

مدل‌سازی تغییرات مکانی-زمانی بروز لیشمانیوز جلدی در استان‌های خراسان جنوبی، رضوی و شمالی در شمال شرق ایران براساس معیارهای محیطی و اکولوژیک

محمد جوانبخت¹، میثم ارگانی²، کیوان عزیزی مند³، عابدین ثقفی پور⁴

¹دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

²استادیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

³دانشجوی دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

⁴استادیار، گروه بهداشت عمومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

نویسنده رابط: میثم ارگانی، نشانی: تهران، خ وصال شیرازی، کوچه آذین، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، تلفن: 01113682.

پست الکترونیک: argany@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: 99/2/14، پذیرش: 99/8/7

مقدمه و اهداف: شرایط محیطی در مناطق مختلف جغرافیایی زمینه را برای شیوع برخی از بیماری‌ها فراهم می‌کند. لیشمانیوز جلدی یک تهدید جدی برای سلامت عمومی جامعه محسوب می‌شود و در زمره بیماری‌های همه‌گیر منتقله به‌وسیله بندپایان است. شیوع و توزیع این بیماری تحت تأثیر عوامل محیطی و اقلیمی قرار دارد. مطالعه حاضر باهدف مدل‌سازی تغییرات مکانی زمانی بروز این بیماری براساس معیارهای محیطی و اکولوژیک انجام شده است.

روش کار: شمال شرق ایران به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل پوشش گیاهی، دمای سطح، بارش، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، مدل رقومی ارتفاع و تعداد ساعات آفتابی بودند. برای مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی لیشمانیوز جلدی از روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید.

یافته‌ها: تغییرات مکانی بروز این بیماری روندی شمالی-جنوبی دارد و از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. همچنین دو کانون در مناطق با ارتفاع متوسط در دو استان خراسان شمالی و جنوبی شناسایی شد. تغییرات زمانی بروز بیماری در طی دوره نشان داد که از سال 1390 تا 1395 بروز در دو کانون شناسایی شده سیر نزولی داشته است.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج مدل‌سازی مقدار ضریب رگرسیون برای مدل شبکه عصبی ساخته شده بر مبنای هر سه نوع داده آموزش، اعتبار سنجی، آزمون 0/92 بود که نشان‌دهنده کیفیت مناسب مدل شبکه عصبی ساخته شده است. همچنین نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که ساعات آفتابی و رطوبت خاک بالاترین تأثیر در تابع مدل را داشته است.

واژگان کلیدی: لیشمانیوز جلدی، معیارهای محیطی و اکولوژیک، شبکه عصبی مصنوعی، آنالیز حساسیت

مقدمه

پشه خاکی ماده آلوده به انگل لیشمانیا تروپیکا از گونه فلبوتوموس سرزنتی است. اما در فرم روستایی مخزن بیماری عمدتاً جوندگان صحرایی بوده و ناقل بیماری نیز پشه خاکی ماده آلوده به انگل لیشمانیا ماژور از گونه فلبوتوموس پاپاتاسی است (2). انتقال محلی این بیماری در بیش از 100 کشور واقع در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان گزارش شده است (3). در ایران نیز بیشترین بروز آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند استان‌های یزد، بوشهر، خراسان‌های جنوبی، رضوی و شمالی، فارس، ایلام، خوزستان، اصفهان و قم ثبت شده است (4-6). اگرچه برنامه مدیریت کنترل و پیشگیری از لیشمانیوز در ایران نظیر آموزش بهداشت در خصوص راه‌های پیشگیری از بیماری به مردم

لیشمانیوز جلدی به‌عنوان یک عفونت پوستی و یکی از مشکلات بهداشت عمومی در بسیاری از مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری دنیا گسترش یافته است که ناشی از طیف وسیعی از گونه‌های انگل لیشمانیا است (1). در صورتی که انسان‌ها به‌وسیله برخی گونه‌های پشه خاکی ماده آلوده به انگل لیشمانیا، مورد گزش قرار گیرد به این بیماری پوستی مبتلا می‌شوند. معمولاً لیشمانیوزها را به سه دسته احشایی، جلدی و جلدی مخاطی طبقه‌بندی می‌کنند که، فرم جلدی آن از بقیه شایع‌تر است. لیشمانیوز جلدی به دو فرم شهری و روستایی در ایران دیده می‌شود. در فرم شهری مخزن اصلی بیماری انسان‌های مبتلا به بیماری بوده ولی سگ هم به‌طور اتفاقی به بیماری مبتلا می‌شود و ناقل این نوع بیماری به انسان،

مراحل انجام تحقیق به صورت خلاصه ارائه می‌گردد.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه سه استان خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی است (شکل 2). بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال 1395، استان خراسان شمالی جمعیتی برابر با 863092 نفر، استان خراسان رضوی 6434501 نفر و استان خراسان جنوبی نیز 768898 نفر جمعیت دارند و تراکم جمعیت نیز در این سه استان بین 1 تا 363 نفر در کیلومتر مربع متغیر است (22). وسعت این سه استان به ترتیب (شمالی، رضوی و جنوبی) 28311، 118854 و 148669 کیلومتر مربع است. بنابراین تراکم جمعیت استان خراسان شمالی 30/48 نفر در کیلومتر مربع و استان خراسان رضوی و خراسان جنوبی به ترتیب 54/13 و 5/17 نفر در کیلومتر مربع است. همچنین استان خراسان شمالی شامل 8 شهرستان، خراسان رضوی 29 شهرستان و استان خراسان جنوبی شامل 11 شهرستان است. بر اساس مطالعات انجام شده این منطقه یکی از کانون‌های اصلی لیشمانيوز جلدی در ایران است (5)؛ که توزیع فضایی بیماری در این سه استان دارای الگوی خوشه‌ای است (5).

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل دودسته داده‌های جمعیتی و سنجش‌ازدور است. از داده‌های جمعیتی برای تهیه نقشه‌های بروز بیماری در هر شهرستان، طی سال‌های 1390 تا 1395 استفاده شد. از داده‌های سنجش‌ازدور برای تهیه نقشه معیارهای تأثیرگذار بر بروز بیماری استفاده شد. این داده‌ها برای سال‌های 1390 تا 1395 از سامانه Google Earth Engine تهیه شد. برای تهیه نقشه پوشش گیاهی و دمای سطح از تصاویر ماهواره‌ای MODIS با قدرت تفکیک مکانی 500 متر و 1000 متر و برای تهیه نقشه بارش از تصاویر ماهواره‌ای TRMM با قدرت تفکیک مکانی 0/25 درجه استفاده شد. همچنین برای تهیه نقشه تبخیر و تعرق و رطوبت خاک از محصولات ماهواره‌ای GLDAS با قدرت تفکیک مکانی 0/25 درجه و برای مدل رقومی ارتفاع نیز از تصاویر ماهواره‌ای SRTM با قدرت تفکیک مکانی 90 متر استفاده شد. برای به دست آوردن تعداد ساعات آفتابی براساس مدل رقومی ارتفاع، مجموع تابش‌های خورشیدی محاسبه شد (20). از آنجایی که داده‌های بروز بیماری در مقیاس شهرستان

