

## کاربرد تکنیک‌های شبیه‌سازی در علوم اجتماعی (یک بررسی انتقادی)

احمدرضا اصغرپورماسوله (استادیار جامعه‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد)

asgharpour@um.ac.ir

### چکیده

شبیه‌سازی اجتماعی شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌ها و ابزارهاست برای مدل‌کردن پدیده‌های اجتماعی، به گونه‌ای که بتوان آزمون‌ها و آزمایش‌هایی مجازی بر روی آن مدل‌ها انجام داد. اگرچه گسترش امکانات رایانه‌ای تاریخی کوتاه دارد؛ اما ریشه‌های نیاز به شبیه‌سازی در جامعه‌شناسی را می‌توان تا نیمه اول قرن بیستم پی گرفت. در یک تقسیم‌بندی تکنیک‌های شبیه‌سازی اجتماعی را می‌توان در پنج دسته پویایی سیستمی، مدل‌های صف‌بندی، شبیه‌سازی خرد، اتوماتای سلولی و مدل‌های عامل‌محور قرار داد. این پنج تکنیک در دو دسته تکنیک‌های فرآیند‌محور (دو مورد اول) و تکنیک‌های عامل‌محور (سه موردی بعدی) قرار می‌گیرند. از میان تمام این تکنیک‌ها به نظر می‌رسد مدل‌سازی عامل‌محور بیش از همه بر معضلات پیش روی محققان اجتماعی و نیز نیازهای آن‌ها تطابق دارد. در مدل‌سازی عامل‌محور می‌توان برخی از مهم‌ترین دغدغه‌های جامعه‌شناسان؛ مانند ناهمگونی عامل‌ها، تعامل میان عامل‌ها، یادگیری عامل‌ها، تعامل عامل‌ها و محیط و ظهور الگوهای کلان از کنش‌های خرد را به خوبی بررسی کرد.

**کلیدواژه‌ها:** شبیه‌سازی اجتماعی، مدل‌سازی عامل‌محور، شبیه‌سازی خرد، اتوماتای سلولی، مدل‌های صف‌بندی.

### ۱. مقدمه

هدف محقق کسب شناخت از موضوع تحقیق است. محققان، طبیعت و آنچه در جهان بیرون است را از طریق علم می‌شناسند (بیبی، ۲۰۰۸: ۴)؛ بنابراین هر وسیله و ابزاری که به این شناخت کمک کند مطلوب است. دانشمندان در طول زمان ابزارها و استراتژی‌های گوناگونی را برای شناخت

طبیعت ساخته و شناخته‌اند. در جامعه‌شناسی ما با بسیاری از این روش‌ها آشنا هستیم. آمار و تکنیک‌های آن به شناخت طبیعت کمک می‌کنند، تکنیک‌های مردم‌شناسی و پدیدارشناسی هم در خدمت شناخت جهان بیرون هستند.

برخی از تکنیک‌های مورد استفاده در جامعه‌شناسی پیچیدگی ابزاری یا به بیان بهتر پیچیدگی فناوری زیادی ندارند؛ مانند مصاحبه یا مشاهده مشارکتی. البته منظور این نیست که این تکنیک‌ها ساده هستند و جزئیاتی ندارد؛ بلکه می‌گوییم پیشرفت‌های فنی نقش زیادی در این تکنیک‌ها نداشته‌اند؛ اما برخی دیگر از تکنیک‌ها وابستگی زیادی به پیشرفت‌های فنی دارند؛ مانند تکنیک‌های آماری و همچنین شبیه‌سازی اجتماعی. پیشرفت‌های فنی این امکان را فراهم کرده است که با شیوه‌های جدیدی به بررسی پدیده‌های اجتماعی پردازیم و پنجره‌های جدیدی را به روی محققان گشوده است (اپستین و اکستل ۱۹۹۶؛ گیلبرت و ابوت ۲۰۰۵).

منظور از شبیه‌سازی در نگاه اول روشن است. شبیه‌سازی؛ یعنی بازآفرینی یک پدیده در مقیاسی کوچک‌تر یا در فضای مجازی یا با عناصر غیر واقعی. آنچه در شبیه‌سازی ساخته‌ایم واقعی نیست؛ اما بسیار به آن شبیه است، حداقل از جنبه‌هایی که برای ما مهم است به واقعیت شبیه است؛ ولی از جنبه‌هایی که مهم نیست به واقعیت شباهت ندارد؛ مثلاً برای آموزش خلبانان از دستگاه‌های شبیه‌ساز استفاده می‌شود؛ زیرا خلبان یک هواپیمای واقعی، دیگر فرصتی برای آزمون و خطا ندارد. بازی‌های رایانه‌ای در فضای مجازی دنیای بزرگی را می‌سازند که بسیار هیجان‌انگیز است و تا جایی که امکان دارد تمام عناصر جذاب واقعیت را دارد و البته محدودیت‌های واقعیت را هم ندارد. افراد عادی در زندگی واقعی به ندرت می‌توانند تجربه‌هایی را که در بازی رایانه‌ای می‌بینند از سر بگذرانند. کارآموزان کمک‌های اولیه با مصدومان عروسی تمرین می‌کنند تا در هنگام بروز رخداد ناگوار در نهایت آمادگی باشند. نیروهای نظامی در رزمایش با دشمنان فرضی می‌جنگند تا آمادگی خود و سلاح‌های خود را آزمون کنند. ملاحظه می‌کنید که ما با شبیه‌سازی چندان بیگانه نیستیم.

در طول چند دهه اخیر پیشرفت‌هایی که در حوزه رایانه صورت گرفته است و ابزارهایی به ما تقدیم کرده که می‌توانند محاسبات غیرممکن گذشته را در چند ثانیه انجام دهند. این چنین، حضور رایانه‌های پر قدرت شخصی رویاهای محققان گذشته را به واقعیت تبدیل کرده است. شبیه‌سازی با

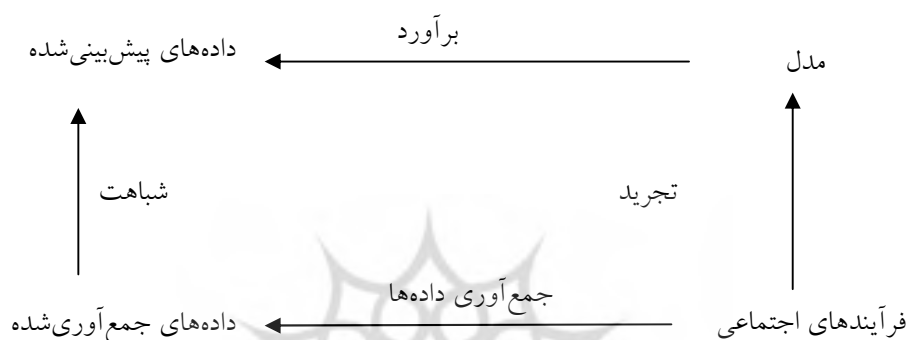
استفاده از رایانه‌ها صورت می‌گیرد. رایانه‌ها می‌توانند سیستم‌هایی طبیعی و واقعی را به طور مجازی بازآفرینی کنند تا جواب سؤالات و آزمایشات خود را در این نمونه‌های مجازی بررسی کنیم (هیس و سیمونز، ۱۹۸۵؛ گیلبرت و ابوت، ۲۰۰۵). رایانه‌های پیشرفته امروزی بیش از پیش در بازآفرینی واقعیت موفق می‌شوند.

شبیه‌سازی را می‌توان با اهداف گوناگونی انجام داد. از شبیه‌سازی می‌توان برای فهم فرآیندها و همچنین آزمون نظریه‌ها و بررسی تجربی نظریه‌های جامعه‌شناختی استفاده کرد (گیلبرت، ۲۰۰۸)؛ علاوه بر این می‌توان از شبیه‌سازی برای پیش‌بینی استفاده کرد. بازسازی مجازی یک پدیده امکان می‌دهد که بینیم در طول زمان بر سر یک امر اجتماعی چه خواهد آمد. چنین پیش‌بینی‌هایی معمولاً به صورت آماری انجام می‌شوند؛ اما پیش‌بینی مبتنی بر شبیه‌سازی تفاوت‌های اساسی با پیش‌بینی آماری دارد؛ چرا که در آمار پیش‌بینی بر اساس روابط میان متغیرهاست؛ اما در شبیه‌سازی، پیش‌بینی با استفاده از روابط میان خود عامل‌ها؛ یعنی کنشگران انجام می‌شود.

تاریخچه شبیه‌سازی اجتماعی را می‌توان تا قرن هجدهم و کشف معادلات دیفرانسیل پی گرفت. بعد از آن در قرن هجدهم بررسی فرآیندهای احتمالی و پس از آن در دهه ۱۹۴۰ ابداع نظریه بازی سهم اصلی را در توسعه شبیه‌سازی اجتماعی داشته‌اند (گیلبرت و ترویچ، ۲۰۰۵: ۵). بعد از آن تکنیک‌های گوناگون شبیه‌سازی اجتماعی به طور مستقل یا وابسته به هم تحول یافته‌اند و ادبیات مستقلی را به وجود آورده‌اند.

