

بررسی اثرات انتشار بیماری مسری و ایمن‌سازی جمعیت بر رفاه اجتماعی با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر عامل

Investigating the Effects of the Spread of Contagious Disease and Immunization of Population on Social Welfare Using Agent Based Modeling

**مقدمه:** صاحب‌نظران بر این باورند که انتشار بیماری‌های مسری و ایمن‌سازی جمعیت تأثیرات بسیار زیادی در سلامت و اقتصاد جوامع دارد و واکنش‌های پیشگیرانه است. هدف از مطالعه بررسی و تحلیل اثرات انتشار بیماری مسری و ایمن‌سازی جمعیت بر رفاه اجتماعی با رویکرد محاسباتی مدل‌سازی مبتنی بر عامل بود. در پژوهش سعی شد تا انتشار بیماری مسری و ایمن‌سازی در جامعه‌ای از عوامل شبيه‌سازی شود و اثرات آنها روی برخی از شاخص‌های رفاهی نظیر ضریب جینی، میانگین ثروت و میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی عاملها مورد بررسی قرار گیرد.

**روش:** روش مدنظر در تحقیق، مدل‌سازی و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل همراه با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و ابزار مورد استفاده نرم‌افزار *NetLogo* بود. بنابراین مدلی گسترش و توسعه یافت و جامعه یکبار در شرایط عدم وجود عامل بیمار و آلودگی در محیط شبیه‌سازی شد. عوامل با توجه به سطح دید و یا میدان حرکتی که داشتند شروع به جمع‌آوری قند از محیط می‌کردند. شبیه‌سازی بعدی، جامعه‌ای شامل عوامل بیمار و یا آلوده و انتقال بیماری در بین جمعیت بود و همچنین عوامل به جمع‌آوری و مصرف منبع محیط (قند) اقدام می‌کردند. در شبیه‌سازی سوم ایمن‌سازی جمعیت (از طریق واکنش‌های خود) اعمال شد تا آلودگی و انتشار بیماری کنترل شود. بدین ترتیب آزمایش‌هایی صورت گرفت و مشاهدات و یافته‌ها، ثبت شدند تا در نهایت مقایسه و تحلیل صورت گیرد.

**یافته‌ها:** وجود و انتشار بیماری مسری در جمعیت می‌تواند منجر به کاهش میانگین ثروت عاملها و افزایش میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی و افزایش ضریب جینی (توزیع نابرابرتر ثروت) شود. لذا می‌تواند منجر به کاهش رفاه عاملها در یک جامعه مصنوعی شود. همچنین ایمن‌سازی جمعیت و کنترل بیماری با انجام واکنش‌های خود می‌تواند موجب افزایش میانگین ثروت عاملها و کاهش میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی و کاهش

۱- قاسم شیرخدائی

کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران

۲- آرش رحمان

دکترای مهندسی کامپیوتر، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران (نویسنده مسئول)

<arahman@riau.ac.ir >


ضریب جینی شود. لذا می‌تواند منجر به بهبود وضعیت رفاهی عاملها در یک جامعه مصنوعی شود. بحث: با بهره‌گیری از مدل‌سازی مبتنی بر عامل، انتشار بیماری مسری در جمعیت و ایمن‌سازی جمعیت (از طریق واکسیناسیون) شبیه‌سازی شد و در قالب آزمایش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و تأثیرات آنها روی توزیع ثروت، مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی و میانگین ثروت عاملها مشخص شد. نگاشت نتایج حاصل از محیط مصنوعی به جهان واقعی حکایت از آن دارد که انتشار بیماری مسری در جمعیت می‌تواند منجر به کاهش رفاه اجتماعی در یک جامعه شود. ایمن‌سازی جمعیت و کنترل بیماری می‌تواند منجر به بهبود رفاه در جامعه شود. مطالعات کتابخانه‌ای انجام‌شده نیز اعتبار نتایج نشأت گرفته از مدل را تأیید می‌کند. مطالعات حکایت از آن دارد که واکسیناسیون قادر است تا حد قابل ملاحظه‌ای مرگ‌ومیر و نابرابری را کاهش دهد. مطالعات نشان می‌دهد که بیماریهای مسری بخصوص در کشورهای کم‌درآمد، هنوز بخش قابل توجهی از مرگ‌ومیر را تشکیل می‌دهند. واکسیناسیون می‌تواند بار ناشی از بیماریهای مسری و هزینه‌های تحمیلی ناشی از آنها را کاهش دهد، از اختلافات در ثروت بکاهد و به توسعه اجتماعی و رشد اقتصادی نیز کمک کند. علاوه بر این، مطالعات نشان می‌دهد که کنترل بیماریهای مسری می‌تواند باعث ذخیره‌شدن ثروت برای جوامع و کشورها شود و مزایای اجتماعی و اقتصادی را به دنبال داشته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** مدل‌سازی مبتنی بر عامل، جامعه مصنوعی، انتشار بیماری مسری، ایمن‌سازی جمعیت، رفاه اجتماعی

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۹

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

▶ **1- Ghasem Shirkhodaie** 

MSc in Computer Engineering, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran

▶ **2- Arash Rahman** 

PhD in Computer Engineering, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran, (Corresponding Author) <arahman@riau.ac.ir>

## **Investigating the Effects of the Spread of Contagious Disease and Immunization of Population on Social Welfare Using Agent Based Modeling**

**Introduction:** Scientists believe that the spread of contagious diseases and immunization of the population has huge effects on the health and economy of the community, and vaccination has been pointed out to be one of the most effective methods of preventive interventions. The purpose of the study was to investigate and analyze the effects of contagious disease spread and immunization of the population on social welfare by the agent based modeling computational approach. In the current research, attempts were made to simulate the spread of contagious disease and immunization in a society of agents and investigate their effects on some welfare indicators including Gini coefficient, wealth average, and mortality rate due to starvation.

**Method:** The intended method in the present study was agent-based modeling and simulation along with conducting library studies, and the instrument used was NetLogo. Therefore, a model was extended and developed, and the society was simulated once in the absence of the sick agent and infection in the environment. Depending on the level of vision, the agents began to collect sugar from the environment. Next simulation was a society consisting of sick or infected agents and transmission of disease among population. Besides, the agents collected and consumed the environmental resource (sugar). In the third simulation,

immunization of the population (through vaccination) was applied to control the infection and spread of the disease. Thus, some experiments were carried out, and the observations and findings were recorded to eventually be compared and analyzed.

**Findings:** Findings of the experiments suggest that the presence and spread of contagious diseases in the population could lead to decreased wealth average of agents, increased rate of mortality due to starvation, and increased Gini coefficient (more unequal distribution of wealth) as well. Thus, it can lead to reduced welfare of agents in an artificial society. Moreover, immunization of the population and control of disease by vaccination can increase wealth average of agents, decrease the mortality rate due to starvation, and decrease Gini coefficient. Therefore, it can lead to the improvement of welfare status in an artificial society.