ساکن در مناطق پرخطر بیماری (7،8)، شناسایی مخازن بیماری به‌منظور انجام عملیات جونده کشتی و کنترل جمعیت سگ‌های ولگرد (9،10)، شناسایی و مبارزه با ناقلین (11) از سال 1966 شروع شده است (12)؛ باین وجود شیوع این بیماری در بیش از نیمی از استان‌ها آندمیک بوده و انتقال محلی بیماری برقرار است (2). این بیماری ناقل زاد پیامدهای نامطلوب زیادی بر رشد اقتصادی و کیفیت زندگی انسان‌ها دارد به‌طوری که همه‌ساله بار اقتصادی سنگینی را به خانوارها و نظام‌های بهداشتی درمانی دولتی تحمیل می‌نماید (4). شیوع بسیاری از بیماری‌های واگیر از جمله بیماری‌های منتقله به‌وسیله ناقلین به‌ویژه لیشمانيوز جلدی تابع عوامل اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیک است. در بین عوامل اکولوژیکی، عوامل اقلیمی و محیطی به‌عنوان عوامل بحرانی محسوب می‌شوند (13). بر اساس مطالعات انجام شده بین انتشار جغرافیایی لیشمانيوز جلدی با عوامل اقلیمی و محیطی نظیر پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، بارش، تبخیر و تعرق و رطوبت خاک ارتباط وجود دارد (14-17). از این‌رو شناخت عوامل محیطی و اکولوژیک از جمله مخازن، ناقلین (بشه خاکی‌ها)، شرایط محیطی و اقلیمی در کنترل و مراقبت از بیماری ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به ارتباط مستقیم بسیاری از مسائل بهداشت عمومی مثل بیماری‌های واگیر با جغرافیای منطقه، سامانه‌های اطلاعات مکانی نقش بسزایی در مدیریت و برنامه‌ریزی در مطالعه انتشار این بیماری‌ها و پیشگیری از آن‌ها می‌تواند داشته باشد. یکی از این سامانه‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی است (18). امروز سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزاری قدرتمندی برای تجزیه و تحلیل عوامل اقلیمی و محیطی مؤثر بر پراکنش زمانی- مکانی بیماری‌ها، نمایش داده‌های مکانی و نظارت بر بیماری‌های ناشی از محیط را فراهم آورده است (5، 6، 16، 17). از آنجایی که بر اساس مطالعات انجام شده لیشمانيوز جلدی یک از بیماری‌های آندمیک استان‌های خراسان جنوبی، رضوی و شمالی است (5)؛ این مطالعه باهدف مدل‌سازی تغییرات مکانی-زمانی بروز لیشمانيوز جلدی در استان‌های خراسان جنوبی، رضوی و شمالی در شمال شرق ایران براساس معیارهای محیطی و اکولوژیک با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به روش شبکه عصبی مصنوعی طراحی و اجرا گردید.

روش کار

شکل 1 روند کلی این مطالعه را نشان می‌دهد. که در ادامه

هم به صورت جداگانه و هم به صورت ترکیبی مورد بررسی قرار می‌گیرند (25). GSA مبتنی بر واریانس در آنالیز حساسیت به عنوان یکی از مناسب‌ترین روش‌های GSA شناخته شده است (26,27). هدف از GSA مبتنی بر واریانس تعیین کمی اهمیت پارامترها است که بیشترین تأثیر را بر روی خروجی مدل دارند، در این روش به دو صورت می‌توان اندیس حساسیت بیان نمود: اندیس حساسیت مرتبه اول (S) و کلی (ST). اهمیت یک معیار ورودی (Xi) را می‌توان از طریق سهم کسری از واریانس خروجی مدل به دلیل عدم قطعیت در Xi اندازه‌گیری کرد. برای k معیار ورودی مستقل، آنالیز حساسیت را می‌توان با استفاده از فرمول زیر برای کل واریانس خروجی (Y) محاسبه کرد (27).

رابطه (2)

$$V(Y) = \sum_i V_i + \sum_{j>i} \sum_{j>i} V_{ij} + \dots + V_{12\dots K}$$

رابطه (3)

$$V_i = V_{X_i} \{E_{X_i}(Y/X_i)\}_i$$

رابطه (4)

$$V_{ij} = V_{X_i X_j} \{E_{X_i X_j}(Y/X_i X_j)\} - V_{X_i} \{E_{X_i}(Y/X_i)\} - V_{X_j} \{E_{X_j}(Y/X_j)\}$$

برای محاسبه متوسط $V_i = V_{X_i} \{E_{X_i}(Y/X_i)\}_i$ از انتگرال‌گیری روی همه فضای تصادفی متغیرها بر مبنای روش مونت کارلو استفاده می‌شود. در انتگرال‌گیری، تابع توزیع احتمال متغیرها نیز بایستی منظور شود. اولین معیار برای محاسبه تأثیر نسبی هر متغیر Xi محاسبه کسری از واریانس است که تحت تأثیر تغییرات در آن پارامتر رخ می‌دهد. اندیس‌های مرتبه اول به صورت رابطه (5) تعریف می‌شود.

رابطه (5)

$$S_i = V_i / V$$

در رابطه (5) با صرف نظر کردن از اثر ترکیبی متغیرها شکلی از معادله که تنها شامل اثرات جمعی متغیرهاست به دست می‌آید (27). در این مقاله بنا بر نظریه (28) که بیان می‌کند جملات مهم در تبیین تغییرات یک کمیت فیزیکی شامل تنوع متغیر اندک هستند ما تنها از این شکل محاسبه اندیس‌های حساسیت استفاده می‌کنیم. این نوع از محاسبه را اندیس‌های حساسیت مرتبه اول می‌گویند.

است بنابراین سایر معیارهای به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای نیز در مقیاس شهرستان تهیه شد.

بروز بیماری

با استفاده از داده‌های جمعیتی و داده‌های موارد گزارش شده بیماری (لیشمانیوز جلدی روستایی) در سال‌های 1390 تا 1395 به منظور کاهش اثر جمعیت در شهرستان‌های کم جمعیت و پر جمعیت، بروز بیماری برای هریک از شهرستان‌ها با استفاده از رابطه 1 محاسبه شد.

رابطه (1)

$$\text{بروز لیشمانیوز} = \frac{\text{تعداد موارد بیماری}}{\text{تعداد جمعیت کل}} \times 100000$$

عدد 100000 نفر بیانگر این است که در هر 100000 نفر جمعیت چند بیمار وجود دارد.

شبکه عصبی

شبکه عصبی مصنوعی یک مکانیسم محاسباتی است که با توجه به مجموعه‌ای از داده‌ها می‌تواند از یک فضای چند متغیره اطلاعات دیگری را به دست آورد (21). در بسیاری از مسائل بسیار پیچیده ریاضی که با معادلات غیرخطی پیچیده روبه‌رو است. یک شبکه پرسپترون چندلایه می‌تواند به سادگی با تعیین وزن و تابع‌های مناسب مسئله را حل کند. معمولاً چنین شبکه‌ای از طریق روش Back Propagation آموزش داده می‌شوند (22). الگوریتم آموزش انتشار مجدد رایج‌ترین روش شبکه عصبی است و روشی است که در این مطالعه به کار رفته است. الگوریتم آموزش انتشار مجدد با استفاده از مجموعه نمونه‌هایی از مقادیر ورودی و خروجی مرتبط شبکه آموزش داده می‌شود. هدف از شبکه عصبی مصنوعی ساختن الگویی از داده‌ها است که بتواند با استفاده از ورودی‌هایی که قبلاً ندیده است خروجی را پیش‌بینی کند. این الگوریتم یادگیری از یک شبکه عصبی چندلایه استفاده می‌کند که از یک لایه ورودی، لایه مخفی و یک لایه خروجی تشکیل شده است. در پایان و پس از آموزش شبکه عصبی مدلی ارائه می‌دهد که از یک مقدار ورودی معین، مقدار هدف را پیش‌بینی کند (23).

