



<https://sppl.ui.ac.ir/?lang=en>

Spatial Planning

E-ISSN: 2476-3357

Document Type: Research Paper

Vol. 16, Issue 3, No.62, 2026, pp. 29- 50

Received: 25/04/2026

Accepted: 08/07/2026

Modeling and Spatial Mapping of Cutaneous Leishmaniasis (CL) Distribution in Isfahan Province Using Machine Learning Algorithms

Fatemeh Abbasi

M.Sc., Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran
F.abbasi79@geo.ui.ac.ir

Reza Zakerinejad  *

Assistant professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran
R.Zakerinejad@geo.ui.ac.ir

Abdollah Seif

Associate professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran
A.Seif@geo.ui.ac.ir

Abstract

Cutaneous Leishmaniasis (CL) is a significant vector-borne parasitic disease with substantial public health, social, and economic impacts, particularly in endemic regions like Iran. This retrospective study aimed to model the spatial susceptibility of CL in Isfahan Province, Iran, from 2021 to 2023, utilizing 6,353 confirmed cases reported by local health centers. A comprehensive set of independent variables—including climatic indicators, topographic factors, vegetation indices (NDVI, EVI), land use, population density, and distance from water bodies—were integrated and analyzed within a Geographic Information Systems (GIS) framework. Spatial modeling was performed using LightGBM and Classification and Regression Trees (CART) algorithms with model performance evaluated through overall accuracy, sensitivity, specificity, and the area under the receiver operating characteristic curve (AUC). The LightGBM model demonstrated superior predictive performance (AUC=0.992, accuracy=96.55%) compared to the CART model (AUC=0.975, accuracy=96.65%). Spatial susceptibility mapping identified central and northwestern regions—including Isfahan, Khomeynishahr, Najafabad, Falavarjan, Barkhar, Mobarakeh, Kashan, and Aran and Bidgol—as high-risk areas. Variable

*Corresponding Author

Abbasi, F. , Zakerinejad, R. and Seif, A. (2026). Modeling and Predicting the Spatial Distribution of Cutaneous Leishmaniasis in Isfahan Province Using Machine Learning Algorithms. *Spatial Planning*, 16 (3), 29- 50 .

2476-3357 © The Author(s).

Published by University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/sppl.2026.148536.1880

importance analysis revealed that land use, seasonal average wind speed, distance from water bodies, and seasonal Enhanced Vegetation Index (EVI) were the most influential environmental predictors. These findings underscore the critical role of climatic and environmental factors in CL distribution and provide actionable spatial insights for targeted public health planning and vector control interventions in Isfahan Province. LightGBM is recommended as the preferred model for future susceptibility mapping endeavors.

Keywords: Modeling, Cutaneous Leishmaniasis, Geographic Factors, Data Mining.

Introduction

Cutaneous Leishmaniasis (CL) is one of the most important vector-borne diseases, posing significant public health, social, and economic challenges worldwide. It is a parasitic disease that can manifest in cutaneous, mucocutaneous, or visceral forms (Shabanpour et al., 2022). CL is transmitted by female sandflies (Phlebotominae) and its causative agent is a protozoan parasite of the genus *Leishmania*. Transmission occurs from animal reservoirs, mainly domestic and wild rodents, to humans, causing skin ulcers that may persist for up to a year on the face, hands, and feet. These lesions impose psychological and social burdens, affecting patients' quality of life. In Iran, CL occurs in urban (dry) and rural (wet) forms. In urban areas, humans are the main reservoir, and *Phlebotomus sergenti* transmits *Leishmania tropica*. In rural areas, wild rodents act as reservoirs and *Phlebotomus papatasi* transmits *Leishmania major* (Mollalo et al., 2018; Shirzadi, 2012). Iran is considered an endemic focus with official records of approximately 20,000 new cases annually although actual numbers are likely higher (Shirzadi, 2012; Rath & Hanafi-Bojd, 2006). Geographic factors play a critical role in disease distribution and Geographic Information Systems (GIS) provide tools for spatial analysis and visualization of CL patterns, facilitating public health planning and policy decisions (Bayatani & Sadeghi, 2012).

Materials & Methods

This retrospective study was conducted in Isfahan Province, Iran, from 2021 to 2023, by using all confirmed CL cases reported by health centers of Isfahan Province and Kashan County, totaling 6,353 records. The dependent variable was CL occurrence, while independent variables included climatic indicators (minimum, maximum, and mean temperature, precipitation, relative humidity, soil moisture, solar radiation, and wind speed), topographic factors (elevation, slope, and aspect), vegetation indices (NDVI and EVI), land use, population density, and distance from water bodies. Data were preprocessed, integrated, and analyzed in ArcGIS 10.8.2. Spatial modeling was performed by using LightGBM and CART algorithms in RStudio 2025.06.14 with 70% of the data used for training and 30% for testing. In the LightGBM model, parameters were set as follows: learning_rate=0.05, number of trees (nrounds)=600, num_leaves=31, max_depth=-1, min_data_in_leaf=10, feature_fraction=0.8, bagging_fraction=0.8, and bagging_freq=5. In the CART model, the complexity parameter (cp) was set to 0.001, minsplit=20, minbucket=7, and maxdepth=30. Model performance was evaluated by using overall accuracy, sensitivity, specificity, ROC curves, and the area under the curve (AUC). High-risk areas were mapped and classified into 5 susceptibility classes, ranging from very low to very high and the relative importance of environmental variables was assessed for each model.

Research Findings

The spatial modeling of CL in Isfahan Province yielded distinct performance outcomes for the two algorithms employed. The LightGBM model demonstrated an overall accuracy of 96.55%, a Kappa coefficient of 0.9309, sensitivity of 95.44%, specificity of 97.59%, and an area under the curve (AUC) of 0.992. In comparison, the CART model achieved an overall accuracy of 96.65%, a Kappa coefficient of 0.9142, sensitivity of 97.61%, specificity of 94.00%, and an AUC of 0.975.

Spatial susceptibility mapping based on the LightGBM-generated sensitivity map categorized Isfahan Province into 5 risk classes ranging from very low to very high. Peripheral areas, particularly eastern counties, such as Naein and Khur and Biabanak, exhibited very low susceptibility. In contrast, central and some northwestern regions demonstrated higher susceptibility to CL.

Variable importance analysis revealed that the most influential environmental predictors in the LightGBM model were land use, seasonal average wind speed, distance from water bodies, and seasonal Enhanced Vegetation Index (EVI) values. The CART model showed consistent spatial patterns, identifying land use, wind speed, summer relative humidity, and EVI as key predictors.

Overall, the findings confirmed that climatic and environmental factors—including land use, 3-year average EVI, relative humidity, and wind speed—were key determinants of CL distribution in the study area with high-risk areas primarily concentrated in central and northwestern regions, including Isfahan, Khomeynishahr, Najafabad, Falavarjan, Barkhar, Mobarakeh, Kashan, and Aran and Bidgol.

Discussion of Results & Conclusion

The performance evaluation of the LightGBM model indicated an overall accuracy of 96.55%, a Kappa coefficient of 0.9309, sensitivity of 95.44%, specificity of 97.59%, and an AUC of 0.992. The CART model achieved an overall accuracy of 96.65%, a Kappa coefficient of 0.9142, sensitivity of 97.61%, specificity of 94.00%, and an AUC of 0.975. The sensitivity map generated by LightGBM categorized Isfahan Province into 5 risk classes. Peripheral areas, especially eastern counties, such as Naein and Khur and Biabanak, exhibited very low sensitivity, whereas central and some northwestern regions showed higher susceptibility. Variable importance analysis revealed that the most influential factors in LightGBM included land use, seasonal average wind speed, distance from water bodies, and seasonal EVI values. Similarly, the CART model showed consistent spatial patterns with land use, wind speed, summer relative humidity, and EVI as key predictors.

The performance evaluation showed that the LightGBM model (AUC=0.992) outperformed the CART model (AUC=0.975) in discriminating between infected and healthy areas. Therefore, LightGBM is recommended as the superior model for spatial susceptibility mapping of cutaneous leishmaniasis in Isfahan Province. CART, due to its simpler structure and interpretability, can serve as a baseline model for comparing other machine learning algorithms. Spatial sensitivity mapping revealed that high-risk areas were primarily concentrated in central and northwestern regions, including Isfahan, Khomeynishahr, Najafabad, Falavarjan, Barkhar, Mobarakeh, Kashan, and Aran and Bidgol. Modeling results confirmed that climatic and environmental factors, including land use, 3-year average Enhanced Vegetation Index (EVI), relative humidity, and wind speed, were key determinants of cutaneous leishmaniasis distribution. These findings are consistent with previous studies ([Mollalo et al., 2018](#); [Kosgei, 2024](#)).

مدل‌سازی و پهنه‌بندی توزیع مکانی بیماری سالک در استان اصفهان با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین

فاطمه عباسی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

F.Abbasi79@geo.ui.ac.ir

رضا ذاکری‌نژاد*، استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

R.Zakerinejad@geo.ui.ac.ir

عبدالله سیف، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

A.Seif@geo.ui.ac.ir

چکیده

لیشمانیوز پوستی از مهم‌ترین بیماری‌های منتقله از ناقل در ایران است و استان اصفهان به‌عنوان یکی از کانون‌های فعال آن، نیازمند شناسایی نواحی پرخطر جهت بهینه‌سازی برنامه‌های پیشگیری و کنترل است. هدف این پژوهش، مدل‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت مکانی بروز لیشمانیوز پوستی در شهرستان‌های استان اصفهان طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. در این مطالعه گذشته‌نگر، متغیرهای اقلیمی، پوشش گیاهی، توپوگرافی، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و تراکم جمعیت به‌عنوان متغیرهای مستقل و موارد تأییدشده بیماری به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. داده‌ها پس از پیش‌پردازش در ArcGIS 10.8 با الگوریتم‌های CART و LightGBM در RStudio 2025.06.14 مدل‌سازی شدند. نتایج نشان داد مدل LightGBM با دقت ۹۶/۵۵٪، ضریب کاپای ۹۳/۰۹٪ و سطح زیر منحنی (AUC) برابر ۰/۹۹۲ نسبت به مدل CART با دقت ۹۶/۶۵٪، ضریب کاپای ۹۱/۴۲٪ و سطح زیر منحنی (AUC) برابر ۰/۹۷۵ عملکرد بهتری داشت. براساس مدل LightGBM به‌عنوان مدل برتر، پهنه‌بندی حساسیت مشخص کرد ۹۳/۶۱٪ مساحت استان در کلاس بسیار کم‌خطر و تنها ۳/۴۳٪ در کلاس‌های خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد که عمدتاً در بخش‌های مرکزی و شمال‌غربی استان شامل شهرستان‌های اصفهان، خمینی‌شهر، نجف‌آباد، فلاورجان، برخوار، مبارکه، کاشان و آران و بیدگل متمرکز شده‌اند. مهم‌ترین عوامل مؤثر در پیش‌بینی بیماری شامل کاربری اراضی، سرعت باد، شاخص EVI و فاصله از آبراهه بودند. این یافته‌ها با شناسایی دقیق نواحی پرخطر، به برنامه‌ریزی هدفمند اقدامات پیشگیرانه و کنترلی در سطح استان کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، سالک، عوامل جغرافیایی، داده‌کاوی

*نویسنده مسئول

عباسی، فاطمه، ذاکری‌نژاد، رضا و سیف، عبدالله. (۱۴۰۵). مدل‌سازی و پیش‌بینی توزیع مکانی بیماری سالک در استان اصفهان با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، برنامه‌ریزی فضایی، ۱۶ (۳)، ۵۰-۲۹.