**Discussion:** Using agent-based modeling, the spread of contagious disease in the population and immunization of the population (through vaccination) was simulated and investigated through various experiments, and their effects on wealth distribution, mortality rate due to starvation, and wealth average of the agents were identified. Mapping the results of the artificial environment into the real world suggests that the spread of contagious disease in the population could lead to decreased social welfare in a society. Immunization of the population as well as controlling the disease can lead to the improvement of welfare in a society. Library studies also confirm the validity of the results derived from the model. Studies indicate that vaccination is capable of significantly decreasing mortality and inequality. Studies also show that contagious diseases, especially in low-income countries, still account for a significant part of mortality. Vaccination can reduce the burden of contagious diseases and their imposed costs, decrease differences in wealth, and support social development and economic growth. Moreover, studies show that controlling contagious diseases can save wealth for societies and countries and provide social and economic advantages.

Finally, some points should be mentioned about the methodology of the study: despite the strengths and advantages of using of agent based modeling approach in social, economic, and health studies, some points should be noted. Some social science experts believe that an intelligent computational agent has little similar-

ity with being human. In addition, in the development of computational models, some variables, or parameters or conditions, and rules affecting a system or a real problem may not be considered. Furthermore, the results from the artificial environment may be accompanied by errors in comparison with the results from the real environment, although the error value may be acceptable. Additionally, Some questions remain, like: Is using such modeling always possible while facing any complex problems or systems? With what combination of parameters, rules, and conditions? Is any developed model (in the artificial environment) reliable and valid? Does any developed model have the required validity and quality? What approaches or methods and issues should be considered in order to validate and verify agent based computational models? These are some of the concerns and questions that are still likely to exist in the face of the developers of these models and users of this approaches (methods) and these can be referred to as some of the limitations and challenges in similar research studies.

**Keywords:** Agent based modeling, Artificial society, Immunization of population, Social welfare, Spread of contagious disease



## مقدمه

واکسنها سبب ارتقا سلامتی می‌شوند و کمک می‌کنند تا افراد سالم، سلامت خود را حفظ کنند و لذا به توسعه جوامع انسانی کمک می‌کنند. واکسنها از افراد و اجتماعات و در کل از همه جوامع انسانی محافظت می‌کنند که نمونه بارز آن ریشه‌کنی آبله است (سازمان جهانی بهداشت، ۲۰۱۳).

در اکثریت موارد انجام واکسیناسیون اثرات فوری در سلامت جامعه در پی دارد. به‌عنوان مثال، در بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ میلادی واکسیناسیون توانسته است میزان مرگ‌ومیر ناشی از سرخک را تا ۷۸ درصد کاهش دهد. همچنین واکسیناسیون هر سال از مرگ بیش از دو و نیم میلیون کودک در جهان جلوگیری می‌کند. صاحب‌نظران علم اقتصاد، برنامه توسعه ایمن‌سازی را از اثربخش‌ترین راههای هزینه برای پیشبرد رفاه جهانی می‌دانند (سازمان جهانی بهداشت، ۲۰۱۳).

واکسیناسیون از مؤثرترین مداخلات بهداشتی در تأمین سلامت جامعه است. از آنجائیکه انتشار بیماری در جوامع بشری می‌تواند هزینه‌های سلامت را افزایش دهد، لذا دور از تصور نیست که بتواند منجر به افزایش فقر شود. صاحب‌نظران بر این اعتقادند که انتشار بیماریهای مسری و ایمن‌سازی جمعیت تأثیرات بسیار زیادی در سلامت و اقتصاد جوامع دارد. به نظر می‌رسد که ایمن‌سازی جمعیت علاوه بر نجات جان انسانها و کاهش میزان مرگ‌ومیر بتواند مانع از افزایش فقر شود و اثرات اقتصادی بر جوامع داشته باشد.

هدف از مطالعه بررسی اثرات انتشار بیماری مسری و ایمن‌سازی جمعیت بر رفاه اجتماعی با رویکرد مدل‌سازی و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل<sup>۱</sup> بود. با بهره‌گیری از مدل‌سازی و انجام شبیه‌سازی می‌توان به مطالعه و تحلیل برخی از پدیده‌ها و رفتارهای برون‌زایی پرداخت که مطالعه و بررسی آنها در دنیای واقعی سخت و یا از منظر اقتصادی، زمان و

1. agent based modeling

هزینه، مقرون‌به‌صرفه نبوده و یا اخلاقی نیست.

در پژوهش تلاش شد تا انتشار بیماری مسری و ایمن‌سازی در جامعه‌ای از عاملها شبیه‌سازی و اثرات آنها روی برخی از شاخصهای رفاهی نظیر ضریب جینی، میانگین ثروت و میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی بررسی شود. سازمان‌دهی مقاله بدین صورت است که در ادامه پیشینه تحقیق و مبانی نظری آن بیان شده است. سپس روش تحقیق و آزمایشهای صورت گرفته شرح داده شده است. در ادامه یافته‌های حاصل از انجام آزمایشها و مقایسه و تحلیل صورت گرفته مطرح شده و در انتها نیز بحث و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

### پیشینه تجربی

شبیه‌سازیهای اجتماعی با مدل‌سازیهای مبتنی بر عامل (اکسلرود<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷) پدیدار شدند. جان ون نیومان<sup>۲</sup> تئوری ماشینی دارای قابلیت بازتولید خود را با بهره‌گیری از منابع خام محیط که موجب پیوند میان تولید مثل (مفهوم بنیادین حیات) و ماشین شد، ارائه کرد. در اواخر دهه چهارم میلادی استانیسلاو اولام<sup>۳</sup> و نیومان مفهوم اتوماتای سلولی<sup>۴</sup> را مطرح کردند. اتوماتای سلولی به‌عنوان پایه ایجاد حیات مصنوعی مورد توجه واقع شد. و از آن در قالب مدلی برای مطالعه سیستمهای زیستی استفاده شد (بوسچتی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۵).

توماس شلینگ<sup>۶</sup> (۱۹۷۱) با ساختاری شبیه اتوماتای سلولی دوبعدی مسئله تبعیض و تفکیک اجتماعی را در قالب مدلی مبتنی بر عامل مطرح کرد. از اهداف شلینگ نمایش چگونگی تأثیر عملکرد جزئی افراد جامعه بر رفتارهای کلان اجتماعی بود.

در سال ۱۹۹۶ مدل فضای قندی توسط جاشو اپستین<sup>۷</sup> و روبرت اکستل<sup>۸</sup> مطرح شد که نمونه‌ای از مدل‌سازی مبتنی بر عامل است. آنها با ایجاد جامعه‌ای مصنوعی<sup>۹</sup>، در بخشی از

1. Axelrod

4. Cellular Automata

7. Epstein

2. John Von Neumann

5. Boschetti

8. Axtell

3. Stanislaw Ulam

6. Schelling

9. artificial society

کارهای خود چگونگی شیوع و انتقال بیماری را در جمعیتی از عاملهای مصنوعی مطرح کردند.

در سال ۱۹۹۸ یوری ویلنسکی<sup>۱</sup> مدلی از توزیع ثروت (۱۹۹۸a) را ارائه کرد. در این مدل بهره‌مندی عاملها از منابع موجود در محیط و برخی از متغیرهای مؤثر در کسب و توزیع ثروت مطرح شدند.

همچنین ویلنسکی (۱۹۹۸b) مدلی را که انتقال و تداوم یک ویروس در یک جمعیت انسانی را شبیه‌سازی می‌کند و شامل انتقال، بازیابی سلامتی و واکسیناسیون بود را ارائه کرد. زیست‌شناسان زیست‌محیطی<sup>۲</sup> تعدادی از عواملی که ممکن است بر بقای یک ویروس مستقیماً منتقل شده در یک جمعیت، تأثیر گذارد را اظهار کرده‌اند (یورک<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۷۹) که در مدل ویروس ویلنسکی مورد توجه قرار گرفت.

