

توسعه روشی عامل مبنا برای شبیه‌سازی گسترش مکانی زمانی بیماری سالک در محیط GIS (مطالعه موردی: شهرستان مراوه تپه)

محمد طبسی^{۱*}، علی اصغر آل‌شیخ^۲

^۱ دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
mtabasi@mail.kntu.ac.ir

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
alesheikh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت خرداد ۱۳۹۷، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۷)

چکیده

لیشمانیوز جلدی (سالک پوستی) یک بیماری انگلی و بومی است که توسط نیش پشه خاکی ماده انتقال می‌یابد. این بیماری در خاورمیانه و سراسر جهان مشکلی اساسی برای سلامت جامعه ایجاد نموده و خسارت‌های اجتماعی و اقتصادی بسیاری را به کشورها تحمیل کرده است. گسترش این بیماری به شدت به پارامترهای مکانی، تعاملات فضایی و زیست‌محیطی ناقلین (پشه خاکی)، میزبان‌ها (انسان)، مخازن (جونده صحرایی) و محیط طبیعی وابسته است. ناهمگونی در این تعاملات، معمولاً مانع از مدل‌سازی دقیق این بیماری برای اتخاذ مراقبت‌های پیش‌گیرانه در مناطق مستعد بیماری شده است. مدل‌سازی عامل مبنا (ABM) می‌تواند به عنوان یک فناوری نوین برای مطالعه این رفتارها و شبیه‌سازی گسترش بیماری و تعاملات پیچیده استفاده شود. از توانایی‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) نیز می‌توان جهت تسهیل در گردآوری، تحلیل و نمایش اطلاعات بیماری استفاده کرد. از این‌رو، مشارکت این مقاله، ترکیب GIS، ABM و یک مدل همه‌گیر و بهبود یافته SEIR در راستای کشف الگوی گسترش بیماری سالک پوستی است. جهت ارزیابی مدل پیشنهادی، از داده‌های شهرستان مراوه تپه در استان گلستان که یکی از نواحی آلوده این بیماری در کشور ایران به‌شمار می‌رود، استفاده گشت. با استفاده از شبیه‌سازی‌ها و نماهای انجام‌شده در این پژوهش، نتایج مدل پیشنهادی نشان داد که چگونه بیماری سالک پوستی می‌تواند در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه با شرایط زیست‌محیطی و اجتماعی متفاوت، گسترش یابد. یافته‌های این تحقیق بیان‌گر آن است که گسترش بیماری بیشتر در نواحی خشک و کم ارتفاع، مجاور رودخانه‌ها و مناطق پرجمعیت اتفاق می‌افتد. محدود نمودن فعالیت انسان‌ها در روستاها می‌تواند باعث کاهش شدت آلودگی گردد. به‌علاوه، نتایج نشان داد که گسترش زمانی این بیماری نیز دارای الگوی خاصی است؛ به‌طوری که بیشترین موارد بروز بیماری در نیمه دوم سال رخ می‌دهد. این یافته می‌تواند به دلیل وجود دوره نهفتگی برای این بیماری و عدم فعالیت پشه‌های خاکی در فصول سرد سال باشد. در نتیجه، با استفاده از الگوهای به‌دست آمده، می‌توان رفتارهای کنترلی را در راستای پیش‌گیری از این بیماری اجرا نموده و تأثیر هر یک را به‌دست آورد. از این‌رو، با ارائه تصویری از نحوه انتشار این بیماری و انجام سناریوهای متفاوت، میزان تأثیرگذاری اقدامات کنترلی در کاهش و کنترل بیماری، نمایش داده شد. این پژوهش می‌تواند منجر به فهم بهتر پویایی گسترش بیماری‌های همه‌گیر و اتخاذ تصمیمات بهتر جهت پیش‌گیری و کنترل آن‌ها گردد.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی عامل مبنا، بیماری سالک، سیستم اطلاعات مکانی، مدل SEIR

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

سه مؤلفه تأثیرگذار در مطالعه بیماری‌های همه‌گیر همچون سالک پوستی: مکان، زمان و افراد درگیر بیماری هستند [۱]. بنابراین مدیریت بهینه سلامت، نیازمند شناخت و تعیین عوامل بیماری‌زا و نحوه انتشار مکانی-زمانی آن‌ها در محیط است. آگاهی از الگوی گسترش مکانی بیماری و مناطق در معرض خطر آن، از پیش‌نیازهای اساسی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی برای نظام سلامت هر کشور است. اطلاعات مکانی و نحوه گسترش بیماری می‌توانند به عنوان منبعی مهم توسط پژوهشگران جهت تدوین و آزمون فرضیات مرتبط با مسائل سلامت قرار گیرند. با ارائه سیستمی که با استفاده از آن شیوع بیماری قابل پیش‌بینی باشد، می‌توان با یک سری اقدامات پیش‌گیرانه از آن جلوگیری نمود [۲].

بیماری سالک^۱ توسط انگل تک یاخته لیشمانیا ایجاد می‌شود و قربانیان آن دارای شرایط زندگی همچون: فقر، سوءتغذیه، قحطی، بی‌سوادی و مهاجرت هستند. این بیماری سه شکل اصلی با تظاهرات بالینی متفاوت را دارد که سالک پوستی^۲ رایج‌ترین نوع آن است. سالک پوستی توسط گزش نیش پشه خاکی ماده از جنس فلیبوتوموس پاپاتاسی^۳ انتقال می‌یابد و به‌عنوان یک بیماری مشترک بین انسان و دام^۴ که مخزن اصلی^۵ آن موش صحرائی است، شناخته می‌شود. هیچ واکسن یا دارویی برای پیشگیری از بیماری در دسترس نمی‌باشد. اگرچه این بیماری به وسیله کاهش ارتباط با پشه‌خاکی‌های ناقل^۶ بیماری با استفاده از اتخاذ رفتارهای پیش‌گیرانه، قابل درمان و کنترل است ولی در اکثر کشورهای در حال توسعه که انجام این رفتارهای پیش‌گیرانه مشکل و تا حدودی غیر ممکن است، می‌تواند به عنوان خطری اساسی برای سلامت آن جوامع تلقی گردد [۳].

طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت^۷، در هر سال حدود ۱،۵ الی ۲ میلیون نفر از نمونه‌های جدید سالک پوستی در سرتاسر جهان رخ می‌دهند [۴]. در میان این

نمونه‌ها حدود ۹۰ درصد آن‌ها در کشورهای ایران، سوریه، عربستان سعودی، افغانستان، الجزایر، پرو و برزیل اتفاق افتاده است [۳]. این بیماری پرتکرارترین بیماری منتقله^۸ در کشور ایران با میانگین بیش از ۲۲ هزار نمونه در دهه گذشته است. میزان بروز این بیماری در ایران ۲۸ در ۱۰۰ هزار نفر جمعیت تخمین زده می‌شود [۵].

توزیع مکانی سالک پوستی به حدود جغرافیایی ناقلین، مخازن و اولویت‌های رفتاری آن‌ها بستگی دارد. نمونه-برداری از پشه‌ها و تخمین تعداد مخازن این بیماری، فرایندی هزینه‌بر و زمان‌بر است. پراکندگی پشه‌های خاکی و مخازن آن و به تبع آن توزیع مکانی سالک پوستی می‌تواند تحت تأثیر پارامترهای محیطی قرار گیرد [۶]. محیط و تغییرات بشرساخت مانند رشد سریع شهرها، توسعه پروژه‌های جدید از جمله: ساخت جاده‌ها، معدن‌کاری، کشاورزی، توسعه جنگل‌داری، فعالیت‌های نظامی و بدتر-شدن شرایط اقتصادی و اجتماعی در حومه شهرستان‌ها منجر به گسترش این بیماری می‌شود [۷]. بنابراین، مدل-سازی گسترش بیماری سالک پوستی باید شامل پارامتر-های محیطی متفاوت و تعاملات بین پشه‌های خاکی، جوندگان، انسان‌ها و محیط باشد.

روش‌های محاسباتی و ریاضیاتی بسیاری برای مدل-سازی و کنترل بیماری‌ها استفاده شده‌اند [۸،۹] ولی در اغلب آن‌ها ناهمگونی مکانی و زمانی گسترش بیماری در نظر گرفته نشده است. این ناهمگونی را می‌توان در مدل-های عامل‌مینا^۹ به کار گرفت [۱۰]. مدل‌های عامل‌مینا انعطاف و توانایی بالایی را برای نمایش پدیده‌های پیچیده دارند و در فرایندهایی که در آن پویایی بیماری ملاک است، موفق عمل می‌کنند. در این نوع شبیه‌سازی به-منظور تعریف الگوهای زیستی ناقلین و مخازن این بیماری و تعریف راهبردهای^{۱۰} کنترلی، روش‌های تجزیه و تحلیل مکانی می‌توانند به کار گرفته شوند. بنابراین، یک روش همه‌گیرشناسی مکانی، می‌تواند با استفاده از مدل‌سازی عامل‌مینا، گسترش این بیماری را تحلیل و ارزیابی کند. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، ادغام مدلی عامل‌مینا با سیستم‌های اطلاعات مکانی^{۱۱} و مدل همه‌گیر SEIR^{۱۲}

^۱ Leishmaniasis
^۲ Cutaneous Leishmaniasis (CL)
^۳ Phlebotomus papatasi
^۴ Zoonotic
^۵ Main Reservoir
^۶ Vector
^۷ World Health Organization (WHO)

^۸ Vector-borne Diseases
^۹ Agent Based Models (ABM)
^{۱۰} Strategies
^{۱۱} Geospatial Information Systems
^{۱۲} Susceptible-Exposed-Infected-Recovered

شهر همچنان فعال بوده و کانون‌های جدیدی در مناطق دیگری نیز در حال شکل‌گیری است؛ به‌علاوه، عوامل خطر زیست‌محیطی نیز مربوط به زمین‌های بایر، معابر خاکی و بافت قدیمی شهری است [۱۷].

بیاناتی و صادقی در سال ۱۳۹۱ عوامل محیطی مؤثر بر سالک پوستی را با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی تحلیل کردند و نشان دادند که اولویت‌بندی عوامل ایجادکننده بیماری‌ها و یافتن تجمع مکانی آن‌ها با استفاده از تلفیق آنالیزهای مکانی و آماری و مدل‌سازی در یک سیستم GIS امکان‌پذیر بوده است و می‌تواند به عنوان ابزاری توانمند جهت مدیریت و تصمیم‌گیری بهینه در زمینه بهداشت عمومی به کار گرفته شود [۱۸].

در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۹۳ در استان گلستان انجام شد، مولالو و همکاران نشان دادند که شرایط جغرافیایی منطقه، نقش قابل توجهی را در گسترش سالک ایفا می‌کند. به‌طوری‌که بیشترین شیوع بیماری محدود به مناطق خشک و نیمه‌خشک شمال و شمال شرقی این استان است [۱۴].

اگرچه در مورد بیماری سالک پوستی در ابعاد متفاوت مکانی و غیر مکانی بحث شده است؛ اما مدل‌سازی گسترش این بیماری و تأثیرات تعاملات بین محیط، ناقلین و میزبان‌های بیماری کمتر بررسی شده‌اند. با این حال، مدل‌سازی گسترش این بیماری با استفاده از روش‌های مدل‌سازی ریاضی و آنالیز سری‌های زمانی انجام شده است [۱۹،۲۰]. همچنین پویایی این بیماری فقط با در نظر گرفتن یکی از فاکتورهای بالقوه در مطالعات بسیاری مدل‌سازی شده است. به عنوان نمونه، در سال ۲۰۱۵ بارهیومی^۴ و همکاران، تأثیر آبیاری مناطق خشک روی جمعیت ناقلین این بیماری را مشخص کرده‌اند [۲۱]. در سال ۲۰۱۴ مولالو و همکاران مدلی را برای بیان ارتباط بین پوشش گیاهی و وقوع بیماری سالک توسعه دادند [۲۲]. در سال ۲۰۱۴ گارنی^۵ و همکاران، تأثیر تغییر پوشش زمین را روی وقوع این بیماری با استفاده از GIS و آنالیزهای سنجش از دور^۶ مورد بررسی قرار دادند [۱۶].

اگرچه مدل‌های بیان‌شده در بالا می‌توانند برای گسترش بیماری سالک به کار گرفته شوند، اما محققان

جهت تحلیل و ارزیابی گسترش بیماری سالک در یک محیط آندمیک^۱ (بومی) این بیماری است. به‌منظور نمایش مکان عامل‌ها و همچنین نحوه جابجایی آن‌ها در فضا از محیط GIS استفاده شده است. در نتیجه می‌توان نحوه گسترش مکانی و زمانی بیماری را به کمک تعامل عامل‌ها با یکدیگر و محیطشان بدست آورد. منطقه مورد مطالعه نیز شهرستان مراوه‌تپه واقع در شمال شرقی استان گلستان که یکی از مناطق بومی سالک در ایران می‌باشد، در نظر گرفته شده است.