مقدمه

لیشمانیوز جلدی (Cutaneous Leishmaniasis) یکی از مهم‌ترین بیماری‌های منتقله توسط بندپایان است که چالش بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی بزرگی در سطح جهان ایجاد می‌کند. لیشمانیوز نام گروهی از بیماری‌های انگلی است که به اشکال مختلفی نظیر احشایی جلدی (سالک) و مخاطی - جلدی ظاهر شده است (Shabanpour et al., 2022). این بیماری چندمخزنی توسط پشه خاکی ماده (Phlebotominae) منتقل می‌شود (Mollalo et al., 2018) و عامل آن تک‌یاخته‌ای از گروه تازکداران، خانواده تریپانوزماتیده و جنس لیشمانیا است که به وسیله گزش پشه ناقل از خانواده پسیکودیده، زیرخانواده فلبوتومینه از مخازن حیوانی (عمدتاً جوندگان اهلی و وحشی) و انسانی به فرد سالم منتقل شده و علائم آن به صورت زخم‌هایی است که می‌تواند تا یک سال روی بدن (صورت، دست، پا و ...) باقی بماند (شیرزادی، ۱۳۹۱). این ضایعات پوستی مخرب بار روانی - اجتماعی برای بیمار دارد و کیفیت زندگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sadeghi et al., 2024). سلامت به معنای برخورداری از رفاه کامل جسمی، روانی و اجتماعی است، نه صرفاً نبود بیماری یا ناتوانی جسمی. تعریف سازمان جهانی بهداشت از تندرستی چنین است: تندرستی تنها به معنای نبود بیماری یا ناتوانی نیست؛ بلکه حالتی از سلامت کامل جسمی، روانی، اجتماعی و اقتصادی برای هر فرد در جامعه به شمار می‌رود (عبدالله‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). بیماری‌ها می‌توانند منشأ عفونی داشته باشند و بر سلامت جسمی و روانی فرد اثر بگذارند (Todeschini et al., 2024). در ایران، لیشمانیوز جلدی به دو فرم شهری (خشک) و روستایی (مرطوب) دیده می‌شود (اخوان و همکاران، ۱۴۰۲). در فرم شهری مخزن اصلی انسان‌های مبتلا و ناقل پشه خاکی ماده آلوده به انگل لیشمانیا تروپیکا از گونه فلبوتوموس سرژنتی است. در فرم روستایی مخزن عمدتاً جوندگان صحرایی و ناقل پشه خاکی ماده آلوده به انگل لیشمانیا ماژور از گونه فلبوتوموس پاپاتاسی است (Norouzi & Moradi, 2019). براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، لیشمانیوز در ۹۸ کشور بومی است و بیش از ۳۵۰ میلیون نفر در معرض خطر ابتلا هستند. سالانه حدود ۱.۵ تا ۲ میلیون مورد لیشمانیوز پوستی و ۵۰۰ هزار مورد لیشمانیوز احشایی در سطح جهان رخ می‌دهد و این بیماری پس از مالاریا دومین مشکل بهداشتی دنیا محسوب می‌شود (میرزاخانی، ۱۳۹۲).

بیش از دوسوم موارد جدید CL در شش کشور از جمله ایران، افغانستان، الجزایر، برزیل، کلمبیا و سوریه رخ می‌دهد (جعفری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷). ایران یکی از کانون‌های مهم این بیماری در جهان است و آمار ثبت‌شده مبتلایان به فرم جلدی سالیانه حدود ۲۰ هزار نفر گزارش شده است، درحالی‌که تخمین‌ها حاکی از آن است که رقم واقعی ۴ یا ۵ برابر بیشتر باشد (راثی و حنفی بجد، ۱۳۸۵؛ شیرزادی، ۱۳۹۱). با توجه به تمرکز جغرافیایی این بیماری در مناطق خاص، عامل مکان در مطالعات بهداشت عمومی اهمیت ویژه‌ای دارد. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان مجموعه‌ای از ابزارها، امکان تجزیه و تحلیل و ارائه بصری رویدادهای بهداشت عمومی را با در نظر گرفتن مکان و زمان، فراهم و به انتقال ساده اطلاعات پیچیده به سیاست‌گذاران و عموم کمک می‌کنند (بیاتانی و صادقی، ۱۳۹۱).

در رابطه با بیماری سالک مطالعات فراوانی با اهداف و روش‌های گوناگونی انجام شده است که به تعدادی از آنها خواهیم پرداخت. شیرزادی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی عوامل بوم‌شناختی موثر بر توزیع جغرافیایی لیشمانیوز پوستی در استان فارس پرداختند. برای شناسایی مناطق بالقوه پرخطر، مدل‌سازی آشیان ناقل و مخازن اصلی با استفاده از الگوریتم MaxEnt انجام شد و همپوشانی زیستگاهی با شاخص Schoener's ارزیابی شد. نتایج نشان داد

حدود ۸٪ از سطح استان با مطلوبیت بسیار بالا برای ناقل و مخازن هستند و بخش‌های مرکزی استان به‌عنوان پرخطرترین نواحی شناسایی شدند. همچنین گستره زیستگاهی ناقل وسیع‌تر و همپوشانی آن با مخازن زیاد بود. این یافته‌ها می‌تواند به برنامه‌ریزی حفاظتی و تصمیم‌گیری در حوزه سلامت عمومی کمک کند. صفوی و همکاران (۱۴۰۴) در پژوهشی به بررسی تأثیر عوامل محیطی بر شیوع لیشمانیوز جلدی در شهرستان جیرفت طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰ پرداختند. داده‌های محیطی شامل دما، بارندگی، روزهای آفتابی و رطوبت سازمان هواشناسی جمع‌آوری شد و با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و R تحلیل شد. نتایج نشان داد میزان بارندگی و ساعات آفتابی تأثیر منفی بر تعداد موارد داشت و روند کلی بروز بیماری در این سال‌ها کاهش یافته بود؛ هرچند در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۴۰۰ افزایش مشاهده شد. پژوهشگران بر ادامه مداخلات پیشگیرانه و بهبود تشخیص و درمان برای کنترل لیشمانیوز اندمیک منطقه تأکید کردند. گتو و همکاران در پژوهشی شیوع لیشمانیوز احشایی انسانی را در شرق آفریقا با مرور سیستماتیک و متاآنالیز بررسی کردند. با استفاده از داده‌های ۳۹ مقاله و نرم‌افزار STATA 17، شیوع ترکیبی ۲۶/۱۶٪ محاسبه شد. همچنین عوامل خطر شامل جنسیت، سن، تعداد اعضای خانواده، حضور تپه‌های موریانه، حیوانات اهلی، خواب در فضای باز، افراد مبتلا در خانواده و منابع آبی نزدیک به خانه بودند. نتایج نشان داد که اقدامات آموزشی و پیشگیرانه مانند آگاهی‌بخشی درباره عوامل انتقال و روش‌های کنترل بیماری برای کاهش شیوع ضروری است (Geto et al., 2024). تودشینی و همکاران در پژوهشی روند زمانی و ویژگی‌های محیطی و اپیدمیولوژیک لیشمانیوز انسانی را در شمال ایتالیا بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۲ بررسی کردند. در این بازه، ۱۷۳ مورد ابتلا ثبت شد که ۱۵۴ مورد آن بومی بودند و اوج‌گیری موارد با تابستان‌های خشک همزمان بود. بیشتر بیماران در مناطق کم‌ارتفاع، حاشیه‌ای و نزدیک به منابع طبیعی زندگی می‌کردند. شیوع لیشمانیوز در سگ‌ها در این مدت افزایش نیافت (Todeschini et al., 2024).

یافته‌ها نشان دادند شرایط محیطی و اقلیمی در گسترش بیماری نقش مهمی دارند. گشو و همکاران در پژوهشی همه‌گیری فضایی اشکال بالینی مختلف لیشمانیوز جلدی و روش‌های درمان را در شمال غرب اتیوپی بررسی کردند. این مطالعه بین سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۴ در بیمارستان دانشگاه گوندور انجام شد و ۴۵۴ بیمار از ۴۹ ناحیه تحلیل شدند. اکثر بیماران، مردان زیر ۳۰ سال بودند و در ۷۰٪ موارد، ضایعات پوستی بزرگ‌تر از ۴ سانتی‌متر گزارش شد. درمان اصلی، سدیم استیوگلوکونات بود و بار انگلی در بیماران حاد بیشتر از بیماران مزمن بود. توزیع جغرافیایی موارد در نواحی گسترده‌ای مشاهده شد؛ اما تمرکز بالایی در گوندور مرکزی داشت. نزدیک به نیمی از بیماران، علائم مزمن و تأخیر در درمان داشتند (Gashaw et al., 2025). همچنین، عباس‌زاده و همکاران در پژوهشی در پژوهشی شیوع و روند زمانی لیشمانیوز جلدی را در شهرهای تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی سبزوار طی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ بررسی کردند. داده‌های بیماران ثبت شده در سامانه دانشگاه با استفاده از شاخص موران، SPSS و آزمون کای دو تحلیل شد. بیشترین شیوع در سال ۲۰۱۴ و کمترین در سال ۲۰۱۸ گزارش شد و شهرهای سبزوار و جوبین بیشترین موارد ابتلا را داشتند. مردان بیش از زنان مبتلا بودند و دست‌ها و پاها بیشترین محل درگیری بودند (عباس‌زاده و همکاران، ۱۴۰۴).

