

مدلسازی عامل مبنای گسترش بیماری مالاریا

جلیل جعفری^{۱*}، احمد جیریایی^۱، محمد سعدی مسگری^۲

^۱ کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین

طوسی

j.jafarikntu@yahoo.com

a_jiriae@yahoo.com

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

mesgari@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت فروردین ۱۴۰۰، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۴۰۰)

چکیده

مالاریا یک بیماری انگلی دارای ناقل است که سالانه ۲/۱ تا ۵/۷ میلیون مرگ در اثر آن ثبت می‌شود. علی‌رغم پژوهش‌های زیادی که در خصوص بیماری مالاریا صورت گرفته، این بیماری هنوز هم یکی از مشکلات اصلی سازمان بهداشت جهانی است. در چند سال اخیر، مدل‌های شبیه ساز کامپیوتری به طور موثری برای مطالعه پویایی جمعیت ناقلین و استراتژی‌های کنترل بیماری‌های از طریق ناقل بکار گرفته شده‌اند. در این تحقیق نیز ایجاد یک مدل شبیه سازی بر پایه مدل سازی عامل مبنای بیماری مالاریا مورد توجه قرار گرفته است. باتوجه به اینکه انتشار این بیماری به فاکتورهای محیطی، جغرافیایی و اجتماعی متنوع و فراوانی وابسته می‌باشد، لذا این تحقیق بر ارزیابی نحوه تاثیر فاکتورهای محیطی و جغرافیایی موثر، بر نحوه انتشار بیماری در سطح دهستان بندزرک استان هرمزگان و همچنین بررسی نحوه تاثیر اقدامات و سیاست های کنترلی در جلوگیری از انتشار بیماری متمرکز شده است. در این تحقیق برای مدل سازی انتشار مالاریا، انسان ها و پشه های ماده آنوفل به عنوان عامل در نظر گرفته شده اند و همچنین از نقشه پوشش زمین منطقه مورد مطالعه به عنوان محیط شبیه سازی استفاده شده است. در این تحقیق پارامترهای درجه حرارت، رطوبت، فاصله از آب های راکد، فاصله از پوشش گیاهی و تراکم جمعیت انسان به عنوان فاکتورهای موثر در انتشار مالاریا انتخاب شدند. جهت تست و ارزیابی مدل ۴ سناریوی آزمایشی طراحی شد که طی آنها تاثیر فاکتورهای مختلف در مدل بررسی گردید. نتایج حاصل نشانگر حساسیت مدل به این فاکتورها و برتری نسبی ۲۰ درصدی پارامتر بهبودی در کنترل این بیماری بوده است. همچنین نشان داده شد که می توان با سناریوهای ساده میزان تاثیرگذاری اقدامات کنترلی در کاهش و کنترل بیماری را نمایش داده و بررسی نمود. سیاست های کنترلی در نظر گرفته شده برای جلوگیری از انتشار بیماری، خشک کردن آب های راکد، استفاده از توری های محافظ، از بین بردن پشه ها در شروع فصل گرم و افزایش شرایط بهداشتی و درمانی می باشد که نتیجه گرفته شد که سیاست استفاده از توری های محافظ موثرترین روش برای جلوگیری از بیماری می باشد.

واژگان کلیدی: مالاریا، شبیه سازی عامل مبنای، عوامل محیطی، GIS

۱- مقدمه

پیدایش و بازپیدایش بیماری‌های واگیر که تعدادی جدید و نا آشنا، و بقیه دارای تاریخچه‌ای طولانی در جمعیت‌های بشری می‌باشند، به یک تهدید جهانی برای سلامتی بشر در پایان قرن دانش و پیشرفت دارویی مبدل گشته است. این بیماری‌ها علت بسیاری از مرگ و میرها در نقاط مختلف جهان می‌باشند [۱]. علاوه بر نیاز فوری به توسعه و پیشرفت در قسمت‌های نظارت بر بیماری و پاسخگویی به آنها، لازم است ارزیابی دوباره‌ای در مورد این بیماری‌ها با در نظر گرفتن فاکتورهای خطر صورت گیرد [۲]. مالاریا بوسیله پشه ماده آنوفل آلوده منتقل می‌شود که از خون انسان جهت تخم‌ریزی و تغذیه استفاده می‌کند. آب و هوای گرم و مرطوب، تغییر کاربری زمین (ایجاد آب‌های راکد)، افزایش تعاملات بین جمعیت سالم و جمعیت ناقل، شهرسازی، افزایش سفر و مراودات مردم در اثر توسعه سیستم حمل و نقل از جمله فاکتورهای موثر بر پیدایش و باز پیدایش بیماری مالاریا هستند که بسیاری از آنها وابسته به مکان می‌باشند. لذا سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) می‌تواند نقش بسزایی در مدیریت و برنامه‌ریزی انتشار بیماری‌های همه‌گیر داشته باشد. از طرفی ظرفیت بالای مدل سازی GIS این امکان را به سیاست‌گذاران می‌دهد که علل مکانی وقوع بیماری‌های همه‌گیر و نحوه انتشار مکانی آنها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند. از سوی دیگر انتشار بیماری‌های همه‌گیر یک پدیده دینامیکی است که در مکان و با گذشت زمان تغییر می‌یابد. پس برای مدل‌سازی انتشار بیماری علاوه بر مکان، زمان نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد [۴].

سیستم‌های اطلاعات مکانی قابلیت‌های زیادی در مورد پدیده‌های مکانی دارند ولی از نظر مدل‌سازی پدیده‌های زمانمند دارای ضعف‌هایی می‌باشند. ترکیب زمان با این سیستم‌ها می‌تواند کاربردهای این سیستم‌ها را افزایش دهد. برای مدل‌سازی پدیده‌های دینامیکی که در آن دو مولفه زمان و مکان با هم در نظر گرفته شده‌اند، روش‌های گوناگونی توسعه یافته‌اند که یکی از آنها روش اتوماتای سلولی^۱ می‌باشد. تئوری CA برای مدل سازی خصوصیات مکانی جمعیت مستعد به همراه پارامترهای تصادفی که

طبیعت احتمالاتی انتقال بیماری را در نظر می‌گیرند، مورد استفاده قرار گرفته است. در علوم مختلف همیشه سعی بر آن بوده است تا با شکستن سیستمها به اجزای کوچکتر، آنها را تجزیه و تحلیل نمود. اما در اتوماتای سلولی روش دیگری در پیش گرفته می‌شود و آن قرار دادن اجزای ساده در کنار هم به منظور ایجاد یک سیستم پیچیده می‌باشد که به همین دلیل یکی از روش‌های پایین به بالا محسوب می‌شود. به عبارت دیگر در اتوماتای سلولی هدف، مدل‌سازی سیستمی با معادلات پیچیده مشابه معادلات دیفرانسیل نیست. بلکه سعی در بیان سیستم با عناصری ساده و نمایش پیچیدگی آن با استفاده از تعامل این عناصر بر طبق قوانینی ساده است [۳، ۴].

هدف اصلی این تحقیق ارزیابی کارایی ترکیب توانایی‌های تحلیلی GIS با روش مدل‌سازی عامل^۲ مبنا جهت مدل کردن انتشار بیماری مالاریا می‌باشد. به عبارت دیگر، هدف این تحقیق فراهم آوردن ابزاری است که توانایی پیش‌بینی و شبیه‌سازی نحوه گسترش بیماری در مکان و زمان؛ مدل‌سازی و نمایش نحوه تاثیر فاکتورهای محیطی و جغرافیایی موثر در انتشار مالاریا؛ مدل‌سازی و نمایش تاثیر اقدامات کنترلی مدیران مانند خشک کردن آب‌های راکد، استفاده از توری‌های محافظ، از بین بردن پشه‌ها در شروع فصل گرم و افزایش شرایط بهداشتی (جهت درمان افراد آلوده شده) بر جلوگیری از انتشار بیماری را داشته باشد. استان هرمزگان با جمعیتی بالغ بر ۱/۴ میلیون نفر شامل حدود ۲۰ درصد از شیوع بیماری مالاریای کل کشور بوده و به عنوان یکی از مناطق مهم مالاریا خیز کشور مطرح می‌باشد [۵]. از این رو منطقه مطالعاتی برای انجام این تحقیق، منطقه دهستان بندزرک شهرستان میناب انتخاب شد. یکی از مهمترین مسائل موجود در مورد مالاریا این است که بیماری در صورت پیدایش به چه صورتی در مکان انتشار می‌یابد و خطر انتشار این بیماری به کدام مناطق بیشتر می‌باشد. برای پاسخ به این سوال می‌توان از ابزارهای گوناگونی برای مدل سازی گسترش مکانی بیماری‌ها استفاده کرد.

۲- پیشینه تحقیق

امروزه مدل‌سازی همه‌گیری و گسترش بیماری‌ها، در کشورهای مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است. در آغاز

^۱ Cellular Automata (CA)^۲ Agent

استفاده از مدل سازی چندعامله پرداخته است. او در تحقیق خود که به عنوان قسمتی از پروژه EDEN^۲ معرفی شده است، روی ظهور دو بیماری انسانی که قبلاً هم در اروپا رایج بوده است (ویروس Puumala که از طریق جانوران جونده به انسان منتقل می شود و Lyme borreliosis که از طریق ساس و کنه به انسان منتقل می شود) متمرکز شده است. او در ابتدا به بررسی توزیع جغرافیایی عوامل تعیین کننده این بیماری ها پرداخته است و سپس متغیرهای محیطی را از تصاویر سنجش از دور با قدرت تفکیک بالا استخراج کرده و از آنها برای توصیف فراوانی و پخش میزبان ها استفاده کرده است.