آنالیز حساسیت جهانی براساس واریانس

آنالیز حساسیت جهانی (GSA) متغیرها را به زیرمجموعه‌های ورودی مختلف تقسیم می‌کند (24) که در آن معیارهای ورودی

یافته‌ها

تغییرات مکانی زمانی بروز بیماری

تغییرات مکانی زمانی بروز لیشمانیوز جلدی طی سال‌های 1390 تا 1395 نشان داد که مناطق شمالی از بروز بالاتری نسبت به مناطق جنوبی برخوردار است به طوری که بروز بیماری روندی شمالی - جنوبی داشته است و از جنوب به شمال افزایش یافته است. به لحاظ تغییرات مکانی در سطح سه استان نیز مشاهده می‌شود که دو کانون اصلی در منطقه مورد مطالعه وجود داشته است. یکی از کانون‌ها در جنوب استان خراسان شمالی و شمال غرب استان خراسان رضوی و دیگری در شمال و شمال شرق استان خراسان رضوی قرار دارد. سایر مناطق مانند قسمت‌های جنوبی استان خراسان رضوی و بخش قابل توجهی از استان خراسان جنوبی نیز از بروز پایینی برخوردار بود. به لحاظ تغییرات زمانی مشاهده گردید که بروز بیماری از سال 1390 تا سال 1395 رو به کاهش بوده است و همچنین از بروز بیماری در کانون‌های آن کاسته شده است (شکل شماره 3).

تغییرات مکانی - زمانی معیارهای محیطی

به منظور بررسی معیارهای محیطی در منطقه مورد مطالعه نقشه‌های سه سال 1390، 1393 و 1395 به عنوان نمونه در شکل (4) نمایش داده می‌شود. پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین معیارهای شناسایی شده در ارتباط با لیشمانیوز جلدی است. از این رو در این مطالعه نیز تغییرات مکانی زمانی پوشش گیاهی مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس یافته‌های این مطالعه تغییرات مکانی پوشش گیاهی روندی کاملاً شمالی جنوبی دارد و از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. همچنین به لحاظ زمانی نیز تغییرات کاهش یافته است به نحوی که در کانون‌های بروز بیماری کاملاً مشهود است (شکل شماره 4).

تغییرات مکانی دمای سطح زمین نشان داد که دما طی این دوره شش ساله روندی صعودی داشته است (شکل شماره 4). در سال 1390 حداکثر دما 40/59 درجه سانتی‌گراد و حداقل دما 20/71 درجه سانتی‌گراد است. این در حالی است که در سال 1395 میزان حداکثر و حداقل افزایش یافته است. همچنین تغییرات مکانی دمای سطح نشان داد که استان خراسان شمالی و شمال خراسان رضوی نسبت به استان خراسان جنوبی و جنوب استان خراسان رضوی دمای کمتری دارد. همچنین بارش، تبخیر و تعرق و رطوبت خاک نیز روند شمالی جنوبی داشته است و از

شمال به جنوب افزایش یافته است (شکل شماره 4). به طوری که استان خراسان شمالی و شمال استان خراسان رضوی از بارش، تبخیر و تعرق و رطوبت بالاتری برخوردارند و به همان نسبت نرخ بروز بیماری بیشتری داشته است. از طرف دیگر استان خراسان جنوبی و جنوب استان خراسان رضوی از بارش، تبخیر و تعرق و رطوبت خاک پایینی برخوردار بوده در نتیجه بروز بیماری نیز پایین بوده است. تغییرات زمانی از سال 1390 تا سال 1395 نشان داد که بارش، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق روندی کاهشی داشت و از طرف دیگر کانون‌های بروز بیماری نیز سیر نزولی داشته است. به طور کلی در طی دوره منطقه مورد مطالعه با کاهش پوشش گیاهی، بارش، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و افزایش دما همراه بوده است.

به لحاظ تغییرات مکانی، اختلاف ارتفاع نسبتاً زیادی در منطقه وجود داشته است (شکل شماره 5 الف) به طوری که شهرستان‌های شرقی استان خراسان شمالی، شهرستان‌های شمالی استان خراسان رضوی و شهرستان‌های شمال شرق استان خراسان جنوبی بالاترین ارتفاع را داشته‌اند. در مقابل شهرستان‌های شرقی و جنوبی استان خراسان رضوی و شهرستان‌های غربی استان خراسان جنوبی کمترین ارتفاع را داشته‌اند. به طور کلی تغییرات ارتفاعی و بروز بیماری نشان داد که مناطق مستعد برای ایجاد کانون‌های بیماری، ارتفاعات متوسط (1000 تا 1500 متر) بوده است. تغییرات مکانی تعداد ساعات آفتابی نشان داد که استان خراسان جنوبی و شهرستان‌های جنوبی و غربی استان خراسان رضوی تعداد ساعات آفتابی بیشتری را در طی سال داشته‌اند (شکل شماره 5 ب). از طرفی دیگر استان خراسان شمالی و شهرستان‌های شمالی استان خراسان رضوی تعداد ساعات آفتابی کمتری داشته‌اند. نتایج حاصل از تغییرات مکانی ساعات آفتابی نشان می‌دهد که با افزایش تعداد ساعات آفتابی بروز بیماری کاهش یافته است.

مدل سازی تغییرات مکانی زمانی لیشمانیوز جلدی

پس از تهیه نقشه‌های بروز بیماری و معیارهای محیطی به منظور مدل سازی ابتدا تأثیر هر یک از معیارها بر بروز بیماری با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام گرفت. بروز بیماری بالاترین همبستگی مثبت را با رطوبت خاک (0/38+) و بالاترین همبستگی منفی را با تعداد ساعات آفتابی (0/31-) داشته است (جدول شماره 1). به طور کلی بروز بیماری همبستگی متوسطی با معیارها داشته است. با توجه به این که این بیماری تحت تأثیر یک

حفظ‌شده است. یکی از مناطق اختلاف بین بروز واقعی با بروز مدل شده قسمت‌های شمال شرقی استان خراسان جنوبی است. دلیل این امر این است که در اکثر معیارها شرایط برای بروز در طبقه متوسط (50 تا 100) فراهم است؛ اما نرخ بروز واقعی کمی پایین‌تر گزارش شده است. این شرایط ممکن است در نتیجه وضعیت اجتماعی، شغل و سایر معیارهای تأثیرگذاری باشد که وارد مدل نشده‌اند. نتایج نشان‌دهنده قابلیت بالای شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی بروز بیماری دارد.

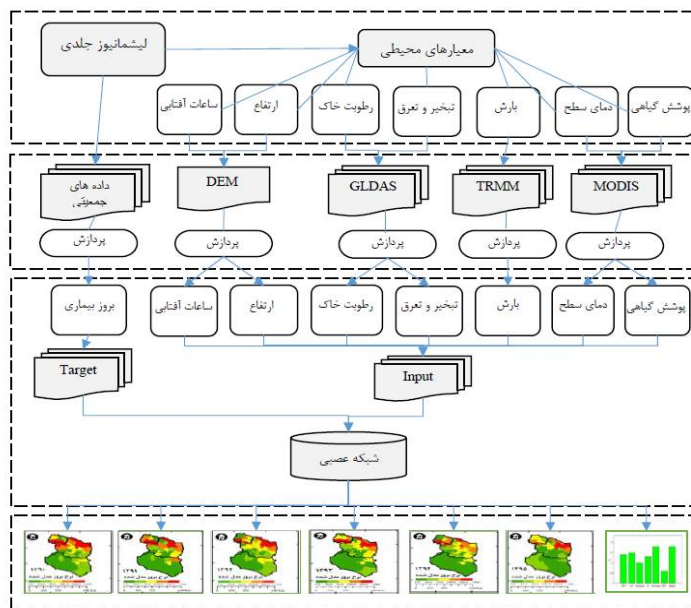
آنالیز حساسیت

پس از مدل‌سازی بروز بیماری بر اساس معیارهای ورودی اقدام به آنالیز حساسیت مدل برای هر یک از معیارهای ورودی گردید (شکل 8). نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که معیارهای ساعات آفتابی و رطوبت خاک بالاترین حساسیت نسبت به تابع مدل را دارند ($S_i = 0.18$). در مقابل معیارهای دمای سطح زمین، پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق و بارش حساسیت متوسطی با تابع مدل دارند. همچنین مدل رقومی ارتفاع کمترین حساسیت را در بروز بیماری در این مناطق داشته است ($S_i = 0.06$).

