فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال بیست و دوم، شماره ۸۶، تابستان ۱۳۹۹، صص. ۲۰-۱

علم چگونه آینده را پیش‌بینی می‌کند؟*

علی غفاری[۱] و مسعود عبداللهی نیا[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۶

DOI: 10.22047/ijee.2020.158875.1596

چکیده :در این مطالعه نشان داده شد که علم می‌تواند در بسیاری موارد آینده را پیش‌بینی کند. روش علمی پیش‌بینی آینده آن است که با مجموعه داده‌هایی از سیستم واقعی، مدلی مجازی طراحی شود که رفتارش شبیه سیستم واقعی باشد. شکل کلاسیک مدلسازی سیستم‌های دینامیکی نشان دادن آنها به‌وسیله مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل خطی یا غیرخطی، معمولی یا با مشتقات جزئی است. شرط لازم و کافی برای پیش‌بینی آینده در سه ویژگی خلاصه می‌شود: اول، ارائه مدلی از سیستم واقعی با رفتاری مشابه آن؛ دوم، دانستن دقیق شرایط اولیه سیستم واقعی؛ سوم، دانستن دقیق عوامل مؤثر بر سیستم یا ورودی‌ها در زمان حال و آینده. تحقق این سه شرط آن‌قدر" اما و اگر» دارد که همه ناکامی‌ها در پیش‌بینی آینده به‌دلیل ناتوانی در دستیابی به آنهاست. در علوم مهندسی این اما و اگرها به اختصار «عدم قطعیت» نامیده می‌شود. مهم‌ترین مورد، عدم قطعیت در نمایش سیستم است که هیچ راهی برای به صفر رساندن آن وجود ندارد، ولی روش‌های متعددی برای کاهش آن ارائه شده است. یکی از روش‌های مدلسازی که در دهه‌های اخیر فراگیر شده، استفاده از روش‌های محاسبات نرم است. این روش علاوه بر سیستم‌های مهندسی، در سیستم‌های مرتبط با علوم انسانی و اجتماعی با عدم قطعیت قابل توجه، مانند اقتصاد و مدیریت، کاربرد وسیع یافته است. در مهندسی کنترل شما نه تنها آینده را پیش‌بینی می‌کنید، بلکه آن را به شکل دلخواه می‌سازید. در این مطالعه این مباحث بررسی و تحلیل شده است تا شیوه آینده‌پژوهی و پیرو آن آینده‌سازی بر مبنای علم مشخص شود.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی آینده، مدل مجازی، عدم قطعیت، شرایط اولیه، ورودی‌ها، مهندسی کنترل

* این مقاله بخشی از فعالیت پژوهشی مربوط به کرسی آینده‌پژوهی مهندسی مکانیک است که با پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور، در شاخه مهندسی مکانیک فرهنگستان علوم در حال انجام است.

۱- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)، ghaffari@kntu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. mabnia.1@gmail.com

۱. مقدمه

ابتدا ذکر این نکته لازم است که واژه‌های مرکب و عبارت‌های مختلفی که در زبان فارسی با کلمه آینده درست شده و امروزه مصطلح‌اند، مانند آینده‌پژوهی[1]، آینده‌نگری، آینده‌نگاری، پیش‌بینی آینده، برنامه‌ریزی آینده، آینده‌سازی و امثال آن، باید دقیقاً تعریف و تفاوت و تشابه آنها مشخص شود. اگر تعاریف دقیقی برای همه یا بعضی از این واژه‌ها و عبارت‌ها در زبان فارسی بیان نشده است یا اگر درباره مفهوم آنها اتفاق نظر وجود ندارد، بایسته است صاحبنظرانی که رشته تخصصی آنها با این زمینه مرتبط است، این مسئولیت را بر عهده بگیرند و تعاریف دقیق و مفاهیم آنها را بیان کنند.

۱-۱. نگاهی بر پیشینه موضوع

در دهه‌های اخیر، مباحثی که در اصطلاح آینده‌پژوهی و آینده‌نگاری نامیده می‌شوند، در بسیاری از کشورها به‌ویژه در کشورهای پیشرفته صنعتی در ابعاد مختلفی نظیر اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و مدیریتی مد نظر و استفاده قرار گرفته‌اند و هم اینک سازمان‌های مختلفی به‌صورت حرفه‌ای در این زمینه فعال هستند (World Future Society, 1966; World Futures Studies Federation, 1973; Association of Professional Futurists, 2002; The Millennium Project, 2009). در کشور ما نیز در سال‌های اخیر به این مسئله توجه و علاوه بر ایجاد نهادهای دولتی برای سامان‌دهی آینده‌پژوهی، در چندین دانشگاه رشته‌های مرتبط با این موضوع ایجاد شده است (Tehran University, 2010; Amirkabir University, 2012).

آینده‌پژوهی شامل مطالعه و بررسی نظام‌مند آینده‌های ممکن، محتمل و مطلوب است و نظریه‌ها و روش‌های آن را عنایت‌الله بررسی کرده است (Inayatullah, 2013). در طول بیش از پنج دهه اخیر، سرعت گرفتن تغییرات و افزایش مخاطرات در جنبه‌های مختلف زندگی سبب شده است که تیم‌های رهبری و دپارتمان‌های برنامه‌ریزی در سازمان‌ها، مؤسسات و کشورهای مختلف جهان بیشتر به بحث آینده‌پژوهی روی آورند. در طول این بازه زمانی، نگاه به آینده‌پژوهی به‌تدریج از پیش‌بینی آینده به سمت ترسیم آینده‌های مختلف و شکل‌دهی به آینده‌های مطلوب تغییر یافته است(Inayatullah, 2013). همچنین با توجه به رشد اقبال جهانی به آینده‌پژوهی، بحث افزایش آموزش‌ها در این حوزه نیز ضرورت پیدا کرده است (Masini, 2011).

در بررسی سیر تکامل آینده‌پژوهی دو الگوی اصلی مشاهده می‌شود: الگوی اول و سنتی شامل نگاه عرفانی[2] به مسئله، دنیای ارواح و رسیدن به آینده قطعی[3] واحد است و الگوی دوم که در ایالات متحده و پس از جنگ جهانی دوم پایه‌ریزی شده، شامل رسیدن به آینده‌های غیرقطعی بر اساس احتمالات،

1- Futures Studies 2- Mystic 3- Deterministic Future

مدلسازی، کنترل، برنامه‌ریزی و اثرهای روندهای خارجی است (Kuosa, 2010). در پژوهش‌های حوزه‌های مختلف مدیریتی، اجتماعی، اقتصادی، فناوری و...، به الگوی دوم بیشتر توجه شده که در ادامه به نمونه‌هایی از آنها اشاره شده است.

در بحث‌های مدیریتی آینده‌پژوهی به‌عنوان یک روش مکمل عالی برای مدیریت راهبردی[1] معرفی شده است (Roney, 2010). همچنین آینده‌پژوهی با نگاهی به نظریه‌های آشوب و پیچیدگی[2]، به‌منظور پیش‌بینی رفتار و عملکرد سازمان‌ها قابل بررسی و استفاده است (Smith, 2005). در بحث‌های اجتماعی و اقتصادی مطالعات موردی استفاده از آینده‌پژوهی برای توسعه پایدار شهر گوتنبرگ (یوتبری[3]) در کشور سوئد تا افق بلندمدت ۲۰۵۰ میلادی (Phdungslip, 2011) و همچنین وضعیت جمعیت سالخوردگان در کشور هلند (Veeman, 2013) انجام شده است. در بحث فناوری نیز تحلیل آینده‌محور فناوری و چالش‌های آینده‌پژوهی ناشی از توسعه فناوری و نوآوری‌های علمی را کرایبیش و همکاران انجام دادند (Kreibich et al., 2012).