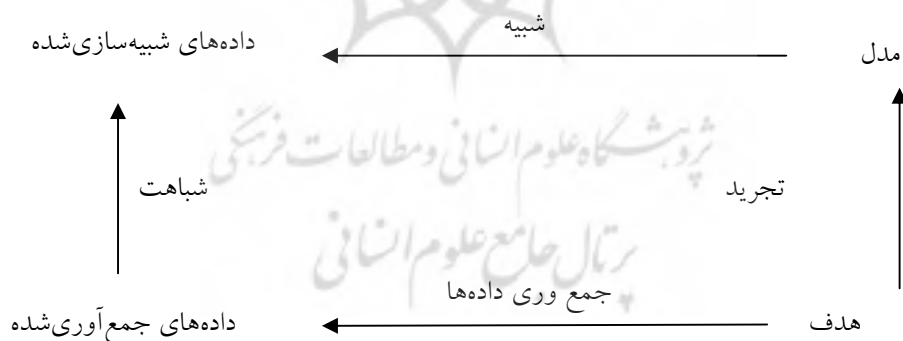
معمولاً در هنگام بحث در مورد شبیه‌سازی یکی از اولین مباحث، مقایسه آن با تکنیک‌های آماری است. در مورد تفاوت‌های میان آمار و شبیه‌سازی باید گفت که محور شبیه‌سازی، فرآیندهایی است که منجر به ظهور پدیده‌ها می‌شود؛ اما در آمار عموماً اصل بر مقایسه میان آزمودنی‌ها است. در آمار کمتر می‌توان روابط میان آزمودنی‌ها در شرایط گوناگون را وارد مدل کرد، البته می‌توان روابط میان متغیرها را به شیوه‌های گوناگون بررسی کرد؛ در حالی که روابط میان آزمودنی‌ها معمولاً در تکنیک‌های آماری نادیده گرفته شده است. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، در مدل‌های آماری، با جمع‌آوری داده‌ها، تلاش می‌شود الگوهایی میان متغیرها یافت شود که پیش‌بینی‌کننده وضعیت این متغیرها در آینده باشند؛ بنابراین در آمار با استفاده از داده‌هایی که از طریق نمونه‌گیری جمع‌آوری

شده‌اند، محقق دست به برآورد مقادیر مجهول می‌زند؛ اما در شبیه‌سازی، محقق تلاش می‌کند از طریق تجرید، ویژگی‌های اصلی و مرتبط یک پدیده اجتماعی را استخراج کند، تا مدلی ساخته شود. این مدل باید با پدیده اجتماعی هدف شباهت داشته باشد تا بتواند آن فرآیندهایی که محقق در مورد آن‌ها سؤال پژوهشی دارد، باز تولید کند (شکل ۲).



شکل ۱- منطق مدل‌سازی آماری به عنوان یک روش

مأخذ: (گیلبرت و ترویچ، ۲۰۰۵: ۱۶)



شکل ۲. منطق شبیه‌سازی به عنوان یک روش

مأخذ: (گیلبرت و ترویچ، ۲۰۰۵: ۱۷)

## ۲. کاربرد شبیه‌سازی در جامعه‌شناسی

در سال‌های اخیر شبیه‌سازی وارد حوزه علوم اجتماعی شده است. در بخش‌هایی از اقتصاد (دوسی، فاجولو و راوتینی، ۲۰۰۶؛ پیکا و هانوش، ۲۰۰۶؛ پینگل و تسفاتسیون، ۲۰۰۳؛ ریکاردی، ۲۰۰۴) و انسان‌شناسی (لانسینگ کرم، ۱۹۹۳؛ بکو و همکاران، ۲۰۰۳؛ بارتو و همکاران، ۲۰۰۴) و جامعه‌شناسی (اپستین و اکستل، ۱۹۹۶؛ گیلبرت، ۲۰۰۲؛ ژانگ، ۲۰۰۴؛ پانکس و ورنند، ۲۰۰۷). امروزه بسیار از شبیه‌سازی استفاده می‌شود. اگرچه پیشرفت‌های گسترده‌ای در نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای رایانه‌ای مربوط به دو دهه اخیر است؛ اما جالب است که می‌توان ایده مربوط به شبیه‌سازی در جامعه و اقتصاد را تا دهه ۱۹۶۰ میلادی پی گرفت (سایمون، ۱۹۶۹؛ شلینگ، ۱۹۷۱، ۱۹۷۸؛ کلمن، ۱۹۶۲، ۱۹۶۴؛ بودون، ۱۹۷۰). جامعه‌شناسان همواره در انتظار شیوه‌ای بودند که بتوانند کلیت یک سیستم اجتماعی را بازآفرینی کنند. تکنیک‌های آماری جوابگوی سؤالات نظری آن‌ها نبوده است. درباره این موضوع در بخش‌های بعدی به تفصیل صحبت خواهیم کرد. در این بخش هدف آن بوده است که روشن کنیم شبیه‌سازی در علم و فناوری امروزی کاربردهای رو به افزایش دارد.

به طور کلی با دو استراتژی می‌توان یک پدیده را شبیه‌سازی کرد. این دو تفاوت‌های اساسی با هم دارند، پس لازم است تفاوت‌های آن‌ها را توضیح دهیم. برای توضیح شیوه اول شبیه‌سازی، از یک مثال شروع می‌کنیم، فرض کنید می‌خواهیم عملکرد یک اتومبیل را شبیه‌سازی کنیم. برای این کار مرحله به مرحله بخش‌های مختلف تولید نیرو در اتومبیل را طراحی می‌کنیم و در کنار هم قرار می‌دهیم؛ مانند یک فرآیند؛ یعنی کار از جایی شروع می‌شود و به جایی ختم می‌شود. این مدل شبیه‌سازی ما دارای عناصری است که به شکل فرآیند پشت سر هم قرار گرفته‌اند و هر کدام کاری انجام می‌دهند تا محصول نهایی تولید شود. سیستمی که چنین شبیه‌سازی شده است نمی‌تواند چندان پیچیده باشد. فعالیت‌هایی که در هر مرحله انجام می‌شود تابعی از مراحل قبل و بعد است و حتی می‌توان با استفاده از معادلات خطی آن را توصیف کرد. از این دست مدل‌ها فراوان است.

استراتژی دوم در شبیه‌سازی این است که به جای تأکید بر فرآیندهای انجام امور در سیستم، آن را از طریق تعریف اجزای آن بازآفرینی کنیم. در این جا، عناصر را، هرچه قدر هم که ناهمگون باشند و

ویژگی‌های تمایزی داشته باشند، در محیط مشخصی تعریف می‌کنیم و حتی اگر از فرآیندهای داخلی سیستم اطلاع روشنی نداشته باشیم، مانعی ندارد.

در بخش بعدی این مقاله چهار تکنیک شبیه‌سازی توضیح داده می‌شود. دسته‌بندی که ما در این جا ارائه داده‌ایم، شباهت زیادی با سه موج نوآوری در شبیه‌سازی اجتماعی؛ شامل پویایی سیستم، شبیه‌سازی خرد و مدل عامل‌های تطبیق‌یابنده (گیلبرت و ترویچ، ۱۹۹۹) و نیز دسته‌بندی هشت‌تایی از این تکنیک؛ شامل پویایی سیستم، مدل‌های تحلیل خرد شبیه‌سازی، مدل‌های صف‌بندی، مدل‌های شبیه‌سازی چندسطحی، سلولار اتوماتا، مدل‌های چندعاملی، سیستم‌های چندعاملی توسعه‌یابنده، مدل‌های تطوری و یادگیرنده (گیلبرت و ترویچ، ۲۰۰۵) دارد؛ اما تفاوت‌هایی هم با این دسته‌بندی‌ها دارد که روشن خواهد شد.

### ۳. معرفی تکنیک‌های شبیه‌سازی اجتماعی

#### ۳.۱. پویایی سیستمی

پویایی سیستمی، فرآیندهای انجام کار در یک سیستم را مدل می‌کند. در این جا کل سیستم به طور یک‌جا مدل می‌شود. برای مدل‌کردن، سیستم به بخش‌های مختلف انجام کار تقسیم می‌شود نه اجزای آن، بخش‌های مختلف انجام کار به شکل متغیر با هم مرتبط می‌شود. ارتباط متغیرها با هم به شکل معادله ظاهر می‌شود. هنگامی که تغییرات متغیرها در طول زمان را بررسی کنیم با مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل روبه‌رو خواهیم بود؛ بنابراین پویایی سیستمی ریشه در معادلات دیفرانسیل دارد (گیلبرت و ترویچ، ۲۰۰۵: ۲۸) و در این جا هدف آن است که وضعیت کنونی و آینده یک سیستم را با استفاده از مجموعه معادلات توصیف کنیم. به همین دلیل است که پویایی سیستمی تنها به سطح کلان می‌پردازد و قادر نیست که عناصر سازنده سیستم را هم در نظر آورد. پویایی سیستمی، سیستم را به عنوان یک کلیت می‌بیند.

با توجه به همین نکته، پویایی سیستمی را نوعی شبیه‌سازی معادله‌محور دانسته‌اند (در مقابل شبیه‌سازی عامل‌محور که بعد درباره آن بحث خواهیم کرد). در این معادله‌ها مقادیر و نرخ‌های مربوط به ویژگی‌های کلان سیستم وجود دارند. این معادلات روابط میان این متغیرها و نرخ‌ها را در طول زمان

بیان می‌کنند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود پویایی سیستمی نوعی شبیه‌سازی مبتنی بر ریاضیات است؛ زیرا محور اصلی آن معادلات تفاوتی یا دیفرانسیلی است. در این نوع شبیه‌سازی راهی برای دستیابی به فرآیندهای داخلی و اجزای سیستم وجود ندارد. در واقع این نوع شبیه‌سازی تنها توصیفی کلان از سیستم به دست می‌دهد و مشکل رابطه میان خرد و کلان را بر طرف نمی‌کند.

گیلبرت و ترویچ، (۲۰۰۵) مثالی از کاربرد این تکنیک در مدل‌کردن یک جامعه، بر اساس دیدگاه هابز در مورد جامعه که می‌گوید افراد در جامعه برای دستیابی به منابع بیشتر با هم مبارزه می‌کنند، طراحی کرده‌اند. در مدل آن‌ها سه راهبرد وجود دارد که افراد می‌توانند یکی از آن‌ها را در هنگام مواجهه با دیگران انتخاب کنند: کبوتر (کسی که هرگز برای تملک منابع دیگران حمله نمی‌کند؛ بلکه صبر می‌کند تا آن‌ها منابع خود را رها کنند، اگر کسی به او حمله کند، مقاومت نمی‌کند و سریع منابع خود را رها می‌کند، اگر دو کبوتر با هم برخورد کنند، با احتمال برابر یکی از آن‌ها برنده این مقابله خواهد شد)، شاهین (کسی که همیشه تلاش می‌کند منابع دیگران را تملک کند، اگر مورد هجوم دیگران واقع شود تا زمانی که آسیب‌های سختی ببیند مقاومت می‌کند)، قانون‌مدار (کسی که برای تملک منابع دیگران تلاشی نمی‌کند؛ اما اگر مورد هجوم قرار بگیرد دست به حمله متقابل می‌زند که در نتیجه یا پیروز می‌شود و یا شکست می‌خورد).

