



اصول و مبانی مدل‌های پویایی سیستم

جان . استرمن

مهندس مهدی اسنادی جعفری

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی و معماری

دکتر حسن جوانشیر

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب دانشکده مهندسی صنایع



انتشارات نشر بیان

۱۳۹۵

سرشناسه	: استرمن، جان Sterman, John
عنوان و نام پدیدآور	: اصول و مبانی مدل‌های پویایی سیستم / نویسنده جان د. استرمن؛ مترجمین مهدی استادی جعفری، حسن جوانشیر.
مشخصات نشر	: تهران: انتشارات شریانی، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۳۰۹ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-96312-1-6
وضعیت فهرست نویسی	: فیفا
یادداشت	: عنوان اصلی: Business dynamics : systems thinking and modeling for a complex world, c2000.
عنوان دیگر	: پویایی‌شناسی سیستم.
عنوان دیگر	: پویایی‌شناسی کسب و کار: تفکر سیستمی و مدل‌سازی برای جهانی پیچیده.
موضوع	: مدل‌سازی تصمیم‌گیری
شناسه افزوده	: استادی جعفری، مهدی، ۱۳۶۳ - مترجم
شناسه افزوده	: جوانشیر، حسن، ۱۳۴۳ - مترجم
رده‌بندی کنگره	: ۹۱۳۶ / ۲۳۰ / HD۲
رده‌بندی دیویی	: ۶۰۳۸ / ۱۶۵۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۲۳۶۴۱۷

اصول و مبانی مدل‌های پویایی سیستم



نویسنده: جان د. استرمن

مترجمین: مهندس مهدی استادی جعفری، دکتر حسن جوانشیر

ناشر: انتشارات شریانی

صفحه‌آرایی: آتلیه طرح نگار پارسی (tnparsy@yahoo.com)

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول - تابستان ۱۳۹۵

بهاء: ۲۴۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-96312-1-6

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۶۳۱۲-۱-۶

نشانی انتشارات: تهران، خیابان انقلاب اسلامی، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت)،

۶۶۴۷۸۲۳۶ و ۶۶۴۷۵۰۵۳

بن بست مبین شماره ۶، واحد ۵

فروشگاه اینترنتی: www.shpub.ir

حق چاپ برای ناشر محفوظ است و هرگونه استفاده به هر شکل بدون اجازه کتبی ناشر پیگرد قانونی دارد.

فهرست

۱۱	مقدمه
۱۵	فصل ۱: پیشگفتار
۱۵	۱-۱ مقدمه
۱۷	۱-۱-۱ مقاومت سیاست، قانون پیامدهای پیش نی نشده و رفتار غیرشهودی سیستم‌های اجتماعی
۲۱	۱-۱-۲ علل مقاومت در برابر سیاست
۲۳	۱-۱-۳ بازخورد
۲۵	۱-۱-۴ نقطه فرآیند: مفهوم بازخورد
۲۵	۱-۲ یادگیری، یک فرآیند بازخوردی است
۳۱	۱-۳ موانعی در برابر یادگیری سیستم
۳۱	۱-۳-۱ پیچیدگی مربوط به پویایی
۳۵	۱-۳-۲ اطلاعات محدود
۳۶	۱-۳-۳ متغیرهای درآمیخته و مبهم
۳۷	۱-۳-۴ عقلانیت محدود و درک نادرست بازخورد
۳۸	۱-۳-۵ نقشه‌های شناختی معیوب
۳۹	۱-۳-۶ استنباط‌های نادرست درباره پویایی
۴۰	۱-۳-۷ استدلال غیرعلمی: سوگیری‌ها و خطاهای داوری
۴۱	۱-۳-۸ موانع میان فردی و روال‌های تدافعی در برابر یادگیری
۴۲	۱-۳-۹ نقص در اجرا
۴۲	۱-۴ شرایط یادگیری موفق در سیستم‌های پیچیده
۴۲	۱-۴-۱ بهبود فرآیند یادگیری: مزایای دنیای مجازی
۴۴	۱-۴-۲ دام‌های دنیای مجازی
۴۵	۱-۴-۳ چرا شبیه‌سازی ضروری است؟
۴۷	۱-۵ خلاصه

