



اهمیت تناظر مدل‌های عامل‌مبنا و پویاشناسی سیستم در فرآیند مدل‌سازی یادگیری سازمانی

شریف خالق‌پرست^{۱*}، بهاره نظری‌پور^۲، سید تقی اخوان‌نیاکی^۳، علی‌نقی مشایخی^۴

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی صنایع، sharif.khaleghparast@ie.sharif.edu

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی صنایع، b.nazaripour@alum.sharif.edu

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی صنایع، niaki@sharif.edu

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مدیریت و اقتصاد، mashayekhi@sharif.edu

چکیده

علی‌رغم توجه به استفاده از رویکردهای تجمیعی و عامل‌مبنا به صورت مختلط، کمتر به نشان دادن منطقی و ریاضیاتی وجود تناظر میان این رویکردها و ارزش افزوده حاصل از آن به صورت مجزا توجه شده است. در این میان تناظر مدل‌های عامل‌مبنا و پویاشناسی سیستم غالباً بدیهی فرض شده است، در حالی که در این پژوهش به صورت ریاضی نشان داده خواهد شد که چنین رابطه‌ای وجود دارد و اتفاقاً استفاده از مفهوم ریاضی آن کمک می‌کند تا بتوان در مورد نحوه مدل‌سازی یادگیری در سازمان نوآوری نمود. این نوآوری ضمن نشان دادن زاویه‌های دید متفاوت به یک سیستم، در توسعه دادن مدل‌های مربوط به هر رویکرد در هنگام تکمیل مدل‌های رویکرد دیگر و یا رویکردهای مختلط معادلاتی-رفتاری جالب توجه، نمود پیدا می‌کند که بسیار کارا تر از استفاده جایگزین از رویکردها و انتخاب تنها یکی از آنهاست که در ادبیات گذشته بیشتر رواج داشته است. در حقیقت با توجه به چنین مفهومی در دو رویکرد، نگاه طراحی بجای صرف نگاه تصمیم‌گیری بر فرآیند مدل‌سازی غالب می‌شود که اقتضای سیستم‌های پیچیده اقتصادی-اجتماعی امروزی است.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی عامل‌مبنا، مدل‌سازی پویاشناسی سیستم، یادگیری سازمانی.

۱- مقدمه

مدل‌سازی سیستم‌ها با توجه به متغیرهای تجمیعی آن‌ها به عنوان یک روش سنتی در روش‌شناسی‌های کمی همواره مطرح بوده است. در روش‌شناسی پویاشناسی سیستم‌ها نیز، این رویکرد در غالب متغیرهای انباشت مطرح شده است. از سوی دیگر در سالیان اخیر رویکرد مدل‌سازی عامل‌مبنا و شبیه‌سازی آن، موفقیت‌های چشمگیری به خصوص برای به تصویر کشیدن سیستم‌های پیچیده اقتصادی-اجتماعی کسب کرده است. این در حالی است که علی‌رغم توجه به استفاده از رویکردهای

۱- نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری رشته مهندسی صنایع - این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده مسئول می‌باشد.

۲- کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی صنایع

۳- دکتری رشته مهندسی صنایع، استاد تمام

۴- دکتری رشته مدیریت، استاد تمام



تجمیعی و عامل مبنا به صورت مختلط، کمتر به نشان دادن منطقی و ریاضیاتی وجود تناظر میان این رویکردها و ارزش افزوده حاصل از آن به صورت مجزا توجه شده است. در این پژوهش ابتدا مبانی نظری و پیشینه تحقیقات مربوطه آورده شده و سپس به نشان دادن تناظر ریاضی مدل‌های عامل مبنا و پویاشناسی و نوآوری‌های حاصل از دیدگاه مدل‌سازی ریاضی به آن‌ها پرداخته شده است. نتایج حاصل از چنین رویکردی به سیستم‌ها و پیشنهادهای در مورد پژوهش‌های آینده به منظور نشان دادن خلاء تحقیقاتی گسترده در این حوزه در انتها آورده شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

خلق مدل‌های شبیه‌سازی غالباً به عنوان یک هنر مطرح شده است تا یک تکنولوژی که قابلیت آموزش دادن و یادگیری داشته باشد و به همین دلیل کمتر به آن پرداخته شده است [۱]. منظور از خلق مدل‌های شبیه‌سازی، فرآیند پیدا کردن سطح انتزاعی مناسب، زبان مدل‌سازی مناسب و سازه‌های مناسب به منظور اجرای آزمایش‌های پویا روی مدل است. عدم توجه به پرورش مهارت‌های خلق مدل‌های شبیه‌سازی، موجب رشد و توسعه هر یک از سه منطق موجود در پس مدل‌های شبیه‌سازی، شامل شبیه‌سازی مدل‌های گسسته پیشامد، پویایی‌شناسی سیستم و عامل مبنا، در انزوای کامل نسبت به همدیگر شده است؛ گواه این مطلب جامعه‌های علمی متمایز، کتب و نرم‌افزارهای متفاوت آن‌ها است [۲]. در این بین شبیه‌سازی مدل‌های گسسته پیشامد و پویایی‌شناسی سیستم با قدمتی در حدود ۶۰ سال تا حدی روش‌های سنتی به حساب می‌آیند، اما شبیه‌سازی مدل‌های عامل مبنا که بر خلاف دو روش دیگر ریشه در علوم رایانه و روش‌شناسی شی‌گرا دارد، پدیده‌ای است که به واسطه توان پردازشی رایانه‌ها در اواخر دهه نود میلادی ممکن شد. واضح است که هریک از این سه روش نقاط قوت و ضعف مخصوص به خود را دارند که استفاده بجای آن‌ها می‌تواند موجب ایجاد مدل‌های منطبق با طبیعت سیستم مورد مطالعه باشد که فهم و توسعه مدل‌ها را بیش از پیش ساده می‌کند.

