Volume 2, Number 4,

Spring & Summer 2010

Journal of

Science & Technology Policy

Application of System Dynamics Approach in Higher Education Road Mapping and Policy Making Process

Adel Azar [1], Ameneh Khadivar[2*]

1. Professor of faculty of Management and Economy, Tarbiat Modares University
2. Ph.D student of system management , faculty of Management and Economy, Tarbiat Modares University

Abstract

In this paper we reviewed different approaches about road mapping in educational systems and studied the researches about using system dynamics approaches in science and technology studies. Then we introduced this approach as a suitable approach for developing roadmaps in higher educational systems .We modeled a subsystem about transmission between academic majors with system dynamic approach. After testing the model with different statistical techniques, we identified and analyzed the behavior of these majors. We also showed the ability of the model in developing and evaluating different policies for the future. At the end of the paper we presented a software that is designed and implemented for this purpose.

Key words: Road map, Modeling, Educational System, System Dynamics, Simulation

* Corresponding Author: **Khadivar@modares.ac.ir**

فصلنامه علمی- پژوهشی

سیاست علم و فناوری

سال دوم، شماره ۴، بهار و تابستان ۱۳۸۹

کاربرد رویکرد سیستم داینامیک در فرآیند ره نگاری و سیاست‌گذاری آموزش عالی

عادل آذر [۱]، آمنه خدیور [۲*]

۱- استاد دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری مدیریت سیستم، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

در این مقاله ابتدا مروری بر مبانی ره نگاری و سیاستگذاری در حوزه آموزش عالی صورت گرفته است. سپس با بررسی تحقیقاتی که از رویکرد سیستم داینامیک در امر سیاست‌گذاری و ره نگاری بهره برده اند، این رویکرد به عنوان رویکردی مناسب در ره نگاری نظام آموزش عالی معرفی شده است.در ادامه برای مدل سازی یک زیر سیستم از نظام آموزش عالی که عبارت از سیستم نقل و انتقالات بین رشته ای می باشد، از شبیه سازی سیستم داینامیک بهره‌گیری و اعتبار مدل با استفاده از روشهای شناخته شده آزمون شده است. نتیجه تستهای آماری نشان داد که مدل توانایی شبیه سازی رفتار سیستم را داراست، لذا با استفاده از مدل، رفتار رشته های مورد مطالعه استخراج و تحلیل شده و همچنین توانایی مدل در ارائه و ارزیابی سیاستهای مختلف برای آینده نشان داده شده است. در پایان مقاله نیز به معرفی سیستمی که به همین منظور طراحی و پیاده سازی شده، پرداخته شده است.

کلیدواژه‌ها: ره نگاری، مدل سازی، نظام آموزش عالی، سیستم داینامیک، شبیه سازی

۱ـ مقدمه

توصیف و ترسیم وضعیت فعلی نظام علم و فناوری در هر کشور پیش‌نیاز برنامه ریزی و ارائه ره‌نگاشت[1] در حوزه های آموزش، پژوهش و فناوری است [۱]. در این رابطه روشها و متدولوژیهای متعدد و متنوعی برای ارزیابی، سیاستگذاری، برنامه ریزی و ارائه ره نگاشت درباره نظام آموزش عالی ارائه شده اند[۲،۳]. پس از توصیف وضع موجود با توجه به رویکرد آینده نگارانه حاکم بر پارادایم برنامه‌ریزی راهبردی نیاز به توصیف وضعیت آتی و ارائه تصویری از آینده است که اجزای تشکیل دهنده این تصویر نیز همان شاخص ها و معیار های ارزیابی نظام آموزش عالی می باشند.

تعداد زیاد متغیرهایی که نظام آموزش عالی را تشکیل می‌دهند و رابطه های چند سویه و تاثیر گذاری و تاثیر پذیری زیاد بین این متغیر ها نشان میدهد که این سیستم از انواع سیستم های پیچیده[2] است که ارائه نقشه یا تصویری از وضعیت فعلی و آتی آن بسیار مشکل می باشد [۴، ۵].مسئله موقعی پیچیده‌تر می شود که پویایی‌های درون این سیستم را نیز علاوه بر تعداد زیاد متغیرها در نظر بگیریم، به عبارت دیگر نظام آموزش عالی نظامی است که هر لحظه در حال تغییر و تحول است. با این تفاسیر توصیف وضعیت آینده نیز امری بسیار بعید و مشکل به نظر می رسد. لذا یکی از مسائل پیش روی ره‌نگاری در حوزه آموزش عالی این است که تصمیم گیری در ارتباط با آینده منوط به داشتن اطلاعاتی از وضعیت آتی متغیرهای نظام آموزش عالی و یا دست کم اطلاع از روند تغییرات این متغیرهاست. مسئله دیگر آن است که سیاست-گذاران بتوانند تاثیرات اتخاذ یک تصمیم یا اعمال یک سیاست را بر روند تغییرات پارامترهای مهم نظام پیش‌بینی کنند. این متغیرها می توانند هر یک از متغیرهای زیرسیستمهای مختلف این نظام باشند. برای مثال، سیاست

*- نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Khadivar@modares.ac.ir

1- roadmap

2-Complex systems

اختصاص بودجه بیشتر به توسعه نیروی انسانی این نظام در چشم انداز بیست ساله چه تبعات علت و معلولی ایجاد خواهد کرد؟ یا تقویت و توسعه رشته‌های علوم انسانی باعث ایجاد چه روندهای جدیدی خواهد شد ؟

در سال‌های اخیر با توجه به استفاده از رویکرد های سیستمی در تجزیه و تحلیل نظام های پیچیده، فنون جدیدی راه به مطالعات علم و فناوری باز کرده اند که از آن میان می توان به تلاش های محققان مختلف برای بهره گیری از ابزار های پیشبینی آماری و غیر آماری، هوش مصنوعی، داده کاوی، شبیه سازی، سناریو سازی وغیره اشاره کرد[۳]. هدف انجام این تحقیق نشان دادن امکان پذیری استفاده از رویکرد سیستم داینامیک در ره‌نگاری و سیاست‌گذاری نظام آموزش عالی است. اما به دلیل حجم بالای متغیرها و تنوع آنها و در دسترس نبودن اطلاعات، در این تحقیق از رویکرد سیستم داینامیک (پویایی سیستم‌ها)[1] برای مطالعه، توصیف و ترسیم وضعیت فعلی و شبیه سازی وضعیت آینده یک مسئله از یک زیرسیستم این نظام (زیرسیستم نقل و انتقالات بین رشته ای) استفاده شده است.

در این مقاله مسئله پویایی تقاضای ورود به رشته های مختلف و جابجایی جمعیت دانشجویان بین رشته ها مد نظر قرار گرفته است. تصمیم‌گیری در خصوص متغیرهایی که درطول زمان بر تقاضای ورود به یک رشته تاثیر گذاشته و منجر به افزایش یا کاهش جمعیت در یک رشته می شوند باعث می‌شود تا پیش بینی جمعیت آتی متقاضی برای ورود به رشته های مختلف و متعاقباً سیاست گذاری برای آنها دشوار باشد. از طرف دیگر تغییرات ترکیب جمعیتی رشته ها که ناشی از تغییر رشته و ورود دانشویانی با زمینه های متفاوت است، مبنایی برای شکل گیری بین رشته ای هاست که پیش بینی انها در ره نگاری نظام آموزش عالی حائز اهمیت می باشد.

هدف از مطالعه این سیستم آن بوده است که بتوانیم وضعیت آتی این رشته ها را در دراز مدت تصویر کرده و تاثیر تغییرات در متغیر های مختلف بر وضعیت آتی این رشته های را ارزیابی کینم. هدف دیگر آن است که بتوانیم پس از شناخت دقیق این سیستم با استفاده از ابزار سیستم داینامیک با ایجاد تغییر در اجزای مدل، تاثیر سیاست های مختلف بر آینده سیستم را مشاهده کنیم، به نحوی که علاوه بر ارائه نقشه از وضعیت فعلی و وضعیت آتی بتوان به انتخاب سیاست مطلوب نیز پرداخت. در بخش پایانی مقاله نیز، یک مثال نرم‌افزاری ارائه شده است.

۲- پیشینه پژوهش

۲-۱ سیاست گذاری و ره‌نگاری[2] در حوزه آموزش عالی

ره‌نگاری به فرایند شناسایی، انتخاب و توسعه راه حل‌های ممکن برای ارضای مجموعه‌ای از نیازها اطلاق می شود. این فرایند مجموعه‌ای از متخصصان را در کنار همدیگر قرار می‌دهد تا چارچوبی را برای سازماندهی و ارائه اطلاعات مهم و حیاتی حوزه آموزش عالی فراهم آورد. با فرض اینکه مجموعه‌ای از نیازها وجود داشته باشد، فرایند ره نگاری روشی را برای توسعه، سازماندهی و ارائه اطلاعات در خصوص نیازمندیهای مهم و مطلوبیت‌های عملکردی در یک چارچوب زمانی مشخص ارائه می کند. این فرایند همچنین رویه هایی را شناسایی می‌کند که برای برآورد اهداف و مطلوبیتها لازم است. همچنین اطلاعاتی را در خصوص توازنی که بین آلترناتیوهای مختلف مورد نیاز است، فراهم می‌کند[۶]. فرایند ره نگاری آموزش عالی روشی است برای شناسایی، ارزیابی و انتخاب آلترناتیوهای استراتژیکی که می‌توانند به منظور دستیابی به حوزه های جدید آموزشی نیز مورد استفاده قرار گیرند.

ره نگاری، یک روش بسیار اثربخش برای پیش‌بینی نیازمندیهای آموزش عالی یا حوزه‌ها و رشته های جدید و ابزاری ارزشمند برای تصمیم‌گیری درباره آینده می‌باشد. امروزه ره‌نگاری به یک رشته تحقیقاتی تبدیل شده است و رد آن را می‌توان در مجلات مرتبط پیدا کرد [۷].

در سالهای اخیر، نقشه‌های علم و فناوری برای نشان دادن تصویر واضحی از وضعیت حال و آینده علم و فناوری مورد توجه گسترده‌ای قرار گرفته اند که حوزه آموزش عالی نیز از این موضوع مستثنی نمی باشد. نقشه ها در واقع نمایشگر

1- System Dynamics

2-Road Mapping

اطلاعات تحلیل شده آماری هستند که به صورت گرافیکی و خلاصه ارائه شده اند. یکی از دلایل استفاده از ابزارهای گرافیکی شمار بالای متغیرهایی است که در ارزیابی علم و فناوری استفاده می شوند. این متغیرها ممکن است متغیرهای کمی مانند تعداد مقالات، تعداد استنادات، متغیرهای کمی درباره ویژگیهای نهادهای تولید کننده علم، رشته ها، نیروی انسانی و... باشند که در سطوح مختلف بین المللی، ملی، استانی، محلی و... ارزیابی می شوند. اما گاهی اوقات متغیرهای کیفی نیز به مجموعه متغیرهای کمی اضافه می شوند و نقشه‌ها را پیچیده تر، متراکم تر و در عین‌حال دقیق‌تر می‌سازند [۵].

یک ره نگاشت در حوزه آموزش عالی، سندی است که توسط فرایند ره نگاری ایجاد می‌گردد. این سند، نیازمندیهای مهم سیستم، مطلوبیتها و اهداف عملکردی آلترناتیوهای نظام آموزش عالی را شناسایی و مشخص کرده و یک راهنما برای رسیدن به مطلوبیتها و اهداف عملکردی می باشد. بطور کلی ره نگاشت آموزش عالی مسیرهای جدیدی را برای برآورده ساختن اهداف عملکردی مشخص شناسایی می‌کند. در مواقعی ممکن است یک مسیر منحصر به‌فرد انتخاب شود و برنامه برای آن مسیر توسعه داده شود. اما اگر عدم اطمینان یا ریسک بالا وجود داشته باشد، ممکن است مسیرهای چندگانه‌ای انتخاب گردد و بطور همزمان این مسیرها دنبال شوند [۶].