آن‌ها با استفاده از این سه نوع راهبرد که کنشگران می‌توانند به کار گیرند، معادلات دیفرانسیلی تعریف کرده و آن‌ها را به شیوه‌های مختلف حل کرده‌اند. سپس این معادلات به شکل برنامه رایانه‌ای درآمده است. بعد با نسبت‌های مختلف حضور انواع گوناگون راهبردها در جامعه، بررسی شده است که بعد از طی مراحل معینی چه نتیجه‌ای در جامعه حاصل خواهد شد (رجوع شود به گیلبرت و ترویچ، ۲۰۰۵: ۳۲-۵۴).

دو نرم‌افزار مشهور مورد استفاده در پویایی سیستم دینامو و استلا نام دارند. استلا<sup>۱</sup> به طور تخصصی برای مدل‌کردن سیستم‌ها طراحی شده است و رایگان نیست. داینامو<sup>۲</sup> نرم‌افزار دیگری است

1. <http://www.iseesystems.com/software/Education/StellaSoftware.aspx>

2. [http://www.netagesolutions.com/page/7/Dynamo\\_Hedge\\_Fund\\_Edition](http://www.netagesolutions.com/page/7/Dynamo_Hedge_Fund_Edition)

که برای مدل کردن سیستم‌ها به کار می‌رود<sup>۱</sup>.

### ۲.۳. شبیه‌سازی خرد

ایرادی که به پویایی سیستم وارد کردیم این بود که نمی‌تواند ما را از سطح سیستم فروتر ببرد و به عناصر سیستم برساند. آن چیزی که معمولاً مورد توجه و علاقه محققان اجتماعی است این است که انباشته شدن تصمیم‌ها و تعامل‌ها در سطح خرد چه پیامدی در سطح کلان خواهد داشت؟ شبیه‌سازی خرد اولین رهیافتی بود که تلاش کرد به این نیاز پاسخ دهد.

اساس شبیه‌سازی خرد به این ترتیب است که نمونه‌ای معرف از جامعه هدف اخذ می‌شود. این نمونه قرار است معرف جامعه بزرگ‌تری باشد و در خود ویژگی‌هایی برگزیده از اعضای خود را دارد. این نمونه، فایل داده اصلی ما را تشکیل می‌دهد. حال ما احتمالات تغییراتی را به این آزمودنی - های خود در طول زمان اضافه می‌کنیم. این ویژگی‌ها به آزمودنی‌ها توانایی تغییر در طول زمان را می‌دهد. در هر دوره زمانی، وقتی ما شبیه‌سازی را اجرا می‌کنیم، عناصر با احتمالات مشخصی که به آن‌ها اختصاص داده شده است، تغییر می‌پذیرند و در پایان دوره زمانی مشخصی، ما با نمونه‌ای تغییر یافته مواجه خواهیم بود که انتظار می‌رود بتواند پیش‌بینی‌کننده وضعیت جمعیت واقعی مورد مطالعه در آینده باشد.

گیلبرت و ترویچ (۲۰۰۵) مثال جالبی برای این شیوه شبیه‌سازی ارائه داده‌اند. فرض کنید می‌خواهیم بررسی کنیم در حدود ۵۰ سال آینده، چه تعداد از افراد سالمند در شبکه خویشاوندی خود کسی را دارند که در صورت لزوم از آن‌ها مراقبت کند. برای این کار لازم است که افراد هدف و تمام اعضای شبکه خویشاوندی آن‌ها را مدل کنیم، احتمال وقوع مرگ و میرها و تولدها را نیز برای تمام این افراد تعریف کنیم، سپس اجازه دهیم که شبکه‌های خویشاوندی تعریف شده در طول زمان شامل تمام رخداد‌های ممکن برای افراد مختلف شوند؛ مانند کهولت، ازدواج، مرگ ناگهانی، تولد فرزند و غیره. چنین مدلی را نمی‌توان در SPSS ساخت و توسعه داد. آن‌ها با استفاده از داده‌های مربوط به پیمایشی در سال ۲۰۰۲ در آلمان، تلاش کردند تا وضعیت سالمندان در ۲۰۴۰ را پیش‌بینی کنند. نتیجه جالب

۱. برای مطالعه توضیحات کاملی در مورد کاربرد پویایی سیستم در علوم اجتماعی مراجعه کنید به اثر همان (۱۹۸۸)



توجه این بود که در میانه قرن بیست و یکم نسبت افراد بدون شریک زندگی و فرزند دو برابر اوایل این قرن خواهد بود (جدول ۱).

جدول ۱- خویشان بالغ بالای ۶۰ سال در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۴۰

(مأخذ: گیلبرت و ترویچ، ۲۰۰۵: ۷۴)

گروه سنی				سال	
بالای ۸۰	۷۹-۷۰	۶۹-۶۰	بالای ۶۰		
۷۵۹	۲۰۷۲	۴۰۴۰	۷۸۷۱	۲۰۰۲	تعداد
۱۳۷۸	۳۱۱۸	۳۰۸۱	۷۵۷۷	۲۰۴۰	
۲۷/۷	۵۹/۷	۷۴/۶	۶۳/۳	۲۰۰۲	افراد دارای شریک
۱۸/۰	۴۰/۹	۵۶/۸	۴۳/۴	۲۰۴۰	زندگی
۷۰/۵	۷۴/۵	۷۱/۵	۷۲/۳	۲۰۰۲	افراد دارای فرزند
۴۴/۶	۶۶/۹	۵۸/۹	۵۹/۶	۲۰۴۰	
۴۷/۲	۵۲/۴	۵۲/۰	۵۱/۵	۲۰۰۲	افراد دارای فرزند دختر
۴۷/۵	۴۸/۷	۳۷/۷	۴۴/۰	۲۰۴۰	
۲۲/۹	۱۳/۶	۱۱/۸	۱۳/۹	۲۰۰۲	افراد بدون شریک و
۲۲/۴	۲۱/۳	۲۳/۵	۲۲/۴	۲۰۴۰	فرزند

از میان نرم‌افزارهای مشهورتر مورد استفاده در این زمینه STINMOD، UMDBS، MICSIM و CORSIM را می‌توان نام برد. البته این بسته‌های نرم‌افزاری نسبتاً قدیمی هستند و کمتر به‌روز شده‌اند. عموم شبیه‌سازی‌های خرد را می‌توان با نرم‌افزارهای مورد استفاده در مدل‌سازی عامل‌محور نیز انجام داد. اثر هاردینگ (۱۹۹۶) و اورکات و همکاران (۱۹۸۶) برای آشنایی بیشتر با این تکنیک شبیه‌سازی بسیار مفید هستند.

### ۳.۳. صف‌بندی

مدل‌های صف‌بندی، مجموعه‌ای از وقایع گسسته را مدل می‌کنند. این وقایع پشت سر هم و جدا از هم رخ می‌دهند؛ اما آنچه در هر مرحله رخ می‌دهد بر مرحله بعدی مؤثر است. این مدل‌ها در مهندسی و کنترل مسیر تولید سابقه زیادی دارند. در پویایی سیستم، وضعیت‌ها پیوسته بوده‌اند و

شبیه‌سازی خرد هم به کلی تأکید ما بر عناصر سازنده مدل بوده است نه وقایع؛ بنابراین آنچه مدل‌های صف‌بندی را از دو نوع شبیه‌سازی قبلی متمایز می‌کند تأکید بر مفهوم رویداد است. هر رویداد مشخص‌کننده وضعیت سیستم در یک زمان گسسته مشخص است. در هر رویداد معمولاً بخشی از ویژگی‌های سیستم که اغلب بخش اندکی هم هست، تغییر می‌کند. فاصله زمانی میان رویدادها لزوماً برابر نیست و دانستن این موضوع نیز اهمیتی ندارد؛ بلکه آنچه برای ما اهمیت دارد این است که مدل از یک رویداد به رویداد دیگری می‌رود.

کاربرد مدل‌های صف‌بندی در مدل‌کردن سیستم‌هایی است که در آن‌ها می‌توان خدمت‌گذاران، مشتریان و صف را از هم جدا کرد. به عنوان مثال، یک بانک را در نظر آورید. در این بانک تعدادی کارمند وجود دارد که به مشتریان خدمات ارائه می‌دهند. هر کدام از این کارمندا در باجه مخصوص خود کار می‌کند. تعدادی هم مشتری وجود دارد که به باجه‌ها مراجعه می‌کنند. اگر تمام باجه‌ها توسط مشتریان اشغال شود، زمانی که مشتری جدیدی وارد بانک می‌شود، صفی را تشکیل خواهد داد؛ یعنی در انتظار خالی شدن یک باجه خواهد ایستاد. نکته این است که بانک نمی‌داند این مشتری در چه زمانی وارد بانک خواهد شد. زمان خدمات‌دهی به مشتریان هم از قبل شناخته شده نیست و نه مشتری و نه کارمند نمی‌دانند که زمان دقیق خدمات‌دهی به هر مشتری چقدر خواهد بود. حال سؤال این است که چه تعداد کارمند باید در بانک وجود داشته باشد که به شکلی متوسط زمان انتظار مشتریان و بیکاری کارمندان حداقل شود.

در مورد تمام سیستم‌هایی که در آن‌ها تعدادی خدمت‌گزار و مشتری وجود دارد و احتمال شکل‌گیری صف وجود دارد، همین توضیحات را می‌توان بیان کرد. می‌توان مثال‌های پیچیده‌تری را هم در نظر آورد. هنگامی که در یک سیستم چندین صف متوالی و موازی وجود دارد؛ مثلاً در یک فرودگاه هنگامی که مسافر وارد می‌شود، تا زمانی که سوار هواپیما می‌شود، در چند صف مختلف باید در انتظار بماند. با توجه به اطلاعات تجربی در مورد زمان‌های صرف‌شده در هر کدام از این صف‌ها می‌توان حرمت مسافران در یک فرودگاه را مدل کرد.

از جمله نرم‌افزارهای مورد استفاده SimScript، SIMPLEX، AnyLogic است. برای مطالعه

بیشتر در این زمینه مراجعه کنید به کروتزر (۱۹۸۶) و زیگلر (۱۹۸۵).