۱-۲. شرح اولیه موضوع

در مطالعه حاضر دو پرسش اساسی در مبحث آینده‌پژوهی و آینده‌نگاری مطرح و به آنها پاسخ داده شده است. پرسش اول آن است که آیا پیش‌بینی آینده امکان‌پذیر است یا خیر و اصولاً تحت چه شرایطی این امکان وجود دارد و علم چگونه با مسئله پیش‌بینی آینده روبه‌رو می‌شود؟ پرسش دوم آن است که آیا انسان می‌تواند آینده را به دلخواه خود درآورد؛ یعنی کارها را چنان برنامه‌ریزی و اجرا کند که آینده همان شود که مطلوب و مد نظر اوست؟

ساختار این دو پرسش به شکلی که بیان شده، اندکی مبهم است و خواننده حق دارد بپرسد که منظور از پیش‌بینی آینده چیست و آینده چه چیزی و در چه اندازه‌هایی باید پیش‌بینی شود؟ ممکن است سؤال شود که آیا ادعای پیش‌بینی آینده در این مطالعه به حوزه‌های خاصی از علوم مانند مهندسی یا فیزیک مربوط می‌شود یا اصولاً این مطالعه در خصوص پیش‌بینی آینده هر سیستمی است و همه حوزه‌ها را در بر می‌گیرد؟ برای مثال، اگر موضوع پیش‌بینی به اقتصاد مربوط می‌شود، آیا وضعیت اقتصادی آینده یک بنگاه تولیدی کوچک مطرح است که با تعداد اندکی متغیر قابل بیان است یا وضعیت اقتصادی یک کشور که مؤلفه‌ها و متغیرهای فراوانی دارد یا حتی پیش‌بینی وضعیت اقتصادی جهان که صدها و هزارها متغیر دارد؟

خوانندگان ممکن است با امکان پیش‌بینی آینده در بعضی از سیستم‌ها به‌ویژه سیستم‌هایی که با مهندسی و علوم سروکار دارند تا حدودی موافق باشند، ولی در صورت تعمیم مسئله به همه

1- Strategic Planning 2- Chaos & Complexity Theories 3- Gothenburg (Göteborg)

سیستم‌ها، بیشتر خوانندگان با امکان پیش‌بینی آینده مشکل دارند و می‌توانند بگویند که وقتی علم با همه پیشرفت‌ها حتی نمی‌تواند وضعیت آینده هوا را به‌درستی پیش‌بینی کند، چگونه می‌تواند درباره پیش‌بینی هرچیزی در آینده حکمی کلی بدهد؟ صاحبنظران می‌دانند که در بعضی از سیستم‌ها این پیش‌بینی‌ها با مشکل جدی مواجه می‌شود. در سیستم‌هایی که اعلام نتایج پیش‌بینی باعث واکنش مردم شود، اگر این واکنش بر نتایج پیش‌بینی تأثیر بگذارد، موجب می‌شود که پیش‌بینی غلط از آب درآید. در خصوص سؤال دوم؛ یعنی ساختن آینده مطلوب، ابهام در تعریف دقیق صورت‌مسئله حتی بیشتر است و مشکل تازه‌ای را نیز مطرح می‌کند، زیرا علاوه بر آنکه باید آینده پیش‌بینی و شناسایی شود، باید توانایی اثرگذاری و تغییر آن به شکل مطلوب هم وجود داشته باشد.

در این مطالعه نشان داده شد که علم چگونه راه‌حلی روشن و صریح را برای هر دو سؤال مطرح شده ارائه و به شیوایی تعیین کرده است که کجا و تحت چه شرایطی می‌توان آینده را پیش‌بینی کرد و چگونه می‌توان به آینده مطلوب دست یافت. توجه داشته باشید که مدعی نیستیم که در پاسخگویی به سؤال اول، علم الزاماً می‌تواند آینده هر چیزی را پیش‌بینی کند، بلکه علم شرایط لازم و کافی برای پیش‌بینی آینده "هر" سیستمی را ذکر می‌کند. توجه داشته باشید که "هر" در عبارت‌های منطقی؛ یعنی همه! بنابراین، برای پیش‌بینی آینده هر سیستمی اگر بتوانید شرایطی را که در این مطالعه بررسی شده‌اند برآورده کنید، آینده آن سیستم قابل پیش‌بینی است و اگر نتوانید، بیهوده تلاش نکنید، زیرا راه دیگری وجود ندارد؛ به‌عبارت دیگر، علم شرایط لازم و کافی برای پیش‌بینی آینده را بیان می‌کند و در این مطالعه فقط آنها بازگو شده‌اند.

برای پاسخگویی به سؤال دوم؛ یعنی امکان طراحی آینده به شکل مطلوب نیز خواهیم دید که علم چگونه راه و مسیر رسیدن به هدف را نشان می‌دهد. البته، چون قیدها و شرط‌های روشنی برای رسیدن به هدف وجود دارد که عبور از آنها در بعضی از سیستم‌ها ممکن و در بسیاری از سیستم‌ها دشوار است، علم بشارتی به شما نمی‌دهد که همواره به آینده مطلوب خواهید رسید.

اگر شما می‌خواهید آینده را پیش‌بینی کنید، بدون آنکه واقعاً در شرایط زمانی آینده قرار گرفته باشید، باید به‌طور مجازی سیستمی را بسازید که رفتارش مشابه سیستم واقعی باشد و این به معنای مدلسازی سیستم‌های دینامیکی است. سیستم‌های دینامیکی را می‌توان به دو مجموعه سیستم‌های طبیعی و سیستم‌های مصنوعی تقسیم کرد. سیستم‌های طبیعی شامل پدیده‌های درون اتم، موجودات زنده، منظومه خورشیدی، کهکشان‌ها و کائنات می‌شود که انسان تا به حال در پیدایش و آفرینش آنها نقشی نداشته و خود انسان هم جزئی از آن است. از طرفی، سیستم‌های مصنوعی شامل ساختارهای فیزیکی ساخته دست بشر، سازه‌هایی مرکب از سیستم‌های طبیعی و مصنوعی و مجموعه دانش‌های نظری و مفهومی است (Holland, 1992).

وقتی از مدلسازی صحبت می‌شود، منظور پیش‌بینی رفتار هر دو نوع سیستم طبیعی و مصنوعی

است. ولی وقتی شرایط لازم و کافی برای مدلسازی موفق و پیش‌بینی آینده مطرح می‌شود، خواهیم دید که چرا در خصوص بسیاری از سیستم‌های طبیعی تا کنون ناموفق بوده‌ایم و چرا آنجا که ابعاد سیستم‌های مصنوعی بزرگ می‌شود، باز هم توانایی ما کم می‌شود.

در یک تعریف کلی، مدلسازی ایده‌ای خلاقانه است که در آن با روش‌های متنوع، نمایشی از یک سیستم واقعی ارائه می‌شود که از بعضی جنبه‌ها مشابه و نظیر سیستم واقعی است. مدلسازی می‌تواند با اهداف متفاوتی صورت گیرد. شکل و ساختار مدل به هدفی بستگی دارد که مدلسازی برای رسیدن به آن انجام می‌شود.

در این مطالعه ابتدا درباره مدلسازی به‌عنوان اساس و مبنای پیش‌بینی آینده با روش‌های علمی بحث و سپس، نحوه مدلسازی سیستم‌های دینامیکی با روش‌های کلاسیک بررسی شده است. در ادامه، شرایط لازم و کافی برای مدلسازی مطرح و به دنبال آن علل ناکامی در مدلسازی بسیاری از سیستم‌ها بررسی شده است. سپس، سایر روش‌های مدلسازی شامل روش‌های محاسبات نرم و کاربرد آنها به‌ویژه در مدلسازی سیستم‌های غیرفیزیکی بررسی شده است. در ادامه عواملی بررسی شده‌اند که موجب می‌شوند تا مدلسازی سیستم‌های دینامیکی به‌ویژه سیستم‌های مرتبط با علوم انسانی دقیق نباشند. همچنین اهمیت عوامل مؤثر در مدلسازی بررسی و نشان داده شده است که عدم قطعیت در شناخت هرکدام از آنها می‌تواند موجب ناکامی در پیش‌بینی آینده شود.

تا این مرحله، مدلسازی به معنای روشی برای شناخت سیستم در آینده از دیدگاه ناظری بی‌طرف است که فقط به دانستن رفتار سیستم علاقه‌مند است، ولی نمی‌خواهد در آن اعمال نظر کند. در قسمت نهایی این مطالعه درباره ساختن آینده مطلوب و چگونگی رسیدن به اهداف مد نظر و بررسی امکان‌پذیری آنها با توجه به امکانات و توانایی‌های حال و آینده بحث شده است. این قسمت از مقاله را تنظیم رفتار یا کنترل سیستم‌های دینامیکی می‌نامیم.

این مطالعه می‌تواند فتح بابی برای اظهار نظر صاحبنظران باشد که اگر به آن نقدی دارند و برای پیش‌بینی آینده، جز آنچه در اینجا مطرح می‌شود، راه دیگری سراغ دارند یا با شیوه پاسخگویی به سؤال‌ها موافق نیستند و راه دیگری را می‌اندیشند، مطرح سازند.

