

پایش سلامت در حیات مصنوعی در حوزه‌های بیماری‌های واگیر و آلودگی

آرش رحمان^۱ / سعید ستایشی^۲ / مجتبی شمسائی زفرقندی^۳

چکیده

مقدمه: پیچیدگی ذاتی جامعه بشری، همراه با کاهش امکان انجام آزمایش در بیشتر محدودده‌های علوم اجتماعی و بهداشتی منجر به آن شده است که محققان به استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری و به کارگیری مدل‌های مصنوعی در مطالعه جنبه‌های ضروری متفاوت موجود در این علوم روی بیاورند. طراحی مدل‌های مصنوعی مبتنی بر اطلاعات محیط‌های واقعی و تحلیل و شناسائی؛ و سپس بازخوانی نتایج حاصله و بکارگیری شان در محیط واقعی جهت تصحیح رفتارهای پیچیده‌انگیزه مناسب و بجایی بود که توانست چرخ پژوهش را به حرکت درآورد و آن را فعال سازد. در این پژوهش یافتن یک راه حل برای شناسایی، تحلیل و بهینه‌سازی فرایند در نظام‌های پیچیده بهداشتی درمانی هدف گذاری شده و در همین راستا مدل‌هایی برای پایش سلامت در حیات مصنوعی در حوزه بیماری‌های واگیر و آلودگی ارائه شده است.

روش بررسی: نوع روش تحقیق بنیادی، شبیه‌سازی و کاربردی (منبع از هوش مصنوعی) است و روش گردآوری اطلاعات میدانی، کتابخانه‌ای و محاسباتی ست. جامعه مورد مطالعه مصنوعی (لابراتوار کامپیوتری)، شامل عامل‌های محاسباتی هوشمند و ابزار استفاده شده به منظور شبیه‌سازی (مدلسازی) و تحلیل، نرم افزار NetLogo است. **یافته‌ها:** نتایج نشان می‌دهد که افزایش و انتشار آلودگی و فقدان مراقبت بهداشتی در محیط باعث کاهش رفاه عامل‌ها و تداوم آن، باعث افزایش تدریجی تعداد مرگ و میر عامل‌ها می‌شود، ضمن آنکه نبود سیاستگذاری صحیح در بخش درمان می‌تواند منجر به همه گیر شدن بیماری و ائتلاف منابع شود. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که مدلسازی مبتنی بر عامل در حیات مصنوعی روشی کارآمد و راه حلی راه‌گشا در نظام سلامت می‌باشد.

نتیجه گیری: نیاز به استفاده از مدل‌های حقیقی در حیات مصنوعی و گسترش و توسعه آنها در جهت تصمیم‌گیری، تحلیل و بهینه‌سازی بهتر مسایل و فرایندهای سلامت در حیات واقعی مشاهده می‌شود که در صورت وقوع می‌تواند حلال برخی از مسائل و معضلات موجود در نظام سلامت کشور باشد و در جهت ارتقاء و توسعه آن به کار گرفته شود.

کلید واژه‌ها: پایش سلامت، توزیع بیماری، انتشار آلودگی، حیات مصنوعی، جامعه مصنوعی، مدل فضای قندی، ایدن، اچ‌ای وی

◇ وصول مقاله: ۸۶/۹/۲۷، اصلاح نهایی: ۸۶/۱۱/۹، پذیرش مقاله: ۸۶/۲/۱۷

مقدمه

شبیه‌سازی یک روش تحقیقاتی بدیع در بسیاری از حوزه‌های علمی نظیر علوم بهداشتی، جامعه‌شناسی، علوم سیاسی، اقتصاد، انسان‌شناسی و جغرافیا است. این روش اجازه می‌دهد تا در حیات مصنوعی که از عامل‌های محاسباتی تشکیل شده، آزمایشاتی تحت شرایط آزمایشگاهی و با مشخصات مختلف انجام گرفته و در نهایت نتایج، مشاهده و اندازه‌گیری شود. هدف اصلی رویکرد جامعه‌مصنوعی، شبیه‌سازی جامعه بشری و مطالعه پدیده‌های به هم پیوسته اجتماعی است. در این رویکرد، ساختارهای بنیادین اجتماعی و رفتارهای گروهی از تعاملات زمانی - محیطی (Spatio-temporal) ما بین عامل‌ها و مابین عامل‌ها و محیط مصنوعی هویدا می‌گردد. هر دوی عامل‌ها و محیط دارای قوانین تکاملی محلی هستند که از طریق مجموعه قابل تغییر و متفاوت از پارامترها تعریف می‌گردد. [۱، ۲]

در جامعه مصنوعی، هدف مقوله انتخاب یک مجموعه کافی از پارامترها در جهت دست یافتن به رفتارهای پیدایشی (Emergent Behavior) پویا و از پیش تعریف شده در شبیه‌سازی‌ها است. [۱، ۲] یک نمونه از جوامع مصنوعی که از آن در این مقاله استفاده شده، مدل فضای قندی (Sugarscape) است که به وسیله اپستین (Epstein) و اکستل (Axtel) ارائه شده است. [۲] این مدل اساساً شامل یک فضای سلولی (Cellular Landscape)، منابع و جمعیتی از عامل‌ها است که برای بقا نشان به منابع نیاز مندند و برای دست‌یابی به آن جستجو و حرکت می‌کنند.

از آنجایی که بحث سلامت دارای پیچیدگی‌های زیادی است (دارای ابعاد، پارامترها، فعل و انفعالات و تعاملات، سیاست‌ها و قوانین)، می‌تواند به عنوان یک سیستم پیچیده (Complex) اجتماعی [۳] مطرح گردد. مدل فضای قندی نیز می‌تواند به عنوان مدل کاملی از مدل‌های مطرح در جامعه مصنوعی که تا کنون عرضه شده است و به عنوان نزدیکترین مدل به جهان بشری، به عنوان یک راه‌حل راه‌گشا (و حلال برخی از مسائل و معضلات موجود در نظام سلامت) در نظام سلامت کشور و در جهت توسعه آن به کار رود.

این پژوهش بر اساس آموزه‌های مطروحه از مباحث موجود در دینامیک سیستم‌های پیچیده و هوش مصنوعی که در دوره‌های دکتری مهندسی کامپیوتر، هسته‌ای و فیزیک مطرح است، حادث شده است و به جهت مبانی تئوری و دسترسی به منابع و مستندات علمی از طریق دانشگاه MIT و مراکز و مؤسسات وابسته تغذیه می‌شود.

تلاش‌هایی که بر روی فضای قندی صورت گرفته است، قسمتی از پروژه سال ۲۰۵۰ کشور ایالات متحده آمریکا است که به صورت شراکتی از طرف سه مؤسسه Brookings، Santa Fe و World Resource برای شناسایی شرایط قابل تحمل توسعه در یک مقیاس عمومی در حال انجام است.

