مسلسل: ۱۸۲۹۸
تیر ۱۴۰۱

نقش و کاربرد شبیه‌سازی در ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری، خط‌مشی‌گذاری و قانونگذاری

دفتر: مطالعات بنیادین حکمرانی

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

شناسنامه گزارش

شماره مسلسل: ۱۸۲۹۸

کد موضوعی: ۲۹۰

عنوان گزارش: نقش و کاربرد شبیه‌سازی در ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری، خط‌مشی‌گذاری قانونگذاری

نام دفتر: مطالعات بنیادین حکمرانی

تهیه و تدوین‌کنندگان: ایمان اکبری، محمد عبدالحسین‌زاده

ناظران علمی: مهدی عبدالحمید، محمدمهدی مهربان

اظهارنظرکنندگان: اقدس بدیعی، سپیده شفیعا (دفتر مطالعات مدیریت)، احمد مرکز مالمیری (دفتر مطالعات اقتصادی)، روح‌اله مکارم (دفتر مطالعات حقوقی)، سیدمجتبی شهرآئینی

واژه‌های کلیدی:

۱. مدل‌سازی

۲. خط‌مشی‌گذاری

۳. شبیه‌سازی

۴. آزمایشگاه حکمرانی

۵. بهبود قانونگذاری

۶. کارآمدی مجلس

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۵/۱

به نام خدا

فهرست مطالب

چکیده ۱
مقدمه ۱
خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد ۲
فرایندها و انواع مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی در مسائل خط‌مشی‌گذاری ۳
به‌کارگیری مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی در مسائل خط‌مشی‌گذاری ۵
مفاهیم و ضرورت ۵
دستاوردها و فواید ۷
رویکردهای مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی در مسائل خط‌مشی‌گذاری ۸
پویایی‌های سیستم (SD) ۸
مثال کاربردی ۱۱
مدل‌سازی مبتنی‌بر عامل (ABM) ۱۳
مثال کاربردی ۱۴
شبیه‌سازی گسسته پیشامد (DES) ۱۷
مثال کاربردی ۱۷
سیستم‌های پویا (DS) ۱۹
استفاده ترکیبی از رویکردها ۲۰
مقایسه رویکردها ۲۲
رهنمودهای پیشنهادی جهت ارتقای کیفیت قانونگذاری و تصمیم‌گیری در مجلس شورای اسلامی ۲۵
منابع و مآخذ ۲۸

نقش و کاربرد شبیه‌سازی در ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری، خط‌مشی‌گذاری و قانونگذاری

چکیده

خط‌مشی‌گذاری عمومی تدبیر دولت‌ها در برابر مسائل عمومی جامعه است. به‌علت اهمیت اثر اتخاذ تصمیم‌های مناسب و مؤثر توسط دولت در برابر مسائل عمومی، علم خط‌مشی‌گذاری عمومی به‌عنوان موضوعی میان‌رشته‌ای توسعه یافته است و تلاش‌های فراوانی در راستای بالا بردن کیفیت تصمیم‌گیری و خط‌مشی‌گذاری‌ها انجام شده است. خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد و استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی در مراحل مختلف خط‌مشی‌گذاری عمومی نمونه‌ای از این تلاش‌هاست. در این گزارش به‌دنبال بررسی دقیق‌تر جایگاه، اهمیت و دستاورد استفاده از مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی در راستای ارتقای کیفیت خط‌مشی‌گذاری‌ها و تدوین قوانین هستیم. در این راستا سه رویکرد اصلی مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی بیان و مقایسه می‌شود. استفاده از شبیه‌سازی در مسائل قانونگذاری و خط‌مشی‌گذاری می‌تواند دستاوردهای فراوانی داشته باشد. برای مثال می‌توان به کاهش هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی تصمیم‌های پیش‌بینی نشده، استفاده از نظرات و تجربیات افراد مختلف و دستاوردهای برنامه‌های اجرا شده قبلی، پیش‌بینی رفتار عامل‌های مختلف مؤثر بر مسئله و پیامدهای احتمالی تصمیم‌ها، توانمندسازی قانونگذاران در مواجهه با آثار پیش‌بینی نشده اقدامات، ایجاد سرمایه اجتماعی در قانونگذاری‌ها از طریق ارائه اطلاعات مناسب به جامعه و ذی‌نفعان در رابطه با پیامد تصمیم‌ها، جلوگیری از اخذ تصمیم‌ها و قانونگذاری‌های شتاب‌زده و جناحی، تسهیل فرایند تصمیم‌گیری در مسائل عمومی و... اشاره کرد؛ بنابراین در پایان گزارش رهنمودهای سیاستی در راستای بهره‌گیری از شبیه‌سازی در مراحل مختلف قانونگذاری با هدف ارتقای کیفیت قوانین در مجلس شورای اسلامی پیشنهاد خواهد شد.

مقدمه

خط‌مشی‌گذاری عمومی به‌عنوان علمی میان‌رشته‌ای به دنبال حل مسائل عمومی در سطح جامعه و حتی گاهی در سطح جهان است که معمولاً دارای ساختاری پیچیده و چندبُعدی است. علاوه بر این، محیط خط‌مشی‌گذاری عمومی معمولاً شامل بازیگران متعدد با علایق مختلف و محیطی متغیر، پویا و پیچیده است. البته، به این موارد می‌توان آثار فراوان، عمیق و معمولاً طولانی‌مدت خط‌مشی‌ها بر ابعاد مختلف زندگی افراد جامعه را نیز اضافه کرد. مجموع این موارد باعث می‌شود که خط‌مشی‌گذاری فرایندی پیچیده، حساس و با اهمیت به‌شمار آید. از آنجا که صلاحیت و امکانات حل مسائل عمومی صرفاً برعهده دولت‌هاست، تصمیم‌های جانبدارانه سیاستمداران در راستای اهداف جناحی یا تصمیم‌های مقطعی و صوری در قانونگذاری و خط‌مشی‌گذاری‌ها دور از انتظار نیست. لذا، عدم توجه به نتایج طولانی‌مدت و پیچیده تصمیم‌ها که ناشی از محدودیت توانایی ذهنی انسان است و همچنین اکتفا به تجربیات شخصی قانونگذاران می‌تواند منجر به نتایج غیرقابل قبول و حتی آسیب‌زا برای جامعه گردد. نبود شواهد و نتایج ملموس در مورد پیامد تصمیم‌ها، زمینه را برای تصمیم‌گیری بدون در نظرگیری منفعت عامه مساعد می‌نماید. ازاین‌رو، ضرورت قانونگذاری و

خط‌مشی‌گذاری آگاهانه و علمی با در نظرگرفتن جنبه‌های مختلف مسائل و با هدف اجتناب از مشکلات احتمالی، بیش از پیش روشن می‌گردد. خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد، رویکردی است که در راستای خط‌مشی‌گذاری علمی مطرح شده و توسعه یافته است. این رویکرد اساساً به دنبال به‌کارگیری شواهد علمی معتبر در خط‌مشی‌گذاری‌هاست.

یکی از ابزارهای حرکت به‌سوی خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد، ایجاد آزمایشگاه‌های خط‌مشی (Abdolhosseinzadeh, Abdolhamid, 2020) و استفاده از روش‌های مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی در مراحل مختلف خط‌مشی‌گذاری است. شبیه‌سازی یکی از روش‌های مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده با هدف بررسی ابعاد مسئله و اتخاذ تصمیم‌های بهینه است. شبیه‌سازی به‌علت ماهیت انعطاف‌پذیر و مبتنی‌بر شواهد خود می‌تواند ابزار مفیدی در راستای فهم جامع از مسئله و سیستم پیرامون آن باشد. همچنین شبیه‌سازی می‌تواند در نظریه‌پردازی و یا پیش‌بینی آثار احتمالی تصمیم‌ها با هدف ارتقای کیفیت آنها، صرفه‌جویی در زمان و هزینه و همچنین پیشگیری از آثار نامطلوب هریک، نقش تأثیرگذاری ایفا نماید. با توجه به موارد مزبور، به‌کارگیری ملزومات خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد ازجمله شبیه‌سازی در مسائل عمومی و قانونگذاری کشور، می‌تواند موجب ارتقای قابل توجه کیفیت خط‌مشی‌گذاری شود.

در این گزارش ابتدا به بررسی جایگاه خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد می‌پردازیم. سپس انواع مدل‌سازی در مسائل سیستم‌های اجتماعی بیان شده و جایگاه مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی در مسائل خط‌مشی‌گذاری عمومی بررسی می‌شود. سپس رویکردهای مختلف شبیه‌سازی بررسی و مقایسه می‌شود و درنهایت رهنمودهای پیشنهادی در راستای به‌کارگیری شبیه‌سازی و بهره‌گیری از مزایای آن در قانونگذاری در مجلس شورای اسلامی بیان خواهد شد.

خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد

خط‌مشی عمومی به‌عنوان راهکار حکومت‌ها برای پاسخگویی به مشکلات عمومی از اهمیت فراوانی برخوردار است. یکی از مهم‌ترین ابعاد خط‌مشی عمومی، مسئله‌محور بودن و هدفمند بودن آن است که در فرایند خط‌مشی‌گذاری عمومی نیاز است مورد توجه قرار گیرد. فرایند خط‌مشی‌گذاری عمومی مجموعه‌ای از فعالیت‌های مرتبط و وابسته به هم تلقی می‌شود که در یک چرخه (شناخت و تحلیل مسئله، تدوین دستورکار برای مسئله، شکل‌گیری و تدوین خط‌مشی، اجرای خط‌مشی، ارزشیابی خط‌مشی، تغییر/خاتمه خط‌مشی) به‌نحو مطلوب مفهوم‌سازی می‌شود (Lester & Stewart, 2008).

برای ارتقای کیفیت خط‌مشی‌ها مدل‌های گوناگون خط‌مشی‌گذاری پیشنهاد شده است. یکی از این مدل‌ها، خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد نام دارد. شواهد به مجموعه‌ای از اطلاعات اطلاق می‌شود که نشان می‌دهد یک باور یا یک پیش‌فرض معتبر است یا خیر (عباسی و همکاران؛ ۱۳۹۷). خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد به دنبال راهکاری است که خط‌مشی‌ها به‌جای تکیه بر تجربیات شخصی یا نظر و عقیده خط‌مشی‌گذاران و یا نظرسنجی‌های نگرشی، بر شواهد علمی و مدارک پژوهشی به‌دست آمده از روش‌های معتبر متکی باشند (Sutcliffe, 2005). این رویکرد بر اهمیت ادغام آرمان‌های سیاسی با پژوهش‌های اجتماعی و فنی به‌کار برده می‌شود. همچنین این رویکرد می‌تواند مکمل رویکرد خط‌مشی‌گذاری در پرتو نظرها و عقاید باشد. رویکرد خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد زمینه را برای تحقق خط‌مشی‌گذاری هوشمند فراهم

می‌آورد و دستیابی به سطوح بالاتری از بهینگی خط‌مشی‌ها را امکان‌پذیر می‌کند. (شریفی و همکاران، ۱۴۰۰)

این رویکرد از طریق شناسایی مسائل جدید برای دستورکار خط‌مشی، اتخاذ تصمیم‌های درست درباره محتوا و جهت‌گیری خط‌مشی یا ارزیابی نتایج و پیامدهای خط‌مشی به ارتقای کیفیت خط‌مشی کمک می‌کند (Campell, 2007). برای مثال اگر یک مجموعه شواهد، معیارها و شاخص‌های کلی وجود داشته باشد که خط‌مشی‌گذار بتواند براساس آن، خط‌مشی‌های خود را مورد ارزیابی قرار دهد، می‌تواند پیشنهاد سیاستی مناسبی را ارائه دهد که هم با موفقیت تدوین شود و هم بازخورد و پیامدهای مناسبی داشته باشد. یا اگر بتوان در مورد موضوع و مسئله اطلاعات گسترده و باکیفیتی جمع‌آوری کرده و آن را به دانش معنادار تبدیل کنیم و در بین ذی‌نفع‌های مختلف که قدرت عمل دارند، منتشر کنیم، می‌توان در مورد مسائل عمومی تصمیم‌های بهتری اتخاذ کرد (Clarence, 2002). به‌عبارت دیگر، انجام مطالعات علمی که طبق برنامه‌ها و عملیات ویژه‌ای انجام می‌شود منجر به اتخاذ خط‌مشی‌های بهتری می‌شود که این مطلب اهمیت استفاده از شواهد را در خط‌مشی‌گذاری روشن می‌کند.

یکی از راه‌های تسهیل به‌کارگیری شواهد در خط‌مشی‌گذاری عمومی راه‌اندازی آزمایشگاه‌های خط‌مشی است. در آزمایشگاه خط‌مشی با گردهم آمدن افراد آگاه درباره جنبه‌های مختلف خط‌مشی و گاهی ذی‌نفعان خط‌مشی و استفاده از ابزارهای مختلف، زمینه گردآوری شواهد علمی متعدد فراهم می‌شود. یکی از مهم‌ترین ابزارهایی که در سال‌های اخیر در زمینه‌های مختلفی از خط‌مشی‌گذاری به‌کار رفته است، شبیه‌سازی سیستم‌های اجتماعی و استفاده از آن در حل مسائل خط‌مشی‌گذاری است. مدیریت سیستم‌های پیچیده با عوامل متعدد و ناهمگون و رفتار غیرخطی، فرایند بسیار پیچیده‌ای است. شبیه‌سازی می‌تواند یکی از بهترین انتخاب‌ها برای حل این نوع مسائل و اتخاذ تصمیم‌های بهینه در این نوع سیستم‌ها باشد. شبیه‌سازی به‌علت ماهیت انعطاف‌پذیر و شواهدمحور خود می‌تواند ابزار تجربی مناسبی برای استفاده در مراحل مختلف فرایند خط‌مشی‌گذاری با هدف رسیدن به خط‌مشی‌گذاری شواهدمحور باشد. در قسمت بعد به معرفی بیشتر نقش شبیه‌سازی در مدل‌سازی سیستم‌های اجتماعی و جایگاه آن در مسائل تصمیم‌گیری و خط‌مشی‌گذاری عمومی می‌پردازیم.