Kim و همکارانش در [۱۴] به تجزیه و تحلیل استراتژی کنترل آنفلونزای مرغی در کره جنوبی با استفاده از مدل سازی چندعامله می پردازند. آنها از داده های شیوع بیماری در سال ۲۰۰۸ کشور کره جنوبی بهره گرفته اند. این تحقیق روی انعطافی که روش مدل سازی عامل مبنا ارائه می دهد متمرکز شده است. در این تحقیق تعامل سه فاکتوری که شیوع آنفلونزای مرغی را تحت تاثیر قرار می دهد، مورد آزمایش قرار می دهد. این سه فاکتور شامل محدوده های قرنطینه، دوره کمون بیماری و احتمال انتشار آلودگی می باشند. آنها برای شبیه سازی صریح مکانی خود از ۱۰۲ میلیون اردک و جوجه در ۲۹۹۰ پرورشگاه طیور در کره جنوبی استفاده کرده اند.

در بحث مدل سازی مالاریا با استفاده از روش عامل مبنا در دهه اخیر تلاش هایی صورت گرفته است. Rateb و همکارانش [۱۵] تاثیر آموزش و درمانگاه ها را در کنترل مالاریا در هایتی مورد ارزیابی قرار داده اند. آنها محیط خود را زمین جغرافیایی و عامل های خود را جمعیت انسانی در نظر گرفته اند. آنها محیط مورد مطالعه خود را به شش محیط کوچکتر (مناطق روستایی، راهها، شهرها، کوهستان، مراکز آموزشی و بیمارستان) تقسیم کردند، که عامل های انسانی در مواجهه با هر یک از آنها رفتاری را از خود بروز می دهد. آنها برای محیط های روستایی، راهها، شهرها و کوهستان، احتمال انتشار آلودگی خاصی تعریف کردند. بیشترین احتمال انتشار آلودگی (۲ درصد) را به مناطق روستایی و کمترین احتمال (۵٪) را به کوهستان تخصیص داده اند. هر عامل در هر مواجهه با

قرن بیستم McKendrick و Kermack [6] معادله دیفرانسیلی SIR^۱ را برای شبیه سازی یک نوع همه گیری ساده منتشر کردند. این مدل در ادامه پایه بسیاری از مدل های همه گیری شد به طوریکه که اکثر مدل های ریاضی که در اواسط قرن بیستم برای شبیه سازی همه گیری طراحی شد، از معادلات دیفرانسیل معمولی استفاده می کردند. این مدل ها دارای معایبی هستند، از مهمترین مشکلات این معادلات می توان به نادیده گرفتن ویژگی های محلی فرآیند انتشار و افراد مستعد بیماری اشاره کرد.

با پیشرفت کامپیوترها و افزایش توان محاسباتی آنها، روش مدل سازی CA به عنوان یک روش مناسب برای مدل سازی انتشار بیماری ها معرفی شد. یکی از مزایای CA این است که امکان شبیه سازی سیستم هایی با جمعیت ناهمگن را می دهد. اولین نمونه استفاده از اتوماتای سلولی، مدل شبکه ای Bailey [۷] می باشد که برای مدل کردن انتشار بیماری ها در سطح میکرو استفاده می گردد.

Ahmed و همکارانش [۸] بر روی مسئله مدل سازی SIS مطالعاتی انجام دادند. در این مطالعه تعداد افراد مستعد برای گرفتن بیماری را یکسان در نظر گرفتند و پراکندگی جمعیت بوسیله حرکت چرخشی میزبان مدل گردید. در یکی مثال دیگر مربوط به انتشار بیماری آنفلونزای پرندگان در کشور اندونزی، Hokky Situngkir [۹] یک مدل دینامیکی و مکانی اپیدمیولوژی را با کمک CA توسعه داد. Ortigoza [۱۰] مروری بر مدلسازی های انجام شده با استفاده از ca پرداخته و نقاط ضعف و قوت آنها را مورد بررسی قرار دادند. ایشان [۱۱] در سال ۲۰۲۰ مدل CA مثلی بدون ساختار برای گسترش ویروس Chikungunya (که از طریق پشه گسترش پیدا می کند) با استفاده از مولفه های تراکم ناهمگن انسان و ناقل، تحرک جمعیت، موقعیت مکانی آلودگی با استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی، تغییرات در احتمال عفونت، زاد و ولد و میزان مرگ و میر پشه ها توسعه دادند.

Teweldemedhin و همکارانش [۱۲] از مدل سازی عامل مبنا برای توسعه یک ابزار شبیه سازی برای برآورد و پیش بینی انتشار ایدز در یک جمعیت انسانی استفاده کردند. Linard در [۱۳] به بررسی اثرات تغییرات زیست محیطی بر روی بیماری های از طریق ناقل در اروپا با

^۲ Emerging Diseases in a changing European Enviroment

^۱ Susceptible, Infected, Recovered

مراکز درمانی به میزانی آموزش‌های مربوط به بیماری مالاریا و علائم آن را فرا می‌گیرد که این مقدار بصورت عددی در نظر گرفته شده است و ماکزیمم آن ۱ می‌باشد. هر چقدر میزان آموزش یک عامل بیشتر باشد پس از آلوده شدن، زودتر به مراکز درمانی مراجعه می‌کند و بدین ترتیب از خطر مرگ رهایی می‌یابد و تا یک سال در برابر بیماری مصون می‌گردد. اگر عامل تا مدت ۳۰ روز به مراکز درمانی مراجعه نکند می‌میرد. Rateb و همکارانش سه سناریو را برای مدل خود در نظر گرفته اند؛ (۱) ۳ بیمارستان، (۲) ۳ بیمارستان و ۲۰ مرکز آموزشی، و (۳) ۵ بیمارستان و ۲۰ مرکز آموزشی.

Linard و همکارانش [۱۶] از شبیه‌سازی عامل مبنا برای ارزیابی خطر ظهور مجدد مالاریا در منطقه camargue در جنوب فرانسه استفاده کرده اند. آنها نرخ گزش انسان را به عنوان یک فاکتور کلیدی برای پیش بینی ظهور مجدد مالاریا در منطقه مورد مطالعاتی خود در نظر گرفته اند. آنها در مدل خود که تحت عنوان MALCAM ارائه کرده اند، عامل‌های مختلفی را که سرایت مالاریا در منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهد در یک محیط مکانی در نظر گرفته اند: انسان‌ها، پشه‌ها، میزبان-های حیوانی و محیط جغرافیایی. Linard و همکارانش از یک نقشه کاربری و پوشش زمین به عنوان یک محیط رستری که در آن عامل‌ها حرکت کرده و با یکدیگر و این محیط رستری تعامل دارند، استفاده کرده اند. در این تحقیق محیط عملیاتی به ۵ محیط کوچکتر تقسیم شده است (مزارع برنج، تاکستان‌ها، مناطق شهری، مرداب‌ها و نیزارها) که عامل‌های انسانی در ساعات بعد از غروب آفتاب تا طلوع آفتاب بنا به فعالیت و پیشه خود در این محیط‌ها ظاهر می‌شوند به عنوان نمونه کشاورزان در مزارع و توریست‌ها در مناطق شهری و شکارچی‌ها در مرداب‌ها و نیزارها. مدل آنها تغییرات مکانی و زمانی در نرخ گزش انسان را در مقیاس منطقه‌ای شبیه سازی می‌کند که این تغییرات به توزیع جمعیت و ناقلین، رفتارهایشان و تعاملشان با یکدیگر وابسته می‌باشد. آنها حساسیت مدل خود را به تغییرات پارامترهای ورودی (فاکتورهای انسانی، جغرافیایی و زیست محیطی) آزمایش نموده و تطابق بین مشاهدات میدانی و پیش بینی‌های مدل را مورد بررسی قرار داده اند. Gharakhanlou و همکاران [۱۷] نیز در مدل‌سازی عامل مبنای خود برای

شهرستان سرباز استان سیستان و بلوچستان عوامل گوناگون محیطی شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، پوشش گیاهی، ارتفاع، فاصله از رودخانه ها و مخازن و تراکم جمعیت را مورد توجه قرار داده‌اند.

در اکثر کارهای انجام شده، احتمال انتشار آلودگی برای هر قطعه کوچکتر محیط (زمین کشاورزی، منطقه روستایی، ...) عدد خاصی در نظر گرفته شده است، در حالی که در مدل ارائه شده در این تحقیق احتمال انتشار آلودگی براساس میانگین وزندار پارامترهای موثر در نظر گرفته شده برای انتشار بیماری بدست آمده است و برای هر سلول این عدد متفاوت است. در مدل Linard و همکارانش، حرکات عامل های انسانی و پشه های بصورت اتفاقی می‌باشد در حالیکه در مدل ارائه شده در این تحقیق تنها حرکت عامل های انسانی بصورت اتفاقی می‌باشد و حرکت پشه‌ها با توجه به احتمال انتشار آلودگی سلول قرار گرفته شده در آن می‌باشد که همواره به سلولی که دارای احتمال انتشار آلودگی بیشتری می‌باشد حرکت می‌کنند. همچنین در مدل Linard و همکارانش شاخص محافظتی هر عامل انسانی در برابر نیش پشه‌ها بصورت اتفاقی و عددی از توزیع احتمال گوسین در نظر گرفته شده است. در حالیکه که در این تحقیق این پارامتر بصورت استفاده یا عدم استفاده از توری های محافظ توسط عامل های انسانی شبیه سازی شده است که به عنوان یک سیاست کنترلی در برابر بیماری در نظر گرفته شده است.