مقوله‌های متنوع اجتماعی و اقتصادی نظیر تولید مثل، مهاجرت [۲]، آلودگی [۴، ۲]، جنگ، فرهنگ، دادوستد [۲]، بیماری [۶، ۵] و رفاه [۷-۱۰] در این فضا قابل بررسی، تحلیل و بهینه‌سازی است. در یک تجربه صورت گرفته رفاه اجتماعی و توزیع ثروت در این فضا مدل و سپس تحلیل و بهینه‌سازی شدند. [۷-۱۰] در تجربه دیگری مدل‌های گسترش بیماری در این فضا مطرح و مقوله سلامت مصنوعی مورد توجه قرار گرفت [۶، ۵] و در کار مشابه مدل‌های تخریب سلامت و انتشار آلودگی در فضای قندی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. [۴]

الف- حیات مصنوعی، جامعه مصنوعی و مدل فضای قندی
واژه مصنوعی در عبارت حیات مصنوعی بر این امر تأکید دارد؛ سیستمی که در نهایت تولید می‌شود، ساخته دست بشر بوده و توسط طبیعت در خلال تکامل بوجود نیامده است. در چنین حیاتی، تکامل محور پژوهش بوده و حیات توسط تئوری تکامل تبیین می‌شود. در این چرخه در آغاز عوامل با ویژگی‌های معمولی تولید و با زندگی در محیط مصنوعی تحت تأثیر تکامل محیط رشد کرده و مصرف انرژی را در محیط بهینه می‌کنند. [۱۰-۱]

زیر مجموعه‌ای از حیات مصنوعی که در آن بیشتر مسائل پیچیده موجود در جوامع مورد بحث قرار گرفته و مبتنی بر عامل‌فرآیندهای اجتماعی است، جامعه مصنوعی نامیده می‌شود. [۱۵-۴، ۲-۱] در این روش ساختارهای بنیادین

به عبارت دیگر مدل فضای قندی را می توان یک اتوماتای سلولی دو بعدی در نظر گرفت که هر نقطه از آن مختصات (x, y) را به خود اختصاص می دهد. این فضا توسط یک برنامه کامپیوتری توزیع سطح قند و ظرفیت قندی مکان های فضا مشخص می گردد. این فضا در برگیرنده عوامل و منابع انرژی است و می تواند چون یک آرایه 50×50 که در آن عامل ها فعالیت می کنند در نظر گرفته شود. با توجه به تعریف آرایه ای از فضا، می توان گفت: که عنصر پایه ای محیط (فضا) "سلول" است و هر فضا از تعداد 50×50 سلول تشکیل شده است، قوانین بر روی آن اعمال می شود و اجازه می دهد عامل ها آن را اشغال کنند. در سلول علاوه بر قند عامل های دیگری هم می تواند وجود داشته باشد. مقدار قند درون سلول می تواند مطابق نرخ رشد از قبل تعریف شده، رشد کند و هر عامل می تواند برای یافتن قند آن را جستجو نموده و یا در آن تولید نماید. [۲]

ب- سیستم ایمنی عامل ها در حیات مصنوعی

عامل ها سیستم های ایمنی متفاوتی را دارا هستند. در مدل سازی هر عامل با یک سیستم ایمنی مشخص که قابل تطبیق برای مقابله با بیماری است، متولد می شود. سیستم های ایمنی به لحاظ ژنتیکی از اولیاء عامل در زمان تولد انتقال می یابند، به طوری که از نوع پدیده (Phenotype) ایمنی اولیاء متمایز شده اند. سیستم های ایمنی عامل سعی می کنند که بیماری ها را کد کرده و نسبت به آنها ایمن شوند. [۲]

رویکرد مبتنی بر عامل اجازه می دهد که بیماری هاروی جامعه بشری بچرخند و بر روی سیستم ایمنی عامل ها تأثیر بگذارند. در مدل سازی، برای هر عامل، یک مدل سیستم ایمنی در نظر گرفته می شود. سیستم ایمنی با رشته هایی از صفرها و یک ها شبیه سازی می شود. [۲]

هر عامل با یک سیستم ایمنی که شامل رشته ای (دودویی) از صفرها و یک ها است متولد می شود. یک بیماری، نیز یک رشته از صفرها و یک ها است: بیماری ها ممکن است دارای طول های متفاوت باشند، اما همیشه کوتاه تر از سیستم های ایمنی اند. سیستم ایمنی 001110111

اجتماعی و رفتارهای گروهی در اثر تعامل عامل های فعال با محیط و با یکدیگر تحت قوانین خاصی که بر روی اطلاعات و قابلیت های محاسباتی هر عامل تأثیر می گذارد به وجود می آید. جامعه مصنوعی مدلی است کامپیوتری، شامل جمعیتی از عامل های مستقل که دارای محیط مجزایی بوده و در آن عامل ها زندگی می کنند. عامل ها اشخاصی مصنوعی هستند که در جامعه شبیه سازی شده اند. هر عامل خصوصیات ژنتیکی را دارا می باشد که از طرف والدین به او به ارث رسیده و در زندگی اش پایدار شده است. [۱۵-۴، ۲-۱]

بنابر تعریف عناصر اصلی در جامعه مصنوعی مبتنی بر فضای قندی عبارتند از: الف) عوامل (ب) قوانین (ج) محیط یا فضا (د) قند (منبع). این عناصر ذیلاً به طور خلاصه اشاره می شوند: [۲]

الف) عوامل (Agents): به اجزایی که در این فضا زندگی می کنند، گفته می شود و شامل: افراد، جمعیت محیط و یا نهادهایی هستند که رفتارهای انسانی را (حتی به صورت جزئی) شبیه سازی می کنند.

ب) قوانین (Rules): برای این نهادها (عامل ها)، قوانین و یا حالتی برای زندگی و بقاء در محیط وجود دارد. قوانین رفتاری عامل در محیط قندی متناسب با نیازها می تواند دستخوش تغییر شود.

ج) محیط یا فضا (Landscape): در محیط قندی هیچ توپولوژی ثابتی برای محیط وجود ندارد، اما می توان یک شبکه دو بعدی (اتوماتای سلولی دو بعدی) از یک اندازه را تعریف نمود. به عبارت دیگر محیط در فضای قندی می تواند به شکل جدولی در نظر گرفته شود که در هر خانه آن قند، عامل، و یا هر دو آنها وجود داشته باشند.

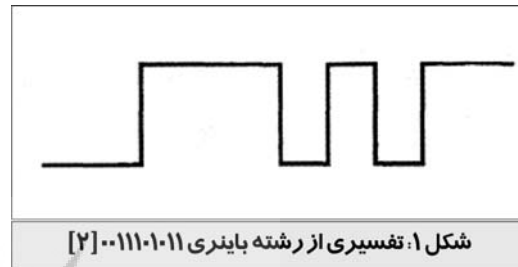
د) قند (دارایی یا منبع) (Sugar): قند یک منبع عمومی شده است که عامل ها بایستی برای بقاء آن را بخورند. منابع قندی، دارایی (ثروت) را مشخص می کند.

در شبیه سازی به وسیله کامپیوتر، این مدل شامل یک اتوماتای سلولی است. یعنی دارای یک توپولوژی ثابت است که تغییر نمی کند. این توپولوژی در قالب بیان زیر تحقق می یابد:

Cellular Automata + Agents + Sugar + Rules = مدل فضای قندی

در شکل ۱ نمایش داده شده است.

در مدلسازی، عکس‌العمل ایمنی فرآیندی است که به موجب آن، سیستم ایمنی سعی می‌کند تا خودش را به لحاظ محلی برای این که با هر بیماری که با آن مواجه می‌شود تطبیق دهد، از شکل بیان‌دازد (خودش را دفرمه کند). [۲]



بیماری ای با رشته $D=11001$ را در نظر بگیرید. [۲] فرض شود که یک سیستم ایمنی (I) با بیماری D مواجه شود - از آنجایی که سیستم ایمنی به طور ساده یک ترتیب طولانی از صفرها و یک‌ها است - D می‌تواند یک زیر مجموعه از سیستم ایمنی باشد یا نباشد. اگر باشد، عامل در مقابل بیماری ایمن است و اگر نه، عامل سیستم ایمنی اش را برای یافتن نزدیکترین زیر رشته به D جستجو می‌کند. زیر مجموعه‌ها موافق با D در کمترین موقعیت‌های بیتی - تعداد بیت‌های متفاوت (غیر یکسان) بین دو رشته، فاصله همینگ بین آنها است. بنابراین، سیستم ایمنی (I) خودش را برای یافتن نزدیکترین زیر رشته به D در فاصله همینگ جستجو می‌کند. اگر بیشتر از یکی از اینگونه رشته‌ها وجود داشت، آن‌گاه اولین رشته‌ای که با آن مواجه شود، انتخاب می‌شود (از چپ به راست انتخاب صورت می‌گیرد). سپس در هر دوره زمانی، یک بیت از این زیر رشته موافق با D تغییر می‌کند، تا زمانی که D منطبق شود. فرض شود که این فرآیند یادگیری یا کد کردن، ۵ دوره زمانی طول بکشد. در این مدت، عامل به D آلوده شده است. در این حالت او می‌تواند D را به همسایگان خود انتقال دهد (آن‌ها را آلوده کند).

