



بسمه تعالی

تفکر سیستمی

آشنایی با مبانی رویکرد پویایی شناسی سیستم ها

تدوین:

دکتر سعید نوشاد

دکتری مدیریت آموزش عالی

گروه آموزش و توسعه کارکنان

آذر ۱۴۰۴

فهرست

۳	 مقدمه
۴	 ۱- تعریف سیستم
۳	 ۲- تفکر سیستمی
۵	 ۳- عناصر تفکر سیستمی
۸	 ۴- جامع نگری : تفکر کل نگر
۹	 ۵- تعریف پویایی
۱۰	 ۶- رویکرد پویایی سیستم ها
۱۵	 ۷- تبیین مبانی فلسفی مطالعات پویایی شناسی سیستم
۱۵	 ۸- هستی شناسی مطالعات پویایی شناسی سیستم
۱۶	 ۹- معرفت شناسی پویایی شناسی سیستم
۱۸	 ۱۰- ارزش شناسی پویایی شناسی سیستم
۱۹	 ۱۱- انسان شناسی (ماهیت انسان) مطالعات پویایی شناسی سیستم
۱۹	 ۱۲- علیت در مطالعات پویایی شناسی سیستم
۲۰	 ۱۳- منطق پویایی شناسی سیستم
۲۱	 ۱۴- ادبیات فنی استفاده از پویایی سیستم
۲۸	 ۱۵- نظریه ساختمان سیستم
۳۱	 منابع

پویایی سیستم با دید کلی نگر مسائل دنیای واقعی را مورد مطالعه قرار می دهد؛ بنابراین، هدف از این رویکرد، دست یافتن به مقدار دقیق نتیجه یک فرایند طی زمان مشخص نیست، بلکه درک این مهم است که تحت چه شرایط و سیاست گذاری هایی، نتیجه بهبود می یابد، بدتر می شود یا تحت کنترل قرار می گیرد. پویایی سیستم روشی است که از طریق آن می توان رفتار دینامیکی یک سیستم پیچیده در طول زمان را با در نظر گرفتن بازخورد داخلی و تاخیرهای زمانی بهتر درک کرد. پویایی شناسی سیستم روشی است که نظریه بازخورد اطلاعات و کنترل را به منظور بررسی فرایندهای سازمانی بکار می گیرد. فرض زیربنایی در این روش آن است که می توان شرایط پیچیده دنیای واقعی را بر اساس عوامل و جریان هایی از روابط بین آن عوامل تشریح کرد. تاکید اصلی روش بر ساختاری است که بر اساس روابط تعاملی میان عوامل شکل می گیرد، چنین ساختاری منجر به رفتاری پویا در سیستم می شود. این رویکرد برای اولین بار در پویایی های صنعتی توسط فاستر^۱ (۲۰۰۰) مطرح گردید و سپس در سایر زمینه ها به ویژه علوم اجتماعی و اقتصاد مورد استفاده قرار گرفت که می تواند در شبیه سازی رفتار پدیده ها خصوصاً در هنگام پیچیده بودن آنها مورد استفاده قرار گیرد. فاستر معتقد بود که روش پویایی سیستم قدرت ذهن انسان و توانایی کامپیوترهای امروزی را تلفیق کرده است. به کارگیری قدرت ذهن انسان در تعیین روابط علی-معلولی، حلقه های بازخورد و توانایی کامپیوتر در شبیه سازی رایانه ای صورت می پذیرد.

^۱ Forrester

۱- تعریف سیستم^۲

سیستم، مجموعه عناصری است که نمی توان آن را به اجزاء مستقل از هم تفکیک کرد. اگر سیستمی را از نظر فیزیکی یا مفهومی به اجزاء تفکیک کنیم خواص ضروری خود را از دست می‌دهد؛ به این دلیل، سیستم ماهیتی کلی دارد که شناخت آن صرفاً با تحلیل امکانپذیر نیست. درک این مطلب نخستین منبع انقلاب فکری است که تغییر عصر را فراهم آورد و عصر چهارصد ساله ماشین را به عصر سیستم به تعبیر راسل ایکاف تبدیل کرد (ایکاف، ۱۳۸۸). زنجیره ای از تعامل اجزا تشکیل می شود که کل جهان هستی را شامل می شود. ولی برای بررسی پدیده ها با جامع نگری باید محدوده ای از تعاملات و اجزا را در نظر گرفت که در پدیده مورد نظر نقش قابل توجه و مهمی دارند و مجموعه قابل فهمی را تشکیل می دهند. لذا علی رغم آنکه همه اجزای هستی به نوعی در زنجیره ای از تعاملات متقابل قرار دارند، در نگرش سیستمی^۳، سیستم یا کل مورد نظر در رابطه با هدف بررسی یا پدیده مورد نظر به شکل زیر تعریف می شود (مشایخی: ۱۳۹۶، ص ۷۳).

۲- تفکر سیستمی^۴

تفکر سیستمی نوعی نگاه به جهان هستی و پدیده های آن است. این شیوه تفکر، روش شناسی مؤثری را برای سیستم های اجتماعی- فرهنگی در محیط آکنده از آشفتگی و پیچیدگی ارائه می دهد. در تفکر سیستمی، صرفاً به اجزاء و جزئیات یک سیستم نگاه نمی شود بلکه چگونگی تعامل

^۲ System

^۳ System approach

^۴ Systematic thinking

بین اجزاء و نیز برهم کنش اجزاء و محیط بررسی می شود. تفکر سیستمی، فرآیند شناخت مبتنی بر تحلیل (تجزیه) و ترکیب در جهت دستیابی به درک کامل و جامع یک موضوع در محیط پیرامون خویش است. این نوع تفکر درصدد فهم کل (سیستم) و اجزای آن، روابط بین اجزاء و کل و روابط بین کل با محیط آن (فراسیستم) است (سنگه، ۱۹۹۰).

تفکر سیستم ها مجموعه ای از مهارت های تحلیلی هم افزایی است که برای بهبود قابلیت شناسایی و درک سیستمها، پیش بینی رفتارهای آنها و ایجاد اصلاحات در آنها به منظور تولید اثرات مطلوب مورد استفاده قرار می گیرد (آرنولد و وید ۲۰۱۵). این مهارت ها به عنوان یک سیستم با هم کار می کنند. ظرافت این تعریف در سادگی و کاربرد آن است، به دلیل کم بودن پیشینه ای که در مورد ماهیت یک سیستم وجود دارد، این تعریف می تواند به شکلی قابل فهم برای مخاطبان بدون پیشینه در علم سیستم ارائه شود. تلاش تفکر سیستمی در دو عنصر خلاصه می شود: کاهش پیچیدگی توسط مدل سازی سیستم ها از نظر مفهومی و شناسایی و درک روابط غیر خطی (آرنولد و وید ۲۰۱۵).