به طور سنتی مدل‌هایی که به ایجاد ساختار ثابتی متشکل از جریان‌های فیزیکی و اطلاعاتی با استفاده از معادلات دیفرانسیلی و جبری می‌پردازند برای تحلیل سیستم‌های پویا استفاده شده‌اند. چنین مدل‌هایی بسیار به درک چرایی و چگونگی روند تغییرات متغیرهای کلان در سیستم کمک می‌کنند اما هنگامی که نیاز به در نظر گرفتن فضای فیزیکی سیستم یا تحلیل اثر رفتار فردی کارکنان یا هر عامل دیگری در آن است، ناقص به نظر می‌رسند. اسوینرد و مک‌نات [۳] اشاره دارند که این امر از طبیعت مسأله مورد بررسی ناشی می‌شود. طبیعت چندوجهی و پیچیده سیستم‌های امروزی و نیاز به تحلیل همزمان سطوح انتزاعی مختلف آن‌ها موجب به چالش کشیده شدن راهکارهای سنتی و تک‌روشی شده است که از طرفی این روش‌ها را بیش از پیش توسعه داده است و از طرف دیگر رویکردهای مختلط و چندروشی را پدید آورده است که راه‌حل‌های به مراتب ساده‌تر و مؤثرتر ارائه می‌دهند. در سال‌های اخیر رشد فزاینده‌ای در استفاده از رویکردهای مختلط در حل مسائل دیده می‌شود. مثلاً جهانگیریان [۴] به اهمیت این موضوع در حوزه شبیه‌سازی مختلط سیستم‌های ساخت و تولید اشاره می‌کند؛ جامعه تحقیق در عملیات به ترکیب انواع روش‌های متاهیوریستیک به منظور بهینه‌سازی سیستم‌ها می‌پردازد و روش‌های شبیه‌سازی-بهینه‌سازی رونق پیدا کرده است [۵]. در این میان تناظر مدل‌های عامل مبنا و پویاشناسی سیستم غالباً بدیهی فرض شده است، در حالی که در این پژوهش به صورت ریاضی نشان داده خواهد شد که چنین رابطه‌ای وجود دارد و اتفاقاً استفاده از مفهوم ریاضی آن کمک می‌کند تا بتوان در مورد نحوه مدل‌سازی یادگیری در سازمان نوآوری نمود.

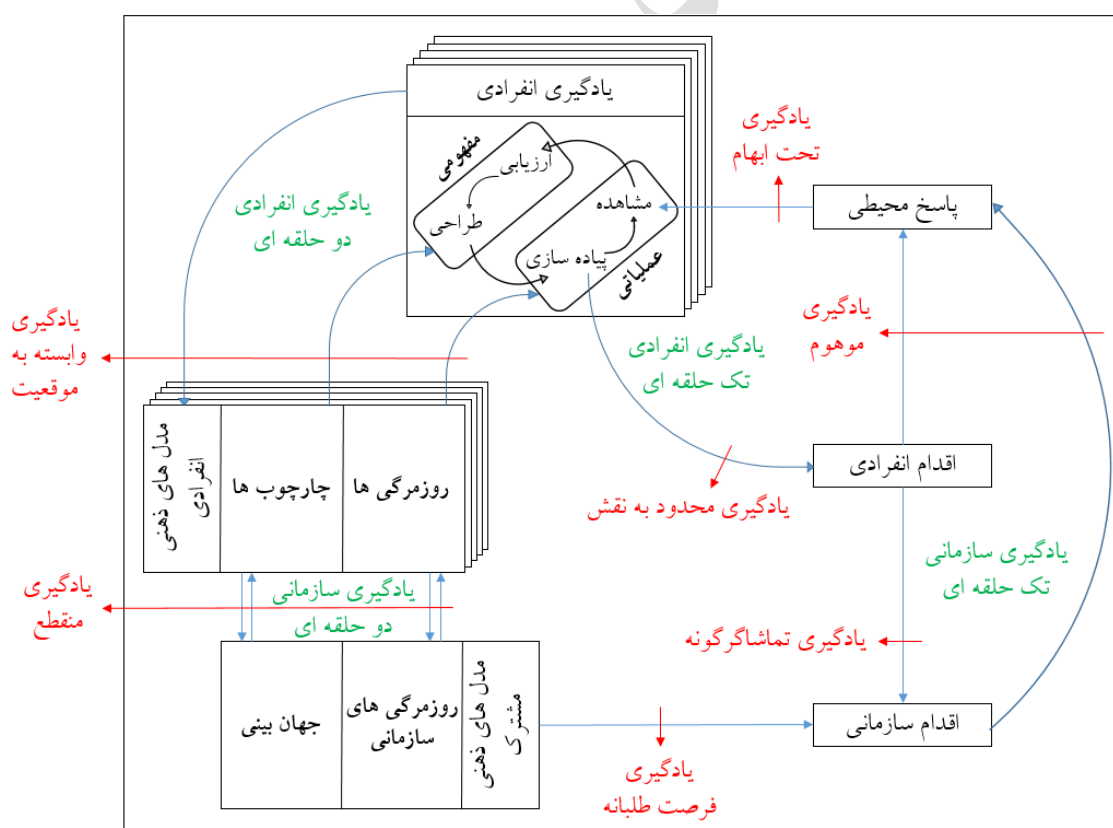
یادگیری فردی در بستر سازمان لزوماً به معنای یادگیری سازمانی نیست. هرچند یادگیری سازمانی از طریق یادگیری فردی اتفاق می‌افتد نمی‌توان نتیجه گرفت یادگیری سازمانی حاصل تجمع یادگیری افراد سازمان است. سازمان‌ها در بلندمدت،



علی‌رغم تغییر در کارکنان و دیدگاه‌های فردی موجود، به عنوان یک واحد، جهان‌بینی و ایدئولوژی خاص خود را توسعه می‌دهند و این نشان دهنده وجود یک سیستم شناختی حافظه‌دار در سازمان است [۶].

نگاه فوق به یادگیری سازمانی همان لختی رفتار سیستم نسبت به رفتار اجزایش را به یاد می‌آورد که منجر به مقاوم شدن آن در برابر تغییر می‌شود. اما باید توجه داشت که وجود همین اثر منجر به این می‌شود که مدیرانی که به فکر ساخت یک سازمان یادگیرنده هستند هم به یادگیری فردی و هم به یادگیری سازمانی توجه کنند. دانش فردی هنگامی به وجود می‌آید که اعضا از طریق تحصیل، تجربه یا آزمایش و خطا یاد می‌گیرند و دانش سازمانی هنگامی حاصل می‌شود که فرهنگ حاکم بر سیستم دانش فردی را حفظ کرده و بین افراد منتقل می‌کند [۷]. یک چالش بحرانی برای سازمان یادگیرنده، درک چگونگی فرآیندی است که طی آن یادگیری و دانش فردی (مدل‌های ذهنی) در حافظه و ساختار سازمان ثبت می‌شود. اگر این فرآیند انتقال به روشنی مشخص باشد، می‌توان فعالانه سازگاری یادگیری در سازمان را با اهداف، ارزش‌ها و چشم‌انداز آن سنجید. ارتباط این دو در مدل یکپارچه کیم در شکل ۱ به خوبی نشان داده شده است [۸].