در صورت ابتلای یک عامل به بیماری افزایش مقدار سوخت و سازش طبیعی بنظر می‌رسد و توجه پزشکی دارد (برای مثال، برخی از ویروس‌ها با وارد شدن به عامل،

تشکیلات و دستگاه‌های مورد نیاز برای ساختن پروتئین‌ها را از کار می‌اندازند). بنابراین بیماری‌های دیجیتالی، نرخ سوخت و ساز را در میزبانانشان افزایش می‌دهند (تب‌ها مصرف کالری را در بدن انسان افزایش می‌دهند و زمانی که انسان مریض می‌باشد، گرم‌شدگی و برانگیختگی بدنش بیشتر است). ممکن است که علائم بیشتری از یک بیماری در یک عامل بروز کند، برای مثال، سطح دید عامل هنگامی که به عفونت دچار می‌شود، کاهش یابد. یا فعالیت‌های جنسی نرمال آنها قطع و یا کم‌گردد و یا در آن وقفه ایجاد شود. بیماری‌های مختلف، اثرات سوء متفاوتی را دارا هستند. واضح است که اگر در مجموع، فقط متابولیسم و سطح دید متأثر شوند، رفتار عامل تغییر خواهد کرد. [۲]

ج- عکس‌العمل ایمنی در حیات مصنوعی

سیستم ایمنی با طول ده، $I=1001011101$ و بیماری $D=11001$ را در نظر بگیرید. [۲] توجه شود که بیماری با هیچ زیر رشته‌ای از I مطابقت ندارد. فرض نمائید که عاملی با سیستم ایمنی I در یک ارتباط تعاملی با عاملی دیگر که مبتلا به این بیماری است، D را بپذیرد (در این صورت متابولیسم عامل بیمار شده جدید ممکن است تماماً یک واحد بالا رود). در این صورت بایستی جستجو در I برای یافتن نزدیکترین تطابق آغاز شود. برای این کار D با ۵ رقم از I با شروع از موقعیت ۱ مقایسه می‌شود. نتیجتاً عدم موافقت در موقعیت یک (با فاصله همینگ یک) مشاهده می‌شود، سپس D با پنج رقم از I با شروع از موقعیت ۲ مقایسه می‌شود. در این مقایسه فاصله همینگ ۴ مشاهده می‌گردد. به همین ترتیب مقایسه مطابق با جدول ۱ صورت می‌پذیرد. در این جدول مشاهده می‌شود که اولین ۵ بیت I (شروع در موقعیت یک) بهترین زیر رشته برای مطابقت با D است. چراکه سیستم ایمنی فقط در یک بیت تغییر می‌کند (بیت موقعیت سوم که صفر می‌شود)، بدین ترتیب یادگیری D فقط یک دوره زمانی طول می‌کشد و فقط متابولیسم عامل یک واحد بالا می‌رود. در این صورت عامل مبتلا شده به این بیماری می‌تواند این بیماری را به همسایگانش انتقال دهد (عبور دهد). پس از کد شدن I برای بیماری D، سیستم ایمنی تبدیل به $I=1001011101$ می‌شود.

جدول ۱: عدم تطابق اولیه میان سیستم ایمنی ۱۰۱۱۰۱۰۱ و بیماری ۱۰۱۱ [۲]

فاصله همینگ	سیستم ایمنی	موقعیت شروع
۱ (۱۲۸۶)	۱ ۰ ۱ ۱ ۱ ۰ ۱ ۰ ۰ ۱	۱
۴	۱ ۱ ۰ ۰ ۱ ۰ ۱ ۰ ۰ ۱	۲
۳	۱ ۱ ۰ ۰ ۱ ۰ ۱ ۰ ۰ ۱	۳
۲	۱ ۱ ۰ ۰ ۱ ۰ ۱ ۰ ۰ ۱	۴
۳	۱ ۰ ۰ ۱ ۱ ۰ ۱ ۰ ۰ ۱	۵
۳	۱ ۰ ۰ ۱ ۱ ۰ ۱ ۰ ۰ ۱	۶

قانون انتقال بیماری عامل: برای هر همسایه، یک بیماری که در حال حاضر عاملی را مبتلا کرده است، به صورت تصادفی انتخاب و به آن همسایه داده می شود.

با توجه به این که در هر زمان ممکن است بیماری های زیادی در اطراف عامل ها وجود داشته باشد. در مدلسازی حالتی در نظر گرفته می شود که عاملی که مبتلا به سه بیماری است به کنار عاملی سالم حرکت کند. در این صورت یکی از بیماری ها به صورت تصادفی برای انتقال به عامل سالم انتخاب می شود. در این حالت قانون عکس العمل ایمنی فعال می گردد؛ اگر سیستم ایمنی عامل سالم بتواند یک زیر رشته منطبق با بیماری را پیدا کند، آن گاه به بیماری مبتلا نمی شود، در غیر این صورت سیستم ایمنی این عامل نزدیکترین زیر رشته به بیماری را در فاصله همینگ پیدا کرده و تغییر بیت ها اعمال می گردد. پس از آن عامل مبتلا شده به بیماری، خصیصه افزایش سوخت و ساز را از بیماری تحمل می کند (و از آن رنج می برد). هر بیماری خصیصه سوخت و سازی مربوط به خودش را داراست.

در یادگیری یک بیماری خاص، این مسئله ممکن است اتفاق بیافتد که سیستم ایمنی، بیماری های دیگری را که قبلاً در مورد آنها ایمن شده بود را از یاد ببرد. بدین ترتیب عامل ها ممکن است بارها دچار بیماری مشابه ای شوند. برای مثال، هیچ سیستم ایمنی با طول سه نمی تواند همزمان برای دو نوع بیماری ۰۰ و ۱۱ کد شود. سیستم ایمنی ای که منطبق با یکی از آنها شود، در مقابل دیگری آسیب پذیر خواهد بود. [۲]

اگر هیچ اتفاقی برای تغییر دادن پنج بیت سیستم ایمنی تربیت شده نیفتد، عامل از بیماری D ایمن خواهد ماند. در این وضعیت سیستم ایمنی تربیت شده (Trained Immune System)، کد شده ای (Coded) برای D دارد که آن را بیاد می آورد.

قانون عکس العمل ایمنی برای وقتی که یک بیماری با یک سیستم ایمنی مواجه می شود، را می توان به صورت زیر تعریف کرد. به گونه ای که در هر پریود زمانی اعمال گردد: [۲]

قانون عکس العمل ایمنی عامل:

- اگر بیماری یک رشته از سیستم ایمنی است، کار خاتمه می یابد (عامل ایمن است). در غیر این صورت قدم بعدی اجرا می گردد.

- زیر رشته ای از سیستم ایمنی عامل که کمترین فاصله همینگ را از بیماری دارد و اولین زیر رشته است انتخاب شود و در آن بیت های متفاوت با رشته بیماری تغییر داده شود تا با بیماری مطابقت کند.