۳- مدل سازی عامل مبنا

در علوم مختلف همیشه سعی بر این بوده است تا با شکستن سیستم‌ها به اجزای کوچکتر، آنها را تجزیه و تحلیل نمایند. اما در مدل سازی عامل مبنا روش دیگری در پیش گرفته می‌شود و آن قرار دادن اجزا یا عامل های ساده در کنار هم، به منظور ایجاد رفتارهای پیچیده می‌باشد. از این رو مدل سازی عامل مبنا به عنوان یک روش پایین به بالا^۱ شناخته می‌شود، که با نظریه‌ای که سیستم‌های دینامیک (بالا به پایین)^۲ می‌دهد در تقابل است [۱۸].

مدل‌سازی عامل مبنا یک روش جدید و یکی از مهمترین پیشرفت‌های علمی در زمینه مدل‌سازی از زمان

^۱ Bottom-up

^۲ Top-down

عدم موفقیت عملکرد وجود دارد، عمل نمایند." بنابراین، عامل‌های هوشمند باید قابلیت انجام عملکردهای خودکار انعطاف‌پذیر را داشته باشند [25]. از جمله مهمترین ویژگی عامل‌ها می‌توان به؛ ناهمگونی^۲، هدف گرایی، استقلال، حس و درک محیط و سایر عامل‌ها، قابلیت انعطاف، پیوستگی، خودآغازی^۳، خود مختار و قابلیت واکنشی^۴ اشاره کرد [۱۸، ۲۱، ۲۶، ۲۷، ۲۸].

عامل‌ها همچنین براساس نوع عملکردشان در محیط اطراف به دو دسته واکنشی^۵ و اندیشه مینا^۶ تقسیم بندی می‌شوند. عامل‌های از نوع واکنشی آن دسته‌ای هستند که به محیط اطراف خود یا سایر عامل‌ها واکنش نشان می‌دهند. عامل‌های اندیشه مینا که به عامل‌های با حالت درونی نیز معروفند، براساس یکسری پروتکل و قوانین از پیش تعیین شده، ضمن یادگیری از گذشته، قادر می‌باشند رفتار هدف گرایی را از خود نشان دهند. با اقتباس مفهوم کلی عامل، عامل با ادراکات و عملکردهایش در محیط توصیف می‌گردد. به علاوه یک نمایش درونی محیط نیز لازم است که حالت درونی، شامل دانش و اعتقادات عامل درباره جهان پیرامون آن می‌باشد. یک عامل Ag، یک چندتایی به- صورت رابطه (۱) می‌باشد [۲۴].

$$Ag = (P, I, A) \quad (1)$$

که در آن P یک مجموعه ادراکات، I حالت درونی و A مجموعه عملکردها می‌باشد. اگر حالت درونی تهی باشد ($I = \emptyset$)، آن را عامل کاملاً واکنشی می‌نامیم، اینها عامل‌هایی هستند که مستقیماً به محیط خود پاسخ می‌دهند و بدون توجه به گذشته تصمیم‌گیری می‌نمایند، در غیر این صورت، عاملی با حالت درونی نامیده می‌شود [۲۵]. به منظور ایجاد قابلیت‌های سطح بالاتر عامل‌ها، نظیر برنامه-ریزی، رفتار هدفمند و جمع‌آوری تجربیات، عامل باید دارای حالت درونی باشد.

۳-۲- محیط

محیط به فضایی گفته می‌شود که عامل‌ها در آن حرکت و فعالیت می‌کنند و با یکدیگر مرادف می‌کنند و

ظهور پایگاه‌های داده رابطه‌ای می‌باشد [۱۹]. دلیل گسترش روز افزون استفاده از مدل‌سازی عامل مینا این است که ما در علوم و فن آوری‌های جدید با مسئله‌ای به نام پیچیدگی مواجه هستیم که روش‌های سنتی مدل-سازی قادر به مدل کردن این پیچیدگی‌ها نیستند، علاوه بر این در حال حاضر پایگاه‌های داده قادر به ذخیره داده-های با جزئیات بیشتر هستند، در نتیجه شبیه‌سازی در سطح جزئیات بر روی داده‌های با جزئیات بالا امکان پذیر شده است. سیستم‌های چند عامله مجموعه‌ای از عامل‌ها هستند که در یک محیط خاص فعالیت می‌کنند. به طور کلی مجموعه‌ای از روابط، بین عامل‌های موجود در جامعه مورد مطالعه حاکم می‌باشد که عامل‌ها را با یکدیگر و با اشیاء موجود در آن جامعه مرتبط می‌سازد [۲۰]. در بحث اینکه چه زمانی در مدل‌سازی استفاده از مدل‌سازی عامل مینا مورد نیاز می‌باشد باید گفت، به طور مفهومی چارچوب عامل مینا زمانی ضروری است که تغییر وضعیت اجزاء سیستم حداقل به طور جزئی تابع تصمیم‌گیری اجزاء (به طور مثال افراد) موجود در سیستم باشد [۲۱]. برای مثال مدل‌سازی گسترش بیماری مالاریا، که در آن عامل‌ها یعنی انسان‌ها تصمیماتی در مورد جلوگیری از شیوع و گسترش بیماری اتخاذ می‌کنند، می‌تواند بوسیله مدل‌سازی عامل مینا صورت گیرد. سیستم‌های عامل مینا دارای دو جزء اصلی عامل و محیط^۱ می‌باشد.

۳-۱- عامل

برای عامل‌ها تعاریف گوناگونی مطرح شده است. برخی از مدل‌سازان هر نوع جز مستقل (نرم افزار، مدل، فرد و ...) را به عنوان عامل در نظر گرفته‌اند [۲۲]. رفتار یک جز مستقل می‌تواند از یکسری قواعد تصمیم‌گیری ابتدائی انفعالی تا یک تصمیم‌گیری هوشمندانه قابل انطباق (بر اساس تغییرات محیط) و پیچیده، متغیر باشد. سایر محققین بر این عقیده‌اند که رفتار یک جز باید قابلیت انطباق داشته باشد تا به عنوان یک عامل شناخته شود [۲۳]. عامل، یک سیستم رایانه‌ای است که در محیطی تعبیه شده و قابلیت انجام عملکرد خودکار و قابل انعطاف را در آن محیط دارد تا اهداف طراحی شده خود را تامین نماید [۲۴] عامل‌های هوشمند "باید در محیط‌های در حال تغییر و غیرقابل پیش‌بینی، که احتمال

^۲ Heterogeny

^۳ Self-Start

^۴ Reactivity

^۵ Reactive

^۶ Deliberative

^۱ Environment

بر هم اثر می‌گذارند. با توجه به اینکه عامل، محیط را حس می‌کند و در محیط عمل می‌کند و بر روی آن تاثیر می‌گذارد [۲۹]. Russell و Norving در [۳۰] طبقه بندی زیر را برای محیط‌های عامل مبنای پیشنهاد داده‌اند:

قابل‌دستیابی در برابر غیر قابل‌دستیابی: یک محیط قابل‌دستیابی، محیطی است که عامل می‌تواند اطلاعات کامل، دقیق و به هنگامی را از حالت محیط بدست آورد. اکثر محیط‌های دنیای واقعی غیر قابل‌دستیابی هستند.

قطعی بودن در برابر غیر قطعی بودن: یک محیط قطعی، محیطی است که هر عمل عامل یک تاثیر تضمین شده منفرد^۱ روی آن دارد. یعنی عدم اطمینان در مورد وضعیت نتیجه شده از عمل وجود ندارد. محیط‌های فیزیکی نمونه ای از محیط‌های غیر قطعی هستند.

ایستا در برابر پویا: یک محیط ایستا، محیطی است که فقط بوسیله انجام اعمال توسط عامل‌ها تغییر می‌کند. در مقابل محیط پویا، محیطی است که دیگر فرایندها روی آن عمل می‌کنند و بنابراین تغییراتی به جز نتیجه اعمال عامل-ها دارند. محیط فیزیکی یک محیط بسیار پویا می‌باشد.

گسسته در برابر پیوسته: یک محیط گسسته است اگر در آن تعداد متناهی و ثابت از عمل‌ها و ادراک وجود داشته باشد. تمایز بین گسسته و پیوسته می‌تواند به حالت محیط، اداره کردن زمان و به ادراکات و فعالیت‌های عامل اعمال شود.

۴- مواد و روش‌ها

برای وارد کردن اثر هر کدام از پارامترها در مدل پیشنهادی، ابتدا باید لایه اطلاعاتی مربوط به آنها را ایجاد کرد. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نرم افزار ArcGIS 9.3 استفاده گردید و آنالیزهای مکانی مورد نیاز به کمک این نرم افزار انجام گرفت. با توجه به اینکه داده‌های درجه حرارت، رطوبت و جمعیت انسان به صورت نقطه ای وجود دارند، برای داشتن سطحی پیوسته از آنها، درونیایی انجام شد. همچنین با توجه به طول پرواز پشه‌ها، می‌توان منطقه‌ای حائل اطراف سطوح آب راکد و پوشش گیاهی تشکیل داد که بیانگر میزان تراکم پشه‌ها می‌باشند؛ به عبارت دیگر با دور شدن از سطوح آب راکد و پوشش گیاهی، احتمال انتشار آلودگی کاهش می‌یابد. از ترکیب

وزن دار لایه‌های بالا، لایه احتمال انتشار آلودگی تولید می‌گردد که به عنوان یکی از پارامترهای محیط در مدل-سازی عامل مبنای وارد مدل می‌شود. پشه آنوفل با در نظر گرفتن شرایط مناسب برای زیست خود، می‌تواند از سلولی به سلول دیگر جابه‌جا شود. بنابراین هر پشه در طول مسیر پرواز خود، برای یافتن میزبان مناسب جهت تغذیه خونی، همواره به سلولی که احتمال انتشار آلودگی بیشتری دارد وارد می‌شود. پس برای مدل‌سازی عامل مبنای بیماری مالاریا، پشه‌ها و انسان‌ها به عنوان عامل-های جداگانه‌ای در نظر گرفته شدند و برای هر یک از این عامل‌ها با توجه به مدل طراحی شده رفتارها و قوانینی لحاظ شدند. همچنین از نقشه رستری پوشش زمین از منطقه مورد مطالعه به عنوان محیط شبیه‌سازی عامل مبنای استفاده شده است.

