahimi, S., Bordbar, A., Rastaghi, A. R. E. and Parvizi, P. 2016. Spatial distribution of sand fly species (Psychodidae: Phlebotominae), ecological niche, and climatic regionalization in zoonotic foci of cutaneous leishmaniasis, southwest of Iran. *Journal of Vector Ecology* 41: 103–109.
 - Entezari, M. and Eskandari, F. 2014. Relationship between climatic factors and the prevalence of cutaneous leishmaniasis in Larestan City. *Journal of Military Medicine* 16(2): 99–104. (In Persian).
 - Fakhari, A. Akbarpour, M. 2011. Study of cutaneous leishmaniasis in an endemic focus using GIS and RS in Iran. *In: Proceedings of the First Congress on Application of Information Technology in Health*; 2011 Oct 19–20; Sari, Iran. (In Persian).
 - Ferreira, A. L., Sessa, P. A., Varejão, J. B. and Falqueto, A. 2001. Distribution of sand flies (Diptera: Psychodidae) at different altitudes in an endemic region of American cutaneous leishmaniasis in the State of Espírito Santo, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 96: 1061–1067.
 - Firouraghi, N., Mohammadi, A., Hamer, D.H., Bergquist, R., Mostafavi, S.M., Shamsoddini, A., Raouf-Rahmati, A., Fakhari, M., Moghaddas, E. and Kiani, B. 2022. Spatio-temporal visualization of cutaneous leishmaniasis in an endemic urban area in Iran. *Acta Tropica* 225: 106181.
 - Firooz, A., Mortazavi, H., Khamesipour, A., Ghiasi, M., Abedini, R., Balighi, K., Esmaili, N., Nassiri-Kashani, M., Eskandari, S.E., Mohebbali, M., Mohammadi, A.M. and Dowlati, Y. 2021. Old world cutaneous leishmaniasis in Iran: Clinical variants and treatments. *Journal of Dermatological Treatment* 32(7): 673–683.
 - Ghatei, M. A., Taylor, W. R. and Karamian, M. 2020. The geographical distribution of cutaneous leishmaniasis causative agents in Iran and its neighboring countries: A review. *Frontiers in Public Health* 8: 11.
 - Gholamrezaei, M., Mohebbali, M., Hanafi-Bojd, A. A., Sedaghat, M. M. and Shirzadi, M. R. 2016. Ecological niche modeling of main reservoir hosts of zoonotic cutaneous leishmaniasis in Iran. *Acta Tropica* 160: 44–52.
 - Golpayegani, A. A., Moslem, A. R., Akhavan, A. A., Zeydabadi, A., Mahvi, A. H. and Allah-Abadi, A. 2018. Modeling of environmental factors affecting the prevalence of zoonotic and anthroponotic cutaneous, and zoonotic visceral leishmaniasis in foci of Iran: a remote sensing and GIS based study. *Iranian Journal of Arthropod Borne Diseases* 18; 12(1): 41–66.
 - Guisan, A. and Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147–186.
 - Hanafi-Bojd, A. A., Vatandoost, H., Oshaghi, M. A., Charrahy, Z., Haghdoost, A. A., Zamani, G., Abedi, F., Sedaghat, M. M., Soltani, M., Shahi, M. and Raeisi, A. 2012. Spatial analysis and mapping of malaria risk in an endemic area, south of Iran: A GIS-based decision-making tool for control planning. *Acta Tropica* 122(1): 132–137.