د- انتقال بیماری در جامعه مصنوعی

بشر ممکن است به بیماری از طریق ارتباط با مردمان دیگر و یا از طریق ارتباط با ناقلان بیماری (از قبیل حشرات و حیوانات) مبتلا شود. فرض شود که فقط یک دسته از عامل ها بر روی محیط مصنوعی وجود دارند. بنابراین بیماری ها می توانند به عامل های همسایه انتقال یابند. قانون انتقال بیماری که به وسیله تمامی عامل های بیمار (مبتلا به حداقل یک بیماری) اجرا می شود به شرح ذیل است: [۲]

روش بررسی

اندازه‌گیری و مشاهده و تحلیل آن می‌توان متناسب با دست آوردهای حاصله، مدل مورد نظر را بهینه نمود. پارامترهای این مدل عبارتند از: تعداد جمعیت اولیه عامل‌های مستعد، تعداد اشخاص بیمار در جامعه، شانس ابتلای عامل‌ها به بیماری (با توجه به نوع و خطر بیماری و شرایط و امکانات محیطی، در هر منطقه می‌تواند محاسبه و تعیین و در مدل منظور شود- برای همه عامل‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود)، تعداد ارائه دهندگان مراقبت‌های بهداشتی. جمعیت اولیه از عامل‌های مستعد به بیماری و عامل‌های ارائه دهنده مراقبت‌های بهداشتی به طور تصادفی در محیط آزمایش توزیع می‌شوند. آزمایش‌های ذیل [۶]، تجربیاتی است از عملکرد جمعیت در جامعه مصنوعی، تا از طریق آنها بتوان نگاهی عینی و قابل قبول از رفتار عوامل در جامعه را به دست آورد:

-آزمایش اول: در این آزمایش، تعداد جمعیت اولیه (عامل‌های مستعد برای ابتلا به بیماری) در محیط ۱۰۰ نفر در نظر گرفته شد که به طور تصادفی در محیط توزیع شدند. شانس ابتلا به بیماری با توجه به نوع و امکانات محیط، برای همه عامل‌ها یکسان و مقدار ۵ درصد در نظر گرفته شد، تعداد اشخاص بیمار در جامعه ۵ نفر و تعداد عامل‌های ارائه دهنده مراقبت‌های بهداشتی هم ۵ نفر منظور شد. هدف از این آزمایش اثبات این نکته است که عدم سیاست‌گذاری صحیح در بخش درمان می‌تواند منجر به همه‌گیر شدن بیماری و اتلاف منابع گردد.

یافته‌های آزمایش اول: با اجرای مدل پس از گذشت ۳۳۰ دوره زمانی، تعداد مبتلایان به بیماری به ۳۳ عامل رسید. تا این مرحله رشد افزایشی در مبتلایان به بیماری دیده شد، علت همه‌گیر شدن (اپیدمی) سریع بیماری و عدم شناخت کافی افراد و مکان‌های حرکت آنها توسط ارائه دهندگان مراقبت‌های بهداشتی بود. بعد از این مرحله نوسانات افزایشی و کاهش‌ی در تعداد عامل‌های بیمار مشاهده شد، به طوری که در ۲۰۰۰ مین دوره زمانی مشاهده شد که بیش از ۵۰ درصد از عامل‌ها به بیماری مبتلا شده‌اند و این نشان دهنده ناکارآمدی سیستم مراقبت بهداشتی در درمان عامل‌های بیمار و جلوگیری از همه‌گیر شدن بیماری در محیط بود. اگر این چنین روندی ادامه داشت به تدریج تمامی عامل‌ها به بیماری دچار می‌شدند. با

در مدل فضای فکندی برای تحلیل و بررسی هر کدام از سیستم‌های اجتماعی نظیر رفاه اجتماعی، آلودگی، سلامت، فرآیند بیماری‌ها و... نیاز به ایجاد برنامه‌های نرم‌افزاری و ساختن مدل‌های کامپیوتری با تکیه بر روش‌های خودکار منبعت از هوش مصنوعی است. این برنامه‌ها بایستی به گونه‌ای ایجاد گردند که اولاً، تمامی شرایط و قوانین و خصوصیات مورد نیاز به درستی مطابق با واقعیت‌های دنیای واقعی در آن لحاظ و تعریف گردند، و دوماً، برنامه‌ها بایستی به گونه‌ای باشند که پارامترهای مورد نیاز در آنها قابل تغییر بوده تا بدین طریق بتوان با تغییر پارامترها و شرایط، در جهت بررسی، تحلیل و بهینه‌سازی آنها اقدام به آزمایش نمود. در یک کلام، در محیط مصنوعی ابتدا بایستی به دنبال تعریف واضح از سیستم و تعیین مشخصات آن بود. آن‌گاه مطابق با مفروضات در نظر گرفته شده در مدل، حرکت و پویایی عامل‌ها را بر مبنای قوانین و خصوصیات مطرح شده (در چارچوب نظام حیات) ممکن ساخت. به منظور شبیه‌سازی و مدلسازی مدل‌های مطرح‌شده از نرم‌افزار NetLogo [۱۶] استفاده گردیده است و هر کدام از این مدل‌ها در جهت انجام آزمایشات، مشاهدات و ارائه نتایج مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

الف- مدل گسترش بیماری در بین جمعیت

برای مدلسازی گسترش بیماری‌های واگیر از طریق یک جمعیت [۲]، جمعیت به زیر گروه‌هایی تقسیم گردید؛ از قبیل مستعدها (Susceptibles)، عفونت‌زها (Infectives) و خلاص شده‌ها. (Removeds) مستعدها از طریق ارتباط با عفونت‌زها به بیماری دچار شدند. در این حالت جریان بیماری از مستعدها به سمت عفونت‌زها و به سمت عاری شده‌ها از بیماری می‌باشد. بدین ترتیب مدلی عرضه گردیده [۱۷، ۱۶، ۶] که گسترش یک بیماری را از طریق جمعیت در جامعه مصنوعی نشان می‌دهد. در این مدل مراقبت‌های بهداشتی از طریق عامل‌هایی چون پزشکان، پرستاران و سایر ارائه دهندگانی که به دنبال درمان بیماران حرکت می‌کنند، عرضه می‌شود. به کمک این مدل جامعه قادر خواهد بود تا چگونگی همه‌گیر شدن (اپیدمی) یک بیماری و چگونگی خلاص شدن از آن را با تغییر پارامترها بررسی نموده و به یک مدل بهینه در این زمینه دست یابد. با انجام

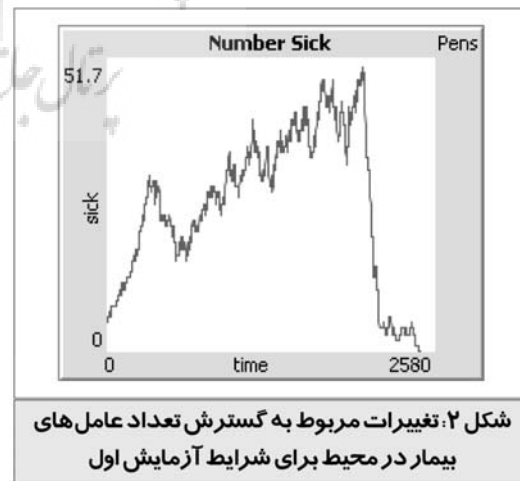
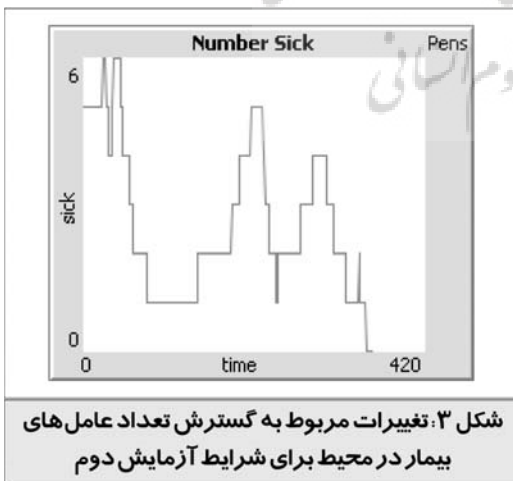
همه عامل‌ها یکسان در نظر گرفته شد. مطابق شرایط آزمایش قبل این شانس ۵ درصد و تعداد اشخاص بیمار در جامعه هم ۵ نفر در نظر گرفته شد. ولی این بار تعداد عامل‌های ارائه دهنده مراقبت‌های بهداشتی ۱۰ نفر فرض شدند. فرض این است که با سیاستگذاری صحیح و تعریف استراتژی کارآمد می‌توان از همه گیر شدن بیماری‌ها و اتلاف منابع جلوگیری نمود.