با مرور مطالعات انجام‌شده، روشن می‌شود مجموعه‌ای غنی از دانش در زمینه بیماری لیشمانیوز و عوامل مؤثر بر آن شکل گرفته است. این پیشینه علمی، بستر ارزشمندی برای گسترش پژوهش‌های نوین فراهم کرده و نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های نوظهور مانند یادگیری ماشین می‌تواند افق‌های تازه‌ای در تحلیل و مدل‌سازی توزیع مکانی

بیماری بگشاید. مطالعات پیشین نشان داده‌اند، بهره‌گیری تلفیقی از داده‌های محیطی، اقلیمی، جمعیتی و فضایی در کنار الگوریتم‌های هوشمند، راهکاری مؤثر برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و کاربردی‌تر خواهد بود؛ البته چالش‌های نیز در این زمینه وجود دارند. از جمله یکی از مهم‌ترین شکاف‌های تحقیقاتی در مدل‌سازی لیشمانیوز جلدی، محدودیت مدل‌های موجود در تلفیق هم‌زمان عوامل زیستی، محیطی و اجتماعی و نیز کمبود بهره‌گیری از روش‌های نوین هوش مصنوعی برای پیش‌بینی شیوع و ارزیابی مداخلات است. مدل‌های فعلی اغلب به داده‌های ناقل و مخزن محدود می‌شوند و تغییرات اقلیمی و داده‌های مکانی - زمانی را به‌طور جامع لحاظ نمی‌کنند. علاوه بر این، اعتبارسنجی مدل‌ها در شرایط واقعی و مناطق جغرافیایی متنوع هنوز ناکافی است که نیاز به توسعه مدل‌های یکپارچه، پویا و مبتنی بر داده‌های واقعی را برجسته می‌کند. بر این اساس، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (LightGBM و CART) و داده‌های چند منظوره محیطی، بیوکلیماتیکی و جمعیتی به مدل‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت مکانی سالک در استان اصفهان می‌پردازد.

مبانی نظری

سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) به‌عنوان فناوری‌های نوین، نقش حیاتی در علوم سلامت ایفا می‌کنند. GIS با قابلیت جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌های مکانی و زمانی، امکان شناسایی الگوهای پراکندگی بیماری‌ها و ارتباط آنها با عوامل محیطی را فراهم می‌آورد (Nayak et al., 2021). این سیستم‌ها با ترکیب نقشه و پایگاه داده، به‌ویژه در پایش بیماری‌های عفونی، مدیریت بحران، برنامه‌ریزی واکسیناسیون و شناسایی جمعیت‌های آسیب‌پذیر، به ابزاری مؤثر در تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد تبدیل شده‌اند (لک بالا، ۱۳۹۷). مطالعات اخیر نشان‌دهنده توسعه گسترده کاربرد GIS در حوزه سلامت، شامل پایش اپیدمی‌ها، مدل‌سازی بیماری‌ها و شناسایی مناطق پرخطر در ایران و جهان است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۵). فناوری‌های GIS و RS برای ترسیم نقشه‌ها، مدل‌سازی بیماری‌ها و شناسایی عوامل مهم ژئوکلیمایی و محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی بسیار کارآمد هستند و در بررسی عوامل خطر ساز و ارتباط آنها با پراکنش بیماری‌ها نقش ارزشمندی ایفا می‌کنند (صفوی و همکاران، ۱۴۰۴).

بیماری لیشمانیوز جلدی، شایع‌ترین فرم بیماری لیشمانیوز، یک بیماری انگلی پوستی است که در اثر گزش پشه خاکی آلوده به انگل *Leishmania* منتقل می‌شود و عمدتاً نواحی باز بدن را درگیر می‌کند. این بیماری، هرچند معمولاً تهدیدکننده حیات نیست، می‌تواند منجر به زخم‌های پوستی و اسکارهای دائمی شود که بر کیفیت زندگی فرد تأثیر می‌گذارد. علائم بالینی با ظهور یک پاپول قرمز رنگ در محل گزش آغاز شده و پس از هفتی به ندول خشک یا مرطوب و گاهی زخم باز تبدیل می‌شود که تعداد و اندازه آن متغیر است (شیرزادی، ۱۳۹۱). لیشمانیوز جلدی در ایران به‌طور بومی، بین انسان و حیوان مشترک بوده و عامل آن تک‌یاخته‌ای از جنس *Leishmania* است که از طریق نیش پشه‌های خاکی ماده (*Phlebotomus*) منتقل می‌شود. از نظر اپیدمیولوژی، به دو دسته شهری (خشک) و روستایی (مرطوب) تقسیم می‌شود؛ سالک شهری عمدتاً توسط *Leishmania tropica* ایجاد می‌شود و انتقال انسان به انسان دارد؛ درحالی‌که سالک روستایی که بیشتر توسط *Leishmania major* ایجاد می‌شود، از طریق جوندگان و با گزش پشه خاکی *Phlebotomus papatasi* منتقل می‌شود (شیرزادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Alvar et al., 2012).

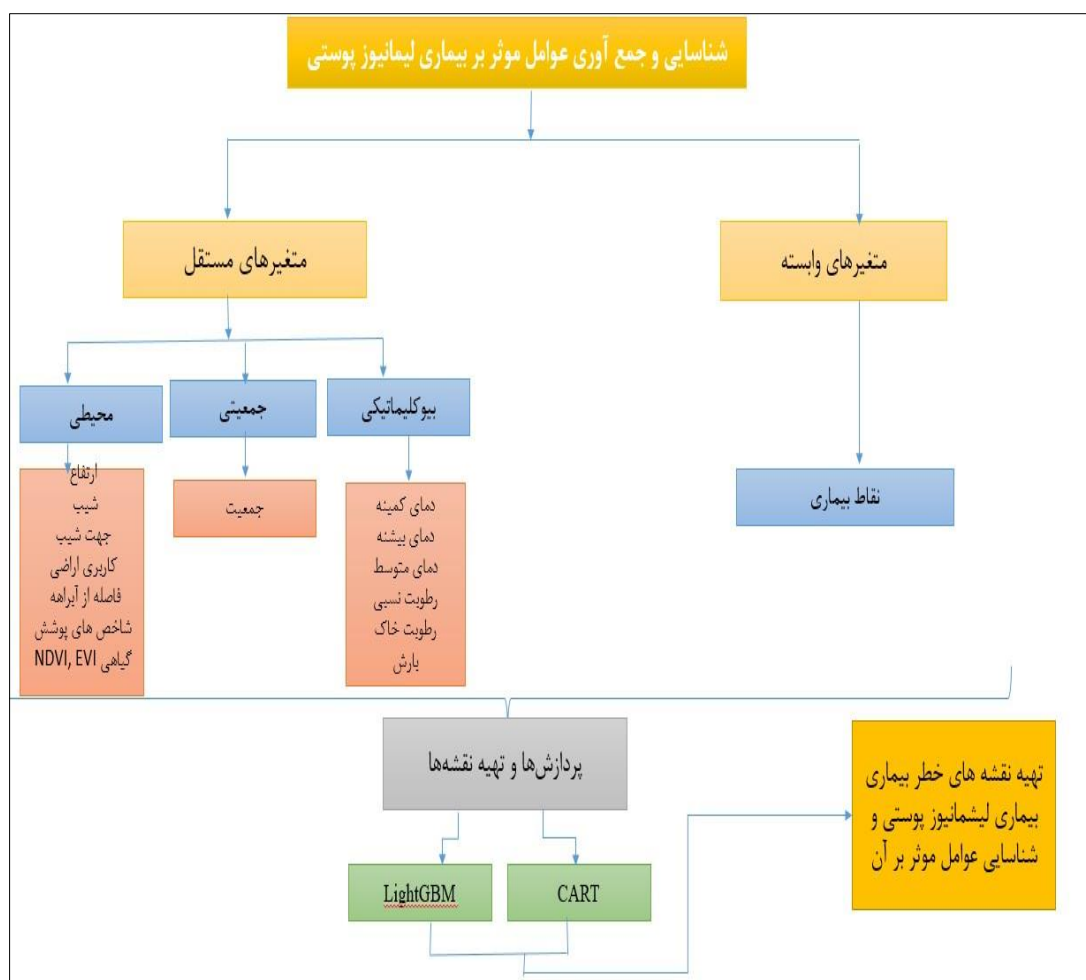
عوامل محیطی و اقلیمی موثر بر گسترش سالک

عوامل محیطی نقش حیاتی در شیوع بیماری سالک ایفا می‌کنند. این عوامل که بر چرخه زندگی ناقل بیماری، پشه خاکی، اثر می‌گذارند، شامل آب، باد، دما، رطوبت، ارتفاع، پوشش گیاهی و تابش آفتاب هستند. فراهم‌بودن آب و رطوبت برای رشد لاروها ضروری است؛ به‌طوری‌که رطوبت کافی به بقای آنها در محیط‌های مختلف کمک می‌کند (کمری و خیرخواه زرکش، ۱۴۰۱). باد به‌طور درخور توجهی فعالیت و پرواز پشه‌ها را محدود می‌کند و در سرعت‌های بالا آنها را متوقف می‌سازد. دما نیز بر فعالیت ناقلین تأثیر مستقیم دارد؛ دمای مطلوب به فعالیت بیشتر آنها منجر می‌شود؛ اما دماهای بسیار بالا یا پایین فعالیتشان را مختل می‌کند (طالبی و شاکریان، ۱۴۰۲). ارتفاعات مختلف و تنوع پوشش گیاهی بر تراکم جمعیت ناقلین اثرگذار است؛ به‌طوری‌که پوشش گیاهی متراکم‌تر می‌تواند زیستگاه مناسب‌تری برای آنها فراهم کند. همچنین، شدت تابش آفتاب در فصول مختلف سال با تغییر در میزان بروز بیماری مرتبط است؛ تابش طولانی آفتاب در تابستان با کاهش و شرایط ابری در پاییز و زمستان با افزایش مواجهه همراه است (کمری و خیرخواه زرکش، ۱۴۰۱؛ طالبی و شاکریان، ۱۴۰۲).