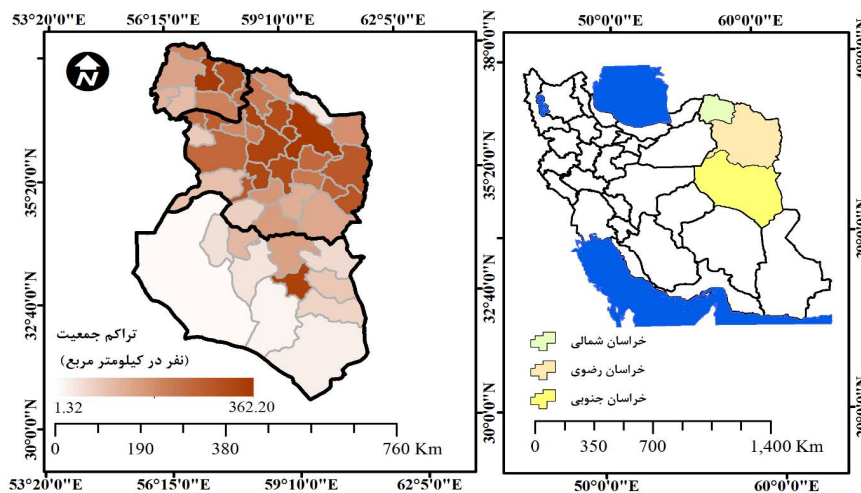
معیار خاص قرار ندارد، بنابراین نیاز است که برای مدل‌سازی بروز این بیماری مجموعه‌ای از معیارهای محیطی و اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

پس از بررسی ضریب همبستگی بین معیارها با بروز بیماری، این نتیجه حاصل شد که تمامی معیارها برای فرآیند مدل‌سازی مناسب ارزیابی شدند. از این رو یک ماتریس (7×282) متشکل از هفت معیار شامل دمای سطح زمین، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، بارش، تبخیر و تعرق، مدل رقومی ارتفاع و تعداد ساعات آفتابی در شش سال مورد بررسی به‌عنوان لایه ورودی و لایه بروز بیماری به‌عنوان لایه هدف به شبکه معرفی شدند. از مجموع 282 ورودی 70% برای آموزش 15% درصد برای اعتبارسنجی و 15% درصد برای آزمون نهایی شبکه استفاده شد؛ بنابراین شبکه‌ای با 7 نرون ورودی متشکل از هفت لایه ورودی و یک نرون در لایه خروجی و ده لایه مخفی اجرا شد. ضرایب رگرسیون برای هر چهار نوع داده آموزش، اعتبارسنجی، آزمون و کل بزرگ‌تر از $0/81$ است که نشان‌دهنده کیفیت مطلوب شبکه تنظیم‌شده است (شکل 6).

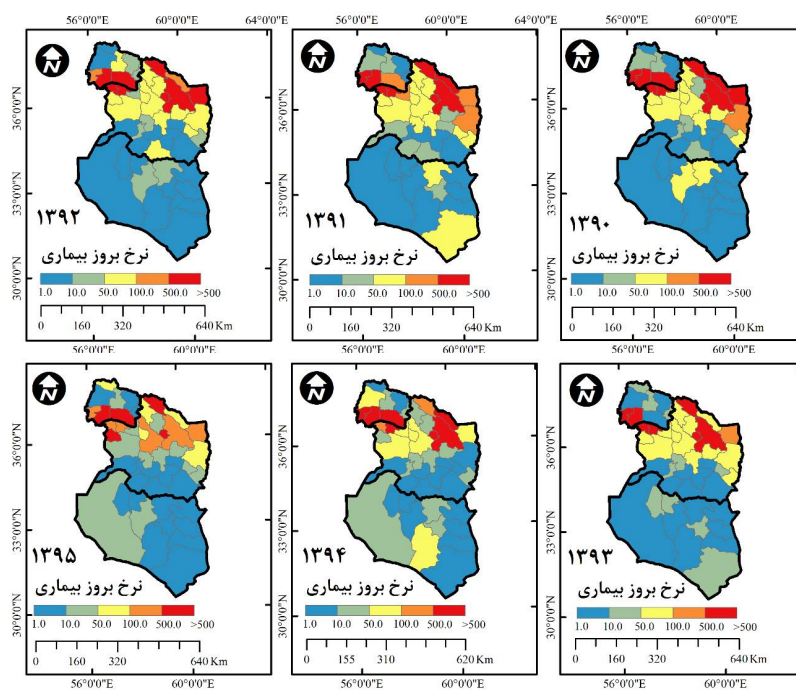
نتایج حاصل از شبکه عصبی نشان داد که دو کانون اصلی لیشمانیوز جلدی در طی شش سال به‌خوبی شناسایی شدند (شکل 7). همچنین کماکان روند شمالی جنوبی بروز بیماری



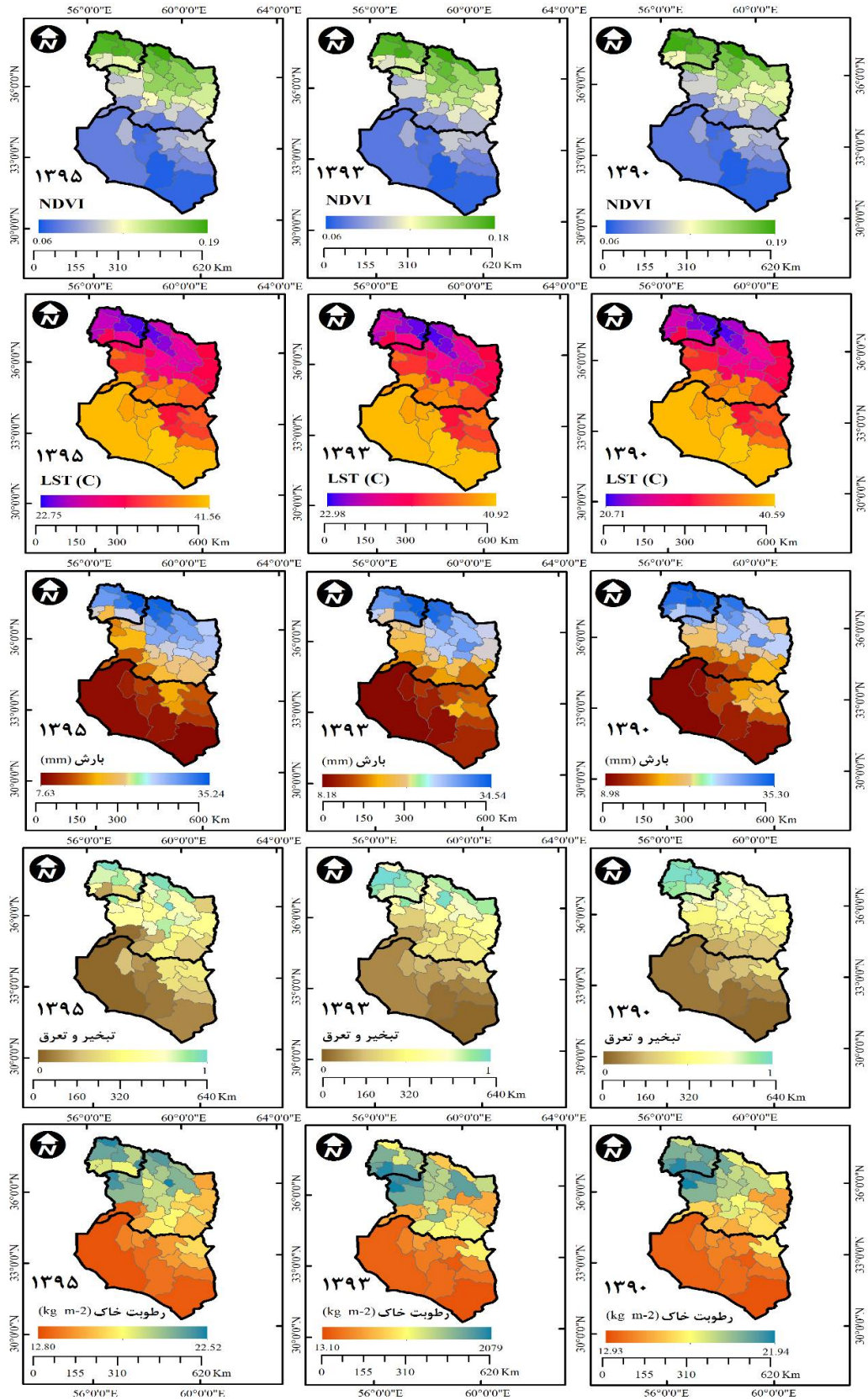
روند کلی پژوهش (1)