فصل ۲: مدل پویایی‌های سیستم در عمل.....	۴۹
۱-۲ استراتژی لیزینگ خودرو: امروز می‌روند، فردا برمی‌گردند.....	۵۰
۲-۱-۱ فرضیه پویا.....	۵۲
۲-۱-۲ حرفه‌ای کردن مدل.....	۵۷
۲-۱-۳ تجزیه و تحلیل سیاست.....	۶۰
۲-۱-۴ آثار و نتایج.....	۶۴
۲-۲ به موقع و مطابق با بودجه: پویایی‌های مدیریت پروژه.....	۶۶
۲-۲-۱ مطالبه خسارت.....	۶۷
۲-۲-۲ ایجاد مدل اولیه.....	۶۸
۲-۲-۳ فرضیه پویایی‌های سیستم.....	۶۹
۲-۲-۴ فرآیند مدل‌سازی.....	۷۲
۲-۲-۵ اثر دائمی.....	۷۶
۲-۳ اجرای طرح تعمیر و نگهداری.....	۷۷
۲-۳-۱ فرضیه پویایی‌های سیستم.....	۷۹
۲-۳-۲ نتایج.....	۸۶
۲-۴ خلاصه: اصول استفاده موفق از مدل پویایی‌های سیستم.....	۸۷
فصل ۳: فرآیند مدل‌سازی.....	۹۱
۳-۱ هدف مدل‌سازی.....	۹۱
۳-۲ مشتری و مدل ساز.....	۹۲
۳-۳ گام‌های فرآیند مدل‌سازی.....	۹۴
۳-۴ تکرارپذیری فرآیند مدل‌سازی.....	۹۴
۳-۵ بررسی اجمالی از فرآیند مدل‌سازی.....	۹۸
۳-۵-۱ بیان مسئله: اهمیت هدف.....	۹۸
۳-۵-۲ فرموله کردن یک فرضیه پویا.....	۱۰۱
۳-۵-۳ تنظیم یک مدل شبیه‌سازی.....	۱۰۵
۳-۵-۴ تست کردن مدل.....	۱۰۶
۳-۵-۵ سیاست طراحی و ارزیابی.....	۱۰۶
۳-۶ خلاصه.....	۱۰۶
فصل ۴: ساختار و رفتار مدل پویایی‌های سیستم.....	۱۰۹
۴-۱ شکل‌های پایه رفتارهای پویا.....	۱۰۹
۴-۱-۱ رشد نمایی.....	۱۱۰