در ادامه این نوشتار به قسمت‌های زیر پرداخته می‌شود: در بخش دوم، مطالعاتی که در آن‌ها از GIS و ABM جهت مدل‌سازی بیماری‌ها استفاده شده است، بررسی می‌شوند. در بخش سوم، منطقه مورد مطالعه به‌طور مختصر معرفی می‌شود. در بخش چهارم، طراحی و پیاده‌سازی مدل پیشنهادی بیان خواهد شد. در بخش پنجم، خروجی‌های مدل‌سازی ارائه می‌شوند. بخش ششم، مراحل ارزیابی مدل را معرفی می‌کند و سرانجام در بخش آخر، نتایج و پیشنهادات برای کارهای آینده بیان می‌گردند.

۲- پیشینه تحقیق

به‌منظور کنترل بیماری سالک، مطالعات همه-گیرشناسی بسیاری در ایران انجام شده است ولی در اکثر آن‌ها به جنبه‌های مکانی گسترش بیماری توجه نشده است و فقط به مطالعه ناقلین، مخازن و میزبانان^۲ این بیماری پرداخته شده است [۱۱،۱۲].

اخیراً استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی، نقش مهم مکان را در گسترش سالک برجسته‌تر کرده است. سیستم‌های اطلاعات مکانی برای تعریف الگوهای جدید همه‌گیری این بیماری، مکرراً با روش‌های آماری و آنالیز-های خوشه‌ای ترکیب شده‌اند [۱۳،۱۴]. به‌علاوه، برای ایجاد نقشه‌های آسیب‌پذیری^۳ بیماری سالک، در تحقیقات بسیاری از آنالیزهای مکانی استفاده شده است [۱۵،۱۶].

در سال ۱۳۸۷ میرزازاده و همکاران روند گسترش کانون‌های پرخطر سالک پوستی را در شهر کرمان با استفاده از GIS بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کانون‌های اصلی این بیماری در قسمت شرقی و مرکزی

^۴ Barhoumi

^۵ Garni

^۶ Remote Sensing (RS)

^۱ Endemic

^۲ Host

^۳ Risk Maps

تجزیه و تحلیل گسترش بیماری‌ها مورد توجه قرار گرفته است [۲۹]. این روش مدل‌سازی، در بسیاری از کاربردهای همه‌گیری مکانی بیماری‌های متفاوت به کرات مورد استفاده قرار گرفته است [۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲].

در رابطه با بیماری‌های منتقله از طریق ناقل، تلاش‌های اندکی با استفاده از مدل‌سازی عامل‌مبنا و تجزیه و تحلیل زیستگاه‌های ناقلین و مخازن بیماری انجام شده است. به‌عنوان نمونه: در سال ۲۰۰۹ لینارد^۲ و همکاران، با استفاده از شبیه‌سازی چند عامله، نرخ گزش ناقلین مالاریا^۳ را در نقشه‌های کاربری زمین و پوشش اراضی مورد بررسی قرار دادند [۳۰]. آرفین^۴ و همکاران، مدلی را برای شبیه‌سازی فرایند جست‌وجوی ناقلین مالاریا توسعه دادند [۳۳]. علاوه بر این، توجه اندکی به ادغام شبیه‌سازی عامل‌مبنا و سیستم اطلاعات مکانی برای مدل‌سازی گسترش سالک شده است و تا کنون فقط در سال ۲۰۱۶ رجبی و همکاران یک مدل عامل‌مبنای مکانی را برای گسترش سالک در استان اصفهان معرفی کرده‌اند [۳۴].

بنابراین، این پژوهش در راستای توسعه مدل رجبی و همکاران [۳۴] انجام شده است. به‌طوری‌که اولاً: بر خلاف کار آن‌ها، مخازن بیماری سالک در مدل شبیه‌سازی شده‌اند. دوماً: به‌منظور نمایشی صریح‌تر از رفتار گسترش بیماری، مقیاس زمانی در نظر گرفته شده در مدل از ۱۲ ساعت به ۸ ساعت تقلیل یافته است. سوماً: الگوی مکانی-زمانی گسترش بیماری در این مدل ارائه و ارزیابی شده است. چهارماً: پارامترهای مؤثر بر بیماری از جمله: تأثیر اندازه جمعیت، دوره کمون، دوره عفونت، شعاع گزش، توری‌های محافظ، خدمات بهداشتی، استفاده از حشره-کش‌ها، مبارزه با جوندگان و نحوه حرکت انسان‌ها بر گسترش بیماری در قالب سناریوهایی در این مدل پیاده‌سازی شده‌اند. به‌گونه‌ای که در مدل رجبی و همکاران فقط تأثیر اندازه جمعیت و حرکت عامل‌های انسانی در این مدل لحاظ شده بود. پنجماً: به‌منظور نمایشی مناسب از پویایی جمعیت و همچنین درک واقع‌بینانه‌تری از گسترش بیماری در این مدل، فرایندهای تولیدمثل و مرگ‌ومیر برای عامل‌های پشه خاکی و جوندگان در نظر گرفته شده‌اند. ششمماً: شرایط فرهنگی، اجتماعی و

آن‌ها را مورد نقد و بررسی قرار داده‌اند. به‌عنوان مثال: اگرچه تعاملات بین محیط، میزبان و ناقل بیماری در محلی خاص، نقش مهمی را در توسعه یک همه‌گیری بازی می‌کنند، اما این مدل‌ها نمی‌توانند ارتباطات پیچیده زیستی - اجتماعی^۱ و مؤلفه‌های مکانی گسترش همه‌گیری را در نظر بگیرند [۲۳]. علاوه بر این، تعاملات بین فاکتورهای کلیدی همه‌گیرشناسی نمی‌توانند با استفاده از روش‌های معمول (معادلات دیفرانسیل) به‌صورت واقعی شبیه‌سازی شوند. همچنین، اکثر مدل‌های کلاسیک، ناهمگونی جمعیت‌ها را نادیده می‌گیرند و برای مدل‌سازی گسترش بیماری، فرض‌های متفاوت را یکسان در نظر می‌گیرند. بعلاوه، روش‌های کلاسیک بیشتر در جهت از بین بردن انحرافات بزرگ در مدل به‌وجود آمده‌اند [۲۴، ۲۵]. بنابراین، رفتار تمامی عناصر در یک همه‌گیری مانند ناهمگونی موجودیت‌ها، یکی دیگر از محدودیت‌های این مدل‌ها است [۲۶]. متعاقباً، در مدل‌های ارائه‌شده، مدل‌سازی پویایی بیماری با تمرکز بر تعاملات محلی و در نظر نگرفتن وضعیت‌های پیچیده محیط مانند تأثیر مشخصه‌های محیطی بر شیوع بیماری انجام شده است [۲۷].

برای غلبه بر کاستی‌های مدل‌های مرسوم (وجود ناهمگونی و پیچیدگی در تعاملات)، اخیراً از روش‌های مدل‌سازی عامل‌مبنا استفاده شده است [۲۶]. مدل‌سازی عامل‌مبنا با استفاده از تعاملات متنوع بین عامل‌ها یا عامل‌ها با محیط، یک شبیه‌سازی واقعی از فرایندها و تأثیرات آن‌ها را فراهم می‌آورد [۲۶، ۲۸]. علاوه بر این، عامل‌ها بر اساس دانشی که از محیط خود به‌دست می‌آورند، می‌توانند تصمیم بگیرند. این دانش، عامل‌ها را قادر می‌سازد تا وضعیت‌های پویا را شبیه‌سازی کنند [۲۷]. این نوع شبیه‌سازی‌ها نسبت به مدل‌های مرسوم به واقعیت شبیه‌تر هستند و قادرند تا تعاملات زیستی - اجتماعی داخل محیط را بهتر نمایش دهند [۲۶]. ویژگی‌های ارائه‌شده در بالا منجر به استفاده از روش‌های عامل‌مبنا برای شبیه‌سازی همه‌گیری‌هایی می‌شود که شامل پارامترهای مکانی و محیطی هستند. حرکت و جابجایی عامل‌ها، برای مدل‌های مکانی که شامل پارامترها و متغیرهای مکانی‌اند بسیار مناسب هستند [۲۶]. بنابراین، ادغام مدل‌سازی عامل‌مبنا و تحلیل‌های مکانی به‌عنوان روشی مناسب برای

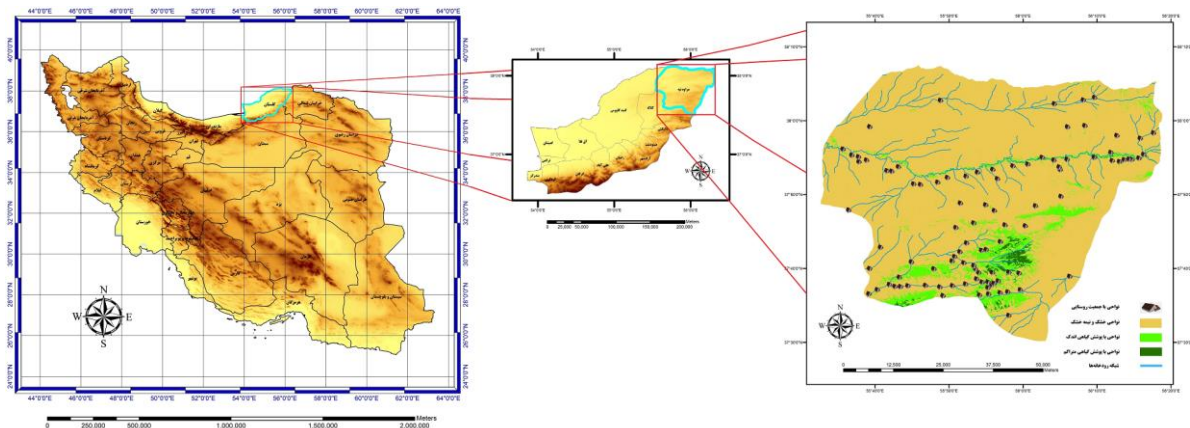
^۲ Linard
^۳ Malaria
^۴ Arifin

^۱ Socio-ecological

۳- منطقه مورد مطالعه

استان گلستان مدتی طولانی است که به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق بومی سالک پستی نوع روستایی در کشور ایران شناخته شده است. شهرستان مراوه‌تپه در شمال شرق این استان، یکی از کانون‌های اصلی این بیماری است. به گونه‌ای که حدود ۴۵۰۰ مورد از این بیماری طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ در این منطقه گزارش شده است [۳۶]. این شهرستان شامل ۴ دهستان و ۹۶ روستا می‌باشد و دارای شرایط اقلیمی متنوعی است. به طوری که در قسمت‌های شمالی آن آب و هوای گرم و خشک و در نواحی جنوبی این شهرستان شرایط معتدل و نیمه‌مرطوب حاکم است. چونده رومبومیس اپیموس مخزن اصلی [۳۷] و پشه خاکی از جنس فلبوتوموس پاپاناسی رایج‌ترین ناقل برای این بیماری در این استان هستند [۳۸]. با توجه به آمار بالای شیوع سالک پستی نوع مرطوب در مراوه‌تپه نسبت به میزان شیوع این بیماری در استان گلستان و همچنین در کشور ایران، این شهرستان به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. شکل ۱، استان گلستان و شهرستان مراوه‌تپه را نشان می‌دهد.

بهداشتی منطقه مورد مطالعه نیز در مدل لحاظ شده است. علاوه بر موارد ذکر شده، تا کنون هیچ تلاشی در زمینه استفاده از ABM و GIS برای مدل‌سازی سالک در مناطق آندمیک استان گلستان صورت نگرفته است. در این مقاله برای مدل‌سازی گسترش سالک، یک روش مدل‌سازی عامل‌مبنا ارائه شده است که در آن چالش‌های ذکر شده در مطالعات قبلی طی چهار مسأله رایج پوشش داده شده است [۳۵]: اولاً، رفتار عامل‌ها با استفاده از تعاملات پویای بین محیط، ناقل، مخزن و میزبان بیماری شبیه‌سازی می‌شوند. در نتیجه، مدل‌های عامل‌مبنا باید دانش مربوط به تعاملات اجتماعی و زیستی را برای این بیماری فراهم کنند که چهار بازیگر اصلی آن: محیط، ناقلین، مخازن و میزبان‌های این بیماری هستند. دوماً، حساسیت مدل نسبت به پارامترهای متفاوت بررسی می‌شود. سوماً، برای نزدیک‌تر شدن هرچه بیشتر مدل به واقعیت، این شبیه‌سازی با فاکتورهای متنوع زیستی-اجتماعی ادغام می‌شود. چهارماً، برای انجام تجزیه و تحلیل‌های زیستگاه‌های ناقلین، مخازن، میزبان‌ها و محیط مرتبط با گسترش این بیماری، انواع متفاوت عامل‌ها در یک محیط مکانی تعریف می‌گردند. سرانجام، به منظور بررسی تأثیرگذاری هر یک از اقدامات کنترلی در کاهش و کنترل بیماری، سناریوهای متفاوتی تعریف می‌شوند.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه: استان گلستان، شهرستان مراوه‌تپه.

