

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مدل سازی سیستم های پویای اقتصادی

مدل‌سازی سیستم‌های پویای اقتصادی

ماتیاس روت، بروس هانن

ترجمه

دکتر علی‌اکبر عرب‌مازار، دکتر رسام مشرفی

۱۳۹۶

فهرست مطالب

پیشگفتار مترجمان.....	یازده
سرآغاز.....	پانزده
بخش نخست مقدمه.....	۱
فصل نخست: مقدمه.....	۳
۱.۱. مدل سازی سیستم های پویا.....	۳
۱.۱.۱. ساخت مدل.....	۳
۲.۱.۱. مدل های ایستاه ایستای مقایسه ای و پویا.....	۶
۳.۱.۱. اجزای مدل.....	۹
۴.۱.۱. مدل سازی با نرم افزار استلا.....	۱۲
۵.۱.۱. اصول مدل سازی.....	۲۶
۶.۱.۱. تأیید مدل.....	۲۸
۷.۱.۱. مدل سازی بهره برداری از منابع طبیعی.....	۳۲
۸.۱.۱. گسترش نگرش مدل سازی.....	۳۴
۹.۱.۱. معادلات پایه ای مدل آبریان.....	۳۸
۱۰.۱.۱. منابع.....	۳۸
فصل دوم: تفکیک انباره ها.....	۴۰
۱.۲. ارتقا در یک بنگاه.....	۴۰
۲.۲. معادلات مدل انباره های تفکیک شده.....	۴۳
بخش دوم روش هایی برای مدل سازی پویا.....	۴۵
فصل سوم: مرزهای مکانی و زمانی سیستم.....	۴۷
۱.۳. مقدمه.....	۴۷
۲.۳. هزینه انرژی برای تولید بنگاه.....	۴۸
۳.۳. معادلات مدل هزینه انرژی بنگاه.....	۵۳
۴.۳. گسترش مرزهای سیستم.....	۵۳
۵.۳. معادلات مدل گسترش یافته.....	۶۰
۶.۳. تحلیل حساسیت.....	۶۱

۶۷	.....	۷.۳. معادلات مدل تحلیل حساسیت
۶۹	.....	فصل چهارم: جریان‌های زمان‌بندی شده
۶۹	.....	۱.۴. نقاله‌ها، صفاها و کوره‌ها
۷۱	.....	۲.۴. مدل‌سازی جریان‌های گسسته از نظر زمان و مکان
۷۵	.....	۳.۴. معادلات مدل فروشگاه
۷۷	.....	۴.۴. بهینه‌یابی جریان ترافیک
۸۶	.....	۵.۴. معادلات مدل جریان ترافیک
۹۲	.....	فصل پنجم: بازخوردهای مثبت در اقتصاد
۹۲	.....	۱.۵. بازخوردها در اقتصاد
۹۳	.....	۲.۵. بازخورد مثبت
۹۷	.....	۳.۵. معادلات مدل بازخورد مثبت
۹۸	.....	۴.۵. منابع
۹۹	.....	فصل ششم: مشتق‌ها و تأخیرها
۹۹	.....	۱.۶. مقدمه
۱۰۴	.....	۲.۶. معادلات مدل انتگرال‌گیری
۱۰۴	.....	۳.۶. مشتق‌ها و تأخیرها: برخی از موارد کاربرد
۱۰۴	.....	۱.۳.۶. بنگاه تک‌محصولی
۱۰۶	.....	۲.۳.۶. معادلات بنگاه تک‌محصولی
۱۰۶	.....	۳.۳.۶. بنگاه دو محصولی
۱۰۸	.....	۴.۳.۶. معادلات بنگاه دو محصولی
۱۱۱	.....	بخش سوم مدل‌های اقتصاد خرد از بنگاه‌ها
۱۱۳	.....	فصل هفتم: مقدمه‌ای برای مدل‌سازی فرایندهای اقتصادی
۱۱۳	.....	۱.۷. اصول اساسی علم اقتصاد
۱۱۴	.....	۲.۷. منابع
۱۱۵	.....	فصل هشتم: جانشینی نهاده‌ها در تولید
۱۱۵	.....	۱.۸. مرزهای امکان مبادله
۱۱۸	.....	۲.۸. معادلات مدل مرزهای امکان مبادله
۱۱۸	.....	۳.۸. حداکثرسازی سود با چند نهاده
۱۲۲	.....	۴.۸. معادلات مدل بنگاه رقابتی با قابلیت جانشینی [نهاده‌ها]
۱۲۳	.....	فصل نهم: ارزش زمان
۱۲۳	.....	۱.۹. محاسبات ارزش جاری و ارزش حال
۱۲۸	.....	۱.۱.۹. معادلات مدل ارزش زمانی