اگرچه تعریف استانداردی از یک ره‌نگاشت در حوزه آموزش عالی وجود ندارد، اما لویس بران کامب[1] تعریف مختصری را به شکل زیر ارائه می‌دهد: "ره نگاشت عبارت است از یک چارچوب مورد توافق از چشم انداز برای آینده سیستم مورد مطالعه" [۸]. ره نگاشت‌ها در حقیقت آنچه را که امکان و آنچه را که احتمال وقوع آن می‌رود را پیش‌بینی می‌کنند [۹]. بطور خلاصه ره نگاشت‌ها به عنوان تصویر دیدگاه‌های گروهی از ذینفعان است در اینکه آن‌ها چگونه و از چه مسیری می‌خواهند به اهداف مطلوبشان دست یابند[۱].

با توجه به تعاریف فوق، مفهوم نقشه جامع علمی که در سالهای اخیر وارد ادبیات ما شده است، با تعریف ره نگاشت علم و فناوری همخوانی دارد و منظور از آنها یک برنامه راهبردی در سطح کلان است که افزون بر ترسیم چشم انداز و تصویر آینده وضعیت تحول همه متغیرهای دخیل در نظام علم، فناوری و نوآوری راه رسیدن به آن را نیز نشان می دهد.

البته همین مفهوم را می توان در سطحی کوچکتر و برای یک یا چند متغیر از این نظام نیز به کار گرفت و ضمن تصویر وضعیت فعلی و وضعیت آتی متغیرها، راههای مختلف رسیدن به وضعیت آتی را نیز نشان داد. چنین نقشه یا ره-نگاشتی دیگر "جامع" نمی باشد. برای مثال ره نگاشت حوزه آموزش عالی، یا ره نگاشت رشته های علوم انسانی، یا ره‌نگاشت حوزه پژوهش [۱۰].

۲-۲ مدل سازی سیستم داینامیک

در دهه ۱۹۶۰ در زمینه سایبرنتیک و دینامیک سیستمها، پیشرفت های مهمی بوجود آمد. جی فارستر[2] در سال ۱۹۶۱ مبحث دینامیک صنعتی[3] را به وجود آورد. هدف او از طرح این موضوع آن بود که سازمانها و موسسات صنعتی را همانند سیستم های سایبرنتیک بنگرد و از راه شبیه سازی[4]، نحوه کارشان را دریابد [۱۳].

مسائل سیستم‌ها، ثبت و بررسی نقاط مهم عملکرد سیستم‌ها، به شکل سناریویی از آینده است که رفتار گذشته و حال محیط سیستم را ملاک قرار می دهد. ثبت این سناریو، نیازمند بهره گیری از دانش و تکنیکی است که با بهره گیری از نگرش سیستمی، مشکلات را به درستی شناسایی و در جهت حل معضلات پیش آمده سریعترین واکنش رانشان می‌دهد. این دانش "سیستم داینامیک" یا پویایی سیستم‌ها نام دارد. سیستم داینامیک روشهای مناسبی را برای شناسایی الگوی رفتاری سیستم در پرتو تفکر سیستمی، معرفی می نماید و به-علاوه کاربردهای متنوعی در تحلیل سیستم ها به‌خصوص سیستم های اقتصادی و اجتماعی (اقتصاد کلان، خرد، تورم)، فنی مهندسی (مکانیک سیالات، برق و...)، سیاسی (مدل روابط بین الملل، مدل تاثیرات جنگ و صلح)، فرهنگی و اجتماعی (مدل های توسعه شهری، سیاستگذاری علوم و...)، را ارایه می دهد.

1- Lewis Bran Comb

2 -Jay Forrester
3-Industrial Dynamics
4-Simulation

مراحل مدلسازی و حل یک مسئله با استفاده از رویکرد سیستم داینامیک به شرح زیر است [۱۴].

۲-۲-۱ مرحله اول : مدلسازی

الف- شناخت سیستم مورد مطالعه :در این مرحله باید برای این پرسش ها پاسخی یافت :۱- مسئله چیست ؟ چه چیزی را می خواهیم بررسی کنیم و چرا برای ما مهم شده است ؟ ۲-متغیرهای کلیدی و مفاهیم اصلی سیستم، چه می باشند ؟۳-محدوده زمانی مورد مطالعه مسئله چیست ؟(از چه زمانی تا چه زمانی)۴-رفتار سیستم و متغیرهای اصلی آن در گذشته به چه صورت بوده است و پیش بینی می-شود در آینده به چه صورتی باشد.

ب- ترسیم نمودار علت و معلولی [1] بر اساس فرضیات روش مدل سازی و به صورتهای ممکن (دیاگرامهای ساختار خط مشی[2]، دیاگرام حلقه های علت و معلولی، نمودارهای نرخ و حالت، سایر ابزارهای مدلسازی)

ج- تعیین ساختار و الگوی رفتاری سیستم

۲-۲-۲ شبیه سازی مدل

این بخش از مراحل زیر تشکیل شده است : ۱- فرموله کردن مدل شبیه سازی شده ۲-تعیین مقادیر اولیه متغیرها و تخمین احتمالی آنها ۳-تست تطابق مدل و رفتار واقعی سیستم ۴-تحلیل حساسیت مدل در برابر رفتارهای مختلف

۲-۲-۳ بررسی سیاستها و تصمیم گیری

مهمترین اقداماتی که در این مرحله انجام می شوند، عبارتند از :۱- بررسی روشهای تصمیم گیری در خصوص سیستم، بررسی اینکه چه شرایط و حالتهایی ممکن است، رخ بدهد ؟ چه معیارهایی برای تصمیم گیری های بهتر می توان تعریف کرد و چگونه می توان انها را در مدل نشان داد ؟۲-تحلیل حساسیت این تغییرات، بررسی روابط میان سیاستها و تصمیمات مختلف، بررسی نوع ارتباطات میان آنها و چگونگی تاثیر آنها بر هم.

۲-۳ رویکردهای مختلف در سیاست گذاری و ره نگاری در نظام آموزش عالی

در سیاست گذاری و رەنگاری در نظام آموزش عالی رویکردهای مختلفی مورد توجه قرار گرفته است که از آن جمله می توان به کاربرد روشهای برنامه ریزی راهبردی و مدیریت تحول، روشهای طراحی نظامهای ملی (نوآوری، یادگیری...)، استفاده از روشهای آماری و ابزارهای سنجش کمی و روشهای آینده نگاری اشاره کرد.از جمله نقاط ضعف بر شمرده دراین روشها می توان به این موارد اشاره کرد[۱۰] :

- برخی از این روشها، ماهیتاً برای تجزیه و تحلیلهای سازمانی به وجود آمده‌اند و در سطوح بالاتر مانند سطوح ملی چندان موفق نیستند.
- *سیاست گذاری و ره نگاری در نظام آموزش عالی* **شامل** مسائل متعددی در این حوزه است که دارای ماهیت های مختلفی می باشند ویک روش منحصر به فرد برای حل همه آنها وجود ندارد.
- جزیی نگر بودن برخی از روشها و عدم وجود نگرش کل نگر و سیستماتیک
- سطحی بودن روشها، به این معنی که این روشها روابط علی و معلولی را نادیده گرفته و به ریشه یابی مسائل نمی پردازند، لذا تجویزی نیستند و فقط نشانه های مشکل را آشکار می-کنند.
- وجود تفکر خطی و خطاهای آماری در آنها

با توجه به نواقصی که در بالا به آنها اشاره شد،استفاده از رویکرد سیستم داینامیک به دلیل برخورداری از مزایای زیر قادر است ضعفهای برشمرده برای روشهایی که تاکنون در *سیاست گذاری و ره نگاری در نظام آموزش عالی* استفاده شده اند را پوشش دهد [۱۳، ۱۴] :

- نگرش سیستمی و یکپارچه و نگاه غیر خطی به مسائل
- انطباق با مسائلی از زمینه های گوناگون
- به کارگرفته شده در حل مسائل متعدد در سطح ملی و حتی بین المللی

1-Causal Loop
2-Policy Structure

- قابلیت مدلسازی وضع موجود و پیشنهاد وضع مطلوب در کنار ارائه توصیه هایی درباره مسیر رسیدن به وضعیت مطلوب
- استفاده از رویکرد کیفی در طراحی مدل در کنار استفاده از روشهای کمی در شبیه سازی
- انعطاف این روش در برابر بزرگ شدن مرزهای مسئله و افزایش تعداد متغیرها یا تغییر روابط
- عدم محدودیت به تحلیل حوزه دانشی خاص

۲-۴ استفاده از رویکرد سیستم داینامیک در تدوین سیاست وارائه ره نگاشت

تحقیقات سیستم داینامیک در زمینه های متعدد مدیریت مانند عملیات، رفتار سازمانی، تصمیم گیری، سیاست-گذاری و استراتژی به کار رفته است. اما نقش سیستم داینامیک در زمینه سیاست گذاری و استراتژی مهم‌تر و بارزتر بوده است؛ چرا که محققان استراتژی علاقمند به دانستن تئوری های پویایی هستند که قادر به تبیین تفاوت عملکرد نظامهای مختلف باشند. همچنین آنها به تصمیم گیریهای مدیریتی به عنوان منبع ایجاد پویایی در سیستمها اهمیت می دهند و روش سیستم داینامیک می-تواند این دو عامل را به خوبی برای استراتژیست ها توضیح دهد.ایجاد و آزمون تئوریهایی که الگوهای وابسته به زمان را درباره عملکرد نظامهای مختلف تبیین می کنند، از جمله مشکلات تصمیم گیرندگان برای انتخاب ره نگاشت است که روش سیستم داینامیک به علت برخورداری از ابزارهایی مانند پیش بینی، تحلیل حساسیت، سناریو سازی، و تعریف سیاستهای مختلف به خوبی از عهده آن بر می آید [۱۵].

اگر چه سیستم داینامیک در رابطه با ایجاد استراتژی و تدوین ره نگاشت در نظامهای متعددی به کار گرفته شده است، اما سابقه استفاده از این روش در تحلیل نظامهایی که پیچیدگی آنها بیشتر و پیش بینی آینده آنها دشوار تر است، بیشتر است. چیونگ چی و همکاران[1] از مدل-سازی سیستم داینامیک برای تحلیل استراتژی دراز مدت در حوزه انرژی بهره بردند. آنها در تحقیق خود سناریوهای متعددی را مورد ارزیابی قرار دادند و نهایتاً ره نگاشت مطلوب را عرضه کردند [۱۵]. در حوزه مطالعات نظام فناوری نیز تحقیقات زیادی به چشم می-خورد. هکرت و همکاران[2] برای آنالیز تغییرات فناوری و تحلیل عملکرد سیستم نوآوری از روش سیستم داینامیک استفاده کردند. آنها با نشان دادن اهمیت نقش سیستم نوآوری در نظام کلی فناوری، مدلی پویا از سیستم نوآوری ارائه کردند که با چارچوبهای سنتی قبلی متفاوت است [۱۷]. پویایی های نظام فناوری قبلا مورد توجه محققان دیگری نیز قرار گرفته بود[۱۸،۱۹،۲۰،۲۱،۲۲]. همچنین تحقیقات مستقلی در ارتباط با تحلیل متغیرهای مختلف نظام علمی و آموزشی یافت می شود که دامنه مطالعه آنها از بررسی چند متغیر با استفاده از سیستم داینامیک تا مطالعه زیرسیستم های بزرگتر این نظام مانند تربیت نیروی انسانی یا تصمیم-گیری در رابطه با ایجاد نهادهای آموزشی متغیر است[۲۳] .نوع دیگر این تحقیقات به رابطه و تاثیرات متقابل و پیچیده نظام های علم و فناوری پرداخته و منجر به ایجاد تئوری هایی در تبیین این روابط دو سویه شده اند[۲۴،۲۵،۲۶]. بررسی این منابع نشان داد که در کلیه این تحقیقات مراحل اصلی انجام تحقیق از مراحل کلی روش سیستم داینامیک که در بخش قبل ذکر شد تبعیت می کند.