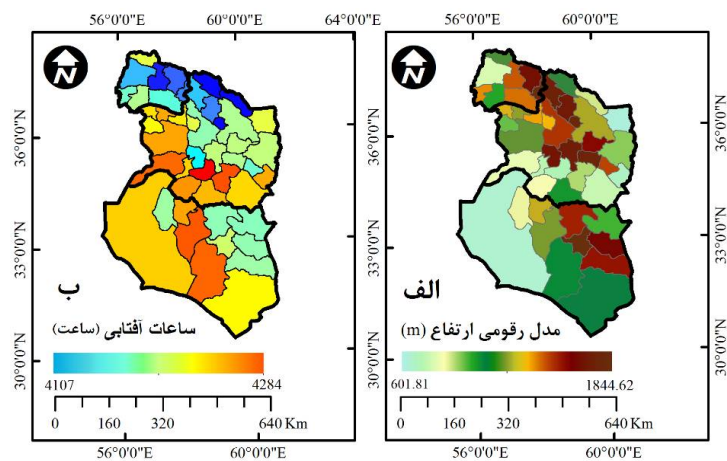
شکل شماره 2 - منطقه مورد مطالعه



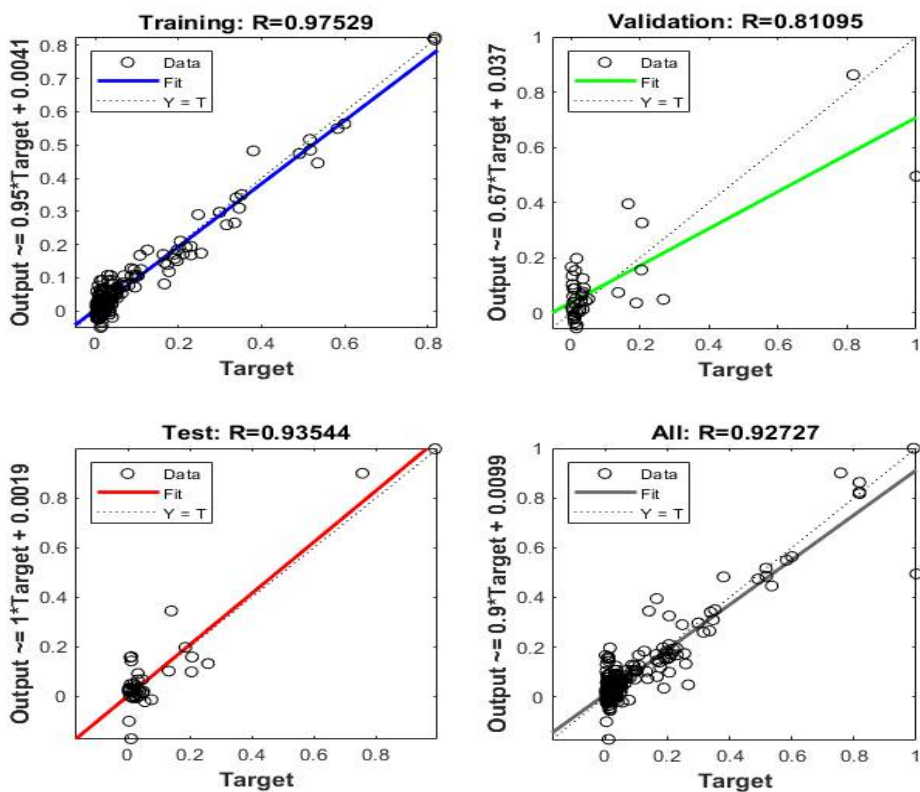
شکل شماره 3- تغییرات مکانی زمانی بروز لیشرمانیوز جلدی در شمال شرق ایران طی سالهای 1390 تا 1395



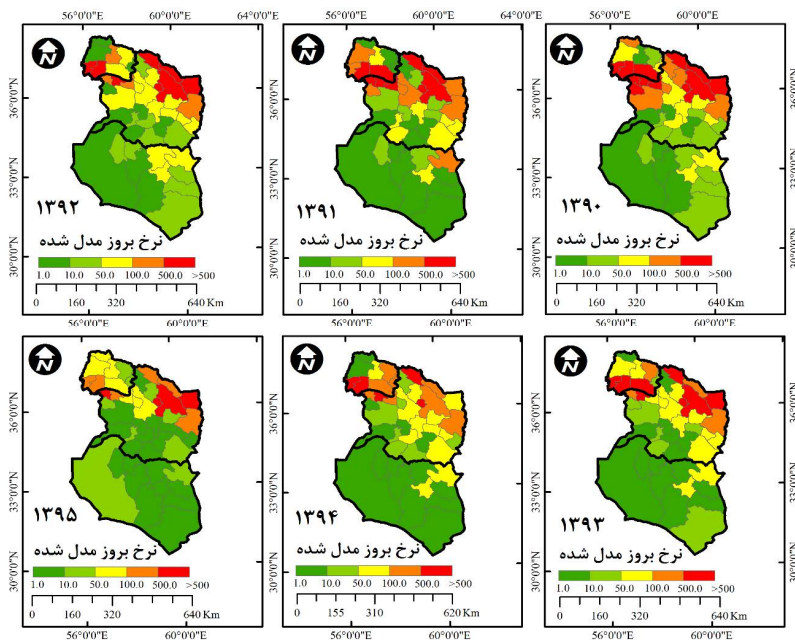
شکل شماره 4 - تغییرات مکانی زمانی معیارهای محیطی در شمال شرقی ایران طی سال‌های 1390 تا 1395