در سال ۲۰۰۶ یوری ویلنسکی مدل Disease Doctors Hubnet (ویلنسکی، ۲۰۰۶) را ارائه کرد که نسخه اصلاح‌شده از Disease activity است که گسترش یک بیماری از طریق یک جمعیت را شبیه‌سازی می‌کند (پزشکان در Disease activity وجود ندارند). یانگ<sup>۴</sup> و یوری ویلنسکی در سال ۲۰۱۱ مدل پایه epiDEM (یانگ و ویلنسکی، ۲۰۱۱) را که گسترش یک بیماری عفونی در یک جمعیت بسته را شبیه‌سازی می‌کند، ارائه کردند. این مدل خاص که بر پایه یک مدل ریاضی تنظیم و ارائه شده است پویایی‌شناسی سیستمی یک پدیده را شرح می‌دهد که آشکار می‌شود زمانی که یک فرد آلوده در جمعیتی کاملاً مستعد مؤثر معرفی می‌شود.

هیچ‌کدام از مدل‌های فوق‌الذکر نگاه ویژه و خاص به بحث تأثیر انتشار بیماری مسری و ایمن‌سازی جمعیت بر رفاه اجتماعی نداشته‌اند، اگرچه مدل ویلنسکی (۱۹۹۸b) روی بحث

1. Wilensky  
3. Yorke

2. ecological biologists  
4. Yang



انتقال و انتشار بیماری در یک جمعیت و انجام واکسیناسیون متمرکز و در آن میزان مرگ‌ومیر به‌عنوان یکی از خروجی‌های مدل مطرح شده است، اما نگاه خاص به مسئله رفاه اجتماعی و سایر شاخصه‌هایی که در این مطالعه موردتوجه قرار گرفته، نداشته است. ضمن آنکه مدل توسعه‌یافته در پژوهش روی بستر فضای قندی پیاده‌سازی شده است که به لحاظ نوع جامعه مصنوعی نزدیکترین مدل به جامعه بشری است.

ذکر این نکته ضروری است که تاکنون با بهره‌گیری از روش مدل‌سازی مبتنی بر عامل و شبیه‌سازی اجتماعی، مطالعات و تحقیقاتی چند در زمینه‌هایی چون سلامت (رحمان و همکاران، ۲۰۰۸)، رفاه اجتماعی (رحمان و ستایشی، ۲۰۰۷)، توزیع و تعدیل ثروت (رحمان و همکاران، ۲۰۰۹a، ۲۰۰۹b) (رحمان، ۲۰۱۲)، راهبردهای مختلف انتقال تجربه بین عاملها و تأثیر اجرای آنها بر رفاه اجتماعی (خدابخشی و رحمان، ۲۰۱۳)، تأثیر همکاری بر رفاه عوامل (اسلامی و همکاران، ۲۰۱۵) و بهبود عملکرد عاملها با استفاده از یادگیری (خدابخشی و همکاران، ۲۰۱۶) توسط برخی از پژوهشگران داخل کشور صورت گرفته است.

## مبانی نظری

### ۱- سیستم پیچیده و رفتار پیدایشی (برون‌زا)

سیستم پیچیده، سیستمی متشکل از اجزاء متعامل است که رفتارهای سیستم از آنها ناشی می‌شود و رفتار سیستم را نمی‌توان به‌سادگی از رفتار اجزای آن استنباط کرد. میزان اطلاعات لازم برای توصیف رفتار چنین سیستمی، پیچیدگی آن است. مرسوم‌ترین تعریف از سیستمهای پیچیده عبارتست از: مجموعه‌ای شامل چندین عامل متعدد و متنوع، در ابعاد متفاوت، با تعامل و وابستگی ذاتی و تفکیک‌ناپذیر عوامل بر یکدیگر، به طوری‌که نتوان با حذف و مجزاکردن برخی از مؤلفه‌ها و اجزاء، آن را تجزیه کرد (بار-یام<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷).

1. complex system

2. Bar-Yam

سندرز و اسمیت<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) در حوزه تشخیص و ثبت رفتارهای پیدایشی (برونزا)<sup>۲</sup> و سپس اصلاح تدریجی این رفتارها با بهره‌گیری از روشهای رسمی (فرمال)، مطالعاتی انجام داده‌اند، رفتارهای پیدایشی (برونزا) را رفتارهای سیستمی معرفی کردند که با توجه به بخش‌های مجزای سیستم قابل تشخیص نخواهند بود. ظهور اینگونه رفتارها در سیستمهای مبتنی بر عامل<sup>۳</sup> امری عادی است، به‌ویژه زمانی که عوامل با تغییرات محیط سازگار می‌شوند.

## ۲- عامل

عامل<sup>۴</sup> موجودیتی محاسباتی همانند یک برنامه نرم‌افزاری یا یک ربات است. که می‌تواند به سبب درک و عمل (عمل ادراکی) بر روی محیط ببیند و در رفتارش خودمختار باشد که حداقل تا حدودی به تجربه‌اش بستگی دارد (ویس<sup>۵</sup>، ۱۹۹۹).

## ۳- جامعه مصنوعی و شبیه‌سازی اجتماعی

جامعه مصنوعی را می‌توان مدلی رایانه‌ای دانست که شامل مجموعه‌ای از ارگانیزمهای مصنوعی (عوامل) است که در محیط مصنوعی بر اساس شرایط و مقررات تعیین شده به حیات خود ادامه می‌دهند. عاملها با یکدیگر و با محیط تعامل دارند. مدل مبتنی بر عامل فرآیندهای اجتماعی، جامعه مصنوعی نامیده شده است (رحمان و ستایشی، ۲۰۰۷). با استفاده از قدرت پردازش سیستمهای رایانه‌ای، می‌توان جوامع مصنوعی شامل محیط و عاملهای مصنوعی ایجاد کرد که دارای برخی از قوانین و ویژگیهای محیطی و عاملی تعریف شده و مشابه به جوامع واقعی‌اند و نهایتاً با تنظیم مقادیر پارامترهای مدل و انجام آزمایشها، رفتارهای برونزا را مشاهده و مورد مطالعه و تحلیل قرار داد.

نمونه‌ای از جوامع مصنوعی مدل فضای قندی (اپستین و اکستل، ۱۹۹۶) است. این

1. Sanders and Smith  
4. agent

2. emergent behavior  
5. Weiss

3. agent base systems

مدل شامل محیط (یک آتوماتای سلولی دو بعدی)، قند (یا منبع)، عاملها و مجموعه قوانین و ویژگیهای محیطی و عاملی است. عاملها مطابق با قوانین مشخص با یکدیگر و با محیط تعامل دارند. در این مدل هر سلول دارای میزان مشخص از قند است. عوامل بر پایه قوانین و ویژگیها (بر اساس سطح دید) می‌توانند سلولهای حاوی قند پیرامون خود را شناسایی و به سمت آنها حرکت و قند موجود در آن را برداشت کنند. در هر دوره<sup>۱</sup> زمانی مقدار قند سلولها دوباره رشد کرده تا به مقدار تعیین شده برای هر سلول (ظرفیت قندی هر سلول) برسد. در هر دوره زمانی مقدار مشخصی از قند برداشت شده توسط عامل، صرف سوخت و ساز عامل و باقی مانده آن به عنوان ثروت عامل ذخیره می‌شود.

