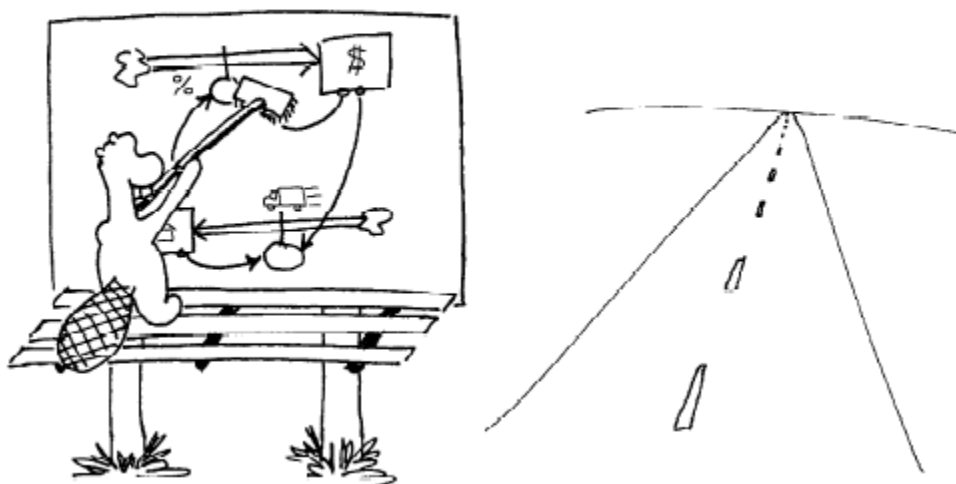


نقشه راه ۵

راهنمای یادگیری پویایی سیستم ها



پویایی سیستم ها در پروژه آموزشی

Road Map 5

به نقشه راه پنجم خوش آمدید!

نقشه راه‌ها، راهنمایی برای مطالعه شخصی به منظور یادگیری اصول و قواعد پویایی سیستم‌ها و تمرین آن‌ها هستند. نقشه راه پنج، پنجمین فصل در سری فصل‌های نقشه راه‌ها است. در نقشه راه‌های اول تا سوم شناخت وسیعی از پویایی سیستم‌ها به شما ارائه و بر عناصر سازنده مدل‌ها تمرکز شد: حلقه‌های بازخور مثبت و منفی. در نقشه راه چهارم به وسعت بخشیدن درک شما با معرفی ساختارهای عمومی، تحلیل خط مشی‌ها و بازیهای شبیه‌سازی کامپیوتری و تراژدی عوام.

در نقشه راه پنج به کشف و به چالش کشیدن درک شما از پویایی سیستم‌ها که در نقشه راه‌های یک تا چهار ساخته شده، پرداخته میشود. به طور مشخص، در نقشه راه پنجم مدل‌سازی تاخیرها، شبیه‌سازی ذهنی رشد S-شکل، ساختارهای عمومی تولیدکننده رشد S-شکل، پویایی شیوع یک اپیدمی، و مفهوم صحت و اعتبار مدل معرفی خواهند شد. همچنین شما به تمرین و تقویت مهارت‌های یکپارچگی گرافیکی تان خواهید پرداخت. توصیه می‌کنیم پس از پایان نقشه راه پنجم، کتاب *Beyond the Limits*، که کتابی بینش آفرین در مورد لزوم گذار به یک دنیای پایدار است را بخوانید.

موضوعات مورد بحث در نقشه راه پنج:

Graphical Integration Exercises

-*Graphical Integration Exercises Part 2: Ramp Functions* (D-4571)

by Kevin Agatstein and Lucia Breierova

An Introduction to Delays in Computer Modeling

-*Answers to Exercises for Chapter 17: Introduction To Delays from Introduction to Computer Simulation: A System Dynamics Modeling Approach* (D-4415)

by Kamil Msefer and Mark Choudhari

Beginner Modeling Exercises

-*Beginner Modeling Exercises Section 5: Mental Simulation of Combining Feedbacks in First Order Systems* (D-4593-1)

by Laughton Stanley and Helen Zhu

Transferability of Structures

-*Generic Structures: S-Shaped Growth I* (D-4432)

by Terri Duhon and Mark Glick

Model Validity

-*Dynamic Simulation Models: How Valid Are They?* (D-4463)

by Ray C. Shreckengost

The Spread of an Epidemic: S-Shaped Growth

-*Teaching System Dynamics: Looking at Epidemics* (D-4243)

by Will Glass

Graphical Integration Exercises

-*Graphical Integration Exercises Part 3: Combining Flows* (D-4596)

by Kevin Agatstein and Lucia Breierova

Limits to Growth

-Beyond the Limits

by Donella Meadows, Dennis Meadows, Jorgen Randers

آنچه در مطالعه نقشه راه پنجم مورد نیازتان خواهد بود:

نرم افزار مدل سازی

به منظور اتمام نقشه راه پنج و باقی نقشه راهها، شما نیاز به یک نرم افزار مدل سازی خواهید داشت. راهنمایی های موجود در نقشه راهها و اکثر مقالاتی که در کنار نقشه راهها ذکر شده اند با استفاده از نرم افزار STELLA II برای سیستم عامل مکینتاش نوشته شده اند. STELLA II برای هر دو سیستم عامل ویندوز و مکینتاش موجود است. اگر سئوالی در مورد نرم افزار STELLA دارید می توانید با شرکت High Performance Systems (به پیوستها مراجعه کنید) تماس گرفته و همچنین در خصوص قیمت این نرم افزار برای استفاده آموزشی نیز سئوال کنید.

Vensim، Powersim و DYNAMO سایر نرم افزارهایی هستند که برای ساختن مدلهای پویایی سیستمها، نوشته شده اند. Vensim توسط شرکت Ventana Systems تولید شده است که یک نسخه رایگان مقدماتی به نام Vensim PLE ارائه میدهد که از وبسایت آن قابل دانلود است. برای اطلاعات بیشتر در خصوص نحوه دسترسی به نرم افزارهای Vensim و Powersim به پیوستها مراجعه کنید.