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع کاربری و از لحاظ ماهیت، توصیفی تحلیلی است که با رویکرد گذشته‌نگر انجام شده است. جامعه آماری این مطالعه شامل کلیه بیماران مبتلا به لیشمانیوز پوستی است که طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ در استان اصفهان شناسایی و ثبت شده‌اند. تعداد کل این بیماران ۶۳۵۳ نفر است. با توجه به ماهیت پژوهش که مبتنی بر داده‌های ثبت‌شده کلیه موارد بیماری است، نمونه‌گیری به روش سرشماری انجام شد و تمامی موارد تأییدشده وارد مطالعه شدند. معیارهای ورود به مطالعه شامل تشخیص قطعی لیشمانیوز پوستی، ثبت‌شدن بیماران در سامانه بهداشتی استان اصفهان و کاشان و فایل اکسل مربوطه و داشتن اطلاعات کامل مکانی (آدرس‌های دقیق) بود. آدرس دقیق بیماران به مختصات جغرافیایی (X,Y) تبدیل و در فایل Excel وارد شد و سپس این نقاط به محیط Arcmap منتقل شد. داده‌های محیطی به‌صورت رستری از پایگاه‌های GEE، Worldclim، USGS با تفکیک مکانی ۳۰ متر دریافت شد. همچنین، معیارهای خروج از مطالعه شامل موارد تکراری ثبت‌شده، موارد با اطلاعات مکانی ناقص و بیمارانی که سابقه سفر به مناطق اندمیک دیگر را داشتند، در نظر گرفته شد. در این پژوهش داده‌های مورد نیاز شامل دو دسته اطلاعات اپیدمیولوژیک (وابسته) و محیطی (مستقل) بودند. اطلاعات اپیدمیولوژیک بیماران شناسایی‌شده از مراکز بهداشتی و درمانی استان اصفهان و مرکز بهداشت کاشان استخراج و در محیط Excel وارد شد. همچنین داده‌های محیطی شامل متغیرهای اقلیمی (حداقل دما، میانگین دما، حداکثر دما، بارش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی (SolarR)، رطوبت خاک و سرعت باد)، شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI و EVI)، متغیرهای توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب)، فاصله از آبراهه‌ها، کاربری اراضی و تراکم جمعیت از پایگاه‌های معتبر، مرکز آمار ایران، و تصاویر ماهواره‌ای اخذ شدند. پس از گردآوری داده‌ها، پیش‌پردازش و یکپارچه‌سازی آنها در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.8.2 انجام شد. برای مدل‌سازی پراکنش مکانی بیماری لیشمانیوز پوستی، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین CART و LightGBM در نرم‌افزار RStudio 2025.06.14 استفاده شد. در مدل LightGBM، پارامترهای نرخ

یادگیری (Learning rate) برابر با ۰/۰۵، تعداد درختان (nrounds) برابر با ۶۰۰، حداکثر برگ‌ها (num leaves) برابر با ۳۱، عمق درخت بدون محدودیت (max depth) برابر با ۱-، حداقل داده در هر برگ (min data in leaf) برابر با ۱۰، کسر ویژگی‌ها (feature fraction) و کسر بگینگ (bagging fraction) هر دو ۰/۸ و تکرار بگینگ (bagging freq) برابر ۵ تنظیم شد. در مدل CART، پارامتر complexity parameter برابر ۰/۰۰۱، حداقل تعداد مشاهدات برای تقسیم گره (minsplit) برابر با ۲۰، حداقل تعداد مشاهدات در هر برگ (minbucket) برابر ۷ و حداکثر عمق درخت (maxdepth) برابر ۳۰ تنظیم شد. با توجه به حجم بالای داده و ماهیت اکتشافی پژوهش، از اعتبارسنجی متقابل (Cross-validation) استفاده نشد و این موضوع به‌عنوان یکی از محدودیت‌های پژوهش در نظر گرفته شده است. به‌منظور آموزش و اعتبارسنجی مدل‌ها، ۷۰ درصد داده‌ها به‌صورت تصادفی برای آموزش و ۳۰ درصد برای آزمون اختصاص یافت. عملکرد مدل‌ها با استفاده از منحنی ROC و شاخص زیرمنحنی (AUC)، صحت کلی (Overall Accuracy)، ضریب کاپا، حساسیت (Sensitivity)، و ویژگی (Specificity) ارزیابی شد. در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر بیماری در پنج کلاس (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) تهیه و میزان اهمیت هریک از متغیرها در پیش‌بینی بروز بیماری مشخص شد. شکل (۱) روند نمای کلی پژوهش را نمایش می‌دهد.

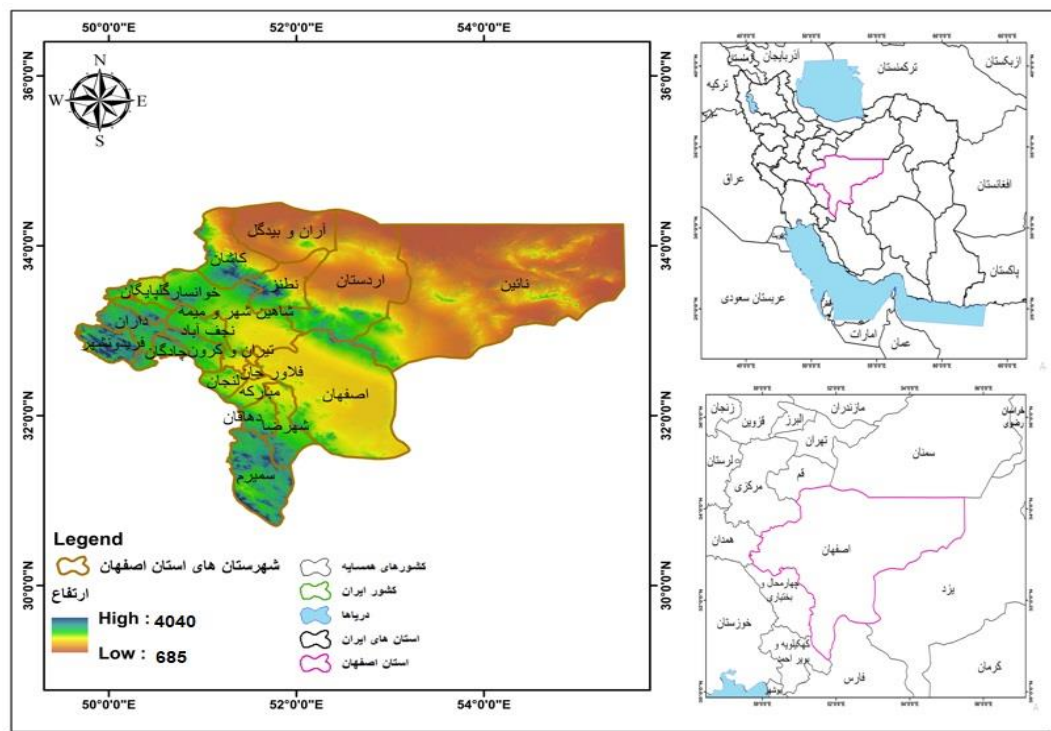


شکل ۱. روندنمای کلی پژوهش

Figure 1. General flowchart of the research

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان، یکی از استان‌های مرکزی ایران با مرکزیت شهر اصفهان، از نظر وسعت رتبه ششم و از لحاظ جمعیت رتبه سوم کشور را دارد. این استان شامل ۲۴ شهرستان، ۱۰۶ شهر، ۵۱ بخش و ۱۳۱ دهستان است (محمدی نجف‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۰). براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت استان ۵,۱۲۰,۸۵۰ نفر گزارش می‌شود که حدود ۶.۵ درصد جمعیت کل کشور را تشکیل می‌دهد و آن را به سومین استان پرجمعیت ایران تبدیل کرده است (متقی و همکاران، ۱۴۰۳؛ Lotfi et al., 2024). استان اصفهان از شمال با استان‌های مرکزی، قم و سمنان؛ از جنوب با فارس و کهگیلویه و بویراحمد؛ از شرق با یزد و خراسان جنوبی؛ و از غرب با لرستان و چهارمحال و بختیاری هم‌مرز است. شهرستان‌های آن عبارتند از: آران و بیدگل، اردستان، اصفهان، برخوار، تیران و کرون، چادگان، خمینی‌شهر، خوانسار، سمیرم، شهرضا، فریدونشهر، کاشان، گلپایگان، لنجان، مبارکه، نائین، فریدن، نجف‌آباد، شاهین‌شهر و میمه، فلاورجان و نطنز (جودکی، ۱۴۰۱) (شکل ۲).



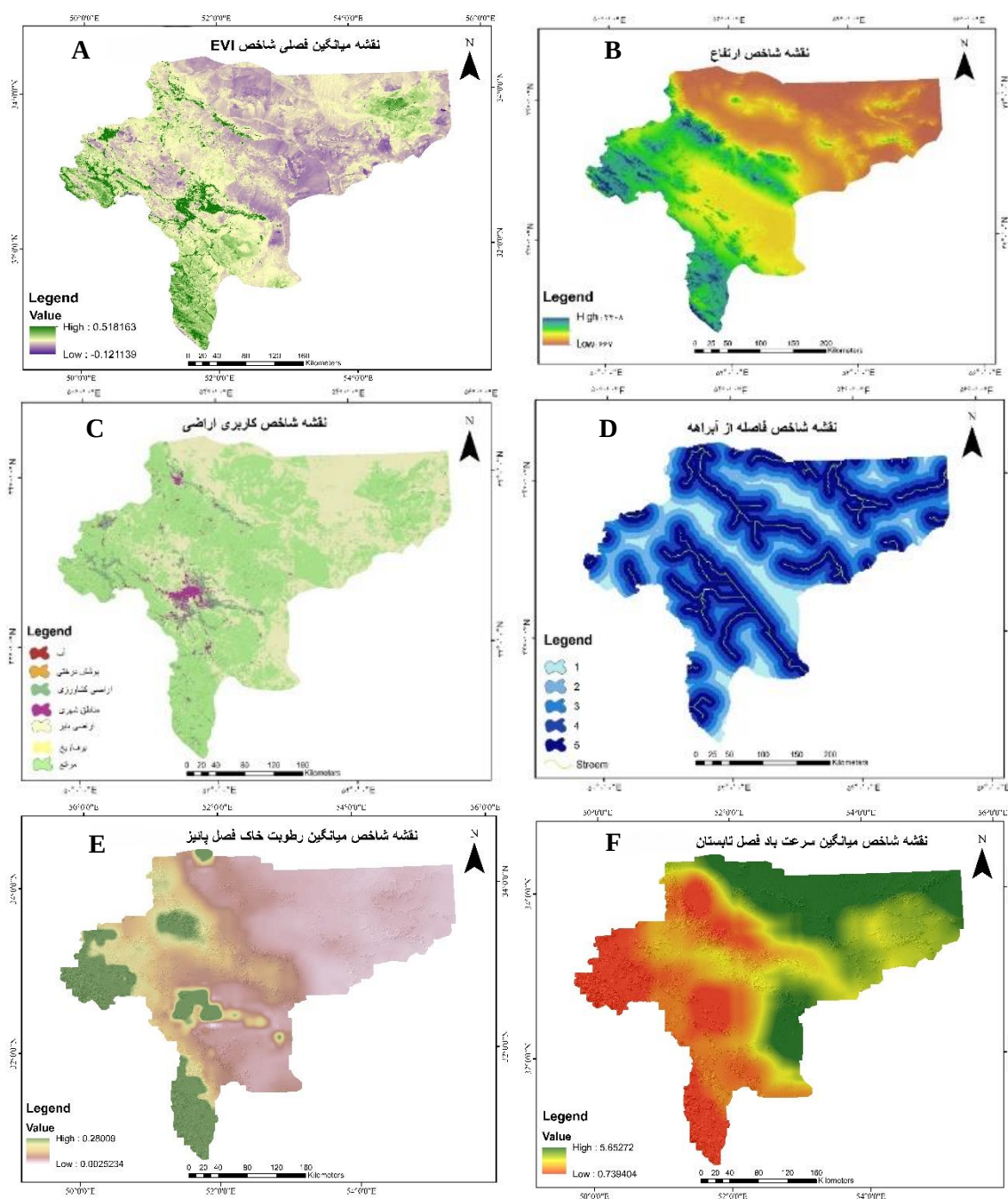
شکل ۲. منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Study area