۲. مدلسازی، زیربنای روش علمی در پیش‌بینی آینده

در مهندسی برای حل هر مسئله، تحلیل هر سیستم یا طراحی روش‌های فناوری برای پیاده‌سازی ایده‌های نو از مدلسازی استفاده می‌شود. مدلسازی ایده‌ای خلاقانه است که در آن با روش‌های متنوع، نمایشی از یک سیستم ارائه می‌شود. مدلسازی می‌تواند با اهداف متفاوتی صورت گیرد. شکل و ساختار مدل به هدفی بستگی دارد که مدلسازی برای رسیدن به آن انجام می‌شود. ماکت یک بنا مدلی است که معمولاً با هدف نشان دادن کل یک مجموعه ساختمانی در یک نگاه و با تکیه بر ظرایف

و جلوه‌های ویژه آن طراحی و ساخته می‌شود. این‌گونه مدل‌ها با آنچه در مدلسازی سیستم‌های دینامیکی به آنها می‌پردازیم، تفاوت دارد. سیستم‌های دینامیکی سیستم‌هایی هستند که حافظه دارند و رفتار آنها در هر لحظه نه تنها به شرایط حاضر، بلکه به گذشته سیستم وابسته است. با این مقدمه به تعریف مدلسازی دینامیکی می‌پردازیم.

تعریف مدلسازی دینامیکی: مدلسازی دینامیکی در ساده‌ترین کلمات عبارت است از: «ساختن طرحی مجازی از سیستم واقعی که رفتارش در شرایط یکسان، مشابه رفتار سیستم واقعی باشد». حسن این مدل آن است که چون مجازی است، می‌توان با آن به آینده سفر کرد. بدین ترتیب، رفتار سیستم‌های مجازی در همه زمان‌ها از جمله در آینده قابل محاسبه و پیش‌بینی است. بدیهی است شرط مهمی که موفقیت پیش‌بینی آینده در گرو آن است، برگزیدن مدلی است که رفتارش تا حد امکان مشابه رفتار سیستم واقعی باشد.

نکته مهم آن است که هیچ مدلی دقیقاً با سیستم واقعی‌اش یکسان نیست و هر مدلسازی همیشه تا اندازه‌ای با سیستم واقعی متفاوت است. این جمله از انیشتین است: «هیچ سیستمی در جهان وجود ندارد که بتوان برای آن مدلی دقیقاً منطبق با سیستم طراحی کرد و هیچ مدلی وجود ندارد که رفتارش دقیقاً بر رفتار یک سیستم واقعی منطبق باشد» (Kosko, 1994).

نکته دیگر آن است که مناسب بودن مدل به هدفی بستگی دارد که مدلسازی برای آن انجام شده است. پیچیده‌تر شدن مدل و توجه به جزئیات ساختاری سیستم واقعی و تلاش در وارد کردن آنها در مدل، الزاماً موجب مناسب‌تر شدن مدل نمی‌شود. برای مثال، کره زمین با همه موجودات آن مجموعه‌ای از بی‌نهایت سیستم دینامیکی متنوع را تشکیل می‌دهد. ولی از نظر ناظری که از فواصل بسیار دور در مقیاس سال نوری به زمین می‌نگرد، آنچه مهم است، وضعیت کلی رفتار زمین است. لذا، تمام کره زمین را می‌توان با یک نقطه مادی دارای جرم که فقط یک حرکت انتقالی دارد یا حداکثر با گلوله کوچکی که علاوه بر حرکت انتقالی به دور خودش هم می‌چرخد، مدلسازی کرد. روش‌های متنوع و مختلفی برای مدلسازی سیستم‌های دینامیکی وجود دارد. این روش‌ها به‌شدت به هدفی بستگی دارد که مدلسازی برای آن انجام می‌شود. مدلسازی آن‌چنان کاربرد گسترده‌ای در علوم مختلف به‌ویژه در علوم پایه، علوم انسانی و مهندسی دارد که بخش مهمی از آنچه دانشجویان این رشته‌ها در دانشگاه‌ها می‌آموزند، مدلسازی است. از میان انواع روش‌های مدلسازی سیستم‌ها دو روش متداول عبارت‌اند از:

یکم. مدلسازی با روش‌های کلاسیک که عموماً به مجموعه‌ای از معادلات ریاضی می‌انجامد و قدمتی بیش از سه سده دارد؛

دوم. مدلسازی با روش‌های مبتنی بر محاسبات نرم که از حدود ۶ دهه اخیر متداول شده و ترکیبی از کاربرد منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک یا احتمالات است.

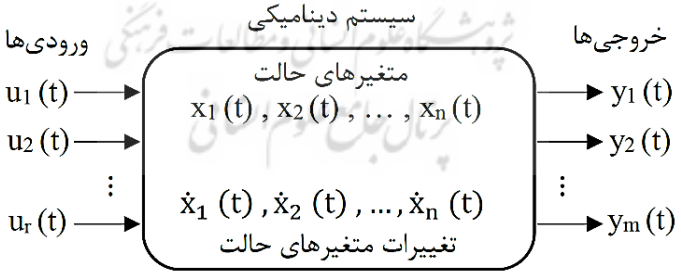
روش دوم در دهه‌های اخیر توسعه سریعی داشته که در ادامه به اختصار توضیح داده شده است.

چه در روش‌های مبتنی بر مدلسازی کلاسیک و چه در محاسبات نرم، عموماً از اطلاعات زمان حال و داده‌های گذشته سیستم واقعی که قابل سنجش یا اندازه‌گیری هستند، برای طراحی، تأیید و صحه‌گذاری مدل استفاده می‌شود.

۳. پیش‌بینی آینده با کمک مدلسازی به روش کلاسیک

در مدلسازی کلاسیک برای نشان دادن یک سیستم دینامیکی (زمان پیوسته) از مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل استفاده می‌شود. در یک سیستم دینامیکی باید معیاری تعریف شود که نشان‌دهنده رفتار و عملکرد آن سیستم باشد. برحسب تعریف، مجموعه‌ای از حداقل تعداد متغیرهای مستقل از یکدیگر را که دانستن آنها در هر لحظه برای شناخت سیستم کافی است، متغیرهای حالت نامند. یک سیستم دینامیکی را صرف‌نظر از اینکه سیستم واقعی است یا مدل مجازی آن، می‌توان به‌صورت شماتیک مانند شکل ۱ نشان داد.

در این شکل مرزهای سیستم دینامیکی با خط پر از محیط اطراف مجزا شده‌اند. فرض شده که سیستم دارای n متغیر حالت است که با x_1 تا x_n یا به‌صورت برداری با $x:[x_1...x_n]^T$ مشخص می‌شود. ورودی‌های $u_i(t)$ یا بردار ورودی u شامل هر چیزی است که از خارج سیستم بر آن اثر می‌گذارد و موجب تغییر در متغیرهای حالت سیستم می‌شود. ورودی‌ها در شکل ۱ با خطوط جهت‌دار به سمت سیستم نشان داده شده‌اند. تغییرات متغیرهای حالت نسبت به زمان با $\dot{x}_i$ نشان داده شده که تابعی از متغیرهای حالت، ورودی‌ها و زمان است. بردار خروجی y نیز تابعی استاتیکی از متغیرهای حالت، ورودی‌ها و زمان است.

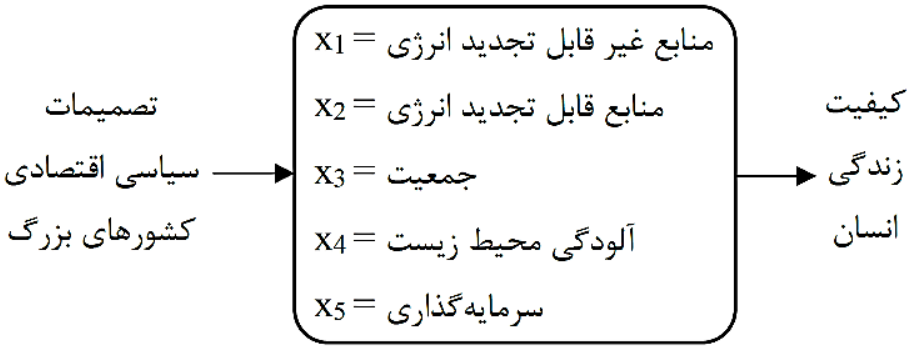


شکل ۱. نمایش شماتیک یک سیستم دینامیکی با متغیرهای حالت $\mathbf{X}\in\mathbb{R}^n$، ورودی‌های $\boldsymbol{U}\in\mathbb{R}^r$ و خروجی‌های $\boldsymbol{Y}\in\mathbb{R}^m$

یکی از مهم‌ترین پژوهش‌های علمی که تا کنون برای پیش‌بینی وضعیت آینده جهان صورت گرفته، تلاش‌هایی است که توسط کلوپ رُم[1] متشکل از گروه کثیری از دانشمندان حوزه‌های مختلف علوم در دهه هفتاد قرن بیستم میلادی انجام شده است (Meadows et al., 1974). در شکل ۲ ساختار

1- Club of Rome

سیستم جهانی برای پیش‌بینی وضعیت آینده طبق مدل کلوپ رم نشان داده شده است.