۳- متدولوژی و مدل تحقیق

متدولوژی انجام تحقیق بر مبنای مراحل کلی روش سیستم داینامیک می باشد، به نحوی که در ابتدا با استفاده ازمطالعه و بررسی وضعیت موجود به شناخت متغیرهای سیستم مورد مطالعه پرداخته شده است. سپس با بررسی رفتار متغیرها درسیستم مورد مطالعه و دریافت نظر خبرگان از طریق مصاحبه های شفاهی با خبرگان روابط بین متغیرها شناسایی و دسته بندی شدند. پس از بیان فرضیه دینامیکی، نمودار علت– معلولی مربوط تهیه شده و پس از بررسی و اصلاح نمودار علت– معلولی، مدل نرخ و حالت تهیه گشته است. همزمان با

1- Chyong Chi et al.

2 -Hekkert et al.

تکمیل مدل نرخ و حالت، فرمول های ریاضی تکمیل شده و مدل ریاضی نیز شکل گرفته است.

مدل طراحی و اجرا شده و رفتار متغیرها با رفتار گذشته آنها در واقعیت مقایسه شد. همچنین روش‌های دیگر تست مدل در رویکرد سیستمهای پویا مانند تست کفایت مرزهای مدل، تست ساختار، تست حالت حدی، تست دیمانسیون و تست بازتولید رفتار مورد استفاده قرار گرفته و از صحت مدل شبیه-سازی شده اطمینان حاصل شده است.

پس از اطمینان از توانایی مدل در شبیه سازی رفتار واقعی سیستم مورد مطالعه، با استفاده از نظر خبرگان سیاست‌هایی برای بهبود مدل ارائه شده و نتایج این سیاستها – ضمن ارائه نحوه اعمال تغییرات در مدل – با اجرای مدل جدید نمایش داده شده است .

۳-۱ جامعه و نمونه آماری

با توجه به توضیحاتی که در مقدمه مقاله داده شد، رشته های مورد بررسی این تحقیق عبارتند از مدیریت فناوری اطلاعات، مدیریت صنعتی، مدیریت دولتی، مدیریت مالی، مدیریت بازرگانی، مدیریت آموزشی، مهندسی صنایع، مهندسی سیستمهای اقتصادی اجتماعی، مدیریت اجرایی، مهندسی فناوری اطلاعات. همچنین تمرکز این تحقیق بر تقاضای دانشجویان در مقطع کارشناسی ارشد قرار دارد که در آن دانشجویان بر مبنای تقاضای واقعی خود دست به انتخاب رشته می‌زنند و ممکن است آگاهانه بین رشته های مختلف جا به جا شوند. دلیل انتخاب این رشته ها، ورود دانشجویانی با تحصیلات قبلی متفاوت به آنها و نقل و انتقالات زیاد در آنها می باشد. لذا جامعه آماری مورد مطالعه عبارت از جمعیت دانشجویان متقاضی ورود به کارشناسی ارشد در رشته های نامبرده است. در روش سیستم داینامیک، هنگام ارائه مدل ریاضی نیاز به فرموله کردن روابط بین متغیرها و نیاز به مقدار دهی اولیه به متغیرهای حالت و یا تعیین نرخ های تغییر داریم که برای این منظور از یک نمونه آماری دردسترس بهره بردیم. استفاده از این روش در تحقیقات سیستم داینامیک متداول است [۲۳].

برای تهیه نمونه، داده های موجود از دانشکده های مدیریت، صنایع و کامپیوتر دانشگاههای شهید بهشتی، علم و صنعت ایران، علامه طباطبایی،تربیت مدرس در طول ۳ سال و در مجموع اطلاعات مربوط به ۳۵۶۳ نفر از دانش جویان برای محاسبه مقدار متغیرهای نرخ و همچنین مقدار دهی اولیه به متغیرهای حالت مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۲ معرفی مدل و متغیرهای آن

در سال های اخیر تقاضای دانشجویان برای جابجایی از رشته خود به رشته های دیگر و یا به عبارت دیگر تغییر رشته تحصیلی به امری متداول تبدیل شده است. در این میان جابجایی میان برخی رشته ها بیشتر و معنادار است و به نظر می آید برخی رشته ها وجود دارند که دارای تقاضای بیشتر و مقصد جابجایی های دانشجویان می باشند و برخی دیگر عمدتا مبدا نقل و انتقالات می باشند. در این میان جابجایی با تعدد زیاد بین دو رشته به علت انتقال دو سویه مفاهیم، دانش و تئوری‌های پایه‌ای می‌تواند به وجودآورنده یک حوزه جدید یا جبهه جدید یا رشته جدید باشد که برای سیاست‌گذاران در نظام آموزش عالی معنادار خواهد بود [۲۷]. ضمن این که آگاهی از سطح تقاضا برای ورود به رشته های مختلف نیز در تصمیم‌گیری های سیاست‌گذاران مفید است.در سیستم مورد مطالعه ی ما رشته های اصلی که مورد مطالعه قرار گرفتند، رشته هایی با میزان پذیرش زیاد دانشجو از سایر رشته ها هستند که به آن ها نام رشته های مقصد می دهیم و عبارتند از مدیریت فناوری اطلاعات، مدیریت صنعتی، مدیریت دولتی، مدیریت مالی، مدیریت بازرگانی، مدیریت آموزشی، مهندسی صنایع، مهندسی سیستمهای اقتصادی اجتماعی، مدیریت اجرایی، مهندسی فناوری اطلاعات. این رشته ها نقش متغیر های حالت را ایفا می نمایند. دسته دیگر متغیر های حالت رشته های مبدا هستند که ارسال کننده دانشجو به این رشته ها هستند و تعداد آن ها در مدل برابر صد و هشت عدد می‌باشد. متغیر های نرخ عبارتند از نرخ جابجایی موفق بین دو رشته مبدا و مقصد به این ترتیب که برای هر دو رشته مبدا و مقصد یک متغیر نرخ تعریف شده است که نشان می دهد چند درصد از متقاضیان ورود به رشته ی مقصد که دارای رشته مبدا هستند در ورود به رشته مقصد موفق هستند سایر متغیر های نرخ عبارتند از نرخ رشد سالیانه جمعیت رشته

های مبدا، نرخ رشد تقاضا برای ورود به کارشناسی ارشد و نرخ فارغ التحصیلی.

همچنین برای ارزیابی و شناسایی بهتر وضعیت مدل از متغیرهای کمکی مانند مقدار ظرفیت هر رشته، درصد جمعیت شاغل به تحصیل از یک رشته مبدا در یک رشته ی مقصد و یا میزان تقاضای اضافه بر ظرفیت موجود استفاده شده است.

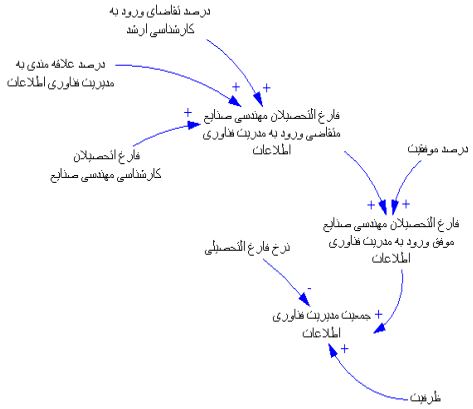
۳-۳ نمودار علت و معلولی و فرضیه دینامیکی

برای درک بهتر ساختار سیستمها وجود یک زبان مدل سازی ضروری است. در سیستم داینامیک به این زبان، نمودارهای بازخور یا علت و معلولی [۱] می‌گویند. تفاوت این دیاگرام با سایر نمودارها مثل فلوچارت و.. در نمایش روابطی است که به سادگی در سایر نمودارها قابل ترسیم نیستند. این نمودار نمایانگر روابطی است که در سیستمهای واقعی از آنها به عنوان زنجیره های حلقوی علت و معلولی [۲] یاد می شود. در این نگرش روابط تنها رفت یا برگشتی نیستند. و یکی از مهمترین نکاتی که در این نگرش مطرح می شود، تاثیر هر جزء برخورد در حلقه های علت و معلولی است. درست بر خلاف نگرش سنتی که به جای حلقه های بسته با حلقه های باز روبرو هستیم [۲۸].

پس از شناسایی متغیر ها اثر افزایشی یا کاهشی متغیر ها بر یکدیگر از طریق ترسیم نمودار های علی معلولی برای هر رشته مورد مطالعه نشان داده شده است. برای مثال بخشی از نمودار علی و معلولی ترسیم شده برای رشته مدیریت فناوری اطلاعات با مهندسی صنایع در شکل۱ نشان داده شده است.

از یکپارچه سازی و کنار هم گذاشتن این نمودار های علی و معلولی برای کلیه رشته های مورد مطالعه نمودار علت و معلولی کلی به دست آمده است.

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود، این نمودار رابطه میان تقاضا برای ورود به رشته مدیریت فناوری اطلاعات (به عنوان یکی از رشته های مورد مطالعه) را با رشته مهندسی صنایع (به عنوان یک رشته مبدا) نشان می دهد.



شکل ۱) نمودار علت و معلولی برای رابطه رشته مدیریت فناوری اطلاعات و مهندسی صنایع

به محض اینکه مسئله طی یک افق زمانی مناسب شناسایی و مشخص گردید، مدل سازان باید شروع به تدوین نظریه ای به نام فرضیه دینامیکی یا فرضیه پویا کنند. فرضیه دینامیکی، پویاست زیرا باید توضیحی از مشخصه پویایی مسئله بر حسب بازخوردهای مهم و ساختار نرخ و حالت سیستم ارائه نماید. همچنین فرضیه دینامیکی یک فرضیه است، چرا که همیشه موقتی بوده وبر اساس یادگیریمان از فرآیند مدلسازی و دنیای واقعی مورد تجدید نظر یا اصلاح قرار می‌گیرد [۲۳]. به طور خلاصه فرضیه دینامیکی یک تشریح با دید دینامیکی و سیستمی (از نوع سیستم بسته) است. فرضیه دینامیکی که می‌توان برای این بخش سیستم ارائه کرد به این ترتیب است :

«با افزایش فارغ التحصیلان رشته مهندسی صنایع، تعداد افراد فارغ التحصیل صنایع علاقمند به ورود به رشته مدیریت فناوری اطلاعات نیز افزایش می یابد. البته این افزایش تحت تاثیر درصد کلی تقاضای ورود به کارشناسی ارشد در هر سال و همچنین درصد علاقمندی کل برای ورود به رشته مدیریت فناوری اطلاعات است. درصدی از این علاقمندان موفق به ورود به این رشته می شوند، که ترکیب فارغ التحصیلان شاغل به تحصیل در کارشناسی ارشد مدیریت فناوری را در هر سال تشکیل می دهند و طبیعتاً افزایش تعداد آنها افزایش جمعیت کل دانشجویان مدیریت فناوری اطلاعات را تشکیل می دهد. البته جمعیت دانشجویان رشته مدیریت فناوری اطلاعات تحت تاثیر متغیر مهمی به نام ظرفیت است که اثر افزایشی بر این متغیر داشته و در عین حال از تفاضل آن با متقاضیان ورود به رشته مدیریت فناوری اطلاعات می توان

1- causal loop
2-Cause -Effect

میزان تقاضای اضافه بر ظرفیت را نیز محاسبه کرد کـه متغیـر ارزشمندی‌در تصمیم‌گیریها می‌باشد. متغیر نرخ فارغ‌التحصیلی سالانه از رشته مدیریت فناوری اطلاعات نیـز باعـث کـاهش متغیر جمعیت مدیریت فناوری اطلاعات می شود.»