یافته‌های آزمایش دوم: با اجرای مدل و اندازه‌گیری و ثبت مشاهدات مشخص شد که پس از گذشت ۴۵ دوره زمانی، تعداد مبتلایان به بیماری به ۶ عامل رسید. تا این مرحله رشد افزایشی مبتلایان به بیماری دیده شد، علت آن هم همه گیر شدن (اپیدمی) سریع بیماری و عدم شناخت کافی افراد و مکان‌های حرکت آنها توسط ارائه دهندگان مراقبت‌های بهداشتی بود. ولی در سراسر مدت اجرای مدل دیگر تعداد عامل‌های بیمار از این مقدار تجاوز نکرد. در نهایت نیز پس از عبور ۳۴۰ دوره زمانی محیط از بیماری خلاص شد.

نکته مهم در این شبیه‌سازی این بود که هرگز کنترل بیماری از دست خارج نشد و در نهایت هم بدون انجام تغییر در سیاست‌های اولیه (پارامترهایی که تنظیم شده بود) این امکان فراهم شده تا بر بیماری در محیط غلبه شود. تغییرات مربوط به گسترش تعداد عامل‌های بیمار در محیط در شکل ۳ نشان داده شده است. مدل‌سازی گسترش بیماری‌ها در فضای مصنوعی، می‌تواند حلال برخی از مسائل و معضلات موجود در نظام سلامت کشور بوده و در جهت ارتقاء آن به کار گرفته شود.

تغییر پارامترها در محیط، تعداد ارائه دهندگان مراقبت‌های بهداشتی به ۲۰ رسید (چهار برابر شد). علت افزایش چهار برابری در این تعداد، مواجهه با محیطی بود که تعداد بیماران در آن به شدت افزایش یافته و شرایط در حال خارج شدن از کنترل بود. در این مرحله مشاهده شد که تعداد بیماران به یکباره کاهش یافته و محیط تحت کنترل در آمد، به طوری که در دوره زمانی ۲۲۳۰ فقط ۳ عامل بیمار مشاهده شد. در نهایت در دوره زمانی ۲۴۴۰ محیط از بیماری خلاص شد. تغییرات مربوط به گسترش تعداد عامل‌های بیمار در محیط در شکل ۲ نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود در نهایت خلاصی از بیماری پس از گذشت ۲۴۴۰ دوره زمانی به انجام رسیده است، آن هم در حالتی که برای این خلاصی برخی اتلاف منابع شامل هزینه و زمان صورت گرفته است (اجازه داده شده است که بیماری بر بیش از ۵۰ درصد عامل‌ها غلبه کرده و کنترل را از دست خارج نماید). این در صورتی است که در ابتدا این امکان وجود داشت تا با یک توزیع بهینه‌تر شده منابع در محیط، با صرف منابع و هزینه‌های کمتر، در مدت زمان کمتر خلاصی از بیماری صورت گیرد. برای این کار آزمایش بالا با تغییر پارامترها یک بار دیگر تکرار شد.

- آزمایش دوم: در این مرحله نیز تعداد جمعیت اولیه (عامل‌های مستعد برای ابتلا به بیماری) در محیط همان ۱۰۰ نفر در نظر گرفته شد که به طور تصادفی در محیط توزیع شدند. شانس ابتلا به بیماری با توجه به نوع و امکانات محیط، برای





ب- مدل گسترش بیماری ایدز و ویروس HIV+ مثال شفاف بیماری‌های انتقال پذیر

در این بخش به کمک شبیه سازی مدلی عرضه گردیده [۱۸، ۱۶، ۵] که گسترش ویروس HIV+ و بیماری ایدز را از طریق جمعیت در مدل فضای قندی جامعه مصنوعی نشان می دهد. به کمک این مدل جامعه قادر خواهد بود تا چگونگی همه گیر شدن یک بیماری را با تغییر پارامترها و انجام مشاهدات و اندازه گیری ها بررسی نماید. پارامترهای دخیل در این مدل عبارتند از:

تعداد جمعیت اولیه عامل های مستعد، نرخ رشد مجدد قند (Sugar Growback Rate) در محیط، سطح دید (Vision) عامل در محیط (این پارامتر نشان از میزان آگاهی، خبرگی و توانای دید عامل در به دست آوردن قند از محیط دارد که به صورت تصادفی در بین عامل ها توزیع می شود)، متابولیسم (Metabolism) عامل (در هر پرئود زمانی هر عامل مقداری قند را مصرف می کند که این مقدار متابولیسم اش نامیده می شود)، قند اولیه اعطا شده به عامل، طول عمر عامل، آستانه بارداری (Fertile Range) عامل، رنج مقاربت (Sexy Range) عامل، جنسیت، احتمال سرایت (Infection Probability) ویروس و بیماری، نرخ انتقال ویروس در هنگام تولد از مادر به فرزند (Birth Transmission Rate)، سرعت پیشرفت ایدز (Rate of AIDS Development) در جامعه. جمعیت اولیه از عامل های مستعد برای بیماری و عامل های آلوده به ویروس HIV و ایدز به طور تصادفی در محیط آزمایش توزیع می گردند. آزمایش ذیل [۵]، تجربه ای است از عملکرد جمعیت در جامعه مصنوعی با وجود بیماری، تا از طریق آن بتوان نگاهی عینی و قابل قبول از رفتار عوامل در جامعه را بدست آورد.

-آزمایش: در این آزمایش، تعداد جمعیت اولیه (عامل های مستعد برای ابتلا به بیماری) در محیط ۸۰۰ نفر در نظر گرفته شد که به طور تصادفی بر حسب جنسیت در محیط توزیع شدند. نرخ رشد مجدد قند در محیط ۱ در نظر گرفته شد و سطح دید عامل ها در محیط، نرخ متابولیسم، ذخیره قند اولیه و طول عمر عوامل به ترتیب از بازه های [۱، ۶]، [۱، ۴]، [۱۰۰، ۵۰]، [۱۰۰، ۳۰] به صورت تصادفی در بدو تولد به عامل اعطا شد. آستانه بارداری (در شروع و پایان) به ترتیب برای مرد و زن به

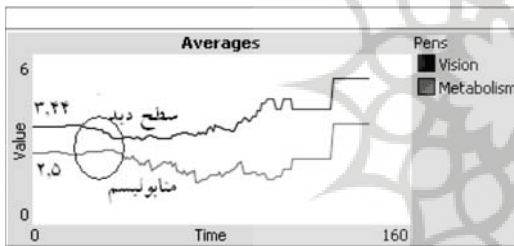
صورت تصادفی از بازه های [۵۰، ۶۰]، [۱۲، ۱۵]، [۴۰، ۵۰]، [۱۲، ۱۵] و آستانه مقاربت عامل (در شروع و پایان) به ترتیب برای مرد و زن به صورت تصادفی از بازه های [۷۰، ۸۰]، [۱۲، ۱۵]، [۸۰، ۹۰] [۱۲، ۱۵] انتخاب شد. از آن جا که نرخ انتقال مقاربتی حقیقی ویروس HIV و بیماری مشخص نیست و ممکن است از طرف زن و مرد مقدار آن متفاوت باشد (چنانچه به صورت آماری این نرخ مشخص گردد امکان اصلاح آن در مدل به آسانی وجود دارد)، لذا احتمال سرایت مقاربتی به صورت فرضی برای انتقال ویروس ۷۵ درصد و انتقال بیماری ایدز ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. نرخ انتقال ویروس در هنگام تولد از مادر به فرزند نیز ۲۵ درصد - ۲۰ درصد در نظر گرفته شد (این نرخ ممکن است بالاتر باشد، ولی به هر حال چنانچه به صورت آماری این نرخ مشخص گردد امکان اصلاح آن در مدل به آسانی وجود دارد)، و سرعت پیشرفت بیماری ایدز مطابق با نرخ ۱۰ ساله پیشرفت آن ۸۵ درصد منظور شد. در شروع آزمایش عامل های مرد و زن به صورت تصادفی در محیط توزیع شدند. فرض این است که فقدان مراقبت بهداشتی در محیط می تواند منجر به همه گیر شدن بیماری و مرگ و میر عامل ها گردد.