شکل ۲. سیستم مورد بررسی کلوپ رم از وضعیت آینده جهان در دهه ۱۹۷۰ میلادی

ورودی به این سیستم تصمیمات سیاسی اقتصادی کشورهای بزرگ و خروجی آن کیفیت زندگی انسان‌هاست که ترکیبی استاتیکی از متغیرهای حالت پنج‌گانه شکل ۲ است. متغیرهای حالت نشان‌دهنده رفتار سیستم دینامیکی است که عبارت‌اند از:

۱. منابع تجدیدناپذیر انرژی؛
۲. منابع تجدیدپذیر انرژی؛
۳. جمعیت؛
۴. آلودگی محیط زیست؛
۵. سرمایه‌گذاری؛

علی‌رغم آنکه برای نشان دادن کیفیت زندگی انسان در روی کره زمین ده‌ها و شاید صدها عامل و متغیر را بتوان نام برد، ولی در پژوهش کلوپ رم فقط این ۵ متغیر یادشده به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده این وضعیت در نظر گرفته شده‌اند.

نتایج شگفت‌انگیز این پژوهش‌ها در آن زمان نشان داد که در صورت ادامه سیاست‌های متداول آن دوران و تداوم مسابقه لجام‌گسیخته‌ای که در جوامع صنعتی برای تولید بیشتر و درنتیجه، کاهش منابع انرژی و افزایش آلاینده‌ها وجود دارد، آینده بشر رضایت‌بخش نیست و کیفیت زندگی انسان سیر نزولی خواهد داشت. بسیاری از پیش‌بینی‌های غیر علمی قبلی که بر طبق آنها تصور می‌شد جمعیت جهان آن‌چنان رشد می‌کند که به انفجار برسد، در این پژوهش نادرست نشان داده شد. نتایج پژوهش‌ها نشان داد که با کاهش منابع تجدیدناپذیر انرژی و افزایش آلاینده‌ها در چهارچوب سیاست‌های آن دوران، جمعیت جهان از اواخر قرن بیست‌ویکم میلادی کاهشی فزاینده خواهد داشت. این پژوهش موجب تغییرات اساسی در سیاستگذاری اقتصادی، اجتماعی و به‌ویژه سیاست‌ها و برنامه‌های زیست‌محیطی کشورهای بزرگ صنعتی شده و نشست‌ها و همایش‌های مهم بین‌المللی برای ارائه

پیشنهاد به دولت‌ها به‌منظور تغییر و اصلاح تصمیم‌های اقتصادی و اجتماعی آنان برگزار شده است.

علاوه بر مدل کلوپ رم، می‌توان به نمونه دیگری؛ یعنی پروژه لینک[1] اشاره کرد. این طرح در سال ۱۹۶۸ میلادی به‌منظور ایجاد یک مدل جهانی از اقتصاد دنیا و به سرپرستی دکتر لارنس کِلین[2] (برنده جایزه نوبل) ارائه شد (Hughes, 2019). مدل اولیه این طرح از اتصال مدل‌های اقتصادی تعداد زیادی از کشورهای جهان به یکدیگر شکل گرفته بود. این پروژه امروزه، با هدایت دانشگاه تورنتو و دپارتمان امور اجتماعی و اقتصادی سازمان ملل متحد همچنان فعالیت دارد و مدل پیش‌بینی اقتصاد جهانی[3] (به اختصار WEFM) نامیده می‌شود. تمرکز این مدل فقط بر حوزه اقتصاد و افق پیش‌بینی آن نیز کوتاه‌مدت و یکساله است.

۳-۱. ساختار مدل در روش کلاسیک

سیستم دینامیکی شکل ۱ را در نظر بگیرید که در آن $x \in \mathbb{R}^n$ بردار n بعدی متغیرهای حالت، $u \in R^r$ بردار r بعدی ورودی و $y \in R^m$ بردار m بعدی خروجی است. در روش‌های کلاسیک مدلسازی اگر پارامترهای سیستم شکل ۱ با زمان تغییر کنند، مدل ریاضی آن با معادلات (۱) و اگر پارامترها نامتغیر با زمان باشند، با معادلات (۲) نشان داده می‌شود.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \boldsymbol{f}\left(x,u,t\right) \\ y &= \boldsymbol{g}\left(x,u,t\right) \end{aligned} \qquad (۱)$$

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \boldsymbol{f}\left(x,u\right) \\ y &= \boldsymbol{g}\left(x,u\right) \end{aligned} \qquad (۲)$$

در اولین معادله از (۱)، $\dot{x}$ مشتق x نسبت به زمان و $\boldsymbol{f}$ تابع برداری n بعدی از بردار متغیرهای حالت x و بردار ورودی u و متغیر اسکالر زمان t است. در دومین معادله از (۱)، خروجی y تابعی استاتیکی از بردارهای x و u و متغیر اسکالر زمان؛ یعنی t است. توابع برداری n بعدی $\boldsymbol{f}$ و m بعدی $\boldsymbol{g}$ می‌توانند خطی یا غیرخطی باشند. طبق اصول ریاضی اگر شرایط زیر برقرار باشد، رفتار سیستم دینامیکی در آینده را می‌توان محاسبه و تعیین کرد؛ به‌عبارت دیگر، پیش‌بینی رفتار سیستم در آینده ممکن می‌شود. این شرایط عبارت‌اند از:

الف) بردار متغیر حالت x در لحظه حاضر داده شده باشد. بنابراین، اگر زمان حاضر را با t_0 نشان دهیم، $x\left(t_0\right)$ معلوم باشد؛

1- Project LINK 2- Lawrence Klein 3- World Economy Forecasting Model (WEFM)

ب) بردار ورودی $u(t)$ در زمان حاضر و همه زمان‌های آینده معلوم باشد. بنابراین، باید همه عواملی که از خارج سیستم بر آن اثر می‌گذارند، در زمان حال و همه زمان‌های آینده معلوم باشند؛

ج) معادلات (۱) یا (۲) باید راه حل داشته باشند و راه حل باید منحصر به‌فرد باشد. برای تحقق این شرط کافی است که هر یک از دو زوج معادلهٔ (۱) یا (۲) مدل مناسب یک سیستم واقعی باشد. این فرض از آن نظر مهم است که سیستم‌های واقعی در آینده دارای رفتار هستند (گرچه ما چگونگی رفتار آنها را نمی‌دانیم). پس هر زوج معادلهٔ مذکور که مدل مجازی مناسب از سیستم واقعی است، دارای راه حل خواهد بود. این شرط در ریاضی به‌عنوان شرط وجود پاسخ[1] مطرح می‌شود.

باید توجه داشت که سیستم‌های دینامیکی با معادلات (۱) یا (۲) که دارای جواب هستند، ممکن است پاسخ منحصر به‌فرد یا پاسخ‌های متعدد داشته باشند. در ریاضیات برای آنکه معادلات (۱) یا (۲) پاسخ و نیز پاسخ یکتا داشته باشند، آن است که در شرط لیپ شیتز[2] که با نامساوی (۳) نشان داده می‌شود، صدق کنند و همچنین تابع f نیز نسبت به متغیر u پیوسته تکه‌ای[3] باشد (Hubbard & West, 1995).

$$if \quad \dot{x} = f(t,x) on \quad R \times R^n$$
$$\rightarrow f(t,x_1) - f(t,x_2) < K x_1 - x_2 \qquad (۳)$$

۴. شرایط لازم و کافی برای مدلسازی

عوامل و موارد متعددی می‌تواند موجب عدم موفقیت در مدلسازی سیستم‌ها شود. اگر نمایش مدل به‌گونه‌ای باشد که به‌ازای ورودی‌ها و شرایط اولیه یکسان رفتارش با رفتار سیستم واقعی متفاوت باشد، متناسب با افزایش تفاوت، اعتبار مدل کاهش می‌یابد. این امکان وجود دارد که مدل برای بعضی از محدوده‌های رفتاری سیستم اصلی مناسب و برای بعضی محدوده‌ها نامناسب باشد (در سیستم‌های فیزیکی ممکن است برای مثال، در فرکانس‌های پایین رفتار مدل و سیستم واقعی نزدیک به‌هم، ولی در فرکانس‌های بالا با هم متفاوت باشند).