## روش

روش مدنظر در تحقیق، مدل‌سازی و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل همراه با انجام مطالعات کتابخانه‌ای و ابزار مورد استفاده نرم‌افزار NetLogo (ویلنسکی، ۱۹۹۹) بود. مدل مورد استفاده در پژوهش صورت گرفته با استفاده از ابزار نرم‌افزاری NetLogo<sup>۲</sup> و بر پایه مدل‌های توزیع ثروت ویلنسکی<sup>۳</sup> (۱۹۹۸a) و لی<sup>۴</sup> و ویلنسکی (۲۰۰۹) که مبتنی بر مدل فضای قندی اپستین<sup>۵</sup> و آکستل (۱۹۹۶) است و همچنین بر پایه مدل ویروس همراه با واکنش‌های ایمنی<sup>۶</sup> (ویلنسکی، ۱۹۹۸b)، گسترش و توسعه یافت. این مدل شامل فرآیندهای انتقال بیماری در جمعیت و ایمن‌سازی (از طریق واکنش‌های ایمنی) جمعیت و برخی از قابلیت‌ها است. فرآیند گسترش و توسعه مدل شامل تلفیق برخی از قابلیت‌های مدل‌های پایه و اعمال برخی از تغییرات در آنها و اضافه کردن برخی کنترل‌ها بوده است.

در اجرای مدل عاملها بر پایه قوانین معین شده به تعامل با یکدیگر و محیط پرداخته و

1. tick
2. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>
3. U. Wilensky
4. Li
5. J. M. Epstein
6. Virus with Vaccinations and Immunity Time Final, ([http://modelingcommons.org/browse/one\\_model/3362#model\\_tabs\\_browse\\_info](http://modelingcommons.org/browse/one_model/3362#model_tabs_browse_info))

منابع محیطی را برداشت می‌کنند. تعامل عاملها با یکدیگر می‌تواند منجر به انتشار بیماری در محیط شود. کنترل و ایمن‌سازی عاملهای بیمار در شبیه‌سازی مورد توجه قرار گرفته است. برای بررسی اثرات انتشار بیماری و ایمن‌سازی جمعیت بر رفاه عاملها، شاخصهای ضریب جینی، میانگین ثروت عاملها و میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی مدنظر قرار گرفت. ضریب جینی<sup>۱</sup> شاخصی است که معمولاً برای سنجش میزان نابرابری در توزیع درآمد یا ثروت در یک جامعه استفاده می‌شود (مشارکت‌کنندگان ویکی‌پدیا، ۲۰۱۸). و همواره مقداری بین صفر و یک دارد. هر چه مقدار ضریب جینی نزدیک به عدد صفر باشد، برابری بیشتر در توزیع درآمد را نشان می‌دهد و بالعکس هر چه مقدار ضریب جینی نزدیک به عدد یک باشد، نابرابری بیشتر در توزیع درآمد را نشان می‌دهد.

میانگین ثروت عاملها، حکایت از میانگین ثروت قندی جمع‌آوری‌شده توسط عاملها دارد. با این شاخص می‌توان میزان موفقیت عاملها در بهره‌برداری از منابع محیط (جمع‌آوری قند) و ذخیره آن را بررسی کرد.

در جامعه مصنوعی شکل‌گرفته علت مرگ‌ومیر عاملها می‌تواند ناشی از گرسنگی عاملها (اتمام ثروت یا ذخیره قندی آنها) باشد (یعنی عامل قند مورد نیاز برای سوخت‌وسازش (متابولیسمش) را نداشته باشد). میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی در عاملها بر وضعیت رفاه اثرگذار است.

مبنای انتشار بیماری، حضور عامل سالم یا مستعد در یک مختصات جغرافیایی از عامل بیمار است. چنانچه عامل بیمار در موقعیتی از عامل سالم یا مستعد باشد، می‌تواند موجب آلودگی عامل سالم یا مستعد شود. چندین نوع عامل (سالم، مستعد، بیمار و ایمن) دارای تعامل در محیط وجود دارند.

- 
1. Gini coefficient
  2. wikipedia contributors

با بهره‌گیری از مدل گسترش و توسعه‌یافته، جامعه یکبار در شرایط عدم وجود عامل بیمار و آلودگی در محیط شبیه‌سازی شد. عوامل با توجه به سطح دید و یا میدان حرکتی که داشتند شروع به جمع‌آوری قند از محیط می‌کردند. شبیه‌سازی بعدی، جامعه‌ای شامل عوامل بیمار و یا آلوده و انتقال بیماری در بین جمعیت بود و همچنین عوامل اقدام به جمع‌آوری و مصرف منبع محیط (قند) می‌کردند. در شبیه‌سازی سوم ایمن‌سازی جمعیت (از طریق واکسیناسیون) اعمال شد تا آلودگی و انتشار بیماری کنترل شود. بدین ترتیب شرایطی فراهم شد تا آزمایشهایی صورت گیرد و در هر کدام از آنها، مشاهدات و یافته‌ها ثبت شوند تا در نهایت مقایسه و تحلیل صورت گیرد.

#### ۱- ویژگیهای محیطی و عاملی

محیط یک اتوماتای سلولی دوبعدی شامل  $50 \times 50$  سلول است. منبع محیطی (قند) در سلولها قرار می‌گیرد. حداکثر ظرفیت قندی هر سلول در ابتدای شبیه‌سازی تعیین و تا پایان شبیه‌سازی ثابت است. زمان متغیری گسسته است که در ابتدای شبیه‌سازی صفر و با اجرای آزمایش این متغیر تغییر می‌کند. در هر دوره زمانی عاملها مطابق قوانین از پیش تعیین شده حرکت و از منبع محیط بهره‌برداری می‌کنند.

هر یک از عوامل دارای کد شناسه (ID) و خصوصیات ظاهری (شکل، رنگ و اندازه) هستند. عددی تصادفی به‌عنوان طول عمر برای هر عامل در زمان تولدش تعیین می‌شود. به هر یک از عوامل در بدو تولد مقداری ثروت یا قند اولیه (به‌صورت تصادفی) برای شروع فعالیت در جامعه اعطا می‌شود. عامل می‌تواند میزان ثروت خود را با انجام فعالیت و جمع‌آوری قند محیط افزایش دهد. هر یک از عوامل از بدو تولد دارای متابولیسم (سوخت‌وساز) هستند که با عددی تصادفی از بازه مشخص در هنگام تولد مقداردهی می‌شود و در طول عمر عامل قابل تغییر است. متابولیسم میزان سوخت‌وساز عامل در هر دوره زمانی است. عوامل بیمار با

افزایش میزان متابولیسم مواجه می‌شوند. سطح (میدان) دید عامل با عددی تصادفی از بازه‌ای مشخص در هنگام تولد مقداردهی می‌شود که حکایت از آن دارد که عامل برای یافتن سلولهای حاوی قند تا چند سلول همسایه خود را می‌تواند مشاهده کند. سطح دید عامل در طول عمر عامل قابل تغییر است. عامل بیمار به دلیل ابتلا به بیماری با کاهش سطح دید مواجه می‌شود.