۱۲۹	۲.۹. تحلیل هزینه- فایده
۱۳۲	۳.۹. معادلات مدل هزینه- فایده
۱۳۳	۴.۹. منابع
۱۳۴	فصل دهم: هزینه فرصت
۱۳۴	۱.۱۰. مدیریت یک انبار
۱۴۱	۲.۱۰. معادلات مدل هزینه فرصت
۱۴۲	۳.۱۰. منابع
۱۴۳	فصل یازدهم: بنگاه رقابتی حداکثرساز سود
۱۴۳	۱.۱۱. رفتار بهینه‌یابی یک بنگاه رقابتی
۱۴۹	۲.۱۱. معادلات مدل بنگاه رقابتی
۱۵۰	فصل دوازدهم: بنگاه انحصاری حداکثرساز سود
۱۵۰	۱.۱۲. مقدمه
۱۵۴	۲.۱۲. معادلات مدل بنگاه انحصاری
۱۵۴	۳.۱۲. اثرات مالیات در تولید و قیمت در شرایط انحصاری
۱۵۸	۴.۱۲. معادلات مدل انحصارگر در شرایط پرداخت مالیات
۱۵۹	۵.۱۲. تولید انحصاری و آلودگی
۱۶۴	۶.۱۲. معادلات مدل انحصارگر در شرایط آلودگی
۱۶۶	فصل سیزدهم: تباری انحصارگرانه
۱۶۶	۱.۱۳. مدیریت مشترک دو انحصارگر
۱۷۲	۲.۱۳. معادلات مدل تباری انحصارگرانه
۱۷۴	فصل چهاردهم: تعادل بازار شبه‌رقابتی
۱۷۴	۱.۱۴. تعیین شمار بنگاه‌های رقیب حداکثرساز سود
۱۷۹	۲.۱۴. معادلات مدل تعادل شبه‌رقابتی
۱۸۰	فصل پانزدهم: مدل‌سازی بازی‌های اقتصادی
۱۸۰	۱.۱۵. مسابقه تسلیحاتی
۱۸۳	۲.۱۵. معادلات مدل مسابقه تسلیحاتی
۱۸۴	۳.۱۵. اقتصاد تهاتری
۱۸۷	۴.۱۵. معادلات مدل اقتصاد تهاتری
۱۸۸	۵.۱۵. بازی حراج دومین قیمت پیشنهادی مهروموم‌شده
۱۹۳	۶.۱۵. معادلات مدل بازی حراج دومین قیمت پیشنهادی مهروموم‌شده
۱۹۶	۷.۱۵. منابع

بخش چهارم مدل سازی به کارگیری بهینه منابع تجدیدناپذیر.....	۱۹۷
فصل شانزدهم: کمیابی رقابتی.....	۱۹۹
۱.۱۶. مدل پایه‌ای.....	۱۹۹
۲.۱۶. معادلات مدل پایه‌ای کمیابی رقابتی.....	۲۱۰
۳.۱۶. کمیابی رقابتی با مقادیر متفاوت DT.....	۲۱۱
۴.۱۶. معادلات مدل کمیابی رقابتی با مقادیر مختلف برای DT.....	۲۱۲
۵.۱۶. منابع.....	۲۱۳
فصل هفدهم: کمیابی رقابتی با امکان جانشینی.....	۲۱۵
۱.۱۷. اثرات قیمت.....	۲۱۵
۲.۱۷. معادلات مدل کمیابی رقابتی با اثر قیمتی.....	۲۱۸
۳.۱۷. انتقال ناگهانی تقاضا.....	۲۱۸
۴.۱۷. معادلات مدل انتقال ناگهانی تقاضا.....	۲۲۰
۵.۱۷. مدل جانشینی S- شکل.....	۲۲۱
۶.۱۷. معادلات مدل جانشینی S- شکل.....	۲۲۵
فصل هجدهم: کمیابی رقابتی با وابستگی هزینه به مقدار تولید و اندازه منبع.....	۲۲۷
۱.۱۸. اثر مقدار تولید و اندازه منبع.....	۲۲۷
۲.۱۸. معادلات مدل با اثرات مقدار تولید و اندازه منبع.....	۲۳۱
۳.۱۸. منابع.....	۲۳۱
فصل نوزدهم: کمیابی رقابتی با تغییرات فناورانه.....	۲۳۲
۱.۱۹. مقدمه.....	۲۳۲
۲.۱۹. یک مدل پایه‌ای از کمیابی رقابتی با تغییرات فناورانه.....	۲۳۳
۳.۱۹. معادلات مدل کمیابی رقابتی با تغییرات فناورانه.....	۲۳۶
۴.۱۹. منابع.....	۲۳۷
فصل بیستم: کمیابی رقابتی با امکان کاوش.....	۲۳۸
۱.۲۰. کمیابی و کاوش.....	۲۳۸
۲.۲۰. معادلات مدل کمیابی رقابتی با امکان کاوش.....	۲۴۳
فصل بیست و یکم: کمیابی انحصاری.....	۲۴۵
۱.۲۱. استخراج منابع تجدیدناپذیر در شرایط انحصاری.....	۲۴۵
۲.۲۱. معادلات مدل کمیابی انحصاری.....	۲۵۱
فصل بیست و دوم: کمیابی انحصاری با نرخ بهره متغیر.....	۲۵۲
۱.۲۲. مقدمه.....	۲۵۲
۲.۲۲. انحصار، کمیابی و نرخ بهره متغیر.....	۲۵۲
۳.۲۲. معادلات مدل کمیابی انحصاری با نرخ بهره متغیر.....	۲۵۶

۲۵۷	۴.۲۲. منابع
۲۵۸	فصل بیست و سوم: کمیابی انحصاری با وابستگی هزینه به نرخ تولید و اندازه منبع
۲۵۸	۱.۲۳. تأثیر نرخ تولید و اندازه منبع در استخراج منبع در شرایط انحصار
۲۶۱	۲.۲۳. معادلات مدل استخراج در شرایط انحصار با اثرپذیری از نرخ تولید و اندازه منبع
۲۶۳	بخش پنجم مدل سازی کاربرد بهینه منابع تجدیدپذیر
۲۶۵	فصل بیست و چهارم: برداشت بهینه چوب (الوار)
۲۶۵	۱.۲۴. مقدمه
۲۶۹	۲.۲۴. زمان بهینه برداشت و نرخ بازده داخلی
۲۷۱	۳.۲۴. معادلات مدل نرخ بازده داخلی
۲۷۲	۴.۲۴. منابع
۲۷۳	فصل بیست و پنجم: مدیریت منابع آزاد
۲۷۳	۱.۲۵. تراژدی منابع عمومی
۲۸۵	۲.۲۵. معادلات مدل دسترسی آزاد به منابع
۲۸۷	فصل بیست و ششم: صید بهینه در شیلات
۲۸۷	۱.۲۶. مدل بهینه شیلات
۲۹۶	۲.۲۶. معادلات مدل صید بهینه
۲۹۸	فصل بیست و هفتم: مدل های شکار و شکارچی شیلات
۲۹۸	۱.۲۷. مدل پایه شیلات
۳۰۳	۲.۲۷. معادلات مدل پایه شیلات
۳۰۴	۳.۲۷. ماهیگیری با سرمایه ثابت انعطاف ناپذیر
۳۱۰	۴.۲۷. معادلات مدل با سرمایه ثابت انعطاف ناپذیر
۳۱۰	۴.۲۷. منابع
۳۱۱	فصل بیست و هشتم: مدل مکانی شیلات
۳۱۱	۱.۲۸. مدل پایه ای
۳۲۰	۲.۲۸. معادلات مدل مکانی شیلات
۳۲۲	۳.۲۸. مدیریت شیلات چند ناحیه ای
۳۲۵	۴.۲۸. معادلات مدل شیلات چند ناحیه ای
۳۲۸	۵.۲۸. منابع
۳۲۹	بخش ششم نظریه آشوب در مدل های اقتصادی
۳۳۱	فصل بیست و نهم: چرخه های ترجیحات و آشوب
۳۳۱	۱.۲۹. مقدمه

۳۳۲	..... مدل‌سازی چرخه‌های ترجیحات
۳۳۷	..... معادلات مدل چرخه‌ی ترجیحات
۳۳۸	..... منابع
۳۳۹	..... فصل سی‌ام: منحنی‌های غیریکنواخت عرضه و تقاضا
۳۳۹	..... ۱.۳۰ مقدمه
۳۴۱	..... ۲.۳۰ عرضه‌ی غیریکنواخت
۳۴۵	..... ۳.۳۰ معادلات مدل عرضه‌ی غیریکنواخت
۳۴۵	..... ۴.۳۰ منابع
۳۴۶	..... فصل سی‌ویکم: انتظارات قیمتی و تأخیرهای تولید
۳۴۶	..... ۱.۳۱ آشوب با انتظارات قیمتی و تأخیرهای تولید
۳۵۱	..... ۲.۳۱ معادلات مدل انتظارات قیمتی و تأخیر تولید
۳۵۱	..... ۳.۳۱ منابع
۳۵۲	..... فصل سی‌ودوم: آشوب در مدل‌های اقتصاد کلان
۳۵۲	..... ۱.۳۲ آشوب اقتصاد کلان
۳۵۶	..... ۲.۳۲ معادلات مدل آشوب اقتصاد کلان
۳۵۶	..... ۳.۳۲ منابع
۳۵۷	..... بخش هفتم نتیجه‌گیری
۳۵۹	..... فصل سی‌وسوم: ایجاد انجمن مدل‌سازان
۳۶۱	..... واژه‌نامه‌ی فارسی-انگلیسی
۳۶۵	..... واژه‌نامه‌ی انگلیسی-فارسی
۳۶۹	..... نمایه

پیشگفتار مترجمان

امروزه اقتصاد در جهان واقعی به پدیده‌ای بسیار پیچیده، پویا و با عدم قطعیت‌های فراوان تبدیل شده است و بدین سبب ابزارهای سنتی، ایستا و مبتنی بر قطعیت‌ها توانایی تحلیل مسائل اقتصادی را از دست داده‌اند. بازارها پایه‌ای‌ترین مفهوم اقتصاد در سطح خرد هستند. عرضه و تقاضا، که بازار را شکل می‌دهند، معمولاً تابعی از قیمت تلقی می‌شوند. حذف متغیرهای دیگر، در فرایند تحلیل بازار، برای ساده‌سازی و امکان یادگیری گام‌به‌گام پیچیدگی‌های بازار اقتصادی است؛ اگرچه همواره تأکید می‌شود عوامل مهم دیگری نیز وجود دارند که در بررسی هر بازار باید آن‌ها را در نظر داشت، ولی معمولاً در فرایند آموزش به عوامل دیگر کمتر پرداخته می‌شود و، در نتیجه، با سوگیری ذهنی نقش آن‌ها عموماً فراموش می‌شود. اما، در جهان واقعی، نه فقط اثربخشی عوامل دیگر فراموش نمی‌شود، بلکه ممکن است در مواردی آن عوامل مهم‌تر و پایدارتر از قیمت رفتارها را در بازار متأثر کنند. علاوه بر این، برای ساده‌سازی، حجم بزرگی از تحلیل‌های اقتصادی با نوعی نگاه ایستای مقایسه‌ای نگریده می‌شود که در آن شرایط دو نقطه تعادلی بازار باهم مقایسه می‌شوند، ولی به چگونگی رسیدن به آن تعادل کمتر توجه می‌شود. اما، در جهان واقعی با تواتر شوک‌های گوناگون در یک بازار اقتصادی، بسیاری از معاملات اقتصادی در فضای میان دو نقطه تعادل رخ می‌دهند و حتی شاید هنگامی که بازارهای اقتصادی عملاً در حال تعدیل میان دو نقطه تعادل هستند، معاملات اقتصادی بیش از ایامی باشند که بازار در شرایط تعادل است. بنابراین، در برخی موارد، چگونگی معامله‌گری یا سیاست‌گذاری برای مدیریت پویایی‌های میان دو نقطه تعادل مهم‌تر از ویژگی‌های خود نقطه تعادل می‌شود. اما این موارد در جریان غالب آموزش علم اقتصاد و همچنین تحلیل و طراحی سیاست‌های اقتصادی نادیده گرفته می‌شوند.

در نگاه کلان، پیچیدگی سیستم اقتصاد حتی فزون‌تر نیز می‌شود. ساده‌ترین مدل مفهومی از اقتصاد در سطح کلان تعاملات میان بنگاه‌ها و خانوارها در قالب جریان دایره‌وار درآمد است. اگر به خوبی بنگریم، این مفهوم پایه‌ای نیز، که در آموزش‌های اولیه اقتصاد به دانشجویان منتقل می‌شود، به شدت پیچیده است. حتی در این سطح از ساده‌سازی یک سیستم اقتصادی نیز پویایی همیشگی روابط اقتصادی متجلی است. درآمدی که در دست خانوارهاست، با خرید در بازار، به دست بنگاه‌ها می‌سد و بنگاه‌ها، با همان درآمد به دست آمده از فروش، از خانوارها نهاده تولید می‌خرند. حتی اگر خانوارها پس‌انداز نیز کنند، این منبع مالی لحظه‌ای دیگر در جایی

دیگر از اقتصاد در حرکت است. این چرخه‌های پویا بی‌وقفه در سیر هستند. در میانه این پیچیدگی‌ها، تحلیل‌گران و سیاست‌گذارانی که به اقتصاد ساده و مکانیکی می‌نگرند معمولاً با نتایجی متضاد با تحلیل یا نیت سیاست‌گذاری خود مواجه می‌شوند و حتی برخی، در مواجهه با این تناقضات، به علم‌بودن اقتصاد نیز شک می‌کنند. نمونه‌های فراوانی از این‌گونه نتایج پیش‌بینی‌ناپذیر و برخلاف نیت در جهان اقتصاد دیده شده‌اند: گاهی کاهش نرخ بهره افزایش سرمایه‌گذاری را به همراه نداشته است و گاهی افزایش نرخ بهره شتاب پس‌اندازی ایجاد نکرده است؛ توزیع پارانۀ نقدی، به نیت عدالت، شکاف طبقاتی را گسترش داده است؛ مبارزه با قاچاقچیان و جان‌فشانی در این راه میزان شیوع اعتیاد را کنترل نکرده است؛ افزایش قیمت‌ارز صادرات به ارمنیان نیاورده است؛ ساخت بزرگراه گره ترافیک را نگشوده است؛ توسعه مناطق آزاد به رقابت‌پذیری تولید و رشد اقتصادی منجر نشده است و... تحلیل و سیاست‌گذاری در محیط پویای اقتصاد با نگاهی ایستا و با فرض ثبات سایر شرایط به‌مانند ثابت و سخت فرض کردن سطح دریاست برپایه دیدن عکسی از آن. مسئله گرفتن عکس از دریا نیست، مسئله چگونگی تفسیر آن است.

افزون بر این موارد، پیچیدگی‌های موضوعات اقتصادی با جهانی‌شدن و توسعه شبکه‌های ارتباطی رو به فزونی دارند. در واقع، فاصله واقعیت با جریان غالب آموزش در علوم اجتماعی در حال افزایش است و روش برخورد با این‌گونه مسائل به تحول نیاز دارد. این نیاز سبب شده است برخی از دانشمندان بازنگری در دامنه و شمول جریان غالب علم اقتصاد را ضروری بدانند. برای همین نیز، جریان غالب علم اقتصاد مدرن از سخت چسبیدن به آن سه‌گانه مقدس «عقلایی‌بودن و خودخواهی و تعادل» در حال فاصله‌گرفتن است.^۱

در سطح آموزش، برای درک سیستم پیچیده اقتصاد، ساده‌سازی یک ضرورت است، اما در کنار ساده‌سازی باید به دو نکته تأکید کرد؛ نکته اول اینکه در حال یادگیری جزئی از یک کل هستیم و، پیش از ارائه راهکار برای مسائل در جهان واقعی، باید کل تعاملات را درک کرد. انتقال همین نکته سبب می‌شود هنگام تحلیل و سیاست‌گذاری بیشتر احتیاط شود. نکته دوم

۱. به‌طور مثال، رجوع شود به

Colander, David (2000), "The Death of Neoclassical Economics", *Journal of the History of Economic Thought*, 22(2): 127-143. doi:10.1080/10427710050025330.

Colander, David, Holt, Richard P.F., Rosser, Barkley J. and Jr. (Oct 2004), "The Changing Face of Mainstream Economics", *Review of Political Economy*, 16(4): 485-499. doi:10.1080/0953825042000256702.

Davis, John B. (2008), "The Turn in Recent Economics and Return of Orthodoxy", *Cambridge Journal of Economics*, 32(3): 349-366. doi:10.1093/cje/bem048.

درباره نظام آموزشی اقتصاد است که باید دست کم در سطح تحصیلات تکمیلی، در کنار آموزش‌های جزءنگرانه تفصیلی که البته بسیار ضروری‌اند، روش‌های کل‌نگرانه منطقی و سیستماتیک را نیز به دانشجویان منتقل کند و برای کنار هم قرار گرفتن اجزای جورچین اقتصاد ابزاری در اختیار دانشجویان اقتصاد و دیگر حوزه‌های علوم اجتماعی قرار دهد. باید به یاد داشت مسائل جهان واقعی، آن گونه که ما تعریف می‌کنیم، رخ نداده‌اند. اینکه مسئله از دریچه اقتصادی، سیاسی، روان‌شناسی یا جامعه‌شناسی بررسی شود تأثیری در ماهیت مسئله ندارد. بدیهی است حل مسائل نیز نیازمند درک وزن و تأثیر همه ابعاد مؤثر است. برخورد با مسائل پیچیده و چندبعدی، تنها با نگاه از چشم‌انداز محدود یک دانش، تلاش برای فهم موضوع در داستان «پیل در خانه تاریک» مولانا را تداعی می‌کند.

روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها یکی از روش‌های مناسب برای به‌کارگیری در هنگام برخورد با پدیده‌های پیچیده جهان امروز است که نویسندگان کتاب بر پایه آن برخی از مسائل اقتصادی را بررسی کرده‌اند و به خوبی توانسته‌اند به‌کارگیری آن را، تا سطحی منطقی برای آموزش، نشان دهند. این روش بالقوه توانایی در نظر گرفتن ابعاد گوناگون یک مسئله و پویایی‌ها و بازخوردهای آن را در گذر زمان دارد. مطالعه این کتاب به‌ویژه به دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری رشته اقتصاد توصیه می‌شود، که به روش‌های متعارف و تحلیلی حل مباحث اقتصادی در جریان غالب اقتصاد آشنایی دارند. کتاب نباید فقط به شکل روخوانی مطالعه شود، بلکه مدل‌های هر فصل، که نشانی دسترسی به آن‌ها در مقدمه کتاب آمده است، باید در فضای نرم‌افزاری اجرا شوند. اجرای پی‌درپی مدل‌های سیستمی هر فصل در سناریوها و مفروضات متفاوت و مشاهده نتایج شبیه‌سازی هر سناریو بسیار ضروری است. با این شبیه‌سازی‌ها در واقع با دامنه‌ای از رفتارهای گوناگونی آشنایی به دست می‌آید که یک سیستم اقتصادی می‌تواند از خود بروز دهد. همچنین، با این روش می‌توان اثر آن عوامل فراموش‌شده دیگر در رفتار سیستم را دوباره به مدار توجه بازگرداند. از دید مترجمان، مطالعه این کتاب و منابع آموزشی مشابه می‌تواند، در کنار آنچه در مسیر جریان غالب علم اقتصاد تدریس می‌شود، توان تحلیلی دانشجویان را به مراتب ارتقا دهد و، برای مواجهه با پیچیدگی‌های جهان واقعی اقتصاد، شمع راهشان شود.

علی‌اکبر عرب مازار- رسام مشرفی

سرآغاز

مشکلات درک رفتار سیستم‌های پیچیده و چالش توسعه مدل‌های قابل فهم و کاربردی در حوزه مدیریت محیط‌زیست و توسعه اقتصادی روشن است. ما با مسئله سازگاری توسعه فعالیت‌های اقتصادی با حفظ و بهبود کیفیت محیط‌زیست و کیفیت زندگی رودررو هستیم. در مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی باید پارامترهای بسیاری در نظر گرفته شود. این نیازمند ابزارهایی است که گردآوری و سازماندهی داده‌ها، امکان توسعه مدل‌های میان‌رشته‌ای، شفافیت و ارائه نتایج به دست‌آمده را تسهیل کند. برای درک بهتر جهانی که در آن زندگی می‌کنیم، نه ریاضیات محض و نه صرفاً روش‌های تجربی، که چنین پیچیده نیز شده‌اند، چاره‌ساز نیست. تا چندی پیش، برای ساخت این مدل‌ها نیاز بود که دانش عمیقی از ریاضیات و رایانه داشته باشیم. به علت چنین مانعی بسیاری نمی‌توانستند مدل‌های رایانه‌ای از مسائل و رویدادهایی را که در جهان پیرامونشان می‌گذشت طراحی کنند یا آن‌ها را به کار گیرند. این کتاب و روشی که در آن ارائه شده است این توانایی را در ما ایجاد می‌کند که ویژگی‌های پویای فرایندهای اقتصادی و تعاملات میان انسان و محیط‌زیست را مدل‌سازی و بررسی کنیم. بدون مدل‌های رایانه‌ای معمولاً فقط دو راه پیش روی ماست. راه نخست توسل به مدل‌هایی نظری است که جهان پیرامون ما را توصیف می‌کنند. به کارگیری مدل‌های ریاضی در علوم اجتماعی و طبیعی، که در آن رابطه علت و معلولی گاهی گیج‌کننده می‌شود، رایج است. اما این مدل‌ها ریسک انفکاک از واقعیت و فداکردن واقع‌گرایی به بهای سازگاری تحلیلی¹ را ایجاد می‌کنند. در نتیجه، این مدل‌ها فقط برای دانشمندان کارآموده درک‌شدنی است و دیگران، چه بپذیرند چه نپذیرند، با نتایج مدل مواجه‌اند.

راه دیگر دست‌کاری جهان واقعی است تا بتوانیم روابط علت و معلولی را درک کنیم. می‌توان سیستمی را با آزمون و خطا دستخوش تغییر کرد (مثلاً سم آفت‌کش یا کمی گاز مونواکسیدکربن یا ... به محیط اضافه کرد) و نتایج آن را مشاهده کرد. اگر تغییر چشمگیر

1. analytical tractability

نبود، می‌توان چنین پنداشت که عمل انجام‌شده اثری نداشته است و میزان تغییرات در سیستم را بیشتر کرد. البته این روشی بسیار متعارف است و دقیقاً همان روشی است که یک تعمیرکار خودرو از راه آزمون و خطا موتور را تعمیر می‌کند. اما سیستم‌های اجتماعی و زیست‌محیطی مانند موتور خودرو نیستند. اشتباه در رفتار با این سیستم‌ها می‌تواند هم در کوتاه‌مدت هم در بلندمدت تبعات پرهزینه‌ای داشته باشد و سبب پدید آمدن نتایج ناخواسته و پیش‌بینی‌نشده‌ای شود که خود سبب تصمیم‌گیری‌های غلط بیشتری شود. متأسفانه با توجه به شواهد فزاینده موجود به نظر می‌رسد که همچنان روش آزمون و خطا روشی است که به کار گرفته می‌شود. ما همانند تعمیرکار خودرو تصور می‌کنیم که به اندازه کافی هوشمند هستیم تا تبعات ناشی از تغییری را که ایجاد کرده‌ایم برطرف کنیم. ما با تمایل به خوش‌بینی مشکلات جدید را نادیده می‌گیریم.