فرایندها و انواع مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی در مسائل خط‌مشی‌گذاری

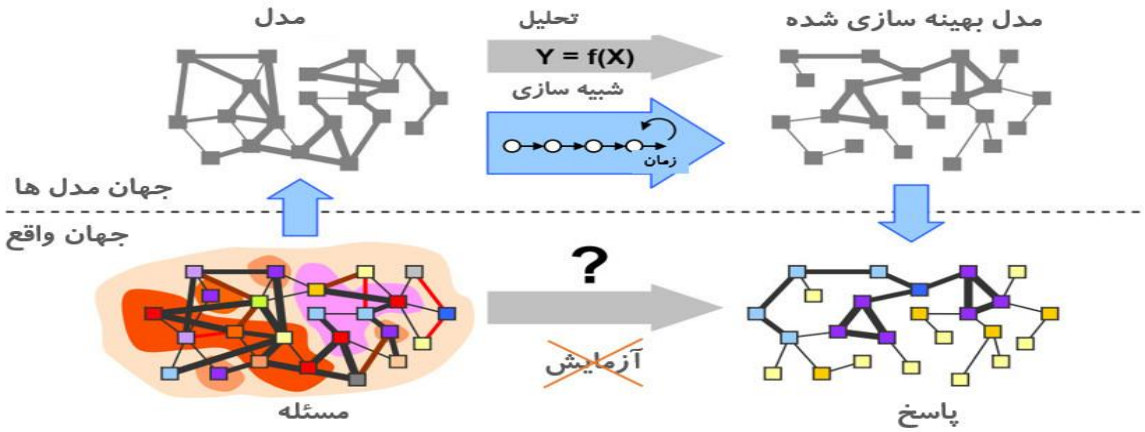
برای بررسی نقش شبیه‌سازی در سیستم‌های اجتماعی و به‌طور خاص مسائل خط‌مشی‌گذاری عمومی لازم است ابتدا به بحث مدل‌سازی بپردازیم. مدل، ارائه ساده‌شده‌ای از جهان واقع است. مدل‌ها ابزارهایی برای شناخت محیط واقعی هستند. این ابزارها جهت ساده‌سازی فهم یا ایجاد درک مشترک و قابل انتقال بین انسان‌ها با تکیه بر ابعاد خاصی از مسئله یا شیء مدنظر ایجاد می‌شوند. مدل می‌تواند از یک نمونه مجسم فیزیکی مثل مدل کوچک یک هواپیما تا یک فلوچارت یا مدل‌های ذهنی پیچیده‌تر باشد. (Dye, 1995)

در مسائل اجتماعی به‌علت پیچیدگی بالای محیط اجتماعی و وجود متغیرها، نهادها و بازیگران مختلف، استفاده از مدل‌سازی جهت تسهیل فهم مسئله و زمینه‌سازی اقدامات مناسب، ضرورت بیشتری می‌یابد. از طرف دیگر مدل در این موارد جنبه‌های خاصی از پدیده که به دنبال آن هستیم را روشن می‌کند. مدل‌سازی همچنین راهکاری جهت یافتن راه‌حل مسائلی است که آزمایش تجربی آنها نیاز به زمان یا هزینه بالا دارد و یا امکان آزمون و خطا در آنها وجود

ندارد. در این موارد مدل‌سازی به ما اجازه می‌دهد تصمیم‌های مدنظر را قبل از پیاده‌سازی عملی، بهینه‌سازی کرده و در زمان یا هزینه صرفه‌جویی کنیم. مسائل تصمیم‌گیری و خط‌مشی‌گذاری عمومی اغلب ویژگی‌های گفته شده را دارا هستند. بنابراین استفاده از مدل در این مسائل بسیار رایج است.

مدل‌سازی شامل فرایند معادل‌سازی مسئله از جهان واقعی به مدل آن در جهان مدل‌ها (فرایند انتزاعی کردن)، سپس آنالیز و بهینه‌سازی مدل و سپس تبدیل پاسخ بهینه به‌دست آمده از جهان مدل به جهان واقع است. باید در مدل‌سازی بین دو نوع از مدل‌ها تمایز قائل شویم. شکل ۱ شماتیکی از این فرایند را نشان می‌دهد. طبق این شکل، پس از معادل‌سازی مسئله به زبان جهان مدل‌ها، دو نوع انتخاب برای مدل‌سازی خواهیم داشت. نوع اول مدل مبتنی‌بر تحلیل[1] است. در مدل‌های تحلیلی یا ایستا،[2] خروجی مدل در عمل فقط وابسته به ورودی‌ها یعنی تعدادی پارامتر است. این نوع مدل امکان پیاده‌سازی روی کاغذ را دارد (برای مثال مدل جرم و فنر و معادلات نوسان آن در مسائل فیزیکی). اما یافتن مدل تحلیلی ممکن است بسیار سخت باشد یا در برخی مسائل اصلاً مدل تحلیلی وجود نداشته باشد. بنابراین از مدل نوع دوم یعنی مدل مبتنی‌بر شبیه‌سازی[3] یا مدل پویا[4] استفاده می‌کنیم. مدل مبتنی‌بر شبیه‌سازی که ما آن را از این پس مدل شبیه‌سازی می‌نامیم می‌تواند به‌عنوان مجموعه‌ای از قواعد (مانند معادلات، فلوچارت‌ها، ماشین‌های حالت و دستگاه سلولی خودکار و...) در نظر گرفته شود که مشخص می‌کنند سیستم مدل‌سازی شده با توجه به حالت فعلی و متغیرهای ورودی در لحظه فعلی، در آینده چگونه تغییر می‌کند (پویایی مدل). شبیه‌سازی درواقع فرایند اجرای مدل است که مدل را به شکلی پویا طی تغییر حالات در طول زمان به‌دست می‌دهد. در حالت کلی برای مسائل پیچیده که تغییرات طی زمان در آنها مهم است، مدل شبیه‌سازی انتخاب بهتری برای مدل‌سازی است. (Borshchev, 2004)

شکل ۱. فرایند راه‌حل‌یابی به‌وسیله مدل‌سازی



Source: Borshchev, 2004.

1. Analytical Model
2. Static
3. Simulation Model
4. Dynamic Model

می‌توان مدل‌های شبیه‌سازی را برحسب میزان انتزاع و مفهومی بودن در شکل ۲ قرار داد (Borshchev, 2004). در این نمودار مدل سخت‌افزارهای کامپیوتری یا مدل‌های ترافیک خُرد به‌عنوان نمونه‌ای از مدل‌های دارای کمترین سطح انتزاع و بیشترین جزئیات مشاهده می‌شوند که بیشتر مدل‌های عملیاتی هستند و مدل‌هایی مانند اقتصاد سلامت، بازار و رقابت و دینامیک‌های جمعیتی به‌عنوان نمونه‌ای از مدل‌ها با بیشترین انتزاع، جزئیات کمتر و در سطح کلان مشاهده می‌شوند.

شکل۲. کاربردهای مدل‌سازی شبیه‌سازی برحسب میزان انتزاع

Source: Ibid.

در مسائل مدنظر ما در این گزارش که شامل مسائل خط‌مشی‌گذاری عمومی و تصمیم‌گیری عمومی می‌شود، به‌علت مواجه بودن با رفتارهای انسانی و سیستم‌های پیچیده اجتماعی انسانی، مدل مدنظر مانند مدل دینامیک‌های جمعیتی یا مدل نیروی انسانی و پرسنل یا مدل‌های اقتصاد سلامت، بالاترین سطح انتزاع و پیچیدگی را خواهد داشت.

به‌کارگیری مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی در مسائل خط‌مشی‌گذاری

مفاهیم و ضرورت

سیستم‌های اجتماعی از تعداد فراوانی از موجودیت‌های تصمیم‌گیر تشکیل می‌شود که در تعامل با یکدیگر پیچیدگی زیادی ایجاد می‌کنند. این سیستم‌های پیچیده معمولاً با سیاست‌ها یا خط‌مشی‌ها هدایت می‌شوند. خط‌مشی‌ها، ابزارهایی هستند که فعالیت‌ها یا تصمیم‌ها را در جهت رسیدن به نتایج مطلوب، جهت‌دهی می‌کنند. طراحی خط‌مشی مطلوب یک فرایند چرخه‌ای شامل شناسایی مسائل و اهداف، تعیین خط‌مشی‌های پیشنهادی ممکن، انتخاب خط‌مشی با بهترین امکان دستیابی به هدف و درنهایت اجرا و ارزشیابی آثار خط‌مشی اجرا شده بر سیستم و میزان دستیابی به هدف جهت بهبود خط‌مشی‌های بعدی است (Ghorbani, 2014). برای بهبود این چرخه از ابزارهای مختلفی استفاده شده که یکی از ابزارهای اخیر در این زمینه استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای در این مسائل است. خط‌مشی عمومی ویژگی‌هایی دارد که باعث می‌شود استفاده از شبیه‌سازی نتایج بهتری نسبت به استفاده از شیوه‌های سنتی خط‌مشی‌گذاری

همچون رویکردهای عقلایی یا رویکردهای سیاسی ایجاد کند: (Ruiz, 2016؛Ghaffarzadegan, 2011)

● **مقاومت خط‌مشی ناشی از محیط**: به‌علت پیچیدگی محیط خط‌مشی عمومی و وجود حلقه‌های بازخورد[1] متعدد و پیچیده، اقدامات خط‌مشی گاهی در اثر این بازخوردها در محیط، آثاری غیرقابل پیش‌بینی ایجاد می‌کنند که خط‌مشی اتخاذ شده را تحلیل می‌برند. این پدیده مقاومت خط‌مشی[2] نامیده می‌شود (برای مثال اگر خط‌مشی کیفیت زندگی را در محلی بالا ببرد مهاجرت به آن نقطه زیاد شده و بالا رفتن مصرف منابع باعث کاهش کیفیت زندگی می‌شود). با استفاده از شبیه‌سازی می‌توان نتایج تصمیم‌ها را در محیط‌های پیچیده به‌وسیله مدل‌سازی مناسب پیش‌بینی و تحلیل کرد و نسبت به برنامه‌ریزی مناسب اقدام نمود.

● **هزینه بالای آزمایش تجربی**: یادگیری به‌وسیله آزمایش در طبیعت انسان‌ها و سازمان‌هاست. به این معنا که با مشاهده نتایج اقدامات به بهبود اقدامات آینده می‌پردازند. یادگیری به‌وسیله آزمایش در خط‌مشی‌گذاری عمومی جایگاه مهمی دارد. اما خط‌مشی‌ها قابل برگشت نیستند و ممکن است خط‌مشی ناصحیح اوضاع را نسبت به حالت اولیه بدتر و شرایط را پیچیده‌تر کند. همچنین پدیده مقاومت خط‌مشی و زمان طولانی مورد نیاز برای پیاده‌سازی بعضی از خط‌مشی‌ها، یادگیری با آزمایش عملی را در این زمینه ناکارآمد می‌کند. بنابراین یادگیری با آزمایش به‌وسیله شبیه‌سازی‌ها اقدام مؤثری در این زمینه خواهد بود.

● **نیاز به اقناع ذی‌نفعان متعدد:** خط‌مشی عمومی به‌سادگی گرفتن یک تصمیم و سپس پیاده‌سازی آن نیست. بلکه ذی‌نفعان متعددی وجود دارند که می‌توانند روی نتایج خط‌مشی در مراحل مختلفی علی‌الخصوص مرحله اجرا اثر بگذارند. بنابراین ایجاد یک اجماع نسبت به اثربخشی خط‌مشی در میان ذی‌نفعان و افکار عمومی ضروری و کمک‌کننده است که با شبیه‌سازی قابل دستیابی است.

● **اعتماد بیش از حد خط‌مشی‌گذاران به یافته‌های خود:** اعتماد بیش از حد به نتایج خود در میان خط‌مشی‌گذاران و اعتقاد به زیاد دانستن که مطالعات مختلفی آن را نشان داده است (Light (1997) , Hood and Peters (2004)) باعث اثر منفی بر مدل‌های ذهنی و استراتژی‌های آنها و کاهش امکان بازنگری درباره اقداماتشان می‌شود. بررسی نتایج احتمالی پیش از اقدام عملی می‌تواند کمک مناسبی در این زمینه باشد.

● **نیاز به داشتن نگرش درونی:** تصمیم‌گیران اغلب پیامدهای نامطلوب اقدامات خود را به عوامل بیرونی نسبت می‌دهند. درحالی‌که داشتن نگرش درونی پیش‌نیاز یادگیری مناسب و اصلاح کاستی‌ها در هنگام وقوع پیامدهای نامطلوب است. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و در نظرگیری حلقه‌های بازخورد میان عوامل مختلف مؤثر بر خط‌مشی می‌تواند آثار دیده نشده عوامل درونی (عوامل داخل حیطه اقتدار و کنترل دولت و تصمیم‌گیران) را روشن سازد که قبلاً به‌خاطر پیچیدگی سیستم‌های اجتماعی با فکر محدود انسانی قابل تحلیل نبوده است.

● **پیچیده بودن مسائل و کمک در ساختاردهی مسئله:** مسائل عمومی به‌علت سروکار داشتن با سیستم‌های اجتماعی انسانی و عوامل متعدد اغلب پیچیدگی بالایی دارند و متأثر از عوامل متعددی هستند. شناسایی میزان اثر

1. Feedback
2. Policy Resistance

هرکدام از عوامل یا حتی شناسایی عوامل ناشناخته برای ساختاردهی مسئله خط‌مشی یا قانونگذاری ضروری است. شبیه‌سازی می‌تواند در این زمینه نیز در راستای روشن شدن ابعاد مسئله و ساختاردهی به آن، بسیار کمک‌کننده باشد.

درنتیجه استفاده از شبیه‌سازی‌ها در هرکدام از مراحل مختلف خط‌مشی‌گذاری و تصمیم‌گیری عمومی می‌تواند کمک شایانی به فرایند خط‌مشی‌گذاری و قانونگذاری کند که این دستاوردها در قسمت بعدی بررسی خواهد شد.

دستاوردها و فواید

در قسمت قبل نسبت به ضرورت استفاده از شبیه‌سازی در مسائل خط‌مشی‌گذاری بحث شد و نشان داده شد که مسائل قانونگذاری و خط‌مشی‌گذاری عمومی ویژگی‌هایی دارند که استفاده از شبیه‌سازی در این مسائل می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد. اکنون به بررسی دستاوردهای استفاده از شبیه‌سازی در مسائل بیان شده می‌پردازیم.

شبیه‌سازی می‌تواند کارکردهای مختلفی داشته باشد. ازجمله (Ruiz, 2016؛ Larsson, 2015، Harrison, 2007): آزمون ایده‌های جدید، پیش‌بینی پیامدهای خط‌مشی یا قانون، توسعه نظریه، تعیین نیاز به مکانیسم خاصی که بر تصمیم‌گیری اثر می‌گذارد، پیش‌بینی مسیرهای آینده، استفاده از سناریوهای چه ـ اگر، [1] محاسبه اثر متغیرهای مختلف و آنالیز حساسیت، امکان فرض عامل (های) دلخواه در شبیه‌سازی آزمایش، امکان تست آزمایش‌های پیشنهادی منتقدان و... .