واضح است که این متغیر تحت تاثیر تمام رشته های ورودی دهنده به مدیریت فناوری اطلاعات نیز می باشد، لـذا نمـودار علی معلولی با اضافه شدن تک تک این متغیرها گسترش یافته و فرضیه دینامیکی نیز به همان ترتیب بسط می یابد.

۳-۴- ترسیم نمـودار حالـت و نـرخ [1](نمـودار جریـان و موجودی)

نمودار دیگری به نام حالت – نرخ در سیستم داینامیک مورد استفاده قرار می گیرد.این نمودار از سه عنصر اصـلی حالـت، جریان و اطلاعات تشکیل شده است. امـا آنچـه اسـاس ایـن تفکر را بیان می کند، این نکته مهم است که می توان هر نـوع فرآیند و سیستمی را با استفاده از این سه عنصر اصلی ترسیم نمود و در حقیقت این سه عنصر عناصر سه گانه مدل سـازی سیستمها را تشـکیل مـی دهنـد. بـر خـلاف نمـودار علـت و معلولی، این نمودار قابلیت نمایش متغیرهایی را کـه در طـول زمان تغییر می کننـد و نـرخ رشـد آنهـا را داراسـت. در ایـن نمودار از مستطیل برای نشان دادن متغیر حالت و از علامیـت پاپیون یا شیر وارونه برای نشـان دادن متغیـر جریـان اسـتفاده می‌کنند [۲۸]. در مدل این تحقیق جمعیت فعلـی رشـته هـای مورد مطالعه(هم رشته های مبدا و هم رشته های مقصـد) بـه عنوان متغیرهای حالت، و میزان افزایش و کاهش سالانه آنهـا و همچنین میـزان جابجـایی هـای بـین رشـته ای بـه عنـوان متغیرهای نرخ فرض شده اند.

۳-۴-۱ محاسبه نرخ جریان میان رشته های مختلف

با بررسی داده های موجود از دانشکده های مدیریت، صـنایع و کامپیوتر دانشگاههای شهید بهشتی، علـم و صـنعت ایـران، علامه طباطبایی، در مجموع اطلاعات مربوط به ۳۵۶۳ نفر از دانشجویان پردازش شده است. بـرای بـه دسـت آوردن نـرخ جریان میان رشته های مختلف تعـداد دانشـجویان ورودی از رشته مورد نظر بر تعداد کل ورودی هـا تقسـیم شـده اسـت. برای مثال برای اسـتخراج نـرخ جریـان بـین رشـته مـدیریت فناوری اطلاعات و رشته مهندسی صنایع، تعـداد دانشـجویان رشته صنایع که در سه سال مورد بررسی وارد رشته مـدیریت فناوری اطلاعات شده اند، بر کل دانشجویان ورودی به رشته مدیریت فناوری اطلاعات تقسیم شده اسـت تـا نـرخ جریـان مشخص شود. برای تکمیل نمودار نرخ و حالت نـرخ جریـان بین کلیه رشته های مبدا و کلیه رشته های مقصد محاسبه شده و جمعیت موجود هر یک از رشته ها نیز از نمونه در دسترس محاسبه شده است و اعداد به دست آمـده در گـزارش نهـایی طرح تحول راهبردی علم و فناوری ایران موجود است.

۳-۴-۲ ترسیم نقشه وضع موجود

با توجه به روابط استخراج شده بین رشـته هـای مختلـف، و نرخ ها و تنوعهای ورودی و خروجی، نقشه وضع موجود این رشته ها در شکل ۲ ترسیم شده است. در این شـکل رشـته-های مورد مطالعه (رشته های مقصـد) کـه عمـدتاً در مقطـع ارشد و دکترا و رشته های مبدا که در مقطع کارشناسی هستند نشان داده شده اند. خطوط شکسته رسم شده در ایـن نمـودار روابط بین رشته ها را نشان می دهنـد[2]. بـرای مثـال درمـورد رشته مدیریت صنعتی، بیشترین جریان ورودی از یـک رشـته دیگر با نرخ ۱۷ درصد از مهندسی صنایع بوده است و بعـد از آن مهندسی مکانیک با نرخ ۷ درصد در رتبـه دوم قـرار دارد. همچنـین نـرخ ورودی از دانشـجویان مـدیریت صـنعتی ۵۳ درصد بوده است.

در نقشه وضع موجود سه ناحیه اصلی ترسیم شده اسـت کـه گروه مدیریت را از گروه صنایع و گروه کامپیوتر جـدا کـرده است. همچنین در این نقشه ناحیه هـایی وجـود دارد کـه بـه معنی شکل گیری یک ناحیـه جدیـد اسـت، چـرا کـه شـدت جریان بین رشته های دو ناحیه مختلـف (هـم ورودی و هـم

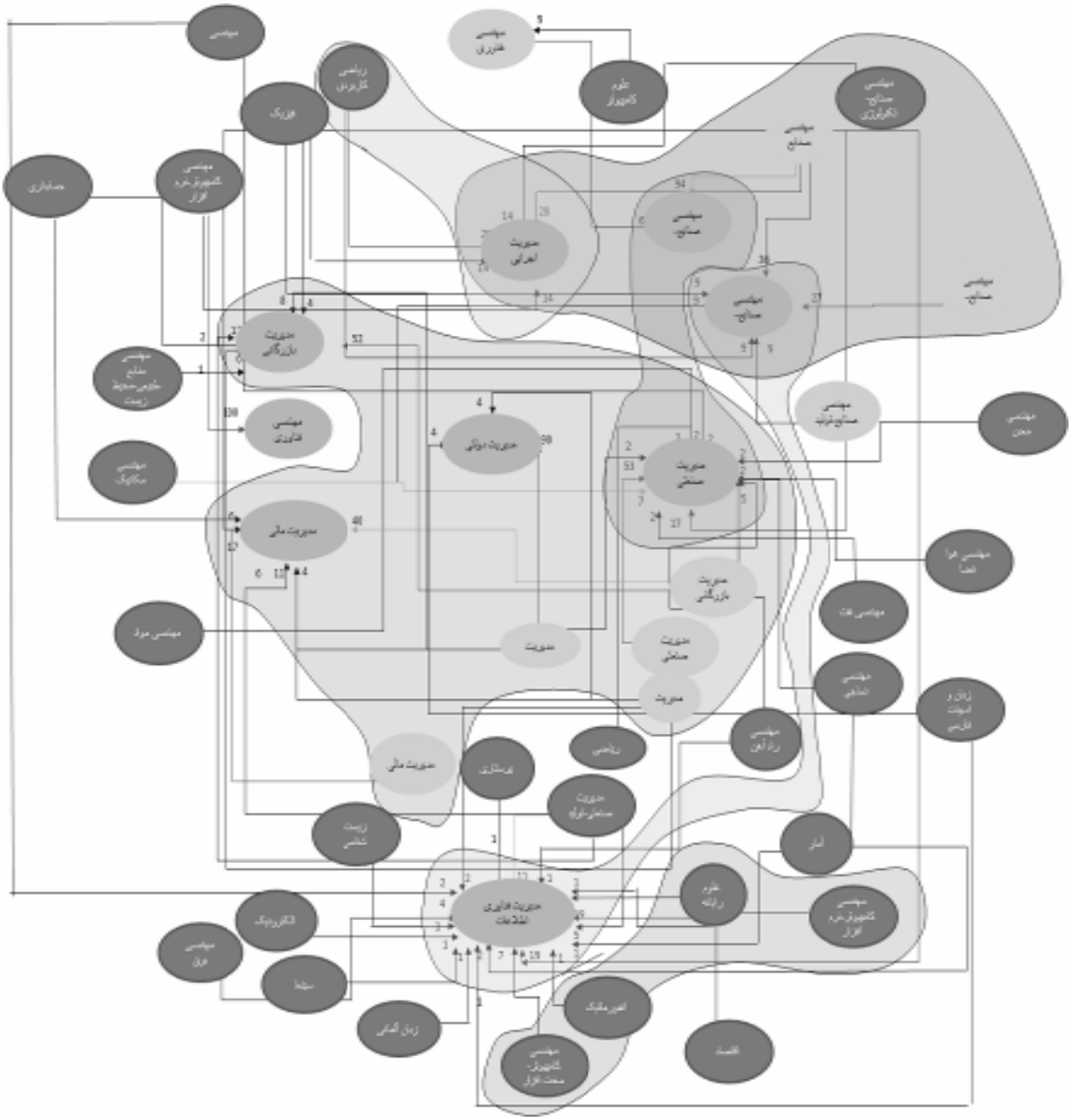
1- Stock Flow Diagram

۲- در نسخه اصلی از رنگها برای نشان دادن شدت جریان بین رشـته هـا اسـتفاده شده است. خط قرمز نشان دهنده بیشترین جریان ورودی از یـک رشـته دیگـر را نشان می دهد و خط سبز از نظر شدت جریان در رتبـه دوم قـرار دارد. خطـوط بنفش انتقالات درون رشته ای را نشان می دهند و به معنای نـرخ ثبـات در همـان رشته هستند و خطوط سیاه نیز سایر ارتباط بین رشته ای با شدت جریات متوسـط هستند.

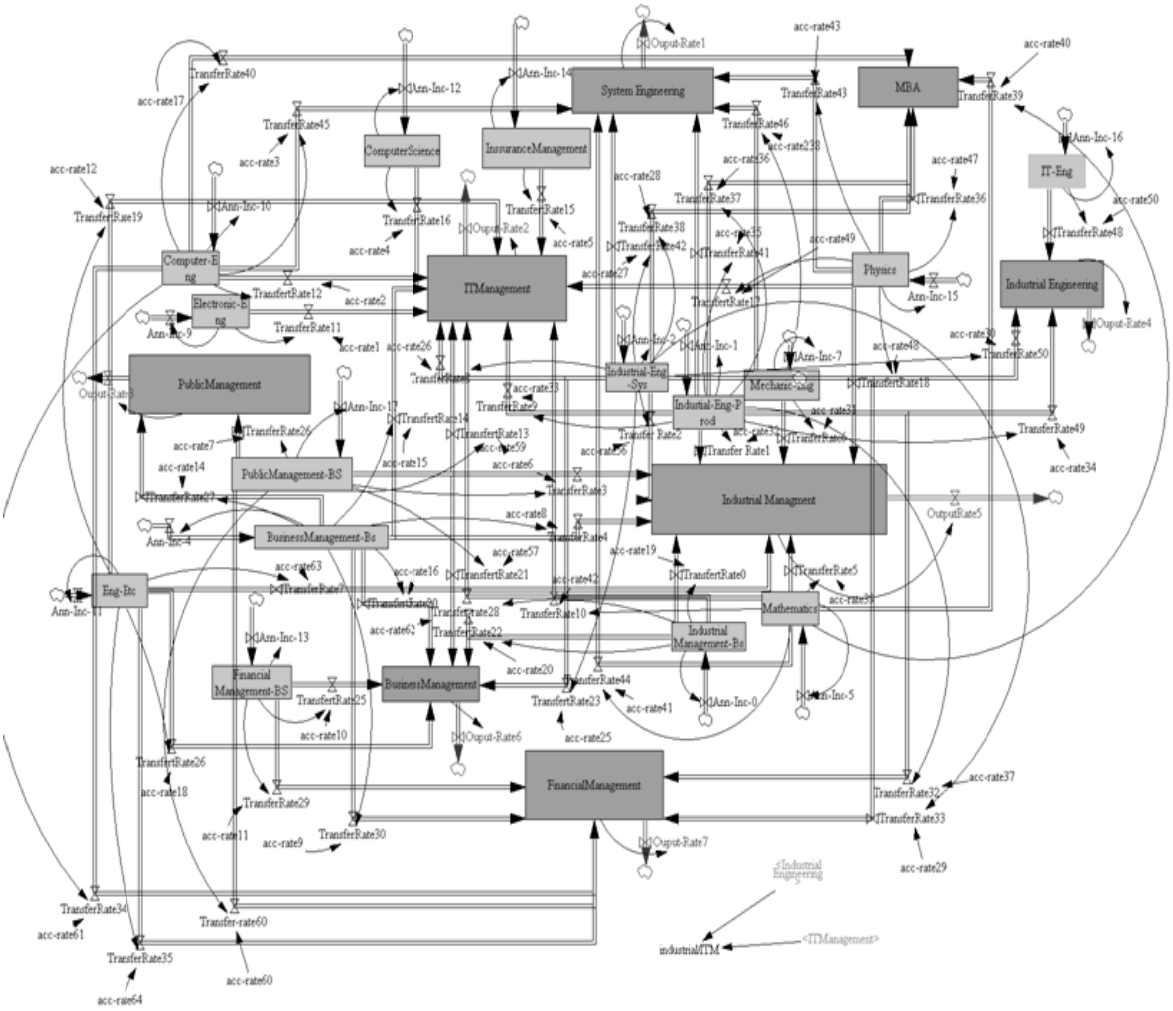
خروجی) این رشته ها را به یکدیگر بسیار نزدیک کرده است به طوری که می توانند تشکیل یک ناحیه جدید را بدهند. این نواحی بین رشته های مهندسی صنایع – سیستم و مدیریت فناوری اطلاعات ؛ مهندسی صنایع – صنایع و مدیریت صنعتی ؛ و مدیریت اجرایی و ریاضیات به وجود آمده اند.