اما میزان مداخله در سیستم‌های اجتماعی و زیست‌محیطی به حدی افزایش یافته است که اثرات نامطلوب آن را دیگر نمی‌توان نادیده انگاشت. در حالی که خوش‌بینی ما به توانایی‌مان برای اصلاح وضعیت رو به فروپاشی است، به نظر می‌رسد در برابر فهرست طولانی تبعات ناگزیر قابل توجهی مانند ریسک سرطان‌ها، گرم‌شدن کره زمین، تهی‌سازی ذخایر سوخت‌های فسیلی‌گزیری جز تحمل نداریم. ما به توانایی خود برای شناخت و تأثیرگذاری در روابط علت و معلولی این مسائل بدبین هستیم. باید تعامل میان اجزای سیستم‌های پویا را درک کنیم تا بتوانیم واکنشی متناسب نشان دهیم. باید تفکر ترکیبی^۱ را به نگرش استقرایی^۲ بیافزاییم. در غیر این صورت، در جزئیات غرق خواهیم شد و درختان نمی‌گذارند جنگل را ببینیم!

می‌توان کاری کرد تا از این مسیر بازگردیم. می‌توانیم همچنان رایانه‌ها را به کار ببریم. مدل‌ها توان پیش‌بینی آثار کوتاه‌مدت و بلندمدت سیاست‌های پیشنهادی ما را فراهم می‌کنند. برای این کار می‌توان به‌طور مؤثری مدل‌های ریاضی را با آزمون‌های تجربی ترکیب کرد. با ساخت مدلی برپایه توانایی‌های هر دو روش به بینشی دست می‌یابیم که فراتر از دانشی است که هر یک از این دو روش به تنهایی می‌توانستند فراهم آورند. آزمایش تجربی با مدل‌های رایانه‌ای جهان جدیدی را در درک پویایی‌های سیستم‌ها به‌رومی ما می‌گشاید. درک عواقب نامطلوب اجرای یک سیاست در یک مدل رایانه‌ای [برخلاف آزمون و خطا در جهان واقعی] آسیب نمی‌رساند.

1. synthetic thinking

2. reductionist approach

مدل‌های رایانه‌ای را نزدیک به ۵۰ سال است که در اختیار داریم. پس چرا اکنون این‌چنین درباره کاربرد آن‌ها هیجان‌زده شده‌ایم؟ پاسخ در نوآوری‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزارهای قدرتمند و در دسترس همه است. تقریباً هرکسی می‌تواند پدیده‌های جهان واقعی را بر روی رایانه خود، به صورتی تشریح‌پذیر برای دیگران، شبیه‌سازی کند. مدل‌های رایانه‌ای دیگر فقط محدود به آزمایشگاه‌ها نیستند. آن‌ها به هر کلاس درسی راه یافته‌اند و ما معتقدیم که آن‌ها می‌توانند و باید به فهرست داشته‌های هر فرد تحصیل‌کرده‌ای افزوده شوند.

گارت هاردین^۱ بوم‌شناس^۲ و هینز پاگلز^۳ فیزیکدان اشاره کرده‌اند که درک عملکرد سیستم‌ها، به‌منزله یک مهارت خاص، باید به یک ضرورت در اجرای آموزش عمومی^۴ تبدیل شود. این نیازمند تشخیص این مسئله است که ذهن انسان به‌خودی‌خود توانایی درک سیستم‌های پیچیده پویا را ندارد (این مسئله با مدل‌های ساده رایانه‌ای اثبات‌شده است). همان‌طور که ما در مشاهده باکتری یا ستاره‌های دور دست به کمک نیاز داریم، برای مدل‌سازی سیستم‌های پویا نیز کمک می‌خواهیم. البته در مدل‌سازی مسائل پویا و پیچیده‌ای مانند جاخالی‌دادن در برابر سنگ‌هایی که به سمتان پرتاب می‌شوند یا عبور از عرض یک خیابان شلوغ توانا هستیم. ما توان حل چنین مسائلی را از راه دیدن نتیجه تصمیم‌های اشتباه یا تصادف‌هایی آموخته‌ایم که از آن جان به‌در برده‌ایم. ما به‌مثابه یک کودک جهانی واقعی را تجربه کرده‌ایم و ضربه سنگی را که به سمتان پرتاب شده است حس کرده‌ایم یا اجازه داده‌ایم بزرگسالان نتایج مدل‌های ذهنی خود از رویدادها را برایمان شرح دهند و ما آن‌ها را پذیرفته‌ایم. این واکنش‌های کنونی نتیجه آن آزمون‌های تجربی و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده‌ای است که در اوان کودکی آموخته‌ایم. اما در جهان پیچیده اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی نمی‌توانیم برای هدایت تصمیم‌های فردی و به‌خصوص جمعی بر مدل‌های ذهنی خود متکی باشیم و اغلب از پس اجرای آزمون تجربی در سیستمی که خودمان در آن زندگی می‌کنیم بر نخواهیم آمد. ما باید بیاموزیم که با مدل‌های رایانه‌ای شبیه‌سازی تجربه و پیش‌بینی کنیم.