یافته‌ها

پس از اجرای آزمایش به تدریج ویروس (عامل های دارای ویروس HIV) و بیماری (عامل های مبتلا به ایدز) در محیط هویدا شد. همچنین در این مرحله حرکت پویا و پیدایشی جمعیت برای دستیابی به قند به طرف قله های قندی که حداکثر مقدار قند را دارند مشاهده گردید. به تدریج عامل ها در گیر زادو ولد شدند و بدین ترتیب عامل هایی که تازه متولد شدند در محیط هویدا شدند، از طرفی تجمع عامل ها بر روی قله های قندی افزایش یافت، این در حالی است که بیماری در محیط گسترش یافت و برخی از عامل ها به تدریج مردند. مرگ عامل ها به سه دلیل در محیط اتفاق افتاد:

۱. به دلیل افزایش متابولیسم و کاهش سطح دید ناشی از سرایت بیماری
۲. به دلیل گرسنگی ناشی از عدم دستیابی به قند کافی در محیط.
۳. به دلیل رسیدن به سن پیری و اتمام عمر.

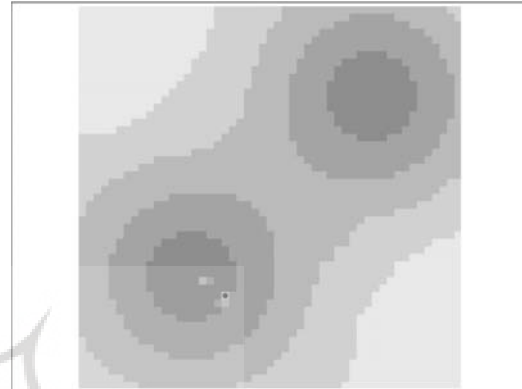
شکل ۶ تغییرات مربوط به گسترش تعداد عامل های دارای (فقط) ویروس HIV (این نمودار شامل فقط عامل هایی است که دارای ویروس HIV بوده ولی به ایدز مبتلا نشده اند)، مبتلا به بیماری ایدز (منحنی سیاه - این نمودار شامل عامل های دارای ویروس HIV و مبتلا به بیماری ایدز است) و عامل های سالم (منحنی سبز) در محیط را نشان می دهد. همان طور که در شکل مشخص است منحنی سبز رنگ که مربوط به عامل های سالم در محیط است افت شدیدی را در فاصله زمانی ۱۴ تا ۱۰۰ از خود نشان می دهد و این در صورتی است که در همین فاصله زمانی منحنی های سیاه رنگ و قرمز رنگ که به ترتیب مربوط به عامل های مبتلا به ایدز و ویروس HIV هستند رشد افزایشی را از خود نشان می دهند. در نهایت نیز تمامی منحنی ها به لحاظ جمعیتی به صفر می رسند. [۵]



شکل ۶: تغییرات مربوط به میانگین متابولیسم (منحنی قرمز) و سطح دید (منحنی سیاه)

ج- مدل تخریب سلامت ناشی از انتشار آلودگی در فضای قندی عامل ها به صورت غیر مستقیم با یکدیگر تعامل دارند. [۲، ۴] آنچه مسلم است عامل ها بر مبنای آنچه خودشان پیدا می کنند (از منابع قند در محیط محلیشان) و آنچه آنها در نتیجه فعالیت عامل های دیگر پیدا می کنند (وقتی که فعالیت یک عامل منجر به رفاه (ثروت یا دارایی قندی) عامل دیگر می شود)، جابه جا می شوند. بنابراین این گونه تعاملات غیر مستقیم عامل ها منجر به پیامد بیرونی (Externality) می گردد. پیامد بیرونی می تواند مثبت و یا منفی باشد، آلودگی یک مثال از نوع منفی آن است. آلودگی، محیطی را که در آن عامل ها زندگی می کنند را فاسد و بدین ترتیب رفاه عامل های دیگر را کاهش می دهد.

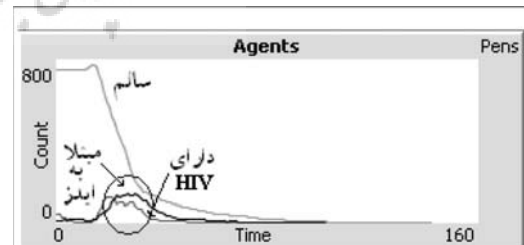
بنابراین به تدریج برخی از عامل هایی که توانسته بودند از خطر بیماری مصون بمانند و به سن پیری رسیدند، به دلیل اتمام عمرشان مردند. از طرفی سرایت بیماری و فقدان مراقبت های بهداشتی باعث شد که محیط عاری از جمعیت گردد (شکل ۴).



شکل ۴: سرایت بیماری و فقدان مراقبت های بهداشتی باعث گردیده که محیط عاری از جمعیت گردد

(قله های قندی عاری از جمعیت در شکل با رنگ خاکستری مشخص شده است)

شکل ۵ تغییرات مربوط به میانگین متابولیسم و سطح دید عامل های موجود در محیط برای شرایط آزمایش را نشان می دهد. همان طور که مشخص است میانگین این مقادیر در ابتدا دارای کاهش است که دلیل آن افزایش عامل های بیمار در محیط است. بیماری باعث می گردد که سطح دید عامل بیمار کاهش یافته و سوخت و سازش افزایش یابد. به تدریج با کاهش جمعیت به دلیل مرگ و میر بالا و رسیدن برخی از عامل هایی که از بیماری در امان مانده اند به سن پیری، منحنی حرکت افزایشی را از خود بروز می دهد. [۵]



شکل ۵: تغییرات مربوط به گسترش تعداد عامل های دارای ویروس HIV (تنها) (منحنی قرمز)، مبتلا به بیماری ایدز (منحنی سیاه) و عامل های سالم (منحنی سبز)



راه‌های متعددی وجود دارد که از طریق آنها آلودگی می‌تواند به محیط قندی اضافه شود. [۲، ۴] ممکن است در اثر جابه‌جایی یک عامل و یا در اثر فعالیت‌های جمع‌آوری عامل، مصرف قند عامل و رشد مجدد قند یا مکانیسم‌های دیگر ایجاد شود. از طرفی امکان دارد انواع زیادی از آلودگی‌ها وجود داشته باشد و هر نوع آلودگی‌ای با یک نرخ متفاوت دیده شود. آلودگی‌ها ممکن است در نرخ‌های متفاوت به مکان‌های دیگر منتقل گردند و یک رشد طبیعی را (با یک نرخ) بتوانند در برداشته باشند.