## ۲- قوانین محیطی و عاملی

- اگر میزان قند ذخیره شده یا دارایی عامل کوچک‌تر یا مساوی صفر شود، عامل می‌میرد.
- سن عاملها در هر تیک زمانی یک واحد افزایش می‌یابد.
- اگر سن عامل به طول عمرش برسد، می‌میرد و از محیط حذف می‌شود.
- اگر عاملی بمیرد، عامل دیگری به‌صورت تصادفی در مکانی از محیط با مقادیر اعطایی اولیه تصادفی از سطح دید و متابولیسم متولد می‌شود.
- در آغاز شبیه‌سازی عوامل به‌صورت تصادفی در سلولهای محیط توزیع می‌شوند. سپس مطابق با سطح دیدشان، به‌طرف سلولهای دارای قند حرکت می‌کنند.
- میزان قند سلولها دائماً و با نرخ ثابت و تا رسیدن به حداکثر ظرفیت قند تعیین‌شده برای هر سلول، رشد می‌کند.
- هر عامل تمام قند موجود در سلولی که در آن قرار دارد را برداشت می‌کند (در این حالت قند سلول صفر می‌شود).
- در برخورد عامل بیمار با عامل سالم یا مستعد (غیر ایمن)، بیماری می‌تواند منتقل شود (انتقال بیماری میان عوامل به‌صورت تصادفی است).
- میزان متابولیسم هر عامل در زمان ابتلا به بیماری افزایش می‌یابد.
- میزان سطح دید هر عامل در زمان ابتلا به بیماری کاهش می‌یابد.

### ۳- انتقال بیماری و ایمن‌سازی (از طریق واکسیناسیون)

واکسن برای ایجاد آمادگی طولانی‌مدت سیستم ایمنی بدن در برابر حملات آینده (بیماریها) تولید شده است. عفونت حاصل از واکسن بی‌خطر است و سیستم ایمنی بدن فرد در برابر حملات بعدی مصون می‌شود (موسسه ملی آلرژی و بیماریهای عفونی آمریکا و موسسه ملی سرطان آمریکا، ۲۰۰۳).

انتقال بیماری میان عوامل به‌صورت تصادفی است. هر عامل بیمار بسته به میدان دید و گام حرکتی تعریف‌شده در مدل می‌تواند حرکت کند و در مواجهه با عاملهای سالم یا مستعد که در همسایگی‌اش واقع هستند، بیماری را به آنها انتقال دهد. در این حالت برچسب عامل سالم یا مستعد به بیمار تغییر وضعیت می‌دهد.

واکسیناسیون فقط برای عاملهایی که بیمار نیستند (با توجه به نرخ واکسیناسیون تنظیم‌شده در ابتدای شبیه‌سازی) انجام می‌شود. و برچسب آنها به ایمن تغییر می‌یابد. این عوامل نسبت به آلوده‌شدن و یا ابتلا به بیماری مصونیت دارند.

جدول (۱) انواع عاملها در جامعه ایجادشده

نوع عامل	توضیح
سالم	عاملهایی که بیمار و ایمن نیستند (عاملهای تازه متولدشده در شبیه‌سازی).
بیمار	عاملهایی که در اثر تعامل با عاملهای بیمار، به بیماری مبتلا می‌شوند.
ایمن	عاملهایی که در اثر اعمال واکسیناسیون در برابر بیماری مصونیت می‌یابند.
مستعد	عاملهایی که زمان ایمنی آنها به پایان رسیده است و دیگر ایمن نیستند.

1. National Institute of Allergy and Infectious Diseases (U.S.) & National Cancer Institute (U.S.)

عوامل سالم یا مستعد در برخورد با عامل بیمار، می‌توانند آلوده و یا بیمار شوند. چراکه عامل سالم، ایمن‌سازی (از طریق واکسیناسیون) هنوز بر رویش اعمال نشده و عامل مستعد، مدت‌زمان ایمن‌بودن ناشی از واکسینه شدن قبلی‌اش به اتمام رسیده است.

#### ۴- آزمایشها

آزمایشهای مختلفی با مدل گسترش و توسعه یافته انجام شد. سپس با مقایسه یافته‌های حاصل، تأثیر انتشار و انتقال بیماری و واکسیناسیون جمعیت در توزیع ثروت، میانگین ثروت و مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی، مورد بررسی قرار گرفت. در انجام آزمایشها مقادیر پارامترهای جدول (۲) بدون تغییر اعمال شدند. برخی دیگر از پارامترها متناسب با نوع آزمایش و هدف آن، در مدل تنظیم و مقداردهی شدند که این موارد در هر آزمایش جداگانه مطرح شده‌اند. هر آزمایش برای مدت ۱۰۰۰ دوره زمانی و برای ۱۰ مرتبه اجرا گردید. در جدول (۳) پارامترهای مرتبط با ایمن‌سازی در مدل مطرح و شرح داده شده است.

جدول (۲) پارامترهای وابسته به عامل

سطح دید عامل (از بازه عددی)	حداکثر طول عمر	متابولیسم عامل (از بازه عددی)	ثروت اولیه هر عامل (از بازه عددی)	جمعیت محیط (نفر عامل)
۲-۴	۱۰۰	۱-۶	۵۰-۱۰۰	۵۰۰

جدول (۳) پارامترهای مرتبط با ایمن‌سازی در مدل

پارامتر	توضیح
نرخ واکسیناسیون <sup>۱</sup>	درصدی از جمعیت سالم و مستعد که واکسیناسیون روی آن صورت می‌پذیرد.
مدت‌زمان مصونیت <sup>۲</sup>	مدت‌زمانی که عامل ایمن است و در برابر ابتلا به بیماری مصونیت دارد.

1. vaccine-rate
2. immunit-time



#### ۱-۴- آزمایش اول؛ عدم وجود بیماری

در این حالت جامعه مصنوعی به گونه‌ای شبیه‌سازی شد که عاملها بدون وجود آلودگی و یا عاملهای بیمار می‌توانستند در محیط فعالیت کرده و منابع لازم برای بقاء خویش را جمع‌آوری و مصرف کنند. هدف از این آزمایش بررسی وضعیت رفاهی عاملها (سه شاخص مدنظر) در حالت عدم وجود بیماری است.

#### ۲-۴- آزمایش دوم؛ وجود و انتشار بیماری

در این حالت پارامترهای تعداد بیمار و میزان انتشار آلودگی در مدل تنظیم و مقداردهی شدند. به گونه‌ای که در ابتدا ۵۰ عامل بیمار در جامعه حضور داشتند و می‌توانستند در تعامل با دیگر عوامل آنها را بیمار کنند. میزان انتشار آلودگی ۶۷ درصد تنظیم شد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد عواملی که بیمار می‌شوند نیاز به مصرف قند بیشتری دارند چراکه متابولیسم آنها افزایش می‌یابد. ضمن آنکه بیماری سبب کاهش سطح دید عامل بیمار می‌شود و در نتیجه یافتن سلولهای حاوی قند برای عوامل بیمار دشوارتر می‌شود. بنابراین هدف از این آزمایش بررسی وضعیت رفاهی عاملها (سه شاخص مدنظر) در حالت وجود و انتشار بیماری است.

#### ۳-۴- آزمایش سوم؛ در حالت انجام واکسیناسیون

این آزمایش با تنظیمات پارامترهای جدول (۴) اجرا شد. در این حالت عوامل تحت عمل واکسیناسیون قرار می‌گیرند. هدف از انجام آزمایش سوم بررسی وضعیت رفاه (سه شاخص مدنظر) در حالت وجود و انتشار بیماری و انجام واکسیناسیون است.