کیم در این مدل نشان می‌دهد یادگیری تک‌حلقه‌ای و دو حلقه‌ای چگونه در دو سطح انفرادی و سازمانی داخل مرز سازمان اتفاق می‌افتد و ارتباط این دو سطح از یادگیری چگونه برقرار می‌شود. او معتقد است اساساً دو سطح از یادگیری انفرادی وجود دارد: یادگیری مفهومی (که یادگیری ناشی از پاسخ به چرایی است) و یادگیری عملیاتی (که یادگیری ناشی از پاسخ به چگونگی است). یادگیری سازمانی هنگامی موثر واقع می‌شود که یادگیری مفهومی در قالب مهارت‌های مشخصی عملیاتی شود به طوری که قابلیت یادگیری و اجرا داشته باشند.



شکل ۱. مدل یکپارچه یادگیری سازمانی به همراه چرخه‌های ناقص یادگیری



در یادگیری انفرادی تک‌حلقه‌ای، فرد پس از طراحی اقدامات آتی خود در سطح مفهومی، به پیاده‌سازی آن در سطح عملیاتی می‌پردازد و اقدام انفرادی‌اش منجر به پاسخ محیطی می‌شود که فرد پس از نظاره آن به ارزیابی پرداخته و اقدامات بعدی‌اش را طراحی می‌کند. او همین‌جا به سه آفت که مانع کامل شدن چرخه یادگیری انفرادی تک‌حلقه‌ای می‌شود اشاره می‌کند که عبارتند از یادگیری محدود به نقش، یادگیری موهوم و یادگیری تحت ابهام.

در یادگیری سازمانی تک‌حلقه‌ای، اقدامات انفرادی منجر به اقدام سازمانی مشخصی می‌شود که منجر به بازخورد محیط به سازمان و افراد آن شده، اقدامات آن‌ها را اصلاح می‌کند. در اینجا آفت یادگیری تماشاگونه هنگامی اتفاق می‌افتد که اثر اقدام فرد بر اقدام سازمان مشخص نباشد و افراد کورکورانه به انجام وظایف یا عدم انجام وظایف خود بپردازند و نظاره‌گر بازخوردهای محیط باشند. علاوه بر این آفت یادگیری موهوم می‌تواند این‌جا نیز ظاهر شود، هنگامی که رابطه بازخورد محیط با اقدامات سازمانی مشخص نباشد و به تدریج اساس اقدامات سازمان زیر سوال برود.

در یادگیری انفرادی دو حلقه‌ای، حاصل یادگیری انفرادی روی مدل ذهنی فرد اثر گذاشته، چارچوب‌ها و روزمرگی‌های ذهنش تغییر کرده و این یادگیری مفهومی و عملیاتی فرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. او تنها آفت این نوع از یادگیری را یادگیری وابسته به موقعیت‌ها می‌داند که نمونه آن را می‌توان در مدیریت بحران صرفاً در هنگام بحران مشاهده کرد.

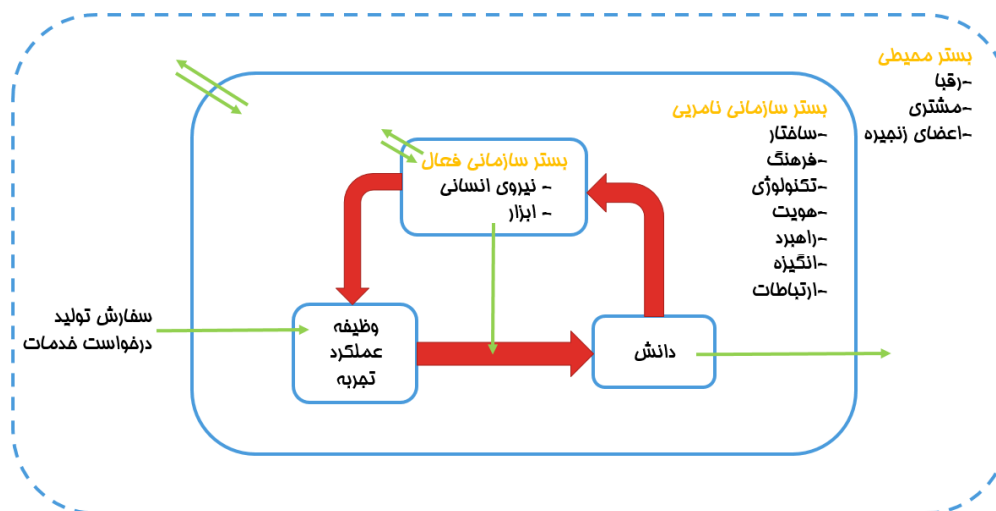
در یادگیری سازمانی دو حلقه‌ای، مدل‌های ذهنی انفرادی هستند که مدل ذهنی مشترک سازمان را تشکیل می‌دهند و بنابراین روی آن اثر گذاشته و از آن اثر می‌پذیرند. این مدل اقدام سازمان را تحت تأثیر خود قرار داده و در کیفیت و کمیت بازخوردهای محیطی و در نتیجه یادگیری انفرادی اثر می‌گذارد. یادگیری منقطع که حاصل قطع شدن ارتباط مدل‌های ذهنی انفرادی و مدل ذهنی مشترک سازمان است معمولاً ناشی از عدم وجود شبکه‌های سازنده از کنشگران سازمان است. مثال بارز آن را می‌توان در دانشگاه‌ها جستجو کرد؛ هنگامی که دانشگاه نمی‌تواند از دانش اساتید مدیریت، مالی، عملیات و بازاریابی برای اداره خودش به درستی استفاده کند. یادگیری فرصت طلبانه حاصل پاسخ غیرسازمانی به فرصتی است که سازمان با آن مواجه شده است. در واقع فرصت آن چنان فریبنده بوده است که سازمان بدون آن که ابتدا همخوانی آن را با مدل ذهنی مشترک بررسی نماید به آن تن داده است. یک نکته بسیار جالب در مدل فوق جدا در نظر گرفته شدن اقدام از یادگیری است. کیم اقدام را ماحصل یادگیری فردی/سازمانی می‌داند و معتقد است اقدام توسط محیط به یادگیری فردی/سازمانی بازخورد می‌دهد اما جزیی از آن نیست.