عنوان میزبان، پشه‌های خاکی به‌عنوان ناقلین و جوندگان صحرائی به‌عنوان مخازن اصلی این بیماری در محیط مدل‌سازی، منشأ اصلی همه‌گیری می‌باشند. مدل ارائه‌شده شامل فاکتورهای بوم‌شناسی^۱ است که این فاکتورها روی

^۱ Ecological

۴- روش‌شناسی

این مدل پیشنهادی برای شبیه‌سازی گسترش مکانی و زمانی بیماری سالک پستی در منطقه‌ای از استان گلستان توسعه داده شده است. تعاملات بین انسان‌ها به-

حرکت می‌کنند. جوندگان نیز به سمت نواحی با ارتفاع پایین و خشک حرکت و در آنجا تولید مثل می‌کنند.

هدف اصلی این پژوهش، فراهم کردن یک چارچوب مکانی برای مدل‌سازی همه‌گیری بیماری سالک به عنوان یک سیستم جغرافیایی پیچیده است. بنابراین، این سیستم متشکل از داده‌های محیط طبیعی (داده‌های مکانی و غیر مکانی) و عامل‌ها (عامل‌های متحرک و سلولی) می‌باشد که می‌تواند ناهمگونی در مکان و رفتارهای مکانی را صریحاً در نظر بگیرد.

در این مدل، عامل‌های متحرک دارای مختصات مشخصی هستند؛ وضعیت عامل‌های متحرک و سلولی، تحت شرایط متفاوت تغییر می‌نماید. عامل‌های سلولی دارای مقادیر مشخصی (تعداد گزش منجر به آلودگی عامل‌های انسانی) هستند و در حین شبیه‌سازی، این مقادیر دست‌خوش تغییر می‌شوند. ویژگی‌های عامل‌های متحرک در طول اجرای مدل تغییر می‌کنند؛ به عنوان مثال: عامل پشه خاکی دارای طول عمر مشخصی است و با سپری شدن گام‌های زمانی، بر سن آن افزوده می‌شود. به‌علاوه، یک عامل انسانی غیر آلوده، پس از گزیده شدن توسط پشه خاکی آلوده، در معرض ابتلا قرار می‌گیرد و پس از گذراندن دوره نهفتگی، به بیماری مبتلا می‌شود؛ در این مرحله، علائم بیماری در فرد ظاهر می‌گردد و پشه خاکی غیر آلوده در صورت مجاورت با آن، آلوده می‌شود. در نتیجه، در نظر گرفتن این‌گونه تعاملات پیچیده در یک محیط جغرافیایی، یکی از جنبه‌های ناهمگونی مکانی مدل را به تصویر می‌کشد. با توجه به این‌که محل عامل‌های سلولی ثابت در نظر گرفته شده است؛ فقط عامل‌های متحرک می‌توانند جابه‌جا شوند و مکان‌شان را تغییر دهند. سه گام زمانی ۸ ساعته برای نمایش تعاملات بین عامل‌های متحرک و سلولی در نظر گرفته شده است که این سه گام در طول یک شبانه‌روز قرار گرفته‌اند؛ طوری که مرحله اول آن از ۱۲ شب تا ۸ صبح است. در این مرحله، ناقلین و مخازن بیماری، فعالیت خود را شروع می‌کنند. در دو گام زمانی بعدی که به ترتیب طی ساعات ۸ صبح تا ۴ عصر و ۴ عصر تا ۱۲ شب است، فعالیت پشه‌ها و جوندگان متوقف شده و استراحت می‌کنند. با توجه به شرایط آب‌و- هوایی خاص برای زیست ناقلین این بیماری، در این مدل پشه‌های خاکی فقط در طول بهار و تابستان فعالیت می‌کنند و در پاییز و زمستان تخم‌ریزی و فعالیتی ندارند و در

تعاملات ذکرشده تأثیرگذار خواهند بود. بنابراین، می‌توان سیستم شبیه‌سازی گسترش این بیماری را در منطقه مورد مطالعه ایجاد نمود.

۴-۱- طراحی مدل

برای کم‌تر کردن پیچیدگی‌هایی که باعث انحراف مدل از هدف اولیه می‌شود، فرضیاتی برای مدل در نظر گرفته شد. در این مدل دو نوع عامل وجود دارند که به‌صورت عامل‌های متحرک و عامل‌های مختص به سلول‌ها هستند. عامل‌های متحرک به سه کلاس انسان، پشه خاکی و جونده صحرائی تقسیم می‌شوند.

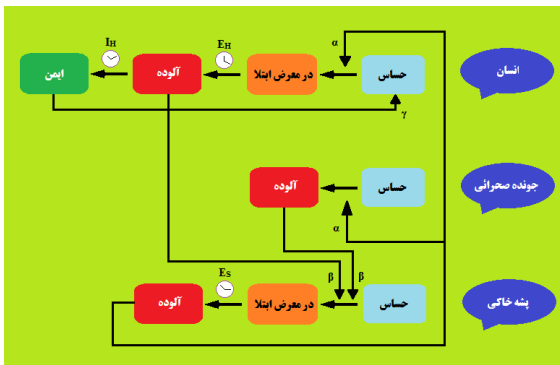
بر اساس علم جانورشناسی بیماری سالک پوستی، عامل‌های متحرک به گونه‌ای طراحی شدند که هر پشه خاکی غیر آلوده، پس از جست‌وجو در محیط، در صورت نزدیکی به انسان یا جونده آلوده، آن‌ها را می‌گزد و پس از مدتی آلوده به انگل می‌شود و می‌تواند انسان یا جونده غیر آلوده را مورد گزش قرار دهد و آن‌ها را نیز آلوده کند [۳۹]. در منطقه مورد مطالعه ممکن است جوندگان، انسان‌ها و پشه‌های خاکی غیر آلوده نیز وجود داشته باشند ولی آن‌ها هیچ نقشی در چرخه انتقال ندارند؛ زیرا انتقال بیماری از این طریق نادر است و تنها پشه خاکی آلوده از جنس فلپوتوموس پاپاتاسی می‌تواند ناقل این بیماری باشد [۳۸].

در مدل پیشنهادی، عامل‌های پشه خاکی در جست‌و-جوی مکانی مناسب برای تخم‌ریزی و تغذیه (گزش) هستند. لانه جوندگان و بستر رودخانه‌ها، مناسب‌ترین مکان برای تخم‌ریزی و زیست آن‌ها در منطقه مورد مطالعه است [۳۸]. در توسعه‌ای بر مدل رجبی و همکاران [۳۴]، در تحقیق حاضر، عامل‌های متحرک پشه خاکی و جونده صحرائی دارای طول عمر، تولید مثل و مرگ‌ومیر می‌باشند که این مسأله باعث نزدیک‌تر شدن مدل به واقعیت می‌شود. بدین صورت که هر یک از این عامل‌ها بر اساس حداکثر عمرشان می‌توانند زنده بمانند و به تعداد مشخصی نیز تولید مثل کنند. عامل‌های پشه خاکی نیز پس از تولید مثل به مدت ۳۰ روز [۴۰] به حالت لاروا (شفیره یا نوزاد کرمی شکل) و بدون حرکت هستند ولی پس از آن، به حال حشره بالغ در می‌آیند و در محیط

^۱ Larvae

به حالت مصون از ابتلا درآید. عامل‌های انسانی در صورت وجود عامل‌های پشه در محیط، می‌توانند به بیماری مبتلا شوند. عامل‌های انسانی در معرض خطر ابتلا، بر اساس یک دوره نهفتگی از پیش تعیین شده (E_H) وضعیت خود را حفظ می‌کنند و پس از گذراندن این دوره، به بیماری مبتلا می‌شوند. این عامل‌ها پس از گذراندن دوره بیماری (I_H)، به حالت مصون از ابتلا در می‌آیند. بعلاوه، وضعیت یک عامل انسانی ایمن شده می‌تواند با احتمال مشخصی (γ) به حالت حساس به بیماری انتقال یابد (جدول (۱)).

فرایند انتقال آلودگی برای عامل‌های پشه به صورت بالاست، با این تفاوت که پشه پس از آلوده شدنش، دیگر به حالت حساس به بیماری بر نمی‌گردد. در این مدل فرض می‌شود که جوندگان فقط دو مرحله (حساس به بیماری و آلوده) از مراحل چهارگانه مدل SEIR را تجربه می‌کنند. در شکل ۲، مراحل بیماری سالک برای عامل‌های متحرک، در مدل همه‌گیر SEIR به تصویر کشیده است.



شکل ۲- مراحل سالک برای عامل‌های متحرک در مدل SEIR

۴-۱-۲- پارامترهای مدل

مقادیر پارامترهای این مدل به داده‌های مکانی و غیر مکانی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد. بعلاوه، اکثر پارامترها بر اساس مطالعات پیشین تعیین شده‌اند. تمامی پارامترها به‌همراه مقادیرشان در جدول (۱) آورده شده‌اند.

۴-۱-۳- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، اولویت با طراحی و پیاده‌سازی مدل است؛ لذا سعی بر آن بوده است که داده‌های مناسب انتخاب شوند و زمان کم‌تری صرف جمع‌آوری و آماده‌سازی آن گردد. مطابق جدول (۲)، داده‌های مورد استفاده در این تحقیق در سه دسته زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

نتیجه، از جمعیت آن‌ها نیز کاسته می‌شود. گام‌های زمانی ارائه شده در این مدل و برنامه زمانی برای حرکت پشه‌های خاکی در فصول مختلف سال، فعالیت عامل‌های متحرک را تحت تأثیر قرار می‌دهند که این خود یکی از جنبه‌های ناهمگونی زمانی در مدل‌های عامل‌مبنا است.

در ابتدای هر گام زمانی، شمارنده مدل به‌روز می‌شود؛ سپس مقادیر سلول‌ها بر اساس داده‌های مکانی و اطلاعات جمعیتی تعیین می‌شوند. در ادامه، مکان عامل‌های سلولی در منطقه مورد مطالعه مشخص می‌شود؛ سپس، پشه‌های خاکی به‌صورت تصادفی وارد محیط مدل‌سازی شده و شروع به جست‌وجوی زیستگاه‌های مناسب خود می‌کنند. عامل‌های پشه خاکی نیز در هنگام شروع شبیه‌سازی ویژگی‌های کاملاً تصادفی دارند؛ به عنوان مثال: طول عمر آن‌ها به‌صورت تصادفی تعیین می‌شود و ممکن است طول عمر یک پشه خاکی به اندازه‌ای باشد که هنوز در حال سپری کردن مرحله لارو خود باشد. بنابراین، در این مدل سایر ویژگی‌ها برای عامل‌های متحرک به‌صورت تصادفی تعیین شده‌اند. بر این اساس می‌توان فرایندهای تصادفی که یکی از جنبه‌های مدل‌های عامل‌مبنا است را داخل این مدل مشاهده نمود. تعداد عامل‌های انسانی مربوط به هر روستا بر اساس جمعیت همان آبادی تعیین می‌شود. همچنین عامل‌های انسانی در هنگام شروع شبیه‌سازی، از مرکز هر روستا شروع به حرکت می‌کنند. عامل‌های جونده نیز به‌صورت تصادفی وارد محیط شده و به سمت زیست‌گاه‌های مناسب‌شان (نواحی کم ارتفاع و خشک) جابه‌جا می‌شوند. در نتیجه، در هر گام زمانی عامل‌هایی از همین نوع، مراحل ذکر شده را بر اساس یک دنباله تصادفی طی می‌کنند. برخی از فرایندها فقط طبق شرایط مشخصی فعال می‌شوند، مثلاً: تولید مثل یا مرگ‌ومیر برای پشه‌ها و جوندگان، بر اساس طول عمر آن‌ها انجام می‌شود. بعلاوه، وقتی که عامل‌های پشه در شعاع مشخصی از جوندگان یا انسان‌ها قرار گیرند، یکی از آن‌ها را تصادفی نیش می‌زنند.