برای این که آلودگی به عنوان یک پیامد بیرونی منفی مطرح شود بایستی بتواند تأثیر "بد" در عامل‌ها ایجاد نماید. چنین نوع آلودگی‌ای می‌تواند وارد بدن عامل‌ها شود و دیدشان و یا صحبت کردنشان را خراب کند (سطح دیدشان را کاهش دهد) و یا متابولیسم آنها را افزایش دهد. به عبارت دیگر ممکن است مریضشان کند. آلودگی منفی ممکن است یک خوشی یا مطبوعیت منفی (مواد مخدر) باشد و یا حتی چیزی که عامل را ناراحت و یا آزرده کند. آنچه مسلم است بایستی تا آنجا که امکان دارد سعی در اجتناب از این نوع آلودگی‌ها شود. در این حالت آلودگی ممکن است یک کالای دومی (علاوه بر قند) باشد که به فضای قندی اضافه می‌شود، یعنی یک بد اقتصادی یا اجتماعی باشد. [۲، ۴]

در شبیه‌سازی انجام گرفته [۲، ۴] شکلی از قانون آلودگی مطرح گردیده که در اثر هر دو فعالیت مصرف و جمع‌آوری قند ایجاد شده و در نسبتی از مقدار قند جمع شده و یا مصرف شده قابل مشاهده است. این نوع آلودگی روی مکان‌هایی که در آن فعالیت‌های جمع‌آوری و یا مصرف قند صورت می‌گیرد، جمع می‌شود. قوانین مطرح در این شبیه‌سازی عبارتند از: [۲]

قانون تشکیل آلودگی $(P_{a,p})$: وقتی که مقدار قند S از فضای قندی جمع‌آوری شود، یک مقداری آلودگی با مقدار αS تولید می‌شود. وقتی که مقدار قند m مصرف می‌شود، یک مقدار آلودگی مصرف با مقدار βm تولید می‌شود. اگر فرض کنیم مجموع آلودگی روی یک مکان در زمان t برابر p^t باشد در این صورت p^t برابر است با مجموع آلودگی نتیجه شده از فعالیت‌های تولید و مصرف به علاوه مجموع آلودگی موجود در آن مکان در زمان قبلی.

$$p^t = p^{t-1} + \alpha S + \beta m$$

قانون حرکت عامل (M) ، در محیط آلوده:

- نگاه کردن به دور، در هر چهار جهت از شبکه، تا آنجا که سطح دید اجازه می‌دهد و شناسایی مکان‌های اشغال شده‌ای که بیشترین مقدار قند به نرخ آلودگی $\left(\frac{S}{1+p}\right)$ را دارند.
- اگر بیشترین مقدار $\left(\frac{S}{1+p}\right)$ در چندین مکان شناسایی شد، نزدیکترین مکان انتخاب شود.
- جابه‌جایی به این مکان و جمع‌آوری تمامی قند موجود از موقعیت جدید.

یکی دیگر از عوامل آلودگی انتقال (Transport) است و ساده‌ترین شکل انتقال هم، انتشار (Diffusion) است. انتشار روی یک شبکه، مانند فضای قندی به عنوان یک پراسیجر میانگین محلی پیاده‌سازی می‌شود. انتشار، انتقال آلودگی از مکان سطح بالا به مکان سطح پائین است.

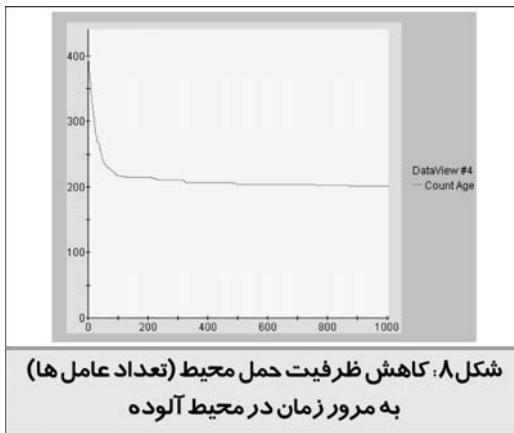
قانون انتشار آلودگی (D_a) : در هر پریود زمانی a و در هر مکان، جریان آلودگی محاسبه می‌شود (میانگین سطح آلودگی برای تمامی مکان‌های همسایگی فون نیومان محاسبه می‌گردد). هر جریان مکانی (میانگین سطح آلودگی محاسبه شده برای هر مکان) سطح آلودگی جدید آن مکان می‌شود. باید توجه کرد که در صورتی که a افزایش یابد، نرخ انتشار آلودگی کاهش می‌یابد، بنابراین D_1 سریع‌ترین امکان انتشار است.

قانون رشد مجدد قند در فضای قند (G_a) : در هر موقعیت از شبکه قندی، قند با نرخ a در هر فاصله زمانی رشد می‌کند و بالا می‌رود تا به ظرفیت آن موقعیت برسد.

پارامترهای مطرح در شبیه‌سازی عبارتند از: سن مرگ، تعداد جمعیت، نرخ متابولیسم، سطح دید، سطح قند در محیط. برای پیاده‌سازی و رؤیت مراتب مورد اشاره، آزمایش ذیل [۲، ۴] می‌تواند منشاء نتیجه باشد.

- **آزمایش**: در این آزمایش تعداد جمعیت اولیه عامل‌ها ۴۰۰ نفر، سطح دید بین ۱ تا ۶، ماکزیمم، نرخ متابولیسم بین ۱ تا ۴ و سطح قند در محیط بین ۰ تا ۴ در نظر گرفته شد و سپس مدل برای ۱۰۰۰ پریود زمانی با فرض $a=1$ به اجرا درآمد.

فرض این است که افزایش و انتشار آلودگی به عنوان یکی از مخرب‌های سلامت در جامعه، باعث کاهش رفاه عامل‌ها در محیط و تداوم آن، باعث افزایش تدریجی تعداد مرگ و میر عامل‌ها (به دلیل افزایش رقابت و گرسنگی) می‌شود.



شکل ۸: کاهش ظرفیت حمل محیط (تعداد عامل ها) به مرور زمان در محیط آلوده

گرسنگی (کمبود غذا) این مناطق را غارت کردند، رقابت افزایش یافت و تعداد زیادی از عامل ها به دلیل گرسنگی مردند. و ظرفیت حمل محیطی عامل ها نیز کاهش یافت (شکل ۸). آنچه مسلم است همان طور که می توان پیامد بیرونی منفی را در فضای قندی در نظر گرفت، نوع مثبت آن را نیز می توان در محیط لحاظ کرد. نوع مثبت آن می تواند عملکرد عامل ها را افزایش دهد. برای مثال عامل ها توجیه شوند که با یکدیگر برای ایجاد دسته های ویژه مرتبط شوند (یا به هم ملحق شوند). البته دو نوع پیامد بیرونی، می توانند در فضای قندی با هم ترکیب شوند؛ به عنوان مثال ممکن است نوع مثبت آن را در ارتباط با تولید (جمع آوری) قند دانست، اما نوع منفی آن را در ارتباط با مصرف (کشورهایی در جهان وجود دارند که میان هر دوی تأثیرات این دو، تعادلی را ایجاد نموده اند) دانست.