جدول (۴) مقادیر پارامترهای آزمایش سوم؛ در حالت انجام واکسیناسیون

مقدار	پارامتر
۵	مدت زمان ایمنی <sup>۱</sup>
٪۰/۱	نرخ واکسیناسیون
۵۰	تعداد عوامل بیمار <sup>۲</sup>
٪۶۷	میزان انتشار آلودگی

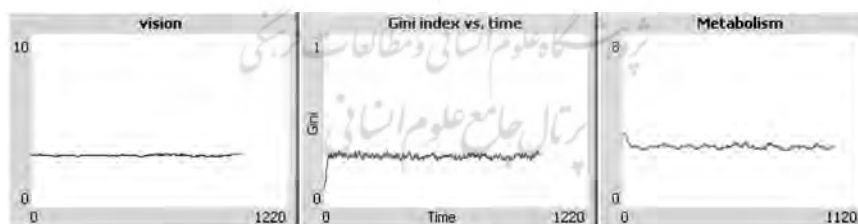
### یافته‌ها

#### ۱- یافته‌های آزمایش اول (در حالت عدم وجود بیماری)

یافته‌های حاصل از آزمایش اول در جدول (۵) و شکل (۱) مشخص شده است.

جدول (۵) یافته‌های آزمایش اول؛ در حالت عدم وجود بیماری

میانگین ثروت عاملها (واحد قندی)	میانگین ضریب جینی	میزان مرگ و میر ناشی از گرسنگی (نفر عامل)
۵۸/۹۱	۰/۲۹۷	۷۵۶۵



شکل (۱) نمودارهای حاصل از آزمایش اول؛ در حالت عدم وجود بیماری

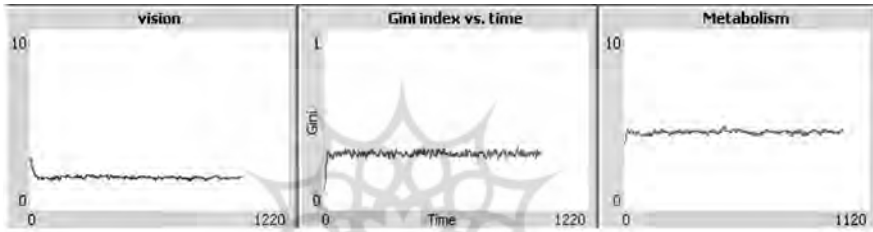
1. immune-time
2. num-illness

## ۲- یافته‌های آزمایش دوم (در حالت وجود و انتشار بیماری)

یافته‌های حاصل از آزمایش دوم در جدول (۶) و شکل (۲) مشخص شده است.

جدول (۶) یافته‌های آزمایش دوم؛ در حالت وجود و انتشار بیماری

میانگین ثروت عاملها (واحد قندی)	میانگین ضریب جینی	میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی (نفر عامل)
۴۸/۱۹	۰/۳۰۹	۱۶۱۹۸



شکل (۲) نمودارهای حاصل از آزمایش دوم؛ در حالت وجود و انتشار بیماری

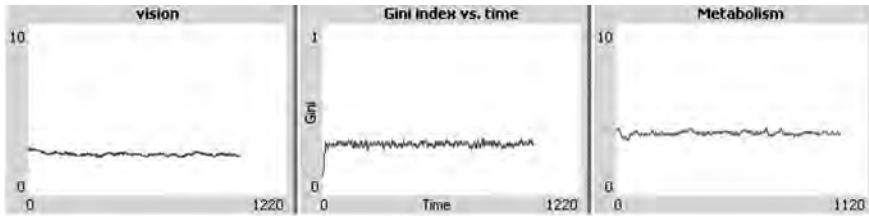
## ۳- یافته‌های آزمایش سوم (در حالت انجام واکسیناسیون)

یافته‌های حاصل از این آزمایش در جدول (۷) و شکل (۳) مشخص شده است. در این

حالت عوامل تحت عمل واکسیناسیون قرار می‌گیرند.

جدول (۷) یافته‌های آزمایش سوم؛ در حالت انجام واکسیناسیون

میانگین ثروت عاملها (واحد قندی)	میانگین ضریب جینی	میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی (نفر عامل)
۵۳/۱۵	۰/۲۹۷	۱۲۰۱۲



شکل (۳) نمودارهای حاصل از آزمایش سوم؛ در حالت انجام واکسیناسیون

#### ۴- مقایسه و تحلیل

در جدول (۸) یافته‌های آزمایش‌های اول تا سوم نمایش داده شده است. مقایسه یافته‌های آزمایش اول و دوم نشان می‌دهد که وجود و انتشار بیماری می‌تواند منجر به کاهش میانگین ثروت عاملها و افزایش میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی و افزایش ضریب جینی (توزیع نابرابرتر ثروت) شود. لذا می‌تواند رفاه عاملها را کاهش دهد.

مقایسه یافته‌های آزمایش دوم و سوم نشان می‌دهد که انجام واکسیناسیون و ایمن‌سازی جمعیت می‌تواند موجب افزایش میانگین ثروت عاملها و کاهش میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی و کاهش ضریب جینی (توزیع برابرتر ثروت) شود. لذا می‌تواند رفاه عاملها را بهبود بخشد.

جدول (۸) مقایسه یافته‌های آزمایش‌های اول تا سوم

مقایسه آزمایش ۱ و ۲، ۲ و ۳		میانگین ثروت عاملها (واحد قندی)	میانگین ضریب جینی	مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی (نفر)	شماره آزمایش
میانگین ثروت عاملها	مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی				
		۵۸/۹۱	۰/۲۹۷	۷۵۶۵	۱
- ٪۱۸/۲	+ ٪۱۱/۴	۴۸/۱۹	۰/۳۰۹	۱۶۱۹۸	۲
+ ٪۱۰/۳	- ٪۲۵/۸	۵۳/۱۵	۰/۲۹۷	۱۲۰۱۲	۳

با انجام ایمن‌سازی جمعیت مشاهده شد که مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی حدود ۲۵/۸ درصد کاهش و میانگین ثروت عاملها حدود ۱۰/۳ درصد افزایش یافت. در این حالت توزیع ثروت (ضریب جینی) در جامعه بهتر شد که نتیجتاً یافته‌ها حکایت از آن دارد که با وجود ایمن‌سازی جمعیت، رفاه عاملها در جامعه بهبود یافته است.

شکل (۴) مقایسه‌ای نموداری از وضعیتهای سطح دید و متابولیسم آزمایشهای اول تا سوم را در بر گرفته است.



شکل (۴) مقایسه نمودارهای متابولیسم و سطح دید آزمایشهای اول، دوم و سوم

## بحث

واکسیناسیون سهم بزرگی در سلامت جهانی دارد. دو بیماری آبله و طاعون گاوی تقریباً ریشه‌کن شده‌اند. از زمان ایجاد برنامه جهانی ایمن‌سازی سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۷۴ و اتحاد (معاهده) جهانی برای واکسیناسیون و ایمن‌سازی در سال ۲۰۰۰، پوشش جهانی واکسیناسیون در برابر بسیاری از بیماریهای مهم دوران کودکی افزایش یافته است، تقریباً فلج اطفال ریشه‌کن شده و موفقیت در کنترل سرخک این بیماری را هدف دیگری برای ریشه‌کن‌سازی کرده است. با وجود این موفقیتها، تقریباً ۶,۶ میلیون کودک هنوز هم هرساله می‌میرند و حدود نیمی از این مرگ‌ومیرها ناشی از برخی از عفونتهایی است که می‌تواند به‌وسیله واکسن جلوگیری و یا کنترل شوند (گرین ود، ۲۰۱۴).