۱۱۲	۴-۱-۲ رشد هدف جو
۱۱۴	۴-۱-۳ رفتار نوسانی
۱۱۷	۴-۱-۴ نکته عملی
۱۱۸	۴-۲ تعاملات بین رفتارهای پایه
۱۱۸	۴-۲-۱ رشد S شکل
۱۲۱	۴-۲-۲ رشد S شکل همراه با جهش
۱۲۱	۴-۲-۳ جهش و نزول
۱۲۴	۴-۳ دیگر شکل‌های رفتاری
۱۲۵	۴-۳-۱ حالت ارتعاش یا تعادل
۱۲۵	۴-۳-۲ تصادفی بودن
۱۲۶	۴-۳-۳ آشوب
۱۲۹	۴-۴ خلاصه
۱۳۱	فصل ۵: نمودارهای حلقه سببی
۱۳۱	۵-۱ نمادگذاری نمودار حلقه سببی
۱۳۶	۵-۲ نکاتی در رابطه با نمودارهای حلقه سببی
۱۳۶	۵-۲-۱ علت در برابر همبستگی
۱۳۷	۵-۲-۲ علامت گذاری قطبیت روابط
۱۳۷	۵-۲-۳ تعیین قطبیت حلقه‌ها
۱۴۰	۵-۲-۴ حلقه‌های خود را نام گذاری کنید
۱۴۲	۵-۲-۵ تأخیرهای مهم را روی روابط علتی نمایش دهید
۱۴۵	۵-۲-۶ نام متغیرها باید اسم یا عبارت اسمی باشد
۱۴۵	۵-۲-۷ نکاتی در مورد چیدمان نمودارهای حلقه سببی
۱۴۶	۵-۲-۸ مناسب ترین سطح جزئیات را انتخاب کنید
۱۴۶	۵-۲-۹ تمامی حلقه‌ها را در یک نمودار بزرگ جا ندهید
۱۴۷	۵-۲-۱۰ اهداف حلقه‌های منفی را به طور صریح مشخص کنید
۱۴۸	۵-۲-۱۱ بین شرایط واقعی و پنداری تفاوت قائل شوید
۱۴۹	۵-۳ مطالعه موردی مفهوم سازی: مدیریت برنامه کاری
۱۴۹	۵-۳-۱ تعریف مسئله
۱۵۰	۵-۳-۲ تعیین متغیرهای کلیدی
۱۵۰	۵-۳-۳ توسعه رفتار مرجع
۱۵۲	۵-۳-۴ توسعه نمودارهای علی - سببی
۱۵۶	۵-۳-۵ محدودیت‌های نمودارهای علتی
۱۵۸	۵-۴ دست نامرئی آدم اسمیت و ساختار بازخوردی بازارها

۱۶۱	۴-۱ مدل‌های ذهنی برای مسئله ترافیک
۱۶۴	۴-۲ بازخورد جبرانی؛ واکنش به کاهش تراکم ترافیک
۱۶۹	۴-۳ ماریچ مرگ وسایل حمل و نقل همگانی
۱۷۱	۵-۵ تحلیل سیاست: تاثیر فناوری
۱۷۲	۵-۱ بازخورد جبرانی: منبع مقاومت در برابر سیاست
۱۷۴	۵-۶ خلاصه
۱۷۵	فصل ۶: متغیرهای حالت و جریان
۱۷۵	۶-۱ متغیر حالت، جریان و تجمع
۱۷۶	۶-۱-۱ ترسیم نمودار برای متغیرهای حالت و جریان
۱۷۷	۶-۱-۲ یادگیری ریاضی متغیرهای حالت و جریان
۱۷۸	۶-۱-۳ استفاده از متغیر حالت در پویایی‌های سیستم
۱۷۹	۶-۲ شناسایی متغیر حالت و جریان
۱۸۰	۶-۲-۱ واحد اندازه‌گیری در متغیر حالت و جریان
۱۸۰	۶-۲-۲ نمایش لحظه‌ای در زمان
۱۸۱	۶-۲-۳ متغیرهای کمکی
۱۸۳	۶-۲-۴ تغییر متغیر حالت تنها از طریق تغییر نرخ آنها
۱۸۳	۶-۲-۵ زمان دایمی و جریان‌های لحظه‌ای
۱۸۴	۶-۲-۶ از کدام روش مدل‌سازی باید استفاده کنیم
۱۸۴	۶-۳ خلاصه
۱۸۷	فصل ۷: بستن حلقه‌ها؛ ساختارهای ساده پویا
۱۸۷	۷-۱ سیستم‌های مرتبه اول
۱۸۸	۷-۲ بازخورد مثبت و رشد توانی
۱۸۹	۷-۲-۱ راه حل تحلیلی برای سیستم خطی مرتبه اول
۱۹۰	۷-۲-۲ راه حل گرافیکی خطی مرتبه اول سیستم بازخوردی مثبت
۱۹۱	۷-۲-۳ توان بازخورد مثبت: دوبرابر کردن دفعات
۱۹۱	۷-۲-۴ سوء برداشت‌ها از رشد توانی
۱۹۲	۷-۲-۵ نقطه فرآیند: غلبه بر پیش اعتماد
۱۹۴	۷-۳ بازخورد منفی و واپاشی توانی
۱۹۶	۷-۴ سیستم‌های چندحلقه‌ای
۱۹۹	۷-۵ سیستم‌های مرتبه اول غیرخطی: رشد S شکل

فصل ۸: رشد S شکل: همه‌گیری‌ها، انتشار نوآوری و رشد محصولات جدید	۲۰۱
۸-۱ مدل‌سازی رشد S شکل	۲۰۲
۸-۱-۱ رشد لجستیک	۲۰۲
۸-۱-۲ راه‌حل تحلیلی معادله لجستیک	۲۰۴
۸-۱-۳ سایر مدل‌های رایج رشد	۲۰۵
۸-۱-۴ آزمون مدل لجستیک	۲۰۶
۸-۲ پویایی‌شناسی بیماری‌ها: مدل‌سازی همه‌گیری‌ها	۲۰۷
۸-۲-۱ مدل ساده یک بیماری واگیردار	۲۰۸
۸-۲-۲ مدل‌سازی بیماری‌های حاد: مدل SIR	۲۱۰
۸-۲-۳ رفتار مدل: نقطه رأسی	۲۱۳
۸-۲-۴ ایمن‌سازی و ریسک‌کننده	۲۱۶
۸-۲-۵ ایمنی عمومی	۲۱۸
۸-۳ انتشار نوآوری به منابع: مدل‌سازی ایده‌های نو و محصولات جدید	۲۲۱
۸-۳-۱ مدل لجستیک انتشار نوآوری: مدل‌ها	۲۲۳
۸-۳-۲ نکته عملی: برازش و اعتبارسنجی مدل	۲۲۹
۸-۳-۳ مدل انتشار باس	۲۳۳
۸-۳-۴ رفتار مدل باس	۲۳۵
۸-۳-۵ خریدهای جایگزین	۲۳۷
۸-۴ خلاصه	۲۴۰
فصل ۹: مدل‌سازی تصمیم‌گیری	۲۴۳
۹-۱ قوانین مدل‌سازی تصمیم‌گیری	۲۴۳
۹-۲ تصمیمات و قوانین تصمیم‌گیری	۲۴۴
۹-۳ پنج اصل فرمولبندی	۲۴۶
۹-۴ خلاصه	۲۵۱
فصل ۱۰: مدل‌سازی رفتار انسانی: عقلانیت محدود شده یا انتظارات معقول؟	۲۵۳
۱۰-۱ تصمیم‌گیری انسانی: عقلانیت محدود یا انتظارات معقول؟	۲۵۳
۱۰-۲ محدودیت‌های شناختی	۲۵۵
۱۰-۳ واکنش‌های سازمانی و فردی به عقلانیت محدود	۲۵۷
۱۰-۳-۱ عادت، امور عادی و حساب سر انگشتی	۲۵۷
۱۰-۳-۲ توجه مدیریتی	۲۵۸
۱۰-۳-۳ هدف‌گذاری و به انجام رساندن آن	۲۵۸

۲۵۹	۴-۳-۱۰ تجزیه مسئله و تصمیم‌گیری نامتمرکز
۲۶۰	۴-۱۰ عقلانیت مورد انتظار
۲۶۱	۴-۱۰-۱ آزمون برای عقلانیت محدود شده
۲۶۲	۵-۱۰ مطالعه موردی: مدل‌سازی رشد شرکت‌های با فناوری پیشرفته
۲۶۳	۵-۱۰-۱ ساختار مدل: بررسی
۲۶۴	۵-۱۰-۲ تکمیل سفارش
۲۶۷	۵-۱۰-۳ خریداری ظرفیت
۲۷۴	۵-۱۰-۴ نیروهای فروش
۲۷۶	۵-۱۰-۵ بازار
۲۷۸	۵-۱۰-۶ رفتار سیستم کامل
۲۸۲	۶-۱۰ خلاصه

۲۸۳	فصل ۱۱: اعتبارسنجی و آرایش مدل
۲۸۴	۱۱-۱ اعتبار و تایید غیر ممکن است
۲۸۸	۱۱-۲ سوال‌هایی که کاربران مدل باید پرسند، اما معمولاً نمی‌پرسند
۲۸۸	۱۱-۳ سیاست‌ها و کاربردهای استفاده از مدل
۲۸۹	۱۱-۳-۱ انواع داده‌ها
۲۹۱	۱۱-۳-۲ مستند سازی
۲۹۱	۱۱-۳-۳ قابلیت شبیه‌سازی
۲۹۲	۱۱-۳-۴ مدل‌سازی محافظتی در مقابل مدل‌سازی شفاف
۲۹۲	۱۱-۴-۱ آزمایش مدل‌ها به صورت عملی
۲۹۳	۱۱-۴-۱-۱ آزمایش‌های مناسب بودن مرزها
۲۹۳	۱۱-۴-۱-۲ آزمایش ارزیابی ساختار
۲۹۴	۱۱-۴-۱-۳ ثبات (سازگاری) ابعاد (دیماسیون‌ها)
۲۹۴	۱۱-۴-۱-۴ ارزیابی پارامترها
۲۹۵	۱۱-۴-۱-۵ تست‌های شرایط ویژه
۲۹۶	۱۱-۴-۱-۶ تست‌های خطا در انتگرال‌گیری
۲۹۶	۱۱-۴-۱-۷ تست‌های بازسازی رفتاری
۲۹۹	۱۱-۴-۱-۸ آزمایش‌های نابسامانی رفتاری
۳۰۰	۱۱-۴-۱-۹ تجزیه و تحلیل حساسیت
۳۰۲	۱۱-۵ خلاصه

۳۰۵	فصل ۱۲: چالش‌های آینده
۳۰۵	۱۲-۱ نظریه

۳۰۶	 ۲-۱۲ فناوری
۳۰۹	 ۳-۱۲ اجرا
۳۱۰	 ۴-۱۲ آموزش مدل‌سازی پویایی‌های سیستم و تفکر سیستمی
۳۱۱	 ۵-۱۲ کاربرد
۳۱۱	 ۶-۱۲ خلاصه

مقدمه

تغییرات روزافزون، شتابان اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در جوامع انسانی اگرچه دارای مزایا و محاسن قابل توجهی است، لیکن اثرات منفی و تبعات مخربی را بر سیستم‌های جوامع وارد نموده است. در این میان، فرایند تصمیم‌گیری و تصمیم‌گیری در خصوص سیستم‌های پیچیده نیازمند در نظرگیری ابعاد متعدد و متنوعی بود و لزوم جامعیت تحلیل موضوعات پیچیده به چشم می‌خورد.

پیش‌بینی رویدادهای آینده، همان‌طور که جامع‌نگری به آن‌ها یکی دیگر از نیازهای اساسی سیاست‌گذاران و متولیان شهری است، به همین دلیل، تکرار روش‌های متعددی از سوی محققین به منظور پاسخگویی به این دسته از موضوعات پیشنهاد شده است. در میان این روش‌ها، مدل‌های پویایی سیستم در قیاس با سایر مدل‌ها به واسطه در نظرگیری روابط علی و معلولی و بازخورد میان متغیرها و لحاظ نمودن تأخیر و یا اثرات غیریکسان پaramترها در طول زمان، روش مناسبی برای ارزیابی‌های بلندمدت قلمداد می‌شود.

مدل‌های پویایی سیستم می‌توانند وضعیت متغیر را در زمان تنها در انتها، بلکه در سایر زمان‌ها مورد بررسی قرار دهند و تأخیرهای زمانی آنی و طولانی را برای حیرت‌انگیز سایر پaramترها لحاظ نمایند. مطالعات نشان می‌دهد که این خصوصیت مدل‌های پویایی سیستم باعث شده تا بتواند روش مناسبی جهت ارزیابی‌های بلندمدت قلمداد شود. به طور کلی مزایا و راهبردهای اساسی مدل‌های پویایی سیستم در حل مسائل شامل موارد زیر می‌گردد:

- فراهم‌کننده دستورالعملی منطقی و سیستمی با قابلیت شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده
- آنالیزگر رفتار سیستم‌های پیچیده بر مبنای سیاست‌گذاری پیش‌بینی شده
- نمایش‌دهنده واقعی ارتباطات پویا، علی (سببی) و بازخوری عوامل موثر
- ساده، صریح، فراگیر و بسیار نزدیک به واقعیت بودن مدل‌های پویایی سیستم
- مناسب بودن نمودارهای خروجی این مدل‌ها جهت تحلیل، آنالیز و رفتارسنجی
- توانایی یکپارچه‌سازی نتایج حاصل از فرضیات جایگزین
- فرموله‌بندی، آزمایش و آنالیز ساختارهای پیشنهاد شده

- بیش صحیح از رفتار گزینه‌های سیاستی در ساختار مدل و مقایسه آنان
- انعطاف‌پذیری مدل‌های سیستم پویایی و ترسیم رفتار در طول زمان
- فراهم‌کننده ساختار و جایگاهی جهت ارتباط سایر رشته‌ها و علوم مختلف
- توانایی مدل‌سازی روابط غیرخطی و اعمال تأخیرهای رفتاری عوامل متعدد
- امکان‌پذیری مقایسه تأثیر اثرات هزینه و سود در سیاست‌های مطرح شده
- امکان آنالیز بلندمدت با دوره‌های زمانی مختلف
- قابلیت تطبیق پذیری این مدل‌ها با مفاهیم و نیازهای زیست‌محیطی و اجتماعی

تاریخچه سفارشی از مدل‌های سیستم پویایی به پژوهشی در زمینه برخی کاراکترهای مهم در رفتار سیستم‌های پیچیده اجتماع برمی‌گردد. فارستر^۱ به عنوان مبتکر روش سیستم پویایی دریافت که این سیستم‌ها می‌توانند رفتارهای بلندمدت را به خوبی مدل نمایند. به عنوان نمونه، هنگام گرم کردن دستانمان روی بخاری، اگر دستانمان خال گرم شود یا بسوزد، به سرعت دستانمان را می‌کشیم. در این وضعیت ما فقط باید یک سطح تغییرات را در نظر بگیریم. در این مثال، فاصله میان دستانمان (معلول) با بخاری (علت) به طور مستقیم با گرم شدن دستانمان ارتباط دارد، اما در علت‌ها و معلول‌های سیستم‌های اجتماعی فاصله‌های زمانی و مکانی بسیار زیادی وجود دارد؛ به طوری که میان آنها ممکن است تغییرات جریانات، نوسانات و تأخیرهای بسیاری باشد. این مسائل با مسئله‌های بدتر - قبل از بهتر^۲ تشدید می‌شود. این موضوع به این معناست که ممکن است یک سیاست در کوتاه‌مدت اثر منفی داشته و در بلندمدت اثر مناسب و خوبی داشته باشد.

مدل‌های پویایی سیستم روشی برای فهم انواع خاص و مشکلات پیچیده امروزی است که بر ساختار پویا و رفتار سیستم‌های ترکیبی از حلقه‌های بازخور درونی متمرکز شده است. این ساختار بیانگر چگونگی رابطه میان متغیرهای مدل‌ها بوده و دیاگرام‌های به کار رفته در این سیستم، سبب تشخیص ساختار علی - معلولی و کمک به آنالیز مسئله می‌شود. مدل‌های پویایی سیستم بر اساس این اصل که همه چیز به هم وابسته است و همه چیز در حال تغییر است^۳، بنیان‌گذاری شده است.