۴-۱-۱- مدل SEIR بیماری سالک پوستی

این مدل نمایشی صریح از تعاملات بین عامل‌ها با یکدیگر و محیط‌شان را ارائه می‌دهد. فرایند بیماری برای عامل انسانی حساس به بیماری، از وقتی که در معرض خطر ناقل بیماری قرار می‌گیرد، شروع شده و تا هنگامی ادامه می‌یابد که فرد مراحل بیماری را پشت سر گذارده و

جدول ۱- پارامترهای ورودی و مقادیر آنها

منبع	مقدار	توضیح	مؤلفه
[۴۱]	۵۰۰ متر	حداکثر طول پرواز	پشه خاکی
	هر روز از ساعت ۱۲ شب تا ۸ صبح در فصول بهار و تابستان	دوره فعالیت	
	۵ روز	فاصله زمانی لازم بین هر گزش تا تولید مثل	
	۸۰ روز	حداکثر طول عمر	
	۳۰ روز	مدت زمان لازم برای تبدیل تخم به پشه بالغ	
	۱۰۰	حداکثر تعداد تولید مثل ممکن برای هر پشه بالغ در طول عمرش	
	۳۰	حداکثر تعداد تولید مثل ممکن در هر بار باروری	
تخمین نویسنده	۱۰۰۰	حداکثر تعداد پشه خاکی در شبیه‌سازی	تخمین نویسنده
[۴۰]	۲۰۰ متر	محدوده ادراک پشه جهت تغذیه	
[۴۰]	۱۰ روز	دوره کمون بیماری (E _S)	تخمین نویسنده
تخمین نویسنده	۲۰۰ متر	حداکثر جابجایی	
[۴۲]	در فصول بهار و تابستان، هر روز از ساعت ۱۲ شب تا ۸ صبح	دوره فعالیت	چونده صحرائی
	۳ سال	حداکثر طول عمر	
	۱۰۰ روز	مدت زمان لازم برای تبدیل نوزاد چونده به چونده بالغ	
	۵۰	حداکثر تعداد تولید مثل ممکن برای هر چونده بالغ در طول عمرش	
	۵	حداکثر تعداد تولید مثل ممکن در هر بار باروری	
تخمین نویسنده	۱۰۰۰	حداکثر تعداد چونده صحرائی در شبیه‌سازی	تخمین نویسنده
	۵۰ متر	حداکثر جابجایی	
	هر روز از ساعت ۸ صبح تا ۱۲ شب	دوره فعالیت	انسان
[۴۰]	۱۲۰ روز	دوره کمون بیماری (E _H)	
[۴۰]	۹۰ روز	دوره عفونت (I _H)	
[۳۶]	۰،۰۲	احتمال انتقال از حالت ایمن‌شده به حالت حساس به بیماری (γ)	تخمین نویسنده
[۴۲]	۰،۶	احتمال انتقال آلودگی از پشه آلوده به انسان و چونده صحرائی حساس به بیماری (α)	
	۰،۲۷۵	احتمال انتقال آلودگی از انسان و چونده صحرائی آلوده به پشه حساس به بیماری (β)	انتقال بیماری

جدول ۲- مجموعه داده‌های مورد استفاده

منبع	نوع داده	نام داده
مرکز کنترل و پیشگیری بیماری‌های واگیردار وزارت بهداشت استان گلستان (CDC)	موارد ماهانه گزارش شده سالک طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴	داده‌های بیماری
سازمان نقشه‌برداری ایران (NCC)	تقسیمات سیاسی ایران (محدوده استان‌ها، شهرستان‌ها، بخش‌ها، دهستان‌ها و مراکز آبادی‌ها)، نقشه‌های مربوط به شبکه رودخانه‌ها	برداری
سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)، (https://libra.developmentseed.org/)	نواحی بیابانی نواحی با پوشش گیاهی کم نواحی با پوشش گیاهی بالا	شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) رستری
سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)، (https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/)	نقشه ارتفاعی	مدل رقومی ارتفاعی (DEM)
مرکز ملی آمار ایران، (https://www.amar.org.ir/english/)	اطلاعات جمعیتی روستاها	داده‌های آماری

برای کار با داده‌ها (مکانی و توصیفی)، آماده‌سازی آن‌ها و تحلیل خروجی‌ها از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.

۲-۴- پیاده‌سازی مدل

به‌منظور بررسی بیشتر فرایند پیاده‌سازی، جزئیات مدل‌سازی در قالب: نحوه تغذیه عامل‌های پشه، جابه‌جایی عامل‌های انسانی، رفتار عامل‌های چونده و خروجی‌های مربوط به نقشه حساسیت معرفی شده‌اند. این مدل با استفاده از اطلاعات محیطی و جمعیتی منطقه مورد مطالعه طراحی شده است. به‌منظور پیاده‌سازی این مدل، از نرم‌افزار NetLogo که یکی از پرکاربردترین ابزارها برای ایجاد مدل‌های عامل‌مبنا است، استفاده گشت. همچنین

۲-۴-۱- گزش (تغذیه) پشه خاکی

در این مرحله فرض می‌شود که پشه‌های خاکی به‌طور تصادفی در منطقه مورد مطالعه ظاهر می‌شوند؛ سپس شروع به جست‌وجوی مکان‌های مناسب برای زیست‌شان می‌کنند. این مکان‌ها لانه چوندگان (نواحی بیابانی و با پوشش گیاهی کم و مناطق کم ارتفاع) و بستر رودخانه‌ها می‌باشند. گزش و تغذیه پشه خاکی دارای دو حالت می-

جوندگان فرایند مرگومیر و تولید مثل در نظر گرفته شده است که این خود یکی از جنبه‌های پویایی جمعیت را در مدل‌های عامل‌مبنا به تصویر می‌کشد.

۴-۲-۴- نقشه حساسیت

به منظور وارد کردن تأثیرهای مربوط به شرایط اجتماعی، فرهنگی و بهداشتی بر گسترش بیماری سالک در منطقه مورد مطالعه، فرضیاتی در نظر گرفته شده است. از نقطه نظر مکانی، احتمال اینکه یک عامل انسانی حساس به بیماری در معرض ابتلا به بیماری قرار بگیرد، به مشخصه‌های مکانی مکانی منطقه مورد مطالعه (به عبارتی دیگر: واحدهای مکانی) بستگی دارد. در این مدل، عامل‌های انسانی مربوط به هر آبادی دارای احتمال متفاوتی برای قرارگیری در معرض ابتلا به بیماری هستند؛ به‌صورتی که این احتمال بر اساس وضعیت بهداشتی و درمانی، سطح سواد، نوع شغل و الگوی جمعیتی هر روستا به‌دست می‌آید. وزن هر یک از این پارامترها در مدل، به‌صورت یکسان فرض شده است. به عنوان مثال: با توجه به این‌که مزارع کشاورزی نیز محل مناسبی برای زیست جوندگان و در نتیجه ناقلین این بیماری هستند؛ هر چقدر تعداد کشاورزان هر روستا بیشتر باشد، احتمال گسترش بیماری در آن روستا نیز بالاتر می‌رود. مقادیر مربوط به سایر پارامترها نیز به همین شکل به‌دست آمدند. در جدول (۳)، پارامترهای در نظر گرفته‌شده برای محاسبه احتمال ابتلا به آلودگی برای ساکنین تعدادی از روستاهای منطقه مورد مطالعه به تصویر کشیده شده است (با توجه به تعداد بالای روستاها در منطقه مورد مطالعه، فقط به پارامترهای تعدادی از این روستاها در جدول (۳) اشاره شده است).

در مرحله بعد، پس از اینکه عامل انسانی حساس به بیماری، در معرض نیش پشه خاکی قرار بگیرد؛ میزان حساسیت به آلودگی عامل سلولی مختص به این عامل انسانی، یک واحد افزایش می‌یابد و در نتیجه، نقشه حساسیت به‌روز می‌شود. این سلول‌ها بیان‌گر نواحی‌ای هستند که بیش‌ترین گزش (گزیدگی منجر به آلودگی) عامل‌های انسانی توسط پشه‌های خاکی در آنجا رخ داده است. در ادامه این مطالعه، از این نقشه‌ها برای نمایش نواحی‌ای که بیش‌ترین آلودگی در آنجا رخ داده است، استفاده می‌شود.

باشد که حالت اول آن شامل پرواز تصادفی است و این حالت وقتی اتفاق می‌افتد که زیستگاه‌های نام‌برده شده در محدوده ادراک آن‌ها (شعاع گزیدگی) قرار نداشته باشند. حالت دوم پرواز هوشمندانه به سمت این زیستگاه‌هاست و هنگامی اتفاق می‌افتد که این زیستگاه‌ها در محدوده ادراک پشه قرار داشته باشند. بر این اساس پشه‌های خاکی برای جست‌وجوی وعده‌های غذایی، بر روی زیستگاه‌های مجاورشان می‌نشینند؛ هنگامی که این پشه‌ها به مراکز جمعیتی و لانه جوندگان می‌رسند، می‌توانند باعث آلودگی عامل‌های انسانی و جوندگان مجاور خود شوند. در این مدل، هر پشه خاکی در طول عمر خود دارای تولید مثل نیز هست؛ به‌صورتی که هر چقدر میزان گزش و تغذیه آن‌ها بالاتر رود، احتمال باروری آن‌ها نیز بیشتر می‌شود. در نتیجه، در صورت عدم دسترسی پشه‌های خاکی به زیستگاه‌های مناسب‌شان و به تبع آن پایین آمدن تعداد گزش و تغذیه آن‌ها، تولید مثل آن‌ها نیز کاهش می‌یابد که منجر به پایین آمدن شیوع آلودگی در منطقه می‌شود.

۴-۲-۴- جابه‌جایی عامل‌های انسانی

در ابتدای شبیه‌سازی، عامل‌های انسانی از مرکز هر روستا به‌صورت تصادفی شروع به جابه‌جایی می‌نمایند. تعداد عامل‌های انسانی مربوط به هر آبادی بر اساس جمعیت روستاهایشان تعیین می‌شود؛ به‌صورتی که هر چقدر این جمعیت بیشتر باشد، تعداد بالاتری از عامل‌های انسانی مربوط به هر روستا اختصاص می‌یابد. در ادامه این پژوهش، برای حرکت عامل‌های انسانی دو سناریو در نظر گرفته شده است که به آن‌ها پرداخته می‌شود؛ این سناریوها به‌صورت در نظر گرفتن محدودیت و عدم محدودیت برای حرکت آن‌ها در نواحی روستاهایشان است.

۴-۲-۳- جوندگان صحرايي

با شروع شبیه‌سازی، جوندگان به‌صورت تصادفی در محیط پخش می‌شوند و به سمت نواحی بیابانی حرکت می‌کنند. همان‌طور که برای عامل‌های پشه خاکی فرایند مرگومیر و تولید مثل در نظر گرفته شده است، جوندگان نیز این مراحل را پشت سر می‌گذارند (جدول (۱)). همان‌طور که بدان اشاره شد، بر خلاف مطالعات گذشته، در مدل پیشنهادی این تحقیق برای عامل‌های پشه و

جدول ۳- پارامترهای مربوط به محاسبه احتمال آلودگی، برای ساکنین تعدادی از روستاهای منطقه مورد مطالعه

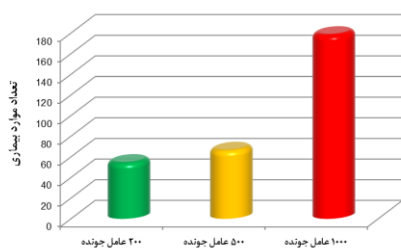
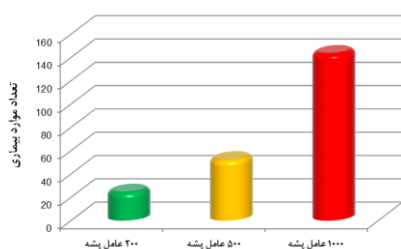
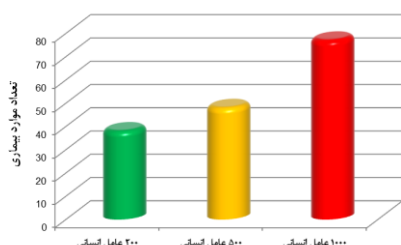
احتمال ابتلا به آلودگی	R _i	الگوی جمعیتی	شغل				سطح سواد			وضعیت بهداشتی و درمانی			نام آبادی	
			R ₃	خدمات	صنعت	کشاورزی	R ₂	بیسواد	باسواد	R ₁	سامانه جمع آوری زباله	پزشک		خانه بهداشت
۰,۳۱	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۷۴	۱۰	۳۱	۱۱۴	۰,۱۸	۹۱	۴۰۱	۰,۳۳	دارد	ندارد	دارد	قرناوه سفلی
۰,۳۹	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۶۹	۲	۴۰	۹۴	۰,۲۲	۱۰۲	۳۶۷	۰,۶۶	دارد	ندارد	ندارد	چشمه لی
۰,۳۱	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۶۶	۲۴	۶۱	۱۶۵	۰,۲۴	۳۱۹	۹۹۹	۰,۳۳	دارد	ندارد	دارد	قرناوه علیا
۰,۴۲	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۸۴	۵	۱۰	۸۱	۰,۱۹	۷۱	۳۰۹	۰,۶۶	ندارد	ندارد	دارد	التی اغاج بزرگ
۰,۲۴	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۵۴	۳۲	۶۰	۱۰۹	۰,۱	۷۵	۷۱۲	۰,۳۳	دارد	ندارد	دارد	چنارلی
۰,۴۸	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۷۲	۸	۴	۳۱	۰,۱۸	۵۰	۲۲۶	۱	ندارد	ندارد	ندارد	کچیک
۰,۴۳	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۹	۳	۶	۸۵	۰,۱۷	۸۵	۴۱۸	۰,۶۶	دارد	ندارد	ندارد	التی اغاج کوچک
۰,۳۴	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۴۵	۸	۲۴۹	۲۰۷	۰,۲۳	۳۳۹	۱۱۲۴	۰,۶۶	ندارد	ندارد	دارد	آق امام
۰,۵۳	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۷۹	۲	۸	۳۷	۰,۳۲	۶۰	۱۲۶	۱	ندارد	ندارد	ندارد	اوچران
۰,۵۱	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۸۷	۱	۱	۱۳	۰,۱۸	۱۳	۵۸	۱	ندارد	ندارد	ندارد	سوجق
۰,۵۱	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۷۲	۳	۱۲	۳۸	۰,۳	۸۶	۲۰۱	۱	ندارد	ندارد	ندارد	کمرلی
۰,۴۴	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۵۶	۲	۱۴	۲۰	۰,۲۱	۲۴	۹۳	۱	ندارد	ندارد	ندارد	ارکلی
۰,۳	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۶۱	۴۷	۷۹	۱۹۴	۰,۲۷	۲۸۱	۷۵۴	۰,۳۳	دارد	ندارد	دارد	چناران
۰,۳۸	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۵۲	۳	۵۲	۶۰	۰,۳۳	۱۰۳	۲۰۵	۰,۶۶	دارد	ندارد	ندارد	باباشملک
۰,۳۹	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۶۳	۶	۲۲	۴۷	۰,۲۸	۵۵	۱۴۰	۰,۶۶	دارد	ندارد	ندارد	دکلی داش
۰,۲۶	۰	دارای سکنه دائمی	۰,۴۳	۳۲	۶۴	۷۲	۰,۲۸	۱۵۳	۳۸۴	۰,۳۳	ندارد	دارد	دارد	قره گل کله