واکسن یکی از دستاوردهای پزشکی مدرن است. بسیاری از واکسنها دو مورد مهم را فراهم می‌آورند: یکی سطح بالایی از حفاظت فردی و دیگری منافع اجتماعی فراوانی که با کاهش میزان انتقال بیماریهای عفونی حادث می‌شود. بنابراین بسیاری از دولتها سیاستهای بهداشت عمومی را دنبال می‌کنند که هدف آن افزایش سطح واکسیناسیون است تا شیوع در سطح بالا را حذف کنند و یا حتی بیماریهای خاص را از بین ببرند. به‌عنوان مثال، مناطق مدرسه‌ای در ایالات متحده به‌طور منظم می‌خواهند که کودکان در مدارس عمومی ایمن‌سازی شوند (راو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷).

مطالعات کتابخانه‌ای انجام شده اعتبار نتایج بدست آمده از مدل را تأیید می‌کند. مطالعات آندره<sup>۲</sup> و همکارانش (۲۰۰۸) نشان داد که واکسیناسیون قادر است تا در حد زیادی بیماری و مرگ را در سراسر جهان کاهش دهد. بخش قابل توجهی از مرگ‌ومیر در کشورهای کم‌درآمد ناشی از بیماریهای مسری است که این مسئله حکایت از وجود بی‌عدالتیهای بهداشتی دارد که بیشتر ناشی از تفاوت‌های اقتصادی است. واکسیناسیون می‌تواند هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی را کاهش دهد. در کشورهای در حال توسعه، برنامه‌های ایمن‌سازی میزان مرگ‌ومیر در دوران کودکی را کاهش داده و به برنامه‌ریزی بهتر خانواده‌ها کمک کرده است که در نتیجه مزایای بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی را در پی داشته است.

واکسیناسیون به دلیل / با کاهش انتشار بیماری و عوارض جانبی آن و همچنین کاهش مرگ‌ومیر ناشی از بیماری با ارتقاء و بهبود سلامتی به توسعه اجتماعی و رشد اقتصادی کمک می‌کند. کنترل بیماری و ریشه‌کن کردن آن می‌تواند باعث ذخیره‌شدن مبالغ قابل توجهی برای جوامع و کشورها شود. واکسیناسیون با حفاظت در مقابل بیماریها می‌تواند منجر به افزایش امید به زندگی شود. زندگی طولانی‌مدت سالم به‌عنوان یک پیش‌شرط برای ثروت شناخته

1. Rao

2. Andre

شده است و ثروت منجر به ترویج و ارتقاء سلامت می‌شود. بنابراین واکسن‌ها ابزارهای کارآمدی برای کاهش اختلافات در ثروت می‌باشند (همان).

واکسیناسیون و ایمن‌سازی تأثیر بسیار زیادی در سلامت جوامع داشته است. با توجه به تأیید صندوق کودکان سازمان ملل متحد<sup>۱</sup> و سازمان بهداشت جهانی<sup>۲</sup> ایمن‌سازی مؤثرترین عمل بهداشتی تشخیص داده شده پس از فراهم‌کردن آب آشامیدنی سالم در فراهم‌کردن سلامت جامعه است. ایمن‌سازی روشی تأییدشده در کنترل‌کردن و حذف‌کردن بیماریهای پرخطر است. برآورد سازمان بهداشت جهانی نشان می‌دهد که به‌کارگیری واکسنهای شایع و مورد استفاده در جهان، سالانه منجر به جلوگیری از مرگ و میر بیش از دو میلیون نفر می‌شود. واکسن‌ها افزون بر جلوگیری از مرگ، سبب بهبود کیفیت زندگی افراد در جامعه می‌شوند (مصادقی نیا، ۲۰۱۲).

ایمن‌سازی سراسری ضد بیماریهای قابل جلوگیری با واکسن را می‌توان از کارسازترین مداخلات در جهت حفاظت از جمعیت و کاهش اثرات سوء ناشی از بیماریها نظیر نابرابریهای بهداشتی و اقتصادی و اتلاف منابع مالی در کشورها دانست. در پژوهش صورت گرفته، با بهره‌گیری از مدل‌سازی و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل، اثرات انتشار بیماری مسری و ایمن‌سازی جمعیت (از طریق واکسیناسیون) بر برخی از شاخصهای رفاهی از جمله؛ ضریب جینی، مرگ و میر ناشی از گرسنگی و میانگین ثروت عاملها با انجام آزمایشهای مختلف بررسی و تحلیل شد.

انتشار بیماری مسری در یک جامعه مصنوعی منجر به کاهش میانگین ثروت عاملها و همچنین افزایش نابرابری در توزیع ثروت شد. همچنین انتقال و انتشار بیماری در جمعیت عاملها، منجر به افزایش میزان مرگ و میر ناشی از گرسنگی در جامعه مصنوعی شد.

1. UNICEF

2. World Health Organization

ایمن‌سازی جمعیت در جامعه مصنوعی، منجر به کاهش میزان مرگ‌ومیر ناشی از گرسنگی، بهبود ضریب جینی و افزایش میانگین ثروت عاملها شد. نداشت نتایج حاصل از محیط مصنوعی به جهان واقعی حکایت از آن می‌کند که انتشار بیماری در جمعیت می‌تواند منجر به کاهش رفاه اجتماعی در یک جامعه شود. استفاده از رویکردهای ایمن‌سازی جمعیت و کنترل بیماری (همانند واکسیناسیون) می‌تواند منجر به بهبود وضعیت رفاه در جامعه شود. از نقاط قوت و مزایای استفاده از رویکرد مدل‌سازی مبتنی بر عامل در انجام مطالعات، امکان انجام آزمایشهای سخت، پالایش و گسترش نظریه‌هایی که ارزیابی آنها با استفاده از روشهای ریاضی و آماری سخت هستند و ایجاد درکی عمیق از مکانیزمهای علی بنیادین، در سیستمهای چند عامله است. همچنین این روش امکان توصیف ذاتی یک سیستم را فراهم آورده و پدیده‌های برون‌زا را تسخیر می‌کند. این روش انعطاف‌پذیر بوده و در بسیاری از موارد در جهت توصیف و شبیه‌سازی یک سیستم متشکل از موجودیتهای رفتاری، طبیعی‌ترین روش است (باساک<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). در دسترس بودن قدرت محاسباتی سریع و ارزان همراه با محیط‌های نرم‌افزاری غنی، آسان برای استفاده و در دسترس، دو دلیل عمده برای استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر عامل در علوم اجتماعی است (باساک، مازومدار و یاداو، ۲۰۱۲؛ اکستل، ۲۰۰۰).