توجه (نوشته شده در ژوئن سال ۲۰۰۰):

در هر بخش از نقشه راهها که شامل مدل سازی کامپیوتری است، ما راهنمایی برای استفاده از نرم افزار Vensim نوشته ایم. هر راهنما در پشت مستند تمرینها وجود دارد. در زمانی که فصل ۹-۱ نقشه راهها نوشته میشد، نرم افزار STELLA رایج ترین نرم افزار مدل سازی موجود برای مبتدیان بود. اما اکنون شما می توانید از بین بسته های نرم افزاری متعدد موجود برای مدل سازی پویایی سیستمها انتخاب کنید. در صورتی که تمایل دارید اطلاعات بیشتری در خصوص نرم افزار Vensim داشته باشید لطفاً به وب سایت <http://www.vensim.com> مراجعه نمایید. نسخه رایگان این نرم افزار که Vensim PLE نام دارد، در این وب سایت قرار دارد.

برای اطلاعات بیشتر و دقیق تر برای استفاده از Vensim در نقشه راهها لطفاً به مقاله «راهنمای Vensim (D-4856)» در پیوست های انتهای نقشه راه مراجعه کنید.

از این پس با توجه به مقالات تکمیلی که برای سری نقشه راهها نوشته شده، برای تمرین های مدل سازی منحصر از نرم افزار Vensim استفاده خواهد شد.

کامپیوتر

برای استفاده از آخرین نسخه STELLA یعنی STELLA 5.0 بر روی سیستم عامل مکینتاش شما به یک کامپیوتر Apple Macintosh (با پردازنده 68020 و یا بالاتر و سیستم عامل نسخه 7.1 و یا بالاتر نیاز خواهید داشت. برای استفاده از STELLA 5.0 بر روی ویندوز شما به یک کامپیوتر شخصی IBM و یا سازگار با آن، با پردازنده سری 486 و یا بالاتر، سیستم عامل ویندوز نسخه 3.1 و یا بالاتر، با حداقل 8 مگابایت RAM و 16 مگابایت فضای هارد دیسک خالی نیاز خواهید داشت. نسخه های قدیمی تر STELLA نیز مشخصات مشابهی را نیاز دارند.

در هر دو حالت، اگر برنامه دارید که به مدل سازی ادامه دهید، ایده خوبی است که دسترسی به کامپیوتری با حافظه بیشتر، فضای هارد دیسک بیشتر و پردازنده قویتری داشته باشید.

کتاب

برای نقشه‌راه پنجم، شما به سه کتابی که در ادامه ذکر شده نیاز خواهید داشت. کتاب اول پیش تر در نقشه‌راه‌های قبلی نیز مورد نیاز بوده است. لطفا توجه داشته باشید که فصل‌های مورد نیاز از کتاب دوم از سرور SDEP به شکل الکترونیکی قابل دانلود هستند.

1. Roberts, Nancy, 1983. *Introduction to Computer Simulation*. Portland, Oregon: Productivity Press, 562 pp.
2. Meadows, Donella H., Dennis Meadows, Jørgen Randers, 1992. *Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future*. Post Mills, VT: Chelsea Green Publishing Co., 300 pp..

برای سفارش نسخه چاپی، می‌توانید با انتشارات Chelsea Green تماس بگیرید (به پیوسته‌ها مراجعه کنید).

چگونه از نقشه‌راه پنج استفاده کنید:

نقشه‌راه پنجم موضوعات مختلفی در پویایی سیستم‌ها را از طریق متون و تمرین‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد. قبل از هر متن یا تمرین توضیح کوتاهی از متن و مهمترین نکات آن وجود دارد. پس از هر متن یا تمرین و پیش از ادامه درس، نکات و ایده‌های اصلی را مشخص می‌کنیم.

هر فصل از نقشه‌راه‌ها شامل متونی است که مفاهیم اساسی پویایی سیستم‌ها را معرفی کرده یا آموخته‌های شما از مفاهیم معرفی شده را تقویت می‌کند. برخی دیگر از متون بر تمرین مهارت‌های کسب شده تمرکز کرده و به وسیله تکالیف و بازی‌های مختلفی آن‌ها را تقویت می‌نمایند. بیشتر فصل‌ها شامل مقالات برجسته‌ای از ادبیات حوزه پویایی سیستم‌ها هستند.

ما مفاهیم اساسی پویایی سیستم‌ها را در نقشه‌راه‌ها با نام *اصول سیستم معرفی خواهیم کرد*. این اصول به منظور تاکید بر اهمیت شان با قرار گرفتن در کادر از سایر قسمت‌های متن متمایز شده‌اند. تکرار اصول سیستم‌ها در نقشه‌راه‌ها به شما امکان می‌دهد که هر اصل را چند بار ببینید و مطالعه کنید. هر بار که یک اصل در نقشه‌راه تکرار می‌شود، شما چیزهایی جدید از آن اصل را بر آموخته‌های قبلی خودتان اضافه خواهید کرد. اصول سیستم‌ها، مرکز نقشه‌راه‌هاست که متون، تکالیف و مقالات حول آن سوار شده است.

به عنوان بخشی از روش آموزش حلزونی که ما در نقشه‌راه‌ها از آن استفاده می‌کنیم، اغلب مفاهیم ابتدا به طور خلاصه در فصول ابتدایی معرفی شده و در فصول بعدی با جزییات بیشتری تشریح خواهند شد. نقشه‌راه‌ها شامل تعدادی از مجموعه مقالات هستند که در فصول پیاپی گسترش می‌یابند. این مجموعه‌ها یا بر موضوع مشخصی از پویایی سیستم‌ها یا بر توسعه و تقویت مهارت خاصی تمرکز می‌کنند. این مجموعه‌ها با مقاله‌ای ساده شروع شده و با توسعه بیشتر ایده در فصول بعدی ادامه می‌یابند.

حالا بیایید که شروع کنیم!