۵- نتایج

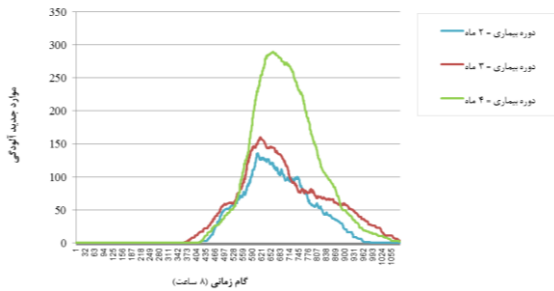
در این قسمت، نتایج حاصل از این مدل با استفاده از نرخ بروز بیماری، موارد بیماری در گام‌های زمانی متفاوت و میزان حساسیت هر کدام از واحدهای مکانی بیان می‌شوند. همچنین به منظور بررسی حساسیت مدل به برخی پارامترها، سناریوهای متفاوتی ارائه خواهند شد.

۵-۱- تأثیر اندازه جمعیت بر همه‌گیری

برای بررسی تأثیر اندازه جمعیت بر آلودگی، اندازه‌های متفاوت جمعیتی برای عامل‌های متحرک در نظر گرفته شد؛ طوری که سایر پارامترها ثابت فرض شدند. نتایج حاصل از ۲۰ بار اجرا برای اندازه‌های متفاوت جمعیتی در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، با افزایش جمعیت، تعداد موارد بیماری افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. بعلاوه با توجه به شکل ۳، افزایش جوندگان و پشه خاکی نسبت به افزایش انسان‌ها تأثیر به مراتب بیشتری بر شیوع آلودگی خواهند گذاشت. بنابراین، می‌توان اندازه جمعیت را به‌عنوان یکی از پارامترهای تأثیرگذار در همه‌گیری این بیماری دانست.



شکل ۳- تعداد موارد بیماری با توجه به اندازه‌های متفاوت جمعیتی



شکل ۵- نمایش تأثیر میزان دوره عفونت بر نحوه گسترش بیماری.

۴-۵- تأثیر شعاع گزش پشه خاکی بر همه گیری

این شعاع به صورت حداکثر فاصله ممکن برای تغذیه و خون خواری عامل‌های پشه خاکی از عامل‌های انسانی و جونده تعریف شده است. برای آنالیز حساسیت این شعاع، سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از ۲۰ بار شبیه‌سازی در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، با افزایش این پارامتر، نرخ بروز سالیانه بیماری سالک بیشتر می‌شود. با توجه به این که عامل‌های پشه خاکی به عنوان شریان حیاتی چرخه انتقال این بیماری هستند؛ بنابراین، شعاع گزش آن‌ها نیز می‌تواند تأثیر مستقیمی بر گسترش این بیماری داشته باشد.



شکل ۶- نرخ بروز سالیانه بیماری سالک، با توجه به شعاع‌های گزش متفاوت برای عامل‌های پشه خاکی

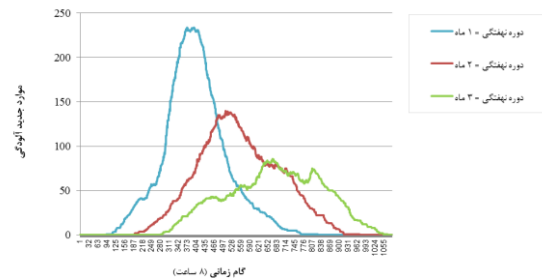
۵-۵- تأثیر حشره‌کش‌ها بر همه گیری

استفاده از حشره‌کش برای از بین بردن ناقلین سالک، یکی از راه‌های کنترل این بیماری است. در این سناریو فرض می‌شود که در صورت استفاده از حشره‌کش‌ها، فقط درصد خاصی از عامل‌های انسانی می‌توانند از آن‌ها استفاده کنند؛ این درصد به صورت متغیر در مدل تعریف شده است. به علاوه، عامل‌های پشه خاکی در صورت مجاورت (شعاع ۳۰ متری) با عامل‌های انسانی مجهز به حشره‌کش‌ها، از بین خواهند رفت. بنابراین، به منظور بررسی تأثیر حشره‌کش‌ها بر گسترش

۲-۵- تأثیر دوره نهفتگی بیماری بر همه گیری

میزان دوره نهفتگی یک بیماری، پارامتری اساسی در شیوع آن است [۴۴،۴۵]. با ثابت فرض کردن سایر پارامترها، مقادیر ۱، ۲ و ۳ ماه برای دوره نهفتگی عامل‌های انسانی در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از ۲۰ بار شبیه‌سازی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل بر می‌آید، کاهش دوره نهفتگی، منجر به وقوع سریع‌تر بیشینه همه‌گیری و افزایش تعداد افراد آلوده می‌شود؛ زیرا کاهش دوره نهفتگی، سرعت آلوده شدن را برای عامل‌های انسانی بالاتر می‌برد. این امر باعث سرعت بخشیدن به چرخه انتقال آلودگی بین عامل‌های انسانی و ناقلین این بیماری می‌گردد که در نهایت، منجر به افزایش تعداد موارد بیماری در کل شبیه‌سازی می‌شود.



شکل ۴- نمایش تأثیر میزان دوره نهفتگی بر نحوه گسترش بیماری.

۳-۵- تأثیر طول دوره بیماری بر همه گیری

مانند دوره نهفتگی، طول دوره بیماری عامل‌های انسانی نیز یکی از پارامترهای مهم در روند همه‌گیری است [۴۴،۴۵]. به منظور بررسی تأثیر این پارامتر بر شیوع بیماری، سایر پارامترها در روند شبیه‌سازی ثابت فرض شدند. علاوه بر این، مقادیر ۲، ۳ و ۴ ماه برای دوره بیماری سالک در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از ۲۰ بار شبیه‌سازی در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل بر می‌آید، افزایش دوره عفونت ناشی از بیماری باعث وقوع دیرتر بیشینه همه‌گیری می‌شود؛ با این تفاوت که تعداد موارد بیماری به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در نتیجه، پارامتر طول دوره بیماری نیز، یکی از موارد تأثیرگذار بر شیوع این بیماری می‌تواند باشد.

محافظ نیز می‌تواند به عنوان یکی سیاست‌های تأثیرگذار در راستای کاهش تعداد موارد بیماری معرفی گردد.

جدول ۵- نرخ بروز سالیانه سالک با تغییر در پارامتر درصد استفاده از توری محافظ

نرخ بروز سالیانه بیماری	درصد استفاده از توری محافظ
۰,۲۸۱	عدم استفاده
۰,۱۳۸	۱۰ درصد
۰,۰۸۳	۲۰ درصد
۰,۰۶۱	۳۰ درصد
۰,۰۵۴	۴۰ درصد
۰,۰۵۱	۵۰ درصد

۵-۷- تأثیر خدمات بهداشتی بر همه‌گیری

در این مدل به‌منظور بررسی تأثیر استفاده از خدمات بهداشتی، فرضیات ساده‌ای برای آن در نظر گرفته شد. این سناریو به گونه‌ای طراحی شده است که در صورت استفاده از این خدمات، تعدادی مشخص از عامل‌های مربوط به خدمات درمانی (پزشک) به‌صورت تصادفی در محیط پخش می‌شوند و شروع به حرکت می‌کنند. در این مدل فرض شده است که وقتی که عامل‌های پزشک، یک عامل انسانی در معرض ابتلا به بیماری را در مجاورت (۱۰۰ متر) خود ببینند؛ باعث بهبودی کامل آن عامل انسانی از بیماری می‌شوند. همچنین عامل‌های پزشک وقتی که در مجاورت (۱۰۰ متر) عامل‌های انسانی آلوده قرار بگیرند؛ باعث کاهش دوره بیماری آن‌ها تا نصف می‌گردند. مانند سناریوهای قبل، سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته شد و برای هر اجرا، شبیه‌سازی ۲۰ بار تکرار شد. جدول (۶)، نرخ بروز سالیانه بیماری سالک را با توجه به تعدادی متفاوت از عامل‌های پزشک نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت؛ با افزایش عامل‌های پزشک در محیط، نرخ بروز بیماری نیز کاهش یافت. لذا می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از خدماتی بهداشتی در مناطق بومی بیماری، سبب کاهش بالقوه موارد بیماری در آن مناطق می‌گردد.

جدول ۶- نرخ بروز سالیانه سالک با توجه به تعدادی متفاوت از عامل‌های پزشک

نرخ بروز سالیانه بیماری	تعداد عامل‌های پزشک
۰,۲۷۵	صفر
۰,۲۱۱	۱۰ نفر
۰,۱۶۴	۱۵ نفر
۰,۱۳۷	۲۰ نفر
۰,۰۹۴	۲۵ نفر
۰,۰۸۵	۳۰ نفر

بیماری سالک، سایر پارامترهای مدل ثابت در نظر گرفته شد و برای اندازه‌گیری هر تأثیر، ۲۰ بار شبیه‌سازی انجام گرفت. جدول (۴)، تأثیر استفاده از حشره‌کش‌ها را بر بروز بیماری سالک به تصویر می‌کشد. با توجه به این جدول، با افزایش استفاده از حشره‌کش‌ها، آلودگی ناشی از این بیماری کاهش می‌یابد. بنابراین، استفاده از حشره‌کش‌ها نیز می‌تواند یکی از اقدامات کنترلی مناسب برای مبارزه با ناقلین این بیماری و در نتیجه، کاهش تعداد موارد بیماری باشد.

جدول ۴- نرخ بروز سالیانه سالک با تغییر در پارامتر درصد استفاده از حشره‌کش‌ها

نرخ بروز سالیانه بیماری	درصد استفاده از حشره‌کش
۰,۲۷۹	عدم استفاده
۰,۱۶۹	۱۰ درصد
۰,۱۲۴	۲۰ درصد
۰,۰۶۴	۳۰ درصد
۰,۰۵۷	۴۰ درصد
۰,۰۵۴	۵۰ درصد

۵-۶- تأثیر توری‌های محافظ بر همه‌گیری

استفاده از پشه‌بندها یا توری‌های محافظ نیز می‌تواند یکی از راه‌های افزایش سطح ایمنی عامل‌های انسانی در جهت کاهش تعداد موارد گزیده شدن آن‌ها توسط ناقلین و در نتیجه کاهش تعداد موارد بیماری باشد. به‌منظور استفاده از این سناریو، فرض می‌شود که در صورت استفاده از توری‌های محافظ، فقط درصد خاصی از انسان‌ها می‌توانند از آن‌ها استفاده کنند؛ این درصد به‌صورت متغیر در مدل تعریف شده است. بنابراین، برای بررسی هر یک از این درصدها، ۲۰ بار شبیه‌سازی انجام شد و میانگین آن‌ها به عنوان خروجی نهایی لحاظ گردید؛ همچنین، سایر پارامترهای مدل نیز ثابت در نظر گرفته شدند. این سناریو به‌گونه‌ای طراحی شده است که عامل‌های پشه خاکی در صورت مجاورت (شعاع ۳۰ متری) با عامل‌های انسانی‌ای که از توری‌های محافظ استفاده می‌کنند، نمی‌توانند آن‌ها را بگزند و در نتیجه، عامل‌های انسانی در معرض ابتلا به بیماری قرار نمی‌گیرند. جدول (۵)، نرخ بروز سالیانه بیماری سالک را به ازای تغییر در مقادیر استفاده از توری‌های محافظ نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، با افزایش استفاده از توری‌های محافظ، از مقادیر بروز سالیانه بیماری نیز کاسته می‌شود. بنابراین، استفاده از توری‌های

۵-۸- تأثیر مبارزه با جوندگان بر همه‌گیری

در فصولی که جوندگان صحرایی بیشترین فعالیت را در مناطق بومی بیماری دارند، اقدامات مربوط به جوندگان-کشی می‌تواند یکی از راه‌های از بین بردن مخازن و در نتیجه کنترل گسترش بیماری باشد. سناریوی مبارزه با جوندگان به گونه‌ای طراحی شده است که در صورت استفاده از آن، تعداد مشخصی از عامل‌های انسانی جوندگان-کشی به صورت تصادفی در محیط پخش می‌شوند و شروع به حرکت تصادفی خود می‌کنند؛ هنگامی که عامل‌های جوندگان-کشی در نزدیکی (۱۰۰ متر) عامل‌های جوندگان قرار می‌گیرند؛ بلافاصله عامل‌های جوندگان را از بین می‌برند. مانند سناریوهای ارائه شده در قسمت‌های قبل، در این بخش نیز شبیه‌سازی برای هر مرحله، ۲۰ بار تکرار شد و سایر پارامترها در روند اجرای مدل ثابت در نظر گرفته شدند. همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود؛ با افزایش شمار عامل‌های جوندگان-کشی در مدل، نرخ بروز سالیانه این بیماری نیز کاهش می‌یابد. بنابراین، علی‌رغم هزینه‌های بالای مربوط به جوندگان-کشی، این سناریو نیز می‌تواند به‌عنوان یکی دیگر از راهکارهای کاهش تعداد مخازن و در نتیجه کاهش تعداد موارد بیماری در نظر گرفته شود.