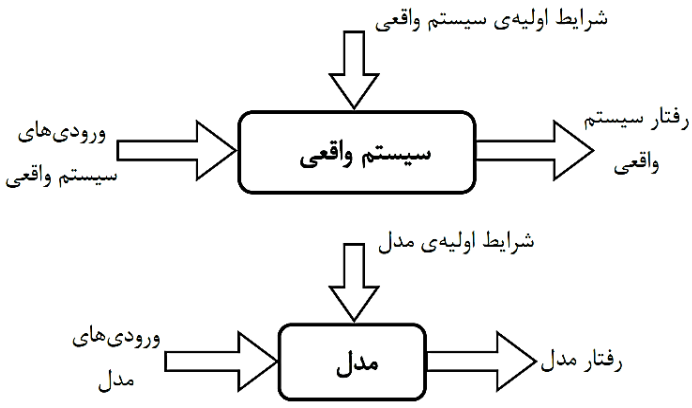
شرط موفقیت در پیش‌بینی آینده به‌دست آوردن مدلی خوب از سیستم واقعی است. مدل خوب از سیستم واقعی مدلی است که تفاوت رفتارش با رفتار سیستم واقعی اندک باشد. هرچه رفتار مدل به رفتار سیستم واقعی نزدیک‌تر باشد، مدل "بهتر" است و هرچه دورتر باشد، مدل بدتر است. از نظر دینامیکی، داده‌های لازم برای مدلسازی هر سیستمی در سه ویژگی زیر خلاصه می‌شود (شکل ۳):

۱. نشان دادن دینامیک سیستم؛

۲. تعیین شرایط اولیه سیستم؛

1- Existence of Solution 2- Lipschitz Condition 3- Piecewise Continuous

۳. تعیین ورودی‌های سیستم در حال و آینده.



شکل ۳. سیستم واقعی و مدل دینامیکی آن

اگر این سه ویژگی معلوم باشند، رفتاری منحصر به‌فرد برای سیستم وجود دارد. بنابراین، اگر این ویژگی‌ها در مدل دقیقاً همان‌هایی باشند که در سیستم واقعی وجود دارند، رفتار مدل نیز دقیقاً بر رفتار سیستم واقعی منطبق خواهد بود.

همه چالش‌های موجود در مدلسازی از آنجا ناشی می‌شود که تعیین، محاسبه یا اندازه‌گیری این سه ویژگی همواره تا اندازه‌ای نادقیق است؛ به‌عبارت دیگر، اشکال در مدسازی به‌دلیل "عدم قطعیت" یا دقیقاً ندانستن" بعضی یا همه این ویژگی‌هاست.

به‌طور خلاصه می‌توان گفت که عدم قطعیت در ویژگی‌های مذکور عامل همه ناکامی‌ها در مدلسازی یا به‌عبارتی، در پیش‌بینی آینده است. در بخش ۵ تأثیر عدم قطعیت در هر یک از سه ویژگی به اجمال بررسی شده است.

۵. عدم قطعیت در مدلسازی، عامل ناکامی در پیش‌بینی آینده

۵-۱. عدم قطعیت در نمایش دینامیک سیستم (ویژگی اول)

مهم‌ترین عامل تفاوت رفتار سیستم‌های دینامیکی واقعی و مدل آنها، عدم قطعیت در نمایش دینامیکی آنهاست. عموماً مدل‌ها ساختار ساده‌تری از سیستم واقعی دارند. سیستم‌های غیرخطی ممکن است با مدل‌های خطی شده نشان داده شوند. سیستم‌های پیچیده ممکن است در مدلسازی ساده شوند و معمولاً فرکانس‌های بالا در مدل‌های ساده شده ظاهر نمی‌شوند. حتی اگر ساختار مدل به سیستم واقعی بسیار نزدیک باشد، عدم قطعیت می‌تواند در پارامترها ظاهر شود. در ادامه خواهیم دید که برای کاستن از عدم قطعیت مرتبط با نمایش دینامیک سیستم، به جای روش‌های کلاسیک

(طبق آنچه در بخش ۳ مقاله بیان شد)، روش‌هایی به نام محاسبات نرم ابداع شده‌اند که به‌سرعت در حال گسترش هستند.

۵-۲. عدم قطعیت در شرایط اولیه (ویژگی دوم)

اگر فرض کنیم که ورودی به مدل همان است که سیستم اصلی تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد و با فرض آنکه عدم قطعیت در نمایش ریاضی مدل نیز ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است (ویژگی‌های اول و سوم به‌خوبی رعایت شده است)، فقط به‌دلیل تفاوت اندک در شرایط اولیه سیستم واقعی و مدل؛ یعنی به‌دلیل وجود داشتن عدم قطعیت در شرایط اولیه ممکن است رفتار سیستم واقعی و مدل کاملاً متفاوت شود. در بعضی از سیستم‌ها مانند سیستم وضعیت آب و هوا پدیده‌ای اتفاق می‌افتد که "آشوب" نام دارد. سیستم‌های آشوبناک که همه غیرخطی هستند، به شرایط اولیه بسیار حساس‌اند. پیش‌بینی وضعیت هوا در ساعت‌ها و روزهای آینده با توجه به اندازه‌گیری کمیت‌های آب و هوایی در زمان حال صورت می‌گیرد که این اندازه‌گیری‌ها همواره دارای اندکی خطاست. حساسیت به شرایط اولیه در سیستم‌های آشوبناک به‌گونه‌ای است که به‌ازای دو وضعیت شرایط اولیه بسیار نزدیک به‌هم، دو رفتار حاصل می‌شود که به‌تدریج در طول زمان کاملاً از هم دور و متفاوت می‌شوند. به همین دلیل است که پیش‌بینی وضعیت آب و هوا فقط برای آینده‌های نزدیک دقیق است و با افزایش زمان پیش‌بینی نسبت به زمان حاضر، امکان پیش‌بینی کاملاً از بین می‌رود.

۵-۳. عدم قطعیت در ورودی‌های سیستم (ویژگی سوم)

ورودی‌های هر سیستمی به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول شامل ورودی‌هایی است که در اختیار ما هستند و می‌توانیم آنها را به دلخواه تغییر دهیم، مانند تنظیم جریان هوای سرد و گرم در سیستم تهویه مطبوع برای کنترل دمای یک ساختمان و دسته دوم ورودی‌های اغتشاشی هستند که از کنترل ما خارج‌اند، مانند دمای هوای بیرون ساختمان که موجب می‌شود هوای ساختمان سرد یا گرم شود، ولی ما نمی‌توانیم بر این ورودی‌ها اثر بگذاریم.

مثال مذکور در خصوص سیستم‌های فیزیکی است، ولی در سیستم‌های غیرفیزیکی مانند سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و... مسئله مشکل‌تر می‌شود. برای مدلسازی دقیق و پیش‌بینی قطعی رفتار سیستم‌های دینامیکی باید ورودی‌های سیستم در آینده معلوم باشند، ولی در بیشتر سیستم‌های غیرفیزیکی این امر که شرط لازم برای پیش‌بینی رفتار سیستم است، محقق نمی‌شود.

فرض کنید که می‌خواهیم قیمت نفت West Texas Intermediate (WTI) را پیش‌بینی کنیم تا بر اساس این پیش‌بینی برای مثال، اگر قیمت هفته آینده افزایشی است، این هفته سهام نفت را بخریم و اگر کاهشی است، سهام را بفروشیم. همچنین فرض کنید که برای رسیدن به این هدف، مدلی را بر

اساس یکی از روش‌های مدلسازی طراحی کرده و آموزش داده‌ایم. نتیجه آنکه نمایش مدلی هوشمند و قابل اعتماد از بازار نفت WTI را در اختیار داریم که دقت و صحت مدل با مجموعه‌ای از داده‌های گذشته قیمت نفت تأیید شده است. علی‌رغم همه این تلاش‌ها و با آنکه قیمت واقعی نفت را در امروز و روزهای گذشته نیز می‌دانیم، در صورتی این پیش‌بینی‌ها در خصوص کاهش یا افزایش قیمت نفت در هفته آینده درست است که در فاصله زمانی بین پیش‌بینی تا هفته بعد که قیمت واقعی بازار مشخص می‌شود، ورودی‌های مؤثر بر سیستم روندی مشابه با روزهای گذشته داشته باشند و با تغییرات ناگهانی روبه‌رو نشوند. برای مثال، در این فاصله رئیس دولتی نفت‌خیز سکته نکند، در هیچ جایی لوله مهم نفتی منفجر نشود، قیمت دلار در مقابل سایر ارزها تغییر چشمگیری نکند، ذخیره نفتی چین یا آمریکا اگر اعلام شود، همان‌طور باشد که بازار فکر می‌کرده است و ده‌ها و ده‌ها عامل دیگر که می‌توانند در قیمت نفت مؤثر باشند، همه باید مشابه روزهای قبل باشد.