آماده‌سازی معیارهای تأثیرگذار

عناصر اقلیمی و زیست‌محیطی از جمله عوامل کلیدی هستند که با تأثیر بر مراحل زیستی، رفتار و چرخه تکثیر ناقلین بیماری‌های منتقله توسط حشرات (مانند سالک یا مالاریا)، محدودیت‌ها یا شرایط مساعدی را برای گسترش این بیماری‌ها ایجاد می‌کنند. به‌منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی توزیع مکانی بیماری لیشمانیوز در استان اصفهان، از مجموعه

داده‌های متنوع استفاده شده است. این داده‌ها شامل اطلاعات اپیدمیولوژیک مربوط به موارد بیماری، و NDVI (داده‌های اقلیمی)، دما، بارش، رطوبت و ساعات آفتابی، شاخص‌های زیست‌محیطی، متغیرهای توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب)، اطلاعات جمعیتی و کاربری اراضی، داده‌های LST مربوط به ناقل بیماری (پشه خاکی) و ویژگی‌های خاک نظیر رطوبت است (شکل ۳).



شکل ۳. معیارهای تأثیرگذار: (A) نقشه میانگین فصلی شاخص EVI، (B) نقشه شاخص ارتفاع، (C) نقشه شاخص کاربری اراضی، (D) نقشه شاخص فاصله از آبراهه، (E) نقشه میانگین شاخص رطوبت خاک فصل پاییز، (F) نقشه میانگین شاخص سرعت باد فصل تابستان

Figure 3. Influential criteria: (A) seasonal average EVI index, (B) elevation index, (C) land use index, (D) distance from water bodies index, (E) autumn average soil moisture index, (F) summer average wind speed index.

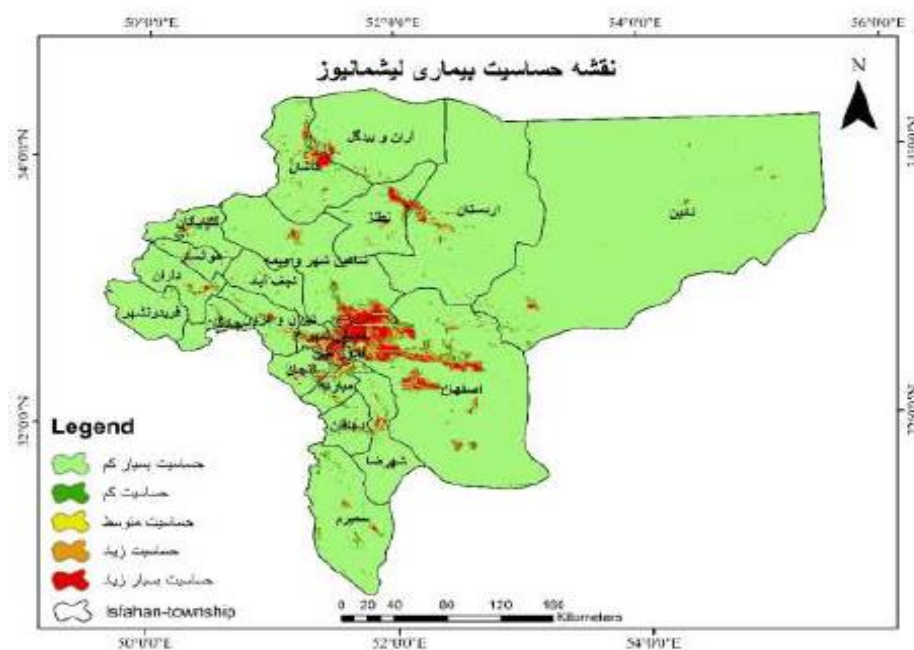
یافته‌ها

ارزیابی عملکرد مدل‌های پژوهش نشان داد مدل LightGBM از دقت بیشتری نسبت به مدل CART برخوردار است.

یافته حاصل از روش LightGBM

نتایج ارزیابی عملکرد مدل LightGBM نشان داد که دقت کلی مدل (Overall Accuracy) بیش از ۹۶/۵۵٪ بوده که بیانگر توان بالای مدل در طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها و وجود خطای کلی ناچیز است. همچنین، مقدار ضریب کاپا برابر با ۰/۹۳۰۹ به دست آمد که نشان‌دهنده توافق بسیار بالا میان پیش‌بینی‌های مدل و داده‌های واقعی و حاکی از قابلیت اطمینان بالای نتایج است. شاخص حساسیت (Sensitivity) نشان داد که بیش از ۹۵/۴۴٪ از نقاط واقعی حضور بیماری لیشمانیوز به درستی شناسایی شده‌اند. از سوی دیگر، مقدار ویژگی (Specificity) نیز عملکرد مناسب مدل در تشخیص مناطق فاقد بیماری را تأیید کرد؛ به طوری که حدود ۹۷/۵۹٪ از نقاط عدم حضور به درستی پیش‌بینی شده‌اند. همچنین سطح زیرمنحنی (AUC) برابر ۰/۹۹۲ محاسبه شد که نشان‌دهنده قدرت تمایز عالی مدل است. علاوه بر این، مقدار شاخص دقت پیش‌بینی حضور (PPV) نزدیک به ۹۵/۸۴٪ به دست آمد که بیانگر دقت بالای مدل در شناسایی صحیح مناطق آلوده است. نقشه حساسیت بیماری لیشمانیوز در استان اصفهان، تهیه‌شده با استفاده از مدل LightGBM، مناطق مطالعه را در پنج کلاس حساسیت از بسیار کم تا بسیار زیاد طبقه‌بندی کرد.

نتایج نشان داد که نواحی پیرامونی استان دارای حساسیت بسیار کم بوده است؛ درحالی‌که با حرکت به سمت مرکز و بخش‌هایی از شمال غرب استان، استعداد بالاتری برای بروز بیماری مشاهده می‌شود. **شکل (۴)** نقشه نهایی حساسیت حاصل از مدل LightGBM را نشان می‌دهد، همچنین **جدول (۱)** درصد پراکنش بیماری را در هر کلاس حساسیت براساس مساحت بیان کرده و **شکل (۵)** نیز احتمال وقوع بیماری در کلاس‌های مختلف ریسک را نمایش می‌دهد.



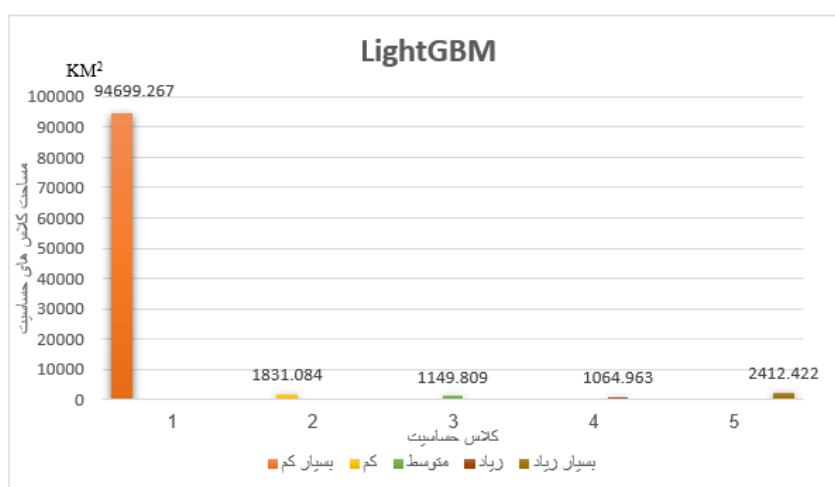
شکل ۴. نقشه حساسیت بیماری لیشمانیوز در مدل LightGBM

Figure 4. Sensitivity map of leishmaniasis disease based on the LightGBM model

جدول ۱. طبقه‌بندی بیماری و درصد آن در کلاس‌های مساحت براساس مدل LightGBM

Table 1. Classification of the disease and its percentage in area classes based on the LightGBM model

کلاس ریسک	مساحت	درصد از مساحت استان	کلاس ریسک (حساسیت)
۱	۹۴۶۹۹/۲۶۷	۹۳/۶۱	بسیار کم
۲	۱۸۳۱/۰۸۴	۱/۸۱	کم
۳	۱۱۴۹/۸۰۹	۱/۱۳	متوسط
۴	۱۰۶۴/۹۶۳	۱/۰۵	زیاد
۵	۲۴۱۴/۴۲۲	۲/۳۸	خیلی زیاد