با توجه به موارد ذکر شده هر کدام از رشته های مورد بررسی در مدلی جدا گانه ترسیم شده و رشته های ورودی و خروجی به آن با در نظر گرفتن نرخ های استخراج شده از نمونه ذکر شده (نمونه 3563 تایی) نیز در مدل ترسیم شده اند و نهایتاً مدل نهایی با ۱۵۰ متغیر به دست آمده است که در شکل ۳ ارائه شده است.

۳-۴-۳-ترسیم نمودار نرخ و حالت (جریان و موجودی)



شکل ۲) نقشه وضع موجود از رشته های مورد بررسی



شکل۳) نمودار نرخ و حالت مسئله

۴- آزمون مدل

مهمترین آزمونهایی که برای اطمینان از اعتبار مدلهای سیستم داینامیک انجام می شوند عبارتند از [۲۳]:

- **تست کفایت مرزهای مدل**[1]: برای اطمینان از درست انتخاب شدن مرزهای مدل
- **تست حالت حدی**[2]: دراین تست رفتار متغیرهای اصلی مدل در حالتهای حدی (مقادیر بسیار زیاد و بسیار کم) بررسی شده و میزان حساسیت مدل در برابر این تغییرات مطالعه می‌شود. منفی نشدن متغیر های حالت نیز از جمله موارد بررسی شده دراین تست می باشد.
- **تست دیمانسیون**[3]: به منظور تعیین واحد متغیرها و هماهنگی ابعاد آنها با واقعیت **تست سازگاری توابع عددی**[4]: به‌منظور جلوگیری از بروز رفتارهای غیر منطقی از مدل **تست بازتولید رفتار**[5]: برای انجام این تست رفتار متغیرهای مدل با الگو های رفتاری[6] که با استفاده از داده های واقعی به دست آمده است آزمون می شود. این آزمون به دو روش انجام شده است :

1 -Boundary Adequacy

2 -Extreme Test

3 -Dimension Test
4-Function Consistency
5 -Behavior Reproduction
6 -Reference Mode

الف –مقایسه رفتار متغیرهای مدل با واقعیت توسط مشاهده شکل نمودار ها دردوره زمانی یکسان

در این روش فراز و فرود های مدل شبیه سازی شده در شکل کلی و همچنین میزان تغییرات آن در مقاطع زمانی خاص و هنگام بروز شک های وارده به سیستم با واقعیت مقایسه شده و میزان توانایی مدل در باز تولید این رفتار ها مورد بررسی قرار می گیرد.

ب–مقایسه رفتار متغیرهای مدل با واقعیت توسط روش‌های آماری

در این روش بر اساس آنچه در کتابهای مرجع پویایی سیستم و مقالات عملی در این زمینه اشاره شده است از دو آماره میزان همبستگی (r) و همچنین میانگین مربعات خطا (MSE) به منظور ارزیابی توانایی مدل در بازتولید رفتار استفاده می شود. در روش تعیین میزان همبستگی از جذر ضریب تعیین(r^2) برای تعیین r استفاده شده که بیانگر درصدی از تغییرات متغیر واقعی است که توسط متغیر شبیه سازی شده قابل بیان و تعیین بوده است.

$$r^2 = \left(\left(1/n \sum_{t=1}^{n} (S_t A_t) - \overline{SA} \right) \Big/ S_S S_A \right)^2$$

که در آن:

S_t = داده شبیه سازی شده ، A_t = داده واقعی،

S_S = انحراف معیار داده های شبیه سازی شده، S_A =انحراف معیار داده های واقعی.

همچنین در تعیین میانگین مربعات خطا (MSE) از فرمول زیر استفاده شده است :

$$MSE = 1/n \sum_{t=1}^{n} (S_t - A_t)^2$$

اما آنچه در مورد میانگین مربعات خطا اهمیت دارد استفاده از فرمول تِیل[1] برای تجزیه خطا به سه بخش زیر است که با استفاده از این فرمول آماره های تِیل تعیین می‌شوند:

$U^M = (\overline{S} - \overline{A})^2 / MSE$ که بیانگر انحراف میانگین مدل شبیه سازی شده از مدل واقعی است. در واقع در حالتی که این آماره برابر یک و دو آمار دیگر صفر است یکی از نمودار ها بالاتر از دیگری قرار دارد.

$U^S = (S_S - S_A)^2 / MSE$ که بیانگراختلاف واریانس ها است و اختلاف پراکندگی دو نمودار را مشخص می‌کند.

$U^C = 2(1-r) S_S S_A / MSE$ که بیانگر انحراف کوواریانس ها می باشد و در حالتی که این آماره برابر یک و دو آماره دیگر صفر باشند نمودار ها دارای میانگین ها و پراکندگی های یکسان بوده اما اختلاف فاز بین آنها وجود دارد. بر اساس این سه آماره می توان برداشت مناسبی از منشا خطا به دست آورد.

در این بخش نتیجه مهمترین تست هایی که روی مدل انجام شده است به عنوان تست روایی مدل، ارائه می شود.

۴-۱ تست کفایت مرزهای مدل

در ارتباط با مدل ارائه شده در این تحقیق رشته های مورد مطالعه اصلی (رشته های مبدا) مبنای انتخاب متغیرهای درون‌زا هستند و در بسط مدل سعی شده است تا برخی متغیرها که باعث گسترش خالی از فایده مدل می شوند، به صورت برون‌زا در نظر گرفته شوند. برای مثال درصد افزایش ظرفیت سالیانه رشته های کارشناسی، یا درصد تقاضای ورود به دوره کارشناسی ارشد فقط به عنوان یک متغیر برون زا مقدار دهی شده است و از پرداختن به عوامل ایجاد کننده آنها اجتناب شده است. باید اشاره نمود که مقادیر تعیین شده برای متغیرهای برون زا بر اساس میانگین مقادیر آنها در واقعیت تعیین شده و با توجه به عدم تغییر زیاد این متغیرها، می‌توانند تقریب مناسبی از رفتار حاصل از تراکنش مجموعه متغیر های خارجی آن بخش باشند [۲۳].

۴-۲ تست حالت حدی:

انجام این تست نشان داد که در مدل نهایی با تغییر در مقدار متغیرهای اصلی در مقادیر صفر، منفی یا بی‌نهایت، تنها میزان شیب یا دامنه نمودار ها تغییر کرده و به عبارت دیگر در تقاضاهای بسیار کم یا بسیار زیاد برای ورود به یک رشته رفتار غیر منطقی از مدل مشاهده نمی شود.

۴-۳ تست دیمانسیون

این آزمون به منظور تعیین واحد متغیرها و هماهنگی آنها با واقعیت انجام می شود که در مورد متغیر های مدل انجام شده و با توجه به وجود ضرایب مورد نیاز مانند ضریب علاقمندی

1- Theil

به یک رشته، ضریب قبولی دانشجویان یک رشته در رشته دیگر و.. تبدیل واحدها به موقع انجام شده و طبق خروجی نرم افزار ونسیم[1] واحد متغیر ها با واقعیت تطابق دارد.

۴-۴-تست سازگاری توابع عددی

برای محاسبه مقادیر مربوط به متغیرها، از توابع عددی استفاده شد. در بررسیهای متعدد روی مدل این نتیجه به دست آمد که برخی از مقادیر باعث رفتار غیر منطقی مدل می‌شوند که آن مقادیر حذف شده و فرمول مربوطه بازنگری شد.

۴-۵- تست بازتولید رفتار

برای انجام این تست رفتار متغیرهای مدل را با الگوهای رفتاری که با استفاده از داده های واقعی به دست آمده است و دربخش ۳-۱ ارائه شد،آزمون شده است. البته در این تحقیق برای انجام این تست، نیاز به وجود داده های واقعی مربوط به سالهای گذشته وجود داشت که همان طور که در بخش متدولوژی ذکر شد، پایگاه داده مورد استفاده این تحقیق مربوط به سه سال گذشته می باشد، علی رغم کم بودن داده ها از نظر بعد زمان، این تست برای اطمینان از صحت مدل انجام شد. متغیرهایی که مورد این تست قرار گرفتند، متغیرهای مربوط به نرخ های جابجایی بین رشته ها بودند.هدف از این تست آن بوده است که معلوم شود آیا مقادیری که توسط مدل برای نرخ های جابجایی بین رشته های مختلف تولید می شود، از نظر روند با روند گذشته شباهتی دارد یا نه. نتیجه انجام این تست برای یکی از متغیرها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱) تحلیل آماری اختلافات مقادیر واقعی و مقادیر شبیه سازی شده متغیر نرخ ورود از مهندسی صنایع به مدیریت فناوری

نام متغیر :نرخ ورود از مهندسی صنایع به مدیریت فناوری

Average S	Average A	Ss	Sa	n
33.91	33.16	6.28	10.60	57
r	**MSE**	**Um**	**Us**	**Uc**
0.45	8.26	0.00	0.16	0.86

همانطور که تحلیل آماری بالا نشان می دهد هر چند روند ها به یکدیگر شبیه است اما مدل شبیه سازی شده تنها ۴۵٪ تغییرات نمودار اصلی را پوشش می دهد(منظور از نمودار، نمودار ترسیم شده برای سه سال گذشته است). اما تحلیل خطا و آماره های تیل نشان می دهد که مشکل اساسی در اختلاف فاز بین نمودار ها بوده و ۸۶٪ خطاها مربوط به این بخش است. همچنین ۱۶٪ خطاها مربوط به اختلاف واریانس ها و پراکندگی دو نمودار در نقاط زمانی همسان است. بخش دیگری که در جدول بالا جلب توجه می کند صفر بودن سرجمع اختلاف میانگین ها در دو نمودار است که نشان دهنده دقت مناسب مدل در این بخش است. البته باید توجه داشت که این اعداد میانگینی از رفتار نمودارها در کل دوره هستند و در مقاطع زمانی، خطا شاید به گونه دیگری باشد اما در کل نمودار، اختلاف میانگین ها صفر است . در کل به نظر می رسد نمودار شبیه سازی شده توانسته تا حد مطلوبی رفتار نمودار واقعی را باز سازی نماید هر چند با اختلاف فاز وتا حدی تفاوت در میزان پراکندگی.