رابرت مرتون[1]، جامعه‌شناس امریکایی، نظریه‌ای را در سال ۱۹۴۸ میلادی با عنوان پیش‌بینی خودمحقق[2] مطرح کرد که چگونه ممکن است یک پیش‌بینی غلط، به‌دلیل اثرگذاری بر مردم درست از آب در آید. برای مثال، رسانه‌ای شدن یک پیش‌بینی غلط مبنی بر وضعیت نامساعد یک بانک، موجب هجوم سپرده‌گذاران و ورشکسته شدن بانک می‌شود. در نقطه مقابل، می‌توان به نظریه معکوسی با عنوان پیش‌بینی خودمخرب[3] اشاره کرد که برای مثال، پیش‌بینی درست یک نهاد بهداشتی درباره تلفات یک بیماری اپیدمیک، به‌دلیل عکس‌العمل سریع مردم برای واکسیناسیون و غیره محقق نمی‌شود و نادرست از آب در می‌آید.

در شکل ۳ برای آنکه رفتار مدل با رفتار سیستم اصلی در همه زمان‌ها برابر شود، باید آینده همه ورودی‌های سیستم را دانسته فرض کنیم! معنای این سخن آن است که به فرض در سیستمی که فقط یک خروجی دارد، شرط لازم برای پیش‌بینی خروجی، آن است که مقادیر مربوط به همه ورودی‌های آن سیستم در آینده مفروض باشد! بدیهی است چنین فرضی به‌ویژه در سیستم‌های مرتبط با علوم انسانی عملاً ناممکن است.

بنابراین، برای پیش‌بینی رفتار سیستم‌های دینامیکی در زمان معینی از آینده یکی از شرایط لازم آن است که ورودی‌های سیستم در فاصله بین زمان حاضر و آینده مذکور معلوم باشند. از آنجا که در شرایط واقعی به‌ویژه در سیستم‌های غیرفیزیکی با طولانی‌تر شدن این فاصله زمانی اطلاعات ما درباره ورودی‌های مؤثر بر سیستم در آینده به‌شدت دچار عدم قطعیت می‌شود، دقت پیش‌بینی نیز با افزایش زمان به‌طور محسوس کاهش می‌یابد.

1- Robert Merton 2- Self-Fulfilling Prophecy 3- Self-Defeating Prophecy

۶. مدلسازی و پیش‌بینی آینده با سایر روش‌ها

مدلسازی سیستم‌های غیرفیزیکی و به طبع آن پیش‌بینی آینده این سیستم‌ها همواره چالشی بزرگ بوده است. یکی از عوامل اصلی چالش‌ساز در مدلسازی پدیده‌ها در حوزه‌های علوم انسانی و اقتصاد، به پیچیدگی و عدم قطعیت در تصمیمات و رفتارهای بازیگرانی مربوط می‌شود که در این نوع از سیستم‌ها نقش‌های کلیدی دارند. این بازیگران می‌توانند شامل افراد، شرکت‌ها، کشورها و... باشند. به‌منظور تقابل با چالش‌های مدلسازی در این نوع سیستم‌ها، روش‌های مختلفی ارائه شده که در ادامه به آنها اشاره شده است.

اولین نمونه، نظریه بازی[1] است که یک روش تحلیلی کارآمد برای توصیف سیستم‌ها در حوزه علوم انسانی و به‌ویژه در اقتصاد است (Ruth & Hannon, 2012). اساس کلی این روش بررسی مدل‌های ریاضی تعامل استراتژیک میان افراد تصمیم‌گیرنده (یا در اصطلاح بازیگران[2]) است. علاوه بر این، یکی دیگر از رویکردهای کاربردی در مدلسازی پدیده‌های علوم انسانی و به‌ویژه اقتصادی، استفاده از روش‌های اقتصاد رفتاری[3] است. این روش‌ها بر پایه بررسی آثار جنبه‌های مختلف روانشناسی بر تصمیمات افراد و بازیگران شکل گرفته‌اند. در این روش‌ها معمولاً از مدلسازی ریاضی به‌عنوان یکی از رویکردهای ممکن در شبیه‌سازی تعاملات پیچیده در رفتارهای انسان‌ها (یا سایر بازیگران) در علوم انسانی و اقتصاد استفاده می‌شود (Dolfin et al., 2017). در طول بیش از دو دهه گذشته، اقتصاددانان به‌طور مستمر و روزافزون به اصلاح و تکامل مدل‌های اقتصادی خود بر اساس نتایج جدید اقتصاد رفتاری پرداخته‌اند (Driscoll & Holden, 2014).

علاوه بر دو رویکرد نظریه بازی و اقتصاد رفتاری که در مدلسازی عدم قطعیت‌های رفتاری بازیگران کاربرد دارند، می‌توان از تحلیل آماری اطلاعات گذشته و تجربی نیز برای پیش‌بینی تغییرات سیستم‌های اقتصادی در آینده استفاده کرد. این رویکرد در اصطلاح اقتصادسنجی[4] نامیده می‌شود (Geweke et al., 2007).

اساس مدلسازی با روش‌های کلاسیک بر ریاضیات کلاسیک و استنتاج‌های منطقی مبتنی بر آن استوار است. این استدلال‌ها خود بر منطق ارسطویی تکیه دارند که در آن یک گزاره (یا به قول منطقیون یک قضیه) یا درست است یا نادرست. در دنیای واقعی عموماً چنین مرزبندی سخت و انعطاف‌ناپذیری وجود ندارد. این امر موجب می‌شود که مدلسازی با روش‌های کلاسیک در بسیاری از سیستم‌ها، به‌ویژه سیستم‌های حوزه علوم انسانی، با چالش روبه‌رو شود.

لطفی‌زاده، پایه‌گذار ریاضیات و منطق فازی، این روش را ابتدا با هدف مدلسازی سیستم‌هایی ابداع کرد که وی آنها را "Animated Systems" یا سیستم‌های مرتبط با موجودات زنده می‌نامید. مدلسازی سیستم‌های حوزه علوم انسانی در این طبقه‌بندی جای می‌گیرند. محاسبات نرم ترکیبی از ریاضیات و

1- Game Theory
2- Players / Decision-Makers
3- Behavioral Economics
4- -Econometrics

منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک و احتمالات است. هر ترکیبی از این مباحث، یا بقول لطفی‌زاده، هر کنسرسیومی از آنها در حوزه محاسبات نرم قرار می‌گیرد(Zadeh, 1994).

اصل و اساس محاسبات نرم بر خلاف محاسبات معمول سخت، سازگاری و تطابق روش محاسبه با عدم قطعیت‌های فراگیر در دنیای واقعی است. مهم‌ترین ویژگی‌ها و مزایای این روش را می‌توان چنین بیان کرد: "روش محاسبات نرم با عدم صراحت‌ها و عدم قطعیت‌ها مدارا می‌کند و از آنچه تا اندازه‌ای درست است، استفاده می‌کند تا بتواند در مواجهه با مسائل دنیای واقعی که صریح و قطعی نیستند، به نتایجی دست یابد که مقاوم، کم‌هزینه و سازگار با آنها باشد".

امروزه، روش‌های مبتنی بر محاسبات نرم به‌عنوان رقیب نیرومندی جایگزین روش‌های کلاسیک مدلسازی شده است و نه تنها برای سیستم‌های حوزه علوم انسانی یا به‌عبارت دیگر، سیستم‌های مرتبط با انسان کاربرد وسیع دارد، بلکه در بسیاری از سیستم‌های فیزیکی متداول نیز جایگزین روش‌های کلاسیک مدلسازی شده است.

در پایان این بخش گفتنی است که علی‌رغم تمام پیشرفت‌هایی که در مدلسازی سیستم‌های دینامیکی حاصل شده است، برای کلاس وسیعی از سیستم‌هایی که با انسان سروکار دارند، تدوین مدل با استفاده از روش‌های معرفی شده در این مطالعه هنوز کاری بسیار پیچیده و حتی ناممکن است. علت این امر آن است که مدلسازی‌های موجود بر اساس اصولی انجام می‌گیرد که در ریاضیات کلاسیک یا ریاضیات فازی مطرح هستند و این اصول در خصوص پاره‌ای از سیستم‌ها معتبر نیستند. برای مثال، پخت غذا یا آشپزی را با روش‌های موجود نمی‌توان مدلسازی کرد. یک دلیل ساده‌اش آن است که برخلاف اصل پذیرفته شده در ریاضیات کلاسیک و فازی، در آشپزی A+B مساوی با B+A نیست. در آشپزی عملیات مختلفی مانند جمع (+) خاصیت جابه‌جایی ندارد؛ یعنی ترتیب توالی اضافه کردن مواد غذایی در آشپزی مهم است و اغلب به پخت غذاهای مختلف می‌انجامد. در فناوری IT و سیستم‌های خبررسانی نیز همین‌گونه است. تأثیری که ترتیب توالی اعلام دو خبر مختلف بر جامعه مخاطبان می‌گذارد، ممکن است با جابه‌جایی آنها کاملاً متفاوت شود. بنابراین، فناوری IT در ارتباط با مخاطبان را با روش‌های معمول نمی‌توان مدلسازی کرد.