22. Hanafi-Bojd, A. A., Yaghoobi-Ershadi, M. R., Haghdost, A. A., Akhavan, A. A., Rassi, Y., Karimi, A. and Charrahy, Z. 2015. Modeling the distribution of cutaneous leishmaniasis vectors (Psychodidae: Phlebotominae) in Iran: A potential transmission in disease-prone areas. *Journal of Medical Entomology* 52(4): 557–565.
23. Hanafi-Bojd, A. A., Sedaghat, M. M., Vatandoost, H., Azari-Hamidian, S. H. and Pakdad, K. 2018. Predicting environmentally suitable areas for *Anopheles superpictus* Grassi (s.l.), *Anopheles maculipennis* Meigen (s.l.) and *Anopheles sacharovi* Favre (Diptera: Culicidae) in Iran. *Parasites & Vectors* 11(382): 1–12.
24. Heshmati, H. 2014. Modeling vulnerability to cutaneous leishmaniasis in Isfahan Province: A case study of Azhieh city. Master's thesis, Isfahan: University of Isfahan. (In Persian).
25. Holakouie-Naieni, K., Mostafavi, E., Bolorani, A. D., Mohebbi, M. and Pakzad, R. 2017. Spatial modeling of cutaneous leishmaniasis in Iran from 1983 to 2013. *Acta Tropica* 166: 67–73.
26. IUCN. 2024. *International Union for Conservation of Nature*. Available from: <https://www.iucn.org/>. Accessed Sep 12, 2024.
27. Javanbakht, M., Saghaipour, A., Ezimand, K., Hamta, A., Zanjirani Farahani, L. and Soltani, N. 2021. Identification of climatic and environmental factors associated with the incidence of cutaneous leishmaniasis in Central Iran using satellite imagery. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 11(1): 40–46.
28. Kaky, E., Nolan, V., Alatawi, A. and Gilbert, F. 2020. A comparison between ensemble and MaxEnt species distribution modeling approaches for conservation: A case study with Egyptian medicinal plants. *Ecological Informatics* 60: 101150.
29. Karimi, S. 2013. Spatio-temporal analysis of cutaneous leishmaniasis in Kermanshah Province. Master's thesis. Isfahan: University of Isfahan. (In Persian).
30. Karimi, A., Hanafi-Bojd, A.A., Yaghoobi-Ershadi, M.R., Akhavan, A.A. & Ghezelbash, Z. 2014. Spatial and temporal distributions of phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae), vectors of leishmaniasis, in Iran. *Acta Tropica* 132: 131–9. (In Persian).
31. Kassem, H. A., El-Sayed, Y. A., Baz, M. M., Kenawy, M. A. and El Sawaf, B. M. 2009. Climatic factors influencing the abundance of *Phlebotomus papatasi* (Scopoli) (Diptera: Psychodidae) in the Nile Delta. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology* 39: 305–316.
32. Khosravi, R., Hemami, M. R. and Malekian, M. 2014. Comparison of geostatistical methods to determine the best bioclimatic data interpolation method for modeling species distribution in Central Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology* 3(8): 55–68. (In Persian).
33. Liao, J. C., Wang, Y., Zhao, L. M. and Liu, N. F. 2010. Effects of environmental factors on organ mass of midday gerbil (*Meriones meridianus* Pallas, 1773). *Mammalian Biology* 75: 381–388.
34. Maracy, M.R., Jafary, F., Ebrahimi, A., Sokhanvari, F., Heidari, A., Sharifan-Koupaiee, H., Fadaei, R., Ramazanpour, J. and Moazeni, M. 2021. GIS-based risk mapping of cutaneous leishmaniasis: A survey in an endemic area of Central Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 28(3): 57470–57485.
35. Mohammadi Pour, F. 2014. Study of some climatic elements on the prevalence of cutaneous leishmaniasis (Kala-azar) in Sajazi city. Master's thesis, Isfahan: University of Isfahan. (In Persian).
36. Mohammadi, A., Davidson, H. H., Pishgar, E. and Bergquist, R. 2025. Spatial modelling to identify high-risk zones for the transmission of cutaneous leishmaniasis in hyperendemic urban environments: A case study of Mashhad, Iran. *Health & Place* 91: 103394.
37. Nilforoushadeh, M. and Sadaghian, G. 2002. Cutaneous leishmaniasis. 1st ed. Ornaj Publications, Isfahan, Iran. (In Persian).
38. Parham, P.E., Waldock, J., Christophides, G.K., Hemming, D.L., Augusto, F.B., Evans, K.J., Fefferman, N., Gaff, H., Gumel, A.B., LaDeau, S., Lenhart, S., Mickens, R.E., Naumova, E.N., Ostfeld, R., Ready, P.D., Thomas, M.B., Velasco-Hernandez, J.X. and Michael, E. 2015. Climate, environmental and socio-economic change: weighing up the balance in vector-borne disease transmission. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370(1665): 20130551.
39. Pareyn, M., Rutten, A., Merdekios, B., Wedegärtner, R., Girma, N., Regelbrugge, L., Shibr, S. and Leirs, H. 2020. High-resolution habitat suitability model for *Phlebotomus pedifer*, the vector of cutaneous leishmaniasis in southwestern Ethiopia. *Parasites & Vectors* 13: 467.
40. Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araujo, M. B. 2011. Ecological niches and geographic distributions. Monographs in Population Biology: Princeton University Press, USA.
41. 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.
42. Razavi, M. R., Shirzadi, M. R., Mohebbi, M., Yaghoobi-Ershadi, M. R. and Vatandoost, V. 2019. Human cutaneous leishmaniasis in Iran: Up to date-2019. *Journal of Arthropod-Borne Diseases* 15: 25.