کتاب حاضر که برگرفته اثر «پویاشناسی کسب و کار»^۴ نوشته آقای جان دی استرمن^۵ استاد سرشناس دانشکده ام‌آی‌تی و از شاگردان سرشناس پروفیسور فارستر است، بر اساس روش پویا شناسی سیستم‌ها تنظیم شده است. این کتاب پژوهشگران را قادر می‌سازد تا بتوانند تحلیلی دقیق از ابعاد و مولفه‌های مدل‌های پویا داشته باشند. شاید بتوان گفت که ویژگی منحصر بفرد این کتاب، بررسی دقیق و جامع ابعاد و

1. Forrester

2. Worse – before – better Developments

3. Business Dynamics

4. John D. Sterman

مولفه‌ها مربوط به پویایی سیستم است، به گونه‌ای که پژوهشگران و برنامه‌ریزان بتوانند این اطلاعات را جهت مدلسازی، تحلیل سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی با در نظرگیری متغیر زمان، به راحتی مورد استفاده قرار دهند.

این کتاب در ۱۲ فصل تدوین شده است. در فصل اول کلیات و مفاهیم اساسی به کار رفته در کتاب مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل دوم، مروری بر مدل پویایی‌های سیستم در عمل صورت پذیرفته است. پس از آن در فصل سوم، فرآیند مدلسازی مورد بررسی قرار گرفته است. فصل چهارم به ساختار و رفتار مدل پویایی‌های سیستم پرداخته شده است. در ادامه، در فصل پنجم، نمودارهای حلقه سببی بیان گردیده است. در فصل ششم، خلاصه متغیرهای حالت و جریان ارائه گردیده است.

در فصل هفتم، بستن حلقه‌ها؛ ساختارهای ساده پویا بیان گردیده است و پس از آن در فصل هشتم بیان رشد S شکل همه‌گیری‌ها، انتشار نوآوری و رشد محصولات جدید صورت پذیرفته است. در فصل نهم، موضوعی با عنوان مدلسازی تصمیم‌گیری ارائه گردیده است. در فصل دهم مدلسازی رفتار انسانی (عقلانیت محدود شده انتظارات معقول) بیان شده است و پس از آن در فصل یازدهم اعتبارسنجی و آزمایش مدل بیان گردیده است. در پایان هر فصل دوازدهم به چالش‌های آینده و ارائه توصیه‌های کاربردی در تحقیقات و مطالعات آتی اختصاص داده شده است. امید است که مطالب ارائه شده در کتاب حاضر بتواند در بیان ابعاد مدل‌های پویایی سیستم مورد واقع شده و در مدلسازی رفتار آتی و انتخاب سناریوهای مربوط به مطالعات و پروژه‌ها کارگشا باشد.

انتظار می‌رود این کتاب برای دانشجویان تمامی گرایش‌های مدیریت، مهندسی عمران، زیست‌شناسی و پزشکی، انرژی و محیط زیست، علوم اجتماعی و مهندسی صنایع و تمامی محققان و علاقمندان در حوزه برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مفید واقع گردد. لذا، جهت بهره‌برداری کیفی از کتاب حاضر، از تمامی خوانندگان محترم تقاضا می‌شود که در صورت مشاهده کاستی در کتاب، موارد را جهت اصلاح به ما منتقل نمایند. در پایان، مترجمین از زحمات تمامی دست‌اندرکاران آماده‌سازی و چاپ این اثر را به خصوص جناب آقای شریانی مدیر مسئول محترم انتشارات شریانی تشکر می‌نمایند.

دکتر حسن جوانشیر^۱

مهندس مهدی استادی جعفری^۲

تابستان ۱۳۹۵

۱. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، دانشکده مهندسی صنایع، h.javanshir@azad.ac.ir

۲. دانشجوی دکترای شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده هنر و معماری،

mahdi.ostadijafari@srbiau.ac.ir