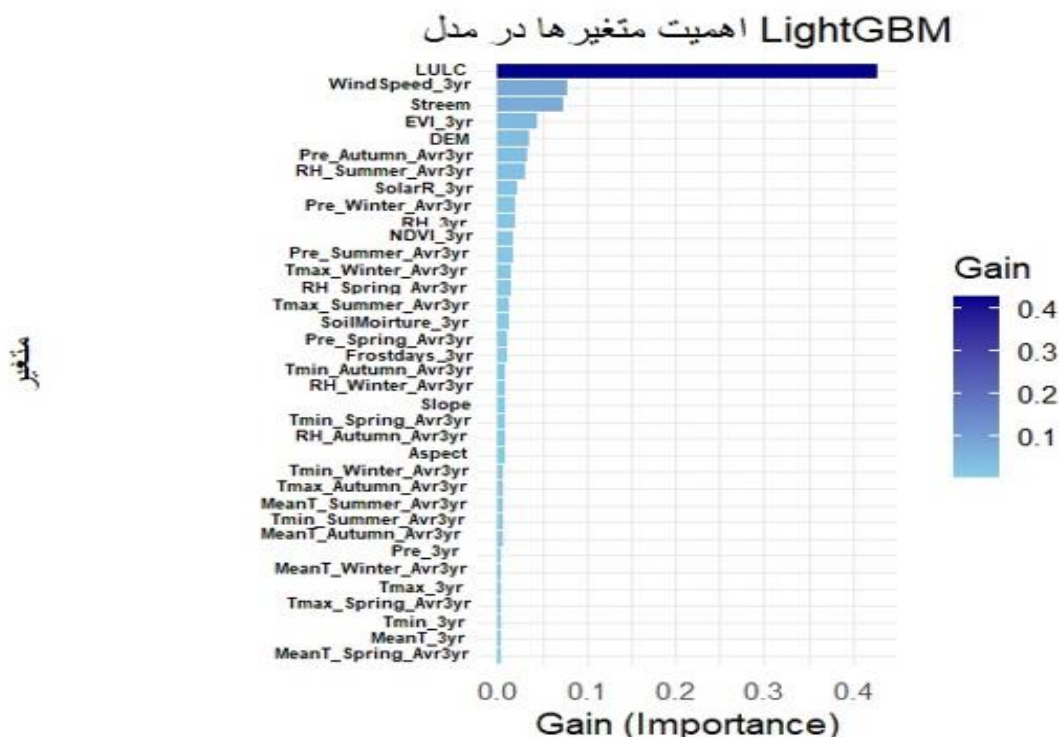


شکل ۵. حساسیت نواحی بیماری لیشمانیوز براساس مساحت LightGBM

Figure 5. Sensitivity of leishmaniasis disease areas based on the LightGBM model

نتایج اهمیت متغیرها در مدل LightGBM

براساس نتایج به‌دست‌آمده از نمودار اهمیت متغیرها در مدل LightGBM، متغیرها با میزان اثرگذاری مختلف در بیماری لیشمانیوز در استان اصفهان بررسی شدند و نتایج نشان داد مهم‌ترین عوامل موثر، مربوط به شاخص کاربری اراضی، میانگین فصلی سرعت باد در بازه زمانی (۲۰۲۱-۲۰۲۳)، فاصله از آبراهه، میانگین فصلی شاخص EVI در بازه زمانی (۲۰۲۱-۲۰۲۳) و غیره هستند؛ بنابراین، شاخص کاربری اراضی در مدل LightGBM، بیشترین تأثیر را در وقوع بیماری لیشمانیوز دارد (شکل ۶).



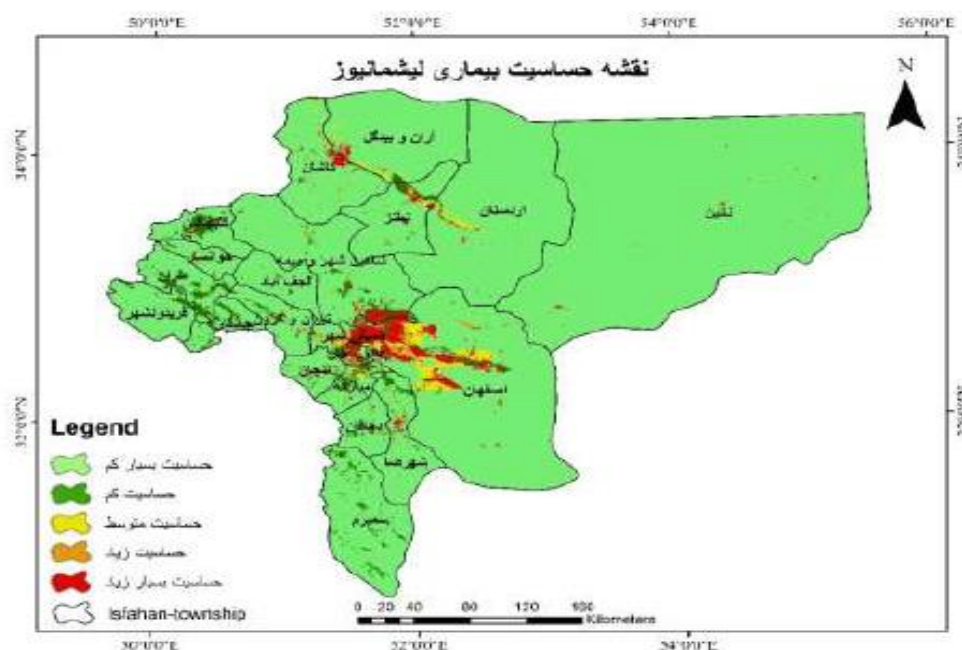
شکل ۶. نتایج اهمیت متغیرها در مدل LightGBM

Figure 6. Results of variable importance in the LightGBM model

یافته حاصل از روش CART

نتایج ارزیابی عملکرد مدل CART نشان داد دقت کلی مدل (Overall Accuracy) بیش از ۹۶/۶۵٪ بوده که بیانگر توان مناسب مدل در طبقه‌بندی صحیح نمونه‌ها و وجود خطای کلی ناچیز است. همچنین، مقدار ضریب کاپا برابر با ۰/۹۱۴۲ به دست آمد که نشان‌دهنده توافق بسیار بالا میان پیش‌بینی‌های مدل و داده‌های واقعی و بیانگر قابلیت اطمینان نتایج است. شاخص حساسیت (Sensitivity) نشان داد که بیش از ۹۷/۶۱٪ از نقاط واقعی حضور بیماری لیشمانیوز به‌درستی شناسایی شده‌اند. از سوی دیگر، مقدار ویژگی (Specificity) حاکی از عملکرد مناسب مدل در تشخیص مناطق فاقد بیماری بوده است و حدود ۹۴٪ از نقاط عدم حضور به‌درستی پیش‌بینی شده‌اند. همچنین، سطح زیر منحنی (AUC) برابر ۰/۹۷۵ محاسبه شد. به‌علاوه، مقادیر شاخص‌های دقت پیش‌بینی حضور (PPV) و عدم حضور (NPV) که هر دو نزدیک به ۹۷٪ هستند، دقت بالای مدل را در تفکیک مناطق آلوده و غیرآلوده تأیید می‌کنند.

نقشه حساسیت بیماری لیشمانیوز در استان اصفهان براساس مدل CART، مناطق مطالعه را در پنج کلاس حساسیت از بسیار کم تا بسیار زیاد طبقه‌بندی کرد. نتایج مکانی مشابه مدل LightGBM بود و نشان داد نواحی پیرامونی استان دارای حساسیت بسیار کم هستند؛ درحالی‌که مناطق مرکزی و بخش‌هایی از شمال‌غرب استان استعداد بالاتری برای بروز بیماری دارند. شکل (۷) نقشه نهایی حساسیت مدل CART را نمایش می‌دهد؛ درحالی‌که جدول (۲) توزیع درصدی بیماری در هر کلاس حساسیت براساس مساحت و شکل (۸) احتمال وقوع بیماری در کلاس‌های مختلف ریسک را نشان می‌دهد.



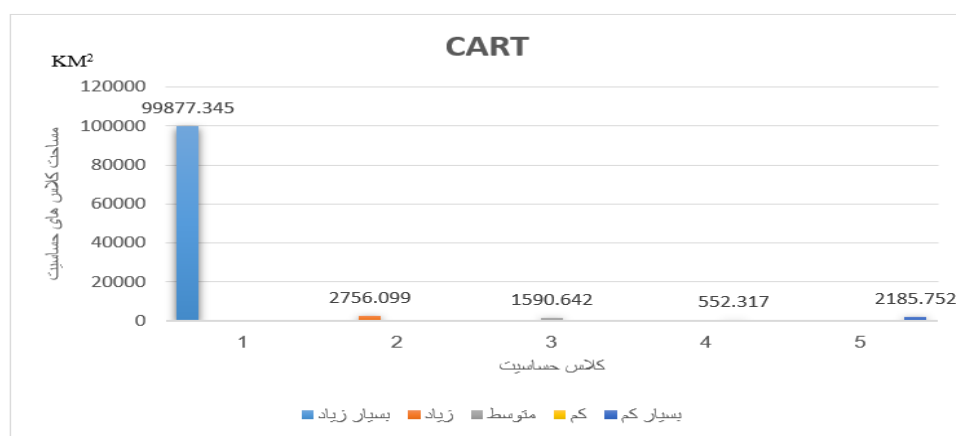
شکل ۷. نقشه حساسیت بیماری لیشمانیوز در مدل CART

Figure 7. Sensitivity map of leishmaniasis disease based on the CART model

جدول ۲. طبقه‌بندی بیماری و درصد آن در کلاس‌های مساحت براساس مدل CART

Table 2. Classification of the disease and its percentage in area classes based on the CART model

کلاس ریسک	مساحت	درصد از مساحت استان	کلاس ریسک (حساسیت)
۱	۹۹۸۷۷/۳۴۵	۹۳/۳۷	بسیار کم
۲	۲۷۵۶/۰۹۹	۲/۵۷	کم
۳	۱۵۹۰/۶۴۲	۱/۴۸	متوسط
۴	۵۵۲/۳۱۷	۰/۵۱	زیاد
۵	۲۱۸۵/۷۵۲	۲/۰۴	خیلی زیاد