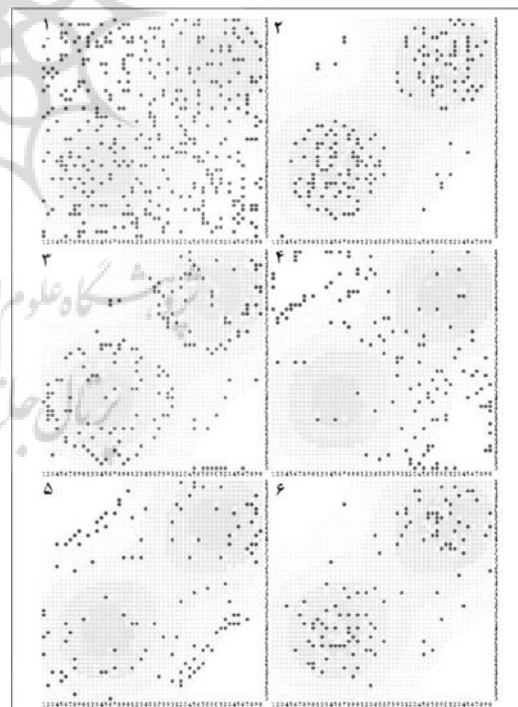
بحث و نتیجه گیری

مدل سازی در حیات مصنوعی و چگونگی انتشار بیماری ها و خلاص شدن از آنها در یک جامعه مصنوعی، آزمایش، بررسی و تحلیل شد و نتیجه گیری شد که با بهینه سازی مدل می توان به استراتژی درستی در مقابله با تهاجم بیماری رسید. ضمن آن که نشان داده شد که چه طور عدم سیاستگذاری صحیح در بخش درمان می تواند منجر به همه گیر شدن بیماری و اتلاف منابع گردد. همچنین با مدلسازی چگونگی انتشار ویروس و بیماری در یک جامعه مصنوعی نشان داده شد که چطور فقدان مراقبت بهداشتی در محیط می تواند منجر به همه گیر شدن بیماری و مرگ و میر عامل ها گردد. نهایتاً، مدلسازی تخریب سلامت ناشی از

یافته ها

شکل ۷ پاسخ عامل ها را به محیط آلوده شده نشان می دهد. فضای قندی بر طبق قانون G_1 رشد مجدد نمود و در زمان $t=50$ آلودگی در محیط رشد نمود (قانون P_{11} به کار رفت). سپس در زمان $t=100$ انتشار شروع شد (قانون D_1 به کار رفت) همان طور که در نمای ۲ از شکل ۷ مشاهده می گردد عامل ها با خوشحالی تپه های قندی را ذخیره کردند. در این مرحله به طور معمول سطح آلودگی پائین بود و رفتار عامل ها بر اساس قانون حرکت در محیط آلوده صورت پذیرفت.

در نهایت سطح آلودگی افزایش یافت و عامل ها به تدریج محل های آلوده را ترک کردند (نمای ۳ از شکل ۷). آنها مجبور به ترک تپه های (Peaks) قندی شدند و به سمت محیط های پیشین خود مهاجرت کردند یعنی به سمت مکان هایی حرکت نمودند که آلودگی در آنها وجود ندارد (نمای ۴ از شکل ۷). در این مرحله همچنین عامل ها از اندوخته های شخصی خود مصرف کردند. سپس دو سناریوی کلی حادث می شد: ۱. عامل ها به دلیل



شکل ۷: مهاجرت عامل ها در یک محیط آلوده شده تحت قانون $\{M, P_{11}\}, \{G_1, D_1\}$ (۲)

۸. رحمان، آرش؛ ستایشی، سعید. تکامل رفتارهای اجتماعی در جامعه مصنوعی. دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن مهندسی کامپیوتر ایران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، اسفند ۱۳۸۵.

۹. رحمان، آرش؛ ستایشی، سعید؛ شمسانی زفرقندی، مجتبی. بهینه‌سازی در سیستم‌های پیچیده با استفاده از اتوماتای سلولی مبتنی بر متد فضای قندی در جامعه مصنوعی. رساله دکتری رشته مهندسی کامپیوتر، تهران: دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات ۱۳۸۶.

10. Rahman A, Setayeshi S, Zafarghandi M.S. An Analysis to wealth distribution based on sugarscape model in an artificial society. *International Journal of Engineering*. 2007;20(3):211-224.

11. Hales D. Tag Based Co-operation in Artificial Societies, Ph.D. Thesis, Department of Computer Science, University of Essex, 2001.

12. Dascalu M, Franti E, Stefan G. Modeling production with artificial societies: the emergence of social structure. in *Proceedings ACRI*, Springer, 1998.

13. Gilbert N, Conte R. Emergence in social simulation. *Artificial Societies London*, UCL Press, 1995.

14. Hales D. Stereotyping, groups and cultural evolution, multi-agent systems and agent-based simulation. *Lecture Notes in Artificial Intelligence 1534*, (e Sichman et al.ed.) Berlin: Springer-Verlag, 1998.

15. Buzzing P. VUSCAPE: communication and cooperation in evolving artificial societies. Master's Thesis, Artificial Intelligence Department of Computer Science, Faculty of Sciences, Vrije University, Amsterdam, The Netherlands, 2003.

16. NetLogo Group. NetLogo 3.1.3 Software. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston/ Chicago, IL, USA, 2006.

17. Wilensky U. NetLogo HubNet disease doctors model, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, Available from: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/HubNetDiseaseDoctors>, 2006.

18. Wiggins A. HIV & AIDS in the sugarscape, available from: <http://www.andreawiggins.com/research/HIV&AIDSsugarscape.html>, 2006.

انتشار آلودگی در حیات مصنوعی نشان داد، که آلودگی به عنوان نتیجه‌ای از تعاملات غیر مستقیم عامل‌ها - پیامد بیرونی منفی - باعث می‌شود که محیطی را که در آن عامل‌ها زندگی می‌کنند، فاسد شود. و در صورت وارد شدن به بدن عامل‌ها سطح دیدشان را کاهش و یا متابولیسم آنها را افزایش دهد. اگرچه نتایج فوق چندان حیرت‌آور نیست، اما نیاز به استفاده از مدل‌های حقیقی در حیات مصنوعی و گسترش و توسعه آنها در جهت تصمیم‌گیری، تحلیل و بهینه‌سازی بهتر مسائل و فرایندهای سلامت در حیات واقعی مشاهده می‌گردد. که در صورت وقوع می‌تواند حلال برخی از مسائل و معضلات موجود در نظام سلامت کشور بوده و در جهت ارتقاء و توسعه آن به کار گرفته شود.

فهرست منابع

1. Baptista D, Torres M, Moreno J A. Evolution of social behavior in simulated societies. *Proceedings World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics SCI'2000*, 2000; Vol X: 5- 12.

2. Epstein J M, Axtell R. Growing artificial societies: social science from the bottom up. Washington DC: Brookings Institution Press, 1996.

3. Bar-Yam Yaneer. Dynamics of complex systems, New England Complex Systems Institute, 1997.

۴. رحمان، آرش؛ ستایشی، سعید. مدل‌سازی تخریب سلامت ناشی از انتشار آلودگی در فضای قندی. پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مرکز تحقیقات مخابرات ایران، تهران، ایران، اردیبهشت ۱۳۸۶.

۵. رحمان، آرش؛ ستایشی، سعید. پیاده‌سازی مدل انتشار بیماری ایدز و ویروس HIV+ در یک جامعه مصنوعی رویکردی محاسباتی برای استقرار سلامت الکترونیکی. اولین کنفرانس بررسی راه‌کارهای توسعه IT در دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران، بهمن ۱۳۸۵.

۶. رحمان، آرش؛ ستایشی، سعید. طراحی مدل ارتقاء سلامت در یک جامعه مصنوعی از طریق بهینه‌سازی مدل گسترش بیماری در بین جمعیت. اولین همایش بین‌المللی تله‌مدیسن و سلامت الکترونیکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران، آبان ۱۳۸۵.

۷. رحمان، آرش؛ ستایشی، سعید. نقش توزیع ثروت، وراثت و کنترل جمعیت در رفاه اجتماعی: شبیه‌سازی رفاه اجتماعی در جامعه مصنوعی.

فصلنامه علمی و پژوهشی رفاه اجتماعی، ۱۳۸۶؛ پانزیم: ۲۶-۲۰۰-۱۸۳.