۳- عناصر تفکر سیستمی

تعاریف متعددی برای تفکر سیستمی و اصول آن وجود دارد که بر اساس مطالعه مروری آرنولد و وید، ۲۰۱۵ پیر روی یشینه مطالعات در زمینه تعاریف تفکر سیستمی، میتوان به طور خلاصه به موارد زیر اشاره کرد:

تشخیص روابط درونی: این مورد بنیادیترین اصل تفکر سیستمی محسوب میشود. این مهارت شامل توانایی تعریف ارتباطات کلیدی بین بخشهای یک سیستم میشود. حتی تحصیلات عالی بدون آموزش تفکر سیستمی، نمیتواند این مهارت و توانایی را ایجاد نماید.

تعریف و فهم بازخورد: بعضی از روابط درونی با یکدیگر ترکیب می شوند تا حلقه های بازخوردی علت و تاثیر را ایجاد نمایند. تفکر سیستمی به شناسایی و تعریف حلقه های بازخورد و نیز فهم اینکه این حلقه های بازخورد چگونه بر روی رفتار سیستم تاثیر میگذارند، نیاز دارد.

درک ساختار سیستم: ساختار سیستم از عناصر و اتصال بین این عناصر تشکیل شده است. تفکر سیستم ها به درک این ساختار و چگونگی تسهیل رفتار سیستم نیاز دارد. اگرچه این عنصر به طور خاص در طبقه بندی های هاپر و استیو (۲۰۰۸) یا پلیت (۲۰۱۴) ذکر نشده است، اما می توان از آن به عنوان ترکیبی از دو عنصر فوق الذکر نام برد و در آثار مهم دیگر نیز به آن اشاره شده است.

تشخیص متغیرهای جریان و حالت: متغیر حالت به منابع در یک سیستم اطلاق می شود. این متغیر می تواند از نظر فیزیکی مانند مقدار رنگ یک سطل یا احساسی مانند سطح اعتماد یک دوست به دیگری باشد. متغیرهای جریان، تغییرات در این سطوح هستند. سایر متغیرها بخش های قابل تغییر سیستم هستند که بر حالت و جریان سیستم تأثیر می گذارند، مانند نرخ جریان یا حداکثر مقدار حالت، توانایی تمایز بین این متغیرهای حالت، جریان و سایر متغیرها و تشخیص نحوه عملکرد آنها یک مهارت مهم تفکر سیستمی است.

شناسایی و درک روابط خطی: این عنصر به حالت و جریان های غیرخطی اشاره دارد. از نظر مفهومی می توان این عنصر را تحت انواع مختلف حالت، جریان و متغیر گروه بندی کرد. با این حال، به نظر می رسد دومی حاکی از یک جریان خطی است. برای، جلوگیری از سردرگمی، جریانهای غیر خطی در این عنصر جدا می شوند.

درک رفتار پویا: ارتباطات، نحوه ترکیب آنها به حلقه های بازخورد، و نحوه تأثیرگذاری این حلقه های بازخورد و متشکل از متغیرهای حالت، جریان و سایر متغیرها باعث ایجاد رفتار پویا در یک سیستم می شوند. درک این رفتار بدون آموزش و درک سیستم دشوار است (پلیت و مونرو، ۲۰۱۴). رفتار اضطراری، اصطلاحی که برای توصیف رفتار، سیستم غیرقابل پیش بینی استفاده می شود، یک نمونه از رفتار پویا است. تمایز انواع متغیرهای حالت، جریان و سایر متغیرها و همچنین شناسایی و درک روابط غیر خطی، هر دو کلید درک رفتار پویا هستند

کاهش پیچیدگی بوسیله مدل سازی مفهومی سیستم ها: این عنصر، توانایی مدل سازی مفهوم بخش های مختلف یک سیستم و مشاهده سیستم به روش های مختلف است. انجام این فعالیت فراتر از محدوده مدل های سیستم تعریف شده است و از طریق روشهای مختلف مانند کاهش، دگرگونی، خلاصه سازی و همگن سازی وارد عرصه ساده سازی شهودی می شود. (وید، ۲۰۱۱). این مهارت همچنین می تواند به عنوان توانایی نگاه کردن به سیستم به روش های مختلفی مطرح شود که باعث کاهش پیچیدگی می شود

۴- جامع نگری : تفکر کل نگر

یک عنصر مهم در دیدگاه سیستمی جامع نگری است. جامع نگری به این نکته مهم قائل است که دنیا از اجزایی تشکیل شده که در ارتباط با یکدیگرند و بر هم اثر می گذارند. مجموعه ای از اجزا که با هم در ارتباط بوده و بر هم اثر می گذارند تا هدفی تحقق یافته یا پدیده ای شکل بگیرد «کل» یا «سیستم» را تشکیل می دهند. تغییرات و تحولات در دنیای واقع ناشی از تعامل بین اجزا و عواملی است که یک کل یا سیستم را تشکیل می دهند. در دنیای واقع هیچ عاملی در انزوا از عوامل اجزای دیگر منجر به تغییر و تحول نمی شود. انسان با عواملی که اثرات متقابل بر هم دارند و تغییرات و تحولات را به وجود می آورند احاطه شده است. هر انسان، نیز جزئی از برخی کل ها و سیستم ها است که او را احاطه کرده اند و با اجزای آن سیستم ها در تعامل است. خود وجود انسان که از اجزای مختلف و در ارتباط با هم تشکیل شده است تا زندگی انسان ادامه یابد یک سیستم را تشکیل می دهد که هدفش بقای انسان است. بدین ترتیب هر جزئی از یک سیستم، در سطح خردتر یا پایین تر می تواند سیستمی باشد که ویژگی های آن جزء را به وجود می آورد. در دنیای واقع هر جزء با اجزای دیگر در تعامل است. هر جزء از جزء دیگری اثر می پذیرد و خود بر اجزایی علاوه بر جزء قبلی اثر می گذارد. (مشایخی: ۱۳۹۶، ص ۷۲ و ۷۳). «سیستم یا کل متشکل از اجزایی است که برای تحقق هدف خاصی در ارتباط متقابل و مفید با یکدیگر قرار دارند.»

۵- تعریف پویایی

پویایی به معنای تغییر در طول زمان است. جهان ما و تمام مظاهر آن پویاست. همه چیز در جهان در حال تغییر است. شاید تنها چیزی که تغییر نمی کند خود تغییر است. از کوچکترین اجزای تشکیل دهنده جهان تا موجودیت های بزرگ با گذشت زمان تغییر می کنند. سازمان ها نیز تغییر می کنند. در یک بنگاه اقتصادی، میزان فروش، تعداد کارکنان، میزان بدهی و مطالبات، موجودی انبار، سرمایه شرکت و عوامل بسیار دیگر در طول زمان تغییر می کنند. تغییرات شامل تغییر در عوامل کیفی نیز می شود. مثلاً کیفیت محصول، سطح انگیزه و علاقه کارکنان به شرکت، امید به آینده شرکت و تصورات مدیران شرکت از روحیه کارکنان از جمله عوامل یا ویژگی های دیگر یک شرکت هستند که در طی زمان تغییر می کنند (مشایخی: ۱۳۹۶. ص ۲۰).