معرفی تاخیرات:

- پاسخ تمرین‌ها فصل ۱۷ (معرفی تاخیرات)^۱ را از کتاب

¹ Kamil Msefer and Mark Choudhari, 1994. *Answers to Exercises for Chapter 17: Introduction to Delays (D4415)* from Roberts, Nancy, David Andersen, Ralph Deal, Michael Garett, and William Shaffer, 1983. *Introduction to Computer Simulation: A System Dynamics Approach*, Portland, Oregon: Productivity Press. (800) 394-6868. 562 pp. The models in Chapter 17 are translated from DYNAMO into STELLA and answers to the exercises are provided. This translation was done for the System Dynamics in Education Project, System Dynamics Group with approval from the authors, August 5, 26 pp.

Introduction to Computer Simulation (by Nancy Roberts, et al.)**A System Dynamics Modeling Approach****نویسندگان: Kamil Msefer and Mark Choudhari**

در فصل ۱۷ کتاب *Introduction to Computer Modeling* دو نوع مختلف از تاخیرات، تاخیرات مواد و تاخیرات اطلاعات مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. اگرچه، مدل‌های موجود در کتاب با زیان شبیه‌سازی DYNAMO نوشته شده‌اند و احتمالاً شما از STELLA و یا iTHINK استفاده می‌کنید، ما مدل‌ها را به منظور راحتی شما ترجمه کرده ایم. علاوه بر آن، مقاله کاربرد توابع تاخیراتی مانند SMTH1 در نرم افزار STELLA را نیز تشریح می‌کند. مقاله با کار خود را با شش تمرین مدل‌سازی آغاز نموده و راه حل‌ها و پاسخ‌ها را نیز در اختیار شما می‌گذارد. اگر شما می‌توانید معادلات نوشته شده در DYNAMO را بفهمید، مجبور نیستید که در زمان انجام این تمرین‌ها به این مقاله مراجعه نمایید، مگر آنکه بخواهید پاسخ‌های خودتان را با جواب‌های مقاله کنترل کنید.

اهمیت تاخیرات در شعری که در زیر آمده و به W.L. Everitt نسبت داده می‌شود، به خوبی مشخص شده است:

<i>There was a dachhund once so long</i>	یک زمانی سگی بود
<i>He hadn't any notion</i>	که هیچ تصویری نداشت
<i>How long it took to notify</i>	که چقدر طول میکشد
<i>His tail of an emotion.</i>	که دمش از احساس او باخبر شود

<i>And so it was that though his eyes</i>	و یک بار، هرچند که چشمانش
<i>Were filled with woe and sadness</i>	پر بود از غم و اندوه
<i>His little tail went wagging on</i>	اما دم کوچکش می‌جندید
<i>Because of previous gladness.</i>	از شادمانی قبلی او

حالا لطفاً فصل ۱۷ را بخوانید و تمرین‌های آن را انجام دهید.

پس از خواندن فصل ۱۷ ...

در فصل ۱۷ دلیل استفاده از توابع تاخیر در مدل‌سازی کامپیوتری توضیح داده شد و شما تجربه بیشتری در مدل‌سازی کامپیوتری کسب کردید. در جواب تمرین‌ها کاربرد برخی از دستورات STELLA، مانند SMTH1 تشریح شد. تفاوت بین تاخیر مواد و اطلاعات چیست؟ چه زمانی باید از آنها استفاده کرد؟ چه زمانی باید آنها را در مدل‌تان به کار ببرید؟ چرا تاخیر مهم است؟

اکنون ما دو اصل جدید سیستمی را با مثال‌هایی از فصلی که در کتاب *Introduction to Computer Simulation* خواندید معرفی خواهیم کرد.



اصل شماره ۱۰ سیستم‌ها:

حلقه های درجه اول^۱ رفتار نمایی از خود بروز میدهند.

حلقه های بازخور درجه اول همیشه شکل زمانی نمایی^۲ را نشان میدهند. به عنوان مثال راه حلی که برای تمرین شماره ۱ در *Answers to Exercises for Chapter 17* از *Introduction to Computer Simulation* ارائه شده (یا راه حل خودتان را) ببینید. سیستمی که در اینجا وجود دارد یک حلقه بازخور درجه اول است که یک مخزن با بازخور دارد. راه حل های آن برای مقادیر فوقانی^۳ یک رویکرد نمایی نشان میدهد. راه حل تمرین شماره ۵ نیز یک حلقه بازخور درجه اول بوده، و همچنین رفتار نمایی از خود نشان میدهد. تمامی راه حل های بازخور درجه اول در این فصل - و در همه جا - رشد یا زوال نمایی را به نمایش میگذارند.



اصل شماره ۱۱ سیستم ها:

حالت ها شرایط سیستم را به طور کامل توصیف می کنند.

راه حل تمرین شماره ۷، صفحات ۲۴ تا ۲۵ از *Answers to Exercises for Chapter 17: Introduction To Delays* در کتاب *Introduction to Computer Simulation* را ببینید.

دو متغیر حالت در آن وجود دارد: **Apartment in Construction** و **Total # of Apartments**. در ابتدا تعداد **Apartment in**

Construction صفر است و تعداد **Total # of Apartments** 10000 تا است. اینها حالت سیستم را کاملاً توصیف می کنند. مقادیر سایر متغیرها (متغیرهای نرخ) می توانند صرفاً با استفاده از مقادیر حالت ها و معادلات سیستم محاسبه شوند.

تمرین های مدل سازی مبتدی:

متن بعدی در نقشه راه پنجم، پنجمین متن از سری متنهای تمرین های مدل سازی مبتدی است. پیش از این شما یاد گرفتید که چگونه به شکل ذهنی سیستمهای بازخور مثبت و منفی، و همچنین سیستمهایی با جریان های ثابت را شبیه سازی نمایید. اکنون نگاهی خواهیم داشت به شبیه سازی ذهنی سیستم های درجه اول با بازخورهای ترکیبی.

^۱ First-Order
^۲ Exponential time shape
^۳ Upper value

• تمرین شماره ۵ مدل سازی مبتدی: شبیه سازی ذهنی بازخورهای ترکیبی در سیستم های درجه اول^۱

نویسندگان: Laughton Stanley and Helen Zhu

در مقاله پنجم مجموعه تمرینهای مدل سازی مبتدی شبیه سازی ذهنی سیستم هایی با هر دو حلقه بازخور مثبت و منفی تشریح میشود. چهار مثال مختلف از این نوع سیستم ها، نحوه شبیه سازی ذهنی رفتاری که آنها تولید می کنند مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. پاسخ تکالیف در انتهای مقاله آورده شده است.

حالا لطفا تمرین شماره ۵ مدل سازی مبتدی را انجام دهید.

پس از انجام تمرین شماره ۵ مدل سازی مبتدی ...

در این مقاله بیان گردید که سیستم هایی با بازخورهای مثبت و منفی می توانند چهار نوع رفتار مختلف از خود نشان دهند: تعادل، رشد نمایی، رشد مجانبی و رشد S-شکل. همچنین نحوه استفاده از شبیه سازی ذهنی برای پیش بینی رفتار این نوع سیستم ها تشریح شد. درک کامل مفاهیم معرفی شده در این مقاله، پیش از ادامه به بقیه نقشه راه، الزامی است.

قابلیت انتقال ساختارها^۲:

در نقشه راه چهارم، با ساختارهای عمومی در سیستم های بازخور مثبت و منفی درجه اول آشنا شدید و مطالبی در مورد آنها یاد گرفتید. ساختارهای عمومی، ساختارهایی هستند که در اغلب سیستم ها مشترک هستند. شما حالامی بینید که کدام ساختارهای عمومی رشد S-شکل را تولید مینمایند.

• ساختارهای عمومی: رشد S-شکل^۳

نویسندگان: Terri Duhon and Marc Glick

در این مقاله به توسعه مفهوم ساختارهای عمومی پرداخته شده و دو سیستم مختلف که رشد S-شکل تولید می کنند، ارائه میشود. مدل های STELLA II به منظور تشریح این واقعیت که ساختارهای عمومی در اغلب سیستم ها مشترک هستند، مورد استفاده قرار می گیرند. نمودارهای حلقه علی برای توضیح این موضوع که چرا ساختارهای عمومی بخصوصی، رفتار رشد S-شکل را تولید می کنند، مورد استفاده قرار خواهند گرفت. این مقاله برای تشریح رشد S-شکل در مدل های سیستم های مختلف بر قابلیت انتقال این دو ساختار تاکید می کند.

حالا لطفا ساختارهای عمومی: رشد S-شکل ۱ را بخوانید.

پس از خواندن ساختارهای عمومی: رشد S-شکل ۱ ...

این مقاله یک بار دیگر بر این موضوع تاکید کرد که در موارد متعددی، ساختار اساسی و پایه ای سیستم های مختلف یکسان است. آیا سیستم های دیگری به ذهن تان میرسد که که ساختار مشابهی که رشد S-شکل را تولید می کند، داشته باشند؟ قابلیت انتقال ساختار در پویایی سیستم ها موضوع مهمی است زیرا به شما این امکان را میدهد که رفتار سیستم های دیگر با ساختار عمومی پایه ای مشابه را، بر اساس دانش تان از سیستم های دیگری که با آنها آشنایی دارید، پیش بینی نمایید. درک و فهمیدن کامل دو ساختاری که در این مقاله معرفی شده، پیش از ادامه مطالعه مقاله بعدی ساختارهای عمومی، مهم است.

¹ Laughton Stanley and Helen Zhu, 1996. *Beginner Modeling Exercises Section 5: Mental Simulation of Combining Feedbacks in First Order Systems* (D-4593-1), System Dynamics in Education Project, System Dynamics Group, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, May 28, 28pp.

^۲ Transferability of Structures

³ Marc Glick and Terri Duhon, 1994. *Generic Structures: S-Shaped Growth I* (D-4432), System Dynamics in Education Project, System Dynamics Group, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, June 22, 25 pp.

اصل سیستمی که در ادامه بیان میشود درباره مخزن‌ها است که در نقشه‌راه‌های قبلی ارائه شده بود. اکنون یک بار دیگر آن را با استفاده از مثالی که در مقاله ساختارهای عمومی خواندید، بررسی می‌کنیم که بر اهمیت آن تاکید شود.

اصل شماره ۵ سیستم‌ها:

حالت‌ها^۱ تنها توسط نرخ‌ها^۲ تغییر می‌کنند.

به مدلی که در شکل 5a (و مشابه آن 5b) از **ساختارهای عمومی: رشد S-شکل ۱** رسم شده، نگاه کنید. توجه نمایید که **Rabbit Population** تنها توسط نرخ‌های **Births** و **Deaths** تغییر می‌کند. **Rabbit Population** با **Births** زیاد شده و با **Deaths** کم میشود. ولی هیچ متغیر دیگری حالت را تغییر نمی‌دهد. تنها نرخ‌ها می‌توانند حالت‌ها را تغییر دهند. حتی حالت‌ها هم نمی‌توانند یکدیگر و یا خودشان را تغییر دهند. مقدار فعلی سطح مخزن تنها با استفاده از مقدار قبلی آن و تغییری که توسط جریان‌های عمل‌کننده بر آن ایجاد میشود، محاسبه میگردد. مقدار قبلی سطح مخزن از دوره قبل انتقال می‌یابد. با جریان‌هایی که به مخزن وارد و از آن خارج میشوند در بازه زمانی عمل کردن آن‌ها، تغییر می‌کند. مقدار فعلی سطح مخزن به مقدار فعلی یا پیشین هیچ مخزن دیگری مستقیماً وابسته نیست.

اکنون اصل سیستمی جدیدی را به شما معرفی می‌کنیم.



اصل شماره ۱۲ سیستم‌ها:

در زیرسیستم‌های پایسته، متغیرها واحدهای اندازه‌گیری مشابهی دارند.

از اصل شماره ۶ سیستم‌ها به یاد بیاورید که مخزن‌ها در زیرسیستم‌های پایسته وجود دارند. محتویات مخزن‌ها نه به وجود می‌آیند و نه از بین می‌روند، تنها از طریق جریان‌ها بین مخزن‌ها جابه‌جا میشوند. مخازن متصل به هم در یک زیرسیستم پایسته، واحد اندازه‌گیری یکسانی دارند. به عنوان مثال، به مدل صفحه ۱۰ از **ساختارهای عمومی: رشد S-شکل ۱** نگاه کنید. واحد اندازه‌گیری هر دوی مخازن در مدل اپیدمی مردم هستند (هم سالم و هم مریض). واحد اندازه‌گیری برای هر دو مخزن موجود در مدل چرخه زندگی محصول جدید، مشتری است. مخزن‌های موجود در سیستم‌های پایسته واحدهای اندازه‌گیری یکسان دارند.

صحت و اعتبار مدل:

آیا تا به حال پیش آمده که به مدلی نگاه کنید و بخواهید بدانید که معتبر است یا نه؟ چگونه می‌توان فهمید که ساختار، اجزا یا مفروضاتی که در زمان ایجاد مدل استفاده میشوند معتبر هستند یا خیر؟ آیا راهی برای آزمایش صحت و اعتبار یک مدل وجود دارد؟

¹ Levels

² Rates

• مدل‌های شبیه‌سازی پویا: آن‌ها چه اندازه معتبر هستند؟^۱

نویسنده: Ray C. Shreckengost

در این مقاله، نویسنده آزمون‌های مفهومی ساختاری، رفتاری و خط‌مشی متعددی را تشریح می‌کند، که می‌توانند برای آزمایش صحت و اعتبار یک مدل مورد استفاده قرار گیرند. در ادامه به توضیح اینکه چرا این آزمون‌ها با آزمون‌های آماری سنتی تفاوت دارند، می‌پردازد.

در این مقاله، همچنین بر برخی از شیوه‌های خوب مدل‌سازی تأکید می‌شود، مانند تأکید بر شهود و قضاوت در تعریف ساختار یک مدل، به جای تکیه بر داده‌ها.

حالا لطفاً مدل‌های شبیه‌سازی پویا را بخوانید.

پس از خواندن مدل‌های شبیه‌سازی پویا ...

این مقاله، چند ابزار عالی برای کنترل صحت و اعتبار مدل‌هایی که در آینده خواهید ساخت، به شما پیشنهاد می‌کند. این آزمون‌ها برای نقد مدل‌هایی که دیگران ساخته‌اند نیز مفید هستند. هرچند، بایستی به خاطر داشته باشید که تنها یک راه درست برای مدل کردن یک موقعیت وجود ندارد و همان گونه که در مقاله گفته شد، مدل‌های معتبر و صحیح بسیاری، همانند اثر انگشت انسان‌ها وجود دارند. تنها چیزی که در نهایت صحت یک مدل را تعیین می‌کند، سودمندی آن برای کاربر است. در حین مدل‌سازی، تصور آنچه که می‌خواهید با مدل‌تان اثبات کنید و چگونگی خواهید آن را با استفاده از مدل‌تان نشان دهید، بسیار مهم است.

شیوع یک اپیدمی: رشد S-شکل:

در نقشه‌راه سوم، مدلی که رشد S-شکل را نشان می‌داد، دیدید. در نقشه‌راه پنجم، سیستمی را که دارای این رفتار، به صورت ذهنی شبیه‌سازی کرده، و در واقع با ساختار عمومی که آن را تولید می‌کند، آشنا شدید. در این بخش، شیوع یک اپیدمی را مدل‌سازی می‌کنیم. این چنین سیستمی نیز رشد S-شکل را تولید می‌کند، اما با ساختاری متفاوت از آنچه که پیش‌تر نشان داده شد.

• تدریس پویایی سیستم‌ها: نگاهی به اپیدمی‌ها^۲

نویسنده: William Glass-Husain

این مقاله مجموعه‌ای کامل از اطلاعات و پیشنهادات برای مدرسانی است که قصد دارند پویایی سیستم‌ها را به برنامه درسی کلاس شان اضافه کنند. مقاله شامل، یادداشت‌ها، تصاویر، کاربرگ‌ها و جزوات است. ما از شما می‌خواهیم که قسمت‌های مشخصی از این مقاله را مطالعه کنید، اما اگر به بقیه اطلاعات موجود علاقمند باشید، می‌توانید کل مقاله را مطالعه و مرور نمایید.

مقاله بازی اپیدمی را توصیف می‌کند، بازی که در آن "بیماری" از طریق دست دادن گسترش می‌یابد. با انجام این بازی، دانش آموزان درکی از پویایی اپیدمی‌ها به دست می‌آورند. پس از آن، می‌توانند بازی را در STELLA مدل‌سازی نموده و در مورد ساختار سیستم‌ها مطالبی بیاموزند.

صفحات ۱۸ و ۱۹ را بخوانید تا با مدل و بازی آشنا شوید. سپس به صفحه ۳۳ بروید و کلیه تکالیف را انجام دهید. شاید تکالیف در نگاه اول ساده به نظر برسند، اما آن‌ها مروری مهم بر حلقه‌های بازخور هستند.

¹ Raymond C. Shreckengost, 1984. Self-Report Methods of Estimating Drug Use: Meeting Current Challenges to Validity, *Dynamic Simulation Models: How valid are they?* (D-4463), NIDA Research Monograph 57, DHHS Publication No. (ADM)85-1402, May, 13 pp. Also available upon request from the System Dynamics Group, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.

² William Glass-Husain, 1991. *Teaching System Dynamics: Looking at Epidemics* (D-4243), System Dynamics in Education Project, System Dynamics Group, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, October 3, 54 pp.

در این مقاله از واژه های "حلقه تعدیل" و "حلقه تقویت" به ترتیب به جای "حلقه بازخور منفی" و "حلقه بازخور مثبت" استفاده شده است. واژه های متفاوت دلیل بر تفاوت معنی نیست؛ این واژه ها به منظور دوری کردن از معانی حرکت "مثبت" و "منفی"، که اغلب مدلسازان مبتدی آن را با معنی واقعی بازخور "مثبت" و "منفی" اشتباه می کنند، ابداع شده اند.

حالا لطفا تدریس مدل سازی پویا: نگاهی به اپیدمی ها را بخوانید.

پس از خواندن تدریس مدل سازی پویا: نگاهی به اپیدمی ها...

مقاله به تشریح این موضوع میپردازد که شیوع یک اپیدمی (یا یک شایعه، جک یا ...) ویژگی S-شکل دارد. توجه کنید که رفتار S-شکل می تواند توسط دو ساختار مختلف تولید شود. این رفتار در تمام سیستم هایی که چیزی در آن انتشار می یابد تا به نوعی حد (یا سقف) برسد، مشترک است. این حدها می توانند به سادگی تعداد افراد داخل یک اتاق، یا مساحت یک قطعه زمین باشد. مقاله توضیح می دهد که چرا سیستم با رشد نمایی آغاز شده و سپس به رفتار هدف گرا تغییر می کند. چه اتفاقی در سیستمی افتد که منجر به بروز چنین رفتاری میشود؟

اصل سیستمی که در ادامه بیان شده، اصلی است که قبلا آن را دیده اید. به منظور تاکید بر اهمیت آن، دوباره مرورش می کنیم.

اصل شماره ۵ سیستم ها:

مخزن ها تنها توسط جریان ها تغییر می کنند.

به مدلی که در صفحه ۲۰ پیوست ۳ از کتاب *نگاهی به اپیدمی ها* رسم شده، نگاه کنید. توجه نمایید که افراد سالم و افراد مریض تنها توسط نرخ عفونت های جدید تغییر می کنند. افراد سالم با این نرخ کاهش و افراد مریض افزایش می یابند. ولی هیچ متغیر دیگری حالت را تغییر نمیدهد. حتی حالت ها هم نمی توانند یکدیگر و یا خودشان را تغییر دهند.

مقدار متغیر حالت با تغییری که توسط متغیرهای نرخ در مقدار قبلی آن ایجاد می کنند، محاسبه میگردد. مقدار قبلی متغیر حالت از دوره قبل انتقال یافته و با نرخ هایی که در مدت زمان مداخله و عمل، به آن وارد شده یا از آن خارج می شوند تغییر می کند.

تمرین یکپارچه سازی گرافیکی:

نقشه راه های دوم و سوم یکپارچه سازی گرافیکی جریان های ثابت، جریان های توابع پله ای و جریان های خطی صعودی و نزولی را معرفی کردند. هرچند که در دو مقاله قبلی از مجموعه یکپارچه سازی گرافیکی، تنها سیستم هایی را دیدیم که یک جریان خاص داشتند. اما حالا توجه خود را به سمت سیستم هایی با جریان های ورودی و خروجی مجزا معطوف خواهیم کرد.

• تمرین شماره ۳ یکپارچه سازی گرافیکی: جریان های ترکیبی^۱

نویسندگان: Kevin Agatstein and Lucia Breierova

سومین مقاله در مجموعه تمرین های یکپارچه سازی گرافیکی، به تشریح متدهای یکپارچه سازی گرافیکی به منظور پیش بینی رفتار سیستم هایی که با یک جریان ورودی و یک جریان خروجی، میپردازد. نحوه محاسبه جریان خالص به شما نشان داده شده و سپس دانش شما از دو مقاله قبلی

¹ Kevin Agatstein and Lucia Breierova, 1996. *Graphical Integration Exercises Part 3: Combining Flows* (D4596), System Dynamics in Education Project, System Dynamics Group, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, March 14, 32 pp.

گسترش خواهد یافت که بتوانید مقدار یک مخزن را بیابید. پس از آن می‌توانید درک‌تان از این مفاهیم را با انجام تکالیف، محک بزنید. راه حل و پاسخ این تکالیف در انتهای مقاله آورده شده است.

حالا لطفا تمرین شماره ۳ یکپارچه سازی گرافیکی را انجام دهید.

پس از انجام تمرین شماره ۳ یکپارچه سازی گرافیکی ...

در این مقاله به تقویت و توسعه مهارت های استفاده از یکپارچه سازی گرافیکی به عنوان روشی برای پیش بینی رفتار مخزن، پرداخته شد. همچنین نحوه یافتن مقدار مخزن در نقطه مشخصی از زمان مرور شد. انجام کلیه تکالیف و درک کامل مفاهیم، پیش از شروع مقاله بعدی از این مجموعه، بسیار مهم و الزامی است.

محدودیت های رشد:

• فراسوی محدودیت ها^۱

نویسنده: *Donella Meadows et al.*

کتاب *فراسوی محدودیت ها* دنباله کتاب پر فروش *محدودیت های رشد*^۲ است که بیست سال پیش توسط همین نویسندگان نوشته شده بود. به نظر ما این کتاب آن اندازه مهم است که شما را به خواندن آن تشویق کنیم. در ادامه خلاصه ای از کتاب *فراسوی محدودیت ها* آورده شده که امیدواریم این خلاصه شما را به خواندن کتاب سوق دهد.

خلاصه: فراسوی محدودیت ها

در کتاب *فراسوی محدودیت ها*، از یک مدل پویایی سیستم به نام *WORLD3* استفاده شده است که محدودیت های زمین برای رشد جمعیت، منابع تجدیدناپذیر، آلودگی، تولید مواد غذایی و تولیدات صنعتی مورد تحلیل قرار گیرد. اولین کتابی که از مدل پویایی سیستم دنیا استفاده کرد، کتاب *پویایی های دنیا*^۳، نوشته شده توسط فارستر بود، که به همراه کتاب *محدودیت های رشد*، موجب جنجال بسیار و مناظره های عمومی گردید. این دنباله، به روزرسانی مدل و دلالت های آن را، بر اساس بیست سالی که از انتشار کتاب قبلی، *محدودیت های رشد*، میگذرد، در اختیار شما قرار میدهد.

استفاده از مدل *WORLD3*، این امکان را فراهم می‌کند که آینده را، با توانایی انتخاب مفروضات سیاست جهانی متفاوت، ببینید. مدل به شما اجازه میدهد که چیزهای مختلفی را امتحان کنید و سناریوهای متفاوتی را بیازمایید. سیاست‌هایی که نویسندگان آزموده اند به نتایجی انجامد که از نابودی دنیا تا امکان حفظ نژاد انسان، تفاوت دارند. نویسندگان در مورد اهمیت ایجاد توازن بین اهداف بلندمدت و کوتاه مدت، در تلاش برای گذار به یک جامعه پایدار، بحث می‌کنند. مشخصا کتاب به تغییرات امکان پذیری در وضعیت جامعه امان اشاره می‌کند که می‌تواند به پایداری جامعه کمک نماید.

کتاب بر این نکته تاکید می‌کند که نیروی محرکه ای که ما را به سمت وضعیت بالقوه از حد خارج شدن، سوق میدهد، رشد نمایی است. همانطور که تاکنون متوجه شده اید، رفتار رشد نمایی از شرایط بازخور مثبت منتج میشود.

¹ Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, 1992. *Beyond the Limits: Confronting Global Collapse Envisioning a Sustainable Future*, Post Mills, VT: Chelsea Green Publ. Co., 300 pp.

² Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows, Jørgen Randers, William W. Behrens III, 1992. *The Limits to Growth*, New York, New York: Universe Books, 205 pp.

³ Forrester, Jay W., 1971. *World Dynamics*, (1973 second ed.). Portland, Oregon: Productivity Press. 144 pp. Second ed. has an added chapter on physical vs. social limits.

در این دنباله، اطلاعاتی که در کتاب محدودیت های رشد گنجانده شده بود، به روزرسانی شده و چند بینش جدید مورد بحث قرار گرفته است. نابودی لایه ازن به عنوان مثالی از شرایط از حد خارج شدن ارائه شده است. نویسندگان با جزییات بیشتری به این داستان میپردازند و حد مشخصی از امیدواری را بر اساس واکنش جامعه بشری به این مشکل، بیان می کنند.

کل مدل نیز در این کتاب نمایش داده شده است. کل مدل به زیرسیستمهای مختلفی تقسیم شده و در نرم افزار STELLA نمایش داده میشود. (مدل اصلی در نرم افزار DYNAMO ایجاد شده بود). این کتاب در عین جذابیت، مثال خوبی است که قدرت کاربرد روش مدل سازی پویایی سیستم برای مشکلات و مسائل دنیای واقعی را به نمایش میگذارد.

به منظور ارائه تاریخچه ای از کتابهایی که به مدل جهان پرداخته اند (و بازنگریهای آن ها)، تعدادی از انتقادات متعدد و نظرات بسیاری که نسخه های منتشر شده ابتدایی کتاب های پویاییهای دنیا و محدودیت های رشد را احاطه کرد بودند را بررسی خواهیم کرد. این مسائل در طیف گسترده ای از نشریات و مطبوعات که از *Technology Review* تا *Playboy* را شامل میشد، منتشر شده بودند.

این کتاب های جنجال برانگیز الهام بخش مناظرات عمومی و مشوق دیگران در پیگیری مدلهای جهانی برای بررسی و مطالعه این مشکل شدند. *The Henoit Book Review* نوشته بود: "این کتاب چشمانتان را باز خواهد کرد، شروع دعوها شده و سیاستها و خط مشی های عمومی را تحت تاثیر قرار خواهد داد." ^۱ ویلیام بون در سال ۱۹۷۱ در *Fortune* اظهار داشت: "این سال، انتشاری به اهمیت انتشار کتاب پویایی های دنیای فارستر، یا کتابی که به اندازه آن نفرت و دوست نداشته شدن برانگیزد را به خود نخواهد دید." ^۲

عده ای از منتقدین، بر ساختار و مفروضات مدل تمرکز کرده بودند، در عین حال که عده ای دیگر نتیجه گیریها و توصیههایی که در خصوص سیاستها و خط مشیها در کتاب وجود داشت را مورد بررسی قرار داده بودند. همانطور که رابرت ژیلت در *Science* اظهار داشت: "مفروضات بسیاری وجود دارند که پایه ای ندارند و سطح تجمع بسیار بالایی در مدل وجود دارد." ^۳ رابرت سولو^۴، یک اقتصاددان دانشگاه MIT، و دیگر اقتصاددانها بر این باور بودند که مدل بدون یک سیستم قیمت گذاری معتبر نیست. به کتاب لقب پیش بینی های "روز قیامت" داده شد و برخی ادعا کردند که نویسندگان با نتیجهها کار را آغاز نموده و سپس راه خود را به شکل معکوس به سمت ساختار و بدون داده معتبر ادامه داده اند. ^۵ دیگر انتقادات در حال و هوای متفاوتی بودند. هنری والیچ، اقتصاددان دانشگاه Yale، گفت: این کتاب مزخرفی غیر مسئولانه و یک شیرین کاری تبلیغاتی است. ^۶ والیچ همچنین از طرفداران این نظریه بود که رشد فیزیکی (اقتصادی) معادل پیشرفت است. مارتین شایبک^۷ از دانشگاه Yale نیز کاملاً شکاک و بدبین بود: "با توجه به سطح فعلی در دانش اجتماعی، این کاملاً ساده انگارانه است."

در سوی دیگر، تعداد برابری از نظرات و بررسی های تحسین برانگیز وجود داشت. آنتونی لوپس در *New York Times* نوشت: "این کتاب به احتمال زیاد یکی از مهمترین مستندات عصر ماست..." ^۸ الیوت ریچاردسون، وزیر بهداشت، آموزش و رفاه گفت: "بسیار متفکرانه، بسیار کامل، مهمتر از آنکه بتوان آن را نادیده گرفت، حتی اگر به طور کامل درست نباشد." ^۹ ای. جی. میشان از بریتانیا شرایط جهانی را از روش کاملاً مورد مطالعه متفاوتی قرار داد و به نتیجه مشابه دست یافت. ^{۱۰} رابرت اس. ساندرز در *Stanford Journal of International Studies* اظهار

¹ Henoit Book Review, 1972, Vol. 126 America, p. 636.

² William Bowen, *Fortune*, Sept. 1971, Vol. LXXXIV, No. 3, p. 131.

³ Robert Gillette, *Science*, 10 Mar 1972, Vol. 175, No. 4026, p. 1088.

⁴ Robert Solow

⁵ Robert Solow, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, "Notes on Doomsday Models", Dec. 1972, Vol. 69, No. 12, 3833.

⁶ Henry Wallich, *Connecticut Review*, 1972, Vol. 6, No. 1, 7.

⁷ Martin Shubnik, *Science*, 3 Dec. 1971, Vol. 174, No. 4013, p. 1014.

⁸ Anthony Lewis, *The New York Times*, 4 Oct. 1973

⁹ Elliot Richardson, *Industrial Engineering*, Sep. 1972, Vol. 4, No. 9.

¹⁰ E.J. Mishan, *Connecticut Review*, 1972, Vol. 6, No. 1.

داشت که: "این کتاب تعدادی از مجادلات فلسفی را به شکلی چشم گیر و قانع کننده مطرح می کند" و ادامه داد: "این یک مقاله فنی یا علمی نیست، بلکه رساله فلسفی بسیار مهمی در مورد نقش بشر بر روی این سیاره است."¹

البته واکنش‌هایی از سوی نویسندگان نسبت به این انتقادات نیز اتفاق افتاد. این پاسخ‌ها اغلب توسط کسانی که کتاب را با حسن نیت مطالعه کرده بودند، حمایتی شدند. در پاسخ به حذف قیمت‌ها در مدل، نویسندگان به این نکته اشاره کردند که قیمت‌ها به شکل ذاتی و به دلیل ساختار آن در سیستم وجود دارند. آنها قبول داشتند که این یک مدل ایده آل نیست، اما این سؤال را مطرح کردند: "آیا موردی بهتر از این وجود دارد؟ که داده‌های بهتری تولید کند." آنها اصرار داشتند که مردم باید از این خواب و رویا بیدار شوند که رشد هیچ محدودیت و سقفی ندارد، آن‌ها حدس می‌زدند که مردم به راحتی از این ایده استقبال نخواهند کرد و به مذاقشان خوش نخواهد آمد. نویسندگان اصرار داشتند که رشد فیزیکی به ناچار باید به پایان خود برسد.

بدیهی است که این مدل‌ها و کتابها منجر به جنجال‌ها و بحث‌های بسیاری شدند. ما شما را تشویق می‌کنیم که کتاب *فراسوی محدودیت‌ها* را بخوانید و خودتان نتیجه‌گیری نموده و به مناظره‌های عمومی که مسائل و مشکلات مربوط به نسخه امروزی مدل را احاطه کرده، بپیوندید.

پایان نقشه راه پنجم

در نقشه راه پنجم طیف گسترده‌ای از مفاهیم حد متوسط پویایی سیستم از طریق متون و تمرین‌ها پوشش داده شد. تاخیرها در مدل‌های کامپیوتری با استفاده از فصل ۱۷ کتاب *Introduction to Computer Simulation* معرفی شدند. تاخیرها مفهوم مهمی در پویایی سیستم‌ها هستند که باید کاملاً درک شوند. شما به تقویت مهارت شبیه‌سازی ذهنی تان، بر روی سیستم‌های درجه اول با بازخور ترکیبی ادامه دادید. ساختارهای عمومی یا قابل انتقال، از طریق تشریح رشد S-شکل و دو ساختار مختلفی که منجر به این رفتار مشترک می‌شدند، توسعه داده شد. با مبحث صحت و اعتبار مدل در کتاب *مدلهای شبیه‌سازی پویا: آن‌ها چه اندازه معتبر هستند؟* و توسط آزمون‌های مختلف، که برای مدل‌های موجود یا آتی می‌تواند استفاده شود، آشنا شدید. همچنین پویایی شیوع یک اپیدمی را تشریح کردیم. چه سیستم‌های دیگری می‌توان با این روش ارائه نمود؟ شما همچنین به تمرین مهارت یکپارچه سازی گرافیکی تان به منظور پیش بینی رفتار سیستم‌هایی که دارای دو جریان مستقل ورودی و خروجی هستند، پرداختید. در نقشه راه پنجم اصول سیستمی جدیدی نیز معرفی شد: (۱) حلقه‌های درجه اول رشد نمایی از خود نشان می‌دهند. (۲) مخزن‌ها شرایط سیستم را به طور کامل تشریح می‌کنند. (۳) متغیرها در زیرسیستم‌های پایسته، واحدهای اندازه گیری یکسان دارند.

در نهایت، حالا شما بینشی از مجادله‌های دنیای واقعی مربوط به پویایی سیستم‌ها پیدا کردید که برای تحلیل سیاست‌ها و خط‌مشی‌ها کاربرد دارد. نویسندگان کتاب *فراسوی محدودیت‌ها* مکرراً ادعا کرده اند که نرخ افزایش رشد سیستم‌های جهان به مانند قبل نمی‌تواند ادامه پیدا کند. آنها چگونه این مدعا را توجیه می‌کنند؟ آیا می‌توانید مدرکی بیابید که پیشگویی‌های ایشان را حمایت کند یا آنها را زیر سؤال ببرد؟ سعی کنید در روزنامه‌ها به دنبال مثال بگردید.

نقشه راه ششم کاربرد پویایی سیستم‌ها در اقتصاد را تشریح کرده و ساختارهای عمومی بیشتری را معرفی می‌نماید. همچنین اولین تجربه کاملاً مستقل مدل‌سازی کامپیوتری را در این نقشه راه کسب خواهید کرد.

¹ Robert S. Saunders, *Stanford Journal of International Studies*.