۷. آینده‌سازی (کنترل رفتار سیستم در آینده)

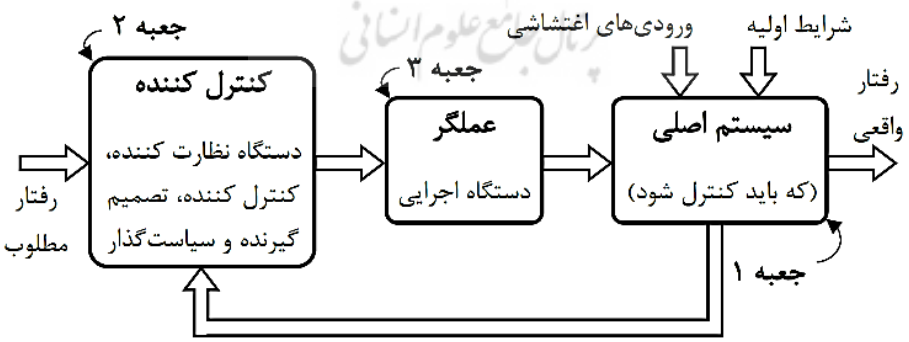
در این بخش به دومین سؤال مطرح شده در این مطالعه؛ یعنی امکان کنترل و تنظیم رفتار سیستم‌های دینامیکی در آینده پاسخ داده شده است. آیا می‌توان رفتار سیستم‌های دینامیکی در آینده را به‌صورت دلخواه تنظیم و کنترل کرد یا به‌عبارت دیگر، آیا می‌توان برای آینده برنامه‌ریزی و آن را با موفقیت اجرا کرد؟ با نگاهی به محیط اطراف مثال‌های متعددی در نفی و اثبات آن می‌توان بیان کرد. مثال‌هایی که ناتوانی ما را در کنترل آینده، به‌ویژه در ابعاد ملی و جهانی، نشان می‌دهند بسیار بیشترند، زیرا

اولاً، لازمه کنترل آینده پیش‌بینی آن است و همان‌طور که دیدیم، اما و اگرهای فراوان دارد و ثانیاً، کنترل و تنظیم رفتار سیستم‌ها در آینده هزینه دارد که چون نفع آن به آیندگان می‌رسد، کسانی که مصدر قدرت‌اند، اغلب حاضر نیستند از امکاناتی که در اختیارشان است، برای آینده‌ای خرج کنند که از آن دیگران است. در کنترل سیستم‌های مهندسی هدف تنظیم و کنترل وضعیت زمان حال یا آینده بسیار نزدیک به یک سیستم است، مانند تنظیم فرکانس در شبکه سراسری برق کشور یا تنظیم فشار دیگ بخار یا تنظیم دما در واحد استریلیزه شیر یا تنظیم مسیر حرکت موشک به سمت هدف. این‌ها نمونه‌هایی از برنامه‌ریزی و کنترل یک سیستم دینامیکی‌اند که به حوزه مهندسی کنترل مربوط می‌شوند. برنامه‌ریزی برای تنظیم آینده در سیستم‌های مرتبط با علوم انسانی نیز گرچه پیچیده‌تر است، ولی امکان‌پذیر است. در ادامه ابتدا اصول روش‌های آینده‌سازی یا کنترل رفتار سیستم در آینده مطرح و سپس، الزامات و شرایط لازم برای تحقق آن ارائه شده است.

۷-۱. اصول روش‌های کنترل رفتار سیستم در آینده

مهندسی کنترل یکی از شاخه‌های علوم مهندسی است که نه تنها در رشته‌های برق، مکانیک، شیمی، مکاترونیک، رباتیک و صنایع کاربرد دارد، بلکه دامنه کاربردهای آن به حوزه‌های وسیعی از علوم زیستی، مهندسی پزشکی و تا اندازه‌ای به علوم انسانی نیز گسترش یافته است.

هدف مهندسی کنترل به نظم درآوردن رفتار سیستم‌های دینامیکی به شکل مطلوب و دلخواه است. مهم‌ترین روش کنترل سیستم‌های دینامیکی، کنترل بازخورد نام دارد که علاوه بر سیستم‌های مهندسی، نحوه کنترل و تنظیم رفتار سیستم‌های مرتبط با علوم انسانی نظیر سیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی را نیز شامل می‌شود. در شکل ۴ ساختار یک سیستم کنترل بازخورد نشان داده شده است که سیستم اصلی می‌تواند یک کشور، یک مؤسسه، یک کارخانه و... باشد.



شکل ۴ . ساختار سیستم کنترل بازخورد

در این شکل سیستمی که باید کنترل شود، با جعبه ۱ نشان داده شده است. هدف از طراحی

سیستم کنترل بازخورد تنظیم رفتار سیستم اصلی (جعبه ۱) به‌گونه‌ای است که این رفتار با آنچه در سمت چپ شکل ۴ با عنوان "رفتار مطلوب" مشخص شده است، برابر شود.

جعبه ۲ دستگاه نظارت‌کننده، کنترل‌کننده و تصمیم‌گیرنده است. این دستگاه به‌طور مداوم رفتار سیستم را با رفتار مطلوبی که سیستم باید داشته باشد، مقایسه و تصمیم‌های لازم را برای اصلاح عملکرد سیستم در آینده اتخاذ می‌کند. در مهندسی کنترل جعبه ۲ را کنترل‌کننده می‌نامیم که به‌عنوان هسته اصلی کنترلی علاوه بر نظارت بر رفتار سیستم، عهده‌دار این وظیفه مهم است که با توجه به امکانات و توانایی‌های سیستم از یک‌سو و تفاوت رفتار سیستم با رفتار مطلوب از سوی دیگر، برای اصلاح رفتار سیستم سیاستگذاری و چاره‌اندیشی کند. اگر سیستم مد نظر برای مثال، نظام مدیریت اجرایی کشور باشد، مجلس (های) قانونگذاری نقش کنترل‌کننده و سیاستگذار را دارد. قوانین و مصوبات مجلس شامل سیاست‌ها و دستورالعمل‌های لازم برای رسیدن کشور به وضعیت مطلوب است که به دولت ابلاغ می‌شود. رفتار یا وضعیت مطلوب در مثال مذکور شامل اهدافی است که سیستم اصلی باید به آنها برسد.

در شکل ۴، جعبه ۳ را که ورودی‌های کنترل‌کننده را دریافت و ورودی‌های به سیستم اصلی را تنظیم می‌کند، "عملگر" می‌نامند. این دستگاه مجری فرامین کنترل‌کننده است. عملگر بازوی اجرایی سیستم است و همه توان یک سیستم در قسمت عملگر متمرکز است. به همین دلیل، عملگر دستگاهی پر طول و تفصیل است. خروجی‌های عملگر ورودی کنترلی به سیستم نام دارند که باید علی‌رغم وجود الف. عوامل اغتشاشی و ب. نامعینی‌ها و عدم قطعیت‌ها، رفتار سیستم را به رفتار مطلوب برسانند و همواره آن را در شرایط مطلوب حفظ کنند. در سیستم مدیریت اجرایی کشورها، مجموعه دستگاه‌های دولتی نقش عملگر را دارند که بر اساس تصمیمات و قوانین مجلس (کنترل‌کننده)، ورودی‌های مورد نیاز سیستم را برای رسیدن به اهداف تعیین شده تأمین می‌کنند. این ورودی‌ها شامل برنامه‌های اجرایی و سیاستگذاری همراه با تأمین امکانات مالی، نیروی انسانی و روش‌های مدیریتی برای نیل به اهداف است.