آرگوت چارچوب کلی‌تری را نسبت به کیم برای یادگیری سازمانی ترسیم کرده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است پیدایش چرخه دانش در سازمان، ناشی از به جریان افتادن یادگیری سازمانی است. این یادگیری و چرخه در دو بستر محیط و سازمان رخ می‌دهد. بستر محیط شامل رقبا، مشتریان و اعضای زنجیره تأمین سازمان می‌باشند که ضمن برقراری ارتباط با بستر سازمانی، به طور مستقیم با چرخه دانش سازمان نیز در ارتباطاند و با سفارش تولید یا درخواست خدمات، روی تجربه و عملکرد بستر سازمانی فعال اثر می‌گذارند. بستر سازمانی خود دو بخش نامرئی (شامل فرهنگ، هویت، راهبرد، انگیزه و...) و فعال (شامل نیروی انسانی، ابزار و هرآن چه که بتوان برای کار از آن استفاده نمود) دارد. بستر سازمانی فعال، خود عضوی از زنجیره دانش سازمان است. این بستر وظایف و عملکردهایی دارد که در پی اجرای آن‌ها، سازمان صاحب دانش می‌شود. دانش کسب شده به اعضا کمک می‌کند تا در دور بعدی وظایف و عملکردهایشان را بهبود دهند و این فرآیند مدام در یک سازمان یادگیرنده اتفاق می‌افتد.

آن‌چه به عنوان معماری سازمان یادگیرنده بیان شد ناشی از نگرشی به سازمان است که به مدیریت به عنوان طراحی مشهور شده است. در واقع از این حیث می‌توان گفت دو نگرش به مدیریت وجود دارد [۹]:



- (۱) نگرش تصمیم‌گیری: به طور خلاصه این نگرش بر آن است که به نتیجه رسیدن از یک روش، کار ساده‌ای است و آن چه مدیریت را دشوار می‌سازد انتخاب کردن از میان روش‌های متعدد است.
- (۲) نگرش طراحی: این نگرش بر خلاف نگرش قبلی، طراحی مسیر برای به نتیجه رسیدن از هر روش را مسأله مدیر می‌داند و معتقد است انتخاب یکی از این مسیرها کار دشواری نمی‌باشد.
- در معماری سازمان یادگیرنده نیز، نیاز به پیروی از نگرش طراحی به وضوح احساس می‌شود. جایی که چگونگی دانش‌اندوزی مورد تأکید است، نه انتخاب یک روش برای تحقق این منظور.



شکل ۲. چارچوب نظری برای تحلیل یادگیری سازمانی

اهمیت پاسخ به سؤالاتی که وجوه تمایز سازمان یادگیرنده را مشخص می‌کنند باعث شده است تا ادبیات به تجویزهایی بپردازد که به دلیل عدم وجود چارچوب‌های توضیح دهنده تعامل‌های اجتماعی پیچیده، به شکست انجامیده‌اند. وجود یک چارچوب عمل‌گرایانه کمک می‌کند تا علاوه بر پاسخ دادن به سؤالاتی نظیر «یادگیری سازمانی از چه اجزایی ساخته شده است؟» یا «سازمان‌ها چگونه یاد می‌گیرند؟» به این سوال که «تفاوت میان یک سازمان یادگیرنده و سازمانی که یاد نمی‌گیرد چیست؟» پاسخ مناسبی داده شود. متأسفانه بخشی از ادبیات نسبت به یادگیری سازمانی موضع تدافعی گرفته‌اند و بخش دیگر بجای توضیح دادن مزایای واقعی آن، تحدی می‌کنند. پاسخ‌گویی به سؤالاتی از قبیل آخرین سوال بالا، قدم مهمی در عملی کردن بر ساخت‌های یادگیری سازمانی است [۱۰]. همان‌طور که بحث شد، ادبیات از وجود وهم و ابهام در علل پیدایش یادگیری فردی و تیمی به عنوان دو مانع اصلی مدل‌سازی عملی یادگیری در سازمان‌ها نام می‌برد [۱۱][۱۲]. این جا مفهومی به نام ابهام علی پیش کشیده می‌شود: ابهام اساسی در مورد طبیعت ارتباط علی میان اقدامات و نتایج حاصل از آن‌ها [۱۳]. وجود ابهام علی به این معنا است که عوامل توضیح دهنده عملکرد سیستم حتی پس از اندازه‌گیری عملکرد موردنظر قابل تعیین نیستند. بنابراین مفهوم‌سازی شفاف برای توضیح چگونگی سازوکار سیستم غیرممکن است. به عبارت دیگر نمی‌توان فهرستی از عوامل کلیدی مؤثر بر عملکرد تهیه کرد و با توضیح کنش و واکنش میان آن‌ها به اندازه‌گیری عملکرد موردنظر پرداخت [۱۴][۱۵]. تلاش برای تهیه چنین فهرستی از متغیرهای کلان سیستم، از ویژگی‌های اصلی روش پویایی‌شناسی سیستم است که ریشه در تفکر سیستمی و نگرش کل‌نگر نیز دارد. واضح است که تقابل ابهام علی و چنین تلاشی منجر به تغییر مسیر مدل‌سازی به سوی توصیف محض و حرکت بر خلاف عمل‌گرایی می‌شود. در مدل‌سازی عامل‌مبنای نیز تهیه فهرست علل مرتبط ضروری است، اما آن چه اهمیت دارد توصیف وضعیت عامل به وسیله اطلاعات بدست آمده از آن و وضع قانون روی انتقال آن از یک وضعیت به وضعیت دیگر



است. در واقع ردیابی ویژگی‌های ظاهر شده در سیستم، بر خلاف روش پویایی‌شناسی، از طریق متغیرهای کلان آن اتفاق نمی‌افتد، بلکه از طریق قوانین وضع شده روی کنشگران سیستم است.