این کارکردهای مختلف می‌تواند در مراحل مختلف خط‌مشی‌گذاری یا قانونگذاری به‌کارگیری شده و دستاوردهای متعددی ازجمله موارد زیر را به‌دست دهد: (Fuentes,2019؛Neftis,2012)

- تسهیل فرایند تصمیم‌گیری به‌وسیله فراهم کردن ابزاری با توانایی پیش‌بینی پیامدهای تصمیم‌ها و اقدام‌ها و روشن‌سازی ابعاد احتمالاً ناشناخته مسئله
- فراهم کردن زمینه مقایسه سناریوهای مختلف و تصمیم‌گیری روشن‌بینانه
- افزایش کیفیت خط‌مشی‌ها و قوانین با بررسی دقیق ابعاد و عوامل مختلف مؤثر بر مسئله و بررسی میزان اثرگذاری آنها و فراهم کردن تصمیم‌گیری علمی و شواهدمحور
- صرفه‌جویی اقتصادی و زمانی فراوان به‌وسیله جلوگیری از آزمایش و خطا در خط‌مشی‌گذاری و قانونگذاری‌ها
- ایجاد زمینه تسریع در تصمیم‌گیری‌ها در شرایط بحرانی
- افزایش بازدهی اجرای خط‌مشی‌ها به‌وسیله ارائه تصویری قابل فهم از پیامدها و مزایای خط‌مشی مدنظر به مجریان و ذی‌نفعان مؤثر بر اجرای آن با هدف افزایش انگیزه و بینش آنها
- فراهم کردن مکانیسم‌هایی جهت انتشار اطلاعات آزاد به‌دست آمده از خروجی شبیه‌سازی‌ها در مورد پیامدهای مورد انتظار و دسترسی به آنها توسط شهروندان با هدف افزایش درک عمومی شهروندان و ایجاد سرمایه اجتماعی
- ارتقای مشارکت فعال شهروندان و ذی‌نفعان مختلف در فرایند اجرای خط‌مشی به‌وسیله استفاده از بازخوردهای آنها در شبکه‌های اجتماعی و کلان‌داده‌ها[2] در مراحل مختلف اجرا
- جلوگیری از سیاسی‌کاری و تصمیم‌های جناحی در فرایند تصمیم‌گیری و خط‌مشی‌گذاری

1. What-if
2. Big Data

- امکان برنامه‌ریزی دقیق برای مواجهه با پیامدهای پیش‌بینی شده قوانین و خط‌مشی‌ها و اثرگذاری بر آنها
- امکان نظارت مناسب بر خط‌مشی و ارزشیابی مؤثر آن به‌وسیله مقایسه پیامدهای عملی با نتایج شبیه‌سازی‌ها
- موارد متعدد دیگر ...

بنابراین استفاده از شبیه‌سازی می‌تواند کمک شایانی در افزایش کیفیت تصمیم‌ها و کاهش هزینه‌ها و پیامدهای نامطلوب داشته باشد. در بخش بعد به معرفی چند رویکرد به‌کار گرفته شده در شبیه‌سازی مسائل خط‌مشی عمومی و قانونگذاری می‌پردازیم. پس از بررسی مزایا و معایب هرکدام و مقایسه آنها به دنبال یافتن رویکرد مناسب برای مسائل مختلف قانونگذاری و خط‌مشی‌گذاری خواهیم بود.

رویکردهای مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی در مسائل خط‌مشی‌گذاری

در این قسمت به معرفی اجمالی چهار رویکرد اصلی به‌کار گرفته شده در مدل‌سازی مبتنی‌بر شبیه‌سازی می‌پردازیم و نقاط قوت و ضعف هرکدام را بررسی می‌کنیم تا تفاوت کاربرد آنها در مسائل مدنظر ما روشن شود. ابتدا به بررسی رویکرد تحلیل پویایی‌های سیستم[1] که آن را در ادامه به‌اختصار SD می‌نامیم می‌پردازیم و سپس رویکرد مدل‌سازی مبتنی‌بر عامل[2] که ABM نامیده خواهد شد بررسی می‌شود و پس از آن شبیه‌سازی گسسته پیشامد[3] یا DES معرفی می‌شود. درنهایت رویکرد سیستم‌های پویا[4] یا DS مطرح می‌شود. این چند رویکرد به‌علت ماهیت پیچیده و مفهومی طبق شکل۲ در بالاترین قسمت شکل قرار خواهند گرفت. در هر رویکرد همچنین کاربردهای عملی در مسائل عمومی و حوزه خط‌مشی‌گذاری معرفی و تحلیل می‌شوند. ازجمله سایر رویکردهای محاسباتی برای آنالیز خط‌مشی‌ها می‌توان به مدل‌سازی تعادل نئوکلاسیک،[5] تئوری بازی سنتی[6] و بازی جدی[7] علاوه بر SD و ABM اشاره کرد که از مسئله شبیه‌سازی دور هستند و در این گزارش بررسی نمی‌شوند.

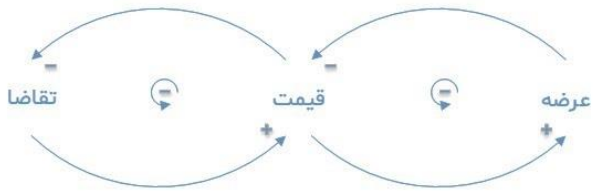
پویایی‌های سیستم (SD)

همه سیستم‌ها پویا نیستند، اما همه پویایی‌ها در حصار سیستم‌ها رخ می‌دهند (Bardach, 2009). مسائل جاری جامعه که در قالب فرایند خط‌مشی‌گذاری عمومی نمایان می‌شود پویایی‌های فراوانی دارد. رویکرد سیستمی، مدعی ارائه روش برای برخورد اصولی‌تر با پیچیدگی‌های دنیای کنونی است. مدل سیستمی، خط‌مشی عمومی را به‌منزله بازده سیستم بیان می‌کند. نظریه خط‌مشی در قالب سیستم، اشاره به یک مجموعه از نهادها و فعالیت‌های قابل شناسایی در جامعه دارد که نیازها را به تصمیم‌های معتبری تبدیل می‌کند. درک سیستم‌های پویا مانند سیستم خط‌مشی‌گذاری و تحولات آنها نیازمند استفاده از یک روش سیستمی خاص به نام پویایی‌های سیستم است (فقیهی؛ ۱۳۹۴). SD یک

1. System Dynamics
2. Agent Based Modeling
3. Discrete Event Simulation
4. Dynamic systems
5. Neo-classical Equilibrium Modeling(NEM)
6. Traditional Game Theory (TGT)
7. Serious Gaming

رویکرد مبتنی‌بر بازخورد اطلاعات با دید بالا به پایین است که در سال ۱۹۵۰ به‌وسیله فورستر[1] معرفی شد. اساس این رویکرد بر مشاهده سیستمی پدیده‌ها و ساختار بازخورد و حلقه‌های چندگانه و غیرخطی بنا شده است. در این رویکرد رفتار سیستم براساس حلقه‌های بازخورد مثبت یا منفی تودرتو و ساختارهای تأخیر مدل‌سازی می‌شود و نمودار علت و معلولی[2] شکل می‌گیرد و سپس فرایندهای جهان واقع براساس متغیرهای حالت، نرخ‌های جریان بین این حالت‌ها و اطلاعات تعیین‌کننده این نرخ‌ها ارائه می‌شوند و نمودار جریان[3] را تشکیل می‌دهند. روابط بین حالت‌ها و نرخ‌ها براساس معادلات دیفرانسیلی نوشته و شبیه‌سازی می‌شود. CLDها می‌توانند ساختارهای بازخورد در سیستم‌های پیچیده را تصویر کنند و نشان دهند چگونه سیستم به‌وسیله تعامل متغیرهای مختلف به شکل پویا متأثر می‌شود. CLD از متغیرهایی که به‌وسیله پیکان‌هایی شامل علامت مثبت یا منفی به یکدیگر متصل شده‌اند، تشکیل شده است. این پیکان‌ها رابطه علت و معلولی را بین متغیرها نشان می‌دهد و علامت روی پیکان‌ها نشان‌دهنده اثر مثبت یا منفی علت بر معلول است. بعد از مشخص کردن پیکان‌ها، حلقه‌های علی مثبت یا منفی قابل تشخیص هستند (Zhikun Ding, 2018، Borshchev, 2004 ؛Brlas, 2009). شکل زیر یک CLD را برای مثال نشان می‌دهد:

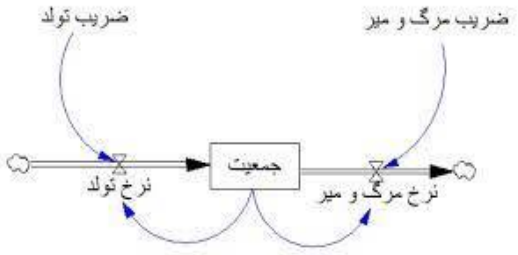
شکل۳. نمونه‌ای از CLD



مرحله بعد برای اجرای آنالیز کمّی، به‌دست آوردن نمودار جریان یا SFD است. SFD می‌تواند ماهیت متغیرهای مختلف را متمایز کند (حالت یا نرخ) و با استفاده از معادلات دیفرانسیلی یا انتگرالی، اطلاعات توصیف شده را ارائه دهد. SFD شامل متغیر حالت (بلوک‌ها)، متغیر نرخ یا جریان (شیرهای ورود یا خروج به بلوک‌ها)، منبع (ابتدا یا انتهای SFD)، جریان اطلاعات داخلی یا خارجی (پیکان‌ها) و گاهی اوقات متغیرهای واسط (برای ساده‌سازی فهم مسئله) است. مقدار متغیر حالت به‌وسیله تجمع زمانی تفاضل نرخ ورود و خروج تعیین می‌شود و نرخ‌ها به‌وسیله حالت فعلی و جریان‌های اطلاعات مؤثر بر آن تعیین می‌شوند و مقدار متغیر حالت بعدی را طی زمان تعیین می‌کنند. این روابط معادلات دیفرانسیلی یا انتگرالی را بین متغیر نرخ و حالت مشخص می‌کنند. برای مثال در شکل زیر جمعیت متغیر حالت است و نرخ‌های مؤثر بر آن نرخ زادوولد و مرگ‌ومیر است که در طول زمان بر جمعیت اثر می‌گذارند. این نرخ‌ها خود متأثر از جمعیت فعلی و ضریب تولد و مرگ‌ومیر در آن جامعه هستند.

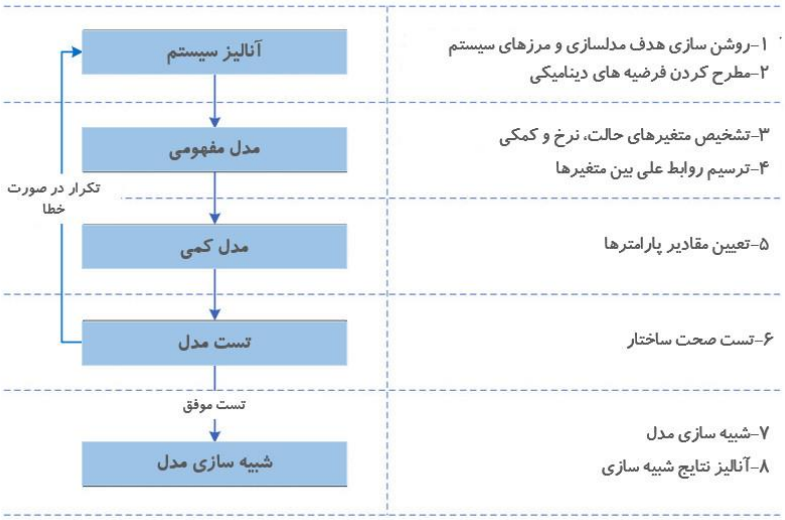
1. Forrester
2. Causal Loop Diagrams (CLDs)
3. Stock–flow Diagrams (SFDs)

شکل ۴. نمودار جریان SFD



درنهایت شکل زیر مراحل فرایند مدل‌سازی برمبنای رویکرد SD را نشان می‌دهد:

شکل ۵. فلوچارت مدل‌سازی SD



Source: Zhikun Ding, 2018.

مقاله (فقیهی؛ ۱۳۹۴) کاربرد SD در خط‌مشی‌گذاری را شامل موارد زیر بیان می‌کند:

ـ **طراحی و آزمون خط‌مشی‌ها:** ایجاد قابلیت یک یا چند مدل برای شناسایی و آزمون گزینه‌های مختلف راه‌حل و راهنمای ایدئال برای اجرای خط‌مشی‌ها

ـ **کاربرد یادگیرانه:** استفاده از جنبه‌های مختلف آن به‌عنوان یک فرایند تسهیل‌کننده برای یافتن و ایجاد یک تصویر مشترک حول خط‌مشی

ـ **تدوین سناریوها:** توانمندسازی خط‌مشی‌گذاران برای طراحی و اجرای سناریوهای قابل پیش‌بینی

ـ **حافظه خط‌مشی‌گذاری:** ایجاد حافظه اجتماعی به‌وسیله گردآوری و ذخیره سوابق رفتارهای ذی‌نفعان خط‌مشی عمومی برای طراحی مدل و استناد و استفاده در مسائل بعدی

ـ **کاربرد عملیاتی در سازمان‌دهی اجتماعی:** تقویت فرایند خط‌مشی‌گذاری عمومی در اجتماع که منجر به

اصلاح و اثربخشی تصمیم‌های روزمره برای حل مسائل عمومی شود.

در جدول زیر این موارد مقایسه شده است:

جدول ۱. کاربرد SD در خط‌مشی‌گذاری عمومی

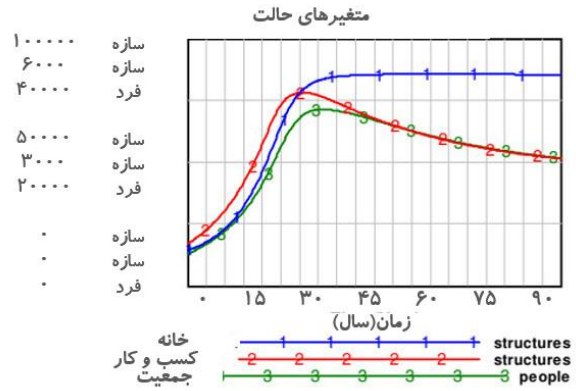
کاربردها	هدف اصلی	تمرکز فرایندی بر:
طراحی و آزمون خط مشی	خط مشی	مدل
یادگیرانه	ایجاد دیدگاه مشترک	مدلسازی
تدوین سناریوها	تفکر راهبردی	خط مشی گذاران
حافظه خط‌مشی‌گذاری	نظریه سازی	پالایش و بهبود مدلها
سازماندهی اجتماعی	تصمیمات سازگار	خط مشی گذاران

مأخذ: فقیهی، ۱۳۹۴.

مثال کاربردی

در مقاله (Ghaffarzadegan, 2011) به استفاده از SD در تحلیل برنامه‌ریزی شهری پرداخته است. در این مدل برنامه‌ریزی شهری، سه متغیر حالت مسکن، شغل و جمعیت در نظر گرفته شده و ارتباط و تأثیرات متقابل این عوامل جهت برنامه‌ریزی شهری مناسب، بررسی شده است. شکل زیر نشان‌دهنده خروجی شبیه‌سازی برای سه متغیر حالت گفته شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که توسعه شهری دارای سه مرحله است. مرحله اول زمانی که در شهر زمین فراوان است و با ساخت مسکن جدید، هم زمینه اشتغال فراهم است و اشتغال روبه گسترش است و هم مهاجرت به شهر وجود دارد و جمعیت در حال گسترش است و هم به‌علت جمعیت رو به افزایش، کسب‌وکار در شهر رو به افزایش است که قسمت صعودی نمودار نشان‌دهنده این مرحله از رشد شهری است.