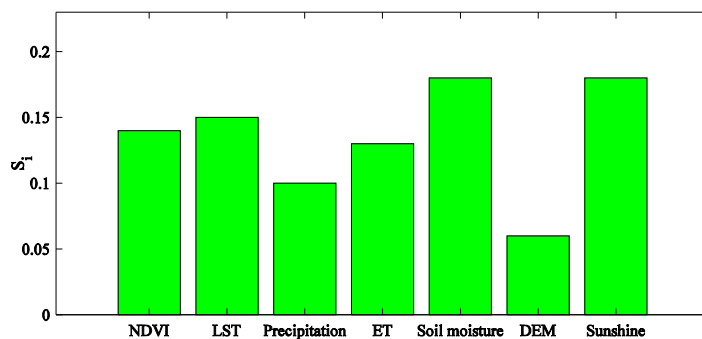
شکل شماره 5 - الف) مدل رقومی ارتفاع ب) ساعات آفتابی در شمال شرق ایران طی سال‌های 1390 تا 1395



شکل شماره 6 - ضرایب و نمودار برازش شده مدل



شکل شماره 7 - بروز لیشمانیوز جلدی مدل شده در شمال شرق طی سال‌های 1390 تا 1395



شکل شماره 8 - آنالیز حساسیت متغیرهای مرتبط با بروز لیشمانیوز جلدی

جدول شماره 1- همبستگی معیارها با بروز لیشمانیوز جلدی در شمال شرق ایران طی سال‌های 1390 تا 1395

| ساعات آفتابی | مدل رقومی ارتفاع | رطوبت خاک | تبخیر و تعرق | بارش | دمای سطح زمین | پوشش گیاهی | معیار سال |
|--------------|------------------|-----------|--------------|------|---------------|------------|--------------|
| -0/24 | 0/07 | 0/38 | 0/26 | 0/20 | -0/26 | 0/25 | 1390 |
| -0/32 | 0/16 | 0/32 | 0/12 | 0/10 | -0/25 | 0/22 | 1391 |
| -0/33 | 0/14 | 0/31 | 0/18 | 0/16 | -0/28 | 0/23 | 1392 |
| -0/30 | 0/13 | 0/39 | 0/26 | 0/17 | -0/28 | 0/26 | 1393 |
| -0/41 | 0/18 | 0/36 | 0/28 | 0/15 | -0/31 | 0/26 | 1394 |
| -0/27 | 0/04 | 0/51 | 0/37 | 0/14 | -0/19 | 0/19 | 1395 |
| -0/31 | 0/12 | 0/38 | 0/24 | 0/15 | -0/26 | 0/23 | کل |

بحث

جغرافیایی بر شیوع بیماری باشد به طوری که گاهی تأثیرات پارامترهای اقلیمی مشابه بر شیوع یک بیماری در نواحی مختلف، متفاوت خواهد بود. پوشش گیاهی تابعی از دما و رطوبت است. تغییرات پوشش گیاهی و بروز لیشمانیوز جلدی هر دو تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی هستند. اما نکته حائز اهمیت این است که متغیرهای اقلیمی تا چه حد و چگونه بر این دو می‌تواند مؤثر باشند. پوشش گیاهی می‌تواند تحت تأثیر بارش بیشتر و دمای کمتر افزایش پیدا کند (33).

بین بروز لیشمانیوز جلدی با میانگین بارش همبستگی معناداری وجود داشت. میانگین بارش در قسمت‌های جنوبی کمتر از قسمت‌های شمالی است و استان خراسان شمالی بیشترین بارش را در طول سال داشته است. استان خراسان رضوی نیز شرایط متفاوتی را دارد و قسمت‌های شمالی استان بارش نسبتاً خوبی را داشته و قسمت‌های جنوبی و غربی بارش کمتری نسبت به قسمت‌های شمالی دارند. همچنین استان خراسان جنوبی در اکثر مناطق بارش کمی را داشته است. در این مطالعه، مناطق حداکثر بارش با حداکثر بروز بیماری یکسان بود. در استان فارس جنوب ایران که اکثر بارش‌ها موسمی و سیل‌آسا است نیز بین بروز لیشمانیوز و بارش‌های سیلابی همبستگی معکوس دیده شد (13). بارش به میزان مناسب می‌تواند باعث تعدیل دمای هوا و افزایش رطوبت گردد اما بارش‌های سل آسا زیستگاه‌های لاروی پشه خاکی‌ها ویران کرده و جمعیت آن‌ها را کاهش می‌دهد و به تبع آن موارد بیماری نیز کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال لارو فلوتوموس آرژانتیپس در هنگام بروز سیلاب‌های موسمی در شمال هند، از دیوارهای گلی منازل بالا می‌رود و دوباره پس از ته‌نشین شدن آب و مناسب شدن شرایط زیست پایین می‌آیند اما در سایر گونه‌ها این بارش‌های سیلابی باعث مرگ‌ومیر پشه خاکی‌ها می‌شوند (34).

تبخیر و تعرق روندی شمال غربی - جنوب شرقی داشت و از شمال غرب به جنوب شرق رو کاهش است. تبخیر و تعرق استان خراسان شمالی بیش از دو استان دیگر بود. در استان خراسان رضوی نیز مناطق شمالی و شرقی تبخیر و تعرق بالاتری نسبت به مناطق جنوبی و شرقی وجود داشت. تغییرات مکانی تبخیر و تعرق در استان خراسان جنوبی نشان از پایین بودن مقدار این شاخص دارد و اکثر مناطق تبخیر و تعرق پایینی دارند. در ادامه پس از مقایسه با تغییرات مکانی بروز بیماری می‌توان دریافت که تبخیر و تعرق نیز از عوامل تأثیرگذار بر بروز بیماری است. حرکت

مطالعه حاضر به مدل‌سازی مکانی زمانی بروز لیشمانیوز جلدی بر اساس معیارهای محیطی پرداخته است. در محدود مطالعاتی که در زمینه مدل‌سازی بروز این بیماری انجام گرفته است اگرچه روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی مناسب ارزیابی شده است (17) اما در مطالعه حاضر نتایج حاصل از روش شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که این روش نسبت به سایر روش‌ها به خوبی می‌تواند بروز بیماری را مدل کند. بر اساس یافته‌های این مطالعه درباره تأثیر معیارهای محیطی در تغییرات مکانی و زمانی بروز بیماری، نتایج نشان داد که بروز بیماری با پوشش گیاهی، مدل رقمی ارتفاع، بارش و تبخیر و تعرق رابطه مستقیم دارد. اگرچه در مطالعات متعددی بین ارتفاع و میزان لیشمانیوز جلدی رابطه معکوس گزارش شده است (16,29,30)، اما در این منطقه به علت اقلیم گرم و خشک و رطوبت پایین منطقه ناقلین بیماری (گونه‌های پشه‌های خاکی) برای ادامه فعالیت به مناطق با ارتفاع متوسط روی آورده‌اند. پشه خاکی‌ها به‌عنوان ناقلین لیشمانیوز جلدی برای فعالیت خود به‌طور مستقیم تحت تأثیر دما و رطوبت قرار دارند (31) و با نتایج ضریب همبستگی پیرسون که نشان داد رطوبت خاک، ساعات آفتابی و دمای سطح زمین بالاترین ضرایب داشتند همخوانی کامل دارد.