۳- روش‌شناسی تحقیق

استفاده از پویایی‌شناسی سیستم برای توصیف جریان‌های علی سیستم در هر کجای آن که روابط علی مشخصی وجود داشته باشد به تحلیل‌گران کمک می‌کند، اما لازم است از مدل‌سازی عامل‌مبنا برای مواردی که امکان استخراج اطلاعات کلان از سیستم وجود ندارد، اما می‌توان کنشگران سیستم را توصیف کرد استفاده شود. برای نشان دادن مفاهیم فوق و چگونگی تناظر این دو روش مدل‌سازی، قضیه زیر و کاربرد آن کمک شایانی خواهد کرد.

قضیه ۱. در معادله دیفرانسیل خطی مرتبه اول $\frac{dX(t)}{dt} = -r \cdot X(t)$, $0 < r < 1$ همراه با شرط اولیه $X(0) = X$ ، امید ریاضی $-\frac{X(t+dt)-X(t)}{X(0)}$ برابر با $\frac{1}{r}$ است.

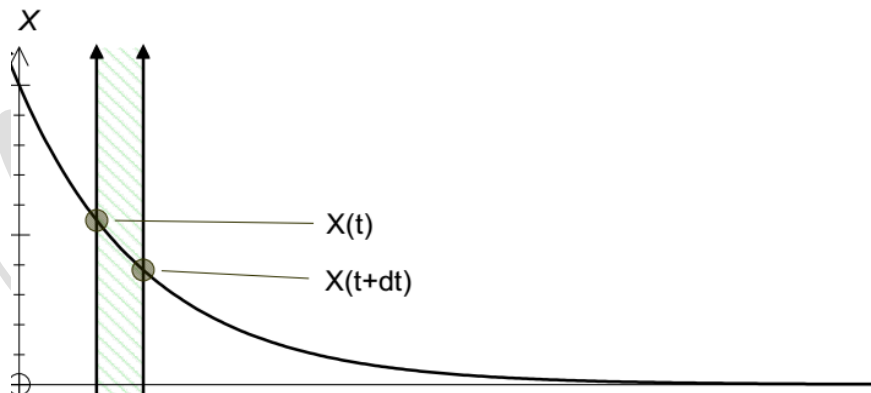
اثبات. تغییرات $X(t)$ در گذر زمان به قرار شکل ۳ است. $X(t) - X(t+dt)$ را می‌توان با تقریب خطی به صورت $-X'(t) \cdot dt + O(dt)$ تعریف کرد. حال در صورتی که $dt \rightarrow 0$ خواهیم داشت:

$$\lim_{dt \rightarrow 0} [X(t) - X(t+dt)] = -X'(t) \cdot dt$$

$$E = \int_{t=0}^{\infty} -t \frac{X'(t)}{X(0)} dt = \frac{1}{X(0)} \int_{t=0}^{\infty} -t X'(t) dt$$

انتگرال پیشرو را می‌توان براساس روش انتگرال‌گیری زوج به زوج به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\int_{t=0}^{\infty} -t X'(t) dt = -t \cdot X(t) \Big|_{t=0}^{t=\infty} + \int_{t=0}^{\infty} X(t) dt$$



شکل ۳. رفتار پاسخ معادله دیفرانسیل قضیه ۱

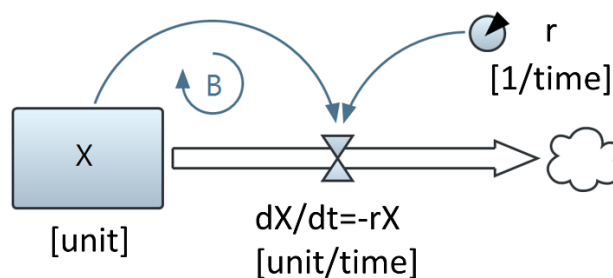
از آن جا که $-t \cdot X(t) \Big|_{t=0}^{t=\infty}$ برابر با صفر است، خواهیم داشت:



$$E = \frac{1}{X(\cdot)} \int_{t=-\infty}^{\infty} X(t) dt = \frac{1}{X(\cdot)} \int_{t=-\infty}^{\infty} X(\cdot) \cdot e^{-rt} dt = \frac{1}{X(\cdot)} X(\cdot) \int_{t=-\infty}^{\infty} e^{-rt} dt$$

$$E = \int_{t=-\infty}^{\infty} e^{-rt} dt = \frac{1}{r}$$

مقدار عبارت بالا معادل میانگین یک توزیع نمایی با نرخ r است. معادله دیفرانسیل مطرح شده در قضیه ۱ ساده‌ترین سیستم بازخوردی را تعریف می‌کند. نمایش گرافیکی چنین سیستمی به همراه بُعد هر یک از متغیرهای جریان، انباشت و پارامتر مربوطه در شکل ۴ نشان داده شده است. مقدار جریانی که در فاصله dt از متغیر حالت خارج می‌شود، معادل با $X(t) - X(t + dt)$ است. بنابراین جریانی که در فاصله dt از متغیر حالت خارج می‌شود معادل با $X'(t) \cdot dt$ است. این جریان معادل نسبت $\frac{X'(t) \cdot dt}{X(0)}$ از مقدار اولیه متغیر حالت است. از طرف دیگر می‌دانیم میانگین مدت زمان باقی ماندن در متغیر حالت معادل با میانگین وزنی زمان باقی ماندن در متغیر حالت برای تمام موجودیت‌های آن است. بنابراین امید ریاضی $\frac{X(t+dt) - X(t)}{X(0)}$ همان متوسط زمان حضور هر واحد از عنصر موجود در متغیر حالت از زمان صفر تا زمان خروج از آن است. این مقدار برابر با عکس پارامتر r است که دارای بعد زمان می‌باشد. به عبارتی اگر جریان خروجی در هر دوره به نسبت r از انباشت آن دوره باشد، به طور متوسط هر جز از عنصر انباشت شده به مدت $\frac{1}{r}$ واحد زمانی در متغیر انباشت حضور خواهد داشت.