شکل ۶. نمونه‌ای از کاربرد SD

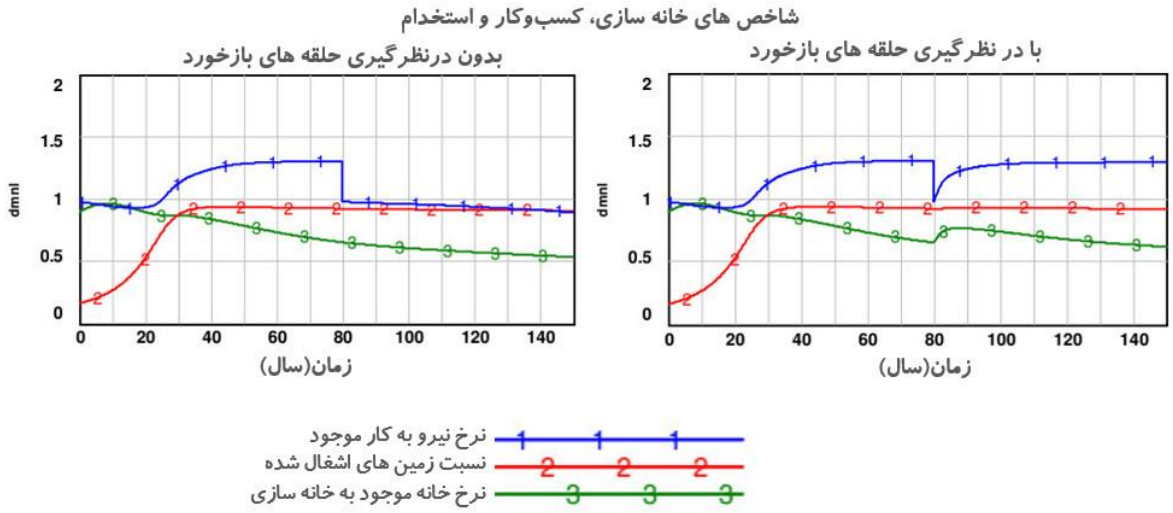


Source: Ghaffarzadegan, 2011.

بعد از چندین سال (حدود ۲۰ سال) همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود به‌علت کاهش زمین موجود و به‌علت وجود بازخورد در سیستم، کمبود کار و خانه ایجاد می‌شود و جذابیت شهر نسبت به مناطق اطراف کم شده و مهاجرت

بسیار کاهش می‌یابد و این امر باعث توقف تولید مسکن جدید و کاهش کسب‌وکارها و درنتیجه مهاجرت معکوس می‌شود که جمعیت را کاهش می‌دهد و این کاهش درنتیجه کسب‌وکارها را کم خواهد کرد و این روند تا زمانی که سیستم به تعادل نرسد ادامه خواهد یافت. فهم وجود این بازخوردها و آثار متقابل آنها در خط‌مشی‌گذاری شهری ضروری است. برای مثال برای جلوگیری از این کاهش جمعیت و شغل، یک راه‌حل می‌تواند افزودن شغل از خارج سیستم باشد (برای مثال یک برنامه شغل دولتی). شکل زیر مقایسه نتیجه کاهش بیکاری در این سیستم را در دو حالت بدون در نظرگیری بازخورد (سمت چپ) و با در نظرگیری بازخورد (سمت راست) نشان می‌دهد.

شکل ۷. شاخص‌های خانه‌سازی، کسب‌وکار و استخدام بدون حلقه بازخورد (سمت چپ) و با حلقه بازخورد (سمت راست)



Source: Ibid.

در شکل سمت چپ، این تصمیم، کاملاً عقلانی توجیه شده و به نتیجه مطلوب رسیده و نرخ نیروی انسانی بیکار به کار موجود (فرصت‌های شغلی) دچار کاهش شده و در همین نرخ جدید ثابت مانده است. یعنی بیکاری کاهش یافته و از طرف دیگر این عمل روی خانه‌سازی بی‌اثر بوده است. درحالی‌که حلقه‌های بازخورد موجود در سیستم به‌علت ایجاد پدیده مقاومت خط‌مشی در عمل منجر به نتیجه‌ای مانند شکل راست خواهند شد. در عمل افزایش تعداد شغل به شکل خارج از سیستم با وجود خانه‌های دارای سکنه، در ابتدا جذابیت شهر را زیاد می‌کند که منجر به مهاجرت و پُر کردن شغل‌ها می‌شود. در همان زمان افزایش ابتدایی تعداد شغل، فشار برای ساخت بیشتر ساختمان‌های تجاری را کاهش می‌دهد (به‌علت خانه مورد نیاز برای افراد جدید و زمین‌های محدود و از طرفی کاهش بیکاری و احساس عدم نیاز به ساختمان تجاری جدید) که به‌مرور منجر به کاهش کار موجود با شرایط فعلی می‌شود. این امر کاهش بیکاری مدنظر در خط‌مشی را تحلیل می‌برد و مجدداً نرخ بیکاری به حالت قبل باز خواهد گشت. درنتیجه برای خط‌مشی‌گذاری مؤثر باید جذابیت شهر نسبت به مناطق اطراف مدنظر قرار گیرد. زیرا اگر جذابیت شهر بالا برود تا زمانی که به‌علتی دیگر این جذابیت کاهش نیابد (مثل شکل سمت راست که مجدداً کمبود شغل ایجاد شده است) سیستم به تعادل نخواهد رسید. بنابراین غفارزادگان (Ghaffarzadegan, 2011) پیشنهاد می‌کند که هم‌زمان با افزایش کار در شهر،

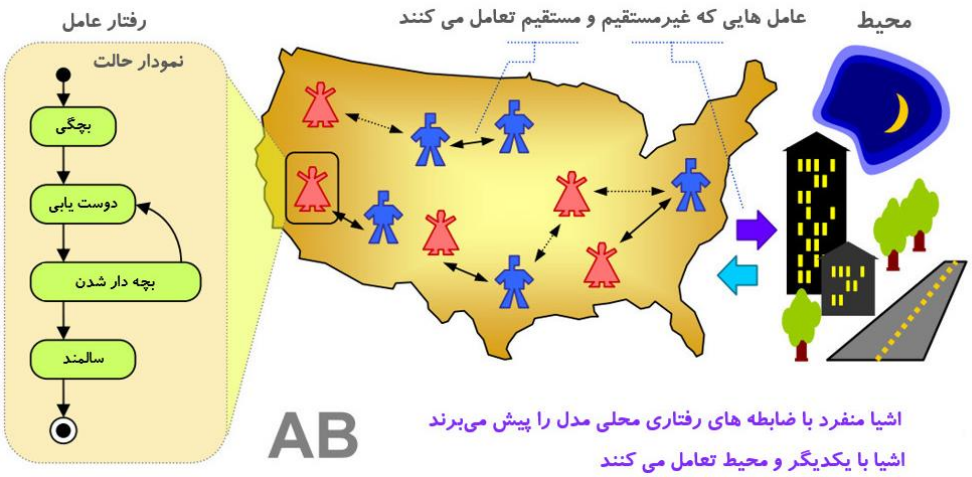
یک سیستم منطقه‌بندی ایجاد شود که زمین‌ها را برای ساختمان‌های تجاری در هر منطقه محفوظ نگه دارد یا فورستر پیشنهاد می‌دهد که برای افزایش شغل ساختمان‌های تجاری افزایش یابد و زمین موجود برای خانه‌سازی کاهش یابد (ایجاد کار درونی) (Zhikun Ding, 2018). این مثال نمونه مفیدی از بررسی اثر شبیه‌سازی در خط‌مشی‌گذاری و قانونگذاری مؤثر است. نمونه‌های فراوانی در مقالات موجود است که از رویکرد SD در ارتقای کیفیت خط‌مشی‌ها و قوانین استفاده شده است.

رویکرد SD یک رویکرد بالا به پایین در شبیه‌سازی است و نسبت به رفتار کلی سیستم دید جامعی فراهم می‌کند. این رویکرد میان اجزای مختلف سازنده سیستم تمایزی قائل نمی‌شود و رفتار مجموع آنها فارغ از رفتار تک‌تک اجزای سازنده، بررسی می‌شود. به‌عنوان نمونه در مثال قبل رفتار افراد در کسب شغل‌ها یا پُر کردن خانه‌های خالی یکسان فرض شده است. به شکلی که بین شغل‌های مختلف یا خانه‌های مختلف در سطح شهر، در فرایند مدل‌سازی تمایزی قائل نمی‌شود. در این رویکرد برای رسیدن به CLD و SFD نیاز به خبرگی و دید مناسب نسبت به رفتار کلی سیستم است که شاید برای افراد کم‌تجربه کار آسانی نباشد. از طرف دیگر در این رویکرد هرچه شبیه‌سازی بزرگ‌تر شود تعداد فرض‌های ضمنی برای تطابق مدل با واقعیت بالا می‌رود که از انعطاف مدل می‌کاهد. برای مثال، در مثال قبل ساده‌سازی‌های متعددی در رفتار افراد فرض شده است. مثلاً از مواردی مانند اشتغال فرد در شهر مجاور و سکونت در شهر مدنظر ما یا سکونت چند نفر در یک خانه برای کار در شهر و مواردی از این دست، صرفنظر شده است. یا مثلاً برای مدل‌سازی شیوع یک بیماری و ایجاد همه‌گیری با هدف اتخاذ تصمیم‌های مناسب با این رویکرد لازم است صرفاً نرخ انتقال بیماری در برخورد افراد با یکدیگر به‌عنوان یک پارامتر ثابت فرض شود درحالی‌که در عمل این نرخ در میان افراد مختلف بسته به سیستم ایمنی بدن و میزان رعایت دستورالعمل‌ها توسط شخص مقابل متفاوت است که در این رویکرد لحاظ کردن این مطلب پیچیدگی مدل را بسیار بالا خواهد برد. اما به‌علت حل معادلات دیفرانسیل و انتگرال با رویکردهای عددی در سیستم‌های رایانه‌ای، این رویکرد توان محاسباتی زیادی را برای شبیه‌سازی نیاز ندارد که جزو مزایای این رویکرد است.

مدل‌سازی مبتنی‌بر عامل (ABM)

برخلاف SD رویکرد ABM یک رویکرد شبیه‌سازی پایین به بالاست. در این رویکرد عامل‌های مختلف به‌صورت عوامل گسسته مستقل در تعامل با یکدیگر مدل‌سازی می‌شوند تا نتایج ظاهرشونده و غیرشهودی مجموع آنها در مقیاس جمعیت مشاهده و بررسی شود (Lempert, 2002). تعامل و ارتباطات عامل‌های موجود براساس قواعد از پیش تعریف شده انجام می‌شود. درحقیقت شبیه‌سازی برمبنای این مدل نسبت به SD غیرمتمرکز است و نسبت به رفتار کلی سیستم تعریفی از قبل وجود ندارد. در عوض مدل‌ساز رفتارها را در سطح عامل‌ها تعریف می‌کند و رفتار کلی سیستم به‌صورت تعامل تعداد زیادی از این عوامل با یکدیگر و با محیط در قالب قوانین مشخص، ظاهر می‌شود (Borshchev, 2004). شکل زیر نمونه‌ای از ABM را براساس رابطه افراد جامعه با یکدیگر و ارتباطشان با محیط نشان می‌دهد. در این مثال فرد یا عامل می‌تواند چهار حالت مختلف را تجربه کرده و طی این حالات مختلف با سایر افراد و محیط با ضابطه‌های مشخص مانند دوستی یا زوجیت و فرزندآوری تعامل داشته باشد:

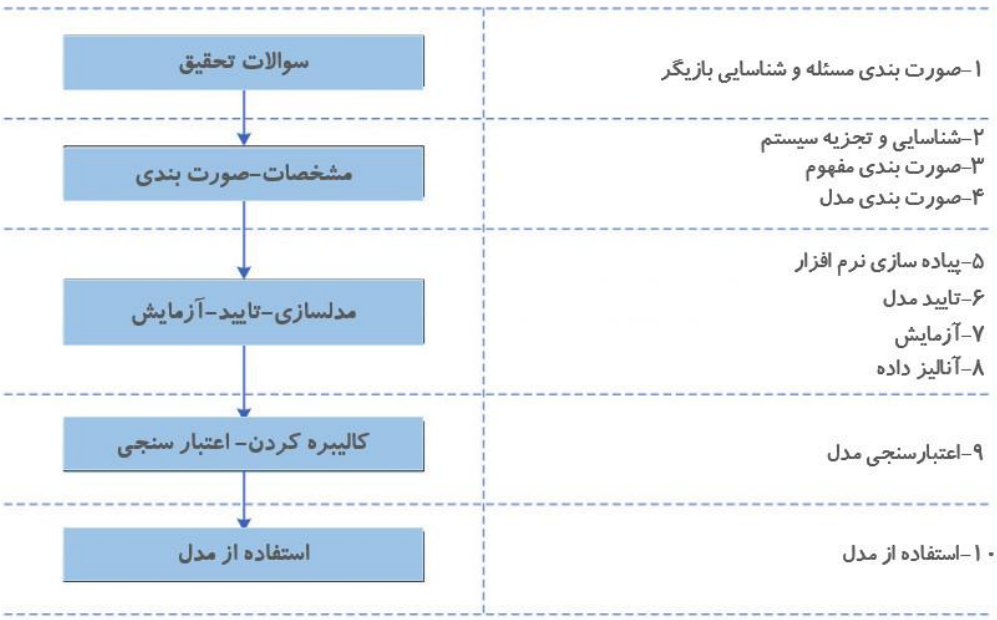
شکل ۸. نمونه‌ای از ABM



Source: Borshchev, 2004.

شکل زیر مراحل فرایند مدل‌سازی با این رویکرد را نشان می‌دهد:

شکل ۹. فلوچارت مدل‌سازی AB



Source: Zhikun Ding, 2018.

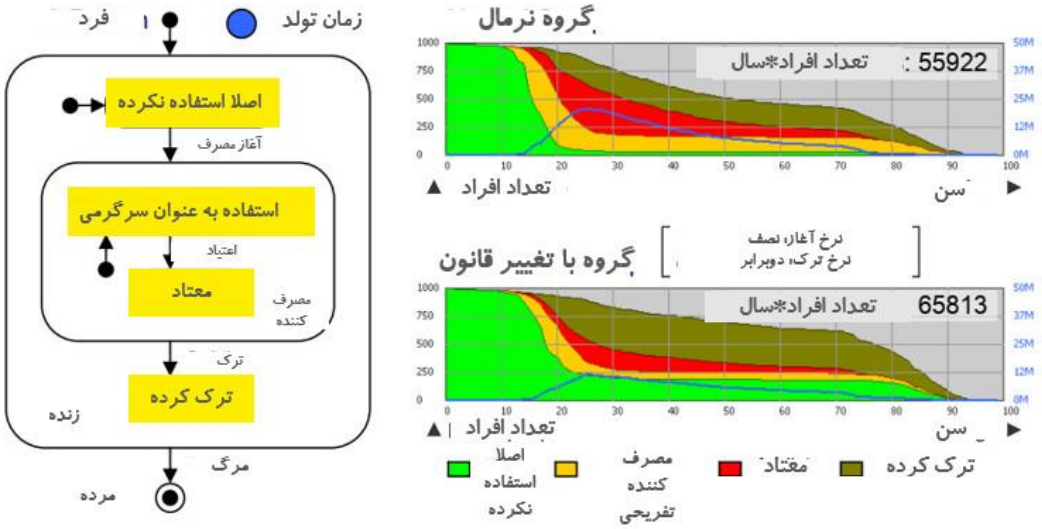
مثال کاربردی

در مقاله (Zhao, 2020) برای مدل‌سازی ترافیک شهری از رویکرد ABM استفاده کرده است. در این مقاله ترافیک به‌عنوان تحرک و تعامل تعداد زیادی از عامل‌ها که هرکدام می‌توانند مسیری را پیدا و پیگیری کنند، شبیه‌سازی شده است و با استفاده از نقشه راه‌ها و اطلاعات موجود، به پیش‌بینی ترافیک در ساعات مختلف و خیابان‌های مختلف

پرداخته و نشان داده است که با داده‌های واقعی تطبیق زیادی دارد. استفاده از این شبیه‌سازی در پیش‌بینی و تصمیم‌گیری درباره راه‌حل‌های مسئله ترافیک می‌تواند بسیار مفید باشد.

همچنین در مقاله (Borshchev, 2004) به بررسی نقش تغییر قوانین در رابطه با مصرف مخدرها پرداخته است. در این مقاله یک مدل مبتنی‌بر ABM برای شبیه‌سازی اثر تغییر قوانین طراحی شده است. در این مدل هر فرد پس از تولد می‌تواند چهار حالت مختلف شامل کسی که هیچ‌وقت از مواد استفاده نکرده است، کسی که به‌عنوان سرگرمی استفاده می‌کند، کسی که معتاد شده است و کسی که ترک کرده است، را تجربه کند که جابه‌جایی بین این حالات با احتمالات مختلفی ممکن فرض می‌شود. در این مدل اثر تغییر قوانین در رابطه با اعتیاد و اموری مانند ایجاد کمپ‌های ترک و تشویق ترک معتادان، در احتمال شروع و ترک اعتیاد شبیه‌سازی شده است. سپس با مقایسه این مدل تغییریافته با مدل جامعه بدون تغییر قوانین، نشان داده است که این تغییرات تا چه حد می‌تواند سلامت را در سنین مختلف متأثر کند و در تعداد معتادان ترک‌کرده اثر بگذارد. نمودار زیر نشان‌دهنده خروجی کار آنها با شبیه‌سازی برمبنای ABM است که در شکل پایین این تغییر قوانین در سن ۳۰ سال باعث بیشترین تغییرات و کاهش معتادان و افزایش ترک‌کرده‌ها شده است. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی می‌توان اثر تغییر قوانین و اختصاص هزینه‌های مختلف برای ایجاد اشتغال یا سرگرمی‌های مفید برای قشر در معرض خطر یا کمپ‌های ترک اعتیاد برای معتادان را بررسی کرد و با سنجش نحوه اثرگذاری این تصمیم‌ها در احتمال جابه‌جایی فرد بین حالت‌های مختلف، قوانین و خط‌مشی‌هایی با هدف رسیدن به سطح مطلوب کاهش اعتیاد و افزایش ترک‌کرده‌ها طراحی کرد.

شکل ۱۰. نمونه‌ای از استفاده عملی از ABM

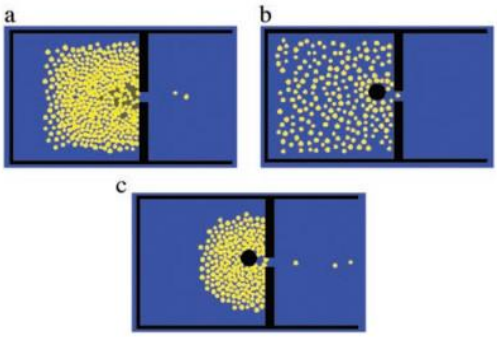


Source: Borshchev, 2004.

همچنین مقاله (Bonabeau, 2002) نمونه‌ای از شبیه‌سازی به‌وسیله ABM است که به‌وسیله مدل‌سازی افراد مختلف داخل یک سالن (مثلاً سینما) به هنگام ایجاد یک بحران (مثل آتش‌سوزی) با وجود یک درب خروجی، چگونگی

رفتار آنها را شبیه‌سازی کرده و نشان داده است اگر مانعی مانند یک ستون اندکی قبل از درب خروجی قرار داشته باشد، هنگام ایجاد بحران، تعداد افراد خارج شده در زمان مشخص نسبت به حالتی که مانعی قبل از درب نباشد و همه افراد به سمت درب هجوم ببرند، افزایش خواهد یافت. شکل زیر خروجی شبیه‌سازی را نشان می‌دهد که در شکل c وجود ستون جلوی درب باعث شده تعداد افراد خارج شده در ۴۵ ثانیه اول ۷۷ نفر باشد بدون فرد آسیب‌دیده، درحالی‌که در شکل a بدون وجود ستون، بعد از ۴۵ ثانیه ۴۴ نفر خارج شده و ۴ نفر هم آسیب دیده‌اند:

شکل ۱۱. نمونه دیگری از شبیه‌سازی ABM



Source: Bonabeau, 2002.

همچنین در این مقاله مثال‌های متعددی از کاربرد ABM در مسائلی مانند ترافیک شهری، بازارها و مبادلات و رفتار افراد در سازمان‌ها مطرح و بررسی شده است.

مدل‌سازی با این رویکرد مزایای متعددی دارد. از مهم‌ترین مزایای رویکرد ABM می‌توان به امکان رسیدن به نتایج غیرشهودی و ظاهرشونده از رفتار سیستم در اثر تعاملات در سطح خُرد اشاره کرد که در رویکرد SD این امکان وجود نداشت. برای مثال عملکرد افراد در مثال قبل در خروج از سینما از این نوع رفتارهای ظاهرشونده غیرشهودی است. علاوه بر این با این رویکرد امکان شبیه‌سازی عوامل غیرعقلایی با اطلاعات ناقص در محیط‌های نامطمئن فراهم می‌شود و شبیه‌سازی طبیعی محیط، ممکن می‌شود. درنتیجه این رویکرد انعطاف بیشتری برای محیط‌های با مقیاس بزرگ دارد. برای مثال می‌توان به مدل‌سازی ترافیک شهری با استفاده از این رویکرد اشاره کرد که تعامل تک‌تک افراد با وسیله نقلیه شخصی و وسایل عمومی مدل واقعی ظاهرشونده ترافیک را می‌سازد (Bonabeau, 2002) که این مدل در تعیین خط‌مشی‌ها و قوانین و تصمیم‌های مختلف در راستای مدیریت ترافیک بسیار کمک‌کننده است. البته باید به این نکته نیز اشاره شود که در محیط‌هایی با تعداد بالا از عوامل، شبیه‌سازی با این رویکرد که مستلزم احتساب تک‌تک عوامل است حجم محاسباتی بالایی از سیستم کامپیوتری می‌طلبد که ممکن است زمان شبیه‌سازی را نسبت به رویکرد SD بسیار بالا ببرد. برای مثال در مقیاس یک جامعه بزرگ، استفاده از این رویکرد برای بررسی رفتار جامعه در برابر قانون یا خط‌مشی خاص کارآمد نیست و استفاده از رویکرد SD و بررسی رفتارهای تجمیعی و سطح کلان افراد می‌تواند کمک‌کننده‌تر باشد.

شبیه‌سازی گسسته پیشامد (DES)

DES مدل‌سازی برمبنای این مفاهیم است: موجودیت‌ها،[1] منابع،[2] بلوک‌ها[3] و صف‌ها.[4] این مدل جریان‌های جاری بین این موجودیت‌ها و به اشتراک‌گذاری منابع را به شکل تصویری روشن می‌سازد. موجودیت‌ها اجزای منفعلی هستند که می‌تواند شامل انسان‌ها، اسناد، وظایف، پیام‌ها و... باشد که از طریق فلوچارت جابه‌جا، پردازش، تأخیر، جداسازی، ترکیب یا جایگزین می‌شوند (Borshchev, 2004). با ایجاد این فلوچارت یک مدل شهودی انعطاف‌پذیر به‌وجود می‌آید که امکان شبیه‌سازی تغییرات رفتاری محیط‌های پیچیده و تعامل میان اجزا و محیط را فراهم می‌کند. هدف این رویکرد مقایسه جامع اقدامات بالقوه و استراتژی‌های پیشنهادی برای انتخاب بهترین است. مخصوصاً هنگامی که انجام عملی همه آنها ناممکن است.

در این رویکرد در مقایسه با رویکرد SD (که در آن رفتار کلی سیستم شبیه‌سازی می‌شود)، زمینه شبیه‌سازی شده، به‌عنوان شبکه‌هایی از خطوط و بلوک‌ها در نظر گرفته می‌شود که در آن موجودیت‌های منفرد از تعدادی رویداد گسسته به شکل یک‌به‌یک در بازه‌های گسسته زمانی عبور می‌کنند. قوانین حاکم بر ترتیب انجام این فعالیت‌ها و شرایط انجام آنها می‌تواند بسیار پیچیده باشد. به هر موجودیت منفرد می‌توان ویژگی‌هایی داد که تعیین می‌کند برای آن موجودیت در سیستم چه اتفاقی می‌افتد. مدت زمان فعالیت‌ها معمولاً از توابع توزیع احتمال، نمونه‌برداری می‌شود. مدل‌ساز در انتخاب این توابع و منطق حاکم بر جریان موجودیت‌ها در اطراف سیستم، قابلیت انعطاف بالایی دارد. مدل‌ها طیف وسیعی از خروجی‌ها را تولید می‌کنند که اغلب توزیع کل نتایج ممکن را نشان می‌دهند. با این حال، هر اجرا یا تکرار شبیه‌سازی تنها یک تحقق از سیستم را نشان می‌دهد (یک نتیجه ممکن) و سیستم‌های با تغییر زیاد نیاز به تکرار زیاد شبیه‌سازی دارند. کاهش واریانس نتایج شبیه‌سازی می‌تواند بسیار مهم باشد. به همین خاطر تفسیر نتایج نیاز به دقت دارد. اعتبار مدل به‌دلیل ماهیت کمّی نتایج یک موضوع مهم است (Brailsford, 2001). از این مدل جهت ارزیابی، پیش‌بینی، مقایسه انتخاب‌های مختلف یا بهینه‌سازی یک سیستم موجود که در آن تغییرات در مبدأهای زمانی گسسته اتفاق می‌افتند، استفاده می‌شود. (Vázquez-serrano, 2021)

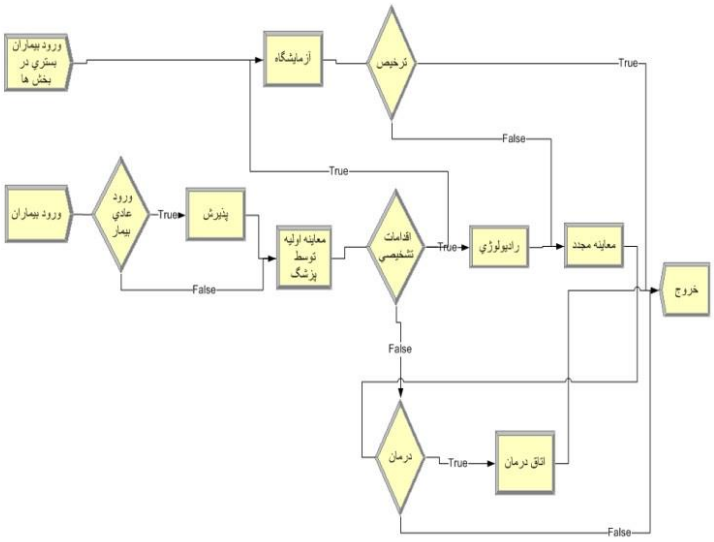
مدل اولیه یا مفهومی در DES، نمودار فعالیت است که می‌تواند نقشی مشابه با نمودار علت و معلولی در SD داشته باشد که در تسهیل درک عمومی از عملکرد سیستم ایفای نقش می‌کند. نمودار فعالیت منطق جریان موجودیت‌ها را از طریق صف‌ها و فعالیت‌ها در قالب یک شبکه پیوندی از شکل‌های هندسی نشان می‌دهد. (Brailsford, 2001)

مثال کاربردی

در شکل زیر نمونه‌ای از نمودار فعالیت DES برای کاهش زمان انتظار بیماران در اورژانس نمایش داده شده است:

1. Entities
2. Resources
3. Blocks
4. Queues

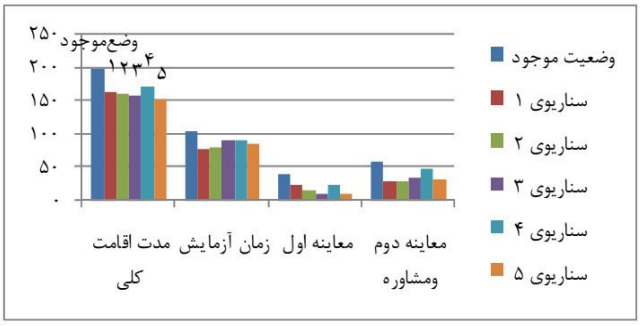
شکل ۱۲. نمونه‌ای از نمودار فعالیت در DES



مأخذ: زارع مهرجردی و همکاران،۱۳۹۰.

این مقاله به دنبال بهبود زمان انتظار بیماران در بیمارستان و اتخاذ تصمیم‌های لازم برای این امر بوده که با مدل‌سازی با DES و شبیه‌سازی آن نشان داده شده است که در میان سناریوهای مختلف سناریوی ۵ یعنی اضافه کردن فقط ۳ نفر به پرسنل از لحاظ اقتصادی و نتیجه کاهش زمان پاسخ بهینه است. شکل زیر پاسخ شبیه‌سازی این مقاله را نشان می‌دهد:

شکل ۱۳. نمونه‌ای از کاربرد DES



مأخذ: همان.

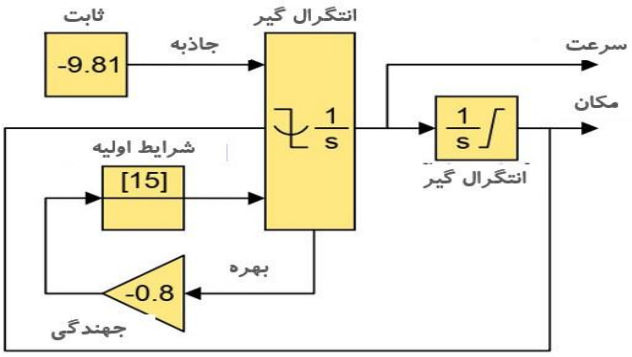
این رویکرد مناسب مسائل مربوط به انتخاب از بین گزینه‌های مختلف مشخص است. مانند بسیاری از مسائل خط‌مشی‌گذاری و قانونگذاری که تصمیم‌گیر انتخاب‌ها با پیامدهای مختلفی دارد. اما نیاز به آشنایی دقیق با مراحل و پیامدهای تصمیم‌ها در محیط تصمیم‌گیری دارد. به همین خاطر در موارد متعددی در کنار رویکردهای دیگری مانند SD به‌کار رفته است (Yip, K.C.M, 2017). همچنین در موارد دیگری به‌عنوان تبیین‌کننده فرایندها و مراحل در شبیه‌سازی مسائل عمومی به‌کار رفته است (Borshchev, 2004). DES قادر به مدل‌سازی پیچیدگی‌ها و جزئیات زیاد است به‌نحوی

که همچنان برای عموم قابل فهم باقی بماند (Brailsford, 2001). کاربرد DES بیشتر مربوط به بخش‌های عملیاتی سازمان‌ها مانند کلینیک‌ها یا بیمارستان‌هاست و در مسائل مربوط به خط‌مشی‌گذاری و قانونگذاری در نظام سلامت با هدف ارتقای کیفیت تصمیم‌ها و سیستم‌ها کاربرد زیادی دارد. در مسائلی که استفاده بهینه از منابع در دسترس هدف عمده تصمیم‌گیری‌هاست نیز استفاده از این رویکرد مناسب است. برای مثال می‌توان به شبیه‌سازی شرایط کلینیک با هدف کاهش هزینه‌های درمانی، استفاده بهینه از داروها و آنالیز بهبود بیماران اشاره کرد (Vázquez-serrano, 2021). از لحاظ پیاده‌سازی، این رویکرد به‌علت پشتیبانی در نرم‌افزارهای مختلف، فراگیری زیادی دارد. هرچند که اغلب طراحی این مدل‌ها به‌علت نیاز به تخصص عمیق نسبت به مسئله هزینه بالایی دارد و می‌تواند در عمل زمان شبیه‌سازی بالایی داشته باشد.

سیستم‌های پویا (DS)

این رویکرد در علوم مختلف مهندسی به‌عنوان یک رویکرد استاندارد شبیه‌سازی اتفاقات و ارتباطات مختلف استفاده شده است. مدل گرافیکی DS شامل تعدادی متغیر حالت، ضرایب مختلف و معادلات دیفرانسیلی و انتگرالی جبری روی این حالات است که پیاده‌سازی معادلات ریاضی مسئله را نشان می‌دهد. برخلاف SD متغیرها در این رویکرد معنای فیزیکی مشخصی دارند (مانند سرعت یا مکان) و ذاتاً پیوسته و غیرتجمعی نسبت به سایر متغیرها هستند (برخلاف SD که متغیرهای حالت حاصل تجمع متغیرهای نرخ در طول زمان بودند). در شکل زیر نمونه‌ای از شبیه‌سازی DS برای معادلات حرکت یک توپ الاستیک در حال بالا و پایین رفتن قابل مشاهده است. در این شکل مشاهده می‌شود که با استفاده از مکان قبلی و ثابت گرانش و ضریب جهندگی توپ و انتگرال‌گیری، سرعت به‌دست می‌آید و با انتگرال‌گیری از سرعت، مکان به‌دست می‌آید.

شکل ۱۴. نمونه‌ای از DS



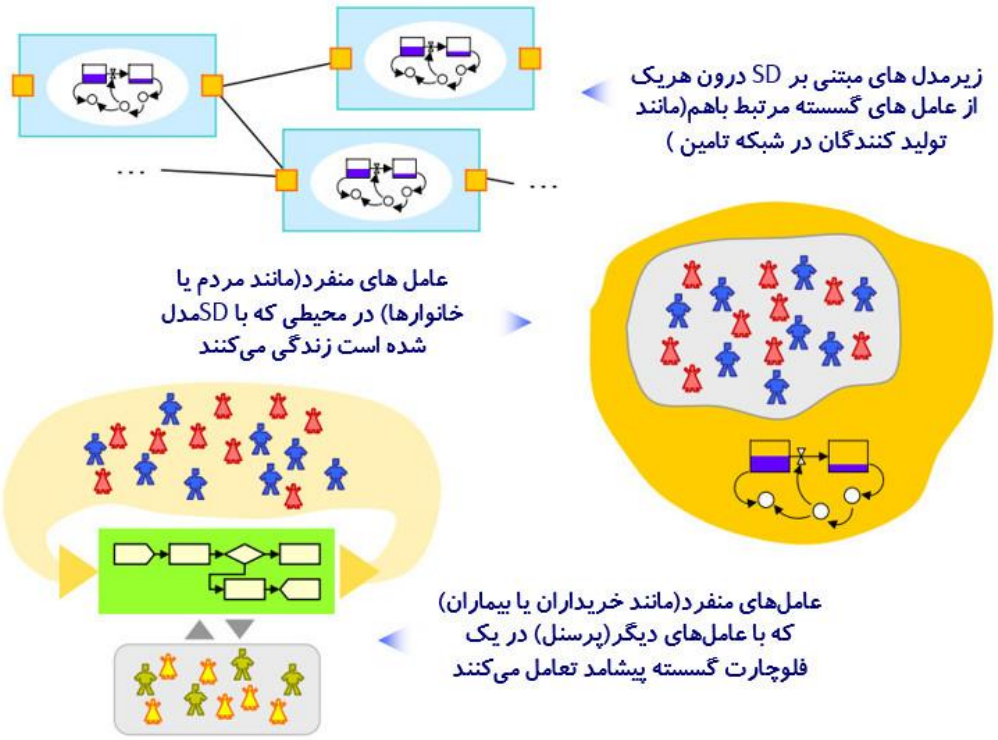
Source: Borshchev, 2004.

پیچیدگی ریاضی در این رویکرد می‌تواند بسیار بالاتر از SD باشد. بنابراین می‌تواند به‌راحتی مسائل مربوط به SD را حل کند. هرچند که به‌علت ماهیت ریاضیاتی عمیق آن معمولاً در شبیه‌سازی‌های حوزه علوم اجتماعی و مسائل مدنظر ما کاربردی بسیار محدود دارد و عملاً استفاده از SD در این مسائل برای ما کفایت می‌کند.

استفاده ترکیبی از رویکردها

رویکردهای مدل‌سازی شبیه‌سازی گفته شده به‌تنهایی می‌توانند با چالش‌های مهمی مواجه شوند که ناشی از ماهیت چندبُعدی سیستم‌های پیچیده مورد بررسی ما در مسئله خط‌مشی‌گذاری عمومی است. این پیچیدگی ناشی از وجود اجزای متعامل، به‌هم پیوسته با رفتارهای پویاست. درنتیجه ترکیب روش‌های مختلف شبیه‌سازی راهکاری برای غلبه بر این چالش‌هاست و تحلیل ویژگی‌ها و رفتارهای مهم چنین سیستم‌هایی را ممکن می‌کند. (Nguyen, 2020). برای مثال ترکیب SD و ABM تصمیم‌گیران را قادر می‌سازد تا با عوامل مختلف پیچیدگی سیستم، ازجمله دیدگاه‌های خُرد، میانه و کلان؛ سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی و پیچیدگی‌های ناشی از جزئیات فراوان و پویایی سیستم به شیوه مناسب مواجهه کنند (Begun, 2003). بنابراین استفاده ترکیبی از رویکردهای گفته شده می‌تواند در شبیه‌سازی مسائل پیچیده خط‌مشی‌گذاری و قانونگذاری بسیار کارآمد باشد. مقاله (Borshchev, 2004) سه شیوه پیشنهادی برای ترکیب این سه رویکرد را در شکل زیر نشان داده است:

شکل ۱۵. سه شیوه ترکیب رویکردهای مختلف برای مدل‌سازی در جامعه



Source: Ibid.

همچنین مقاله (Nguyen, 2020) شیوه‌های مختلف ترکیب رویکردهای SD و ABM را در مقالات مختلف بررسی کرده و یک روش ترکیبی مناسب برای استفاده ترکیبی از این دو رویکرد پیشنهاد داده است.

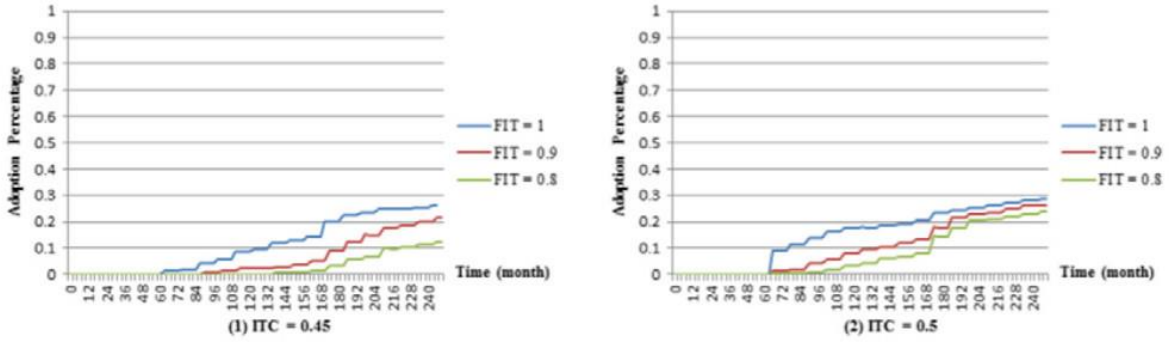
مقاله (Zhao, 2011) برای مثالی دیگر به ارائه یک مدل ترکیبی برای ارزشیابی خط‌مشی‌های شامل مشوق‌ها و تنظیم‌گری‌ها در سیستم‌های تولید انرژی خورشیدی پرداخته است. مدل مطرح شده دو سطح پایینی و بالایی را شامل

می‌شود که به بررسی ابعاد مختلف مسئله توسعه سیستم‌های تولید انرژی خورشیدی و ارزیابی خط‌مشی‌ها و قوانین پیشنهادی در کنار تلاش برای اجتناب از ناپایداری شبکه و افزایش قیمت برق پرداخته است. در این مقاله به بررسی اثر هم‌زمان دو عامل مشوق یعنی تخفیف مالیاتی سرمایه‌گذاری[1] و نرخ تعرفه تشویقی (خرید تضمینی توسط دولت) [2] در دو شهر متفاوت با جمعیت کم و زیاد پرداخته شده است و نتایج مختلفی درباره این خط‌مشی‌ها اتخاذ کرده است.

ازجمله اینکه در شهر کوچک در شرایط ITC ثابت، شهروندان در مقایسه با شهروندان شهر بزرگ نسبت به تغییر FIT حساس‌تر هستند و افزایش نرخ خرید تضمینی درصد تطبیق مردم با سیستم‌های خورشیدی را بالا می‌برد (شکل ۱۶ چپ). هرچند که در ITC بالاتر این اختلاف میزان تطبیق با تغییر FIT کم می‌شود (شکل ۱۶ راست). درحالی‌که در شهر بزرگ درصد تطبیق نهایی برای FITهای متفاوت تقریباً برابر است (شکل ۱۷). همچنین در شهر بزرگ‌تر جهشی در درصد تطبیق مشاهده می‌شود که ناشی از کاهش قیمت باتری سلول خورشیدی است که باعث تغییر در ضریب بازپرداخت می‌شود. درنتیجه اعمال سیاست تغییر FIT در شهر کوچک منجر به افزایش درصد تطبیق شهروندان با سیستم برق خورشیدی خواهد شد به‌شرطی که ITC در نرخ معینی قرار داشته باشد، ولی این سیاست در شهر بزرگ مؤثر نخواهد بود.

در شرایط ثابت نگه داشتن FIT و تغییر ITC در ۱۰ سال اول شهروندان هر دو شهر با بالا بردن نرخ ITC به میزان بیشتری نسبت به به‌کارگیری سیستم‌های خورشیدی اقدام می‌کنند. اما در مدت ۲۰ سال نرخ‌های متفاوت ITC میزان تطبیق نهایی برابری دارند که این امر می‌تواند به‌علت کاهش قیمت برق شبکه و کاهش قیمت سیستم‌های باتری خورشیدی در بازار باشد که اثر ITC افزایش را در بلندمدت خنثی می‌کند (شکل‌های ۱۸ و ۱۹). بنابراین از منظر بودجه دولتی، اقدامات تشویقی با حداقل بودجه تشویقی یا تخفیفی باید انتخاب شوند تا کل بودجه کاهش یابد. نتایج این شبیه‌سازی در شکل‌های زیر قابل مشاهده است:

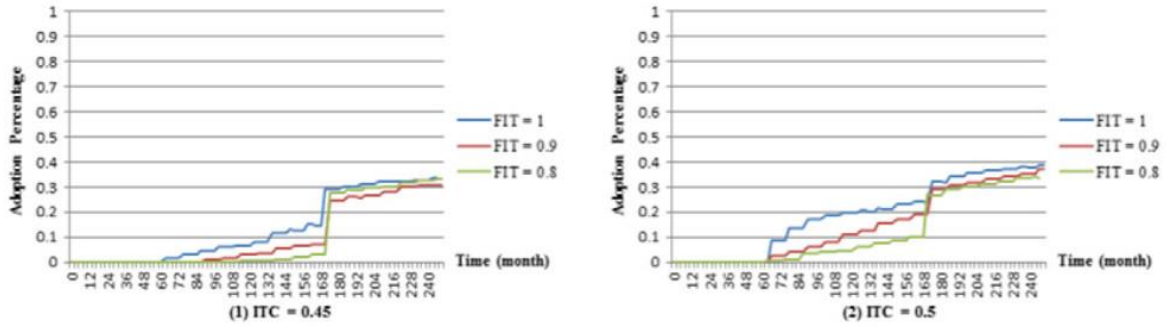
شکل ۱۶. درصد تطبیق با تغییر FIT با فرض ITC ثابت برای شهر کوچک‌تر



Source: Zhao, 2011.

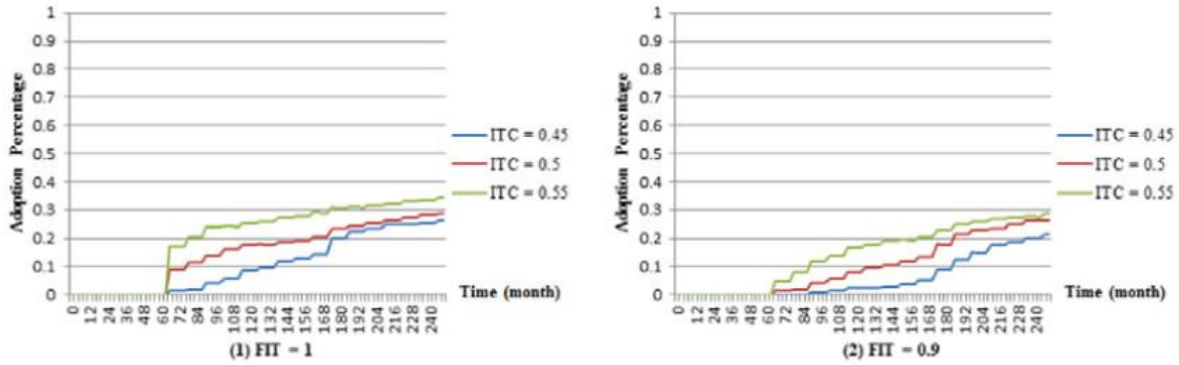
1. Investment Tax Credit (ITC)
2. Feed-in Tariff (FiT)

شکل ۱۷. درصد تطبیق با تغییر FIT با فرض ITC ثابت برای شهر بزرگ‌تر



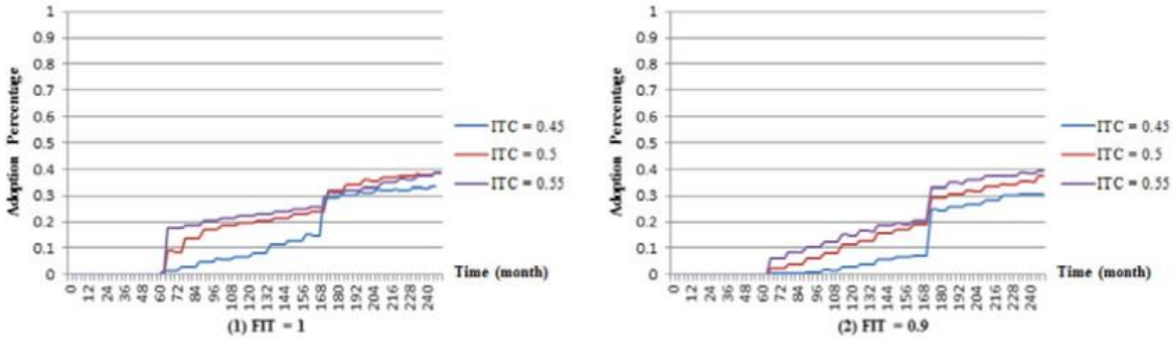
Source: Ibid.