جدول ۷- نرخ بروز سالیانه سالک با توجه به تعدادی متفاوت از عامل‌های جوندگان-کشی

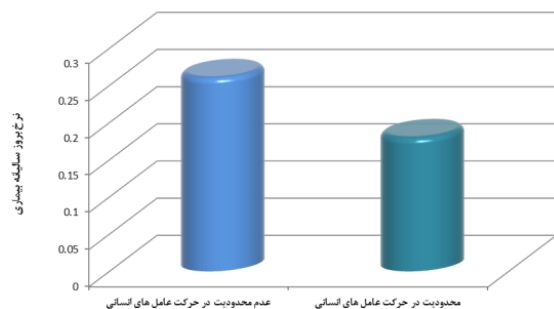
تعداد عامل‌های جوندگان-کشی	نرخ بروز سالیانه بیماری
صفر	۰،۲۵۲
۱۰ نفر	۰،۱۳۵
۱۵ نفر	۰،۱۱۸
۲۰ نفر	۰،۰۹۷
۲۵ نفر	۰،۰۸۹
۳۰ نفر	۰،۰۸۱

۵-۹- تأثیر نحوه حرکت عامل‌های انسانی بر گسترش بیماری سالک

یکی از راه‌های پیش‌گیری و کنترل سالک، ظاهر نشدن انسان‌ها در زیستگاه‌های ناقلین و مخازن این بیماری است. بنابراین، برای حرکت عامل‌های انسانی در این مدل، دو قانون حرکتی متفاوت لحاظ گردید؛ در حالت اول: عامل‌های انسانی می‌توانند آزادانه در محیط شبیه‌سازی به حرکت تصادفی خود ادامه دهند ولی در حالت

دوم: این عامل‌ها فقط می‌توانند در محدوده روستاهای خود جابه‌جا شوند. علاوه بر این، به‌منظور بررسی این دو حالت، تمامی پارامترهای مدل ثابت در نظر گرفته شد و برای هر حالت، ۲۰ بار شبیه‌سازی انجام گرفت.

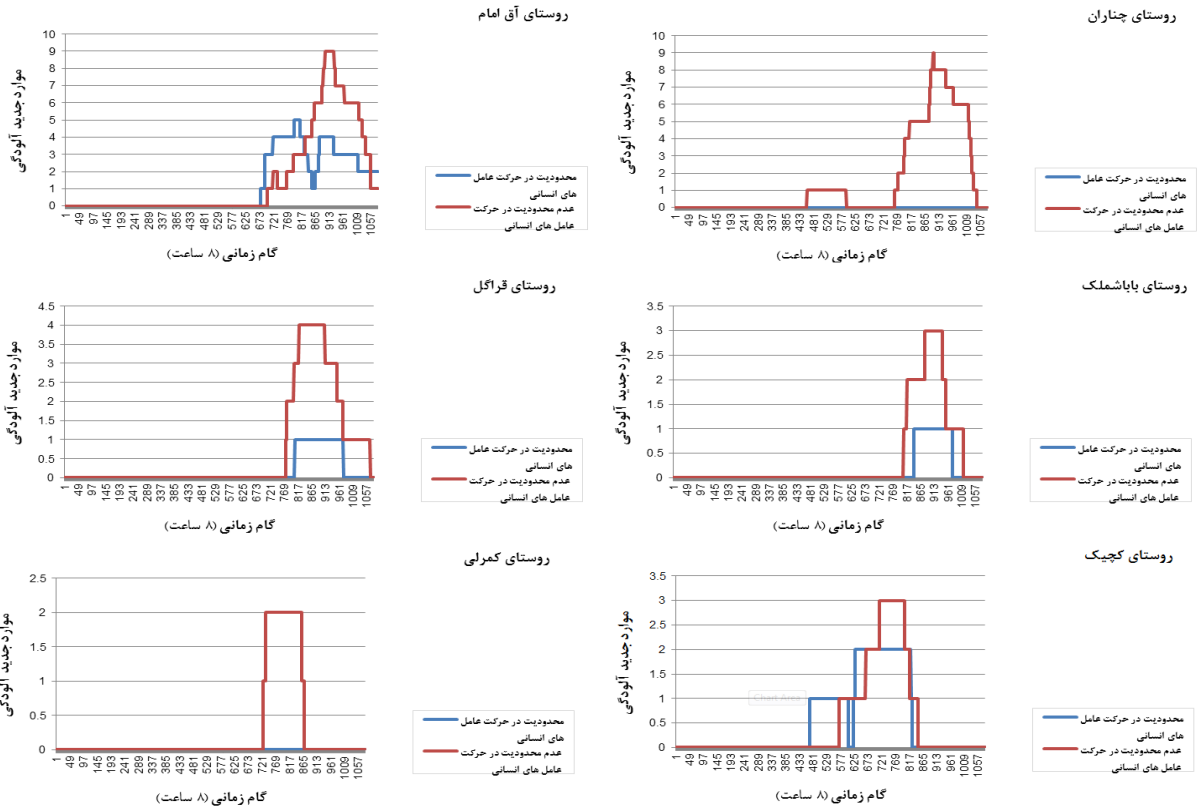
شکل ۷، نرخ بروز سالیانه بیماری سالک را با در نظر گرفتن محدودیت و عدم محدودیت در حرکت عامل‌های انسانی نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، در صورتی که عامل‌های انسانی نتوانند خارج از محدوده روستاهای خود حرکت کنند، نرخ بروز سالیانه بیماری تقریباً ۸،۱ درصد کاهش می‌یابد. علت این مسأله نیز، وجود اکثر نواحی خشک و کم ارتفاع و رودخانه‌ها در خارج از محدوده آبادی‌ها برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در نتیجه، عدم ظهور در زیستگاه‌های مخازن و ناقلین این بیماری، می‌تواند به‌عنوان یکی از راه‌های افزایش سطح ایمنی عامل‌های انسانی در برابر نیش پشه‌های خاکی و در نتیجه، آلودگی به این بیماری باشد.



شکل ۷- نرخ بروز سالیانه بیماری سالک، با در نظر گرفتن محدودیت و عدم محدودیت در حرکت عامل‌های انسانی

به‌منظور درکی بهتر از الگوی گسترش بیماری سالک در روستاهای منطقه، می‌توان روند همه‌گیری ناشی از این بیماری را در طول شبیه‌سازی برای این آبادی‌ها تجزیه و تحلیل نمود. به همین منظور، از بین آبادی‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، ۱۰ آبادی انتخاب و خروجی‌های مربوط به آن‌ها تجزیه و تحلیل شدند.

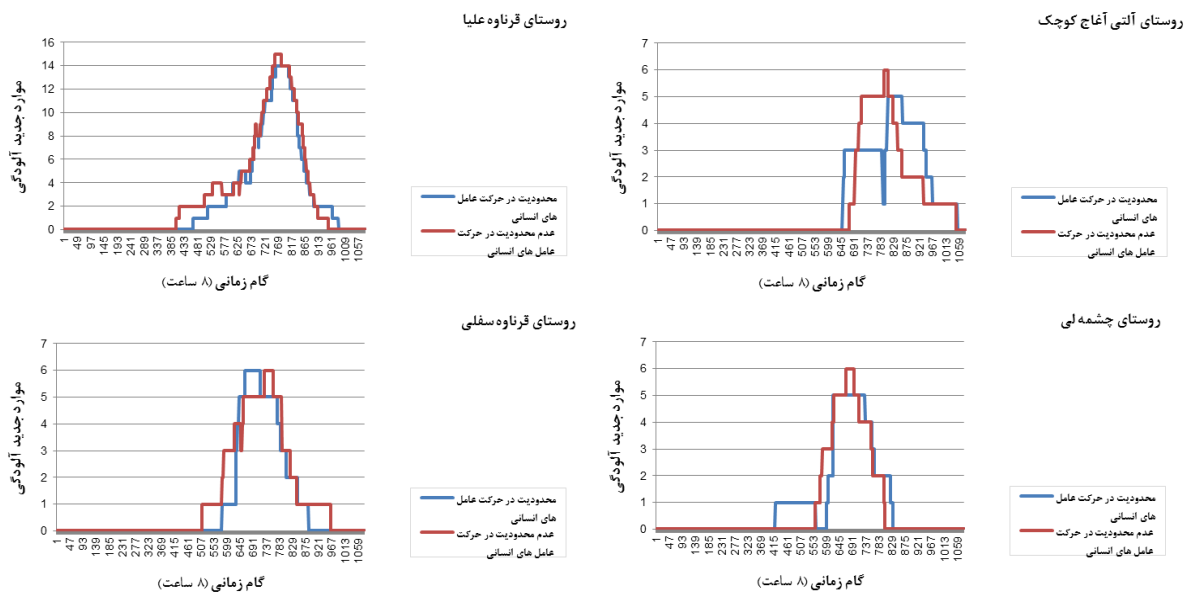
شکل ۸، تعداد موارد جدید آلودگی در روستاهایی با بیشترین فاصله نسبت به زیستگاه‌های مخازن و ناقلین بیماری سالک را با توجه به قانون‌های حرکتی متفاوت برای عامل‌های انسانی نشان می‌دهد. طبق این شکل؛ ایجاد محدودیت در حرکت عامل‌های انسانی، باعث کاهش تعداد موارد بیماری در طول همه‌گیری می‌شود. علت این مسأله، فاصله زیاد بین این روستاها با زیستگاه‌های جوندگان و ناقلین در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۸- موارد جدید آلودگی در روستاهایی با بیشترین فاصله نسبت به زیستگاه‌های ناقلین و مخازن بیماری، با در نظر گرفتن قوانین حرکتی متفاوت برای عامل‌های انسانی

روند همه‌گیری برای این روستاها به وجود نمی‌آورد، زیرا این روستاها در فاصله اندکی نسبت به زیستگاه‌های مورد نظر قرار دارند و انتظار می‌رود که محدود کردن حرکت عامل‌های انسانی، باعث کاهش تعداد موارد بیماری در این روستاها نشود.

شکل ۹، تعداد موارد جدید آلودگی در روستاهایی با کم‌ترین فاصله نسبت به زیستگاه‌های مخازن و ناقلین بیماری سالک را با توجه به قانون‌های حرکتی متفاوت برای عامل‌های انسانی نشان می‌دهد. در این شکل، ایجاد محدودیت در حرکت عامل‌های انسانی تغییر چندانی را در

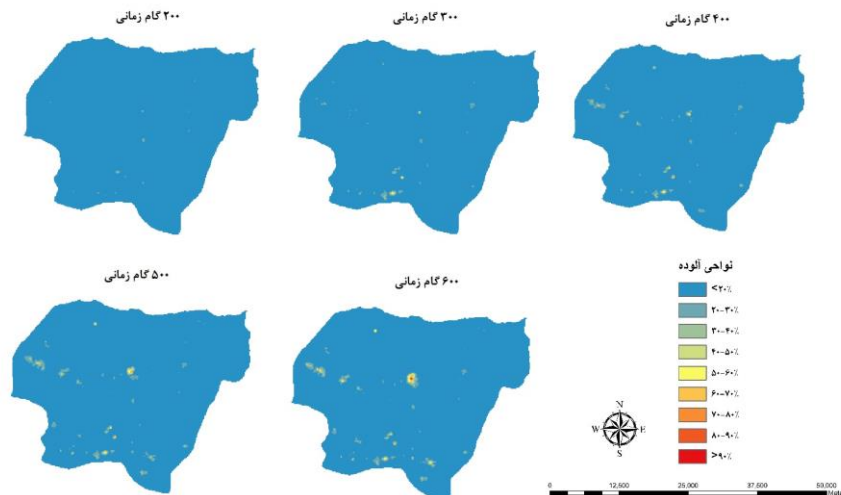


شکل ۹- موارد جدید آلودگی در روستاهایی با کمترین فاصله نسبت به زیستگاه‌های ناقلین و مخازن بیماری، با در نظر گرفتن قوانین حرکتی متفاوت برای عامل‌های انسانی

متوالی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، با افزایش گام‌های زمانی، این بیماری بیشتر در نواحی پرجمعیت، مناطق خشک و مجاورت رودخانه‌ها گسترش می‌یابد؛ به علاوه، علت اصلی تمرکز آلودگی در محل‌های خاص، تجمع مراکز جمعیتی، رودخانه‌ها و نواحی خشک و کم ارتفاع در نزدیکی یکدیگر می‌باشد.