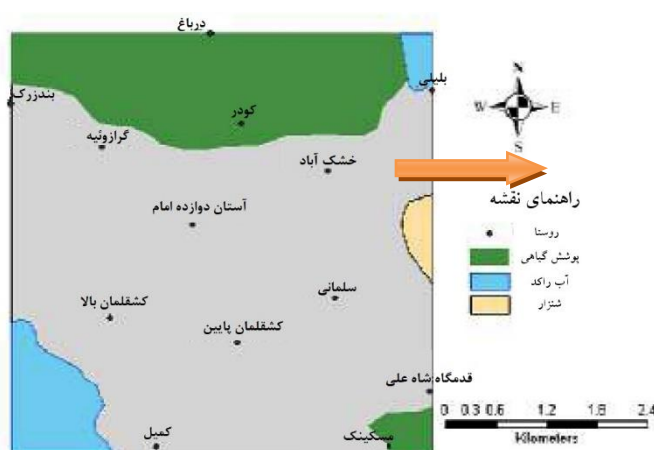
برای پیاده‌سازی مدل عامل مبنای پیشنهادی از Toolkit، Netlogo استفاده شده است. علاوه بر لایه‌های مکانی اطلاعاتی باید چند پارامتر ورودی دیگر نیز به مدل وارد گردد که با توجه به نظر کارشناسان و شرایط حاکم بر آن بیماری، انتخاب می‌گردند. کاربر پارامترهای مدل را از طریق واسطه گرافیکی کاربر وارد برنامه می‌کند با تغییر این پارامترها می‌توان سناریوهای مختلفی را مورد بررسی قرار داد. بعد از معرفی ورودی‌های برنامه، برنامه اجرا می‌شود و عامل‌ها (پشه‌ها و انسان‌ها) شروع به حرکت می‌کنند. پشه‌ها در ابتدای هر گام زمانی در سراسر منطقه مطالعاتی به صورت تصادفی پخش می‌شوند و سپس همانطور که در بالا به آن اشاره شد میزبان مناسب خود را پیدا می‌کنند. خروجی برنامه در هر گام زمانی بصورت نموداری که میزان افراد آلوده، مستعد و ایمن را بیان می‌کند نمایش داده می‌شود. جهت تست و ارزیابی مدل عامل مبنای پیشنهادی سناریوهای گوناگونی مورد بررسی قرار گرفت که از مهمترین آنها می‌توان به نحوه تاثیرگذاری هر یک از پارامترهای موثر بر انتشار بیماری (ذکر شده در بالا) در مدل، اجرای سیاست‌های کنترلی از قبیل خشک کردن آب‌های راکد و استفاده از توری‌های محافظ را نام برد.

۴-۱- جمع آوری داده

با توجه به اینکه سه استان جنوب‌شرقی کشورمان یعنی استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان و کرمان بیشترین آمار مبتلایان به مالاریا را دارند، منطقه مورد

^۱ Single guaranteed effect

صورت مربع با طول ضلع ۵ کیلومتر در شرق استان هرمزگان و در جوار خلیج فارس و دریای عمان بوده و در سیستم مختصات WGS 1984 در محدوده ۲۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد. منطقه شامل ۱۳ روستا بوده (شکل ۱) و از نظر آب و هوایی، در تابستان‌ها دارای آب و هوای گرم و مرطوب و در زمستان‌ها معتدل می‌باشد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه واقع در دهستان بندزرک شهرستان میناب

گیاهی و فاصله از آب‌های راکد، تهیه شد. منطقه مورد مطالعه شامل ۱۳ روستا می‌باشد و هر روستا دارای اطلاعات توصیفی‌ای نظیر نام، میزان جمعیت، میانگین درجه حرارت و رطوبت نسبی می‌باشد. با کمک اطلاعات توصیفی مربوط به جمعیت هر روستا، لایه جمعیت انسان (با استفاده از آنالیز چگالی) تهیه شد.

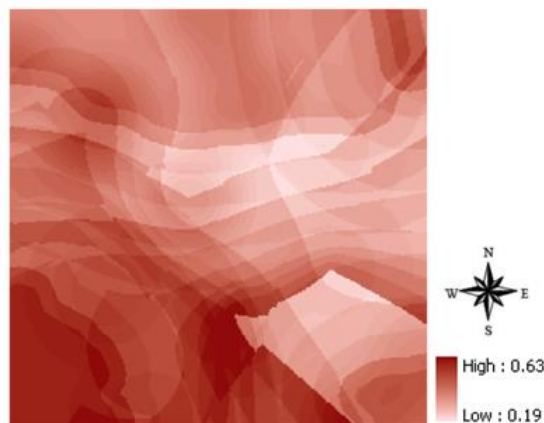
لایه‌های ورودی جهت بدست آوردن لایه احتمال انتشار آلودگی باید دارای ساختار رستری در اندازه ۲۵۰ در ۲۵۰ سلول باشند (که اندازه هر سلول آن ۲۰ متر در ۲۰ متر می‌باشد) و مقدار هر لایه بین ۰ تا ۱۰ قرار داشته باشد. بنابراین لازم است بعد از تهیه لایه‌ها و با توجه به میزان اهمیت آنها در شیوع مالاریا، آنالیز طبقه‌بندی مجدد طبق نظر کارشناسان مالاریا انجام گیرد. بعد از بدست آمدن لایه‌های رستری مربوط به رطوبت، درجه حرارت، جمعیت انسانی، فاصله از آب‌های راکد و فاصله از پوشش گیاهی، این لایه‌ها با وزن مناسبی ترکیب شدند. وزن این لایه‌ها با استفاده از پرسش از کارشناسان به ترتیب برای درجه

مطالعه از این قسمت انتخاب گردید. طبق آمار گرفته شده از بخش کنترل مالاریای وزارت بهداشت، و مقایسه آمار مالاریا در شهرستان‌های مختلف، نهایتاً شهرستان میناب به عنوان منطقه‌ای با آمار شیوع بالا انتخاب گردید؛ در این شهرستان دهستان بندزرک دارای شرایط جغرافیایی مناسبی برای شیوع مالاریا می‌باشد چون با داشتن آب‌های راکد، پوشش گیاهی و همچنین آب و هوایی مساعد، منطقه‌ای مناسب برای تولید و تکثیر ناقل بیماری، و در نتیجه انتشار مالاریا می‌باشد. منطقه انتخاب شده به



در این تحقیق، نقشه‌های تقسیم‌بندی‌های سیاسی کشور از وزارت کشور و نقشه‌های کاربری اراضی منطقه نیز با مراجعه به وزارت جهاد کشاورزی تهیه شدند. داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک شهرستان‌های مختلف از سازمان هواشناسی کشور بدست آمد. برای اجرای مدل نیاز به اطلاعات دقیق هواشناسی و پوشش گیاهی از منطقه مورد نظر می‌باشد. از طرفی داده‌های هواشناسی که از ایستگاه سینوپتیک هر شهرستان تهیه شده به صورت میانگین برای کل شهرستان بوده و اطلاعات هواشناسی به طور مجزا برای هر یک از روستاها در دسترس نیست. بنابراین برای روستاهای واقع در منطقه‌ی مورد مطالعه از داده‌های محیطی شبیه سازی شده درجه حرارت و رطوبت استفاده شده است. با توجه به نقشه پوشش زمین موجود از منطقه، نواحی دارای پوشش گیاهی، آب راکد و شنزار، به کمک آنالیزهای مکانی (آنالیز فاصله) موجود در نرم افزار ArcGIS، لایه‌های مربوط به پارامترهای جغرافیایی فاصله از پوشش-

حرارت، رطوبت، فاصله از پوشش گیاهی، فاصله از آب‌های راکد و جمعیت انسانها برابر ۲۰، ۲۰، ۲۰ و ۱۰ بوده است. پس از وزن دهی به پارامترها لایه رستری بدست می‌آید که در آن هر سلول دارای اطلاعات مربوط به احتمال انتشار آلودگی می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- لایه احتمال انتشار آلودگی

۴-۲- ساختار مدل پیشنهادی

عامل‌های موجود در این مدل را انسان‌ها و پشه‌های ماده آنوفل تشکیل می‌دهند. عامل‌های انسانی براساس اینکه به بیماری مبتلا شده‌اند یا نه و یا در برابر بیماری ایمن شده‌اند به سه دسته تقسیم می‌شوند: افراد مستعد (هنوز به بیماری مبتلا نشده‌اند و در برابر بیماری ایمن هم نمی‌باشند و در هر گام زمانی امکان دارد که آلوده شوند)، افراد آلوده (به بیماری از طریق نیش پشه‌های آلوده مبتلا شده‌اند) و افراد ایمن در برابر بیماری (که براساس پارامتر بهبودی در نظر گرفته شده در مدل در برابر بیماری ایمن می‌شوند). لازم به توضیح است که هر گام زمانی در مدل ارائه شده یک شبانه‌روز می‌باشد. نحوه حرکات افراد بدین صورت می‌باشد که افراد هر روستا در محدوده‌ای از همان روستا (محدوده‌ای که از طریق آنالیز تیسن پلی‌گون بدست آمده است) به حرکت تصادفی خود ادامه می‌دهند. نکته دیگر آنکه بعد از گذشت ۷ گام زمانی از شروع بیماری (برای هر فرد بیمار)، در هر گام زمانی و براساس پارامتر ورودی احتمالی تحت عنوان پارامتر بهبودی، درصدی از افراد آلوده در برابر بیماری ایمن می‌شوند. در واقعیت مفهوم پارامتر بهبودی متأثر از شرایط اقتصادی خانوارهای آن منطقه و دسترسی به مراکز بهداشتی و درمانی می‌باشد. با انگیزه ساده سازی در این

مدل، این پارامتر به عنوان یک پارامتر ورودی در نظر گرفته شده است که می‌توان نحوه تاثیر آن در مدل را مورد آزمایش قرار داد. اگر فرد آلوده‌ای (طبق نظر کارشناسان مالاریا) بعد از ۳۰ گام زمانی این شانس را نداشته باشد که تحت درمان قرار گیرد می‌میرد. در مدل حاضر پارامتر ورودی دیگری تحت عنوان تعداد افراد آلوده در شروع اجرای برنامه در نظر گرفته شده است که توسط کاربر تعیین شده و به مدل معرفی می‌گردد.

عامل‌های پشه در مدل به دو دسته تقسیم می‌شوند پشه‌های ناقل بیماری و پشه‌هایی که هنوز آلوده کننده نمی‌باشند. پشه‌ها در شروع هر گام زمانی بصورت تصادفی در کل منطقه پخش می‌شوند و سپس شروع به حرکت می‌کند. طول مسیر پرواز برای هر پشه ۲ کیلومتر در هر گام زمانی در نظر گرفته شده است و در طی این مسیر همواره سلولی که در آن واقع شده است را حس کرده و آن را نسبت به همسایه‌های آن سلول مقایسه می‌کند و وارد سلولی می‌شود که دارای احتمال انتشار آلودگی (که نحوه تهیه آن در بخش آماده سازی داده‌ها جهت ورود به مدل توضیح داده شد) بیشتری باشد. در این حین هر گاه پشه فردی را در فاصله ۲۰ متری از خود مشاهده کند (در صورت برقراری شرط برای چند فرد یک فرد به صورت تصادفی انتخاب می‌شود)، مستقیماً به طرف آن فرد حرکت می‌کند و براساس احتمال انتشار آلودگی سلولی که در آن واقع شده‌اند، تماس و گزش صورت می‌گیرد که عمل گزش برای هر پشه در هر گام زمانی تنها یکبار صورت می‌گیرد. پشه‌های ناقل بیماری در تماس با افراد مستعد بیماری را به آن فرد منتقل می‌کنند. پشه‌های سالمی که انسان‌های آلوده به بیماری را نیش می‌زنند ناقل بیماری می‌شوند و بعد از آن گام زمانی می‌توانند بیماری را منتقل کنند. همانطور که در فصل دوم توضیح داده شد پشه بعد از مکیدن خون، وارد چرخه gonotrophic می‌شود که در این مدل مدت این چرخه برای پشه‌ها ۳ گام زمانی در نظر گرفته شده است. پشه‌هایی که موفق به مکیدن خون انسان شده‌اند، به آب‌های راکد رفته و براساس نرخ تولید مثل در نظر گرفته شده برای آنها (در این مدل نرخ تولید مثل پشه‌ها ۳ در نظر گرفته شده است) شروع به تخم‌ریزی در آب‌های راکد می‌کنند. تخم‌ها بعد از ۱۲ گام زمانی در صورت برقراری شرایط مناسب (خشک نشدن آب راکد) به پشه‌های بالغ

جدید تبدیل می‌شوند. قابل ذکر است که عامل‌های پشه در تماس با عامل‌های انسانی ایمن شده، فقط قابلیت مکیدن خون را دارند و آلودگی را به این افراد سرایت نمی‌دهند. قابل ذکر است که نرخ مرگ و میر برای پشه‌ها به پیروی از مدل ارائه شده در [۱۶] ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است.

در این مدل پارامتری تحت عنوان تعداد کل پشه‌ها و تعداد پشه‌های ناقل در شروع برنامه در نظر گرفته شده است که توسط کاربر به مدل معرفی می‌شوند. انتشار بیماری مالاریا در یک منطقه به تعداد پشه‌های بالغ در شروع فصل گرم وابسته می‌باشد [۱۶] از این رو نحوه تاثیرگذاری این پارامتر در مدل و نیز میزان حساسیت مدل به آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

همچنین در مدل پارامترهای ورودی نظیر درصد استفاده از توری‌های محافظ توسط عامل‌های انسانی و درصد خشک کردن آب‌های راکد در نظر گرفته شده است. این دو پارامتر از جمله اقدامات کنترلی است که می‌توان با آنها از شیوع هر چه بیشتر بیماری جلوگیری کرد. نحوه تاثیر پارامتر درصد استفاده از توری‌های محافظ بدین شکل می‌باشد که اگر مثلاً این پارامتر ۲۰ تنظیم شود ۲۰ درصد از کل افراد منطقه مطالعاتی از نیش پشه‌ها در امان می‌مانند یا به عبارت دیگر پشه‌های عامل نمی‌توانند با آنها تماس داشته باشند در نتیجه بیماری منتقل نمی‌شود. همانطور که گفته شد پشه‌ها جهت تخم‌ریزی به آب‌های راکد می‌روند و تخم‌ها در صورت برقراری آب راکد و خشک نشدن آن، پس از ۱۲ گام زمانی به پشه‌های جدید تبدیل می‌شوند. نکته قابل ذکر در اینجا این است که برای هر سلول از آب‌های راکد، ظرفیتی برای تخم‌های پشه‌ها تعیین گردید که اگر تعداد تخم‌ها بیش از این مقدار باشد، تخم‌های مازاد بر ظرفیت از بین می‌روند. این کار باعث موثر بودن سیاست خشک کردن آب‌های راکد می‌شود زیرا که در صورت خشک شدن قسمتی از آب‌های راکد، پشه‌ها مجبورند در قسمت‌های دیگر تخم‌ریزی کنند که این مسئله باعث بالا رفتن تخم‌ریزی در یک سلول شده و تخم‌های مازاد بر ظرفیت آن سلول از بین می‌روند. در نتیجه امکان برای تبدیل شدن این تخم‌ها به پشه‌های جدید از بین می‌رود و در نتیجه جمعیت پشه‌ها کاهش می‌یابد. طبیعتاً کاهش تعداد پشه‌ها باعث کاهش تعداد موارد گزش و نتیجتاً کاهش تعداد موارد بیماری می‌شود.

محیطی که در آن عامل‌ها به فعالیت می‌پردازند را به چهار محیط کوچکتر تقسیم شده است که عبارت است از: محدوده روستاها، پوشش گیاهی، آب‌راکد و شنزار. همانطور که در بالا اشاره شد مقدار سلولی هر یک از این محیط‌های کوچکتر، درصد احتمال انتشار آلودگی می‌باشد. عامل‌های انسانی در محیط‌های روستایی و پوشش گیاهی و شنزارها می‌توانند حرکت کنند. پشه‌های عامل در تمام محیط‌ها می‌توانند حرکت کنند (با نوع همسایگی Moore) و عمل تخم‌ریزی خود را فقط در آب‌های راکد انجام می‌دهند. بدین ترتیب یکی از راه‌های پیشگیری که می‌توان اعمال کرد و نحوه تاثیر آن را در گسترش بیماری مورد ارزیابی قرار داد، خشک کردن آب‌های راکد می‌باشد که در سناریوسازی با جزییات بیشتر مورد توجه قرار گرفت. برای عامل‌های پشه چرخه Sporogonic در نظر گرفته نشده است و پشه‌های سالم بلافاصله بعد از تماس با افراد آلوده، ناقل بیماری می‌باشند. در شروع هر گام زمانی از مدل-سازی، پشه‌ها به صورت تصادفی در کل منطقه مورد مطالعاتی پخش می‌شوند. در مدل ارائه شده در این تحقیق حیوان‌های پستاندار منطقه مطالعاتی که می‌توانند نقش میزبان‌ها را داشته باشند در نظر گرفته نشده است. در مدل ارائه شده در این تحقیق عامل‌های انسان مربوط به هر روستا درون محدوده‌ای از اطراف آن روستا (محدوده‌ای که از طریق آنالیز Thiessen Polygons بدست آمده است) بصورت تصادفی پخش می‌شوند. بدیهی است که در واقعیت میزان تراکم افراد در نزدیکی‌های هر روستا بیشتر می‌باشد اما در این مدل بدلیل نزدیکی مراکز جمعیتی به یکدیگر و همچنین ساده سازی این مسئله در نظر گرفته نشده است.

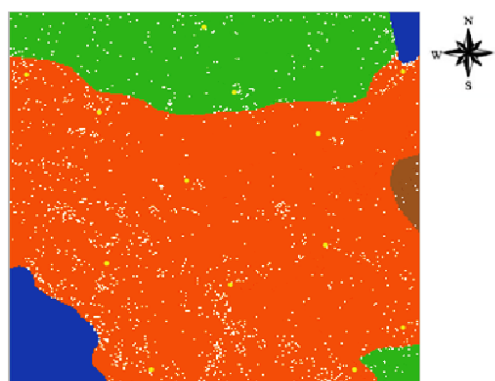
۵- نتایج و ارزیابی

یکی از ویژگی‌های مهم مدل‌سازی عامل مبنای توانایی آن در سناریو سازی می‌باشد. لذا سناریوهای مختلف در نظر گرفته شد و به جهت بررسی عملکرد مدل ارائه شده، نتایج حاصل از آن مورد ارزیابی قرار گرفت. این نتایج بایستی از یک سو با منطق حاکم بر مدل سازگار باشند و از سوی دیگر با تغییر در پارامترهای مدل تغییر نمایند. بنابراین با تغییر در برخی پارامترها، میزان حساسیت مدل به آنها را سنجیده و نتایج تفسیر شد.

۵-۱- سناریوهای پیش‌بینی

در حالت استاندارد وزن دهی که طبق جدول ۱ صورت گرفته است نحوه انتشار بیماری با در نظر گرفتن پارامتر بهبودی ۲۵ درصد، عدم اعمال سیاست‌های استفاده از توری‌های محافظ و خشک کردن آب‌های راکد، بعد از ۵۰ گام زمانی به صورت شکل ۳ می‌باشد. در این شکل نقاط سفید مکان‌هایی می‌باشد که در آن گزش صورت گرفته است. همانطور که مشاهده می‌شود تراکم نقاط سفید در جاهایی که احتمال انتشار آلودگی بیشتر می‌باشد (مطابق شکل ۲) بیشتر است.

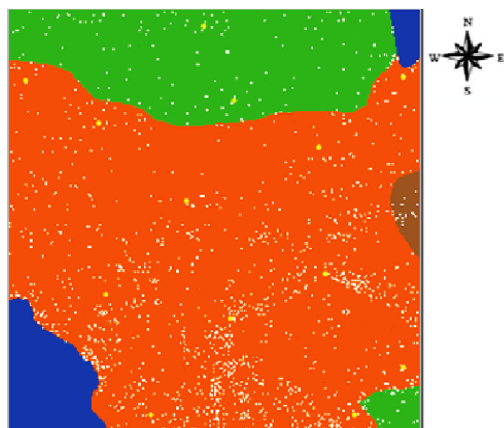
اگر میزان تاثیر درجه حرارت در تعیین لایه احتمال انتشار آلودگی را ۸۰ در نظر بگیریم و تاثیر بقیه پارامترها را ۵ درصد در نظر بگیریم، لایه احتمال انتشار آلودگی به صورت شکل ۴-الف می‌باشد. در شکل ۴-ب نحوه انتشار بیماری برای بررسی تاثیر درجه حرارت نشان داده شده هست. نتایج نشان می‌دهد که در قسمت‌های جنوب و جنوب شرقی منطقه احتمال انتشار آلودگی بیشتر می‌باشد و با حرکت به سمت شمال منطقه شرایط دمایی مناسب برای حرکت پشه‌ها و در نتیجه احتمال انتشار آلودگی کاهش می‌یابد. مطابق همین روال برای لایه‌های رطوبت، آب‌های راکد و پوشش گیاهی نیز تکرار شد. نتایج حاصل حاکی از آن است که وقتی تاثیر ۸۰ درصدی رطوبت لحاظ گردید، تراکم بیماری در قسمت‌های جنوب و جنوب غربی بیشتر شد. این تغییر برای آب‌های راکد در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی و برای تغییر پوشش گیاهی در مناطق جنوب شرقی تاثیر بالایی داشت.



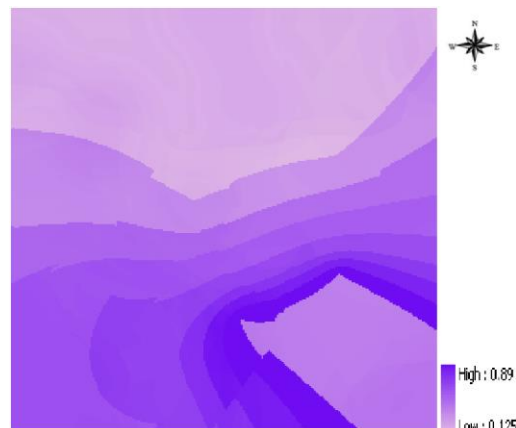
شکل ۳- نحوه انتشار بیماری

مدل را با مقادیر مختلف این پارامتر اجرا کرده و تعداد افراد بیمار و ایمن را در گام‌های معین زمانی با هم مقایسه می‌شود. ابتدا مدل را با تعداد ۱۰۰۰۰ پشه که ۱۰ درصد آنها ناقل می‌باشند اجرا می‌کنیم. سپس در سناریوهای بعدی به ترتیب تعداد پشه‌ها را به ۸۰۰۰، ۶۰۰۰ و ۴۰۰۰ کاهش می‌دهیم که در هر مرحله ۱۰ درصد از کل پشه‌ها ناقل می‌باشند. در طی ۴ سناریو بالا، پارامتر بهبودی را ۲۵ درصد و ۵ درصد از ۵۰۱ نفر جمعیت انسانی موجود در منطقه را آلوده در نظر می‌گیریم. برای هر یک از سناریوهای بالا مدل را ۱۰ بار اجرا کرده و میانگین حاصل از نتایج برای ارزیابی در نظر گرفته شده است (جدول ۱). نتایج حاکی از آن است که مجموع تعداد افراد آلوده و ایمن با کاهش تعداد پشه‌ها در آغاز مدل، کاهش یافته است. این کاهش بطور میانگین، بین سناریو اول و سناریو دوم ۲۰ درصد، بین سناریو دوم و سناریو سوم ۱۲ درصد، و بین سناریو سوم و چهارم ۱۳ درصد می‌باشد. بنابراین با اقدامات و سیاست‌های کاربردی در آغاز فصل گرم، جهت از بین بردن پشه‌ها و نتیجتاً کاهش تعداد آنها، می‌توان تا حدود زیادی از شیوع بیماری در طول فصل گرم جلوگیری کرد.

سپس بررسی پارامتر تعداد اولیه پشه‌ها و نحوه تاثیر آن در مدل پیشنهادی مورد توجه قرار گرفت. بدین منظور



(ب) نحوه انتشار بیماری برای بررسی تاثیر درجه حرارت



(الف) لایه احتمال انتشار آلودگی با تاثیر ۸۰ درصدی درجه حرارت

شکل ۴- نتایج مدل پس از بررسی تاثیر دما

جدول ۱- میانگین نتایج حاصل از ۱۰ بار اجرای مدل برای ارزیابی پارامتر تعداد اولیه پشه‌ها در آغاز مدل

		بعد از ۲۵ گام زمانی	بعد از ۵۰ گام زمانی	بعد از ۷۵ گام زمانی	بعد از ۱۰۰ گام زمانی
اجرای مدل با ۱۰۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۲۵	۲۲	۲۰	۱۸
	تعداد افراد ایمن	۶۱	۱۰۱	۱۲۰	۱۵۷
اجرای مدل با ۸۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۱۵	۱۸	۱۷	۱۵
	تعداد افراد ایمن	۵۲	۷۴	۱۰۸	۱۳۴
اجرای مدل با ۶۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۱۵	۱۰	۸	۸
	تعداد افراد ایمن	۴۴	۷۰	۹۹	۱۲۹
اجرای مدل با ۴۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۱۰	۸	۸	۸
	تعداد افراد ایمن	۴۳	۶۲	۸۵	۱۰۶

سناریو اول و دوم ۱۸ درصد، بین سناریو دوم و سوم ۱۸ درصد، و بین سناریو سوم و چهارم ۲۸ درصد می‌باشد. بنابراین یکی از راه‌های موثر در پیشگیری در برابر انتقال بیماری و جلوگیری از گزش پشه‌ها، استفاده از توری‌های محافظ می‌باشد و مدل ارائه شده در این تحقیق به این پارامتر حساس می‌باشد. یکی دیگر از اقدامات کنترلی در جهت جلوگیری از انتشار و شیوع مالاریا، خشک کردن آب-های راکد و باتلاقی در منطقه شیوع بیماری می‌باشد. بنابراین خشک کردن یا زهکشی این مکان‌ها باعث کم شدن تعداد پشه‌های آلوده کننده و در نتیجه کاهش تعداد گزش‌ها می‌شود. در این بخش به نحوه تاثیرگذاری خشک کردن آب‌های راکد در مدل پیشنهادی این تحقیق پرداخته شد. فرآیند ارزیابی این پارامتر در ۴ سناریو صورت می‌گیرد که عمل خشک کردن آب‌های راکد به ترتیب ۱۰ درصد، ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۷۰ درصد، مقدار می‌گیرد. در طی ۴ سناریو بالا، پارامتر بهبودی را ۲۵ درصد و تعداد افراد آلوده در شروع مدل را ۵ درصد از ۵۰۱ نفر جمعیت انسانی موجود در منطقه در نظر می‌گیریم. مانند بخش‌های قبلی برای هر یک از سناریوهای بالا، مدل را ۱۰ بار اجرا کرده و

استفاده از توری‌های محافظ یکی از فاکتورهای پیشگیری در برابر گزش پشه‌های می‌باشد که از طریق سیاست‌هایی مثل آموزش و فرهنگ‌سازی می‌تواند در میان مردم منطقه رایج شود. در این جا برای بررسی تاثیر این پارامتر در شیوع بیماری، مدل را با مقادیر مختلف این پارامتر اجرا کرده و تعداد افراد بیمار و ایمن در گام‌های معین زمانی با هم مقایسه می‌شوند. ابتدا مدل را با ۱۰ درصد از عامل‌های انسانی که از توری‌های محافظ استفاده می‌کنند، اجرا می‌کنیم و سپس در سناریوهای بعدی این مقدار را به ۳۰، ۵۰ و ۷۰ افزایش می‌دهیم. در طی سناریوهای بالا، پارامتر بهبودی را ۲۵ درصد و تعداد افراد آلوده در شروع مدل را ۵ درصد از ۵۰۱ نفر جمعیت انسانی موجود در منطقه در نظر می‌گیریم. مانند بخش قبلی برای هر یک از سناریوهای بالا مدل را ۱۰ بار اجرا کرده و میانگین حاصل از نتایج برای ارزیابی در نظر گرفته شده است (جدول ۲). همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود مجموع تعداد افراد آلوده و ایمن با افزایش استفاده از توری‌های محافظ توسط عامل‌های انسانی، کاهش چشمگیری داشته است. این کاهش بطور میانگین بین

میانگین حاصل از نتایج برای ارزیابی در نظر گرفته شده است (جدول ۳). همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود با افزایش درصد خشک کردن آب های راکد موجود در منطقه مورد مطالعه، مجموع افراد ایمن و بیمار نیز کاهش می یابد که نشان دهنده کاهش شیوع و انتقال بیماری بعلت کاهش تعداد پشه ها می باشد. این کاهش بطور متوسط بین سناریو اول و دوم ۱۲ درصد، بین سناریو دوم و سوم ۸ درصد، و بین سناریو سوم و چهارم ۱۴ درصد می باشد.

سپس جهت ارزیابی تاثیر پارامتر بهبودی و بررسی میزان حساسیت مدل به آن، چهار سناریو در نظر گرفته شده است. در سناریو اول مقدار پارامتر بهبودی ۱۰ درصد، در سناریو دوم ۳۰ درصد، در سناریو سوم ۵۰ درصد و در

سناریو چهارم ۷۰ درصد در نظر گرفته شده است. در هر چهار سناریو بالا، ۵ درصد از ۵۰۱ نفر افراد منطقه یعنی ۲۵ نفر در آغاز مدل به بیماری مبتلا می باشند. در این بخش هم مانند بخش های قبلی برای هر یک از سناریوهای بالا، مدل را ۱۰ بار اجرا کرده و میانگین حاصل از نتایج برای ارزیابی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد با افزایش گام های زمانی و همچنین با افزایش مقدار پارامتر بهبودی از تعداد افراد آلوده کاسته می شود. این کاهش بطور متوسط بین سناریو اول و دوم ۳۳ درصد، بین سناریو دوم و سوم ۴۷ درصد و بین سناریو سوم و چهارم ۴۸ درصد می باشد. بنابراین مدل پیشنهادی به این پارامتر که یک پارامتر کنترلی در زمان شیوع بیماری می باشد، حساس می باشد.

جدول ۲- نتایج حاصل از اجرای مدل برای ارزیابی پارامتر استفاده از توری های محافظ

		بعد از ۲۵ گام زمانی	بعد از ۵۰ گام زمانی	بعد از ۷۵ گام زمانی	بعد از ۱۰۰ گام زمانی
اجرای مدل با ۱۰۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۳۳	۲۶	۲۱	۱۸
	تعداد افراد ایمن	۵۸	۹۶	۱۱۰	۱۵۵
اجرای مدل با ۸۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۲۹	۲۲	۱۸	۱۶
	تعداد افراد ایمن	۴۷	۷۷	۹۲	۱۲۶
اجرای مدل با ۶۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۲۶	۱۹	۱۶	۱۳
	تعداد افراد ایمن	۳۸	۶۱	۷۴	۹۱
اجرای مدل با ۴۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۲۲	۱۶	۱۳	۱۱
	تعداد افراد ایمن	۳۲	۴۳	۵۲	۵۷

جدول ۳- نتایج حاصل از اجرای مدل برای ارزیابی پارامتر خشک کردن آب های راکد

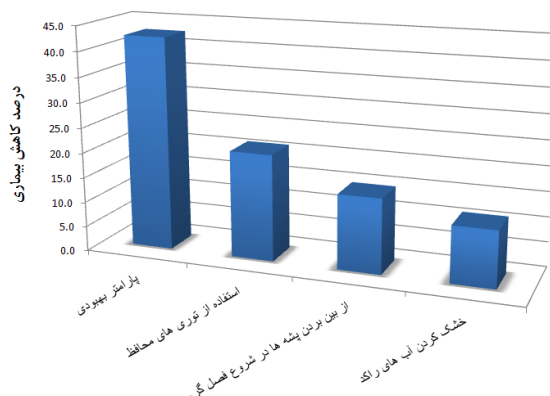
		بعد از ۲۵ گام زمانی	بعد از ۵۰ گام زمانی	بعد از ۷۵ گام زمانی	بعد از ۱۰۰ گام زمانی
اجرای مدل با ۱۰۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۱۷	۸	۷	۶
	تعداد افراد ایمن	۳۹	۶۴	۸۰	۹۱
اجرای مدل با ۸۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۱۲	۶	۵	۴
	تعداد افراد ایمن	۳۹	۵۹	۶۹	۷۹
اجرای مدل با ۶۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۱۰	۶	۳	۳
	تعداد افراد ایمن	۳۷	۵۶	۶۵	۷۳
اجرای مدل با ۴۰۰۰ پشه در آغاز	تعداد افراد آلوده	۵	۵	۴	۴
	تعداد افراد ایمن	۳۴	۴۶	۵۵	۶۷

۵-۲- ارزیابی

جهت ارزیابی عملکرد مدل طراحی شده لازم است که نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی بر روی تاثیر روش های مختلف کنترل بیماری ذکر شده در بخش های قبلی بر نتایج شبیه سازی صورت پذیرفت. همانطور که قبلاً گفته شد در این تحقیق جهت کنترل و پیشگیری از بیماری مالاریا در منطقه مطالعاتی سیاست-

های از بین بردن پشه ها در شروع فصل گرم، استفاده از توری های محافظ، خشک کردن آب های راکد و افزایش شرایط بهداشتی و درمانی شبیه سازی شد. البته مقایسه صورت گرفته در اینجا صرفاً مقایسه عددی بوده و عواملی همچون هزینه، امکان پذیر بودن اجرای هر یک از سیاست ها با توجه به شرایط منطقه و سرعت اجرای آنها لحاظ نشده است. در شکل ۵ میزان کاهش مالاریا حاصل از

روش های مختلف کنترل بیماری، با مقایسه بین مراحل مختلف اعمال این روش ها آورده شده است.



شکل ۵- نمودار میانگین کاهش مالاریا حاصل از اعمال سناریوهای مختلف کنترل بیماری

روش افزایش شرایط بهداشتی و درمانی (که از آن به عنوان پارامتر بهبودی در این تحقیق یاد شده است) و استفاده از توری های محافظ تا حدود زیادی توانسته است از شیوع و گسترش بیماری جلوگیری بعمل آورد. از این رو می توان نتیجه گرفت که موثرترین روش جهت پیشگیری و کنترل بیماری، کنترل های مربوط به شخص (جلوگیری از نیش پشه ها) و افزایش شرایط بهداشتی و درمانی می باشد. از سوی دیگر اعمال سیاست هایی مثل خشک کردن آب های راکد و از بین بردن پشه ها در شروع فصل گرم (با حشره کش ها و ...)، علی رغم تاثیر روی کاهش بیماری می تواند تاثیرات زیست محیطی منفی داشته باشد.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

هدف از این تحقیق توسعه و تست مدلی برای شبیه سازی انتشار مالاریا با استفاده از مدل سازی عامل مبنا می باشد. منطقه مورد مطالعه در تحقیق دهستان بندزرک شهرستان میناب بوده که از جمله مناطق مالاریا خیز ایران می باشد. در این تحقیق از میان فاکتورهای موثر در شیوع و انتشار مالاریا، فاکتورهای درجه حرارت، رطوبت، فاصله از آب های راکد، فاصله از پوشش گیاهی و تراکم جمعیت انسانی برای مدل سازی در نظر گرفته شده اند. از میانگین وزندار (وزن ها طبق نظر کارشناسان مالاریا در نظر گرفته شده اند) فاکتورهای بالا، رستر احتمال انتشار آلودگی بدست آمد. این رستر به عنوان محیط و اساس حرکت پشه های عامل و همچنین درصد احتمال انتقال

آلودگی بین عامل های انسانی و پشه ها (در صورت ایجاد تماس)، در نظر گرفته شده است. آنچه مسلم است انتشار مالاریا تنها وابسته به این پنج پارامتر نمی باشد و پارامترهای متعدد دیگری نیز در این رابطه دخیل هستند. هر چند در نظر گرفتن فاکتورهای بیشتر و به کار بردن داده های ورودی دقیق تر می تواند قابلیت اعتماد نتایج حاصل از مدل را بالا ببرد، اما بدست آوردن مدل دقیق انتشار بیماری مالاریا نیازمند یک تحقیق جامع می باشد که با توجه به زمان محدود این تحقیق میسر نبوده و خارج از توان و ظرفیت آن است. بنابراین در این تحقیق به جهت کمبود زمان و به لحاظ پرداختن به هسته اصلی مدل به در نظر گرفتن پنج پارامتر که داده های مربوط به آنها موجود بوده است، اکتفا شده است.