در این کتاب، نرم‌افزار مدل‌سازی استلا^۵ را به کار برده‌ایم که توانایی برنامه‌نویسی را با کمک نمادها دارد.^۶ نرم‌افزارهایی همانند استلا روشی را که می‌اندیشیم تغییر می‌دهند. این نرم‌افزارها

1. Garrett Hardin

2. ecologist

3. Heinz Pagels

4. general education

5. STELLA

۶. نرم‌افزار غیرقابل‌ذخیره استلا و مدل‌های رایانه‌ای این کتاب در آدرس زیر در دسترس است:

www.iseesystems.com/modelingeconomicsystems

هریک از ما را قادر می‌سازند تا مدل‌های ذهنی خود از یک پدیده‌ی نوعی را متمرکز و آن را روشن کنیم، این مدل‌ها را تعمیم و توسعه دهیم و در نهایت با شبیه‌سازی و اجرای مدل و بررسی نتایج پویای اجتناب‌ناپذیری که در مفروضات ما یا در ساختار مدل نهفته است، بتوانیم کارهایی انجام دهیم که بدون آن ممکن نمی‌بود. نرم‌افزار استلا غایت نرم‌افزارها در گسترش مدل‌های ذهنی نیست، اما سادگی در کاربرد آن سبب می‌شود مسیری که به سمت پرسشگری ذهنی قدرتمندانه‌تر و آزاداندیشانه‌تر است برای هر دانشجویی هموار شود.

این مطالبی بود که در کتاب مدل‌سازی پویای کاربرد منابع طبیعی^۱ اشاره کردیم. این مجلد ادامه‌ی کتاب نخست ما درباره‌ی مدل‌سازی پویا (هانن و روت، ۱۹۹۴) و مجموعه‌ی کتاب‌هایی در زمینه‌ی مدل‌سازی سیستم‌های پویاست. ضرورت بهبود دانش در برابر تعاملات انسان-محیط زیست و درک تعاملات میان اقتصاد-محیط زیست همواره با کمبود ابزارهایی مواجه است که از راه یک رویکرد تجربی دانشجویان را به ارزیابی فهم‌شان در برابر این تعاملات و مقایسه‌ی دانسته‌هایشان با واقعیت قادر سازد. ما چنین روش مدل‌سازی را مهم‌ترین وظیفه‌ی خود دانستیم؛ از این رو، مهم‌ترین کاری که می‌توانستیم انجام دهیم کمک به دانشجویان برای رسیدن به وسعت قدرت ذهنی‌شان در این مسیر ناآشنا و البته بسیار پرفایده بود.

ماتیاس روت

بروس هانن

منبع:

Hannon B, Ruth M (1994) Dynamic Modeling, 1st edn (2nd edn, 2001). Springer, New York.

1. Dynamic Modeling of Natural Resource Use

2. Hannon and Ruth, 1994.

بخش نخست

مقدمه

فصل ۱. مقدمه

فصل ۲. تفکیک انباره‌ها

فصل نخست: مقدمه

مردمی که به ذهنیت‌های خودشان محدودند احتمالاً مغرور و خودپسندند؛ در واقع، به‌سختی امور را آن‌چنان‌که هست می‌بینند و کاستی‌های ذهنی‌شان را درک می‌کنند. آنانی که به ذهنیت دیگران نیز اعتماد می‌کنند یا بسیار راحت‌طلب‌اند یا به‌شدت ساده‌لوح. آنان، به‌طور فطری یا اکتسابی، سهوی یا عمدی، محتوم یا گریزناپذیر، نمی‌توانند موانع بسیاری را که در جادهٔ درک حقیقت است بشناسند.¹

۱.۱. مدل‌سازی سیستم‌های پویا

۱.۱.۱. ساخت مدل

این کتاب به باور ما در این مسئله ریشه دارد که اتکای مغرورانه، خودفریبانه و کورکورانه به علم دیگران به‌حقیقت فقط در صورتی ریشه‌کن می‌شود که ما توانایی‌های فکری خود در درک و مفاهیم مؤثر تجربه‌های گران‌بهای خود از جهان واقعی با دیگران را توسعه دهیم. نویسندگان این کتاب تلاش می‌کنند تا مسیری به‌سمت اندیشهٔ آزاد و متکی بر نگرش سیستمی را نشان دهند و شما را در به‌چالش کشیدن ذهنیت‌های خود و دیگران تشویق کنند.

مدل‌ها نقش محوری در درک ما از جهان دارند، چون آن‌ها امکان ارائه و دست‌کاری در پدیده‌های واقعی و سپس بررسی نتایج را برایمان فراهم می‌آورند. ما هر روز، هنگامی که در حال ارزیابی گزینه‌های قابل‌انتخاب بر مبنای تجربه‌های گذشته هستیم، مدل‌های علت‌ومعلولی می‌سازیم. به‌طورمثال، شما بهترین راه به‌سمت فروشگاه را براساس تجربه‌هایتان در راه‌های منتهی به آن تعیین می‌کنید. دانشمندان و نظریه‌پردازان نیز براساس تجربه‌های

1. J. Lichtenberg (1991). Objectivity and Its Enemies, *The Responsive Community*, Vol. 2, pp. 59-69.