شکل ۱۸. درصد تطبیق با تغییر ITC با فرض FIT ثابت برای شهر کوچک‌تر



Source: Ibid.

شکل ۱۹. درصد تطبیق با تغییر ITC با فرض FIT ثابت برای شهر بزرگ‌تر



Source: Ibid.

مقایسه رویکردها

به‌عنوان جمع‌بندی می‌توان بیان کرد که SD به‌علت ماهیت کل‌نگر و دید بالا به پایین نسبت به مسئله و تحلیل رفتار سیستم در مقیاس بزرگ و کلی می‌تواند از نگرش محدود یک‌بُعدی جلوگیری کند و در فهم ساختار مخفی پشت یک پدیده پیچیده کمک‌کننده باشد. اما در فهم روابط جزئی میان اجزای مختلف و همچنین روابط جزئی آنها با محیط

ناتوان است. زیرا محیط را به‌صورت تجمیعی، با استفاده از متغیرهای کلی سیستم بررسی می‌کند و آثار ترکیبات ناهمگون از عوامل موجود را نادیده می‌گیرد. بنابراین از فهم پدیده‌های ظاهرشونده غیرشهودی ناشی از تعاملات جزئی اجزا ناتوان است. از طرف دیگر در محیط‌های با پیچیدگی بالا، گنجاندن ابعاد مختلف مسئله به‌وسیله ساده‌سازی آنها کار مشکلی است و گاهی اوقات به نتایج غیرواقعی منجر خواهد شد. بنابراین مدل انعطاف‌پذیری پایینی دارد. چون به‌علت فرمولی بودن آن نیازمند کمّی کردن روابط میان متغیرهای مختلف است که در محیط‌های پیچیده با ساختارهای ناشناخته ممکن نیست.

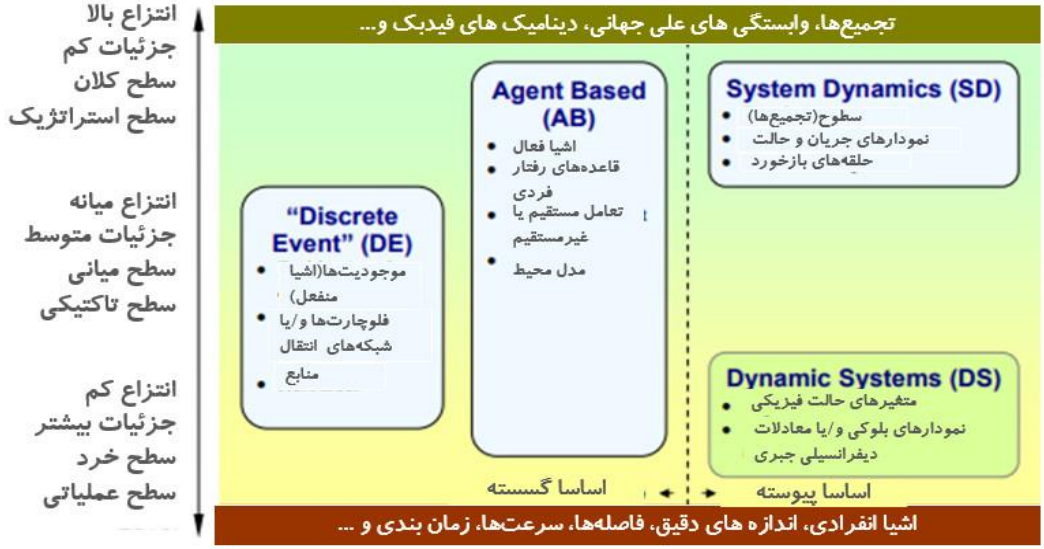
اما هنگامی که محیط دارای تعداد زیادی از عوامل فعال است و ارتباطات و تعاملات جزئی آنها با یکدیگر مهم است و دنبال نتایج غیرشهودی ظاهرشونده هستیم، ABM می‌تواند کمک شایانی در این راستا کند. ABM می‌تواند ساخت مدل را علی‌رغم نداشتن اطلاعات دقیق درباره وابستگی عوامل سازنده و متغیرهای رفتاری سیستم، تنها با دانستن رفتار جزئی عوامل و تعاملات آنها با هم ممکن کند. به همین علت ایجاد تغییر در مدل ABM بسیار راحت‌تر از مدل SD است. چون صرفاً با تغییر جزئی رفتار عوامل این تغییر در کل سیستم فراهم می‌شود. بنابراین در محیط‌های با پیچیدگی بالا این رویکرد مناسب‌تر است. هرچند علاوه بر نیاز به سخت‌افزار کامپیوتری قوی برای شبیه‌سازی محیط بزرگ، ممکن است هنگامی که به دنبال بررسی پویایی خاصی در سیستم هستیم، این رویکرد پاسخگو نباشد و استفاده از SD مناسب‌تر باشد. بنابراین ABM برای جوامعی با عوامل فعال (انسان‌ها، بازارها و...) شامل ارتباطات فعال و زمان‌دار و سایر رفتارهای فردی مناسب‌تر است.

رویکرد DES جهت مقایسه گزینه‌های مختلف موجود در سیستم‌ها مناسب است. در سیستم‌هایی با روال‌های مشخص و قابل پیش‌بینی این رویکرد می‌تواند برای مقایسه گزینه‌های تصمیم‌گیری موجود و انتخاب بهترین گزینه، مناسب باشد. هرچند چون این رویکرد عوامل را منفعل در نظر می‌گیرد که صرفاً رویدادهای مشخص را طی می‌کنند، مشابه SD امکان مشاهده رفتار ظاهرشونده سیستم وجود ندارد و سیستم رفتار پیش‌بینی شده‌ای را طی خواهد کرد.

در شکل۲۰ این چهار رویکرد در نمودار شکل ۱ قرار گرفته و از لحاظ میزان انتزاع، میزان جزئیات، سطح تحلیل و سطح کاربرد مقایسه شده‌اند. طبق این شکل DES و ABM غالباً در زمان گسسته کار می‌کنند (پرش از یک رویداد به رویداد دیگر)، درحالی‌که SD و DS اکثراً با فرایندهای پیوسته سروکار دارند. در مورد سطح انتزاع، DS یا مدل‌سازی فیزیکی در حداقل سطح انتزاع در نمودار جای گرفته است. SD به‌علت کار کردن با رفتار مجموعی[1] سیستم دارای بیشترین سطح انتزاع خواهد بود. DES مسائل از سطح انتزاع کم تا میانه را می‌تواند پوشش دهد و ABM بسته به عامل‌های مدنظر و روابط آنها، در تمام سطوح انتزاع مختلف قابل اعمال خواهد بود. برای مثال مدل‌سازی اتومبیل‌ها شامل سطح انتزاع کم، مدل‌سازی خریداران شامل سطح انتزاع متوسط و مدل‌سازی شرکت‌های رقیب شامل سطح انتزاع بالا هستند.

1. Aggregate

شکل ۲۰. مقایسه رویکردها طبق شکل ۱



در جدول ۲ ویژگی‌های این سه رویکرد به‌طور کلی مقایسه شده است (Martin, ،Zhikun Ding, 2018 ،2015 ،Vázquez-serrano, 2021 ،Brailsford, 2001):

جدول ۲. مقایسه رویکردهای مطرح شده

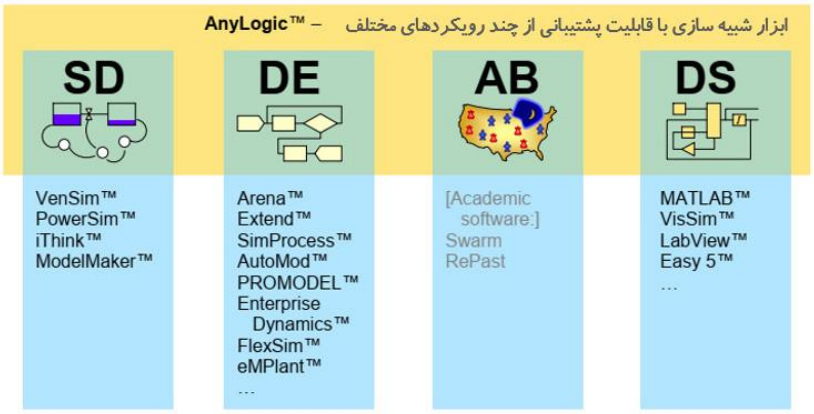
ویژگی‌ها	SD	ABM	DES
جز سازنده اصلی	حلقه‌های بازخورد	عامل‌ها	موجودیت‌ها و منابع
واحد تحلیل	ساختار	نقش‌ها	پیشامدها
سطح مدل‌سازی	کلان (سیستم)	خُرد (رفتار عامل)	خُرد (موجودیت‌ها) و متوسط (پیشامدها)
منظر شبیه‌سازی	بالا به پایین	پایین به بالا	تحلیلی
تحلیل زمانی	پیوسته	گسسته	گسسته
روش انطباق مدل	تغییر ساختار غالب (حلقه‌های غالب)	تغییر رفتار عامل	تغییر در پیشامدها یا تغییر در مصرف منابع
هدف	بررسی و فهم دینامیک‌های سیستم در زمان، تعادل سیستم و حلقه غالب	شفاف‌سازی مکانیسم‌ها و الگوها، استخراج فرضیه، بررسی رفتار سطح خُرد	تصمیم‌گیری، بهینه‌سازی، مقایسه و پیش‌بینی
کاربرد در مسائل خط‌مشی	هنگامی که دنبال بررسی رفتار کلی سیستم هستیم و ناهمگونی محیطی قابل صرفنظر است	محیط ناهمگون که این ناهمگونی مهم است یا محیط ناشناخته که تعداد عامل خیلی زیاد نیست	مسائلی مانند مقایسه سناریوهای مختلف، بهینه‌سازی فرایندها و استفاده از منابع، پیش‌بینی هزینه تصمیم‌های مختلف
خروجی‌ها	رفتار تجمیعی سیستم	الگوهای ظاهرشونده	نقاط پیش‌بینی، محاسبه بازدهی
مزایا	شبیه‌سازی راحت، دید کلی نسبت به سیستم و اجتناب از یک‌سونگری	اعمال راحت تغییرات، مدل‌سازی طبیعی مسئله، امکان مشاهده رفتارهای ظاهرشونده	مدل ملموس، قابلیت شبیه‌سازی پیچیدگی بالا، قابل استفاده در رشته‌های مختلف
معایب	ناتوانی در فهم پدیده‌های ظاهرشونده ناشی از تعاملات جزئی، نیاز به رابطه کمّی بین متغیرها به‌خاطر فرمول پایه بودن	نیاز به تفسیر کیفی بعد از شبیه‌سازی، حجم محاسبات و جزئیات بالا در محیط خیلی بزرگ، امکان دور شدن از هدف تحقیق	پیچیدگی معادلات در بعضی موارد، نیاز به دید عمیق نسبت به مسئله در ابتدای امر

در پایان دو نکته شایان ذکر است: اول اینکه امکان استخراج هرکدام از این مدل‌ها از سایر مدل‌ها وجود دارد تا پس از آن به‌وسیله شبیه‌سازی ابعاد مختلف مسئله بررسی شود که در مقاله (Borshchev؛ 2004) این مسئله به تفصیل بررسی شده است.

نکته دیگر اینکه برای شبیه‌سازی با رویکردهای گفته شده ابزارهای مختلفی موجود است که بعضی از آنها مانند نرم‌افزار AnyLogic امکان شبیه‌سازی با چند رویکرد مختلف را نیز دارند.

شکل ۲۱ نمونه‌هایی از این ابزارهای شبیه‌سازی را برای هر رویکرد نشان می‌دهد **(همان)**:

شکل ۲۱. ابزارهای مختلف شبیه‌سازی برای رویکردهای مطرح شده



Source: Borshchev, 2004.

رهنمودهای پیشنهادی جهت ارتقای کیفیت قانونگذاری و تصمیم‌گیری در مجلس شورای اسلامی

همان‌طور که در بخش اول بیان شد حرکت به سمت خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد علاوه بر یک ضرورت، راهی است که در بسیاری از کشورها پیگیری شده و ادامه دارد. استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌ها در حوزه تصمیم‌گیری و خط‌مشی‌گذاری عمومی می‌تواند کمک شایانی در راستای دستیابی به مزایای فرایندهای شواهدمحور که می‌تواند جایگاه مهمی در سیستم قانونگذاری کشور و مجلس شورای اسلامی داشته باشد، بکند. در ادامه دستاوردهای استفاده از شبیه‌سازی در مسائل تصمیم‌گیری، خط‌مشی‌گذاری و قانونگذاری و رهنمودهایی جهت دستیابی به این موارد بیان می‌شود:

تحلیل پیامدهای قوانین و تصمیم‌ها و ارتقای کیفیت قانونگذاری

در بخش اول بیان شد بعضی از تصمیم‌گیری‌ها آثار فراوان و طولانی‌مدتی دارند که با ذهن محدود انسانی تمام آنها به شکل یک‌جا قابل درک و تحلیل نیستند و همچنین یادگیری با آزمون و خطا در آن موارد نه توجیه اقتصادی دارد و نه توجیه عقلایی. مسائل تصمیم‌گیری و خط‌مشی‌گذاری عمومی که شامل قانونگذاری در مجلس شورای اسلامی نیز می‌شود در بسیاری از موارد مشمول این شرایط است. بسیاری از مواقع یک قانون یا تصمیم سنجیده نشده آثار فراوان طولانی‌مدتی بر جامعه گذاشته که شاید سرنوشت میلیون‌ها شهروند را متأثر ساخته و تا سال‌ها اثر آن بر جامعه باقی مانده باشد. از

طرف دیگر همان‌طور که گفتیم نه عرصه خط‌مشی‌گذاری عمومی عرصه آزمایش و خطاست و نه پیامدهای هر تصمیم و اقدام سریعاً و به شکل ساده بروز پیدا کرده و قابل سنجیدن است، بلکه ممکن است بعضی آثار اجتماعی تا سال‌ها بروز پیدا نکند یا به شکل پیچیده‌ای که برای ذهن انسانی قابل درک به شکل علت و معلولی نیست، بروز پیدا کند و سنجش این آثار کاری مشکل باشد. این موارد ضرورت فراهم کردن زمینه استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌ها را در عرصه تصمیم‌های عمومی مانند قانونگذاری‌ها و خط‌مشی‌گذاری‌های عمومی که از مهم‌ترین نقش‌های مجلس شورای اسلامی است، در جهت شناخت نسبت به آینده تصمیم‌ها و آثار کوتاه و بلندمدت ساده و پیچیده آنها، ضروری می‌کند. به‌وسیله شبیه‌سازی می‌توان آثار مختلف احتمالی را از منظرهای مختلف و ناشی از علل مختلفی بررسی کرد که شاید برای ذهن بشری تحلیل از این ابعاد مختلف و پیچیده کار آسانی نباشد. شبیه‌سازی به‌وسیله پیش‌بینی آثار آتی و بازخوردها و رفع نقایص احتمالی، می‌تواند کمک‌کننده باشد و از اتلاف سرمایه و وقت و منابع در کشور جلوگیری نماید.