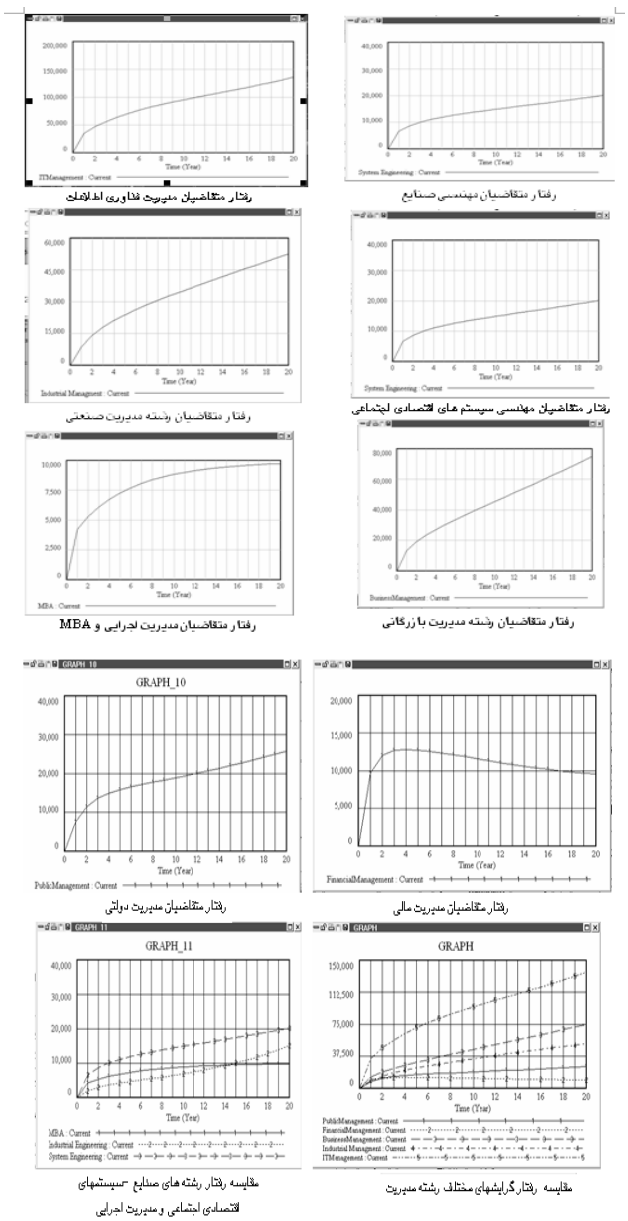
این خروجی درباره سایر نرخهای جابجایی نیز صادق بوده و همخوانی روند ها تا حد مورد قبولی قابل مشاهده می باشد جهت اختصار از ارائه نتایج تست برای سایر متغیرها اجتناب شده است.

۵- تحلیل نتایج حاصل از مدل

در این قسمت به ارائه رفتار متغیرهای اصلی مدل (رشته های مورد مطالعه در این تحقیق) در ۲۰ سال آینده می پردازیم بازه زمانی برای اجرای شبیه سازی دلخواه است و مدل قابلیت اجرا برای هر بازه زمانی مورد نظر را دارد اما جهت ارزیابی نتایج در چشم انداز بیست ساله نظام علم وفناوری این بازه بیست ساله انتخاب شده است. در شکل ۴ رفتار متغیرهای اصلی نشان داده شده است. همان طور که از رفتارهای زیر پیداست انواع الگوهای معروف رفتاری (نمایی، هدف جو، S-شکل و ترکیبی)توسط متغیرها نشان داده شده است. سیاستگذاران رشته های دانشگاهی می توانند با استفاده از این الگوها علاوه بر پیش بینی تقریبی تقاضا برای هر رشته در سالهای آتی متوجه رشدهای حبابی، یا نزول‌های زودرس در

1-Vensim

تقاضای رشته ها و به دید بلند مدت در ارائه سیاست‌ها مجهز شوند.



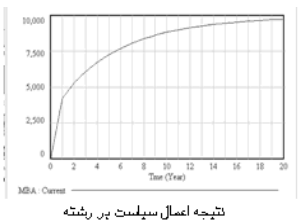
شکل۴) رفتار متغیرهای اصلی

۵-۱ تحلیل حساسیت در اثر اتخاذ سیاستهای مختلف

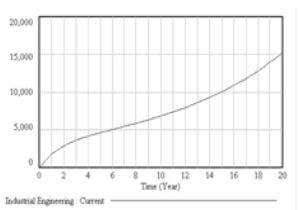
تحلیل حساسیت در روش سیستم داینامیک می تواند با تغییر دادن یک یا چند متغیر و ثابت نگه داشتن مقدار سایر متغیرها انجام شود. همچنین می توان با ارائه یک سیاست، به تغییر حساب شده و منطقی چند متغیر و یا حتی تغییر در مدل دست زد. در این قسمت به منظور سنجش ظرفیتهای مدل به دست آمده در ارائه ره نگاشتهای مختلف، چند سیاست فرضی را در رابطه با رشته های موجود به روی مدل اجرا می‌کنیم، تا تغییر رفتار آینده رشته ها را ملاحظه نموده و امکان پذیری استفاده از این مدل را نشان دهیم..طبیعی است که ارائه سیاستهای پیچیده تر و معنادار تر نیز امکان پذیر است که می تواند مورد توجه سیاست گذاران امر قرار گیرد.

۵-۱-۱ سیاست ۱: افزایش ظرفیت پذیرش دانشجویان مهندسی در مقطع کارشناسی

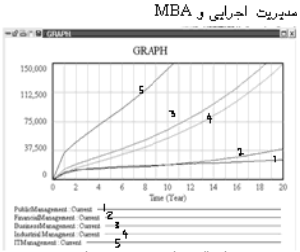
برای اجرای این سیاست، پذیرش سالانه دانشجو در هر کدام از رشته های مهندسی موجود در مدل به میزان 0.02 افزایش یافته است. همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، اثر اعمال این سیاست بر رشته مهندسی صنایع که از جمله رشته‌های مهندسی است، قابل پیش‌بینی است و جمعیت متقاضی این‌رشته به‌علت افزایش نرخ سالانه فارغ‌التحصیلان کارشناسی به نحوی تغییر می‌کند که دیگر رفتار هدف – جو سابق را نشان نداده بلکه به صورت واگرایی از نقطه تعادل خود در شکل ۴ فاصله می گیرد. اما اثری که در اینجا حائز اهمیت است، تاثیر اعمال این سیاست بر متقاضیان ورود به کارشناسی ارشد رشته های مدیریت و MBA است به نحوی سیاست افزایش پذیرش در رشته های مهندسی منجر به تقاضا بالاتر ورود به این رشته ها شده است. در شکل ۵، نمودار MBA همچنان رفتار هدف جو را نشان می دهد اما شش گرایش مدیریت از خود رفتار نمایی را نشان داده اند که با محاسبه عدد متقاضیان در پایان چشم انداز بیست ساله به تفاوت مشهودی با حالت قبل خواهیم رسید.



نتیجه اعمال سیاست بر رشته مدیریت اجرایی و MBA



نتیجه اعمال سیاست بر رشته مهندسی صنایع

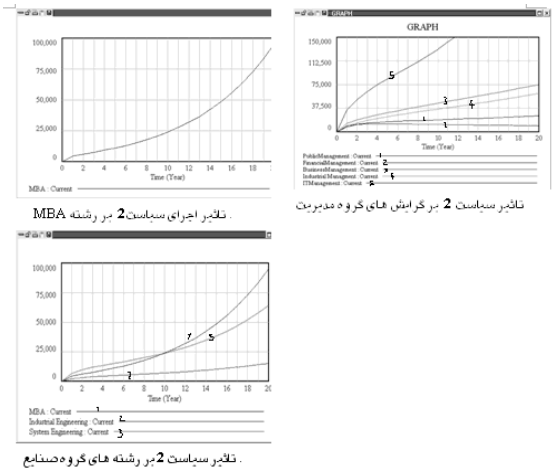


نتیجه اعمال سیاست بر رشته های مدیریت

شکل ۵) نتیجه اجرای سیاست ۱ بر رفتار برخی از متغیرهای مدل

۵-۱-۲ سیاست ۲: تقویت رشته های پایه (ریاضی و فیزیک)

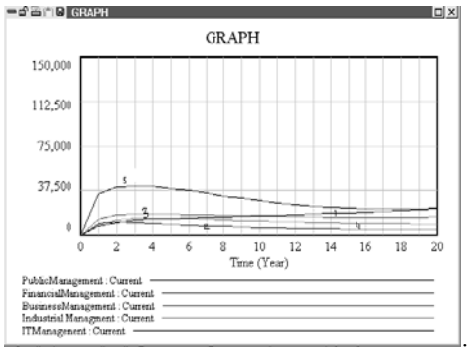
در این سیاست فرض شده است که پذیرش دانشجو در رشته های پایه به میزان 0.02 در هر یک از رشته ها افزایش یابد. نتیجه اعمال این سیاست بر رفتار متغیرها در شکل ۶ ارائه شده است. اثر اعمال این سیاست بیش از هر چیز بر رشته MBA قابل توجه است چرا که رفتار متقاضیان این رشته را از هدف جو به نمایی تبدیل کرده و تعداد متقاضیان را در پایان چشم انداز بیست ساله به شدت افزایش داده است که این موضوع به دلیل ورود دانشجو از رشته های پایه با نرخ بالا به کارشناسی ارشد این رشته در مدل است.تاثیر بر دو گروه رشته دیکر مورد مطالعه چندان بارز نیست.



شکل ۶) نتیجه اجرای سیاست ۲ بر رفتار برخی از متغیرهای مدل

۵-۱-۳ سیاست ۳: محدودیت پذیرش رشته‌های فنی در رشته-های مدیریت

در این سیاست فرض شده است که ورود به رشته های مدیریت از طرف دانشجویان فنی محدود شده و به عبارتی برای دانشجویان مدیریت سهمیه ویژه ای در نظر گرفته شود. نتیجه اعمال این سیاست بر رفتار متغیرها درشکل ۷ ارائه شده است. با انجام تغییراتی در فرمول ورروری به رشته مدیریت این محدودیت ورود اعمال می شود. نتیجه نشان می‌دهد که میزان تقاضا برای کلیه گرایشات پایین آمده و رفتارهای نمایی قبلی در گرایش های پر متقاضی به هدف جو و تعادلی تبدیل شده است. حتی گرایش مدیریت فناوری اطلاعات که با نرخ رشد زیاد نمایی در حال افزایش بود، پس از یک دوره صعودی از خود نزول و افت نشان می دهد که این موضوع می تواند در سیاست گذاری به معنای رشد کاذب در چند سال اول چشم انداز باشد.