۵-۱۰- خروجی نقشه حساسیت بیماری سالک

این نقشه‌ها، بیان‌گر نواحی‌ای می‌باشند که بیشترین گزیده شدن (گزیدگی منجر به آلودگی) عامل‌های انسانی توسط پشه‌های خاکی در آنجا رخ داده است. بنابراین، می‌توان از این نقشه‌ها برای کشف الگوی مکانی بیماری سالک در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. شکل ۱۰، الگوی گسترش مکانی بیماری سالک را طی مراحل زمانی



شکل ۱۰- الگوی مکانی گسترش بیماری سالک در مراحل زمانی متوالی در منطقه مورد مطالعه.

حدود ۵۸ درصد از کل آلودگی‌های منطقه است و این نیز تقریب خوبی از ۷۶ درصد گزارش شده می‌باشد.

۶-۲- الگوی زمانی

به منظور ارزیابی الگوی زمانی سالک در منطقه مورد مطالعه، آلودگی ماهانه ناشی از شبیه‌سازی با داده‌های بروز ماهانه بیماری مقایسه گشت. طبق شکل ۱۲ و بر اساس خروجی‌های مدل؛ آلودگی در مرداد ماه شروع به رشد می‌کند، در آبان ماه به بیشترین حد خود می‌رسد و در اواخر بهمن ماه نیز پایان می‌یابد. بر اساس این شکل، داده‌های بیماری نیز تقریباً از این الگو پیروی می‌کنند. بنابراین، مدل طراحی شده می‌تواند نمایشی نزدیک به همه‌گیری سالک در واقعیت را ارائه دهد.

علاوه بر این، الگوی زمانی بدست آمده با اکثر مطالعات انجام‌شده در این زمینه نیز مطابقت دارد [۳۸، ۴۰، ۴۶، ۴۷]. علت این مسأله، در نظر گرفتن دوره نهفتگی بیماری (جدول (۱)) برای عامل‌های انسانی در مدل است. با توجه به اینکه بیشتر موارد گزیدگی، در نیمه اول سال رخ می‌دهد؛ انتظار می‌رود که اکثر عامل‌های

۶- ارزیابی مدل

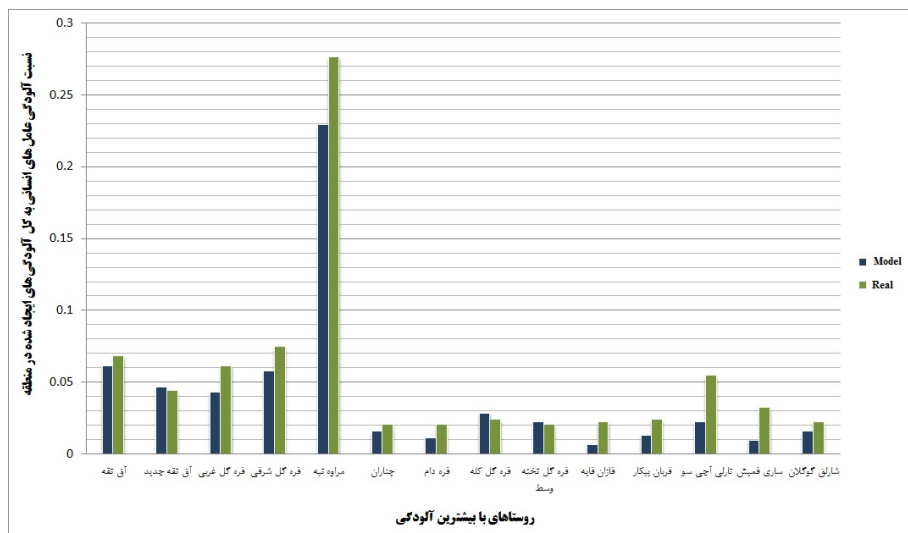
به منظور اثبات اینکه، مدل ارائه‌شده نمایشی نزدیک به واقعیت است و همچنین افزایش اعتمادپذیری نسبت به آن، فرایند ارزیابی مدل در نظر گرفته شد. در این راستا، خروجی‌های شبیه‌سازی با داده‌های بیماری سالک (جدول (۲)) مقایسه شدند. به همین منظور در بخش‌های زیر به ترتیب الگوی مکانی و زمانی این بیماری ارزیابی گشت.

۶-۱- الگوی مکانی

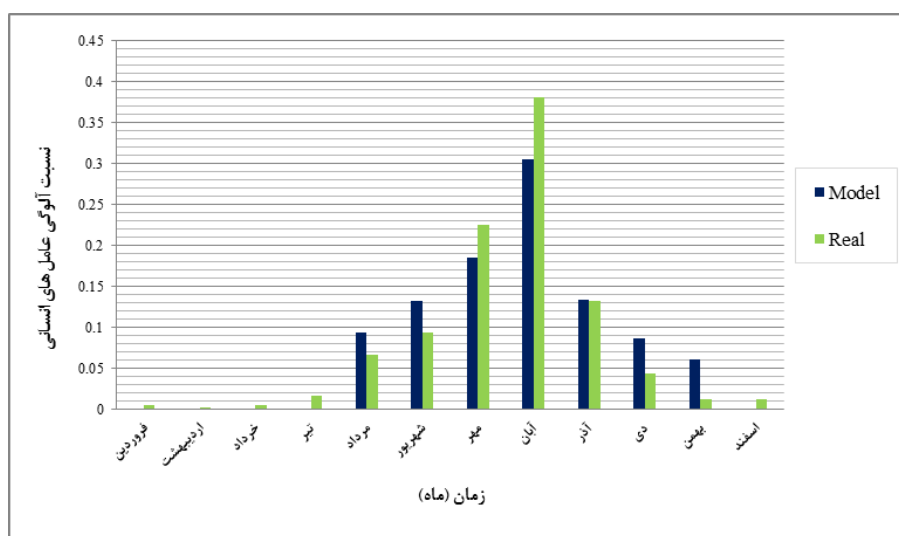
بر اساس داده‌های بیماری سالک در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۱۴ روستا که دارای بیشترین میزان آلودگی (۷۶ درصد از کل آلودگی‌ها) بودند، برای ارزیابی انتخاب شدند. بدین منظور، درصد آلودگی‌های (نسبت به کل آلودگی‌ها) ایجاد شده ناشی از شبیه‌سازی برای هر کدام از روستاهای مذکور با مقادیر واقعی‌شان (داده‌های بیماری) مقایسه شدند. با توجه به شکل ۱۱، خروجی‌های مدل تقریباً با واقعیت سازگار می‌باشد. علاوه بر این، نتایج مدل نشان داد که میزان آلودگی در این ۱۴ روستا

گرفتن رفتارهای پیش‌گیرانه در فصول بهار و تابستان، می‌تواند باعث کاهش بالقوه موارد بیماری در نیمه دوم سال گردد. در نهایت، تطبیق عمده نتایج ارائه‌شده در این قسمت با داده‌های بیماری و مطالعات انجام‌شده، می‌تواند میزان اعتماد پذیری نسبت به مدل را بالاتر ببرد.

انسانی با سپری کردن این دوره، در نیمه دوم سال به بیماری مبتلا شوند و همچنین کاهش بروز بیماری در اواخر فصل زمستان، بهار و اوایل تابستان، به علت عدم فعالیت پشه‌های خاکی در دوره پاییز و زمستان است که این مسأله ناشی از نامطلوب بودن شرایط اقلیمی برای فعالیت آن‌ها در این دوره از سال است. در نتیجه، در نظر



شکل ۱۱- مقایسه نسبت آلودگی ایجاد شده ناشی از شبیه‌سازی با داده‌های بیماری در روستاهای با بیشترین آلودگی



شکل ۱۲- الگوی زمانی گسترش بیماری سالک در ماه‌های مختلف سال، در منطقه مورد مطالعه

از نمایش تعاملات پیچیده بین ناقلین، مخازن، میزبان‌ها و محیط طبیعی‌شان، گسترش این بیماری شبیه‌سازی گردید. چنین تعاملاتی می‌توانند به‌عنوان یکی از اجزای یک سیستم پیچیده باشند. بنابراین، به‌منظور شبیه‌سازی مکانی و زمانی این تعاملات، از روش‌های مدل‌سازی عامل-مبنا استفاده گشت. مدل ارائه‌شده در این تحقیق به اجزای خود این امکان را می‌دهد تا بر اساس فاکتورهای محیطی

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور کشف گسترش بیماری سالک پوستی (نوع مرطوب) در منطقه‌ای از شمال شرق استان گلستان که این بیماری در آن‌جا بسیار همه‌گیر و بومی است، یک مدل عامل‌مبنای مکانی طراحی شد. با استفاده

در این بخش به بیان زمینه‌هایی برای تحقیقات آتی پرداخته می‌شود.

۷-۲- پیشنهادات

مدل مطرح شده در این پژوهش با اندکی تغییر در پارامترهای آن می‌تواند به مدلی واقعی‌تر توسعه یابد. به عنوان نمونه؛ برای عامل‌های این مدل می‌توان رفتارهای پیچیده‌تری را در نظر گرفت؛ به عنوان مثال: عامل‌های انسانی جابه‌جایی‌های متفاوتی را در طول شبانه روز می‌توانند داشته باشند. مثلاً در هنگام صبح به محل کار خود و در هنگام غروب به سمت منازل خود حرکت کنند. علاوه بر شبیه‌سازی شیوع این بیماری، می‌توان شیوع رفتارهای پیش‌گیرانه را نیز در هنگام شروع اپیدمی وارد مدل کرد. در نظر گرفتن این مباحث باعث هرچه نزدیک‌تر شدن مدل به واقعیت می‌شود.

شبیه‌سازی گسترش بیماری سالک در یک منطقه خاص، پدیده‌ای بسیار پیچیده است و مدل‌سازی مناسب‌تر آن نیاز به وارد کردن پارامترهای دیگر در این مدل را دارد؛ از جمله آن‌ها می‌توان به پارامترهای اقلیمی (دما، بارش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد)، پارامترهای مربوط به تغییرات محیطی و ساخت دست بشر (تغییرات کاربری اراضی و رشد شهر نشینی) اشاره داشت. در این مدل هیچ ارتباطی بین سن هر فرد و احتمال ابتلای آن وجود ندارد. در حالی که بروز بیماری سالک در جمعیت‌های با سن پایین (کودکان) بیشتر رخ می‌دهد؛ این مسأله به علت مصونیت کامل هر فرد، پس از گذراندن مراحل بیماری است و انتظار می‌رود افراد بزرگسال در مناطق آندمیک، کمتر به بیماری مبتلا شوند، زیرا غالباً در گذشته سابقه این بیماری را داشته‌اند.

علاوه بر موارد ارائه شده در بالا، می‌توان با اندکی تغییر در متغیرهای اجتماعی و زیست‌محیطی مدل، آن را در مناطق دیگری از استان گلستان یا نواحی آندمیک بیماری پیاده‌سازی کرد و همچنین، برای بیماری‌های از طریق ناقل دیگری نیز از آن استفاده نمود.

و پارامترهای مربوط به بیماری عمل نماید. علاوه بر این، در راستای فراهم کردن ابزاری برای کشف واقع‌بینانه گسترش بیماری، این مدل با مدل همه‌گیر SEIR ادغام گردید. در پایان نیز پارامترهای تأثیرگذار بر بیماری بررسی شدند و مدل مورد ارزیابی قرار گرفت.

تعاملات بین انسان‌ها به‌عنوان میزبان، پشه‌های خاکی به‌عنوان ناقل و جوندگان صحرائی به‌عنوان مخزن اصلی این بیماری در محیط مدل‌سازی، منشأ اصلی همه‌گیری هستند. مدل ارائه‌شده شامل فاکتورهای بوم‌شناسی است که این فاکتورها روی تعاملات ذکر شده تأثیرگذار خواهند بود. برای کم‌تر کردن پیچیدگی‌هایی که باعث انحراف مدل از هدف اولیه می‌شد، فرضیاتی ساده برای مدل در نظر گرفته شد که در بخش ۴ بدان اشاره گشت.