43. Ramezani Azghandi, S., Farashi, A., Najjari, M. and Hosseini, M. 2021. Habitat modeling of *Meriones persicus* species as a reservoir of leishmaniasis in Iran. *Journal of Research in Environmental Health* 7(1): 87–94.
44. Ramezankhani, R., Hosseini, A., Sajjadi, N., Khoshabi, M. and Ramezankhani, A. 2017. Environmental risk factors for the incidence of cutaneous leishmaniasis in an endemic area of Iran: A GIS-based approach. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* 21(1): 57–66.
45. Sabzevari, S., Teshnizi, S. H., Shokri, A., Bahrami, F. and Kouhestani, F. 2021. Cutaneous leishmaniasis in Iran: A systematic review and meta-analysis. *Microbial Pathogenesis* 152: 104721.
46. Schoener, T. W. 1968. The anolis lizards of bimini: resource partitioning in a complex fauna. *Ecology* 49: 704–726.
47. Sedaghat, M. M. and Salahi Moghaddam, A. 2010. Mapping distribution of the important Rodents reservoir in Iran. *Annals of military and health sciences research* 8(31): 210–223. (In Persian).
48. Shahryari, A., Charkazi, A. and Rajabi, A. 2023. Environmental factors and building conditions for risk of cutaneous leishmaniasis in the northeast of Iran: A population-based case-control study. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 117(5): 375–382.
49. Sofizadeh, A., Rassi, Y., Vatandoost, H., Hanafi-Bojd, A. A., Mollalo, A., Rafizadeh, S. and Akhavan, A. A. 2017. Predicting the distribution of phlebotomus papatasi (diptera: psychodidae), the primary vector of zoonotic cutaneous leishmaniasis, in golestan province of Iran using ecological niche modeling: comparison of MaxEnt and GARP models. *Journal of medical entomology* 54(2): 312–320.
50. Statistical Centre of Iran, 2011. Detailed results of the 2011 national population and housing census: Fars province. statistical centre of Iran. Available online at: <https://amar.org.ir/statistical-information>. Accessed 24 October 2024. (In Persian)
51. Takahashi, E. A., Masoud, L., Mukbel, R., Guitian, J. and Stevens, K. B. 2020. Modeling habitat suitability in Jordan for the cutaneous leishmaniasis vector (*Phlebotomus papatasi*) using multicriteria decision analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 14(11): 1–29.
52. Talari, S., Shajari, G. and Talaei, R. 2006. Clinical finding of cutaneous leishmaniasis as a new focus of Iran. *Research Journal of Microbiology* 5(2):1-5
53. World Health Organization. 2015. Leishmaniasis. World Health Organization. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/leishmaniasis>. Accessed 12 Sep 2024.
54. Ziai, H. 2011. Field guide to mammals of Iran. Wildlife Awareness Group, Tehran, Iran. (In Persian).

Assessment of Ecological Factors Impacting the Distribution of Cutaneous Leishmaniasis in Fars Province

Farzin Shahriari¹, Mahmoud-Reza Hemami², Kourosh Azizi³, Ahmad Ali Hanafi-Bojd⁴, Zahra Niknaddaf^{5*}

(Received: May 19-2025; Accepted: August 11-2025)

Abstract

Cutaneous leishmaniasis is a significant zoonotic disease posing a serious threat to human health. Caused by the protozoan parasite *Leishmania*, it is transmitted by specific vectors (sand flies) and can cause infection in vertebrate hosts (reservoirs: humans or animals). Due to the high prevalence of the disease in Fars province, the ecological niches of the main vectors and reservoirs were modeled using the MaxEnt algorithm to identify potential high-risk areas. Niche overlap among target species was analyzed using Schoener's D index. Results indicated that 8% of the total area of the province is highly suitable (>70% suitability) for the vector and reservoir species. The central parts of the province were identified as the highest-risk regions. The vector's habitat range was wider than that of the reservoirs, and a significant habitat overlap was observed between them. These findings provide a clearer picture of priority conservation hotspots for health system policymakers in managing this disease.

Keywords: Habitat suitability modeling, Fuzzy logic, Sandflies, Rodents, Schoener's D index, Zoonotic diseases

1. Master's Graduate in Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 2. Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 3. Professor, Faculty of Medical Sciences, Shiraz University, Fars, Iran.
 4. Professor, Department of Vector Biology & Control of Diseases, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
 5. PhD student, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
- * Corresponding Author, Email: zahrniknaddaf@na.iut.ac.ir