پویایی پدیده ها و یا نحوه تغییر نمودهای مختلف در طی زمان همواره مطلوب بشر نیست. در بسیاری از اوقات رفتار پویایی پدیده های فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی نا مطلوب است. بشر همواره طالب تغییر رفتار نا مطلوب پدیده ها به رفتار مطلوب خود بوده است. مساله اصلی که در نظام پویا یا سیستم های دینامیکی مورد بررسی قرار می گیرد چگونگی کنترل رفتار پویایی پدیده ها و تبدیل رفتار نا مطلوب آنها به رفتار مطلوب است (مشایخی: ۱۳۹۶. ص ۲۹).

هرگونه اقدام و تلاش انسان برای تغییر رفتار یک پدیده بر اساس یک درک خاص از علل بروز آن رفتار است. هر چقدر درک انسان از علل بروز یک رفتار دقیق تر و صحیح تر باشد، امکان دستیابی او به راه حل ها و اقدامات لازم برای تغییر رفتار پدیده بیشتر می شود. چنانچه انسان درک و یا تحلیلی از چگونگی و علل به وجود آمدن تغییر و تحولات یک پدیده نداشته باشد نمی تواند راه حل

مفید و موثری برای تغییر رفتار پدیده پیشنهاد کند. مدیران و تصمیم گیران در هر یک از زمینه ها نظیر زمینه های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و یا صنعتی هر گونه تصمیمی را که برای بهبود رفتار مجموعه تحت اداره خود اتخاذ می کنند، بر اساس درک آنان از علل رفتار آن مجموعه است. لیکن وقتی درک صحیحی از علل رفتار مجموعه و یا پدیده مورد نظر وجود نداشته باشد، تصمیمات و اقداماتی که جهت بهبود رفتار انجام می شود منجر به نتایج مورد نظر نمی شود (مشایخی: ۱۳۹۶، ص ۳۳).

۶- رویکرد پویایی سیستم ها

رویکرد پویایی سیستم ها روشی برای تجزیه و تحلیل، حل مساله و شبیه سازی سیستم است. این تکنیک، روشی برای تجزیه و تحلیل سیستم ها و مسایل پیچیده به کمک شبیه سازی کامپیوتری به شمار میرود. تکنیک پویایی سیستم برای اولین بار در اواخر دهه ی ۱۹۵۰ به وسیله ی گروه از محققان به رهبری فارستر در دانشگاه ام آی تی^۵ توسعه داده شد (کو^۶ ۲۰۰۶، ۲۵). روش پویایی سیستم ارتباط بین پدیده ها را بصورت فرایندی وابسته به سایر متغیرها و بر اساس حلقه های بازخور در نظر می گیرد. بنابراین در شرایط واقعی، هر معلول ضمن اثرپذیری از علل مختلف ممکن است که بر یک یا چند علت تاثیر گذاشته و اثر آن نیز به عنوان یک نتیجه پس از یک دوره زمانی به شکل بازخور به آن عامل ارجاع شود (فارستر، ۱۹۹۹). برای اولین بار فارستر برای مدل سازی و شبیه سازی یک روش تصمیم گیری بلندمدت در مسایل پویایی مدیریت صنعتی از پویایی سیستم استفاده کرد. بعد از آن پویایی سیستم برای مسایل تدوین استراتژی و خط و مشی گذاری کسب و

^۵ - MIT

^۶ - Cove

کارها به کار گرفته شد (استرمن^۷، ۲۰۰۲، ۱۰۲). به طور خلاصه می توان گفت که از علم پویایی سیستم برای شناخت، درک و تجزیه و تحلیل رفتار و حرکات اجزای سیستم استفاده می شود. توانایی این علم به حدی است که می توان با بهره گیری از آن مسایل مختلف ساده و پیچیده را مدلسازی نمود و تغییر ناشی از تعامل متغیرها و شناسایی رفتارهای آنها را در دوره های زمانی مختلف مورد بررسی قرار داد (حمیدی زاده، ۱۳۸۹، ۶۹؛ به نقل از محمدی اصل و همکاران، ۱۳۹۹). پویایی سیستم ها بر پایه ساخت مدل بنا شده است. در عمل، شما ابتدا به عنوان یک مدل ساز از طریق رابطی که فکر می کند شما یا ابزار های مدل سازی تان ممکن است مفید باشند به یک سازمان راه می یابید. قدم نخست این است که دریابید مسئله واقعی چیست و مشتری واقعی کیست. با پیشرفت فرایند مدل سازی، ممکن است که در یابند که گروه مشتریان در حال توسعه یا تغییر است همه مدلسازان موفق از یک فرایند منظم که پیروی می کنند (استرمن ۲۰۰۰، ۴۸). تدوین یک مدل براساس روش شناسی پویایی سیستم شامل مراحل زیر است:

❖ چهارچوب بندی مساله موردنظر؛

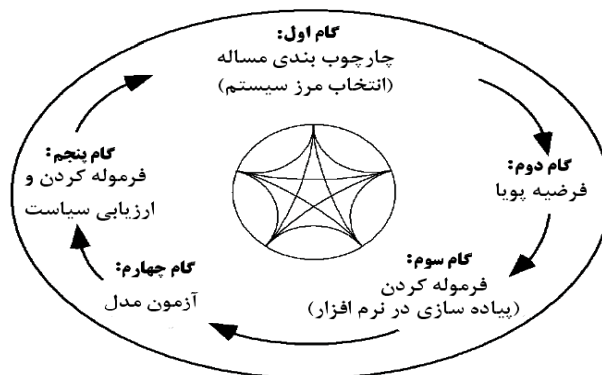
❖ فرموله کردن یک فرضیه پویا یا تئوری در مورد علل مساله؛

❖ فرموله کردن یک مدل شبیه سازی برای آزمایش فرضیه پویا؛

❖ آزمون مدل تا وقتی که از مناسب بودن آن برای هدف خود اطمینان حاصل کنید؛

طراحی و ارزیابی سیاستهایی برای بهبود. شکل (۱) این مراحل را نشان می دهد.