شکل ۴. ساده‌ترین سیستم بازخوردی

این قضیه را می‌توان به صورت زمان گسسته نیز نگاه کرد و از طریق شبیه‌سازی گسسته متوسط زمان انتظار را تخمین زد. جهت تحقق این مهم می‌توان مقادیر مربوط به متغیر حالت را در هر دوره استخراج کرد.

$$t = 1 \rightarrow X(1) = X(0) - rX(0) = (1-r) \cdot X(0)$$

$$t = 2 \rightarrow X(2) = X(1) - rX(1) = (1-r)^2 \cdot X(0)$$

$$t = 3 \rightarrow X(3) = X(2) - rX(2) = (1-r)^3 \cdot X(0)$$

.....

$$t = n \rightarrow X(n) = X(n) - rX(n) = (1-r)^n \cdot X(0)$$

در این حالت تعداد نفراتی که در تکرار n ام شبیه‌سازی از متغیر حالت خارج می‌شوند، برابر با $X(n-1) - X(n)$ است. به این معنی که $X(n-1) - X(n)$ از متغیر حالت در زمان n ام خارج می‌شود. این مقدار معادل نسبت $\frac{X(n-1) - X(n)}{X(0)}$ از



جمعیت اولیه است. بنابراین میانگین زمان انتظار در متغیر حالت را می‌توان به صورت میانگین وزنی زمان‌های انتظار در همه‌ی گام‌ها در نظر گرفت.

$$E = \sum_{i=1}^{\infty} i \left[\frac{(1-r)^{i-1} \cdot X(\cdot) - (1-r)^i \cdot X(\cdot)}{X(\cdot)} \right] = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot \frac{X(\cdot) [(1-r)^{i-1} - (1-r)^i]}{X(\cdot)}$$

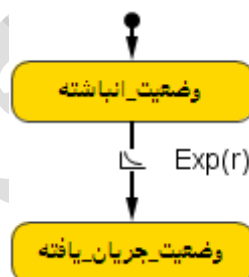
$$E = \sum_{i=1}^{\infty} i r (1-r)^{i-1}$$

مقدار عبارت بالا معادل میانگین یک توزیع هندسی با پارامتر موفقیت r است. بنابراین خواهیم داشت:

$$E = \sum_{i=1}^{\infty} i r (1-r)^{i-1} = \frac{1}{r}$$

و می‌توان ادعا کرد که قضیه ۱ علاوه بر معادلات دیفرانسیل برای معادلات تفاضلی نیز صحیح است.

علاوه بر مدل‌سازی پیوسته یا گسسته‌ی زمان، می‌توان عنصر تشکیل دهنده انباشت و جریان سیستم را نیز پیوسته یا گسسته مدل‌سازی کرد. فرض کنید فضای پیوسته را انتخاب کنیم. هنگامی که عناصر تشکیل‌دهنده سیستم گسسته باشند، مفهوم قضیه ۱ بیش از گذشته مشخص خواهد شد، چرا که دیدیم متوسط زمان حضور هر واحد از عنصر موجود در متغیر حالت از زمان صفر تا زمان خروج از آن، همان پارامتر نرخ توزیع نمایی است. این بدان معنی است که مدت زمان حضور هر واحد در وضعیت انباشته از توزیع نمایی پیروی می‌کند و پس از اتمام حضور در این وضعیت وارد وضعیت جریان یافته می‌شود. شکل ۵ این توصیف را برای یک واحد از از عنصر موجود در متغیر حالت نشان می‌دهد. چنین نموداری را نمودار وضعیت^۱ می‌نامیم که یکی از ابزارهای زبان یکپارچه مدل‌سازی^۲ است و برای نمایش وضعیت‌ها و قوانین انتقالی حاکم بر آن‌ها و همچنین ارتباط دادن عامل‌ها به یکدیگر می‌توان از آن استفاده کرد. لازم به ذکر است که اگر فضای گسسته انتخاب می‌شد تمام موارد فوق در مورد توزیع هندسی و پارامتر موفقیت آن مطرح می‌گشت.



شکل ۵. مدل عامل‌مبنای ساده‌ترین سیستم بازخوردی برای یک عامل

توصیف عامل‌مبنای فوق هنگامی بیشتر جذابیت پیدا می‌کند که تعدادی کنشگر به صورت شکل ۳ تعریف شده باشند و در بستر زمان شبیه‌سازی شوند. آن گاه با ترسیم آماره‌ی تعداد عامل‌هایی که در وضعیت انباشته هستند در طول زمان به رفتاری مشابه با شکل ۱ می‌رسیم، که البته با توجه به ماهیت احتمالی شبیه‌سازی مدل‌های عامل‌مبنا و گسسته بودن کنشگرها رفتار حاصل در هربار اجرا اندکی با اجرای پیشین تفاوت خواهد داشت و دنده دنده نیز خواهد بود. بورشچف و فیلیپوف تعدادی از ساختارهای پایه و متناظر عامل‌مبنای آن‌ها را در [۲] فهرست کرده‌اند.

¹ Statechart

² Unified modeling language (UML)



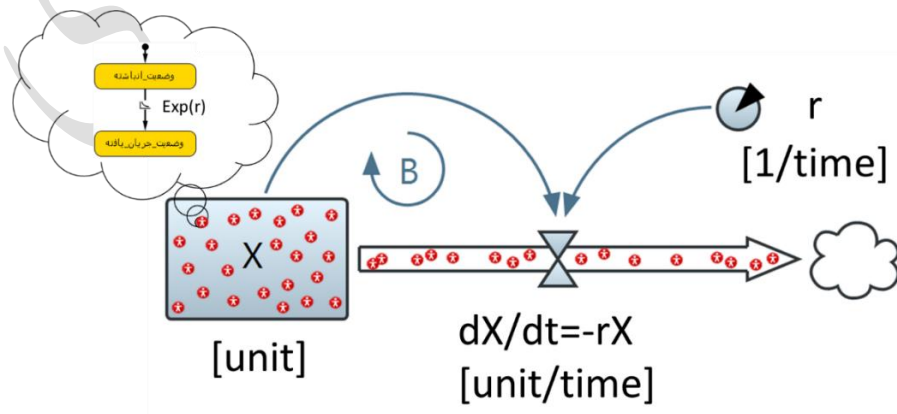
۴- نتایج

در نمونه ساده‌ای که بررسی شد، سه مفهوم مهم نهفته است:

(۱) میان معادلات تجمیعی و رفتار عامل‌ها تناظر وجود دارد. در این مثال، یک ضریب ثابت در ساختار کلان سیستم، معادل با یک قانون انتقال احتمالی با توزیع نمایی در رفتار عامل است که پارامتر آن همان ضریب ثابت است. این موضوع نویسنده را به یاد مفهوم هولوگرام می‌اندازد که سنگه از آن برای توصیف چشم‌انداز مشترک در مقابل آرمان فردی استفاده کرده بود. هر یک از تکه‌های هولوگرام، آینه تصویر کلان از زاویه دید مربوط به خودش است. از این ویژگی می‌توان برای مدل‌سازی سطوح متفاوت سیستم الهام گرفت و سطوحی را که کمتر شناخته شده‌اند با توجه به سطوحی که شناخته شده‌تر هستند مدل کرد. از سوی دیگر، در حالی که این نکته مفید و کاربردی به نظر می‌رسد، هنگامی که قوانین تصمیم‌گیری عامل‌ها اندکی پیچیده‌تر یا ارتباط میان عامل‌ها مطرح شود، دیگر پیدا کردن متناظر قوانین فردی در یک جمعیت برای ساخت یک مدل پویایی‌شناسی به سادگی ممکن نخواهد بود. همچنین هنگامی که یک معادله دیفرانسیل یا تفاضلی پیچیده تشکیل می‌شود، پیدا کردن متناظر آن برای تعیین قوانین تصمیم‌گیری یا حتی تعیین وضعیت‌های یک فرد مشکل است. این مشکلات یکی از دلایلی است که پژوهشگران را ترغیب می‌کند از هر کدام از این دو ابزار در جای خودش استفاده کنند و هنگامی که لازم شد آن‌ها را به هم مرتبط سازند.

(۲) مدل‌های پویایی‌شناسی و عامل‌بنای متناظر همدیگر را می‌توان به صورت کیفی و کمی با یکدیگر آمیخته نمود تا دید کامل‌تری نسبت به سطوح مختلف سیستم مورد بررسی در هر لحظه به دست آید. یک نمونه مفهومی از چنین آمیختگی در شکل ۶ نشان داده شده است که طی آن هر دو جنبه تجمیعی (انباشت و جریان) و متباین (آدمک‌های سفید در دایره‌های قرمز) سیستم دیده شده است.

مدل‌سازی مفهومی فوق به معنای ساخت هر دو مدل به صورت مجزا نیست، بلکه پیش از تصمیم‌گیری در مورد استفاده از ابزار مدل‌سازی می‌توان از آن به عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده کرد (در مورد شماره ۳ به یک نمونه جالب پرداخته می‌شود). تصمیمی که می‌تواند منجر به مدل‌سازی با پویایی‌شناسی سیستم، مدل‌سازی با رویکرد عامل‌مبنا، و یا مدل‌سازی ترکیبی شود. یکی از ارزش‌افزوده‌های مهم چنین مدل‌هایی، نمایش پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی با هریک از روش‌ها در قالب یک مدل آمیخته است که مدل‌ساز را قادر می‌سازد سناریوهای جمع‌آوری داده را از همان ابتدا مشاهده کرده و دید وسیع‌تری به انتخاب روش بهتر برسد.

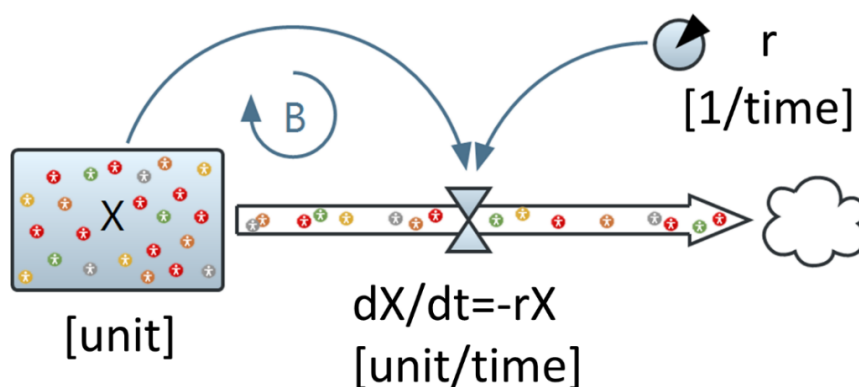


شکل ۶. آمیختگی مفهومی مدل‌های پویایی‌شناسی و عامل‌مبنا



(۳) لحاظ کردن فردیت در سیستم بدون قایل شدن تباین میان عامل‌های منفرد قابلیت‌های زیادی را از این شیوه مدل‌سازی می‌گیرد. به عنوان یک کاربرد از مدل‌های آمیخته می‌توان در شکل ۷. Error! Reference source not found. تباین در عامل‌ها را به وسیله رنگ‌های متفاوت آن‌ها مشاهده کرد. این بدان معناست که جمعیتی از عامل‌های متباین داریم؛ جمعیتی که با مدل‌سازی تک روشی پویایی‌شناسی سیستم نمی‌توان همه آن‌ها را با در نظر گرفتن تفاوت‌هایشان در یک متغیر انباشت تجمیع کرد، بلکه باید هر نوع از عامل‌ها را در یک متغیر سطح انباشت نمود و سپس به کمک یک متغیر دیگر مجموع آن‌ها را محاسبه کرد. هنگامی که تباین تنوع زیادی نداشته نباشد، چنین راهکارهایی مناسب است، اما با افزایش تنوع لزوم استفاده از مدل‌سازی عامل‌مبنا حس می‌شود.

علاوه بر این، ارزش افزوده این کار کمک به تصمیم‌گیری در مورد پشتیبانی از چگونگی جریان یافتن اطلاعات در مدل‌های ترکیبی است. بسته به اطلاعات و داده‌های موجود ممکن است در هر لحظه ابتدا متغیرهای تجمیعی محاسبه شوند و سپس بسته به مکان، شرایط یا نوع عامل‌ها مقدار تجمیعی میان آن‌ها توزیع شود؛ این کار شبیه‌سازی در بستر زمان را به شبیه‌سازی در بستر مکان و رویداد نیز بسط می‌دهد [۷۵]. سناریو دیگر آن است که ابتدا انواع مختلف عامل‌ها در یک قدم شبیه‌سازی تعامل داشته باشند و نتیجه تعامل آن‌ها منجر به تغییر در متغیرهای تجمیعی سیستم شود. پیاده‌سازی تمامی معماری‌های پایه معرفی شده در فصل گذشته وابسته به چگونگی طراحی و ترکیب این دو سناریو است.