### ۳.۴. اتوماتای سلولی

تعدادی لامپ را در کنار هم تصور کنید؛ مثلاً به شکل مستطیل چیده شده‌اند؛ مانند تابلوهای چراغ‌های ال ای دی. هر کدام از این لامپ‌ها می‌توانند روشن یا خاموش باشند. فرض کنید که روشن یا خاموش بودن هر لامپ بر اساس قاعده‌ی روشنی مربوط است به روشن یا خاموش بودن لامپ‌های همسایه‌ی او. چنین مدلی یک اتومیشن سلولی است (گیلبرت و ترویچ، ۲۰۰۵: ۱۳۳). در واقع هر کدام از این خانه‌ها یک سلول یا خانه نام دارند.

شکل چیده شدن این خانه‌ها در کنار هم می‌تواند متفاوت باشد؛ مثلاً فضای سلول‌های را می‌توان مستطیلی در نظر گرفت. اگر چنین باشد، آن‌گاه جهان در مدل‌ها دارای مرز یا لبه بیرونی خواهد بود. شکل چینش سلول‌ها را می‌توان به شکل چنبر یا توریس تعریف کرد که دیگر هیچ سلولی در لبه بیرونی قرار نمی‌گیرد، همچنین قاعده‌های بسیار گوناگونی را برای روشن و خاموش شدن سلول‌ها می‌توان تصور کرد. هر کدام از این جزئیات تأثیرات جالب توجهی در الگوهای مشاهده شده در سطح کلان می‌گذارند.

از چنین مدل‌هایی برای بررسی فرآیندهای اشاعه؛ مثلاً شایعه و هر چیز دیگر که وابسته به مکان شیوع است، می‌توان استفاده کرد. در مورد شایعه، چون الگوی اشاعه شایعه از طریق ارتباط کلامی میان اشخاص است، استفاده از اتوماتای سلولی بسیار مفید است. با تغییر در الگوهای قبول و اشاعه هر شایعه توسط سلول می‌توان دریافت که مثلاً در کدام شرایط و با چه کنشگرانی یک شایعه با بیشترین سرعت گسترش می‌یابد یا منزوی می‌شود.

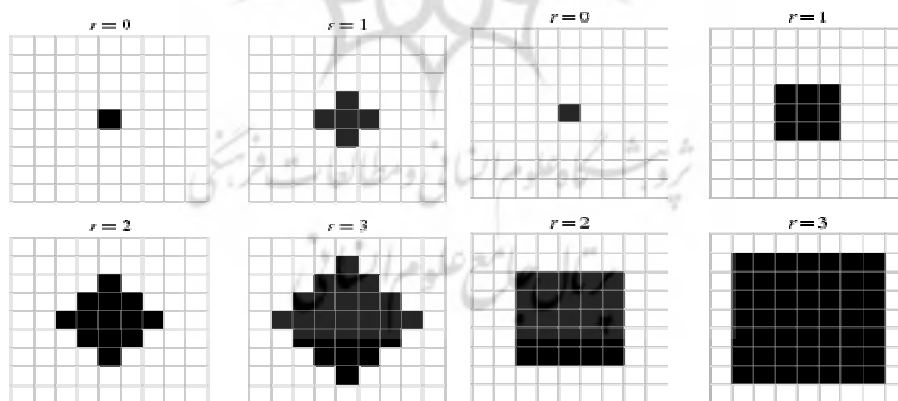
در هر مدل اتوماتای سلولی<sup>۱</sup> تعدادی سلول یا خانه وجود دارد. این خانه‌ها را می‌توان به شکل یک‌بعدی، دوبعدی یا سه‌بعدی در کنار هم قرار داد. هر کدام از این خانه‌ها ممکن است معرف فرد، گروه، یا حتی یک کشور باشد. هر کدام از این خانه‌دارای تعداد معدودی حالت هستند؛ مثلاً روشن یا خاموش و زنده یا مرده. هنگامی که زمان در شبیه‌سازی به پیش می‌رود، حالت هر سلول می‌تواند تغییر کند. تغییر کردن حالت سلول‌ها بر اساس قواعد روشنی تابعی است از حالت قبلی سلول و

۱. اتوماتا (automata) جمع کلمه اتومیشن (automation) است. اتومیشن در لغت به ماشین‌های خودکار گفته می‌شود.

حالت‌های دیگر سلول‌ها. قاعده‌های مربوط به تغییر حالت سلول‌ها برای تمام آن‌ها یکسان است، به همین جهت می‌توانیم بگوییم که در اتوماتای سلولی همه عناصر سازنده شبیه‌سازی، همگون هستند. عموماً قاعده‌های تغییر حالت به سلول‌های همسایه هر سلول ارجاع دارد به همین خاطر اتوماتای سلولی برای پدیده‌هایی محلی؛ مانند گسترش شایعه یا اشاعه بیماری کاربرد دارد.

یکی از مشهورترین مثال‌های اتوماتای سلولی «بازی زندگی» کانوی<sup>۱</sup> (برل کمپ و همکاران، ۱۹۸۲) است. در این بازی یک سلول زنده تنها زمانی زنده می‌ماند که دو یا سه همسایه از ۸ همسایه بلافصل او زنده باشند. اگر تعداد همسایه‌های زنده از این تعداد بیشتر باشد، او خواهد مرد (به دلیل شلوغی) و اگر از دو تا کمتر باشد باز هم می‌میرد (به دلیل تنهایی). یک سلول مرده تنها زمانی زنده می‌شود که دقیقاً سه همسایه زنده داشته باشد. ملاحظه کردید که این بازی تنها دارای دو قاعده مشخص برای پویایی عناصر است.

شگفت‌انگیز است که همین دو قاعده ساده می‌تواند الگوهای متنوع و دائمی از تغییرات را به وجود آورد. با تغییر در حالت اولیه خانه‌ها، الگوهای بسیار گوناگونی در این بازی به وجود می‌آید، همچنین قاعده تعریف همسایه‌ها را می‌توان تغییر داد. دو نوع همسایگی اصلی و معروف که در اتوماتای سلولی کاربرد دارند، در شکل (۳) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۳- دو نوع همسایگی که در اتوماتای سلولی به کار می‌رود: همسایگی مور در سمت راست (با چهار اندازه شعاع از صفر تا ۳) همسایگی فون نویمان در سمت چپ (با چهار اندازه شعاع از صفر تا ۳) مشاهده می‌شوند.

۱. برای اطلاعات بیشتر درباره این بازی مراجعه کنید به <http://www.bitstorm.org/gameoflife/>

## ۳.۵. مدل‌های عامل محور

عموم پدیده‌های طبیعی و اجتماعی که با آن‌ها سروکار داریم چندان ساده نیستند. بسیاری از سیستم‌ها از عناصری تشکیل شده‌اند که بسیار ناهمگون‌اند و خودمختاری دارند. تعداد این عناصر و گوناگونی ویژگی‌ها و رفتارهای آن‌ها آن قدر زیاد است که نمی‌توان فرآیندها را با استفاده از معادلات شبیه‌سازی کرد. اگر چنین کاری امکان‌پذیر باشد، بسیار دشوار خواهد بود. ساده‌تر آن است که معادلات و فرآیندها را کنار بگذاریم و به جای آن‌ها عناصر را یک به یک یا گروهی تعریف کنیم و بعد روشن کنیم که این‌ها چگونه با هم در تعامل هستند و چگونه در طول زمان تغییر می‌کنند. با این تعریف‌ها سیستم را اجرا می‌کنیم تا ببینیم چه رخ خواهد داد (میلر و پیچ، ۲۰۰۷؛ اپستین، ۲۰۰۶). با استفاده از این شیوه حتی می‌توانیم سیستم‌های بسیار پیچیده را هم مدل کنیم. در واقع به این طریق پیچیدگی‌های ساختاری مدل را دور زده‌ایم.

مدل‌های عامل محور این امکان را فراهم می‌کنند که بدون گیرافتادن در پیچیدگی‌های ریاضی، محققان ایده‌های خود را تبدیل به مدل کنند و آزمایش‌ها و تحلیل‌هایی بر روی عامل‌هایی که در محیط با هم تعامل می‌کنند، انجام دهد (گیلبرت، ۲۰۰۸: ۲). از مدل‌های عامل محور به فراوانی در دیگر حوزه‌های علوم از زیست‌شناسی گرفته تا مهندسی برق هم استفاده می‌شود، البته با نام‌هایی که قدری تفاوت دارد؛ مثلاً «سیستم‌های چندعاملی». ایده تعریف سیستم بر حسب عناصر آن در برنامه‌های رایانه‌ای هم وجود دارد. اصولاً مهم‌ترین زبان‌های برنامه‌نویسی کنونی از جمله جاوا و سی شارپ شی‌گرا<sup>۱</sup> هستند. شی‌گرا بودن نام دیگری است برای عامل محور. این زبان‌های برنامه‌نویسی نیز کار خود را از تعریف اشیا یا همان عامل‌ها شروع می‌کنند.

مسئله مهم این است که بسیاری از پدیده‌های اجتماعی از همین جنس هستند و محصول کنش‌های خرد هستند؛ اما خود، خرد نیستند. شاید بخشی از مسئله لاینحل خرد و کلان<sup>۲</sup> در جامعه‌شناسی هم در همین جا نهفته باشد. کما این که برخی از جامعه‌شناسان معاصر چنین ادعایی را مطرح کرده‌اند.

## 1. Object-oriented

۲. بحث فصل‌های مقصد و بسیار مفید در این زمینه مراجعه کنید به:

Coleman, James (1994) Foundations of social theory.

بخشی از این کتاب با مشخصات زیر به فارسی ترجمه شده است:

کلمن، جیمز (۱۳۷۸). بنیادهای نظریه اجتماعی. ترجمه منوچهر صبوری. تهران: نشر نی.

شاید مشهورترین مدل عامل که اکنون دیگر تبدیل به مثالی کلاسیک در حوزه جامعه‌شناسی عامل‌محور شده است متعلق به توماس شلینگ، برنده نوبل اقتصاد باشد. شلینگ (۱۹۷۱-۱۹۷۷) مدلی تهیه کرد برای توضیح جدایی‌گزینی مسکونی در شهرهای آمریکا. در آن زمان یکی از مشکلات رایج در شهرهای آمریکا جدایی‌گزینی سفیدپوستان و سیاه‌پوستان در مناطق مسکونی بود. کستی (۱۹۹۴) مدل شلینگ را چنین توصیف می‌کند: نسخه دویبعدی اصلی مستطیلی بود که ۱۶\*۱۳ خانه داشت و معرف یک فضای شهری آرمانی بود. در این فضا سلول‌های داخل مستطیل، هر کدام معرف یک خانه در شهر بود. هر کدام از ۱۳۸ خانوار موجود در شهر می‌توانستند آن‌ها را تصاحب کنند، چه سفیدپوست باشند و چه سیاه‌پوست. حدود یک‌چهارم خانه‌ها هم خالی بود. مفروضات مدل این بود که عامل‌ها دو نوع هستند: سفیدپوست یا سیاه‌پوست و تمایل دارند درصد مشخصی از همسایگان (۵۰٪ درصد یا بیشتر) از گروه مشابه خودشان باشد. دایره دید آن‌ها محلی است (همسایگی مور<sup>۱</sup> شامل ۸ همسایه که به طور مستقیم اطراف هر خانه قرار دارند) و قادر هستند ترکیب هویتی همسایگان خود را تشخیص دهند. عامل‌ها تمایل دارند در صورتی که ترکیب همسایگان کنونی آن‌ها مناسب نبود به نزدیک‌ترین جای خالی که دارای این ویژگی باشد، نقل مکان کنند. وقتی تعامل در این مدل به کار افتاد، نشان داد که در نهایت مکانیسم نامتعادل‌سازی به وجود می‌آید، زمانی که گروهی اقلیت با تعداد کافی وارد محله‌ای شدند، اکثریت اصلی محله شروع به ترک محله و نقل مکان به دیگر محله‌ها کردند. وقتی خانوارهایی که تعداد همسایگان نامشابه آن‌ها به مرز عدم تعادل رسیده بود، محله را ترک کردند، این موجب شد که تعداد این نوع خانوارها در آن محله کم شود و این چنین خانوارهای باقیمانده هم محله را ترک کنند. این؛ یعنی کسانی که برای پرکردن جاهای خالی- شده وارد محله می‌شوند از گروه اقلیت هستند و این چنین این فرآیند به شکلی غیرقابل بازگشت در نهایت ترکیب جمعیتی محله را تغییر می‌دهد. شلینگ این اثر دومینوار را با عنوان «وابستگی متقابل تصمیم‌ها» چنین توضیح می‌دهد:

می‌توانیم پیش‌بینی کنیم احتمال اثر پیچشی یا دومینورا یا روشن کنیم. میان تصمیم‌های وابستگی متقابل خواهد بود. هرکس که خارج می‌شود کاهش می‌دهد [...] تعداد سفیدهای باقی‌مانده را [...] با

فرض این که تعداد سیاه‌پوست خواهان مسکن باشند، و تقاضای بیشتر از سوی آن‌ها وقتی تعداد سیاهان در محله بیشتر می‌شود، تقاضای سفیدها هم برای ورود به این محله کاهش می‌یابد وقتی درصد سیاهان در محله بیشتر می‌شود. این چنین وقتی هر سفید به مرز تصمیم‌گیری برای مهاجرت می‌رسد، موجب می‌شود باقیمانده زودتر به مرز تصمیم‌گیری به مهاجرت برسند (شلینگ، ۱۹۷۲: ۱۹۲).

کار شلینگ گرچه بسیار ساده است؛ اما ویژگی‌های اصلی مدل‌های عامل‌محور را در خود دارد. عامل‌هایی که در محیطی قرار گرفته‌اند. قاعده‌هایی برای تصمیم خود دارند و تصمیم‌های آن‌ها منجر به نتایجی می‌شود که چندان قابل پیش‌بینی نبوده است. البته در مدل شلینگ تمام عامل‌ها مانند هم هستند؛ همچنین عامل‌ها توانایی تغییر در شیوه تصمیم‌گیری خود را ندارند. محیط آن‌ها کاملاً یکدست است. تمام این جزئیات را می‌توان به مدل افزود. شاید در ابتدا جدایی‌گزینی امری بسیار پیچیده به نظر آید؛ اما مدل ساده شلینگ به ما آموخت که نباید فکر کنیم هرچه پیچیده به نظر می‌آید، حاصل فرآیندهای بسیار پیچیده و غیرقابل شناسایی است؛ بلکه این پدیده بسیار پیچیده حاصل قاعده‌ای ساده در تصمیم‌گیری-های عامل‌ها بوده است. شاید این اصل در مورد بسیاری از دیگر حالات اجتماعی هم صادق باشد. اصولاً ما در مدل‌سازی به دنبال همین موضوع هستیم، می‌خواهیم اصول ساده‌ای را که توضیح‌دهنده پدیده‌های پیچیده هستند را پیدا کنیم. دقیقاً به همین خاطر است که مدل‌هایی که ما می‌سازیم همیشه بسیار ساده‌تر از واقعیت هستند؛ به عبارت دیگر مدل‌های ما گزینشی از واقعیت هستند. در مدل‌سازی قرار نیست مدل ما عیناً و در تمام زمینه‌ها با پدیده هدف تطبیق یابد، اگر چنین باشد که دیگر مدل به کار نمی‌آید؛ چون به همان پیچیدگی واقعیت شده است. در مدل‌سازی؛ مانند تمام دیگر محققان حوزه‌های علم که شبیه‌سازی و مدل‌سازی می‌کنند، تنها جنبه‌هایی از واقعیت را که اهمیت دارند نگاه می‌داریم و بقیه را حذف می‌کنیم؛ چون نمی‌خواهیم جزئیات بی‌ربط ما را گمراه کند.

ساخت مدل‌های عامل‌محور عموماً با استفاده از زبان‌های برنامه‌نویسی شی‌گرا؛ مانند جاوا و سی انجام می‌شود؛ علاوه بر این‌ها بسته‌های نرم‌افزاری تخصصی نیز برای مدل‌سازی عامل‌محور تهیه شده‌اند که ری‌پست و نت لوگو مشهورترین و پرکاربردترین آن‌ها هستند. ری‌پست توسط تیمی در دانشگاه شیکاگو توسعه داده شده است و با زبان‌های بسیاری؛ مانند جاوا، C++، Microsoft.NET،

و پیتون قابل توسعه است، از GIS حمایت می‌کند و جلوه تصویری پیچیده‌ای را می‌توان با آن ساخت. برای این ابزار متون خوبی وجود دارد و اجتماع روبه رشدی از کاربران دارد<sup>۱</sup>. نت لوگو مشهورترین ابزار مدل‌سازی عامل‌محور است. این ابزار توسط تیمی در دانشگاه نورت وسترن (شیکاگو، ایالات متحده) توسعه داده شده است. کار با نت لوگو نسبتاً آسان است و مدل‌های از قبل آماده زیادی در آن وجود دارد، به همین خاطر برای مقاصد آموزشی از دیگر ابزارها مناسب‌تر است. همچنین در شروع مدل‌سازی عامل‌محور بهترین ابزار است. نت لوگو مبتنی بر زبان برنامه‌نویسی لوگو است که یادگیری آن نسبتاً آسان است.

نت لوگو یکی از آسان‌ترین و پرکاربردترین نرم‌افزارهای تخصصی برای شبیه‌سازی عامل‌محور است. این نرم‌افزار در دانشگاه نورت وسترن از سال ۱۹۹۹ به طور مداوم به‌روز می‌شود و ایرادات آن برطرف و به طور رایگان قابل دانلود می‌شود. طراح اصلی و توسعه‌دهنده این نرم‌افزار، اوری ویلنسکی، استاد علوم رایانه است. آخرین نسخه این نرم‌افزار با نام NetLogo 5 در تاریخ ۱۶ فوریه ۲۰۱۲ عرضه شده است. این نرم‌افزار یا بسته نرم‌افزاری مبتنی بر زبان برنامه‌نویسی آسانی به نام لوگو است. بعد از این بخش‌های مختلف نرم‌افزار و نیز زبان برنامه‌نویسی مورد استفاده در آن توضیح داده خواهند شد.

این بسته نرم‌افزاری به طور خاص برای مدل‌سازی عامل‌محور طراحی شده است. آموختن بخش‌های مختلف این نرم‌افزار وقت‌چندانی نمی‌برد؛ اما نکته اصلی در شیوه طراحی یک مدل است. برای طراحی مدل از یک سو باید مدل خود را به روشنی نزد خود تعریف کنید و از سوی دیگر باید این مدل را به شیوه‌ای بهینه تبدیل به برنامه رایانه‌ای کنید. یک مدل را می‌توان به شیوه‌های گوناگونی تبدیل به برنامه کرد؛ اما برخی از شیوه‌های برنامه‌نویسی روشن‌تر و کارآمدتر هستند. این موضوع در مورد تمام برنامه‌های رایانه‌ای صادق است.

زبان برنامه‌نت لوگو شی‌گرا نیست؛ اما برای استفاده در خود این بسته نرم‌افزاری کارآمد است. در سایت این نرم‌افزار می‌توانید راهنمای آن را هم دانلود کنید. این راهنما مقدمه خوبی است برای شروع کار با این نرم‌افزار، همچنین در این راهنما می‌توانید تعریف کاملی از انواع دستورهای موجود در نت



لوگو بیابید. در این به اصطلاح لغت‌نامه تمام دستورها به همراه عملکرد آن‌ها و شیوه استفاده از آن‌ها ارائه شده‌اند.<sup>۱</sup>

متون آموزشی و تحقیقاتی فراوانی در زمینه مدل‌سازی عامل‌محور وجود دارد که به سرعت بر تعداد آن‌ها هم افزوده می‌شود. از جمله مهم‌ترین و پرخواننده‌ترین آثار در این زمینه می‌توان به آثار اکسلراد (۲۰۰۱)، ترانو (۲۰۰۵)، گیلبرت (۲۰۰۸)، ریلزبک و گریم (۲۰۱۱)، و اسکاتزونی (۲۰۱۲) اشاره کرد.

#### ۴. مزایا و محدودیت‌های تکنیک‌ها

در این مقاله تکنیک‌های شبیه‌سازی در علوم اجتماعی پنج دسته توضیح داده شد. از میان این تکنیک‌ها، به جز دینامیک سیستمی که تنها یک عامل در آن وجود دارد، بقیه تکنیک‌ها مبتنی بر تعداد زیادی عامل هستند. شبیه‌سازی خرد از آن جهت که تعامل میان عامل‌ها را در نظر نمی‌گیرد، نسبت به دیگر تکنیک‌های چندعاملی محدودیت دارد. مدل‌های صف‌بندی، زمانی کاربرد دارند که هدف شبیه‌سازی یک فرآیند است که در آن تعدادی عامل در یک توالی به هم پیوسته کنش‌هایی را انجام می‌دهند؛ به عنوان مثال، شبیه‌سازی تعامل‌هایی که مسافران یک فرودگاه از زمان ورود تا سوارشدن به هواپیما با کارمندان مختلف انجام می‌دهند. شبیه‌سازی خرد برای بررسی تغییر در الگوهای کلان با استفاده از تعداد زیادی عامل، بدون تعامل میان عامل‌ها، کاربرد دارد. اتوماتای سلولی، برای بررسی الگوهای تأثیرگذاری عناصر سازنده مدل بر هم به کار می‌رود. مدل‌های عامل‌محور هم نسخه توسعه‌یافته شبیه‌سازی خرد و اتوماتای سلولی است با این ویژگی می‌توان گوناگونی عامل‌ها و تعامل میان آن‌ها به شیوه گوناگون تعریف کرد (جدول ۲).

#### جدول ۲- ویژگی‌های تکنیک‌های شبیه‌سازی اجتماعی

مأخذ: (اقتباس از گیلبرت و ترویچ، ۲۰۰۵)

تکنیک	تعداد سطوح تحلیل	ارتباط میان عامل‌ها	پیچیدگی عامل‌ها	تعداد عامل‌ها
پویایی سیستمی	۱	خیر	پایین	۱
شبیه‌سازی خرد	۲	خیر	بالا	بسیار
مدل‌های صف‌بندی	۱	خیر	پایین	بسیار
سلولار اتوماتا	۲	بله	پایین	بسیار
مدل‌های عامل‌محور	بیش از ۲	بله	بالا	بسیار

حال به طور خلاصه به مقایسه پنج تکنیک می پردازیم. پویایی سیستمی ابزار کارآمدی است؛ اما تنها زمانی کاربرد دارد که شما کاملاً از فرآیندهای انجام امور در داخل سیستم مطلع باشید؛ یعنی بتوانید تمام آنچه را که در مدل رخ می دهد در غالب معادله بیان کنید. در بسیاری از موارد چنین اطلاعاتی وجود دارد؛ اما در بررسی های اجتماعی اغلب ناممکن است که محقق از تمام آنچه در داخل سیستم رخ می دهد، مطلع باشد. سیستم های اجتماعی اغلب واجد ویژگی پیچیدگی هستند. این پیچیدگی را عموماً نمی توانیم در غالب معادلات بیان کنیم؛ چرا که هنوز کاملاً آنچه در درون سیستم رخ می دهد بر ما شناخته شده نیست.

مدل های صف بندی، برعکس پویایی سیستمی کار خود را از سطح خرد شروع می کنند؛ اما در این مدل ها، عناصر موجود در سطح خرد بیش از آن که عامل ها یا به بیان دیگر کنشگران باشند، مراحل هستند. در این مدل ها هدف ما مدل کردن یک فرآیند است. به همین خاطر مراحل را به طور متوالی پشت سر هم تعریف می کنیم و این جریان ارایه خدمات در هر مرحله را بررسی و به شناسایی گلوگاه هایی که در کلیت جریان انجام خدمات وجود دارد، می پردازیم. مدل های صف بندی تنها انواع خاصی از پدیده های اجتماعی را می توانند مدل کنند. در این مدل ها هنوز کنشگران نقش روشن و پررنگی ندارند.

در مطالعه پدیده های اجتماعی آنچه ما در اختیار ویژگی های عناصر سیستم در سطح خرد و الگوهایی است که در سطح کلان به وجود آمده است. در این جا خواسته ما این است که با دانستن ویژگی های عناصر سیستم در سطح خرد بتوانیم حالات کلان سیستم را پیش بینی کنیم و یا بر عکس، بتوانیم بفهمیم الگوهای کلانی که الان وجود دارد محصول کدام شرایط در سیستم در سطح خرد هستند. در سطح کلان ما عامل هایی سروکار داریم که ناهمگون هستند. عامل های اجتماعی ویژگی- های گوناگونی دارند که آن ها را از هم متمایز می کند. یکی از ویژگی های مهم سیستم های اجتماعی که موجب پیچیدگی آن ها می شود، همین عامل های ناهمگون است. ما برای بررسی های اجتماعی خود نیاز به مدل هایی داریم که بتوانند این ناهمگونی را در خود بازسازی کنند.

شبیه سازی خرد می تواند تاحدی این نیاز را برطرف سازد. در شبیه سازی خرد می توان تعداد زیادی عامل تعریف کرد که هر کدام واجد ویژگی هایی هستند. این عامل ها در طول زمان براساس

قواعدی دچار تغییراتی می‌شوند و این چنین بعد از گذار از مراحل می‌توان دریافت که در سطح کلان چه الگوهای جدیدی حاصل خواهد شد. شبیه‌سازی خرد، با لحاظ این که واجد دو سطح تحلیلی است و می‌توان در آن پیامدهای تغییر در عامل‌ها برای کلیت سیستم را مورد بررسی قرار داد، پنجره‌ جدیدی به روی بررسی‌های اجتماعی می‌گشاید، همچنین در شبیه‌سازی خرد می‌توان عامل را ناهمگون تعریف کرد، شبیه همان چیزی که در جهان اجتماعی وجود دارد. بنابراین می‌توان در عین وارد کردن پیچیدگی‌ها به مدل، از معادلات و پیچیدگی ریاضی که گاهی هم حل آن‌ها بسیار دشوار است، دوری کرد؛ اما شبیه‌سازی خرد محدودیتی هم دارد. این محدودیت یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های موجود در سیستم‌های اجتماعی است و به همین خاطر نمی‌توان از آن صرف‌نظر کرد. تعامل میان عامل‌ها در جهان اجتماعی، شکل‌گیری الگوهای رفتاری، هنجارها، ارزش‌ها و بسیاری از دیگر ویژگی‌های اجتماعی را مربوط به تعامل میان عامل‌ها می‌دانیم. کنشگران از خلال تعامل است که نمادهای فرهنگی را می‌آموزند و یاد می‌گیرند. محدودیت شبیه‌سازی خرد این است که تعامل میان عامل‌ها در آن دیده نشده است (ترویچ، ۱۹۹۷: ۲۰۰۹). در شبیه‌سازی خرد عامل‌ها هر کدام به طور جداگانه مسیر خود را می‌روند تا در نهایت در سطح کلان الگویی را تشکیل دهند.

اتوماتای سلولی این محدودیت را ندارد. در این شیوه مدل‌سازی، همان‌طور که دیدیم، تحول در هر سلول ارتباط مستقیمی با وضعیت‌های پیشین آن سلول و وضعیت دیگر سلول‌ها دارد. به این ترتیب موضوعات گوناگون جامعه‌شناختی را می‌توان با اتوماتای سلولی مدل کرد، به‌خصوص آن‌هایی که بر اشاعه اجتماعی مبتنی‌اند. پیامدهای کلان اشاعه اجتماعی بسیار جالب توجه و گاهی غیرقابل پیش‌بینی‌اند، طوری که در بسیاری از موارد امکان به‌کارگیری معادلات در توصیف این وضعیت‌ها بسیار دشوار است. به این ترتیب اتوماتای سلولی محدودیت دیگری را از پیش محققان برداشته است؛ اما نسبت شبیه‌سازی خرد، نقطه‌ضعف مهمی دارد. این نقطه مربوط به همگون‌فروض کردن عامل‌ها در اتوماتای سلولی است.

در شبیه‌سازی خرد این امکان وجود دارد که عامل‌ها را دارای ویژگی‌های گوناگون و متنوع تعریف کنیم؛ اما در اتوماتای سلولی عامل‌ها همه یکدست و مشابه فرض می‌شوند. این محدودیت برای محققان اجتماعی دشواری‌های زیادی به وجود می‌آورد؛ چون همان‌طور که قبلاً گفتیم، علاوه بر

تعامل میان عامل که از ویژگی‌های اصلی پدیده‌های اجتماعی است، تنوع عامل‌ها هم بسیار اهمیت دارد. در کمتر پدیده اجتماعی می‌توان میان ویژگی‌ها و تأثیرگذاری‌ها و تأثیرپذیری‌ها، همه عامل‌ها را یکسان فرض کرد.

مدل‌سازی عامل‌محور، نسل مدل‌هایی جدید را شامل می‌شود که سیستم‌ها را از پایین به بالا مدل می‌کنند (فارارو و هامون، ۲۰۰۵). در مدل‌سازی عامل‌محور یا شبیه‌سازی عامل‌محور؛ مانند شبیه‌سازی خرد و اوتوماتای سلولی، از طریق تعریف عامل‌ها، قواعد رفتاری آنان و محیطی که در آن قرار گرفته‌اند، یک پدیده اجتماعی را بازسازی می‌کنیم تا دریابیم کدام مکانیسم‌های اجتماعی مسئول ظهور الگوهای خاصی در سطح کلان هستند (اپستین، ۲۰۰۶؛ فرانک و همکاران، ۲۰۰۹). مدل‌سازی عامل‌محور را می‌توان نسخه جدیدتر و کامل‌تر دو نمونه قبلی؛ یعنی شبیه‌سازی خرد و اوتوماتای سلولی دانست.

در مدل‌سازی عامل‌محور، تمام مشکلات مربوط به مدل‌های قبلی، مانند محدودیت در تنوع یا تعامل میان عامل‌ها رفع شده است. در این جا حتی می‌توان پا را فراتر نهاد و عامل‌ها را یادگیرنده تعریف کرد. عامل‌های یادگیرنده می‌توانند تا حدی شبیه نمونه‌های انسانی، در طول زمان قواعد تصمیم‌گیری و دانش خود را توسعه دهند. می‌توان عامل‌ها را طوری تعریف کرد که تولیدمثل و مرگ‌ومیر در میان آن‌ها وجود داشته باشد. حتی می‌توان محیط زیست آن‌ها را مانند محیط‌های انسانی دارای محدودیت‌های گوناگون و امکانات متفاوت تعریف کرد. نرم‌افزارهای امروزی به ما امکان می‌دهند که چنین مدل‌هایی را تعریف کنیم و آزمون‌های گوناگونی را در آن‌ها انجام دهیم.