^۷ - Sterman



شکل (۱) گام های مدل سازی در مدل استرمن

در ادامه این قدمها به همراه تعدادی پرسش که در هر قدم به آنها پاسخ داده می شود و ابزارهای اصولی که در هریک استفاده می شود آورده شده است (استرمن، ۱۳۹۰)

الف) چهارچوب بندی مساله (انتخاب مرز)

انتخاب موضوع: مساله چیست؟ چرا به صورت یک مشکل بروز کرده است؟

متغیرهای کلیدی: متغیرها و مفاهیم کلیدی که باید در نظر بگیریم کدام اند؟

افق زمانی: چه مدت زمانی را در آینده باید در نظر بگیریم؟ چقدر به عقب برگردیم تا بتوانیم ریشه

های مشکل را شناسایی کنیم؟

تعریف پویا از مساله (رفتارهای مرجع): رفتار تاریخی مفاهیم و متغیرهای کلیدی چیست؟ در آینده رفتار آنها ممکن است چگونه باشد؟

ب) فرموله کردن فرضیه پویا

ایجاد فرضیه اولیه: تئوریهای فعلی رفتار مشکل ساز کدام اند؟

تمرکز بر درونیایی: فرضیه پویایی طرح کنید که پویایی رابه عنوان نتیجه درونی ساختار بازخوردی مطرح کند.

نگاشت: نقشه های ساختار علی را بر اساس فرضیه های اولیه، متغیرهای کلیدی، رفتارهای مرجع و دیگر داده های در دسترس با استفاده از ابزارهای زیر تهیه کنید:

نمودارهای مرز مدل

نمودارهای زیرسیستم

نمودارهای علی حلقوی

نمودارهای حالت و جریان

نمودارهای ساختار سیاست

دیگر ابزارهای آسان سازی

پ) فرموله کردن مدل شبیه سازی

تشخیص ساختار و قوانین تصمیم گیری

برآورد پارامترها، روابط رفتاری و شرایط اولیه

انجام آزمایش هایی برای اطمینان از سازگاری هدف و مرز.

ت) آزمودن

مقایسه با رفتارهای مرجع: آیا مدل به اندازه کافی رفتار مساله را برای هدف شما بازتاب می دهد؟

قدرت در شرایط حدی: آیا مدل تحت شرایط حدی رفتار واقعی از خود شان می دهد.

تحلیل حساسیت: وقتی مدل در پارامترها، شرایط اولیه، مرز مدل و تراکم با عدم قطعیت روبه رو می شود چگونه رفتار می کند؟

ث) طراحی و ارزیابی سیاست

طراحی سناریو: چه شرایط محیطی ای ممکن است روی دهد؟

طراحی سیاست: چه قوانین تصمیم گیری، استراتژیها و ساختارهای جدیدی ممکن است در جهان واقعی مورد آزمایش قرار گیرند؟ چگونه می توان آنها را در مدل نشان داد؟ تحلیل چه می شود اگر پیامدهای سیاست ها چیست؟

تحلیل حساسیت: سیاستهای پیشنهادی مختلف تا چه حد در مقابل سناریوهای متفاوت و عدم قطعیتها قدرتمندند؟

تعاملات بین سیاستها: آیا سیاستهای مختلف با یکدیگر تعامل دارند؟ آیا در سیاستهای مختلف هم افزایی یا کم افزایی وجود دارد.

۷- تبیین مبانی فلسفی مطالعات پویایی شناسی سیستم

بسیاری از متخصصان پویایی شناسی سیستم بر این باورند که این رشته، پارادایم خاصی از مدل سازی است که پیش فرض های مشخص و واحدی دارد. در این صورت، میتوان با همان رویکرد سنتی که بسیاری از نویسندگان نیز بدان پرداخته اند، پارادایم یا فلسفه ای را برای کلیه مدل های پویایی های سیستم، تعریف کرد. اما با مرور نظرات نویسندگان و همچنین، تطبیق فلسفه های پیشنهاد شده با آنچه در فرایند مدل سازی مسائل مختلف رخ می دهد، میتوان دریافت که مطالعات پویایی شناسی سیستم، ظرفیت برخورداری از مبانی فلسفی متنوع را داراست. در ادامه، جهت تبیین این نکته برای ورود به بحث اصلی، شواهدی که مؤید این موضوع است ذیل ویژگی های متعارف مبانی فلسفی می آوریم.

۸- هستی شناسی مطالعات پویایی شناسی سیستم

در تبیین مبانی هستی شناسی مطالعات پویایی شناسی سیستم، باید به سؤالاتی درباره ماهیت عناصر و متغیرهای مسئله و نحوه ایجاد رفتار پویا - که موضوع مطالعات پویایی شناسی سیستم است - پاسخ گفت. رویکردهای رئالیسم و ایده آلیسم و میانه، پاسخهایی است که بزرگان مطالعات پویایی شناسی سیستم، پیشنهاد کرده اند. در نگاه رئالیسم، برای کلیه عناصر مدل، متناظر خارجی در نظر گرفته میشود. حال آنکه، ایده آلیسم، قائل به وجود سیستمی مستقل از افکار و ایده های انسان در دنیای خارجی نیست و تبیین بر اساس مدل را تنها نموده، جلوه ها و صور ظاهری مفاهیم ذهنی می بیند در رویکرد میانه، سیستم ها، متغیرهای نرخ و حالت می توانند گاهی اوقات وجود

داشته باشد و گاهی اوقات نیز تنها به مثابه ابزارهایی باشد که در ساخت، توصیف و ادراک موضوعات پیچیده دنیای واقعی به کار می آید (پروت^۸، ۲۰۰۶).

۹- معرفت شناسی پویایی شناسی سیستم

معرفت شناسی، نظریه ای در باب معرفت یا دانش است؛ نظریه یا معرفتی درباره روش یا پایه دانش؛ نظریه ای که بیان می کند چه طور انسان به معرفتی درباره جهان اطراف خود دست یافته، دست می یابد یا دست خواهد یافت؟ چه طور، آنچه میدانیم میدانیم؟ معرفت شناسی، بنیانی فلسفی برای ایجاد انواع معرفت - که ممکن است بتوانیم کسب کنیم - مهیا کرده و معیاری است برای این که تصمیم بگیریم چه طور معرفت می تواند به درستی و به صورت منطقی سنجیده شود (کروتی، ۱۹۹۸). یکی از روشهای تأمل در باب معرفت شناسی، توجه به ارتباط میان محققان و اشیاء یا ابژه هایی است که موضوع شناخت، واقع خواهد شد. بر اساس این، دو روش اساسی برای معرفت شناسی تصور می شود:

عینی گرایی: که بر اساس آن، اشیاء یا ابژه ها، پدیده هایی دارای معانی ذاتی است. از این منظر، نقش مدل ساز در فرایند مدل سازی، کشف این معنا است؛ که البته تصور می شود پیش از مشاهده، در آن قرار گرفته باشد. از رویکرد عینی گرایی، معنای پدیده ها، مستقل از آگاهی انسان است؛ این معنا در انتظار کشف شدن است، چیزی که بر بیننده، مقدم است. بنابراین انتظار می رود همه مشاهده گران، معنایی یکسان درباره آن پدیده کشف کنند.