شکل ۷. آمیختگی مفهومی مدل‌های پویایی‌شناسی و عامل‌مبنا - عامل‌های متباین

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

نشان دادن تناظر مدل‌های پویاشناسی و عامل‌مبنا و تحلیل آن نشان داد که استفاده از این دو رویکرد به صورت جایگزین یکدیگر لزوماً درست نیست، بلکه هریک از آن‌ها می‌تواند روی تصمیم‌گیری و توسعه دیگری اثر سازنده داشته باشد. علاوه بر این، رویکردهای مختلط معادلاتی-رفتاری جالب توجهی حاصل شد که توسعه هریک می‌تواند موضوع مقالات دیگر باشد. به عنوان خلایق تحقیقاتی، توسعه عامل‌های چندگانه که دارای نمودار وضعیت‌های متعددی هستند و هریک بعد مشخصی از وضعیت‌های آن‌ها را نشان می‌دهد، و در نظر گرفتن اثر متقابل این وضعیت‌ها می‌تواند دید بهتری از رفتار متباین عامل‌ها بدهد. عامل‌های چندگانه پیچیدگی‌هایی در مسأله ایجاد می‌کند که باعث شده است تا امروز مورد توجه پژوهشگران قرار نگیرند، اما مشخص است که عامل‌های واقعی سیستم دارای ابعاد مختلفی هستند که برای توصیف سیستم‌های پیچیده یکپارچه نیاز به در نظر گرفتن تعدادی از آن‌ها است. نشان دادن اثر چنین عامل‌هایی روی مدل‌های تجمیعی به طور بالقوه مفید به نظر می‌رسد، اما پژوهش‌های آتی خواهند توانست آن را بهتر نشان دهند.



مراجع

- [1] A. Borshchev, "The big book of simulation modeling: multimethod modeling with AnyLogic 6", AnyLogic North America, 2013.
- [2] A. Borshchev and A. Filippov, "From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools," in *22nd International Conference of the System Dynamics Society*, 25-29 July 2004, 2004, vol. 66, no. 11, p. 45.
- [3] C. Swinerd and K. R. McNaught, "Design classes for hybrid simulations involving agent-based and system dynamics models," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 25, pp. 118–133, 2012.
- [4] M. Jahangirian, T. Eldabi, A. Naseer, L. K. Stergioulas, and T. Young, "Simulation in manufacturing and business: A review," *European Journal of Operational Research*, vol. 203, no. 1, pp. 1–13, 2010.
- [5] A.-T. Nguyen, S. Reiter, and P. Rigo, "A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis," *Applied Energy*, vol. 113, pp. 1043–1058, 2014.
- [6] B. Hedberg, "How organizations learn and unlearn," *Handbook of Organizational Design*, pp. 3–27, 1981.
- [7] A. K. Yeung, D. O. Ulrich, S. W. Nason, and M. A. Von Glinow, *Organizational Learning Capability*. 1999.
- [8] D. H. Kim, "The Link Between Individual and Organizational Learning," *Management Review*, pp. 37–50, 1993.
- [9] richard j. boland jr. and fred collopy, *Managing as designing*, stanford press, 2008.
- [10] D. Schwandt and M. J. Marquardt, *Organizational Learning: From World Class Theories to Global Best Practices (Google eBook)*, 1999.
- [11] J. G. March and J. P. Olsen, "The uncertainty of the past: organizational learning under ambiguity*," *European Journal of Political Research*, vol. 3, no. 2, pp. 147–171, 1975.
- [12] H. Augustsson, A. Törnquist, and H. Hasson, "Challenges in transferring individual learning to organizational learning in the residential care of older people.," *Journal of health organization and management*, vol. 27, no. 3, pp. 390–408, 2013.
- [13] R. Reed and R. J. DeFillippi, "Causal Ambiguity, Barriers to Imitation, and Sustainable Competitive Advantage.," *Academy of Management Review*, vol. 15, no. 1, pp. 88–102, 1990.
- [14] G. Szulanski, R. Cappetta, and R. J. Jensen, "When and How Trustworthiness Matters: Knowledge Transfer and the Moderating Effect of Causal Ambiguity," *Organization Science*, vol. 15, no. 5, pp. 600–613, 2004.
- [15] A. Wilcox King and C. P. Zeithaml, "Competencies and firm performance: Examining the causal ambiguity paradox," *Strategic Management Journal*, vol. 22, no. 1, pp. 75–99, 2001.



On the importance of the correspondence between agent-based and system dynamics models in the modelling process of organizational learning

Sharif Khaleghparast^{1,*}, Bahare Nazaripour², Seyed Taghi Akhavan Niaki³, Ali Naghi Mashayekhi⁴

Sharif university of technology, Industrial engineering department, sharif.khaleghparast@ie.sharif.edu

Sharif university of technology, Industrial engineering department, b.nazaripour@alum.sharif.edu

Sharif university of technology, Industrial engineering department, niaki@sharif.edu

Sharif university of technology, Graduate school of management and economics, mashayekhi@sharif.edu

Abstract

Despite the utilization of hybrid aggregate and agent-based approaches, the focus on mathematical and logical representation of the correspondence between these viewpoints distinctly is somehow ignored. Furthermore, the correspondence of agent-based and system dynamics models has been assumed mostly obvious in the literature. However, this research shows the mathematical representation of the relationship and prove it for a relative simplified problem. The results portrays that such a mathematical view helps the modelers to enhance the models of organizational learning and produces innovative modeling approaches. Therewith the innovation, different aspects of a system is investigated iteratively and development of models originated from each of the approaches improve significantly. Moreover, intereting hybrid equational-behavioral point of views emerge that are much more efficient than using any of the approaches alternatively as it has been frequent in the literature. In fact, by paying attention to this correspondence, modeler's designing viewpoint dominates the decision viewpoint and the modeling procedure improves as a result, which is essential in todays' analysis of complex socio-economic systems.

Keywords: Agent-based model, System dynamics model, Organizational learning

^{1,*} Corresponding author: Ph.D student of industrial engineering – This paper is extracted from the M.Sc. thesis of the corresponding author

² M.Sc. of industrial engineering

³ Ph.D of industrial engineering, distinguished professor

⁴ Ph.D of management, full professor