با وجود نقاط قوت و مزایای استفاده از رویکرد مدل‌سازی مبتنی بر عامل در انجام مطالعات اجتماعی، اقتصادی و بهداشتی، نکاتی را باید متذکر شد. از نگرانیهای برخی از صاحب‌نظران حوزه علوم اجتماعی این است که یک عامل هوشمند محاسباتی ارتباط کمی با انسان‌بودن دارد، ضمن آنکه در توسعه مدل‌های محاسباتی ممکن است برخی از متغیرها و یا پارامترها و یا شرایط و قوانین مطرح در سیستم واقعی مدنظر قرار نگیرد. همچنین بازگرداندن نتایج حاصله از محیط مصنوعی به حیات واقعی نیز ممکن است دارای خطاهایی

1. Basak



باشد، گرچه ممکن است که همگرایی در حد قابل قبولی پیش‌بینی شود. علاوه بر این موارد سؤالاتی که باقی می‌گذارد این است که آیا همیشه این‌گونه مدل‌سازیها به‌سادگی و راحتی امکان‌پذیر است؟ با چه ترکیب از پارامترها، شرایط و قوانین؟ آیا می‌توان به هر مدل توسعه‌یافته‌ای در محیط مصنوعی اعتماد کرد؟ در جهت اعتبارسنجی مدل‌های محاسباتی مبتنی بر عامل به چه رویکردهایی بایستی توجه کرد؟ اینها برخی از نگرانیها و سؤالاتی است که در مقابل توسعه‌دهندگان و استفاده‌کنندگان این مدلها وجود دارد و می‌تواند به‌عنوان برخی از محدودیتها نیز قلمداد شوند.



- Andre, F.E. et al. (2008). Vaccination greatly reduces disease, disability, death and inequity worldwide. *Bulletin of the World Health Organization*. 86, 140-6. 10.2471/BLT.07.040089.
- Axelrod, R. M. (1997). *The Complexity of Cooperation: Agent-based Models of Competition and Collaboration*. Princeton, N. J: Princeton University Press.
- Axtell, R. (November 2000). Why agents? On the Varied Motivations for Agent computing in the Social Sciences, Working paper No. 17, *Centre on Social and Economic Dynamics*, Brookings Institution, Washington D.C.
- Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems* (Vol. 213). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Basak, S., Mazumdar, B.D., & Yadav, R. K. (2012). Agent Based Modeling and its Effect in Social Influence: *A Review, International Journal of Computer Science and Technology* (IJCST), 3(1), 323-327.
- Boschetti F., Prokopenko M., Macreadie I., & Grisogono AM. (2005). Defining and Detecting Emergence in Complex Networks. In: R. Khosla, R. J. Howlett & L. C. Jain (Eds.), Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. KES 2005. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol 3684, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Epstein, J. M., & Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom up*. Brookings Institution Press.
- Eslami, M., Rahman, A., & Salehnamadi, M. R. (2015). Impact of Cooperation in form of Charity on Welfare of Agents in Artificial Society. *International Conference on Behavioral Science and Social Studies*, IRIB International Conference Center, 9 March. (In Persian)
- Greenwood, B. (2014). *The contribution of vaccination to global health: Past, present and future*. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 369(1645), 1-9. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/24499041>.
- Khodabakhshi, A., & Rahman, A. (2013). Different Strategies of Experience Transfer among Agents and Comparison of Their Implementation Effects on Social Welfare in Artificial Society. *Journal of Social Research*, 6 (20), 13-37. (In Persian)
- Khodabakhshi, A., Rahman, A., & Rohani, M. (2016). Improvement of Agents Performance in Artificial Society Using Reinforcement Learning. *Journal of Social Research*, 8 (29), 107-125. (In Persian)

- Li, J. and Wilensky, U. (2009). NetLogo Sugarscape 3 Wealth Distribution Model. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Sugarscape-3WealthDistribution>. *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*, Northwestern University, Evanston, IL.
- Mesdaghinia, A. R. (2012). *Vaccination, an Effective Action in Providing Health of Community*. Retrieved March 31, 2017, from <http://dolat.ir/detail/214266>. (In Persian)
- *National Institute of Allergy and Infectious Diseases* (U.S.), & *National Cancer Institute* (U.S.) (2003). Understanding the immune system and how it works. Retrieved December 13, 2017, from web site: [http://psych415.class.uic.edu/Readings/NIH,%20immune\\_system.pdf](http://psych415.class.uic.edu/Readings/NIH,%20immune_system.pdf).
- Rahman A. (2012). Wealth Adjustment Using a No- interest Credit Network in an Artificial Society. *International Journal of AI & Society, Springer* London, Vol. 27, Issue 4, pp 535-541, <http://www.springerlink.com/content/x521412433214436>.
- Rahman A., Setayeshi S., & Shamsaei Zafarghandi M. (2009b). Wealth Adjustment Using a Synergy between Communication, Cooperation, and One Fifth of Wealth Variables in an Artificial Society. *International Journal of AI & Society*, Springer London, Vol. 24, Issue 2, pp 151-164, <http://link.springer.com/article/10.1007/s00146-008-0186-x>
- Rahman, A., & Setayeshi, S. (2007). The Role of Wealth Distribution, Inheritance and Population Control in Social Welfare: Simulation of Social Welfare in Artificial Society. *Journal of Social Welfare*, 7 (26), 183-200. (In Persian)
- Rahman, A., Setayeshi S., & Shamsaei Zafargandi, M. (2009a). Wealth Adjustment in an Artificial Society Based on a Sugarscape Model Using One Fifth of the Wealth Variable. *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(1), 35-40.
- Rahman, A., Setayeshi, S., & Shamsaei Zafarghandi, M. (2008). Health Monitoring in Artificial Life on Contagious Diseases and Pollution. *Journal of Health Administration*, 11 (31), 27-38. (In Persian)
- Rao, N., Mobius, M.M., & Rosenblat, T. (2007). *Social Networks and Vaccination Decisions*. Federal Reserve Bank of Boston, Working Paper No. 07-12.
- Sanders, J. W., & Smith, G. (2012). Emergence and Refinement. *Formal Aspects of Computing*, 24(1), 45-65.

- Schelling, T. C. (1971). Dynamic Models of Segregation. *Journal of mathematical sociology*, 1(2), 143-186.
- Weiss, G. (1999). *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT press. Cambridge, Massachusetts, USA.
- Wikipedia contributors. (2018, August 5). Gini coefficient. In Wikipedia, *The Free Encyclopedia*. Retrieved 13:52, August 26, 2018, from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Gini\\_coefficient&oldid=853581478](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Gini_coefficient&oldid=853581478)
- Wilensky, U. (1998a). *NetLogo Wealth Distribution Model*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/WealthDistribution>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Wilensky, U. (1998b). *NetLogo Virus Model*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Virus>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Wilensky, U. (1999). *NetLogo* <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Wilensky, U. (2006). *NetLogo HubNet Disease Doctors HubNet Model*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/HubNetDiseaseDoctorsHubNet>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- *World Health Organization* (2013). Vaccine safety basics learning manual (Translated by Zahraei, M., Mahmoodi, S., Hodaei, P., Vaziriyani P., & Abdoli yaghini, F. (in 2016)). Tehran: Tandis Publishing. (In Persian)
- Yang, C. & Wilensky, U. (2011). *NetLogo epiDEM Basic Model*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/epiDEMBasic>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Yorke, J. A., Nathanson, N., Pianigiani, G., & Martin, J. (1979). Seasonality and the Requirements for Perpetuation and Eradication of Viruses in Populations. *American Journal of Epidemiology*, 109(2), 103-123.