^۸ Pruyt

ذهنی گرایی: بر اساس این رویکرد، اشیاء، هیچ سهمی در معنای منسوب به خود ندارد، بلکه این معانی را مدل ساز بر آنها تحمیل میکند. بنابراین، ممکن است. مدل سازان متفاوت معانی مختلفی به اشیاء بدهند (محمدپور، ۱۳۸۹، ص ۴۵ و ۴). در تبیین مبانی معرفت شناسی مطالعات پویایی شناسی سیستم، بر اساس رابطه میان مدل ساز و واقعیت مسئله، باید به ذهنی یا عینی بودن معانی اجزای مدل پرداخت و اینکه آیا این معانی، ذاتی یا عرضی آنها هستند. غالب متخصصان پویایی شناسی سیستم بر این باورند انسان ها، دنیای خارجی را تنها از طریق مدل های ذهنی خود می توانند بشناسند. ذهنی میانه، اصطلاح مناسبی برای این نوع معرفت شناسی است چرا که بر اساس آن، واقعیت عینی وجود دارد اما با مدل های ذهنی تنها به صورت بخشی - و نه کامل - میتوان به آن دست یافت. (این نگاه با معرفت شناسی رئالیست انتقادی و کثرت گرایی انتقادی همخوانی زیادی دارد). با وجود این، به نظر می رسد با توجه به گستره مدل های پویایی شناسی سیستم، معرفت شناسی هایی نیز در طیف عینی (مانند مهندسی خط مشی^۹) تا ذهنی (مانند پویایی های هولون^{۱۰}) بر مطالعات پویایی شناسی حاکم باشد (پرویت، ۲۰۰۶).

^۹ Policy engineering

^{۱۰} Holon dynamics

۱۰- ارزش‌شناسی پویایی‌شناسی سیستم

ارزش‌شناسی یا نظریه ارزش، بخشی از فلسفه کاربردی است که در آن، درباره ماهیت ارزش، به طور کلی، مطالعه میشود (اسمیت و توماس^{۱۱}، ۱۹۹۸). در اینجا منظور از ارزشها، عقاید و احساسات پژوهشگر است که در فرایند و نتیجه پژوهش می‌تواند تأثیرگذار باشد. با توجه به اینکه فرایند مدل‌سازی، خود، پژوهش است، میتوان مبانی ارزش‌شناسی را برای مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم نیز تعریف کرد.

میدوز^{۱۲} و برخی دیگر از بزرگان پویایی‌شناسی سیستم از نقش ارزشها در فرایند مدل‌سازی (از انتخاب مسئله تا نتایج)، آگاه و نسبت به آن، دغدغه‌مندند. برخی دیگر نیز در مقابل این دیدگاه، نقش ارزش‌ها را به طور کامل نفی می‌کنند و در نتیجه، هیچ نگرانی‌ای نیز از تأثیرات آنها ندارند. گروهی دیگر نیز تأثیر ارزشها را قبول دارند و سعی می‌کنند این تأثیرات را تا حد امکان، تقلیل دهند. اما گروه چهارمی نیز در میان متخصصان پویایی‌شناسی سیستم مشاهده می‌شود که بر این باورند که مطالعات پویایی‌شناسی سیستم، متأثر از ارزشهاست اما نمی‌توان آنها را تقلیل داد (پرویت، ۲۰۰۶).

^{۱۱} Smith & Thomas

^{۱۲} Meadows

۱۱- انسان شناسی (ماهیت انسان) مطالعات پویایی شناسی سیستم

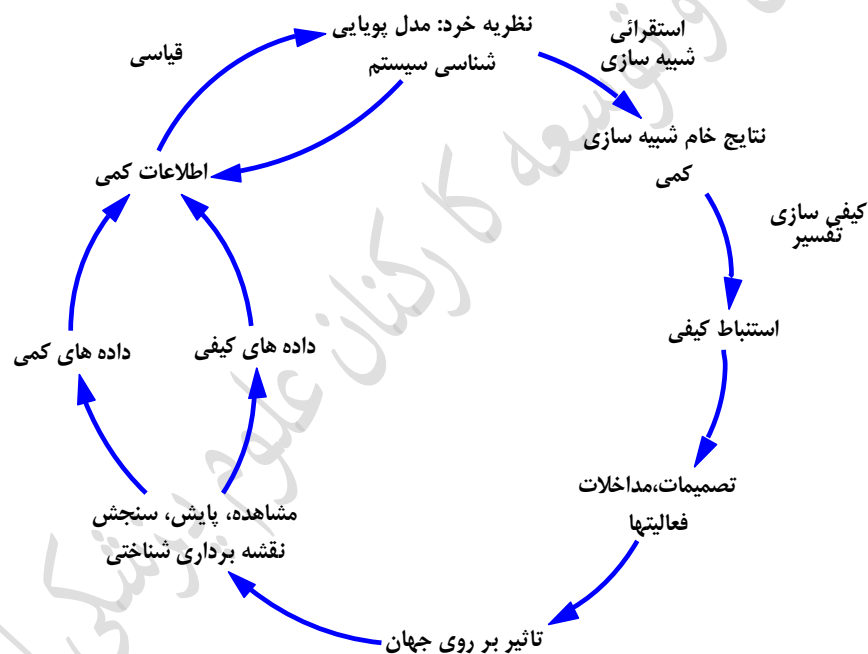
ماهیت انسان، یکی از ویژگی‌هایی است که در فلسفه‌های مختلف، بررسی می‌شود. آنچه در مطالعات پویایی شناسی سیستم، محل مناقشه است، فعال یا منفعل بودن انسان در برابر ساختاری است که بنا بر ایده پویایی شناسی سیستم، تولید کننده رفتار است. در تحلیل انسان شناسی مطالعات پویایی شناسی سیستم، برخی، انسان را در مدل‌های پویایی‌های سیستم، منفعل می‌دانند حال آنکه عده‌ای نیز تأثیر و تأثر انسان و ساختار را در مدل‌ها متقابل قلمداد می‌کنند.

۱۲- علیت در مطالعات پویایی شناسی سیستم

علیت مستقیم یکی از فرضیات اساسی پویایی شناسی سیستم است که با وجود انکار ناپذیر آن در مدل‌های پویایی شناسی سیستم می‌تواند معانی مختلفی داشته باشد برخی، علیت را واقعی و شناختنی می‌دانند در حالی که عده‌ای با انکار علیت عمومی، شناخت علت واقعی را ناممکن می‌پندارند. در این بین، عده‌ای نیز علیت کشف شده را احتمالاً درست می‌دانند اما معتقدند این علیت در طول زمان، تغییر خواهد کرد. گروهی نیز با توجه به مبانی هستی‌شناسی و معرفت‌شناسی پویایی شناسی سیستم، علیت را زائیده ذهن آدمی می‌دانند، حال، علیتی وجود داشته یا این علیت (علت و معلول) تمیزناپذیر باشد.