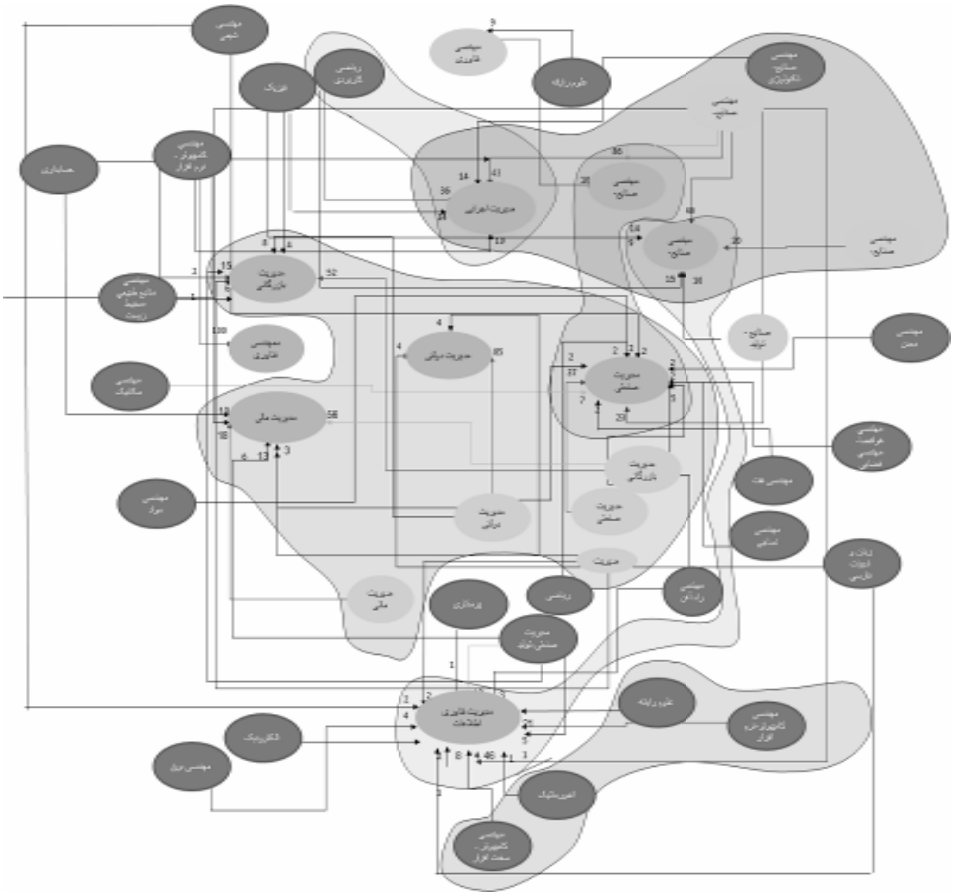
شکل ۷) تاثیر اجرای سیاست ۳ بر رفتار گرایش های رشته مدیریت

۵-۲ ترسیم نقشه وضعیت آینده

استفاده دیگری که می توان از این مدل به عمل آورد، ترسیم نقشه آینده رشته های مورد بررسی است. با توجه به این که جمعیت آتی هر یک از رشته های مورد بررسی در پایان سال بیستم از مدل قابل استخراج بوده و همچنین نرخ جابه جایی-ها نیز برای بیست سال آینده شبیه سازی شده است، می توان مجددا روابط بین رشته ها، نرخ جابه جایی بین آنها و جمعیت آن ها را در نقشه ای مشابه نقشه وضع موجود ترسیم کرد. این نقشه در شکل ۸ ارائه شده است.با مقایسه این نقشه با نقشه وضع موجود مشخص می شود که :

- تنوع رشته های ورودی به رشته های مورد بررسی کاسته شده است و برخی از رشته های نامربوط رفته رفته حذف شده اند.
- قبولی دانشجویان مدیریت در رشته خودشان تقریباً در اکثر گرایشها کمتر شده است و جای آنها را دانشجویان فنی گرفته اند.
- در برخی از رشته ها مثل مدیریت فناوری اطلاعات و صنعتی ورودی از سایر رشته ها بیشتر ازورودی از مدیریت شده است

- تشکیل جبهه های جدید در بین گرایش های صنایع و مدیریت پر رنگ تر شده است، به طوری که برای مثال ۵۰ درصد ورودی مدیریت فناوری را مهندسی صنایع شکل می دهد.



شکل ۸) نقشه وضعیت آتی رشته های مورد بررسی(چشم انداز ۲۰ ساله)

۶- معرفی نرم افزار طراحی ره‌نگاشت[۱]

این نرم افزار، جهت دسترسی آسان به مدل طراحی شده و استفاده از امکانات آن یک واسط کاربری طراحی و پیاده-سازی شده است تا با استفاده از فرمهای نرم افزاری آن مدیران و سیاست گذاران در حوزه رشته های دانشگاهی قادر باشند به سهولت به مدل و نتایج آن دسترسی داشته و یا با انجام تغییراتی در متغیرهای مدل، به سیاست گذاری بپردازند. هدف دیگر از ایجاد این نرم افزار آن بوده است که این نرم-افزار به عنوان یک سیستم پایلوت بتواند قابلیت مدلسازی و پیش بینی و سیاست گذاری در سایر زیر سیستمهای نظام علم و فناوری را نیز نشان داده و توانایی ایجاد مدلهای جدید با استفاده از متغیرهای جدید (متغیرهایی غیر از متغیرهای مورد مطالعه در این تحقیق) را نیز داشته باشد.

این نرم افزار نقش واسطی میان کاربر و موتور شبیه سازی آن یعنی نرم افزار ونسیم را ایفا می کند . از جمله نکاتی که در طراحی این نرم افزار لحاظ شده است آن است که مدیران و سایر کاربرانی که از جزئیات کار با نرم افزارهای شبیه سازی سیستم داینامیک مطلع نیستند، در عمل بتوانند از امکانات مدل طراحی شده جهت شبیه سازی وضعیت آینده رشته های دانشگاهی (با جزئیاتی که در بخش های قبل ذکر شد) بهره ببرند. همچنین این نرم افزار دارای یک پایگاه داده می باشد که در حاضر حاوی اطلاعاتی درباره رشته های مورد مطالعه و دانشجویان شاغل به تحصیل در آنها می باشد و قابلیت

۱- این نرم افزار حاصل تحقیقات کارگروه طراحی و تدوین نقشه جامع علم و فناوری در طرح تحول راهبردی علم و فناوری جمهوری اسلامی ایران وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است و توسط مولفان طراحی و پیاده-سازی شده و سورس آن در اختیار مولفان می باشد.

توسعه و نگهداری داده های مربوط به رشته های بیشتر را نیز داراست.

این نرم افزار دارای مزایا و امکاناتی به شرح زیر است :

۱- امکان مشاهده مدل طراحی شده جهت پیش بینی وضعیت آتی رشته های مورد مطالعه در این پروژه و نتایج و نمودارهای مربوط به هر کدام از رشته ها به صورت متمرکز
۲- امکان مشاهده پایگاه داده پشتیبان مدل طراحی شده (نمونه ای که از چند دانشگاه مختلف گرفته شده است) که نرخ های انتقال بین رشته ای بر اساس آن محاسبه شده است و امکان ارتقاء آن از طریق افزایش داده ها یا تغییر در آنها و یا اضافه کردن داده های جدید به پایگاه
۳- امکان ویرایش و تغییر در ویژگی های مدل طراحی شده شامل تغییر در مقادیر متغیرها یا فرمولها یا روابط بین متغیرها
۴- امکان اعمال سیاستهای مختلف در مدل طراحی شده و مشاهده نتایج حاصل از اعمال سیاست
۵- امکان تعریف یک مدل جدید شامل رشته ها یا روابط جدید یا متغیرهای جدید
۶- امکان اتصال به سایر نرم افزارها و استفاده از قابلیت های آنها در تعریف روابط و توابع متغیرها
۷- امکان استفاده از نرم افزار برای ایجاد ره نگاشت در ارتباط با سایر زیر سیستمهای نظام علم و فناوری از طریق ایجاد مدل های جدید و اتخاذ سیاست های مختلف

در شکل پیوست ۱ منوی اصلی نرم افزار مشاهده می شود. امکانات نرم افزار به دو دسته استفاده از مدل موجود و ساخت مدل جدید تقسیم شده است. با کلیک بر روی عناصر مدل دسترسی به فرمهای مختلف نرم افزار امکان پذیر است. برای مثال می توان نمودار نرخ و حالت یا نمودار علت و معلولی مدل موجود را مستقیما در نرم افزار ونسیم مشاهده کرد.(پیوست ۲) و یا اینکه پایگاه داده پشتیبان مدل را مشاهده کرد.(پیوست ۳)

با توجه به اینکه مدل طراحی شده در این مقاله قبلاً در نرم-افزار ونسیم اجرا شده و رفتارهای متغیرهای مورد مطالعه استخراج شده است، دسترسی به نمودار رفتار هر یک از رشته های مورد مطالعه در مدل موجود از طریق فرم مشاهده نتایج امکان پذیر است. همچنین نقشه وضع موجود و وضعیت آتی رشته های که با توجه به نرخ های موجود و نرخ‌های آینده و جمعیت متقاضی برای رشته های موجود در چشم انداز بیست ساله ترسیم شده است، از طریق فرم های نرم افزار قابل دسترسی است.(شکل پیوست ۴)

یکی دیگر از امکاناتی که در این نرم افزار فراهم شده است، امکان آنالیز حساسیت و همچنین اعمال سیاست های مختلف در مدل است. اعمال سیاست به این معناست که مدیر یا کاربر می تواند با تغییر در مقدار متغیرهای ورودی مدل یا با تغییر در توابع آنها و یا با تغییر در گروهی از متغیرها و روابط آنها، نتیجه اعمال این سیاستها را در طول هر چند سال – که به صورت دلخواه قابل تعیین است – بر وضعیت رشته ها و جمعیت آنها مشاهده کند. برای این منظور فرم «اعمال سیاست از طریق تغییر متغیرها» در اختیار کاربران گذاشته شده است که در آن هر کدام از روابط میان متغیرهای مختلف مدل به صورت یک رکورد نشان داده شده است. (شکل پیوست ۵) کاربر می تواند با تغییر در ویژگی های این روابط یا اضافه و کم کردن متغیر جدید و ذخیره سازی تغییرات خود، این تغییرات را به موتور اصلی نرم افزار (ونسیم) منتقل کرده و پس از اجرای برنامه نتایج اعمال سیاست تعریف شده توسط خود را در خروجی نرم افزار مشاهده کند. (شکل پیوست ۶)

برای ساخت مدل جدید از فرم تعریف متغیرهای اصلی استفده می شود. در این فرم لیستی از متغیرهای اصلی مدل جدید– که در واقع رشته های مورد مطالعه هستند– و در شبیه سازی پویا با عنوان موجودی[1] شناخته می شوند، مشاهده می شود. کاربر می تواند هر کدام از آنها را برای ساخت مدل جدید انتخاب کند (شکل پیوست ۷) سپس روابط بین متغیرها را به صورت دلخواه تعریف کند و نتیجه

1- Stock

ساخت مدل در ونسیم را ببیند (پیوست ۸و۹)، البته کاربر می-تواند برای تعریف نرخ جریان بین رشته های جدیدی که اضافه می کند از یک پایگاه داده جدید استفاده کند و یا اینکه نرخ جریان میان رشته ها و فرمول بین متغیرها را به صورت دستی تعریف کند. ذکر این نکته ضروری است که مدل جدیدی که می تواند توسط کاربر ارائه شود، می تواند ماهیتی کاملاً متفاوت از مدل جابجایی های بین رشته ای داشته باشد. برای مثال کاربر می تواند یک مدل جدید از رابطه هیئت علمی موجود در دانشگاه های تهران و تولیدات علمی توسط آنها را مد نظر قرار داده و از بستر موجود در نرم افزار برای شبیه سازی نتایج استفاده کند.

از مهمترین امکاناتی که در این نرم افزار تعبیه شده است، امکان تعریف توابع متنوع برای رابطه بین متغیرهاست که از مهمترین آنها می توان به لیستی که در شکل پیوست ۱۰ مشاهده می کنید، اشاره کرد. در مدل موجود در نرم افزار(که مدل ارائه شده در این مقاله است) توابع اکثر متغیرها از نوع توابع نرم افزار ونسیم هستند، اما جهت تکمیل کار توابع آماری، هیوریستیک و هوش مصنوعی، و توابعی از داده کاوی که می توانند در رابطه با پایگاه داده موجود به کار گرفته شوند، به لیست اضافه شده است، ضمن این که امکان تعریف دستی یک تابع مستقل نیز وجود دارد. (شکل پیوست ۱۰) علاوه بر توابع موجود در لیست با کلیک بر دکمه «استفاده از توابع سایر نرم افزارها» می‌توان به لیستی از نرم افزارهای کمکی دسترسی پیدا کرد که برخی از آنها عبارتند از Matlab، SPSS، DataEngin و SPSS Clementine و در شکل پیوست ۱۱ نشان داده شده اند.