با تغییر در هر یک از پارامترهای موجود در مدل، نحوه انتشار بیماری و میزان ابتلا به بیماری در میان افراد، دچار تغییر می گردد. این امکان، محیط مناسبی را جهت آزمایش سناریوهای گوناگون و ارزیابی تاثیر هر پارامتر در پراکندگی بیماری و میزان ابتلا به بیماری فراهم می کند. از جمله موارد بررسی شده در این تحقیق بررسی تاثیر هر یک از فاکتورهای درجه حرارت، رطوبت، فاصله از آب های راکد و فاصله از پوشش گیاهی در نحوه انتشار بیماری در منطقه مورد مطالعاتی می باشد. همچنین در این تحقیق حساسیت مدل به اقدامات و سیاست های پیشگیری از بیماری مانند خشک کردن آب های راکد، از بین بردن پشه ها در آغاز فصل گرم و استفاده از توری های محافظ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در این مدل همچنین میزان تاثیر پارامتر بهبودی که بستگی به وضعیت اقتصادی خانوارهای منطقه و دسترسی آنها به مراکز بهداشتی و درمانی دارد مورد ارزیابی قرار گرفته و میزان حساسیت مدل نسبت به آن بررسی شده است. روش افزایش شرایط بهداشتی و درمانی (که از آن به عنوان پارامتر بهبودی در این تحقیق یاد شده است) و استفاده از توری های محافظ تا حدود زیادی توانسته است از شیوع و گسترش بیماری جلوگیری بعمل آورد. درست است که اقداماتی مانند خشک کردن آب های راکد و از بین بردن پشه ها در شروع فصل گرم تاثیر در کاهش شیوع بیماری دارند اما این اقدامات می تواند تاثیرات زیست محیطی منفی در پی داشته باشند. سیاست افزایش شرایط بهداشتی و درمانی نیز از جمله سیاست های کلان می باشد

که اجرای آن هزینه های زیادی بر دوش مدیران و برنامه ریزان می گذارد. از این رو می توان نتیجه گرفت که سیاست استفاده از توری های محافظ که یک اقدام کنترلی مربوط به اشخاص می باشد موثرترین روش جلوگیری و کاهش شیوع بیماری می باشد.

در مدل ارائه شده در این تحقیق عامل های انسان مربوط به هر روستا درون محدوده ای از اطراف آن روستا بصورت تصادفی پخش می شوند. بدیهی است که در واقعیت میزان تراکم افراد در نزدیکی های هر روستا بیشتر می باشد اما در این مدل بدلیل نزدیکی مراکز جمعیتی به یکدیگر و همچنین ساده سازی این مسئله در نظر گرفته نشده است. پیشنهاد می شود که در تحقیقات آتی که با مراکز جمعیتی دور از هم مواجه هستند، مسئله تراکم جمعیت بصورت تابعی از فاصله از مراکز جمعیتی مدل شود. اگر چه مدل سازی عامل مبنا بطور موثری پیشرفت بیماری اطراف هر فرد و تماس هر فرد با دیگر عامل ها را در یک سیستم اجتماعی دنبال می کند اما نیاز به اضافه کردن زیرساخت های فیزیکی مانند شبکه راهها و محیط -

های جغرافیایی واقعی برای ارزیابی تعاملات پیچیده بین افراد مستعد و آلوده وجود دارد. بنابراین پیشنهاد می شود که در تحقیقات آتی که مناطق وسیعی را با مراکز جمعیتی دور از هم در بردارند، شبکه راههای ارتباطی که یکی از فاکتورهای مهم در حمل و نقل و مهاجرت افراد بیمار و انتقال بیماری به مناطق دیگر می باشد، در مدل سازی گسترش بیماری در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر هنگامی که فواصل مراکز جمعیتی زیاد می شود دیگر حرکت پشه نیست که عامل انتقال است بلکه سفرهای انسان ها در طول جاده ها و از شهرها و روستاها به یکدیگر باعث انتقال بیماری می شود. همچنین در تحقیق حاضر تنها از برخی از ویژگی های عامل ها و مدل سازی عامل مبنا استفاده شده است. عامل های در نظر گرفته شده در این تحقیق واکنشی ساده می باشند، مثلاً می توان قوانین و رفتارهایی را برای عامل های پشه تعریف کرد که در صورت مواجهه با یکی از سیاست های کنترلی رفتار خود را تغییر دهند و احتمال زنده بودن خود را افزایش دهند و رفتار هدف گرایی را از خود نمایش دهند.

مراجع

- [1] Working group on emerging and re-emerging infectious diseases. 1995. Infectious disease: A global threat. Washington, DC: Committee on international science, Engineering, and Technology, National Science and Technology Council.
- [2] Susser M and Susser E. 1996. Choosing a future for epidemiology: Eras and paradigms. American Journal of Public Health, 86(5), pp: 668-673.
- [3] آذر مهر، م. ۱۳۸۷. برنامه ریزی کنترل بیماری ها با استفاده از تحلیل های مکانی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- [4] احمدیان ا. ۱۳۸۶. ارائه الگوریتم مناسب جهت تعیین مناطق با پتانسیل شیوع مالاریا با استفاده از تصاویر ماهواره ای. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- [5] عزیزی ک و همکاران. ۱۳۸۹. بررسی حساسیت پشه آنوفل استغنی ناقل مالاریا در استان هرمزگان، نسبت به پنج حشره کش شیمیایی. مجله پزشکی هرمزگان، سال چهاردهم، شماره چهارم
- [6] Kermack W.O, Mckendrick A.G, 1927. Proc. Roy. Soc. Edin.
- [7] Bailey N. 1997. The Simulation of Stochastic Epidemics in Two Dimension, Proc. Of the 5th Berkeley Symposium on Mathematics and Statistics, vol. 4, University of California.
- [8] Ahmed E. 1997. On modeling epidemics including incubation and variable susceptibility, Physica, 250 pp:130-202
- [9] Situngkir H. 2004. Epidemiology through Cellular Automata. Teck. Report, Bandung Fe Institute.
- [10] Ortigoza, G., Brauer, F., & Lorandi, A. (2019). Mosquito-borne diseases simulated by cellular automata: A review. International Journal of Mosquito Research, 6(6), 31e38. In press.
- [11] Ortigoza G., Brauer F., Neri I. (2020) , Modelling and Simulating Chikungunya Spread with An Unstructured Triangular Cellular Automata. Infectious Disease Modelling. 5. 10.1016/j.idm.2019.12.005.
- [12] Teweldemedhin E, Marwala T, Mueller C. 2010. Agent-base Modelling: A Case Study in HIV Epidemic. IEEE, Proceeding of the Fourth Internatinal Conference on Hybrid Intelligent Systems.

- [13] Linard C. 2009. Multi-agent modeling to understand impact of landscape change on vector-borne diseases in Europe. Available at: <http://www.eden-fp6project.net/>
- [14] Kim T, Hwang W, Zhang A. 2008. Multi-Agent Model Analysis of the Containment Strategy for Avian Influenza (AI) in South Korea. IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine. 335-338
- [15] Rateb F, Parvard B, BenSaoud N, Merelo J, Arenas M. 2010. Modelling Malaria With Multi-Agent Systems. ICSC, Fourth International ICSC Symposium on Engineering of Intelligent Systems (EIS 2004).
- [16] Linard C, Poncon N, Fontenille D, Lambin E.F. 2009. A Multi-agent simulation to assess the risk of malaria re-emergence in southern France. Ecological Modelling, 160-174.
- [17] Gharakhanlou, N.M., Hooshangi, N, Helbich, M. 2020. A Spatial Agent-Based Model to Assess the Spread of Malaria in Relation to Anti-Malaria Interventions in Southeast Iran. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 9(9), 549; <https://doi.org/10.3390/ijgi9090549>.
- [18] Macal C.M and North M.J. 2008. Agent-Based Modeling and Simulation: ABMS Examples. IEEE, Proceeding of the 2008 winter simulation conference.
- [19] North M.J and Macal C.M. 2006. Managing business complexity: discovering strategic solution with agent-based modeling and simulation. Oxford: Oxford University Press.
- [20] Ferber J. 1999. Multi-Agent Systems: an Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Reading, MA, Addison-Wesley
- [21] Benenson I and Torrens P.M. 2004. Geosimulation: Automata-Based Models of Urban Phenomena. Chichester: John Wiley & Sons.
- [22] Bonabeau E. 2001. Agent-based modeling: methods and techniques for simulation human systems. In Proc. National Academy of Sciences 99(3): 7280-7287
- [23] Mellouli S and Mineau G. 2003. Laying the foundations for an agent modeling methodology for fault tolerant multi-agent systems, in Fourth International Workshop Engineering Societies in the Agents World, Imperial College London, UK.
- [24] Weiss G.Ed. 1999. Multiagent Systems- A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, MIT Press, Cambridge, MA.
- [25] Sycara K, Decker K, Pannu A, Williamson M, Zeng D. 1996. Distributed Intelligent Agents. IEEE Expert December 1996. Vol 11, Issue 6, PP: 36-46.
- [26] Wrigley N, Holt T, Steel D, Trammer M. 1996. Analysing, Modelling and Resolving the ecological fallacy, In: Longley P, Batty M, ed. Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment, New York: John Wiley & Sons.
- [27] Franklin S and Graesser A.1996. Is it an Agent or just a program?: A Taxonomy for Autonomous Agents. In Proceedings of Third International Workshop on Agent Theories Architectures and Languages., Springer Verlag.
- [28] Terna P. 1998. Simulation tools for social scientists: building agent based models with SWARM. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 1 No.2 .
- [29] Ruetschi U.J and Timpf S. 2004. Schematic Geometry of Public Transport Spaces for Wayfinding. In: Raubal M, Sliwinski A and Kuhn W(Editors), Münsteraner GI-Tage. IfGIprints. Institut für Geoinformatik, Münster, Münster, Westphalia, Germany, pp: 191-203.
- [30] Russell S and Norvig P. 1995. Artificial Intelligence: a Modern Approach. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