با استفاده از شبیه‌سازی‌ها و سناریوهای انجام‌شده در این پژوهش، مدل به‌دست آمده نشان داد که در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه با شرایط زیست‌محیطی و اجتماعی متفاوت، چگونه بیماری سالک پوستی می‌تواند گسترش یابد. نتایج نشان می‌دهد که گسترش بیماری بیشتر در نواحی خشک و کم ارتفاع، مجاور رودخانه‌ها و مناطق پرجمعیت اتفاق می‌افتد. علاوه بر این نتیجه، محدود نمودن فعالیت عامل‌های انسانی در محدوده روستاها می‌تواند باعث کاهش شدت آلودگی شود. همچنین، نتایج نشان داد که گسترش زمانی این بیماری، دارای الگوی خاصی است؛ به‌طوری‌که بیشترین موارد بروز بیماری در نیمه دوم سال رخ می‌داد که علت این مسأله: وجود دوره نهفتگی برای این بیماری و عدم فعالیت عامل‌های پشه خاکی در فصول سرد سال بود. در نتیجه، با استفاده از الگوهای به‌دست آمده، می‌توان رفتارهای کنترلی را در راستای پیش‌گیری از این بیماری در نظر گرفت.

از مدل ارائه‌شده در این پژوهش، می‌توان به‌عنوان بخشی از یک سیستم پشتیبان در راستای کنترل گسترش بیماری سالک و پیش‌گیری از آن با در نظر گرفتن سناریوهای پیش‌گیرانه مناسب، استفاده نمود. از این رو،

مراجع

- [1] Moore, D. A. and Carpenter, T. E. (1999). "Spatial analytical methods and geographic information systems: use in health research and epidemiology." *Epidemiologic Reviews*. Vol. 21, No. 2, pp. 143-161.
- [2] Azarmehr, M., Mesgari, M. S. and Karimi, M. (2010). "Spatio-temporal modeling of malaria by Geospatial Information System (GIS) and Cellular Automata (CA)." *Iranian Journal of Infectious Diseases and Tropical Medicine*. Vol. 15, No. 48, pp. 61-69, (in Persian).

- [3] Kumar, A. (2013). "Leishmania and leishmaniasis." Springer. New York, USA.
- [4] World Health Organization. (2010). "Control of the leishmaniasis." World Health Organization Technical Report Series.
- [5] Oshaghi, M. A., Rasolian, M., Shirzadi, M. R., Mohtarami, F. and Doosti, S. (2010). "First report on isolation of *Leishmania tropica* from sandflies of a classical urban Cutaneous leishmaniasis focus in southern Iran." *Experimental parasitology*. Vol. 126, No. 4, pp. 445-450.
- [6] Kassem, H. A., Siri, J., Kamal, H. A. and Wilson, M. L. (2012). "Environmental factors underlying spatial patterns of sand flies (Diptera: Psychodidae) associated with leishmaniasis in southern Sinai, Egypt." *Acta tropica*. Vol. 123, No. 1, pp. 8-15.
- [7] Desjeux, P. (2004). "Leishmaniasis." *Nature Reviews Microbiology*. Vol. 2, pp. 692-693.
- [8] Kleczkowski, A. and Grenfell, B. T. (1999). Mean-field-type equations for spread of epidemics: The 'small world' model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 274(1), 355-360.
- [9] Fu, S. and Milne, G. (2003). Epidemic modelling using cellular automata. In: *Proc. of the Australian Conference on Artificial Life*.
- [10] Swarup, S., Eubank, S. G. and Marathe, M. V. (2014). Computational epidemiology as a challenge domain for multiagent systems. In: *Proceedings of the 2014 international conference on Autonomous agents and multi-agent systems*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. 1173-1176.
- [11] Doroodgar, A., Sayyah, M., Doroodgar, M., Mahbobi, S., Nemetian, M., Rafizadeh, S. and Rassi, Y. (2012). Progressive increasing of cutaneous leishmaniasis in Kashan district, central of Iran. *Asian Pac. J. Trop. Dis*. 2(4), 260-263.
- [12] Kassiri, H., Sharifinia, N., Jalilian, M. and Shemshad, K. (2012). Epidemiological aspects of cutaneous leishmaniasis in Ilam province, west of Iran (2000-2007). *Asian Pac. J. Trop. Dis*. 2, 382-386.
- [13] Rodriguez, E. M., Diaz, F. and Perez, M. V. (2013). "Spatio-temporal clustering of American Cutaneous Leishmaniasis in a rural municipality of Venezuela." *Epidemics*. Vol. 5, pp. 11-19.
- [14] Mollalo, A., Alimohammadi, A., Shirzadi, M. R. and Malek, M. R. (2015). "Geographic information system-based analysis of the spatial and spatio-temporal distribution of zoonotic cutaneous Leishmaniasis in Golestan Province, north-east of Iran." *Zoonoses Public Health*. Vol. 62, pp. 18-28.
- [15] Seid, A., Gadisa, E., Tsegaw, T., Abera, A., Teshome, A., Mulugeta, A., Herrero, M., Argaw, D., Jorge, A., Kebede, A. and Aseffa, A. (2014). "Risk map for cutaneous leishmaniasis in Ethiopia based on environmental factors as revealed by geographical information systems and statistics." *Geospatial Health*. Vol. 8, pp. 377-387.
- [16] Garni, R., Tran, A., Guis, H., Baldet, T., Benallal, K., Boubidi, S. and Harrat, Z. (2014). "Remote sensing, land cover changes, and vector-borne diseases: use of high spatial resolution satellite imagery to map the risk of occurrence of cutaneous leishmaniasis in Ghardaia, Algeria." *Infection, Genetics and Evolution*. Vol. 28, pp. 725-734.
- [17] Mirzazadeh, A., Hajarizadeh, B., Mesgarpour, B., Golozar, A. and Holakouie-Naieni, K. (2009). "Mapping of Cutaneous Leishmaniosis in Kerman City from 2002 to 2006 and its Environmental Risk Factors by Geographical Information System." *Iranian Journal of Epidemiology*. Vol. 4, No. 3-4, pp. 17-25, (in Persian).
- [18] Bayatani, A. and Sadeghi, A. (2012). "Spatial Analysis of Environmental Factors of Cutaneous Leishmaniasis in Iran using GIS." *Hakim Research Journal*. Vol. 15, No. 2, pp. 158-165, (in Persian).
- [19] Chaves, L. F. and Hernandez, M. J. (2004). "Mathematical modelling of American cutaneous leishmaniasis: incidental hosts and threshold conditions for infection persistence." *Acta tropica*. Vol. 92, No. 3, pp. 245-252.
- [20] Lewnard, J. A., Jirmanus, L., Junior, N. N., Machado, P. R., Glesby, M. J., Ko, A. I., Carvalho, E. M., Schriefer, A. and Weinberger, D. M. (2014). "Forecasting temporal dynamics of cutaneous leishmaniasis in Northeast Brazil." *PLoS Negl Trop Dis*. Vol. 8, No. 10, pp. 1-10.
- [21] Barhoumi, W., Qualls, W. A., Archer, R. S., Fuller, D. O., Chelbi, I., Cherni, S., Derbali, M., Arheart, K. L., Zhioua, E. and Beier, J. C. (2015). "Irrigation in the arid regions of Tunisia impacts the abundance and apparent density of sand fly vectors of *Leishmania infantum*." *Acta Trop*. Vol. 141, pp. 73-78.
- [22] Mollalo, A., Alimohammadi, A., Shahrivand, M., Shirzadi, M. R. and Malek, M. R. (2014). "Spatial and statistical analyses of the relations between vegetation cover and incidence of cutaneous leishmaniasis in an endemic province, northeast of Iran." *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*. Vol. 4, No. 3, pp. 176-180.
- [23] Epstein, J. M. (2009). "Modelling to contain pandemics." *Nature*. Vol. 460, pp. 687-687.
- [24] Bonabeau, E. (2002). "Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems." *Proceedings of National Academy of Sciences*. Vol. 99, pp. 7280-7287.
- [25] Eubank, S., Guclu, H., Kumar, V. A., Marathe, M. V., Srinivasan, A., Toroczkai, Z. and Wang, N. (2004). "Modeling disease outbreaks in realistic urban social networks." *Nature*. Vol. 429, pp. 180-184.

- [26] Crooks, A. and Heppenstall, A. (2012). "Introduction to agent-based modelling." in Agent-based Models of Geographical Systems, Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. and Batty, M. (Eds.), Springer. Netherlands.
- [27] Birkin, M. and Wu, B. (2012). "A review of microsimulation and hybrid agent-based approaches." in Agent-based Models of Geographical Systems, Heppenstall, A. J., Crooks, A. T., See, L. M. and Batty, M. (Eds.), Springer. Netherlands.
- [28] Crooks, A. T. and Hailegiorgis, A. B. (2014). "An agent-based modeling approach applied to the spread of cholera." *Environmental Modelling & Software*. Vol. 62, pp. 164-177.
- [29] Perez, L. and Dragiccevic, S. (2009). "An agent-based approach for modeling dynamics of contagious disease spread." *International Journal of Health Geographics*. Vol. 8, No. 50, pp. 1-17.
- [30] Linard, C., Ponçon, N., Fontenille, D. and Lambin, E. F. (2009). "A multi-agent simulation to assess the risk of malaria re-emergence in southern France." *Ecological Modelling*. Vol. 220, No. 2, pp. 160-174.
- [31] Rao, D. M., Chernyakhovsky, A. and Rao, V. (2009). "Modeling and analysis of global epidemiology of avian influenza." *Environmental Modelling & Software*. Vol. 24, pp. 124-134.
- [32] Tabasi, M. and Alesheikh, A. A. (2017). "Modeling Spatial Spread of Epidemic Diseases using Agent-based Simulation (Case Study: Seasonal Influenza)." *Journal of Geomatics Science and Technology*. Vol. 6, No. 4, pp 75-86, (in Persian).
- [33] Arifin, S. N., Madey, G. R. and Collins, F. H. (2013). "Examining the impact of larval source management and insecticide-treated nets using a spatial agent-based model of *Anopheles gambiae* and a landscape generator tool." *Malaria journal*. Vol. 12, No. 1, pp. 1-24.
- [34] Rajabi, M., Pilesjo, P., Shirzadi, M. R. and Fadaei, R. (2016). "A spatially explicit agent-based modeling approach for the spread of Cutaneous Leishmaniasis disease in central Iran, Isfahan." *Environmental Modelling & Software*. Vol. 82, pp. 330-346.
- [35] Filatova, T., Verburg, P. H., Parker, D. C. and Stannard, C. A. (2013). "Spatial agent-based models for socio-ecological systems: challenges and prospects." *Environmental Modelling & Software*. Vol. 45, pp. 1-7.
- [36] MOH. (2017). Cutaneous Leishmaniasis infections in Golestan Province 2011-2016. In: Iranian Ministry of Health, Center for Communicable Disease Control (Unpublished data).
- [37] Mirzaei, A., Rouhani, S., Taherkhani, H., Farahmand, M., Kazemi, B. and Hedayati, M. (2011). "Isolation and detection of Leishmania species among naturally infected *Rhombomys opimus*, a reservoir host of zoonotic cutaneous leishmaniasis in Turkemen Sahara, North East of Iran." *Experimental Parasitology*. Vol. 129, No. 4, pp. 375-380.
- [38] Sofizadeh, A., Ghorbani, M., Gorganli Davaji, A. and Gharemeshk Gharavi, A. (2015). "Epidemiological status of cutaneous leishmaniasis and ecological characteristics of sandflies in Maraveh-Tapeh county, Golestan province." *Qom University of Medical Sciences Journal*. Vol. 9, No. 6, pp. 53-65, (in Persian).
- [39] Nadim, A. and Faghih, M. (1968). "The epidemiology of cutaneous leishmaniasis in the Isfahan province of Iran: I. The reservoir II. The human disease." *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. Vol. 62, No. 4, pp. 534-542.
- [40] Shirzadi, M. R. (2012). National guidelines for cutaneous leishmaniasis surveillance in Iran. Ministry of Health and Medical Education, Department of Health, Center for Infectious Disease Management, Office of diseases transmitted between humans and animals, Iran. 1-78, (in Persian).
- [41] Gaugler, R. (2016). *Medical Entomology for Students: Fifth Edition*. American Entomologist. 62(2).
- [42] Wilson, D. E. and Reeder, D. M. (2005). *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*. JHU Press. USA.
- [43] Dommar, C. J., Lowe, R., Robinson, M. and Rodó, X. (2014). An agent-based model driven by tropical rainfall to understand the spatio-temporal heterogeneity of a chikungunya outbreak. *Acta tropica*. 129, 61-73.
- [44] Rhodes, C. J. and Anderson, R. M. (1997). "Epidemic thresholds and vaccination in a lattice model of disease spread." *Theoretical Population Biology*. Vol. 52, pp. 101-118.
- [45] Dye, C. and Gay, N. (2003). "Modeling the SARS epidemic." *Science*. Vol. 300, pp. 1884-1885.
- [46] Bagheri, A., Sofizadeh, A., Ghezel, A. H., Ghanbari, M. R., Fadaei, E., Yapang Gharavi, M. and Cherabin, M. (2014). "Ecological characteristics of sand flies in Golestan province, Iran 2011." *Gorgan University of Medical Sciences Journal*. Vol. 15, No. 4, pp. 84-89, (in Persian).
- [47] Roshanghalb, M. and Parvizi, P. (2012). "Isolating and Determining Leishmania Major and Leishmania Turanica in *Phlebotomus Papatasi* in Golestan Province." *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. Vol. 21, No. 1, pp. 74-83, (in Persian).