تکنیک‌های یادشده را در این مقاله می‌توان در دو دسته کلی جای داد. دسته اول تکنیک‌هایی هستند که در سطح کلان باقی بمانند و به جای عامل بر فرآیندهای انجام امور در سیستم تأکید کنند. پویایی سیستمی و مدل‌های صف‌بندی در این دسته جای می‌گیرند. مدل‌های پدیده‌های بسیار پیچیده و پدیده‌هایی که فرآیندهای انجام امور در آن‌ها به طور کامل شناخته شده نیست، با این تکنیک‌ها بسیار دشوار است. در دسته دوم، تکنیک‌هایی قرار می‌گیرند که برای مدل‌کردن یک سیستم، از پایین به بالا حرکت می‌کنند (فارارو و هامون، ۲۰۰۵). ورودی این مدل‌ها ویژگی‌های شخصی و رفتار

عامل‌ها و محیط است و خروجی آن الگوهای اجتماعی، ساختار اجتماعی و عناصر کلان فرهنگی که به تدریج از میان کنش‌های فردی ظهور می‌کنند.

شبیه‌سازی خرد، اتوماتای سلولی و مدل‌سازی عامل‌محور در این دسته قرار می‌گیرند. مدل‌سازی عامل‌محور اعم از دو مورد اول و نسخه‌ی روشی جدیدتر آن‌ها به شمار می‌رود. مدل‌سازی عامل‌محور به محقق اجتماعی امکان می‌دهد که برای مهم‌ترین دغدغه‌های جامعه‌شناسان در مدل‌های خود، مورد به شمار آورد. ناهمگونی کنشگران، نقش تعامل‌های اجتماعی، فرآیند شکل‌گیری ساختارهای اجتماعی و تأثیر و تأثر آن بر کنش‌های فردی، کشف و آزمون مکانیسم‌های اجتماعی مکنون در پویایی‌های اجتماعی، همه و همه را می‌توان با استفاده از مدل‌سازی عامل‌محور انجام داد. مدل‌سازی عامل‌محور در حالی تمام این ویژگی‌ها را بررسی می‌کند که به خاطر محور قراردادن عامل، در بند محاسبات پیچیده ریاضی و محدودیت‌های مدل‌سازی نمی‌ماند.

#### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

همان‌طور که پیش از این بیان شد، پیشرفت‌های به‌دست‌آمده در زمینه رایانه، امکان انجام محاسبات پیچیده و بازتولید مجازی سیستم‌های پیچیده را فراهم کرده است. این پیشرفت‌ها می‌توانند خلایی را که جامعه‌شناسی همواره از آن ضربه خورده است، تا حد زیادی جبران کند. این خلأ ناتوانی در تحلیل درونی سیستم‌ها است (دورلاف، ۱۹۹۸؛ ارتور، ۱۹۹۹؛ اکستل، ۲۰۰۷؛ کولاندر و همکاران، ۲۰۰۸). جامعه‌شناسی همواره یا در مسیر توصیف‌های خرد جزئیات مربوط به تعداد اندکی آزمودنی راه پیموده است و یا در سطح کلان به بررسی همبستگی‌ها میان متغیرها پرداخته است. توصیف آماری، عموماً تنها در یک سطح حرکت می‌کند و نمی‌تواند ناهمگونی‌ها و فرآیندها را و تغییر ماهیت در آزمودنی‌ها در طول زمان و مکان را در نظر بگیرد. از سوی دیگر، بررسی‌های کیفی اگرچه همواره ایده‌های خوبی با خود دارند؛ اما قابل تعمیم نیستند و نمی‌توان به سادگی میان یافته‌های کمی خرد و جریان‌های کلان اجتماعی رابطه برقرار کرد.

جامعه‌شناسان همواره به این متهم بوده‌اند که نمی‌توانند آنچه را ادعای آن را دارند، بررسی کنند. کلیت جامعه، یا خرده سیستم‌های اجتماعی آن دور از دسترس جامعه‌شناسان قرار گرفته‌اند. از سوی

دیگر، پراکندگی و ضدیتی که حوزه‌های مختلف فکری و روشی در جامعه‌شناسی با هم دارند مانع شده است تا انباشت، حداقل تا حدی شبیه آنچه در علوم طبیعی رخ داده است، در جامعه‌شناسی به دست آید (گر، ۱۹۹۹؛ مانیکاس، ۲۰۰۶). اگر چنین روندی ادامه یابد، باید در مفیدبودن چنین علمی برای جامعه تاحدی شک کرد.

جامعه‌شناسان باید سعی کنند تا جایی که می‌توانند خود را با پیشرفت‌های صورت در دیگر علوم همراه کنند و تا حد امکان از آن پیشرفت‌ها استفاده کنند. شبیه‌سازی اجتماعی می‌تواند در این مسیر، ابزار کمی بسیار مفیدی باشد (اسکاتزونی، ۲۰۱۲). همان‌طور که در بخش‌های پیشین دیدیم، تکنیک‌های شبیه‌سازی تفاوت‌های ماهیتی زیادی با هم دارند. هر کدام هم محدودیت‌ها و مزایای ویژه خود را دارند؛ اما تمام این تکنیک می‌تواند فهم کلی از سیستم مورد مطالعه به دست جامعه‌شناس دهد. محقق اجتماعی می‌تواند با استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی اجتماعی کلیت شیء اجتماعی مورد مطالعه را با ارجاع به اجزا و فرآیندهای درونی آن بررسی کند.

شبیه‌سازی اجتماعی با استفاده از روندهای رایانه‌ای صورت می‌گیرد و به همین خاطر محقق اجتماعی را وادار می‌کند که ایده‌های خود را روشن و منطقی بیان کند. این الزام فواید بسیاری برای محققان خواهد داشت. اکتفا به جامعه‌شناسی توصیفی موجب شده است که تناقض در میان اندیشه‌های یک جامعه‌شناس کم نباشد، همچنین شناخت ساختار نظری و فکری یک جامعه‌شناس از خلال بیان‌های توصیفی و نوشتاری مفصل و پرابهام بسیار دشوارتر از بیان همین ایده‌ها در قالب الگوریتم‌ها و نمودارهای روشن است (هدستروم، ۲۰۰۵)، آن‌چنان که بتوان آن را تبدیل به برنامه رایانه‌ای کرد.

همین روشن‌کردن افکار و ایده‌ها در قالب الگوریتم زمینه مناسبی برای ادامه یک مسیر نظری، توسط محققان دیگر فراهم می‌کند. هنگامی که یک اندیشه نظری به روشنی بیان شده باشد، محققان دیگر به آسانی و به همین روشنی می‌توانند آن را آزمون کنند، تغییرات یا ویرایش‌هایی در آن ایجاد کنند و یا آن را بسط دهند. انباشته‌شدن توصیف‌های مفصل و پرابهام در قالب متون، بسیار دشوارتر است از انباشته‌شدن علم در قالب مدل‌هایی که اجرا و انجام آن‌ها توسط هر محقق اجتماعی امکان‌پذیر است.

شبیه‌سازی اجتماعی زمینه بسیار مناسبی برای وارد شدن جامعه‌شناسان در فعالیت‌های بین‌رشته‌ای است. امروز دیگر مرزهای میان رشته‌های علمی چندان روشن نیست، بسیاری از محققان سعی می‌کنند به جای این که رشته‌های علمی مرز میان خود را تعیین کنند، خود مسأله مورد بررسی تعیین کند کدام محققان باید به بررسی آن پردازند؛ به همین علت است که امروزه تعداد متخصصان دیگر حوزه‌ها، به خصوص حوزه‌های فنی و فیزیک، وارد تحقیقات اجتماعی بیشتر می‌شود. جامعه‌شناسان نباید خود را از چنین فعالیت‌هایی جدا کنند. ما مطمئن هستیم که استفاده از شبیه‌سازی اجتماعی حلال تمام مشکلات و بن‌بست‌های فعلی در جامعه‌شناسی نیست؛ اما جامعه‌شناسان خود را فعالیت‌های بین رشته‌ای محروم می‌کنند. پیشروترین مراکز علمی در جهان بین رشته‌ای کار می‌کنند. پیشرفت‌های جدید علمی هم در چنین زمینه‌ای شکل می‌گیرند.

به طور کلی تکنیک‌های شبیه‌سازی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول را فرآیند محور و دسته دوم را عامل محور می‌نامیم. شبیه‌سازی فرآیند محور رابطه میان مراحل و عناصر ساختاری را مشخص می‌کند؛ اما در شبیه‌سازی عامل محور، عامل‌ها و قواعد رفتاری آن‌ها و محیط تعریف می‌شوند و دیگر نیازی به تعریف فرآیندها نیست. از آنجایی که در جامعه‌شناسی تعریف و تخصیص فرآیندها به خاطر پیچیدگی سیستم‌هایی که رو به روی ماست، بسیار دشوار است؛ بنابراین در تحلیل سیستم‌های پیچیده، شبیه‌سازی عامل محور کارآمدتر به نظر می‌رسد.

شبیه‌سازی عامل محور می‌تواند برخی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی محقق جامعه‌شناس را حداقل تا حدی آسان کند؛ به عنوان مثال در یک سیستم اجتماعی تمایل داریم، تا جایی که می‌توانیم ناهمگونی‌های میان عناصر سیستم را در نظر آوریم. این امر در این تکنیک به آسانی انجام می‌شود. دوم این که تمایل داریم نقش تعامل اجتماعی میان عامل‌ها را به طور واقعی وارد مدل کنیم و برون‌داد کلان انواع خاصی از تعامل‌های اجتماعی میان عامل‌ها را بررسی کنیم. این امکان هم در مدل‌سازی عامل محور فراهم است. مهم‌ترین مفهوم در مدل‌سازی عامل محور بعد از عامل، تعامل میان عامل‌هاست. تعامل‌ها هستند که بر عامل‌ها تأثیر می‌گذارند، محیط را می‌توانند تغییر دهند، می‌توانند موجب شکل‌گیری هنجارهای اجتماعی، ساختارهای اجتماعی شوند و خود بر کنش‌های عامل‌ها مؤثر باشند.