۱۳- منطق پویایی شناسی سیستم

منطق پویایی های سیستم در مراحل مختلف چرخه پژوهش مطالعات پویایی شناسی سیستم، متفاوت است (نمودار ۱). ابتدا، مدل ها از اطلاعات موجود، قیاس می شود (منطق قیاسی) و سپس برای شبیه سازی، استفاده می شود (منطق استقرایی). می توان بر اساس قیاسی و استقرایی بودن مراحل مدل سازی، پویایی شناسی سیستم را به رویکردهای مختلف، تقسیم کرد؛ چرا که در برخی، تنها قیاس یا استقرا و یا هر دو روی میدهد.



نمودار (۱) چرخه پژوهش پویایی شناسی سیستم (پرویت، ۲۰۰۶)

۱۴- ادبیات فنی استفاده از پویایی سیستم

الف) پویایی سیستم: در بسیای از موارد، وضعیت موجود مطابق با وضع مطلوب که همان هدف است، نیست. در این حالت مشکل ایجاد می‌شود سیستم های دینامیکی یک روش برای حل مشکل نیست بلکه یک تفکر است. در حقیقت این سیستم یک ابزار است این نوع تفکر، تفکر سیستمی و علت و معلولی است (فاستر، ۱۹۶۱). بطور کلی برای هر پدیده ای به دنبال علتی هستیم و هر پدیده ای معلولی را به همراه دارد و در کل به زنجیره ای از علت و معلول ها میرسیم. در این نوع سیستم ها زنجیر علت و معلول وجود نداشته همه روابط بصورت حلقه بوده و بزرگترین تکنیک در این سیستم ها، ارائه و کشف فرایندی است که به آن بازخور می گویند. این فرایند تنها از طریق، انباشت، جریان، روابط غیرخطی بین متغیرها و تاخیرات زمانی بوقوع می پیوندد. با توجه به این عناصر، ساختار سیستم مشخص میشود و ساختار منجر به رفتار خاص از سیستم می گردد در حقیقت ساختار ایجاد می شود تا رفتار حاصل گردد در سیستم های دینامیکی برای ارائه ساختار از مدلهای مربوط به این سیستم ها استفاده می شود (استریمن، ۲۰۰۰).

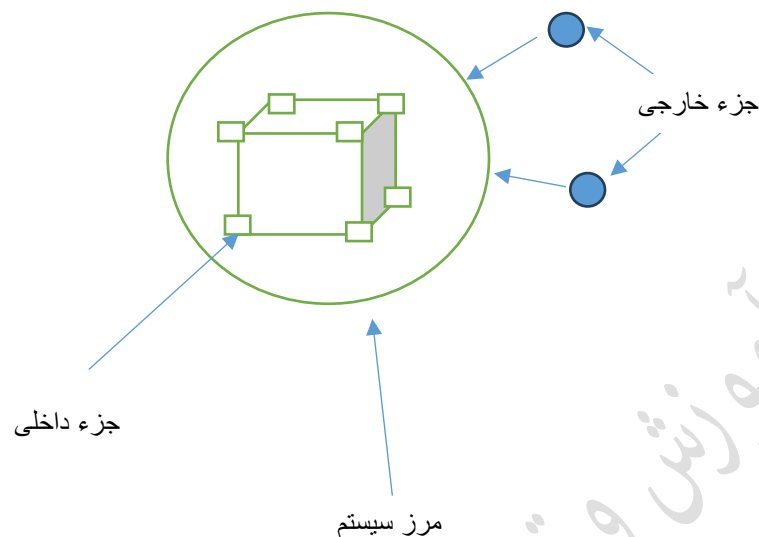
ب) مدل و مدلسازی: برای نمایاندن جهان واقعیت مدلها ابداع شده اند. مدلها بهترین مبنا برای تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی هستند زیرا موجب کاهش هزینه ها، صرفه جویی در زمان مطالعه و حصول سریع به نتایج می شوند. مدلها از این روی بر سیستم های واقعی برتری دارند که قابل کنترل و در دسترس هستند، به کمک آنها میتوان به مشاهده دقیق رفتار مولفه های تشکیل دهنده و علل آنها پرداخت و اطلاعات مورد نیاز را به سرعت تحت شرایطی بدست آورد که حتی در واقعیت قابل مشاهده نیستند ارزش مدل آن است که مساله را، ساده سازی می نماید لذا بایستی تعداد

متغیرهای مدل از متغیرهای دنیای واقعی کمتر باشد در مدلسازی سیستمهای دینامیکی، نمودارهای علی ابزار بسیار مناسبی برای تدوین مدل اولیه و استخراج مدل های ذهنی، مشتریان و نمودارهای انباشت و جریان شیوه رایج برای نشان دادن ساختار حلقوی سیستمهای دینامیکی می باشد (حمیدی زاده ۱۳۷۹، ۳۴-۴۴).

پ) مرز سیستم و عناصر درونی و بیرونی سیستم : در نگرش سیستمی مرز سیستم مفهومی مجرد است که اجزای سیستم را از آنچه خارج از سیستم است جدا می کند. در واقع مرز سیستم در برگرفته اجزای سیستم است. اجزای داخل مرز سیستم را که با هم در تعامل اند و بر هم اثر می گذارند اجزای داخلی^{۱۳} یا درونزا می گویند. اجزای یک سیستم ممکن است از یک عامل تاثیر قابل توجهی بپذیرند ولی در آن تاثیر نگذارند، این عامل را جزء خارجی^{۱۴} یا برونزا می گویند. عوامل برونزا از درون سیستم تاثیر نمی پذیرند و یا در محدوده زمانی مورد نظر از عوامل درون سیستم تاثیر نمی گیرند. ولی تغییر عوامل برونزا بر عوامل درون سیستم اثر می گذارد و سبب واکنش سیستم می شود(مشایخی: ۱۳۹۶ ص ۷۸ و ۷۹).

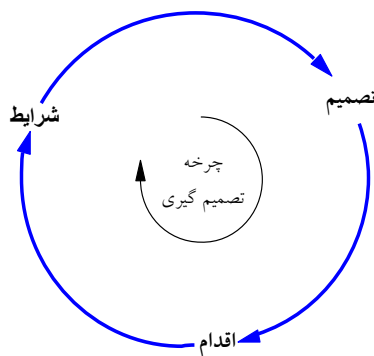
^{۱۳} indigenous

^{۱۴} exogenous



شکل (۳) مرز سیستم، دربرگیرنده اجزای سیستم مشایخی : ۱۳۹۶

ت) حلقه بسته (پس خوران): عنصر مهم دیگر در نگرش سیستمی، حلقه بسته یا پس خوران است. نگرش سیستمی بر این اصل قائل است که آنچه انسانها انجام میدهند یا در طبیعت رخ می دهد در چرخه های پس خوران واقع می شود. شکل (۴) نمای کلی پس خوران را نشان می دهد. در این چرخه واقعیات و شرایط دنیای واقع منجر به تصمیم افراد یا طبیعت می شود. تصمیمات منجر به اقدام می شود تا بر شرایط دنیای واقع اثر بگذارد. تغییر در شرایط دنیای واقع منجر به تصمیمات و اقدامات جدید می شود. انسان و دنیای اطراف اوم در چرخه های پس خوران روزگار می گذراند (مشایخی: ۱۳۹۶. ص ۸۲ و ۸۳).

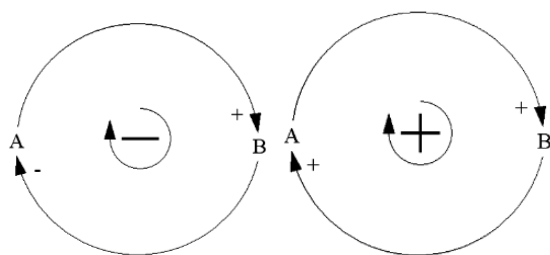


شکل (۴) چرخه پس خوران

ث) نمودارهای علی حلقوی و متغیرهای حالت و جریان : بازخور یکی از مفاهیم محوری در پویایی سیستم هاست. با این حال، غالباً مدل های ذهنی ما در گنجاندن بازخورهای حیاتی که پویایی سیستم های ما را ایجاد می کنند، دچار مشکل می شوند. در پویایی سیستم ها، از ابزارهای نموداری مختلفی برای درک ساختار سیستم استفاده می کنیم، مثل نمودارهای علی حلقوی و نقشه های حالت و جریان (استرمن، ۱۳۹۰). در ادامه، این دو ابزار تشریح شده است.

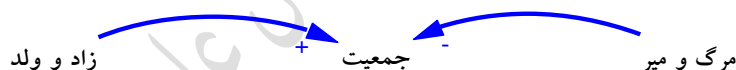
ج) نمودارهای علی حلقوی^{۱۵} (CLD): نمودارهای علی حلقوی، نمودارهایی را گویند که ضمن تعیین روابط علی بین دو یا چند متغیر، جهت تاثیر آن متغیرها را مشخص می کنند. مثلاً اگر A افزایش یابد، B افزایش خواهد یافت و اگر B نیز افزایش یابد، A دچار افزایش خواهد شد. این تاثیر، دوسویه است، در حالی که اگر فقط A بر B تاثیر می گذاشت، تاثیر یکسویه بود حلقه های علی مثبت، رفتار رشد نمایی، و حلقه های علی منفی، رفتار هدفجو را ایجاد می کنند (حمیدی زاده، ۱۳۹۲).

^{۱۵} Causal Loop Diagram



شکل (۵) الف: حلقه های علی مثبت (بازخور مثبت) ب: حلقه های علی منفی (بازخور منفی)

رابطه علت و معلول مثبت و منفی: رابطه علت و معلولی بین A و B وقتی مثبت است که اگر A در یک جهت تغییر کند موجب تغییر B یا تغییر در شدت B در همان جهت شود. رابطه علت و معلولی بین A و B وقتی منفی است که اگر A در یک جهت تغییر کند سبب تغییر B در جهت عکس شود. شکل شماره (۶) (مشایخی: ۱۳۹۶ ص ۱۵۰ و ۱۵۳).



شکل (۶) رابطه علت و معلولی

متغیر های حالت: متغیر های حالت حاصل جمع شدن یا کم شدن کمیت های (متغیر های) دیگر در طی زمان هستند. به عبارت دیگر متغیر های حالت با جریان یافتن متغیر های دیگر به آنها یا خارج شدن از آنها در طی زمان شکل می گیرند. به لحاظ تصویری متغیر حالت به صورت یک مستطیل نشان داده می شود و جریان های ورودی و خروجی به آن به صورت پیکان های ورودی و

خروجی به مستطیل با علامت یک شیر تنظیم کننده بر روی آن نشان داده می شود. (مشایخی: ۱۳۹۶، ص ۸۷).

متغیر نرخ: متغیرهای نرخ جریان های ورودی و خروجی از متغیرهای حالت هستند که سبب تغییر متغیرهای حالت می شوند. واحد اندازه گیری نرخ یک کمیت در واحد زمان است. مانند نفر در سال برای تولد یا مهاجرت یا تعداد محصول در ماه. (مشایخی: ۱۳۹۶، ص ۹۲).



شکل (۷) متغیرهای حالت و نرخ

تأخیر: تأخیر فرآیندی است که در آن میان ورود منابع به سیستم و خروج آنها از سیستم اختلاف زمانی وجود دارد. در هر تأخیر حداقل یک متغیر انباشت وجود دارد که اطلاعات و مواد در حال عبور در آن جمع می شود (استریم، ۲۰۰۰).

روابط غیر خطی: زمانی به یک فرایند خطی گفته می شود که نوع رفتارش متناسب با محرک های وارد شده به فرایند باشد. ولی معمولاً عوامل دیگری در فرایند ظهور می یابد که تأثیرش از بین بردن

روابط خطی میان عوامل بوده، باعث عدم تغییر رفتارها متناسب با تغییر محرک ها میشود اینگونه فرایندها غیر خطی نامیده می شوند (مورکارت و استریمن، ۱۹۹۴).

ظرفیت سازی: ظرفیت حداکثر ستاده یک سیستم عملیاتی در واحدی از زمان است که به صورت محصول یا خدمت ظاهر میشود لذا ظرفیت سازی تعیین حداکثر ستاده در واحد زمان است.

چ) نرم افزار ونسیم

برای شبیه سازی رفتارهای کامپیوتری رفتارهای پویا، نرم افزارهای متعددی ارائه شده است که هر یک ویژگی های خاصی دارند. یکی از این نرم افزارها ونسیم^{۱۶} است. این نرم افزار دارای نسخه های گوناگونی از قبیل آموزشی، استاندارد و حرفه ای است که نسخه های پیشرفته تر، قابلیت های بیشتری را در اختیار کاربر قرار می دهد. (مشایخی: ۱۳۹۶ ص ۲۷۳).

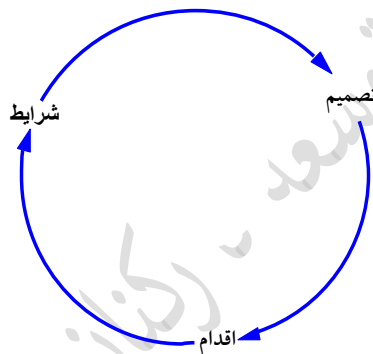
۱۵- نظریه ساختمان سیستم

از منظر پویایی سیستم، ساختار سیستم ها در سه لایه شکل می گیرد این لایه ها عبارت اند :

الف) لایه اولیه : سیستم حلقه بسته

^{۱۶} Vensim

سیستم حلقه بسته سیستمی است که عملکرد گذشته آن بر آینده اش اثر می گذارد، سیستمی است که آنچه در مقطع زمان فعلی در آن اتفاق می افتد بر آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد تاثیر می گذارد. سیستمی است که گذشته اش حال و حالش آینده آن را تعیین می کند. سیستمی که در آن پس خوران ها بین شرایط، تصمیم و اقدام در درون مرزای سیستم قرار دارد و جریان می یابد، شکل (۸) (مشایخی: ۱۳۹۶، ص ۱۰۸ و ۱۰۹).



شکل (۸) سیستم حلقه بسته و ارتباط شرایط سیستم، تصمیم و اقدام

اساس نظریه ساختمان سیستم در دیگاه سیستمی، سیستم حلقه بسته است. بر این اساس، علل بروز یک پدیده دینامیکی باید در چهارچوب یک سیستم حلقه بسته بیان شود. بیان علل پدیده ها در چهارچوب سیستم های حلقه بسته یک نگرش درون زا را شکل می دهد که بر اساس آن باید علل بروز پدیده ها را ۱ حلقه های بسته از روابط علت و معلولی توضیح داد. (مشایخی: ۱۳۹۶، ص ۱۱۴ و ۱۱۵).

ب) لایه دوم: پس خوران در درون سیستم حلقه بسته

لایه پایین تر از سیستم حلقه بسته، پس خوران یا دور بسته از روابط علی و معلولی است. در داخل مرزهای سیستم حلقه بسته پس خوران هایی وجود دارند که تعامل بین اجزای سیستم را شکل می دهند. به بیان دیگر، سیستم حلقه بسته متشکل از یک یا چند پس خوران است. (مشایخی: ۱۳۹۶. ص ۱۱۵).

پ) لایه سوم: متغیرهای حالت و نرخ در درون پس خوران ها

در دواير بسته علت و معلولی یا پس خوران ها دو نوع متغیر اصلی و فقط اصالتاً دو نوع متغیر، وجود دارد: متغیرهای حالت و متغیرهای نرخ. در ساختار سیستم، برای هر کمیتی که لازم است شناخته شود تا وضعیت سیستم را در یک مقطع زمانی مشخص کند باید یک متغیر حالت معرفی و مقدار آن را تعیین کرد. تعیین متغیرهای حالت ملموس مانند تعداد جمعیت، موجودی انبار و یا تعداد اساتید دانشگاه به سادگی قابل سنجش و تعیین است. متغیرهای محسوس را متغیرهای کمی و متغیرهای غیر محسوس را متغیرهای کیفی می نامند. متغیرهای نرخ به داخل متغیرهای حالت جریان پیدا می کنند یا از داخل متغیرهای حالت به خارج جریان می یابند. متغیرهای نرخ معرف نرخ تغییر متغیرهای حالت هستند. متغیر نرخ ناشی از عملی است که برای تغییر متغیر حالت انجام می شود. (مشایخی: ۱۳۹۶. ص ۱۲۰ و ۱۲۱ و ۱۲۲).

نظام آموزش عالی به عنوان یک سیستم اجتماعی باز که با محیط خود تبادل انرژی دارد و فعل و انفعالات درونی را به محیط انتقال می دهد (حمیدی زاده، ۱۳۷۹)، تمام ویژگی های یاد شده را

داراست و از این رو، به کارگیری مدل‌های خطی و ایستا به منظور بررسی آن سبب می‌شود تا مطالعه در شرایطی بسیار مصنوعی و دور از واقعیت صورت گیرد و به تبع آن نتایج غیر عملی را به دست دهد، ضمن اینکه روابط بین فردی بر پیچیدگی این سیستم می‌افزاید.

در سال‌های اخیر کاربرد پویایی سیستم‌ها در حوزه آموزش عالی نیز توسعه یافته و در موضوعاتی مانند یادگیری سازمانی (اسپکتور ، ۲۰۰۶)، ارزشیابی (بارلاس و یاسارکان، ۲۰۰۶؛ لایون ، ۲۰۰۶)، کیفیت تدریس (کندی، ۱۹۹۸ b، ۱۹۹۸ a)، برنامه درسی (اسچکر، ۱۹۹۴)، مدیریت منابع (کندی ۱۹۹۸) و یادگیری (بارلاس و سارکان، ۲۰۰۶؛ فاستر ۱۹۹۲ و ۱۹۹۴) مورد استفاده قرار گرفته و تجارب متعددی در بهبود نظام آموزش عالی و آموزش و پرورش مستند شده است.

- ۱- مشایخی، علینقی. (۱۳۹۶). پویایی شناسی سیستم ها آریانا قلم چاپ سوم ۱۴۰۰
- ۲- حمیدی زاده، محمد رضا. (۱۳۷۹). پویایی سیستم. مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- ۳- قورچیان، نادرقلی، آراسته، حمیدرضا، جعفری، پریش. (۱۳۸۳). دایره المعارف آموزش عالی. بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.
- ۴- محمدپور، احمد. (۱۳۸۹). روش در روش (درباره ساخت معرفت در علوم انسانی)، تهران: جامعه شناسان.
- ۵- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (۲۰۱۵). A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia Computer Science*, ۴۴, ۶۶۹-۶۷۸
- ۶- Crotty, M. (۱۹۹۸), the foundations of social research: Meaning and perspective in the research process, London: Sage Publications Ltd.
- ۷- Forrester, J.W. (۱۹۶۹). *Urban Dynamics*, Cambridge, MIT Press, MA: Pegasus Communications, Waltham, p^{۵۸}
- ۸- Morecroft, J.D.W & Sterman. John. D. (۱۹۹۴). *Modeling for Learning Organizations*, Productivity Press, Portland, OR, pp ۱۳۲-۱۴۱.
- ۹- Plate, R., & Monroe, M. (۲۰۱۴). A Structure for Assessing Systems Thinking. In *The ۲۰۱۴ Creative Learning Exchange*
- ۱۰- Pruyt, E. (۲۰۰۶). "What is System Dynamics? A Paradigmatic Inquiry", In *Proceedings of the ۲۴th International Conference of the System Dynamics Society*, Nijmegen, The Netherlands: The System Dynamics Society, Accessible at:
<http://www.systemdynamics.org/conferences/۲۰۰۶/proceed/papers/PRUYT۱۷۷.pdf>
- ۱۱- Senge, P. (۱۹۹۰). *The Fifth Discipline, the Art and Practice of the Learning Organization*. New York, NY: Doubleday/Currency
- ۱۲- Sterman, J. (۲۰۰۰). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Boston: McGraw-Hill Publishing
- ۱۳- Wade, J. (۲۰۱۱). *Systems Engineering: At the Crossroads of Complexity*. In *Kongsberg Systems Engineering Event*.