اقناع ذی‌نفعان و اجرای بهتر تصمیم‌ها علاوه بر افزایش غنای تصمیم‌گیری‌ها

مسئله دیگری که به آن اشاره شد نیاز به اقناع افراد فراوان در تصمیم‌گیری‌های عمومی مانند قانونگذاری است. در درجه اول نمایندگانی که قرار است برای مثال نسبت به سرنوشت یک طرح تصمیم بگیرند، نیاز دارند نسبت آثار احتمالی آتی و احتمال اثربخشی طرح مدنظر، شناخت حداقلی داشته باشند. بنابراین اقناع آنها از ضروریات اولیه قانونگذاری است. علاوه بر آن، توجیه و اقناع ذی‌نفعان هر قانون یا تصمیم عمومی و عموم افراد جامعه، با هدف فراهم شدن زمینه اجرای بهتر تصمیم‌ها، بسیار کمک‌کننده است. شبیه‌سازی در مسائل تصمیم‌گیری عمومی و خط‌مشی‌گذاری با پیش‌بینی آثار آینده این تصمیم‌ها در بخش‌های مختلف جامعه و ارائه نتایج به شکل قابل فهم برای افراد، می‌تواند به مجلس شورای اسلامی در طرح‌ها و لوایح مختلف بسیار کمک‌کننده باشد.

فراهم شدن زمینه شفافیت در تصمیم‌ها و رشد جامعه علاوه بر کاهش فساد

یکی از نکات مطرح و مهم در رابطه با شفافیت آرای نمایندگان، عدم امکان پاسخگویی به افکار عمومی نسبت به تصمیم‌های گرفته شده است. درحالی‌که اگر این تصمیم‌ها پشتوانه و شواهد سنجیده علمی مانند نتایج شبیه‌سازی داشته باشد، علاوه بر امکان اقناع و پاسخگویی به مردم، می‌تواند برای خود نمایندگان نیز کمک‌کننده باشد. در سال‌های اخیر مسئله شفافیت در دنیا به‌عنوان چاره مهمی برای پیشگیری از فساد و رانت مطرح شده است. شفافیت همچنین می‌تواند باعث افزایش درک عمومی در جامعه و رشد جامعه شود که از اهداف مهم انقلاب اسلامی است. این مسئله می‌تواند از طریق به‌کارگیری شبیه‌سازی‌ها در تصمیم‌ها و قانونگذاری‌ها و خط‌مشی‌گذاری‌ها زمینه پیاده‌سازی بیابد. به این شکل که هم نماینده امکان ارائه استدلال‌ها و علل تصمیم خود را به زبان فهم جامعه می‌یابد و هم در محیط جامعه، علاوه بر بالا رفتن درک و رشد افراد، زمینه ایجاد سرمایه اجتماعی و اعتماد عمومی مردم به مسئولان ایجاد می‌شود و همچنین شفافیت به‌عنوان عامل پیشگیری از انحرافات و رانت و فساد عمل می‌کند.

کاهش وابستگی تصمیم‌ها به افراد متغیر و زمینه استفاده از تجربه‌های قبلی

مسئله دیگری که می‌تواند توسط شبیه‌سازی‌ها حل شود کاهش اثر تغییر نمایندگان در ابعاد مختلف قانونگذاری است. همان‌طور که می‌دانیم تغییر نمایندگان مجلس که امری طبیعی است، می‌تواند در دوره کسب تجربه و آموزش نماینده جدید، آسیب‌زننده باشد. زیرا ممکن است فرد هنوز شناخت کافی را نسبت به سیستم جامعه و تصمیم‌گیری و خط‌مشی‌گذاری عمومی در آن وسعت کسب نکرده باشد و نتواند به شکل کافی آثار تصمیم خود را پیش‌بینی نماید. علاوه بر آن، عملاً سالیان سال تجربه قبلی تقریباً نادیده گرفته می‌شود. زیرا افراد قبلی این تجربیات ذهنی را با خود برده‌اند. مگر میزان کمی که به شکل گزارش باقی مانده باشد که بررسی آنها نیز به‌علت مشغله فراوان نمایندگان معمولاً انجام نمی‌شود. بنابراین استفاده از شبیه‌سازی‌هایی که به شکل پلتفرم (داشبوردهایی که قابلیت به‌روزرسانی و اصلاح مستمر دارند) باقی می‌مانند و می‌توانند روزبه‌روز ارتقا یابند، می‌تواند وابستگی تحلیل تصمیم‌ها و خط‌مشی‌گذاری‌ها را به افراد کم کند. مسئله دیگر دخالت عقاید پیش‌فرض ذهنی افراد در تصمیم‌گیری‌هاست که می‌تواند به‌وسیله شبیه‌سازی‌ها اصلاح شود. بنابراین استفاده از شبیه‌سازی در تصمیم‌گیری‌ها هم وابستگی به نمایندگانی که ممکن است تغییر کنند را کم می‌کند و هم امکان تصمیم‌های ناسنجیده و یا جناحی را با فراهم کردن شواهد منطقی و مستدل کاهش می‌دهد و می‌تواند از این طریق نیز به سیستم قانونگذاری کشور کمک کند.

تسریع در تصمیم‌گیری‌ها در کنار کاهش خطا در تصمیم‌ها

از طرف دیگر در مورد تصمیم‌هایی مانند لایحه بودجه که هر سال به مجلس ارائه می‌شود، می‌توان با یک‌بار شبیه‌سازی در ابعاد مختلف، بررسی لازم را انجام داد و در سال‌های بعد همین شبیه‌سازی‌ها با تغییرات لازم، مجدداً پیاده‌سازی و نتایج آنها بررسی شود. همچنین زمان محدود مجلس شورای اسلامی برای بررسی لایحه بودجه که هرساله نیز تکرار می‌شود ممکن است باعث از قلم افتادن بعضی نکات مهم و تصمیم‌های عجولانه شود. بنابراین استفاده از شبیه‌سازی‌ها علاوه بر کاهش امکان خطا در تصمیم‌ها، در تسریع تصمیم‌گیری‌ها و جلوگیری از هدررفت زمان مجلس و هزینه‌های جاری، می‌تواند کمک‌کننده باشد.

در پایان امید است که با برداشتن گام‌های عملی بعدی در راستای به‌کارگیری و گسترش ابزارهای شبیه‌سازی در مسائل تصمیم‌گیری و خط‌مشی‌گذاری عمومی و ایجاد و گسترش آزمایشگاه‌های خط‌مشی، امکان دستیابی به مزایای خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد در نظام قانونگذاری و اداره کشور فراهم شود.

منابع و مآخذ

۱. ابراهیمی، سیدعباس و دیگران. طراحی مدل خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد در نظام سلامت ایران، پژوهش‌های مدیریت عمومی، سال هفتم، ش ۲۴، ۱۳۹۳.

۲. ابراهیمی، سیدعباس و دیگران. خط‌مشی‌گذاری مبتنی‌بر شواهد در عمل: آیا شواهد آماری در ارتقای اثربخشی و کارایی خط‌مشی‌های آموزش عالی کشور مؤثرند؟، نشریه علمی ـ پژوهشی بهبود مدیریت، سال هشتم، ش ۲، پیاپی ۲۴، ۱۳۹۳.

۳. زارع مهرجردی، یحیی؛ حبوباتی، مجید و فرید صفایی نیک. بهبود زمان انتظار بیماران مراجعه‌کننده به اورژانس با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد، مجله علمی ـ پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، دوره ۱۹، ش ۳، ۱۳۹۰.

۴. شریفی، امیرمحمد و دیگران. ارائه مدل خط‌مشی‌گذاری شواهدمحور برای پیشگیری از انتشار کرونا ویروس (نمونه‌کاوی: شهر تهران)، نشریه علمی ـ پژوهشی مدیریت دولتی، ش ۱۳(۲)، ۱۴۰۰.

۵. عباسی، طیبه؛ قلی‌پور، رحمت‌الله و مهدی هادی. شناسایی عوامل تسهیل‌کننده شواهدمحور کردن فرایند خط‌مشی‌گذاری در حوزه علوم، تحقیقات و فناوری، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی، دوره هشتم، ش ۲۶، ۱۳۹۷.

۶. فقیهی، مهدی. پویایی در خط عمومی، نخستین کنفرانس ملی مدیریت دولتی ایران: خط‌مشی‌گذاری عمومی، تهران، انجمن علمی مدیریت دولتی ایران، ۱۳۹۴.

7. Abdolhosseinzadeh, M. and Abdolhamid, M. (2020), "Presentation of a school of government model through a comparative study of selected schools", Kybernetes, Vol. 49 No. 12, pp. 2947-2976

8. Atkinson, J. A and Page, A and Wells, R and Milat, A and Wilson, A. (2015). "A modelling tool for policy analysis to support the design of efficient and effective policy responses for complex public health problems," Implement. Sci., vol. 10, no. 1.

9. Azadeh, A and Darivandi Shoushtari, K and Saberi, M and Teimoury, E. (2014).,"An integrated artificial neural network and system dynamics approach in support of the viable system model to enhance industrial intelligence: The case of a large broiler industry," Syst. Res. Behav. Sci., vol. 31, no. 2

10. Bankes, S. C. (1992). Exploratory Modeling and the Use of Simulation for Policy Analysis. Santa Monica, CA: RAND Corporation.

11. Bardach. (2009). Policy making . The Oxford Handbook of Public Policy

12. Barlas, Y. (2004). "System Dynamics: Systemic Feedback Modeling For Policy Analysis" System Dynamics – Vol. I

13. Bonabeau, E. (2002). "Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems," Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., vol. 99, no. SUPPL. 3

14. Borshchev, A and Filippov, A. (2004). "From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling : Reasons , Techniques , Tools 1 . Simulation Modeling : Abstraction Levels , Major Paradigms," 22nd Int. Conf. Syst. Dyn. Soc. 25-29

15. Brailsford, S.C. and Hilton, N.A. (2001). "A comparison of discrete event simulation and system dynamics for modelling health care systems" . In, Riley, J. (ed.) Planning for the Future: Health Service Quality and Emergency Accessibility. Operational Research Applied to Health Services (ORAHS) (01/01/01) Glasgow Caledonian University.

16. Ding, Z and Gong, W and Li, S and Wu, Z. (2018). "System dynamics versus agent-based modeling: A review of complexity simulation in construction waste management," Sustain., vol. 10, no. 7

19. Figari, F and Paulus, A and Sutherland, H. (2015). "Microsimulation and Policy Analysis," Handb. Income Distrib., vol. 2

20. Figueredo, G. P and Aickelin, U. (2011). "Comparing system dynamics and agent-based simulation for tumour growth and its interactions with effector cells," Proc. 2011 Summer Comput. Simul. Conf

21. Ghaffarzadegan, N and Lyneis, J and Richardson, G. P. (2011). "How small system

dynamics models can help the public policy process," Syst. Dyn. Rev., vol. 27, no. 1

22. Ghorbani, A and Dechesne, F and Dignum, V and Jonker, C. (2014). "Enhancing ABM into an Inevitable Tool for Policy Analysis," J. Policy Complex Syst., vol. 1, no. 1

23. Greasley, A. (2020). "Architectures for combining discrete-event simulation and machine learning," SIMULTECH 2020 - Proc. 10th Int. Conf. Simul. Model. Methodol. Technol. Appl., no. Simultech,

24. Guthrie, H. W. (1972). "Microanalytic Simulation Modeling for Evaluation of Public Policy," Urban Aff. Rev., vol. 7, no. 4

25. Harrison, J. R and Lin, Z. (2007). Simulation Modeling In Organizational And Management Research, Academy Of Management Review , Vol. 32, No. 4.

26. Hinrichs-Krapels, S.et al., .(2020). "Using Policy Labs as a process to bring evidence closer to public policymaking: a guide to one approach," Palgrave Commun., vol. 6, no. 1

27. Larsson, A and Ibrahim, O. (2015). A Simulation Tool for Assessment of Societal Effects of aProposed Government Policy, Stockholm University

28. Larsson, A and Ibrahim, O. (2017). A systems tool for structuring public policy problems and design of policy options. International Journal of Electronic Governance 9, 4

29. Lempert, R. (2002). "Agent-based modeling as organizational and public policy simulators," Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., vol. 99, no. SUPPL. 3

30. Lyons, G. J and Duggan, J. (2015). "System dynamics modelling to support policy analysis for sustainable health care," Journal of Simulation., vol. 9, no. 2

31. Martin, R and Schlüter, M. (2015). "Combining system dynamics and agent-based modeling to analyze social-ecological interactions-an example from modeling restoration of a shallow lake," Front. Environ. Sci., vol. 3, no. OCT, 2015

32. MOODY,C. E. (2002). "Simulation Modeling and Policy Analysis," Public Policy, vol. 1, no. 3

33. Neftis, A. (2012)." MOSIPS: Modeling and Simulation of the Impact of Public Policies on SMEs (MOSIPS),EUROPEAN COMMISION", joinup.ec.europa.eu,

34. Nguyen, L. K. N Et Al. (2020). "A Hybrid Simulation Modelling Framework For Combining System Dynamics And Agent-Based Models" , Proceedings of the Operational Research Society Simulation Workshop (SW20).

35. Nolan, P., McCarthy, M. (1986). AI Frame-Based Simulation in System Dynamics. In: Sriram, D., Adey, R. (eds) Applications of Artificial Intelligence in Engineering Problems. Springer, Berlin, Heidelberg

36. RAND, W. (2006). "MACHINE LEARNING MEETS AGENT-BASED MODELING: WHEN NOT TO GO TO A BAR" , Northwestern University, Evanston, IL, Mach. Learn

37. Ruiz, M and Zabaleta, N and Elorza, U. (2016). "Decision Making Through Simulation in Public Policy Management Field," INTED2016 Proceedings, pp. 8156-8163.

38. Sutcliffe, S and Court, J. (2005). "Evidence-Based Policymaking : What is it ? How does it work ? What relevance for developing countries ?,". Overseas Development Institute

39. Unesco, (2005). "Education Policy & Strategy Simulation Model Epssim User ' s Guide,"

40. Vázquez-Serrano, J. I., Peimbert-García, R. E., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2021). Discrete-Event Simulation Modeling in Healthcare: A Comprehensive Review. International journal of environmental research and public health, 18(22),

41. Yin, R. (2020)." Machine Applying Learn System Learning to Models for Urban Dynamics Systems", thesis fo Master of Science at the Delft University of Technology

42. Zhao et al (2011). Hybrid agent-based simulation for policy evaluation of solar power generation systems, Simulation Modelling Practice and Theory 19(10), 2189-2205

43. Zhao, B Et Al. (2019). "Agent-Based Model (Abm) For City-Scale Traffic Simulation: A Case Study On San Francisco", International Conference on Smart Infrastructure and Construction

44. Zhao, B. (2020). "The Application of Artificial Intelligence in Agriculture," J. Phys. Conf. Ser., vol. 1574, no. 1