۷-۲. الزامات تنظیم رفتار سیستم‌ها در آینده

به‌طور خلاصه، برای آنکه بتوان رفتار سیستم را در آینده تنظیم کرد، باید الزامات آن به شرح زیر تأمین و امکانات لازم برای دستیابی به هدف فراهم شود:

الف) مدلی از سیستم اصلی تهیه شود که نمایشی نزدیک به‌واقع از سیستم را ارائه دهد و عدم قطعیت‌ها تا حد امکان کوچک باشند؛

ب) ورودی‌های اغتشاشی به سیستم اصلی؛ یعنی عواملی که بر رفتار و عملکرد سیستم تأثیر می‌گذارند، ولی از کنترل ما خارج‌اند، حتماً باید کوچک باشند. بهتر است بگوییم که آنها باید از نظر

اندازه در محدوده‌ای باشند که با امکانات سیستم بتوان اثر آنها را بر رفتار سیستم از بین برد. هیچ روش کنترلی وجود ندارد که بتواند رفتار سیستم‌ها را علی‌رغم هر نوع اغتشاشی با هر کمیتی در وضعیت مطلوب حفظ کند؛

ج) ورودی‌های کنترلی (خروجی‌های عملگر) باید به اندازه کافی بزرگ باشند که امکان تنظیم رفتار سیستم در محدوده زمانی برنامه‌ریزی شده فراهم شود. در سیستم شکل ۴ این به معنای آن است که دستگاه اجرایی از توان مدیریتی، مالی، نیروی انسانی و تجهیزات و امکانات لازم برخوردار باشد؛

د) دستگاه نظارتی و سیاستگذاری (جعبه ۲ در شکل ۴) مغز متفکر و هسته اصلی کنترل این سیستم است که باید با توجه به اهداف تعیین‌شده و امکانات و توانایی‌های موجود، فرمان‌های کنترلی لازم را در قالب سیاستگذاری و تنظیم قوانین و مقررات تصویب و به دستگاه اجرایی ابلاغ کند. تمام شاخه‌های مختلف علوم مهندسی کنترل که در یک قرن اخیر در مراکز علمی و صنعتی ارائه شده‌اند، عبارت از روش‌ها و شیوه‌های مختلفی است که برای طراحی کنترل‌کننده مناسب به‌منظور نیل به اهداف مد نظر ابداع شده است؛

ه) یک شرط مهم دیگر برای تضمین عملکرد سیستم کنترلی آن است که رفتار سیستم به‌درستی اندازه‌گیری و سنجیده شود تا مقایسه آن با رفتار مطلوب در جعبه ۲ شکل ۴ منطقی باشد. اندازه‌گیری درست رفتار سیستم در شکل ۴؛ یعنی سیگنال بازخورد در شکل مذکور مقدار واقعی خروجی سیستم اصلی را نشان دهد. برای مثال، در یک سیستم هوشمند تنظیم دمای محیط در صورتی که دماسنج سیستم دچار مشکل شود و دمای محیط را با خطای زیاد و بیشتر از دمای واقعی نشان دهد، سیستم هوشمند بین دمای واقعی و دمای مطلوب مقایسه اشتباهی خواهد داشت. لذا، این مقایسه اشتباه درنهایت، موجب می‌شود که سیستم هوشمند دمای محیط را به مقدار کمتری از حد مطلوب برساند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

۸. نتیجه‌گیری

پرتال جامع علوم انسانی

در جهان امروز، مباحث مرتبط با آینده، چه از نظر پیش‌بینی آن و چه از دیدگاه برنامه‌ریزی و طراحی آینده، اهمیتی فراوان و در حوزه‌های مختلف مدیریتی، اجتماعی، علمی و صنعتی کاربرد وسیعی یافته است. این مطالعه نشان داد که روش علمی برای پیش‌بینی آینده طراحی مدلی مجازی از سیستم واقعی است. پیش‌بینی آینده سیستم‌ها منوط به فراهم بودن چند شرط لازم و کافی است که شامل داشتن اطلاعات کافی از ساختار سیستم، شرایط اولیه آن و ورودی‌های مؤثر بر سیستم است. در این مطالعه از میان مجموعه روش‌های مدلسازی، دو روش مدلسازی کلاسیک که مبتنی بر نمایش سیستم با مجموعه‌ای از معادلات ریاضی است و نیز روش محاسبات نرم که ترکیبی از منطق فازی، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک و احتمالات است، به اختصار بیان و محدودیت‌های پیش‌بینی آینده در قالب عدم قطعیت ارائه شده است.

در خصوص آینده‌سازی یا تنظیم رفتار سیستم به شکل مطلوب و مد نظر نیز این مطالعه نشان داد که تحقق این امر علاوه بر مدلسازی مناسب، منوط به محدود بودن عوامل اغتشاشی و عملکرد مناسب دستگاه نظارت و کنترل و نیز اندازه‌گیری‌های مستمر و درست از وضعیت واقعی عملکرد سیستم است.

References

- World Future Society (1966). Retreived from https://www.worldfuture.org.
- World Futures Studies Federation (1973). Retreived from https://www.wfsf.org.
- Association of Professional Futurists (2002). Retreived from https://www.apf.org.
- The Millennium Project: Global Futures Studies & Research (2009). Retreived from http://www.millennium-project.org.
- Tehran University (2010). Faculty of New Sciences and Technologies. PhD course in futures studies. Retreived from http://fnst.ut.ac.ir/article/2599630 [in Persian].
- Amirkabir University (2012). Faculty of Management, Science and Technology. PhD course in futures studies. Retreived from: http://mst.aut.ac.ir/fa/?page_id=216 [in Persian].
- Inayatullah, S. (2013). Futures studies: Theories and methods. *World Futures Studies Federation*.
- Masini, E. B. (2011). How to teach futures studies: Some experiences. *The Journal of Futures Studies*, 15(4), 111-120.
- Kuosa, T. (2011). Evolution of futures studies. *Futures*, 43(3), 327-336.
- Roney, C. W. (2010). Intersections of strategic planning and futures studies: Methodological complementarities. *The Journal of Futures Studies*, 15(2), 71-100.
- Smith, A. C. T. (2005). Complexity theory for organizational futures studies. *Foresight*, 7(3), 22-30.
- Phdungslip, A. (2011). Futures studies backcasting method used for strategic sustainable city planning. *Futures*, 43(7), 707-714.
- Veeman, S. A. (2013). Futures studies and uncertainty in public policy: A case study on the ageing population in the Netherlands. *Futures*, 53, 42-52.
- Kreibich, R., Oertel, B., & Evers-Wölk, M. (2011). Futures studies and future-oriented technology analysis principles, methodology and research questions. *SSRN Electronic Journal*.
- Holland, J. H. (1992). Adaptation in natural and artificial systems. *Massachusets Institute of Technology*.
- Kosko, B. (1994). Fuzzy thinking: The new science of fuzzy logic. *Hyperion*.
- Meadows, D. H., et al. (1972). The limits to growth: A report for the club of Rome's project on the predicament of mankind. *New York :Universe Books*.
- Hughes, B. B. (2019). International futures: Building and using global models. *Academic Press (Elsevier Ltd)*.
- Hubbard, J. H., & West, B. H. (1995). Differential equations: A dynamical systems approach: Higher dimensional systems. *Springer*.
- Ruth, M., & Hannon, B. (2012). Modeling dynamic economic systems. *Springer*.
- Dolfin, M., Leonida, L., & Outada, N. (2017). Modeling human behavior in economics and social science. *Physics of Life Reviews*, 22, 1-21.
- Driscoll, J. C., & Holden, S. (2014). Behavioral economics and macroeconomic models. *Journal of Macroeconomics*, 41, 133-147.
- Geweke, J., Horowitz, J. L., & Pesaran, H. (2007). Econometrics: A bird's eye view. *Cambridge University, Faculty of Economics*.
- Zadeh, L. A. (1994). Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. *Communications on the ACM*, 37(3), 77-84.

- **علی غفاری:** دوره لیسانس مهندسی مکانیک را در دانشگاه صنعتی شریف، فوق لیسانس را در انیستیتو تکنولوژی جورجیا، و دکترای مهندسی مکانیک را در دانشگاه کالیفرنیا برکلی گذراند و در سال ۱۹۷۸ میلادی از این دانشگاه فارغ التحصیل شد. وی استاد مهندسی مکانیک در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است و در زمینه‌های کنترل و سیستم‌های دینامیکی، رباتیک، سیستم‌های هوشمند و مهندسی زیستی فعالیت می‌کند. نامبرده از دانش آموختگان برگزیده در ۵۰ سال فعالیت دانشگاه صنعتی شریف، استاد نمونه کشوری منتخب وزارت علوم و استاد برجسته مهندسی مکانیک منتخب فرهنگستان علوم است.

- **مسعود عبداللهی نیا:** در حال حاضر دانشجوی دوره‌ی دکتری مهندسی مکانیک، گرایش دینامیک و کنترل در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است. حوزه‌ی پژوهشی وی، خودروهای هوشمند و خودران می‌باشد. ایشان در سال ۱۳۹۱ مدرک کارشناسی خود را در رشته‌ی مهندسی مکانیک از دانشگاه تهران و در سال ۱۳۹۴ نیز، مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته‌ی مهندسی مکانیک، گرایش طراحی کاربردی از دانشگاه صنعتی شریف اخذ نموده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی