



محیط شبیه سازی NetLogo: ابزاری برای ایجاد مدل های عامل مبنای مکانی

محمد طبسی^{۱*}، علی اصغر آل شیخ^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری، گرایش سیستم های اطلاعات مکانی (GIS)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۲- استاد گروه سیستم های اطلاعات مکانی (GIS)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده:

شبیه سازی عامل مبنای در زمینه مدل سازی سیستم های متشکل از عامل های مستقل و تعامل پذیر، دارای رویکردی نوین است. این مدل ها با استفاده از شبیه سازی تعاملات بین افراد و بررسی رفتار سیستم تحت شرایط مختلف در طی گام های زمانی متفاوت، می توانند به عنوان ابزاری مفید برای مطالعه این تأثیرات عمل نمایند. از آنجایی که امروزه مسائل مکانی مانند گسترش بیماری ها، ترافیک، اثرات مخرب زیست محیطی و غیره به یکی از دغدغه های اصلی بشر تبدیل شده است، مدل های عامل مبنای با استفاده از سیستم های اطلاعات مکانی (GIS) می توانند به عنوان راه کاری نوین برای حل این گونه مشکلات باشند. لذا هدف این مطالعه، مروری بر محیط های شبیه سازی عامل مبنای، معرفی ابزار NetLogo به عنوان یکی از این محیط ها و ارائه دو مدل عامل مبنای مکانی با استفاده از این ابزار می باشد. در مدل اول، به قابلیت نمایش و کار با داده های مکانی در محیط NetLogo پرداخته و در مدل دوم، گسترش بیماری سالک در این ابزار پیاده سازی و تحلیل خواهد شد. سرانجام با توجه به مدل های بیان شده در محیط NetLogo و همچنین قابلیت بالای توسعه این نرم افزار، می توان نتیجه گرفت که این ابزار به کمک GIS می تواند برای حل مسائل مکانی مانند کشف گسترش بیماری مفید باشد. در نهایت برای تصمیم گیری در سطوح کلان مانند: حمل و نقل، محیط زیست، گسترش بیماری ها و غیره، می توان از این نوع شبیه سازی در این ابزار استفاده کرد.

واژه های کلیدی: مدل های عامل مبنای مکانی، شبیه سازی، NetLogo، GIS.

۱- مقدمه

شبیه‌سازی عامل‌مبنا به عنوان رویکردی جدید برای مدل‌سازی پدیده‌های مختلف، توجه بسیاری از محققین را در طول ده سال اخیر به خود جلب کرده است. با توجه به افزایش قابل توجه مقالات علمی، برگزاری کنفرانس‌های متعدد در زمینه مدل‌های عامل‌مبنا و وجود محیط‌مبنای متعدد عامل‌مبنا، این روش مدل‌سازی رشد چشمگیری داشته است. برخی معتقدند که این روش به عنوان یکی از شاخه‌های اصلی علم بشر نیز به‌شمار می‌رود که می‌تواند به عنوان روشی استنتاجی و استقرائی باعث کشف پدیده‌های طبیعی گردد [۱].

مدل‌های عامل‌مبنا قادر هستند تا تعاملات پیچیده‌ای که در سیستم‌های جمعیتی مختلف با مقیاس‌های متفاوت رخ می‌دهند را نمایش قرار دهند و باعث ایجاد روشی نوین برای حل مسائل و پدیده‌های طبیعی شوند [۲ و ۳]. این مدل‌ها نوعی شبیه‌سازی کامپیوتری هستند که پویایی سیستم‌ها را در سطوح فردی به نمایش می‌گذارند. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدل‌های عامل‌مبنا، در نظر گرفتن تعاملات میان افراد در یک محیط مکانی است. در تعریف عامل می‌توان گفت که عامل‌ها می‌توانند با یکدیگر و محیط خود تعامل داشته باشند و هریک از آن‌ها تحت تأثیر محیط‌شان و عامل‌های دیگر می‌توانند قرار بگیرند و برای رفتار خود به صورت مستقل تصمیم‌گیری کنند. از مزیت‌های مدل‌های عامل‌مبنا نسبت به مدل‌های مبتنی بر معادلات دیفرانسیل، وجود ناهمگونی در جمعیت‌ها و تعاملات بین افراد در این مدل‌ها است که باعث نزدیک‌تر شدن این مدل‌ها به واقعیت می‌شود. مدل‌های عامل‌مبنا بر خلاف مدل‌های دیفرانسیلی به عنوان روشی پایین به بالا بیان می‌شوند و برای حل یک مسئله، ابتدا از اجزای کوچک‌تر و ساده‌تر آن شروع می‌کنند و سپس یک سیستم پیچیده را تشکیل می‌دهند.

شبیه‌سازی عامل‌مبنا در کنار سیستم اطلاعات مکانی (GIS)^۱، کمک شایانی به حل مسائل مکانی از قبیل شیوع بیماری‌های همه‌گیر، ترافیک و غیره می‌نماید. در این مطالعه، محیط شبیه‌سازی NetLogo به عنوان ابزاری برای ایجاد مدل‌های عامل‌مبنای مکانی، بررسی خواهد شد. لذا هدف این مقاله، مروری بر محیط‌مبنای شبیه‌سازی عامل‌مبنا، معرفی ابزار NetLogo به عنوان یکی از این محیط‌مبنا و ارائه دو مدل عامل‌مبنای مکانی با استفاده از این ابزار است. در ادامه نیز به قسمت‌های زیر پرداخته خواهد شد: در بخش دوم، مروری بر ابزارهای شبیه‌سازی عامل‌مبنا خواهد شد. در بخش سوم، جزئیاتی از محیط شبیه‌سازی NetLogo به همراه قابلیت GIS^۱ آن بیان خواهند شد. در بخش چهارم مدل‌های مکانی شبیه‌سازی‌شده در محیط NetLogo ارائه خواهند شد. در بخش پنجم، دو مدل عامل‌مبنای مکانی در محیط NetLogo شبیه‌سازی خواهند شد، هدف از ارائه مدل اول، قابلیت نمایش و کار با داده‌های مکانی در این ابزار است و در مدل دوم برای درکی روشن‌تر از قابلیت‌های محیط شبیه‌سازی NetLogo، یک مدل عامل‌مبنای مکانی برای کشف گسترش بیماری سالک پیاده‌سازی و تحلیل خواهد شد. سرانجام در بخش آخر، نتایج و پیشنهادات برای کارهای آینده بیان خواهند شد.

۲- محیط‌مبنای عامل‌مبنا

انتخاب محیط پیاده‌سازی یک مدل عامل‌مبنا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به طور عمده دو محیط پیاده‌سازی را می‌توان در نظر گرفت. محیط اول، ابزاری GIS-Based است که امکان استفاده از توابع GIS را به عامل‌ها^۲ می‌دهد و در عین حال دارای امکانات نمایشی مناسب و آماده‌سازی داده‌های ورودی و همچنین تحلیل داده‌های خروجی به صورت یکپارچه است. Agent Analyst از این دست محیط‌مبنای پیاده‌سازی است که به صورت یک ابزار به محیط Arc GIS اضافه می‌شود و زبان برنامه‌نویسی آن Python است. محیط دوم Agent-Based است که اساساً محیطی برای توسعه مدل‌های عامل‌مبنا، چه مکانی و چه غیر مکانی است. در این محیط، مدل‌ها جامع‌تر و کامل‌تر

^۱ Geospatial Information System^۲ Agents

هستند و می‌توان خصوصیات مدل‌سازی عامل‌مبنا را در آن بهتر پیاده‌سازی کرد ولی ممکن است توابع پیشرفته GIS در این محیط موجود نباشد یا نیاز به برنامه‌نویسی پیچیده‌تری داشته باشد. NetLogo [۴] و RePast [۵] نمونه‌هایی از این دسته‌اند.

علاوه بر ابزارهای نام‌برده شده، محیط‌مبنای دیگری نیز برای مدل‌های عامل‌مبنا وجود دارد که میزان توسعه‌یافتگی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. از جمله آن‌ها که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند می‌توان به AgentSheets، AnyLogic [۶]، Ascape [۷]، Breve، Cormas، deX، ECHO، JADE، Madkit، MAGSY، MASON [۸]، MIMOSE، Ps-I، Quicksilver، Repast، SimAgent، SimPack، StarLogo، Sugarscape، Swarm [۹]، TeamBots و VSEit اشاره داشت. برای انتخاب محیط پیاده‌سازی، محققان معیارهای متفاوتی را بیان کرده‌اند [۱۰]، [۱۱] و [۱۲]. این معیارها شامل: قابلیت توسعه مدل، سطح زبان برنامه‌نویسی، واسطه گرافیکی (GUI)^۱ مناسب، توانایی ادغام این محیط‌مبنا با داده‌های مکانی (برداری و رستری)، در نظر گرفتن ارتباطات توپولوژیکی^۲، سرعت اجرای برنامه و همچنین امکان فراگیری سریع آن می‌باشد. به عنوان مثال: معیار سطح زبان برنامه‌نویسی برای دو محیط NetLogo و Swarm متفاوت است و برنامه‌نویسی در محیط NetLogo آسان‌تر می‌باشد و حتی کاربران با دانش اندک برنامه‌نویسی، راحت‌تر می‌توانند آن را فرا گیرند.

NetLogo در اصل یک نرم‌افزار با زبان برنامه‌نویسی مخصوص به خود است؛ به سرعت قابل یادگیری بوده و در زمینه ایجاد مدل‌های عامل‌مبنا، بیشترین استفاده را توسط محققین داشته است. علاوه بر این، نرم‌افزاری متن‌باز^۳ بوده و دسترسی به آن رایگان است. محیط این زبان برنامه‌نویسی برای مدل‌سازی پدیده‌های طبیعی و اجتماعی بسیار مناسب است، به عبارتی دیگر برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده که در حال تغییر با زمان هستند کاربرد دارد [۳]. NetLogo به محققان این امکان را می‌دهد که پدیده‌های متفاوت را شبیه‌سازی و رفتار آن‌ها را تحت شرایط متفاوت تحلیل نمایند. پیاده‌سازی مدل‌های عامل‌مبنا در این محیط، ساده است، به‌طوری‌که در مباحث بسیاری مانند؛ زیست‌شناسی، پزشکی، فیزیک، شیمی، ریاضیات، علوم کامپیوتر، اقتصاد و روان‌شناسی به‌کار گرفته شده است. در محیط NetLogo با توجه به سادگی زبان آن، امکان توسعه اولیه مدل به سهولت و با سرعت فراهم است.

از دیگر محیط‌مبنای عامل‌مبنا می‌توان به RePast اشاره داشت که یک رابط کاربردی برنامه‌نویسی (API)^۴ به زبان جاوا^۵ است که پیچیدگی بیشتری را نسبت به محیط NetLogo دارد. علاوه بر RePast، محیط‌مبنای دیگری به نام Swarm و MASON نیز وجود دارند که بعد از NetLogo دارای بیشترین کاربرد در مدل‌های عامل‌مبنا می‌باشند. AnyLogic نیز از دیگر محیط‌مبنای تجاری عامل‌مبنا می‌باشد. همچنین از محیط‌مبنای عامل‌مبنای دیگری که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند، می‌توان به MASS و SeSam اشاره کرد [۱۲].

۳- بررسی محیط NetLogo و قابلیت ادغام آن با GIS

۳-۱- NetLogo چیست؟

NetLogo یک محیط مدل‌سازی قابل برنامه‌نویسی برای شبیه‌سازی پدیده‌های طبیعی و اجتماعی است. این نرم‌افزار توسط Wilensky در سال ۱۹۹۹ نوشته شده است و توسعه آن به صورت مداوم در مرکز ارتباط آموزش و مدل‌سازی کامپیوتری (CCLC)^۶ ادامه دارد. این محیط به طور خاص برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده که در طول زمان رشد و توسعه می‌یابند، بسیار مناسب است. مدل‌سازان می‌توانند در آن عامل‌هایی مستقل و تعامل‌پذیر را تعریف کنند.

^۱ Graphical User Interface

^۲ Topological

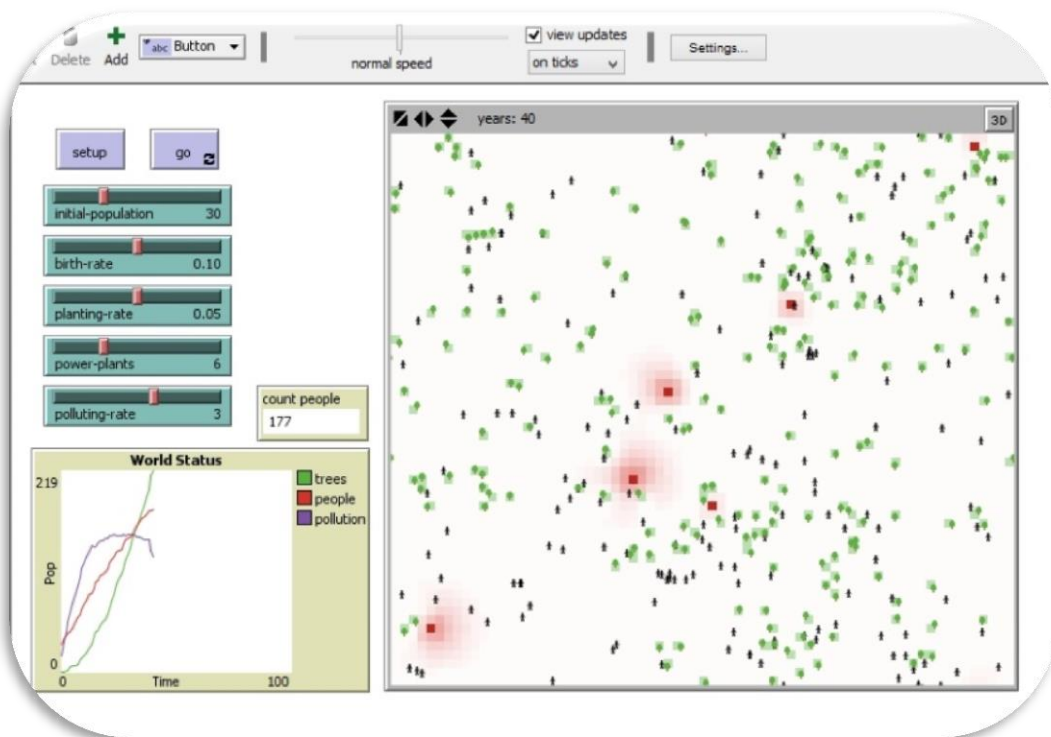
^۳ Open source

^۴ Application Programming Interface

^۵ Java

^۶ the Center for Connected Learning and Computer-based modeling

بدین ترتیب کشف ارتباط بین رفتار افراد در سطح خرد و الگوهای سطح کلان که از تعامل آن‌ها پدیدار می‌شود، ممکن می‌گردد. علاوه بر این، به کاربران این امکان را می‌دهد تا رفتار مدل‌ها را تحت شرایط مختلف بررسی کنند. این نرم‌افزار برای دانشجویان و اساتید به اندازه کافی ساده بوده و در عین حال به قدری پیشرفته است که به عنوان ابزاری قدرتمند برای پژوهشگران در بسیاری از زمینه‌ها به کار می‌رود. علاوه بر این، این محیط دارای آموزش‌ها، مستندات و مخزنی از مدل‌ها است که مجموعه بزرگی از شبیه‌سازی‌های از پیش نوشته شده را در بر می‌گیرد که می‌توان از آن‌ها برای توسعه مدل‌های خود بهره گرفت. این مسائل باعث شد تا در این مطالعه، این محیط مدل‌سازی برای بررسی انتخاب شود. شکل (۱) نمایی از محیط مدل‌سازی NetLogo را نمایش می‌دهد.



شکل ۱: نمایی از محیط مدل‌سازی NetLogo.

ویژگی‌های این نرم‌افزار را می‌توان در سه دسته بررسی کرد که شامل موارد زیر است:

سیستم عامل^۱: بر روی ماشین مجازی جاوا اجرا (JVM)^۲ می‌شود و در اکثر سیستم عامل‌ها (مکینتاش^۳، ویندوز^۴، لینوکس^۵ و غیره) کار می‌کند.

زبان: کاملاً قابل برنامه‌ریزی، ساختاری ساده، دارا بودن مدل‌های از پیش تعریف شده، فراهم بودن توسعه مدل‌های آن و همچنین وجود افزونه‌های مختلف در آن از جمله مهم‌ترین عوامل انتخاب این زبان برنامه‌نویسی برای ایجاد مدل‌های عامل مبنا است.

^۱ Operating System

^۲ Java Virtual Machine

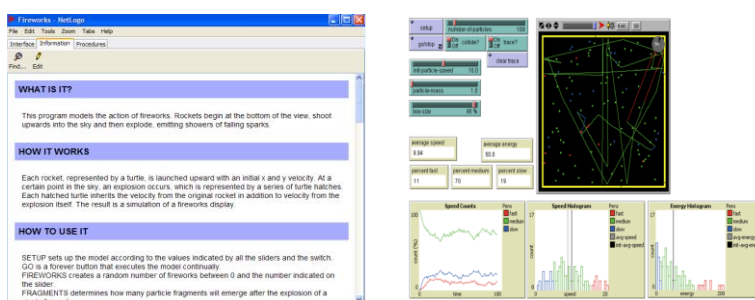
^۳ Macintosh

^۴ Windows

^۵ Linux

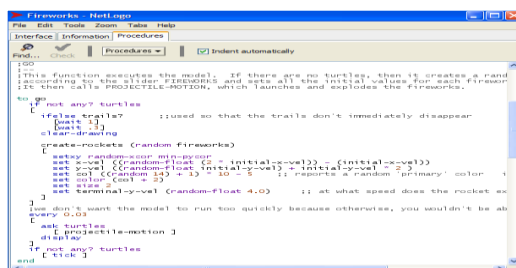
محیط: امکان مشاهده مدل به صورت دو و سه بعدی، وجود اشکال قابل چرخش، خط فرمان هوشمند، دارا بودن اهرم سرعت که امکان کنترل سرعت مدل و مشاهده خروجی را با دقت بیشتر می‌دهد و همچنین سیستم رسم نمودار و هیستوگرام^۱ از قابلیت‌های محیط این نرم‌افزار است.

محیط نرم‌افزار NetLogo دارای سه قسمت اصلی است: در بخش اول که مربوط به منوی Interface است، شکل کلی مدل مشاهده می‌شود و این بخش شامل کنترل‌کننده‌های مدل از جمله: کلیدها، لغزنده‌ها، سوئیچ‌ها، نمودارها، نمایشگرها و غیره است. بخش دوم شامل اطلاعاتی راجع به مدل، چگونگی کارایی آن و همچنین نحوه استفاده از مدل است که به صورت منوی Information معرفی می‌شود. در بخش سوم که مربوط به منوی Procedure است، کد مربوط به برنامه‌نویسی مدل در آن نوشته می‌شود و متناسب با طراحی مدل، این کد را می‌توان تغییر داد. در شکل (۲) سه قسمت اصلی محیط NetLogo آورده شده است.



(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۲: بخش‌های اصلی محیط NetLogo، (الف) Interface، (ب) Information و (ج) Procedure.

۳-۲- GIS در محیط NetLogo

یکی از قابلیت‌های این نرم‌افزار، امکان تعریف عامل‌هایی مستقل در یک محیط جغرافیایی است که امکان توسعه مدل‌های عامل‌مبنای مکانی را فراهم می‌کند. علاوه بر این وجود ناهمگونی در داده‌های مکانی، یکی از عوامل تأثیرگذار بر پویایی سیستم‌های چندعامله است؛ این مسائل باعث می‌شود تا وجود افزونه GIS^۲ در این نرم‌افزار بیش از پیش ضروری به نظر برسد. داده‌های مکانی رستری و برداری به ترتیب با فرمت asc. یا grd. و shp. در این محیط فراخوانی می‌شوند؛ علاوه امکان تعریف سیستم مختصات برای این داده‌ها نیز در نرم‌افزار فراهم است. در نتیجه وجود مجموعه‌ای از توابع برای کار با داده‌های مکانی در این محیط، امری مهم است. برای کسب اطلاعات بیشتر از این توابع

^۱ Histogram

^۲ GIS extension

می‌توان به کتابخانه‌هایی از افزونه GIS در این نرم‌افزار مراجعه کرد [۱۳]. در جدول (۱) نمونه‌ای از این توابع آورده شده‌اند.

جدول ۱: نمونه‌ای از توابع GIS در محیط NetLogo

نوع دستور	نام تابع	توضیح
Coordinate System Primitives	set-world-envelope	نگاشت فضای داده‌های GIS به فضای NetLogo با مساوی در نظر گرفتن مقیاس در جهات افقی و عمودی
	load-coordinate-system	فراخوانی سیستم مختصات داده‌های GIS در محیط NetLogo
Dataset Primitives	load-dataset	فراخوانی داده‌های GIS در محیط NetLogo
Vector Dataset Primitives	feature-list-of	گزارش لیستی از داده‌های فراخوانی شده
	intersects?	بررسی تقاطع یا عدم تقاطع داده‌های برداری که می‌توانند به عنوان عامل یا محیط نیز در نظر گرفته شوند.
Raster Dataset Primitives	resample	ایجاد رستری جدید با طول و عرضی مشخص
	apply-raster	وارد کردن مقادیر پیکسل‌های داده رستری به پیکسل‌های نظیر در محیط NetLogo

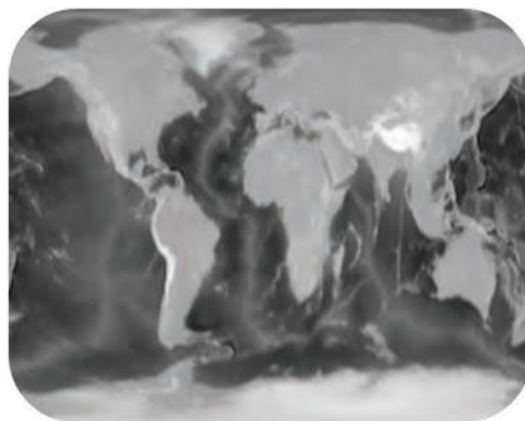
۴- مروری بر مدل‌های شبیه‌سازی شده در محیط NetLogo

از آنجایی که یکی از اهداف این مطالعه، رسیدن به درکی روشن‌تر از قابلیت‌های NetLogo در کار با داده‌های مکانی برای ایجاد مدل‌های عامل‌مبنای مکانی می‌باشد؛ ابتدا در این بخش کاربردهای متعدد آن در زمینه طراحی مدل‌های عامل‌مبنای مکانی ارائه می‌شود و در بخش بعدی، طراحی و پیاده‌سازی دو مدل عامل‌مبنای مکانی بررسی خواهند شد.

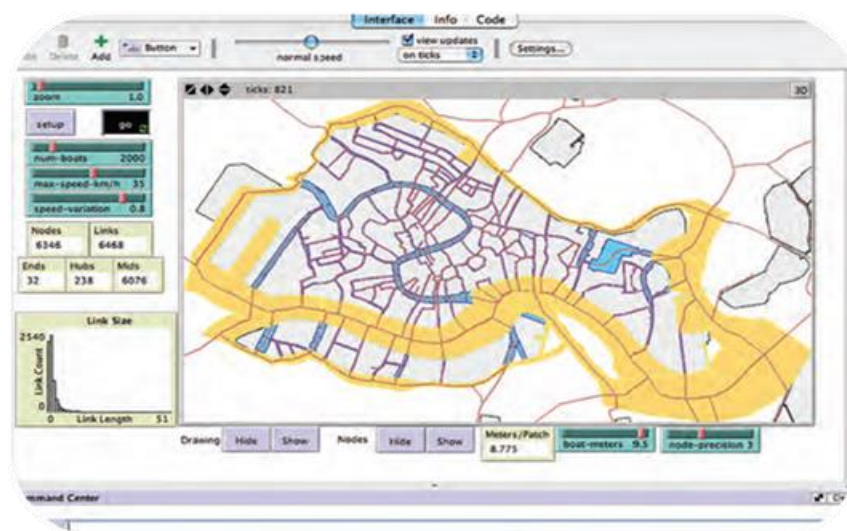
Torrens و Nara در سال ۲۰۰۷ برای آزمون ایده‌ها و فرضیات مربوط به پویایی توسعه شهری، مدلی عامل‌مبنا را در محیط NetLogo طراحی نمودند، آن‌ها نشان دادند که مدل‌شان برای نمایش رفتار انسان‌ها در سیستم‌های پیچیده شهری و آزمایشات مربوط به مطالعات توسعه شهری مناسب است [۱۴]. Fontaine و Rounsevell در سال ۲۰۰۹ برای مدل‌سازی تقاضای مسکن در یک منطقه جغرافیایی، چارچوبی عامل‌مبنا را با استفاده از ابزار NetLogo معرفی نمودند. نتایج آن‌ها دال بر وجود الگوهای ناهمگون مکانی در توسعه بی‌رویه شهری بود؛ به طوری که برخی مناطق نسبت به دیگر نواحی دارای تقاضای بیشتری برای مسکن بودند؛ به عنوان مثال: منطقه Brundall به علت نزدیکی به شهر مرکزی Norwich، پارک ملی و رودخانه، دارای تقاضای بیشتری برای مسکن بود که منجر به بالا رفتن توسعه شهری و افزایش خطر آلودگی‌های زیست‌محیطی و خسارات ناشی از سیل در این منطقه می‌شد [۱۵]. در سال ۲۰۰۶ Graham و Steiner رشد و توسعه شهرنشینی را با مدلی عامل‌مبنا در محیط NetLogo شبیه‌سازی نمودند [۱۶]. Axtell و همکاران در سال ۲۰۰۲ رشد و کاهش جمعیت را با استفاده از یک سیستم چندعامله در شمال شرقی ایالت Arizona، به کمک محیط NetLogo مدل‌سازی نمودند [۱۷]. Janssen در سال ۲۰۰۹ با استفاده از همین ابزار، مدل عامل‌مبنای پویایی جمعیت را در ایالت Arizona تجزیه و تحلیل نمود [۱۸]. در سال ۲۰۱۴ Salze و همکاران برای کشف تأثیر آگاهی افراد و توزیع مکانی آن‌ها روی نرخ زنده ماندن‌شان در هنگام وقوع یک انفجار صنعتی، مدلی عامل‌مبنا را در نرم‌افزار NetLogo طراحی نمودند. شبیه‌سازی آنان نشان داد که تعداد اولیه افراد در شروع مدل‌سازی و نحوه پیکربندی مکانی محیط، تأثیر بسزایی روی نرخ زنده ماندن افراد می‌گذارد [۱۹]. در شکل (۳) نمونه‌ای از مدل‌های عامل‌مبنا با استفاده از داده‌های مکانی در محیط NetLogo نشان داده شده است.



(ب)



(الف)



(ج)

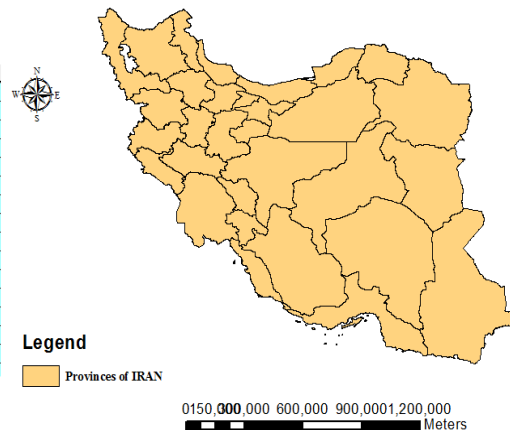
شکل ۳: نمونه‌ای از مدل‌های عامل‌مبنا با استفاده از داده‌های مکانی در محیط NetLogo: الف) مدل تغییرات آب‌وهوا [۲۰]، ب) مدل ترافیک در شهر Santa Fe [۲۱] و ج) مدل ترافیک قایق‌ها در شهر Venice [۲۲].

۵- طراحی و پیاده‌سازی مدل‌های عامل‌مبنای مکانی در محیط NetLogo

۵-۱- مدل تراکم جمعیت

هدف از طراحی این مدل، ارائه قابلیت NetLogo در نمایش و کار با داده‌های مکانی است؛ لذا برای بررسی این توانایی، مدل تراکم جمعیت استان‌های کشور ایران در این محیط نشان داده خواهد شد. داده‌های مورد استفاده در این مدل شامل: لایه‌های مکانی مربوط به تقسیمات سیاسی استان‌های ایران در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ به همراه مساحت هر استان می‌باشند که از سازمان نقشه‌برداری کشور اخذ شده‌اند و اطلاعات آماری مربوط به میزان جمعیت هر استان است که حاصل سرشماری سال ۱۳۹۰ بوده و از مرکز آمار ایران بدست آمده‌اند. شکل (۴) نمایی از داده‌های مورد نیاز برای مدل تراکم جمعیت در نرم‌افزار ArcGIS نشان داده شده است.

FID	Shape *	OBJECTID	OSTAN	Population	Area
0	Polygon	1	مرکزی	1413959	29126.56405
1	Polygon	2	تهران	12183391	13682.413294
2	Polygon	3	آذربایجان غربی	3080576	37411.390552
3	Polygon	4	بوشهر	1011381	128284.859208
4	Polygon	5	گیلان و بوشهر	658629	15504.073373
5	Polygon	6	کردستان	1493645	29136.547364
6	Polygon	7	لرستان	1754243	28293.987659
7	Polygon	8	زنجان	1015734	21773.285883
8	Polygon	9	مازندران	3073943	23841.640099
9	Polygon	10	قزوین	1201565	15567.302716
10	Polygon	11	قم	1151672	11528.26214
11	Polygon	12	سمنان	631218	97490.810139
12	Polygon	13	هرمزگان	1578183	70697.282284
13	Polygon	14	ایلام	557599	20132.643912
14	Polygon	15	اصفهان	4879312	107017.645703
15	Polygon	16	کرمان	2938988	180725.573991

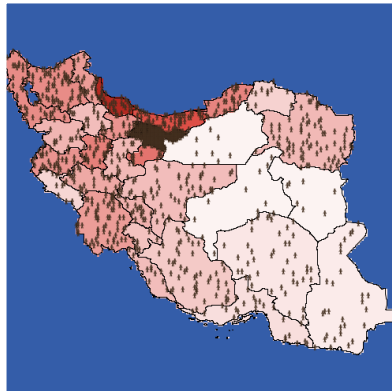


(ب)

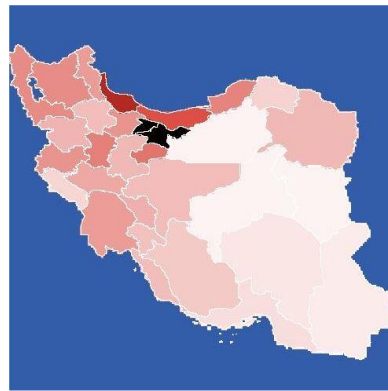
(الف)

شکل ۴: داده‌های مورد نیاز برای مدل تراکم جمعیت: (الف) لایه‌های مکانی تقسیمات سیاسی استان‌های ایران، (ب) اطلاعات آماری مربوط به جمعیت هر استان.

برای نمایش میزان جمعیت نسبت به مساحت هر استان در محیط NetLogo، از دو روش استفاده شد. در روش اول پس از فراخوانی داده‌های مورد نیاز در این ابزار، تراکم جمعیت هر استان بر اساس شدت رنگ نشان داده می‌شود؛ به صورتی که استان‌های با تراکم جمعیتی بیشتر، پررنگ‌تر به نظر می‌رسند (شکل (۵)، قسمت الف). در روش دوم از نماد شخص برای نمایش تراکم استفاده شد؛ بدین صورت که هر فرد نماینده حدوداً ۷۶۰۰۰ نفر جمعیت می‌باشد، لذا هر چقدر تعداد افراد داخل هر استان بیشتر باشد، تراکم جمعیتی آن نیز بیشتر خواهد بود (شکل (۵)، قسمت ب).



(ب)



(الف)

شکل ۵: نمایش تراکم جمعیت در محیط NetLogo: (الف) تراکم جمعیت با استفاده از شدت رنگ، (ب) تراکم جمعیت به کمک نماد شخص.

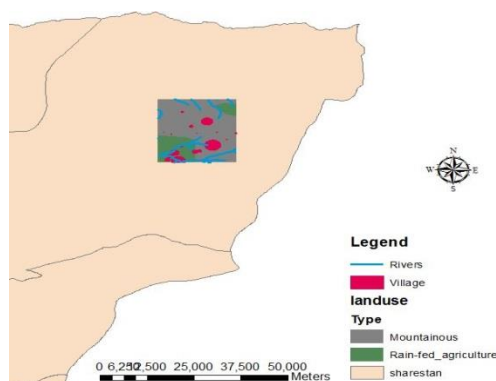
۵-۲- مدل عامل‌مبنای مکانی گسترش بیماری سالک

به منظور رسیدن به درکی روشن‌تر از قابلیت‌های محیط شبیه‌سازی NetLogo در کار با داده‌های مکانی و ایجاد مدل‌های عامل‌مبنای مکانی، در این نرم‌افزار یک روش اپیدمیولوژیکی^۱ مکانی طراحی و پیاده‌سازی شد که در آن با استفاده از روشی عامل‌مبنای گسترش بیماری سالک تحلیل و ارزیابی شد. در این مقاله سعی می‌شود به خلاصه‌ای از کار انجام‌شده و نتایج آن پرداخته شود؛ بنابراین ابتدا منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز معرفی می‌شوند، سپس قسمتی از نتایج به‌دست آمده تحلیل خواهند شد.

¹ Epidemiological

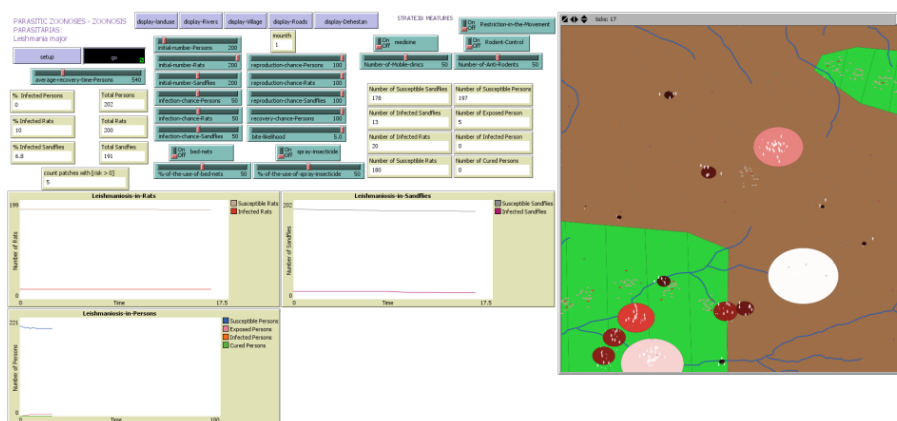
۵-۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان گلستان در کشور ایران مدتی طولانی است که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق آندمیک سالک نوع روستایی شناخته شده است. شهرستان مراوه‌تپه در شمال شرق این استان یکی از کانون‌های اصلی این بیماری شناخته می‌شود. بر این اساس، جوندۀ رومبومیس اپیموس به عنوان میزبان اصلی و همچنین پشه خاکی از جنس فلوپوتوموس پاپاتاسی رایج‌ترین ناقل برای این بیماری در استان گلستان می‌باشند. با توجه به این که مناطق کشاورزی و رودخانه‌ها به عنوان زیستگاه‌های اصلی این جوندگان و همچنین ناقلین این بیماری در این استان شناخته شده است، از این لایه‌ها به همراه داده‌های آماری مربوط به جمعیت هر روستا استفاده شد. این مدل در منطقه‌ای از شهرستان مراوه‌تپه به ابعاد ۲۱km در ۲۱km پیاده‌سازی شد. در شکل (۶)، نمایی از داده‌های مورد استفاده آورده شده است.



شکل ۶: نمایی از داده‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی گسترش بیماری سالک در منطقه‌ای از شهرستان مراوه‌تپه به ابعاد ۲۱km در ۲۱km.

در شکل (۷) نمایی از پیاده‌سازی مدل عامل‌مبنای مکانی گسترش بیماری سالک در محیط شبیه‌سازی NetLogo آورده شده است.

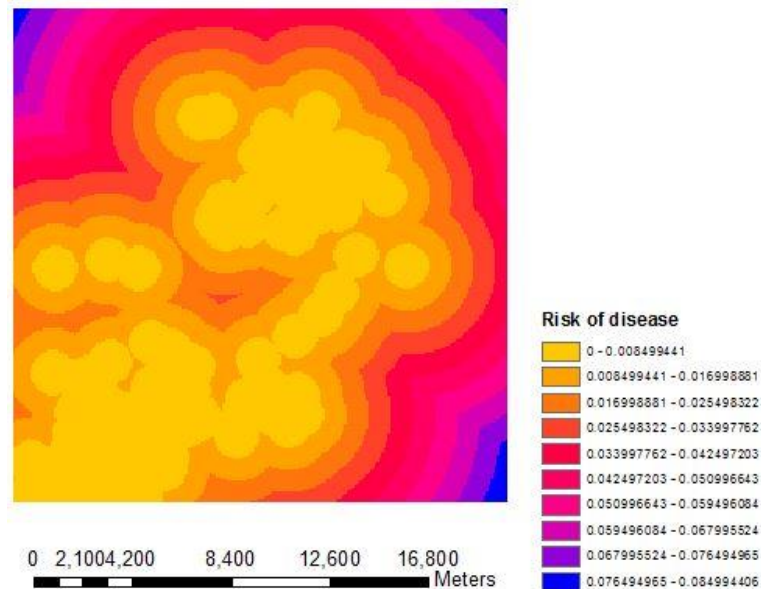


شکل ۷: نمایی از پیاده‌سازی مدل عامل‌مبنای مکانی گسترش بیماری سالک در محیط شبیه‌سازی NetLogo.

۵-۲-۲- نتایج

یکی از نتایج حاصل از این مدل، کشف الگوی مکانی بیماری در منطقه مورد مطالعه بود که نشان داد مزارع کشاورزی، منشأ اصلی این بیماری بوده و همچنین مراکز جمعیتی اطراف رودخانه‌ها، دارای پتانسیل بالقوه‌ای در جهت تکثیر میزبان‌ها و ناقل‌های این بیماری می‌باشند. در شکل (۸) نقشه حساسیت این بیماری نشان داده شده است، این نقشه نرخ گزش انسان‌ها را توسط پشه‌های خاکی در منطقه مورد مطالعه نمایش می‌دهد. این خروجی‌ها نشان داد که

۷۱ درصد مناطق آلوده با نواحی کشاورزی همبستگی مکانی دارند؛ بنابراین برای پیش‌گیری از این بیماری می‌توان راهکارهای مناسبی برای کاهش میزان جوندگان در مناطق کشاورزی ارائه داد که می‌تواند دستور کار برنامه‌ریزان و مدیران مسائل بهداشتی قرار گیرد.



شکل ۸: نقشه حساسیت بیماری سالک در منطقه مورد مطالعه.

۶- نتیجه‌گیری و بحث

شبیه‌سازی عامل‌مبنا می‌تواند به‌عنوان روشی نوین برای مدل‌سازی سیستم‌هایی که شامل عامل‌های مستقل و تعامل‌پذیر است، معرفی شود. این مدل‌ها می‌توانند در محیط‌مبنای عامل‌مبنای بسیاری مورد استفاده قرار بگیرند که در این مطالعه فهرستی از این محیط‌مبنا معرفی و همچنین معیارهای انتخاب یک محیط شبیه‌سازی عامل‌مبنا نیز بررسی شد. نرم‌افزار NetLogo به عنوان یکی از پرکاربردترین ابزارهای شبیه‌سازی عامل‌مبنا می‌باشد که در صورت ادغام آن با سیستم اطلاعات مکانی، می‌توان در آن مدل‌های عامل‌مبنای مکانی را طراحی کرد و توسعه داد. در این مطالعه به علت تعدد قابلیت‌ها در کتابخانه NetLogo و همچنین امکان فراگیری سریع آن، از این محیط برای بررسی و ایجاد مدل‌های عامل‌مبنای مکانی استفاده شد؛ بنابراین با توجه به هدف این مقاله، ابتدا به مروری بر محیط‌مبنای شبیه‌سازی عامل‌مبنا پرداخته شد، سپس نرم‌افزار NetLogo به عنوان یکی از این محیط‌مبنا و همچنین قابلیت ادغام آن با سیستم‌های اطلاعات مکانی بررسی و در نهایت دو مدل عامل‌مبنای مکانی با استفاده از این ابزار پیاده‌سازی شد که هدف از ارائه مدل اول، قابلیت نمایش و کار با داده‌های مکانی در این ابزار بود و در مدل دوم برای درکی روشن‌تر از قابلیت‌های محیط شبیه‌سازی NetLogo، یک مدل عامل‌مبنای مکانی برای کشف گسترش بیماری سالک پیاده‌سازی و برخی از نتایج آن ارائه شد. سرانجام در پایان این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که این ابزار به کمک GIS می‌تواند برای حل مسائل مکانی مانند کشف گسترش بیماری در یک محیط جغرافیایی مفید باشد؛ لذا برای تصمیم‌گیری در سطوح کلان مانند حمل‌ونقل، محیط‌زیست، گسترش بیماری‌ها و غیره، می‌توان از این نوع شبیه‌سازی در این ابزار استفاده کرد.

در پژوهش‌های آینده نیز می‌توان امکانات بیشتری از نرم‌افزار NetLogo را معرفی و بررسی کرد. به‌عنوان مثال برای گرفتن خروجی بهتر از شبیه‌سازی و امکان تحلیل‌های مکانی بیشتر در این نرم‌افزار، می‌توان از اکستنشن R در این محیط استفاده نمود. در صورت استفاده از این قابلیت و همچنین ادغام آن با GIS، می‌توان مدل‌های انعطاف‌پذیرتری را برای شبیه‌سازی‌های مکانی طراحی کرد و توسعه داد.

مراجع

- [1] R. Axelrod, "Advancing the art of simulation in the social sciences", in *Simulating social phenomena*. R. Conte, R. Hegselmann, and P. Terna, Eds., Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997, 21-40.
- [2] D. C. Parker, S. M. Manson, M. A. Janssen, M. J. Hoffmann, and P. Deadman, "Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review", *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 93(2), pp. 314-337, 2003.
- [3] S. M. Manson, S. Sun, and D. Bonsal, "Agent based modeling and complexity", in *Agent-based models of geographical systems*. A. J. Heppenstall, A. T. Crooks, L. M. See, and M. Batty, Eds., Berlin, Germany: Springer Science + Business Media, 2012, pp. 125-139.
- [4] U. Wilensky, "NetLogo", 1999, [online], NetLogo: Center for connected learning and computer-based modeling, Northwestern University: Evanston, IL USA, Available from: <https://ccl.northwestern.edu/>.
- [5] N. Collier , T. Howe , and M. North , "Onward and upward: The transition to Repast 2.0", presented at the First Annual North American Association for Computational Social and Organizational Science Conference, Pittsburgh, PA, 2003.
- [6] AnyLogic, 2006, [online], Available from: <http://www.xjtek.com/>.
- [7] M. Parker, 2000, Ascape (computer software). Brookings Institution, Washington, DC.
- [8] S. Luke, C. Cioffi-Revilla , et al, "MASON: A multiagent simulation environment", *Simulation* , Vol. 81(7), pp. 517-527, 2004.
- [9] N. Minar, B. Burkhart, C. Langton, and M. Askenazi, "The swarm simulation system: A toolkit for building multi-agent simulations", *Santa Fe Working Papers*, pp. 1-12, 1996.
- [10] R. Najlis, M. A. Janssen, and D. C. Parker, "Software Tools and Communication Issues", presented at the Special Workshop on Land-Use/Land-Cover Change, California, 2001.
- [11] R. Tobias, and C. Hofmann, "Evaluation of free Java-libraries for social-scientific agent based simulation", *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 7(1), 2004.
- [12] D. A. Robertson, "Agent-Based Modelling Toolkits: Netlogo, Repast, and Swarm", *Academy of Management Learning and Education*, Vol. 4(4), pp. 525-527, 2005.
- [13] <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/gis.html>.
- [14] P. M. Torrens, and A. Nara, "Modeling gentrification dynamics: A hybrid approach", *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 31(3), pp. 337-361, 2007.
- [15] C. M. Fontaine, and M. D. Rounsevell, "An agent-based approach to model future residential pressure on a regional landscape", *Landscape ecology*, Vol. 24(9), pp. 1237-1254, 2009.
- [16] S. Graham, and J. Steiner 2007, "TravellerSim: Growing Settlement Structures and Territories with Agent-Based Modeling", presented at the Digital Discovery: Exploring New Frontiers in Human Heritage, Fargo, United States, 2006.
- [17] R. Axtell, J. M. Epstein, J. S. Dean, G. J. Gumerman, A. C. Swedlund, J. Harburger, S. Chakravarty, R. Hammond, J. Parker, and M. Parker, "Population growth and collapse in a multiagent model of the Kayenta Anasazi in Long House Valley", presented at the National Academy of Sciences of the United States of America, USA, 2002.
- [18] M. A. Janssen, "Understanding Artificial Anasazi", *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 12(4), 2009.
- [19] P. Salze, E. Beck, J. Douvinet, M. Amalric, E. Bonnet, E. Daudé, and D. Sheeren, "TOXI-CITY: an agent-based model for exploring the effects of risk awareness and spatial configuration on the survival rate in the case of industrial accidents" *Cybergeog: European Journal of Geography*, 2014.
- [20] M. Berland, and U. Wilensky, "Constructionist collaborative engineering: Results from an implementation of PVBOT", presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, CA, 2006.
- [21] O. Densmore, S. Guerin, S. McKenna, and D. Jung, 2004, "NetLogo Cruising Model", Available from: <http://www.gisagents.org/2006/02/car-cruising-model-gis-example.html>.
- [22] O. Densmore, and S. Guerin, 2007, "NetLogo Venice model", Available from: <http://www.gisagents.org/2010/07/netlogo-gis-examples-from-backspacesnet.html>.