۷-نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این مقاله برای مدل سازی یک زیر سیستم از نظام آموزش عالی(نقل و انتقالات بین رشته ای) از رویکرد سیستم داینامیک استفاده شد. نتایج تست های اعتبار سنجی مدل، صحت خروجی های آن را تایید کرده و رفتار های متغیرهای مورد مطالعه در این تحقیق به دست آمد. این رفتارها می-توانند مورد استفاده سیاست گذاران نظام آموزش عالی واقع شوند. با انجام آنالیز حساسیت و از طریق پیشنهاد سیاست-های مختلف، قابلیت بررسی ره نگاشتهای مختلف و مشاهده نتایج نشان داده شد و در نهایت برای سهولت استفاده و افزایش قابلیت های مدلسازی، یک نرم افزار برای شبیه سازی ره نگاشت ارائه شد.

نتایج به دست آمده در این تحقیق امکان پذیری استفاده از رویکرد سیستم داینامیک برای شناخت و تجزیه و تحلیل نظام آموزش عالی کشور را به خوبی نشان می دهد که از جمله اهداف این تحقیق بوده است. هدف دیگر از انجام این تحقیق رسیدن به ابزاری جهت ارزیابی اثر سیاست های مختلف جهت ره‌نگاری در حوزه آموزش عالی بوده است که با ارائه نرم افزار ذکر شده، حاصل شده است. مدیران و سیاست-گذاران می توانند با استفاده از این نرم افزار، تاثیر سیاست ها و تصمیمات مختلف را بر متغیرهای مختلف نظام آموزش عالی شبیه سازی کرده و با مشاهده روند های شبیه سازی شده و مقایسه سیاستهای مختلف، سیاست مناسب تر را انتخاب کنند.

بدیهی است ارائه مدلهای جامع تر و کاملتری که شامل تعداد کافی از متغیرهای نظام علم و فناوری باشند، می تواند موضوع تحقیقات آینده باشد. همچنین تست و بازنگری مدل ارائه شده دراین مقاله با استفاده از داده های بیشتر و پایگاه-های داده به روز و یا ارائه نقشه ای جامع از همه رشته های دانشگاهی در ایران، توسط مولفان توصیه می شود.

۸- محدودیت‌های تحقیق

مهمترین محدودیت این تحقیق، عدم وجود داده و اطلاعات کافی درباره متغیرهای شکل دهنده مسئله بوده است، به نحوی که محققان بعد از معرفی رویکرد سیستم داینامیک به عنوان رویکردی مناسب برای طراحی و تحلیل ره نگاشت آموزش عالی، به دلیل نبود اطلاعات کافی بخش کوچکی از این نظام را به عنوان نمونه انتخاب کرده و از آن طریق کارا بودن روش سیستم داینامیک را در طراحی ره نگاشت نشان دهند. در صورت وجود اطلاعات کافی از متغیرهای مختلف بخشهای آموزش، پژوهش و فناوری، مدل ارائه شده تکمیل گشته و ره نگاشت کامل ارائه می شود. برای همین منظور سیستم شبیه سازی ره نگاشت ارائه شده است که این ظرفیت

را داراست که با ورود اطلاعات کافی به آن، مـدل موجـود را تکمیل کند.

۹- تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از بخشی از تحقیقـات کـارگروه طراحـی و تدوین نقشه جامع علم و فناوری در طـرح تحـول راهبـردی علم و فناوری جمهوری اسلامی ایران وزارت علوم، تحقیقات و فناوری است و بدین وسیله از حامیان مالی تشکر می شود. همچنین از آقایان دکترعلی مبینی دهکردی و دکتـر ابوالفضـل کزازی که در اجرای طرح تحـول راهبـردی علـم و فنـاوری سهم بسزایی داشته اند، تقدیر و تشکر به عمل می آید.

منابع References

[1] D. Probert, M. Radnor, 2003; "Technology road mapping"; Res. *Technol. Manag*. Vol. 46 (2) 27–30.

[2] MacKenzie David R., Donald Sam, Harrington Mike, Heil Robert, Helms T. J. and Daryl, 2006; "Methods In Sciense Roadmapping, How to Plan Research Priorities"; *lgu.umd.edu/ESCOP/workroomattach/archive/2006/27_roadmap-methods*.

[3] Kostoff R.N., Schaller R.R., 2001; "Science and technology roadmaps"; *IEEE Trans. Eng. Manage*. Vol. 48: 132–143.

[4] NISTEP, 2007; *Report No.100 - Science Map 2004,Study on Hot Research Areas (1999-2004) by Bibloimetric Method;* Publication Date: Jun. 2007, http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/rep100e/idx100e.html.

[5] Aligica, PD., 2006; "Institutional and stakeholder Mapping :Framework for policy Analysis and Institutional change"; *public organization review*, Vol. 6: 79-90.

[6] Garcia M.L. and Bray O.H., 2008; *Fundamentals of Technology Roadmapping*; Business Development department. Sandia National Laboratories, www.sandia.gov/PHMCOE.

[7] Applying Science and Technology Road mapping in Environmental, (2008)., (.emi-web.inel.gov/roadmap/guide).

[8] Lewis Theodore, 2006; "Design and inquiry: Bases for an accommodation between science and technology education in the curriculum?"; *System Dynamics Review* Vol. 43: 255-281.

[9] Kappel T.A., 2001; "Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future"; *J. Prod. Innov. Manag*. Vol. 18: 39–50.

[۱۰] سـلطانی بهـزاد، کیـامهر مهـدی، ۱۳۸۷، «پیشـنهاد چارچوبی مفهومی برای تدوین نقشه جـامع علمـی کشـور (برنامه ملی توسـعه علـم، فنـاوری و نـوآوری)»، *فصـلنامه علمی پژوهشی سیاست علم و فناوری*، سال اول، شماره ۳.

[11] Kostoff R.N., Schaller R.R., 2001; "Science and technology roadmaps"; *IEEE Trans. Eng. Manage*. Vol. 48 132–143.

[12] Yuya, Kajikawa, et. al., 2008; "Structure of knowledge in the science and technology roadmaps"; *Technological Forecasting & Social Change*,vol.75.

[۱۳] قبادی شهلا، ۱۳۸۵، *سیستم داینامیک (کاربردی از تفکر سیستمی)*، سازمان مدیریت صنعتی، چاپ اول، صص ۵۴-۳۹.

[۱٤]استرمن، جان د.،ترجمه شهرام میرزایی دریانی و همکاران، *پویایی شناسی سیستم تفکر سیستمی و مدلسازی برای جهان پیچیده*، انتشارات ترمه، چاپ اول، ۱۳۸۶، صص۱۵۷-۱۷۴.

[15] Shayne Gary Michael, Kunc Martin; Morecroft John D. W.; "System dynamics and strategy"; *System Dynamics Review* Vol. 24, No. 4, (Winter 2008): 407–429

[16] Chyong Chi Kong, Nuttall William J., Reiner David M., 2009; "Dynamics of the UK natural gas industry: System dynamics modelling and long-term energy policy analysis"; *Technological Forecasting & Social Change* Vol. 76: 339–357.

[17] Hekkert M.P. et al, 2007; "Functions of innovation systems: A new approach for analyzing technological change"; *Technological Forecasting & Social Change* Vol. 74: 413–432.

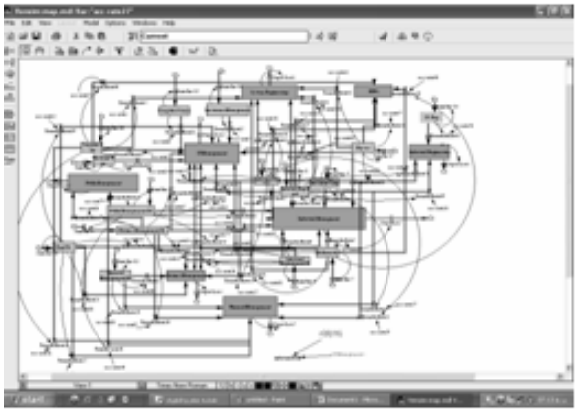
[18] Weigelt Carmen, 2008; "The impact of outsourcing new technologies on integrative capabilities and performance"; *System Dynamics Review* Vol. 23, No. 2, 2008.

[19] Munir KA., Phillips N., 2002; "The concept of industry and the case of radical technological change"; *Journal of High Technology Management Research* Vol. 13: 279–297.
[20] Stoughton M., 2000; Dynamics of technology adoption by basic industries: implications for cleaner production. PhD dissertation, Technology and Policy Program, Massachusetts Institute of Technology.
[21] Utterback JM., Afuah AN., 1998; "The dynamic "diamond": a technological innovation perspective"; *Economics of Innovation and New Technology,* Vol. 6: 183–199.
[22] West H, Weil HB., 1999; "Technology strategy in commodity industries: in search of a cure for commoditization"; *Sloan School Working Paper* #186-99, Massachusetts Institute of Technology.
[23] Sterman J.D., 2000; *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*; McGraw-Hill, Irwin.
[24] Dimopoulos Kostas, Vasilis Koulaidis, "Science and technology education for citizenship: The potential role of the press"; *System Dynamics Review* Vol. 17.
[25] Branscomb L.W., Keller J.H., 1998; *Towards a research and innovation policy, in: L.W. Branscomb (Ed.), Investing in Innovation:Creating a Research and Innovation Policy that Works, Investing in Innovation*, MIT Press.
[26] Cajas Fernando, 2001; "The science/technology interaction: Implications for science literacy"; *System Dynamics Review* Vol. 38: 715-729.
[27] Szostak R., 2002; "How to do interdisciplinarity: integrating the debate"; *Issue in integrative studies* Vol. 20: 103-122.
[۲۸] فقیه، نظام الدین، ۱۳۸۳، *سیستمهای پویا، اصول و تعیین هویت*، انتشارات سمت، چاپ اول، بهار ۱۳۸۳، صص ۳۶-۲۵.

پیوست 4- مشاهده نتایج اجرای مدل تحقیق

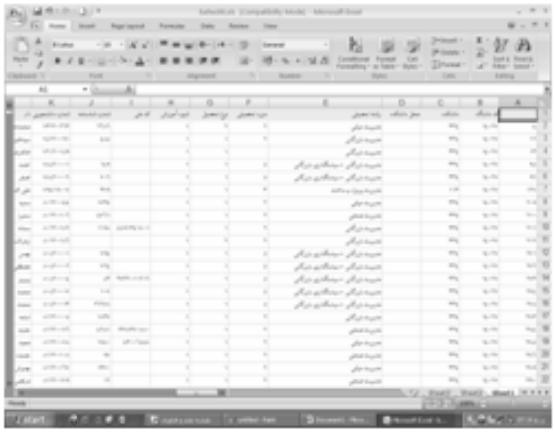
پیوست1- موی اصلی نرم افزار

پیوست 5- اعمال سیاست جدید



پیوست 2- مشاهده ویرایش مدل موجود

پیوست 6- اعمال یک تغییر در نرم افزار Vensim یا موقعیت

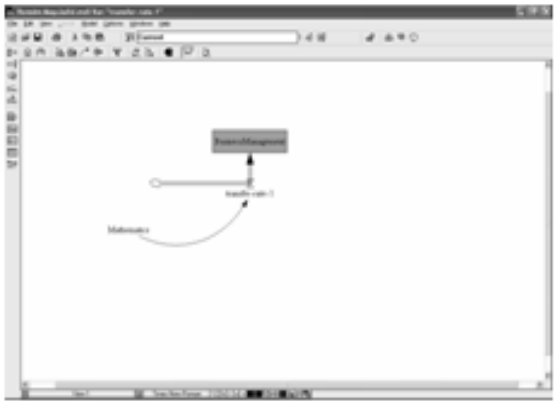


پیوست3- مشاهده پایگاه داده پشتیبان مدل

یـــو

ـــت 7- تعریف متغیرهای اصلی در ساخت مدل جدید

یوست8- فرم تعریف روابط بین متغیرها



یوست9- مشاهده نتیجه ساخت یک رابطه جدید در vensim

یوست 10-استفاده از انواع توابع تعریف شده در نرم افزار

یوست 11-استفاده از توابع سایر نرم افزارها در تعریف روابط متغیرها