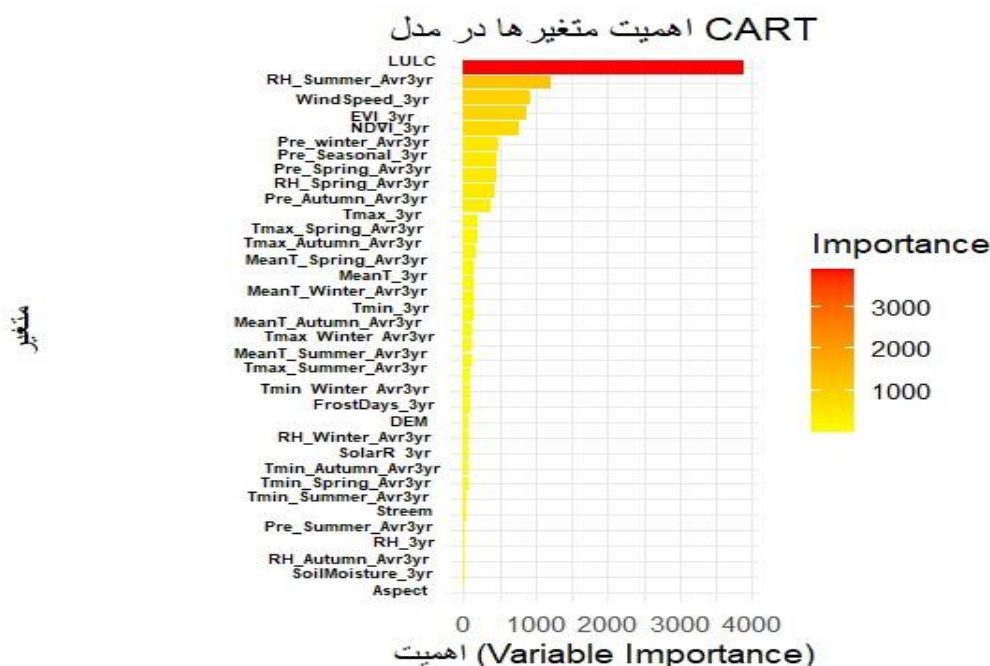


شکل ۸. حساسیت نواحی بیماری لیشمانیوز براساس مساحت CART

Figure 8. Sensitivity of leishmaniasis disease areas based on the CART model

اهمیت متغیرها در مدل CART

براساس نتایج به‌دست‌آمده از نمودار اهمیت متغیرها در مدل CART، متغیرها با میزان اثرگذاری مختلف در بیماری لیشمانیوز در استان اصفهان بررسی شدند و نتایج نشان داد مهم‌ترین عوامل موثر، مربوط به شاخص کاربری اراضی، میانگین فصلی سرعت باد در بازه زمانی (۲۰۲۱-۲۰۲۳)، میانگین شاخص رطوبت نسبی در فصل تابستان (۲۰۲۱-۲۰۲۳)، میانگین فصلی شاخص EVI در بازه زمانی (۲۰۲۱-۲۰۲۳) و غیره هستند؛ بنابراین، شاخص کاربری اراضی در مدل CART، بیشترین تأثیر را در وقوع بیماری لیشمانیوز دارد (شکل ۹).



شکل ۹. نتایج اهمیت متغیرها در مدل CART

Figure 9. Results of variable importance in the CART model

بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی عملکرد مدل‌های CART و LightGBM استفاده‌شده در این پژوهش نشان داد که هر دو مدل از دقت بالایی برخوردارند؛ اما مدل LightGBM با سطح زیرمنحنی (AUC) برابر ۰/۹۹۲ نسبت به مدل CART برابر با ۰/۹۷۵ با ارائه عملکردی مطلوب، توانایی بالاتری در شناسایی مناطق حساس به بیماری لیشمانیوز داشت؛ بنابراین، براساس AUC که مهم‌ترین شاخص مقایسه مدل‌های طبقه‌بندی است، مدل LightGBM به‌عنوان مدل برتر برای پهنه‌بندی حساسیت مکانی سالک در استان اصفهان انتخاب شد. اگرچه دقت مدل CART (۰/۹۶۶۵٪) اندکی بالاتر از LightGBM (۰/۹۶۵۵٪) بود، این تفاوت ناچیز در مقابل برتری قطعی LightGBM از نظر AUC قابل چشم‌پوشی است. مدل CART نیز به دلیل سادگی ساختاری و تفسیرپذیری بالا، می‌تواند به‌عنوان یک مدل پایه (Baseline) برای

مقایسه با سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده شود. در نهایت، توجه به شاخص‌های عملکردی نشان‌دهنده همانندجویی نسبی نتایج این دو مدل است.

بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت بیماری نشان داد مناطق پرخطر لیشمانیوز در استان اصفهان عمدتاً در بخش‌های مرکزی و شمال‌غربی استان متمرکزند. بیشترین گستره نواحی با حساسیت زیاد و بسیار زیاد در محدوده شهرستان اصفهان و مناطق پیرامونی آن شامل خمینی‌شهر، شاهین‌شهر و میمه، نجف‌آباد، فلاورجان، برخوار و مبارکه، کاشان، آران و بیدگل و بخش‌هایی از اردستان مشاهده شد. نواحی با خطر متوسط به‌صورت پراکنده در بخش‌هایی از غرب و جنوب استان، به‌ویژه در شهرستان‌های گلپایگان، خوانسار، فریدن، فریدون‌شهر، شهرضا و سمیرم قرار دارند. در مقابل، مناطق کم‌خطر و بسیار کم‌خطر عمدتاً در نواحی شرقی و شمال‌شرقی استان، به‌ویژه شهرستان‌های نائین و خور و بیابانک، گسترش یافته‌اند که بیانگر شرایط نامساعدتر محیطی برای فعالیت ناقل و انتقال بیماری است. نتایج مدل‌سازی نشان داد که متغیرهای اقلیمی شامل کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی EVI در بازه زمانی سه‌ساله، رطوبت نسبی و سرعت باد، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در گسترش لیشمانیوز جلدی در استان اصفهان هستند. درخصوص سرعت باد، باید گفت بادهای شدید فعالیت پروازی پشه خاکی را مختل می‌کنند و بقای ناقل را کاهش می‌دهند؛ درحالی‌که بادهای با سرعت متوسط، ضمن عدم ایجاد اختلال، سبب جابه‌جایی ناقل در فواصل طولانی‌تر و افزایش پراکندگی بیماری می‌شوند. در مناطق مرکزی و شمال‌غربی استان با سرعت باد متوسط، شرایط برای فعالیت و جابه‌جایی ناقل مطلوب‌تر است. این یافته‌ها نقش تعیین‌کننده شرایط اقلیمی در فراهم‌سازی محیط مناسب برای بقا و فعالیت ناقلین را تأیید می‌کند و با نتایج مطالعات داخلی و بین‌المللی پیشین از جمله مطالعات مولالو و همکاران و کسگی همخوانی دارد (Mollalo et al., 2018; Kosgei, 2024).

پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی همراه است. از جمله اینکه در این مطالعه از اعتبارسنجی متقابل (cross-validation) استفاده نشد و صرفاً از روش تصادفی ۷۰-۳۰ بهره گرفته شد. همچنین، خودهمبستگی مکانی داده‌ها و همخطی بین متغیرهای محیطی بررسی نشد. توصیه می‌شود در مطالعات آتی این موارد مدنظر قرار گیرند.

منابع

- اخوان، ملیحه، تقی‌پور، علی، بیگی، بهناز، و موسی فرخانی، احسان (۱۴۰۲). اپیدمیولوژی لیشمانیوز جلدی در شهرستان‌های تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی مشهد طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۴۰۰. *مجله مشترک انسان و حیوان*، ۳(۱)، ۱۸-۲۹. <https://civilica.com/doc/1837799>
- بیاتانی، علی، و صادقی، علی (۱۳۹۱). تجزیه و تحلیل مکانی عوامل محیطی مؤثر بر لیشمانیوز جلدی در ایران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *تحقیقات نظام سلامت حکیم*، ۱۵(۲)، ۱۵۸-۱۶۵.
- <https://www.sid.ir/paper/493700/fa>
- جعفری‌نیا، بهزاد، رشتی، رویا، حلوائی‌زاده، راضیه، مؤذن، جواد، کلانتری، حمید، و رشتی، رویا (۱۳۹۷). تحلیل مکانی، زمانی و مکانی - زمانی لیشمانیوز جلدی در شمال استان خوزستان بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴: گزارش کوتاه. *مجله دانشکده پزشکی*، ۷۶(۱۲)، ۸۲۲-۸۲۶. <https://tumj.tums.ac.ir/article-1-9419-fa.html>

جودکی، حمیدرضا (۱۴۰۱). ارزیابی و پهنه‌بندی اقلیم گردشگری با استفاده از شاخص TCI و تکنیک GIS در راستای برنامه‌ریزی گردشگری استان اصفهان. *فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۱۲ (۴۷)، ۷۲۳-۷۴۲.

<https://doi.org/10.22034/jgeoq.2022.171608.1828>

راثی، یاور، و حنفی بجد، احمدعلی (۱۳۸۵). پشه‌خاکی‌ها، ناقلین لیشمانیوزها: مورفولوژی، بیولوژی، اکولوژی، روش‌های انجام مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی به انضمام کلید مصور پشه‌خاکی‌های ایران. نوآوران علم.

شیرزادی، محمدرضا (۱۳۹۱). راهنمای مراقبت لیشمانیوز جلدی (سالک) در ایران. راز نهان.

شیرزادی، محمدرضا، بنکدار اصفهانی، شیرین، محبعلی، مهدی، یعقوبی ارشادی، محمدرضا، قراچورلو، فرانک، رضوی، محمدرضا، و روئیز پوستیگو، جوز آنتونیو (۱۳۹۵). وضعیت اپیدمیولوژیک لیشمانیوز در ایران از سال

۱۳۶۲ لغایت ۱۳۹۲. *بیماری‌های عفونی و گرمسیری ایران*، ۲۱، ۸-۱.

<https://www.magiran.com/paper/1586682>

صالحی، فاطمه، احمدیان، لیلا، و صباحی، اعظم (۱۳۹۵). کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوزه سلامت: مروری ساختاریافته بر مطالعات ایران. *تحقیقات نظام سلامت حکیم*، ۱۹ (۳)، ۱۴۱-۱۵۱.

<https://www.magiran.com/p1761540>

صفوی، فرزانه، شریفی، حمید، جنگی‌پور افشار، پریا، وزیری نسب، حبیب، و دارائی، هستی (۱۴۰۴). بررسی ارتباط بین عوامل محیطی و شیوع بیماری لیشمانیوز جلدی در شهرستان جیرفت طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۴۰۰. *سلامت و محیط‌زیست*، ۱۸ (۲)، ۳۳۴-۳۱۷.

<https://ijhe.tums.ac.ir/article-1-7001-fa.html>

طالبی، مصطفی، و شاکریان، ساره (۱۴۰۲). بررسی تأثیر عوامل اقلیمی و محیطی بر اپیدمیولوژی بیماری سالک در ایران: یک مطالعه موردی. *مجله اپیدمیولوژی ایران*، ۱۹ (۳)، ۲۵۴-۲۶۶.

<https://journals.tums.ac.ir/irje/article-1-7245-fa.html>

عباس‌زاده، خدیجه، ارزنلو، محسن، نامور، علی، جواهری، احسان، ایزدیار، ثمن، و حیدری، محسن (۱۴۰۴). بررسی شیوع و روند تغییرات زمانی لیشمانیوز پوستی در شهرهای تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی سبزوار طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰. *مجله دانشگاه علوم پزشکی سبزوار*، ۳۲ (۲)، ۱۵۷-۱۴۵.

<https://doi.org/10.30468/jsums.2025.7917.3143>

عبدالله‌زاده، فرزانه، سپاهی، اله‌داد، رضوانی‌فر، نجیب‌الدین، و نظری، نرگس (۱۴۰۰). بیماری‌های واگیر. دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی و درمانی جندی‌شاپور اهواز.

کمری، زهرا، و خیرخواه زرکش، میرمسعود (۱۴۰۱). تحلیل عوامل محیطی و پارامترهای اقلیمی در شیوع بیماری سالک با استفاده از GIS (مطالعه موردی استان ایلام). *چهارمین همایش بین‌المللی ایده‌های نوین در معماری، شهرسازی، جغرافیا و محیط‌زیست پایدار*، مشهد.

<https://civilica.com/doc/1490478>

لک بالا، پروین (۱۳۹۷). کاربردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی در بهداشت از دیدگاه اساتید و دانشجویان دانشکده بهداشت بندرعباس. *مجله اطلاع‌رسانی پزشکی نوین*، ۴ (۲)، ۱۸-۲۵.

<http://jmis.hums.ac.ir/article-1-164-fa.html>

متقی، افشین، صدرانیا، حسن، و یوسفی شاتوری، محمد (۱۴۰۳). تأثیر حکمرانی محلی آب بر کاربست آب مجازی: مطالعه موردی استان اصفهان. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۵ (۵۸)، ۷۲-۵۲.

<https://doi.org/10.22034/jargs.2024.455318.1110>

محمدی نجف‌آبادی، عبدالمجید، اعتباریان خوراسگانی، اکبر، و ابراهیم‌زاده دستجردی، رضا (۱۴۰۰). شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای توسعه منابع انسانی صنعت گردشگری استان اصفهان. *برنامه‌ریزی فضایی*، ۱۱(۲)، ۱-۲۴

<https://doi.org/10.22108/sppl.2020.119893.1439>

میرزاخانی، زهرا (۱۳۹۲). تحلیل توزیع فضایی بیماری سالک در استان اصفهان (مطالعه موردی شهرستان برخوار) [پایان‌نامه کارشناسی ارشد منتشر نشده]. دانشگاه اصفهان.

References

- Abbaszadeh, K., Arzanlou, M., Namvar, A., Javaheri, E., Izadyar, S., & Heidary, M. (2025). Study of the prevalence and temporal changes of cutaneous leishmaniasis in cities under the jurisdiction of Sabzevar University of Medical Sciences during the years 2014-2017. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*, 32(2), 145-157. <https://doi.org/10.30468/jsums.2025.7917.3143> [In Persian]
- Abdollahzadeh, F., Sepahi, E., Rezvanifar, N., & Nazari, N. (2021). *Communicable diseases*. Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences. [In Persian]
- Alvar, J., Vélez, I. D., Bern, C., Herrero, M., Desjeux, P., Cano, J., ..., & WHO Leishmaniasis Control Team (2012). Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence. *PloS One*, 7(5), e35671. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035671>
- Akhavan, M., Taghipour, A., Beigi, B., & Mousa Farkhani, E. (2023). Epidemiology of cutaneous leishmaniasis in the counties under the supervision of Mashhad University of Medical Sciences during 2016–2021. *Human and Animal Joint Journal*, 3(1), 18–29. <https://civilica.com/doc/1837799> [In Persian]
- Bayatani, A., & Sadeghi, A. (2012). Spatial analysis of environmental factors affecting cutaneous leishmaniasis in Iran using GIS. *Hakim Health Systems Research Journal*, 15(2), 158–165. <https://www.sid.ir/paper/493700/fa> [In Persian]
- Gashaw, B., Yizengaw, E., & Nibret, E. (2025). Spatial epidemiology of clinical forms of cutaneous leishmaniasis and treatment practice: Evidence from Leishmaniasis Research and Treatment Center, Northwest Ethiopia. *Iranian Journal of Parasitology*, 20(2), 203–212. <https://doi.org/10.18502/ijpa.v20i2.19026>
- Geto, A. K., Berihun, G., Berhanu, L., Desye, B., & Daba, C. (2024). Prevalence of human visceral leishmaniasis and its risk factors in Eastern Africa: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 12, 1488741. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1488741>
- Jafariniya, B., Rashti, R., Halvaei Zadeh, R., Moazen, J., Kalantari, H., & Rashti, R. (2018). Spatial, temporal, and spatio-temporal analysis of cutaneous leishmaniasis in northern Khuzestan province between 2011–2015. *Journal of School of Medicine*, 76(12), 822–826. <https://tumj.tums.ac.ir/article-1-9419-fa.html> [In Persian]
- Joudaki, H. R. (2022). Assessment and climatic zoning of tourism using TCI index and GIS techniques for tourism planning in Isfahan province. *Quarterly Journal of Geography (Regional Planning)*, 12(47), 723–742. <https://doi.org/10.22034/jgeoq.2022.171608.1828> [In Persian]
- Kamari, Z., & Kheirkhah Zarkesh, M. (2022). *Analysis of environmental factors and climatic parameters in the incidence of leishmaniasis using GIS (Case Study: Ilam Province)*. 4th International Conference on New Ideas in Architecture, Urbanism, Geography and Sustainable Environment, Mashhad. <https://civilica.com/doc/1490478> [In Persian]
- Kosgei, S. (2024). *Risk mapping of Visceral Leishmaniasis infections in West Pokot, Kenya: Characterization of local environmental risk factors* [Unpublished Master's Thesis]. University of Twente.
- Lak Bala, P. (2018). Application of GIS in health from the perspective of professors and students of the School of Public Health in Bandar Abbas. *Bimonthly Journal of Modern Medical Information*, 4(2), 18–25. <http://jmis.hums.ac.ir/article-1-164-fa.html> [In Persian]
- Lotfi, F., Ravankhah, Z., Rashidian, H., Teimouri, F., Maracy, M. R., Javanmard, S. H., ... & Zendehtdel,

- K. (2024). The Cancer incidence pattern in Isfahan Province: an industrial region in the central part of Iran. *Journal of Cancer Epidemiology*, 2024(1), 5592802.
<https://doi.org/10.1155/2024/5592802>
- Mirzakhani, Z. (2013). *Spatial distribution analysis of cutaneous leishmaniasis in Isfahan province (Case Study: Barkhar County)* [Unpublished Master's Thesis]. University of Isfahan. [In Persian]
- Mohammadi Najafabadi, A., Khorasgani, E., & Ebrahimzadeh Dastjerdi, R. (2021). Identifying and prioritizing strategies for the development of human resources in the tourism industry of Isfahan Province. *Spatial Planning*, 11(2), 1-24. <https://doi.org/10.22108/sppl.2020.119893.1439> [In Persian]
- Mollalo, A., Sadeghian, A., Israel, G. D., Rashidi, P., Sofizadeh, A., & Glass, G. E. (2018). Machine learning approaches in GIS-based ecological modeling of the sand fly *Phlebotomus Papatasi*, a vector of zoonotic cutaneous leishmaniasis in Golestan province, Iran. *Acta Tropica*, 188, 187-194.
<https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2018.09.004>
- Mottaghi, A., Sadrnia, H., & Yousefi Shatori, M. (2024). The impact of local water governance on the application of virtual water: Case study of Isfahan province. *Geographical Studies of Arid Regions*, 15(58), 52-72. <https://doi.org/10.22034/jargs.2024.455318.1110> [In Persian]
- Nayak, P. P., Pai, J. B., Singla, N., Somayaji, K. S., & Kalra, D. (2021). Geographic information systems in spatial epidemiology: Unveiling new horizons in dental public health. *Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry*, 11(2), 125-131.
https://doi.org/10.4103/jispcd.jispcd_413_20
- Norouzi, A., & Moradi, N. (2019). Land suitability evaluation for tourism development in desert areas (Case Study: Eastern Regions of Isfahan Province). *Journal of Research and Rural Planning*, 8(2), 77-96. https://jrrp.um.ac.ir/article_32267_5b0e7138d4518d8aed789dd4078865e3.pdf
- Rathi, Y., & Hanafi Bjad, A. A. (2006). *Phlebotominae sandflies, vectors of leishmaniasis: Morphology, biology, ecology, and laboratory and field study methods with illustrated key of Iranian sandflies*. Noavaran Elm Press. [In Persian]
- Sadeghi, A., Sadeghi, M., Fakhari, M., Zakariaei, Z., Sadeghi, M., & Bastani, R. (2024). A deep learning-based model for detecting *Leishmania* amastigotes in microscopic slides: A new approach to telemedicine. *BMC Infectious Diseases*, 24(1), 551. <https://doi.org/10.1186/s12879-024-09428-4>
- Safavi, F., Sharifi, H., Jangipour Afshar, P., Vaziri Nasab, H., & Darei, H. (2025). Relationship between environmental factors and incidence of cutaneous leishmaniasis in Jiroft county during 2014-2021. *Journal of Health and Environment*, 18(2), 317-334. <https://ijhe.tums.ac.ir/article-1-7001-fa.html> [In Persian]
- Salehi, F., Ahmadian, L., & Sabahi, A. (2016). Application of Geographic Information System (GIS) in the field of health: A structured review of studies in Iran. *Hakim Health Systems Research*, 19(3), 141-151. <https://www.magiran.com/p1761540> [In Persian]
- Shabanpour, N., Razavi-Termeh, S. V., Sadeghi-Niaraki, A., Choi, S. M., & Abuhmed, T. (2022). Integration of machine learning algorithms and GIS-based approaches to cutaneous leishmaniasis risk mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112, 102854.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102854>
- Shirzadi, M. R. (2012). *Guideline for the surveillance of cutaneous leishmaniasis (Salak) in Iran*. Raz Nehan Publishing. [In Persian]
- Shirzadi, M. R., Bankdar Esfehiani, S., Mohabali, M., Yaghoubi Arshadi, M., Gharachorlou, F., Razavi, M., & Ruiz Poistigo, J. A. (2016). Epidemiological status of leishmaniasis in Iran from 1362 to 1392. *Iranian Journal of Infectious Diseases and Tropical Medicine*, 21, 1-8.
<https://www.magiran.com/paper/1586682> [In Persian]
- Talebi, M., & Shakerian, S. (2023). Investigating the impact of climatic and environmental factors on the epidemiology of leishmaniasis in Iran: A Case Study. *Iranian Journal of Epidemiology*, 19(3), 254-266. <https://journals.tums.ac.ir/irje/article-1-7245-fa.html> [In Persian]
- Todeschini, R., Musti, M. A., Pandolfi, P., Troncatti, M., Baldini, M., Resi, D., ..., & Varani, S. (2024). Re-emergence of human leishmaniasis in northern Italy, 2004 to 2022: A retrospective analysis. *Eurosurveillance*, 29(4), 2300190.
<https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2024.29.4.2300190>