در مطالعه حاضر تغییرات مکانی پوشش گیاهی نشان داد که مناطق شمالی وضعیت بهتری نسبت به مناطق جنوبی دارند. به لحاظ پراکندگی در سطح استان‌ها نیز پوشش گیاهی استان خراسان شمالی و شمال خراسان رضوی مناسب‌تر است و قسمت‌های جنوبی و غربی استان خراسان رضوی و استان خراسان جنوبی پوشش گیاهی کمتری را دارد. با بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی و بروز بیماری مشاهده گردید که رابطه مستقیمی وجود داشت. مظفری و همکاران به بررسی رابطه وضعیت پوشش گیاهی و بیماری پوستی سالک در سطح دشت یزد-اردکان پرداخته‌اند که در این تحقیق از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فن سنجش‌ازدور برای بررسی پراکندگی آن استفاده کردند. در این پژوهش مقایسه پراکنش فضایی موارد بیماری با وضعیت پوشش گیاهی نشان می‌دهد که برخلاف نتایج حاصل از مطالعه ما، بیشترین میزان شیوع بیماری سالک جلدی در مناطقی با پایین‌ترین میزان پوشش گیاهی متمرکز گردیده است (32). این‌گونه تفاوت‌ها می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر موقعیت‌های

می‌شوند و می‌تواند با گزش‌های آلوده به انگل لیشمانیا باعث انتقال بیماری گردند. همچنین بر اساس یافته‌های این مطالعه اگرچه تعداد ساعات آفتابی تا حدود زیادی تحت تأثیر تغییرات ارتفاع است اما مدل رقومی ارتفاع همبستگی به‌مراتب پایین‌تری نسبت به ساعات آفتابی با بروز بیماری داشت. دلیل عمده این اختلاف عرض‌های پایین‌تر مناطق جنوبی (مناطق بیشینه ساعات آفتابی) و تغییرات جهت شیب است. یکی از محدودیت‌های این مطالعه که باهدف مدلسازی مکانی زمانی لیشمانیوز جلدی با استفاده از داده‌های ثبت‌شده موارد بیماری و معیارهای محیطی بود، عدم دسترسی به زمان دقیق موارد گزارش‌شده بیماری است؛ زیرا با توجه به تغییرات اقلیمی منطقه در طی سال ممکن است شیوع، گسترش و اوج بیماری در بازه زمانی خاصی مشاهده شود. همچنین موارد گزارش‌شده بیماری در مقیاس شهرستان ثبت‌شده است بنابراین موارد بیان‌شده ممکن است از دقت مکانی - زمانی تحلیل‌ها بکاهد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج می‌توان دریافت در مناطقی که بارش حداکثری همراه با رطوبت خاک، تبخیر و تعرق بالا، پوشش گیاهی مناسب، دمای سطح زمین و تعداد ساعات آفتابی بالا و متوسطی وجود داشته است بروز بیماری بالاتر بوده است. به‌طورکلی با توجه به تغییرات بروز بیماری در طی شش سال موردبررسی می‌توان نتیجه گرفت که دو کانون عمده لیشمانیوز جلدی با بروز بالا در شمال شرق کشور وجود دارد. این کانون‌ها در شهرستان‌های جنوبی استان خراسان شمالی و شهرستان‌های شمالی استان خراسان رضوی قرار دارد. همچنین نتایج نشان داد که اگرچه تمامی معیارهای انتخاب‌شده برای فرایند مدلسازی مناسب ارزیابی‌شده‌اند اما می‌توان با در نظر گرفتن معیارهای مختلف محیطی، جمعیتی، اجتماعی و بهداشتی دقت مدل را بهبود بخشید.

آب در بستر رودخانه‌ها می‌تواند نقش مؤثری در افزایش تبخیر و تعرق و به‌تبع آن افزایش رطوبت نسبی و نیز تعدیل دمای محیط داشته باشد لذا خراسان شمالی با داشتن رودخانه‌ها و نه‌رهای فراوان با تبخیر و تعرق کافی زیستگاه مناسبی برای فعالیت پشه خاکی‌های ناقل بیماری فراهم کرده است. در مطالعات قبلی وجود پشه خاکی‌های گونه فلپوتوموس پاپاتاسی آلوده به انگل لیشمانیا در مناطق آندمیک استان خراسان شمالی به اثبات رسیده است (35). همچنین نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که معیارهای رطوبت خاک و ساعات آفتابی مهم‌ترین معیارهای محیطی برای مدلسازی ارزیابی شدند که نتایج آن با سایر مطالعات گذشته که بخصوص در ایران انجام‌گرفته است همخوانی دارد (17)؛ بنابراین مشاهده گردید که در مناطق گرم و خشک رطوبت، ساعات آفتابی و دمای سطح مهم‌ترین معیارها هستند. بین بروز لیشمانیوز جلدی با درجه حرارت هوا همبستگی معکوس وجود داشت. دمای هوا نیز از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. به لحاظ شرایط دمایی در سطح سه استان نیز استان خراسان شمالی میانگین دمای کمتری داشت. در استان خراسان رضوی شمال و شمال شرقی این استان دمای کمتری نسبت به مناطق جنوبی و شرقی این استان دارد. استان خراسان جنوبی نیز میانگین دمایی متفاوتی را در طی یک سال تجربه کرده است و قسمت‌های جنوبی و غربی دمای بالاتری نسبت به مناطق شرقی و شمالی این استان دارد. مشاهده شد که مناطق جنوبی که دمای بالایی دارند بروز بیماری کاهش‌یافته است. رشد و نمو همه گونه‌های پشه خاکی‌ها در دمای بالاتر از 18 درجه سانتی‌گراد که دمای آستانه برای زندگی آن‌هاست صورت می‌گیرد. درمجموع یافته‌های محققین مختلف نشان می‌دهد که دمای مطلوب برای نمو مراحل قبل از بلوغ پشه خاکی‌ها 28-30 درجه سانتی‌گراد است (34). بررسی‌هایی که در منطقه راجستان هند صورت گرفت نشان داد آستانه حرارتی برای رشد و نمو پشه خاکی‌ها را 17-35 درجه سانتی‌گراد ارزیابی نمودند (36). پشه خاکی‌های بالغ در ساعات غروب آفتاب و در طول شب موقعی که دمای هوا متعادل و رطوبت بالا می‌رود فعال

References

1. Steverding D. The history of leishmaniasis. *Parasit Vectors*. 2017; 10: 82.
2. Norouzinezhad F, Ghaffari F, Norouzinejad A, Kaveh F, Gouya MM. Cutaneous leishmaniasis in Iran: Results from an epidemiological study in urban and rural provinces. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. 2016; 6: 614-619.
3. Torres-Guerrero E, Quintanilla-Cedillo MR, Ruiz-Esmenjaud J, Arenas R. Leishmaniasis: a review. *F1000Research*. 2017; 6: 750.
4. Salimi M, Saghafipour A, Hamidi Parsa H, Khosravi M, Shirzadi M R. Economic Burden Evaluation of Cutaneous Leishmaniasis in Iran. *Shiraz E-Medical Journal*. 2019; 20: e82810.
5. Shirzadi MR, Javanbakht M, Jesri N, Saghafipour A. Spatial Distribution of Cutaneous Leishmaniasis Cases Referred to Health Centers of Three Khorasan Provinces in Iran Using Geographical Information System. *Iranian Journal of Public Health*. 2019; 48: 1885-1892.

6. Salimi M, Jesri N, Javanbakht M, Farahani LZ, Shirzadi MR, Saghafipour A. Spatio-temporal distribution analysis of zoonotic cutaneous leishmaniasis in Qom Province, Iran. *Journal of Parasitic Diseases*. 2018; 42: 570-6.
7. Vesali Monfared E, Sadeghi R, Sedaghat M M, Saghafipour A, Tol A, Yaseri M. Effect of educational intervention based on social cognitive theory on promoting preventive behaviors of cutaneous leishmaniasis. *Koomesh*. 2018; 20: 692-8.
8. Saghafipour A, Nejati J, Mozaffari E, Rezaei F, Gharlipour Z, Mirheydari M. The Effectiveness of Education Based on BASNEF Model on Promoting Preventive Behavior of Cutaneous Leishmaniasis among Students. *International Journal of Pediatrics*. 2017; 5: 5125-36.
9. Rassi Y, Saghafipour A, Abai MR, Oshaghi MA, Rafizadeh S, Mohebbali M, et al. Phlebotomus papatasi and Meriones libycus as the vector and reservoir host of cutaneous leishmaniasis in Qomrood District, Qom Province, central Iran. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. 2011; 4: 97-100.
10. Bamorovat M, Sharifi I, Dabiri S, Mohammadi MA, Fasihi Harandi M, Mohebbali M, Aflatoonian MR, Keyhani A. Leishmania tropica in Stray Dogs in Southeast Iran. *Iranian Journal of Public Health*. 2015; 44: 1359-66.
11. Saghafipour A, Vatandoost H, Zahraei-Ramazani AR, Yaghoobi-Ershadi MR, Rassi Y, Shirzadi MR, et al. Spatial Distribution of Phlebotomine Sand Fly Species (Diptera: Psychodidae) in Qom Province, Central Iran. *Journal of Medical Entomology*. 2017; 54: 35-43.
12. Khademvatan S, Salmanzadeh S, Foroutan-Rad M, Bigdeli S, Hedayati-Rad F, Saki J, Heydari-Gorji E. Spatial distribution and epidemiological features of cutaneous leishmaniasis in southwest of Iran. *Alexandria Journal of Medicine*. 2017; 53: 93-8.
13. Entezari M, Eskandari F. Relationship between Climatic Factors and the Prevalence of Cutaneous Leishmaniasis in Larestan City. *Journal of Military Medicine*. 2014; 16: 99-104.
14. Cardenas R, Sandoval CM, Rodriguez-Morales AJ, Franco-Paredes C. Impact of climate variability in the occurrence of leishmaniasis in northeastern Colombia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2006; 1; 75: 273-7.
15. Patz JA, Olson SH, Uejio CK, Gibbs HK. Disease emergence from global climate and land use change. *Medical Clinics of North America*. 2008; 1; 92: 1473-91.
16. Ali-Akbarpour M, Mohammadbeigi A, Tabatabaee SH, Hatam G. Spatial analysis of eco-environmental risk factors of cutaneous leishmaniasis in southern Iran. *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery*. 2012; 5: 30-35.
17. Ramezankhani R, Hosseini A, Sajjadi N, Khoshabi M, Ramezankhani A. Environmental risk factors for the incidence of cutaneous leishmaniasis in an endemic area of Iran: A GIS-based approach. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*. 2017; 1; 21: 57-66.
18. AhangarCani M, Farnaghi M, Shirzadi M R. Predictive Map of Spatio-Temporal Distribution of Leptospirosis Using Geographical Weighted Regression and Multilayer Perceptron Neural Network Methods. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 6, 79-98.
19. Statistical Center of Iran. Iran statistical yearbook. Tehran, Iran: Statistical Center of Iran, Press; 2016.
20. Fu P, Rich PM. The solar analyst 1.0 user manual. Helios Environmental Modeling Institute. 2000; 1616.
21. Garrett JH. Where and why artificial neural networks are applicable in civil engineering.
22. Manhaj, Mohammadbagher, 2002. Principles of Artificial Neural Networks. Published by Industrial University of Amirkabir (Tehran Polytechnic), Tehran.
23. Lee S, Park I, Koo BJ, Ryu JH, Choi JK, Woo HJ. Macrobenthos habitat potential mapping using GIS-based artificial neural network models. *Marine pollution bulletin*. 2013; 67: 177-86.
24. Hao W, Lu Z, Wei P, Feng J, Wang B. A new method on ANN for variance based importance measure analysis of correlated input variables. *Structural Safety*. 2012; 38: 56-63.
25. Ligmann-Zielinska A. Spatially-explicit sensitivity analysis of an agent-based model of land use change. *International Journal of Geographical Information Science*. 2013; 27: 1764-81.
26. Saltelli A, Tarantola S, Campolongo F. Sensitivity analysis as an ingredient of modeling. *Statistical Science*. 2000; 15: 377-95.
27. Saisana M, Saltelli A, Tarantola S. Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*. 2005; 168: 307-23.
28. Montgomery DC. Design and analysis of experiments. John Wiley & sons; 2017.
29. Holakouie-Naieni K, Mostafavi E, Bolorani AD, Mohebbali M, Pakzad R. Spatial modeling of cutaneous leishmaniasis in Iran from 1983 to 2013. *Acta Tropica*. 2017; 166: 67-73.
30. Salahi-Moghaddam A, Khoshdel AL, Hanafi-Bojd AA, Sedaghat MM. Mapping and review of leishmaniasis, its vectors and main reservoirs in Iran. *Journal of Kerman University of Medical Sciences*. 2015; 22: 83-104.
31. Hlavacova J, Votypka J, Volf P. The effect of temperature on Leishmania (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) development in sand flies. *Journal of Medical Entomology*. 2013; 50: 955-8.
32. Mozaffari GH, Bakhshizade Kloche F, Ghaybi M. Analysis relationship between vegetation cover and Salak skin disease in Yazd-Ardakan plain. *Geography and Environmental Planning Journal*. 2011; 22: 47-50.
33. Farajzadeh M, Gholamy S, Ghavidel Y. Identifying the Climatic Factors Affecting the Prevalence of Cutaneous Leishmaniasis in Ilam Province, Iran, Using Satellite Imagery. *Hakim Health System Research*. 2016; 19: 152-162.
34. Rassi Y, Hanafi -Bojd AA. Phlebotominae Sand flies, vector of leishmaniasis. 1th ed. Tehran: Noavaran Elm Publications; 1387. 39-58.
35. Alavinia SM, Arzamani K, Reihani MH, Jafari J. Some Epidemiological Aspects of Cutaneous Leishmaniasis in Northern Khorasan Province, Iran. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*. 2009; 3: 50-54.
36. Singh K. Studies on the role of climatological factors in the distribution of phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae) in semi-arid areas of Rajasthan, India. *Journal of Arid Environments*. 1999; 42: 43-8.

Modeling Spatial-Temporal Variations of Cutaneous Leishmaniasis Incidence in Southern, Razavi and Northern Khorasan Provinces Based on Environmental and Ecological Criteria in Northeast Iran

Mohammad Javanbakht¹, Maysam Argany², Kayvan Ezimand³, Abedin Saghafipour⁴

1- PhD Student in Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Assistant Professor Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

3- PhD Student in Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Department of Public Health, Faculty of Public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran

Corresponding author: Argani M, argany@ut.ac.ir

(Received 3 May 2020; Accepted 28 October 2020)

Background and Objectives: Environmental conditions in different geographical areas provide a basis for the spread of some diseases. Cutaneous leishmaniasis is a serious threat to public health and is one of the arthropod-borne diseases. The prevalence and distribution of this disease is affected by environmental and climatic factors. The aim of this study was to model the Spatio-temporal variations in the incidence rate of this disease based on environmental and ecological criteria.

Methods: The northeast of Iran was selected as the study area. The data used in this study included vegetation, surface temperature, precipitation, evapotranspiration, soil moisture, digital elevation model and sunny hours. The artificial neural network method was used to model the spatio-temporal changes of cutaneous leishmaniasis.

Results: Spatial variations in the incidence of the disease had a north-south trend and decreased from north to south. In addition, two foci were identified in the medium altitude areas in North and South Khorasan provinces. Temporal variations in the incidence of disease in the study period showed that the incidence rate decreased in the two identified foci from 2011 to 2016.

Conclusion: The modeling results showed that the estimated regression coefficient was 0.92 for neural network based on all three types of data (training, validation, test) indicating good quality of constructed neural network. In addition, sensitivity analysis results showed that sunny hours and soil moisture were the most important factors in the model function.

Keywords: Cutaneous leishmaniasis, Environmental and ecological criteria, Artificial neural network, Sensitivity analysis