دیگر این که در مدل‌سازی عامل‌محور می‌توانیم سطح میانه را؛ یعنی همان سطح تحلیلی که را در دیدگاه مرتونی حایز مهم‌ترین اهمیت در بررسی‌ها جامعه‌شناختی است، مورد بررسی قرار دهیم. مدل‌های عامل‌محوری که ما می‌سازیم، از یک سو مبتنی بر ویژگی‌های پدیده اجتماعی مورد مطالعه ما هستند و از سوی دیگر پای بر دیدگاه نظری جامعه‌شناختی دارند.

بدون شک شبیه‌سازی اجتماعی راه طولانی پیش رو دارد. این حوزه تحقیقات اجتماعی به نسبت عمر کوتاه خود پیشرفت‌های چشم‌گیری داشته است و با توجه به امکان انباشتگی که در آن وجود دارد انتظار می‌رود آینده خوبی در انتظار آن باشد؛ اما این حوزه تحقیقاتی هم مانند دیگر حوزه‌ها و روش‌های جامعه‌شناختی خالی از خلل نیست. شبیه‌سازی اجتماعی هنوز نتوانسته است آن طور که باید در جریان اصلی جامعه‌شناسی، خود را تحمیل کند. نرم‌افزارهای و بسته‌های نرم‌افزاری که برای شبیه‌سازی اجتماعی وجود دارند هنوز چندان پیشرفته نیستند. پیشرفت در این نرم‌افزارها که البته به طور حتم در طول زمان صورت خواهد گرفت، می‌تواند کمک شایانی به این حوزه جامعه‌شناسی کند.

بیشتر محققان جامعه‌شناسی، اگرچه ممکن است آشنایی نسبی با تکنیک‌های آماری و نرم‌افزارهای مرتبط آماری داشته باشند؛ اما غالب آن‌ها توانایی برنامه‌نویسی یا استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری را ندارند. استفاده از برنامه‌نویسی در این تکنیک‌ها موجب شده است که بسیاری از محققان اجتماعی از همان ابتدا پس بکشند و ترجیح دهند تحقیقات خود را به شیوه سنتی تحقیقات اجتماعی انجام دهند. برجستگی‌هایی که برای تکنیک‌های شبیه‌سازی ذکر کردیم به آن معنی نیست که روش‌ها و بینش‌های موجود در جامعه‌شناسی را نفی کنیم. هر کدام از این روش‌ها و بینش‌ها رهیافت جدید و ایده‌های نوینی را به جامعه‌شناختی تقدیم کرده است. در واقع تعصبی برای استفاده انحصاری از شبیه‌سازی نباید وجود داشته باشد. ایده‌آل آن است که محقق جامعه‌شناس از تمام روش‌های مناسب استفاده کند تا بهترین دریافت را از واقعیت اجتماعی داشته باشد.

#### کتاب‌نامه

1. Arthur, B. W. (1999). "Complexity and the Economy". *Science*, 2 April 1999. 284. pp 107-109.
2. Axelrod, R. (2001). *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and collaboration*. Princeton University Press.



3. Axtell, R. L. (2007). "What Economic Agents Do: How Cognition and Interaction Lead to Emergence and Complexity". *Review of Austrian Economics*. 20. Pp 105-122.
4. Babbie, E. (2008). *The basic of social research*. Wadsworth Cengage Learning.
5. Barreteau, O; Bousquet, F; Millier, C; Weber, J. (2004). "Suitability of Multi-Agent Simulations to Study Irrigated System Viability: Application to Case Studies in the Senegal River Valley". *Agricultural Systems*. 80. 3. Pp 255-275.
6. Becu, N; Perez, P; Walker, A; Barreteau, O and Le Page, C. (2003). "Agent Based Simulation of a Small Catchment Water Management in Northern Thailand: Description of the CATCHSCAPE Model". *Ecological Modelling*. 170. 2-3. Pp 319-331.
7. Boudon, R. (1970). *L'analyse Math'ematiques des Faits Sociaux*. 2nd edn. Paris: Plon.
8. Casti, J. (1999). The computer as a laboratory: toward a theory of complex. adaptive systems. *Complexity*. 4(5). pp 12-14.
9. Chung, C. A. (2003). *Simulation modeling handbook: A practical approach*. CRC press. Boca Raton. FL.
10. Colander, D; Howitt, P; Kirman, A; Leijonhufvud, A; Mehrling, P. (2008). "Beyond DSGE Models: Toward an Empirically Based Macroeconomics". *American Economic Review*. 98. 2. Pp 236-240.
11. Coleman, J.S. (1962). "Analysis of social structures and simulation of social processes with electronic computers". in *Simulation in Social Science*. (ed. H. Guetzkow). Prentice Hall. Englewood Cliffs. NJ. pp. 63-69.
12. Coleman, J.S. (1964). *Introduction to Mathematical Sociology*. ., New York: MacMillan Publishing
13. CoDosi, G; Fagiolo, G. and Roventini, A. (2006). "An Evolutionary Model of Endogenous Business Cycles". *Computational Economics*. 27. Pp 1. 3-34.
14. Durlauf, S. N. (1998). "What Should Policymakers Know About Economic Complexity?". *The Washington Quarterly*. 21. 1. Pp 157-165.
15. Epstein, J. M. (2006). *Generative Social Science. Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton: Princeton University Press.
16. Epstein, J. M and Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*. Cambridge: MA, The MIT Press.
17. Fararo, T. J. and Hummon, N. P. (2005). "The Emergence of Computational Sociology". *Journal of Mathematical Sociology*. 20. 2-3. Pp 79-87.

18. Frank, U; Squazzoni, F and Troitzsch, K. G. (2009). "EPOS-Epistemological Perspectives on Simulation: An Introduction". in F. Squazzoni (ed.). *Epistemological Aspects of Computational Social Science*.
19. Giere, R. N. (1999). *Science without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.
20. Gilbert, N. (2002). "Varieties of Emergence". in D. Sallach (ed.). *Social Agents: Ecology, Exchange, and Evolution. Agent 2002 Conference*. Chicago: University of Chicago and Argonne National Laboratory. Pp 41-56.
21. Gilbert, N. (2008). *Agent-Based Models*. London: Sage Publications.
22. Gilbert, N. and Abbott, A. (2005). "Introduction". *American Journal of Sociology*. 110 (4). Pp. 859–863.
23. Gilbert, N. and K. Troitzsch. (1999). *Simulation for the Social Scientist*. Buckingham: Open University Press
24. Gilbert, N. and Troitzsch, K.G. (2005) *Simulation for the Social Scientist* 2nd ed. Maidenhead: Open University Press.
25. Hanneman, R. A. (1988). *Computer-Assisted Theory Building. Modeling Dynamic Social Systems*. Sage :Newbury Park. CA.
26. Harding, A. (ed.). (1996) *Microsimulation and public policy. Contributions to economic policy*. vol. 232. Elsevier. Amsterdam.
27. Hedström, P. (2005). *Dissecting the Social. On the Principles of Analytical Sociology*. Cambridge: MA, Cambridge University Press.
28. Heise, D. R. and Simmons, R. G. (1985). Some computer-based developments in sociology. *Science*. 228. Pp 428–433.
29. Kreutzer, W. (1986). *System simulation. Programming styles and languages*. Sydney: Addison-Wesley.
30. Lansing, J. S; Kremer, J. N. (1993). "Emergent Properties of Balinese Water Temple Networks: Coadaptation on a Rugged Fitness Landscape". *American Anthropologist*. 95. 1. Pp 97-114.

31. Manicas, P. (2006). *A Realist Philosophy of Social Science: Explanation and Understanding*. Cambridge: Cambridge University Press.
32. Miller, J. H; Page, S. E. (2007). *Complex Adaptive System. An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton: Princeton University Press.
33. Orcutt, G. H & et al. (eds). (1986) Microanalytic simulation models to support social and financial policy. *Informamtion research and resource reports*. vol. 7. North-Holland. Amsterdam.
34. Pans, R and Vriend, N.BJ. (2007). "Schelling's Spatial Proximity Model of Segregation Revisited". *Journal of Public Economics*. 91. 1-2, pp 1-24.
35. Pingle, M and Tesfatsion, L. (2003). Evolution of Worker-Employer Networks and Behaviors under Alternative Non-Employment Benefits: An Agent-Based Computational Study. in A. Nagurney (ed.) *Innovations in Financial and Economic Networks*. Cheltenham. Uk: Edward Elgar.
36. Pyka, A. and Hanush, H. (eds.) (2006). *Applied Evolutionary Economics and the Knowledge-Based Economy*. Cheltenham. UK: Edward Elgar.
37. Railsback, Steven F. & Grimm, V. (2011). *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*. Princeton University Press.
38. Richiardi, M. (2004). "A Search Model of Unemployment and Firm Dynamics". *Advances in Complex Systems*. vol. 7. no. 2.
39. Schelling, T. (1971). "Dynamic models of segregation". *Journal of Mathematical Sociology*. 1. Pp 143-186.
40. Schelling, T. (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. New York: W. W. Norton.
41. Simon, H. (1969). *The Sciences of the Artificial*. The MIT Press. Cambridge: MA.
42. Terano, T. (2005). *Agent-based Simulation: From Modeling Methodologies to Real-world applications* Springer.
43. Troitzsch, K. G. (1997.) "Social Science Simulation: Origins, Prospects, Purposes". in *Conte, Hegselmann and Terna*. pp 41-54.
44. Troitzsch, K. G. (2009). "Multi-Agent Systems and Simulation: A Survey from an Application Perspective." in *A. M. Uhrmacher and D. Weyns (eds.)*. *Multi-Agent Systems. Simulation and Applications*. Boca Raton. FL. CRC Press. pp 53-75.

45. Zeigler, B. P. (1985). Theory of modeling and simulation. pp. 125-196.
46. Zhang, J. (2004) "A Dynamic Model of Residential Segregation" *Journal of Mathematical Sociology*. 28. Pp 147-170.

