

ارائه روش مهندسی آینده در سیستم‌های پیچیده

علی مبینی دهکردی *

حسن بشیری **

چکیده

آینده پژوهی به مثابه پژوهشی بین‌رشته‌ای در حیطه واقعیت‌های انسانی - اجتماعی است که هدف آن تدوین تجویزهایی است که عمل به آنها تحقق مطلوب‌ترین آینده ممکن را نوید می‌دهد. از طرفی، بسیاری از ساختارهای اجتماعی دارای ویژگی‌هایی هستند که نظریه پیچیدگی، آنها را به‌عنوان سیستم‌های پیچیده دسته‌بندی می‌کند. سیستم‌هایی با ویژگی‌های مهمی مانند توانایی ایجاد رویدادهای بزرگ و نوآیندی که از منظر آینده پژوهی برای مطالعه آینده بسیار کلیدی است. آینده پژوهی در مطالعه و ساخت آینده‌هایی که در بستر پیچیدگی شکل می‌گیرند با عدم قطعیت مواجه است. از سوی دیگر، مهندسی یکی از شاخه‌های علم است که تجربیات عملی موفق در زمینه مهار عدم قطعیت دارد. پژوهش حاضر در پاسخ به این پرسش که روش‌های مرسوم آینده پژوهی برای سیستم‌های پیچیده چقدر مناسب هستند، شکل گرفته است. در این پژوهش مسیری برای دستیابی به فرایند توسعه مناسب برای انجام پروژه‌های آینده پژوهی در بستر سیستم‌های پیچیده ترسیم شده است. به‌منظور برجسته‌کردن اهمیت سیستم‌های پیچیده، ابتدا چالش‌های پیش‌بینی در آینده پژوهی مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس سیستم‌های پیچیده و ویژگی‌های آنها مطالعه می‌شود. دانش به‌دست‌آمده از پژوهش‌های انجام‌شده و مطالعه منابع برای رسیدن به فرایند توسعه از طریق پرسشنامه بین متخصصان آینده پژوهی و سیستم‌های پیچیده در داخل و خارج از ایران مورد پردازش قرار گرفت. در نهایت بر اساس دانش به‌دست‌آمده، مدلی (فرایند توسعه) با تکیه بر اصول مهندسی مانند قانون ۸۰-۲۰، تکرار گام‌ها در سیستم‌های پیچیده برای دستیابی به حداکثر اطلاعات از سیستم، مدل‌سازی محاسباتی و شبیه‌سازی ارائه شده است. این مدل می‌تواند برای پژوهشگران آینده پژوهی مورد استفاده قرار گیرد و از آنجایی که در این مدل، آینده به‌عنوان محصولی برای توسعه تعریف می‌شود که برای محقق‌سازی آن از برخی اصول مهندسی منطبق با سیستم‌های پیچیده استفاده شده، این مدل «مهندسی آینده» نام‌گذاری شده است.

واژگان کلیدی

آینده پژوهی، سیستم‌های پیچیده، مهندسی آینده، فرایند توسعه

Email: mobini@ent.ut.ac.ir

* دانشیار دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران

** استادیار گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی همدان (نویسنده مسئول)

Email: bashiri@hut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۲

تاریخ ارسال: ۹۵/۲/۱۹

فصلنامه راهبرد / سال بیست و پنجم / شماره ۸۱ / زمستان ۱۳۹۵ / صص ۲۶۴-۲۳۷

جستار گشایی

یکی از تعاریف عملیاتی برای مهندسی، تولید یا توسعه محصول به صورت روش‌مند با تکیه بر افزایش قابلیت اطمینان محصول و کاهش هزینه‌ها است. به منظور تعادل در این دو عامل مهم، مهندسی ابزارها و روش‌های مختلفی را تجربه، آزمون و تثبیت کرده است. تحلیل، مدل‌سازی، طراحی، آزمون و تکیه بر ابزار مناسب در همه مراحل تولید یا توسعه محصول بخشی از دستاوردهای قابل استفاده مهندسی در سایر حوزه‌های نوظهور مانند آینده‌پژوهی است. آینده‌پژوهی به دنبال مطالعه نظام‌مند آینده و شناسایی رویدادها و روندهای ممکن و محتمل است تا بتواند توصیه‌هایی را برای ایجاد آمادگی بهتر تدوین کند. بسیاری از پروژه‌های آینده‌پژوهی در بستری شکل می‌گیرند که به عنوان سیستم‌های پیچیده شناخته می‌شوند. یکی از پرسش‌های ما در این پژوهش، این موضوع بوده است که تجربیات مهندسی چقدر می‌تواند در توسعه آینده به عنوان یک محصول به‌ویژه زمانی که در بستر سیستم‌های پیچیده رخ می‌دهد، راهگشا باشد. ابتدا پژوهش را با بررسی این موضوع شروع خواهیم کرد که پیش‌بینی چقدر ممکن است با خطا همراه باشد، به‌ویژه زمانی که سیستم، پیچیده باشد. سپس سیستم‌های پیچیده را با جزئیات، بررسی و روش‌هایی را که برای تحلیل این سیستم‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرد، مطالعه خواهیم کرد. بر اساس اصول مهندسی از یک سو و ویژگی سیستم‌های پیچیده از سوی دیگر، مدلی را برای انجام پروژه‌های آینده‌پژوهی در سیستم‌های پیچیده پیشنهاد خواهیم داد. موارد اصلی این مدل از پرسشنامه‌ای که مخاطبان آن از متخصصان داخلی و خارج از ایران بوده‌اند، استخراج شده است و ساختار نمایش مدل نیز از فرایندهای توسعه در مهندسی اقتباس می‌شود.

۱. مهندسی، نظریه پیچیدگی، آینده‌پژوهی: هم‌افزایی در سیستم‌های

پیچیده

برخی آینده‌پژوهی را در مطالعه آینده و تدوین تعدادی توصیه می‌دانند. تقوی (۱۳۹۲) در پیشگفتار ترجمه کتاب خود، آینده‌پژوهی را پژوهشی می‌داند در حیطه واقعیت‌های انسانی-اجتماعی که هدف آن تدوین تجویزهایی است که عمل به آنها تحقق مطلوب‌ترین آینده ممکن را نوید می‌دهد. به این ترتیب، آینده‌پژوه به دنبال به کارگیری اموری است که توان علی لازم برای تحقق آینده مطلوب را داشته باشند. بل^۱ آینده‌پژوهی را فعالیتی برای کشف یا ابداع، بررسی، ارزیابی و پیشنهاد آینده‌های ممکن، محتمل و مرجح دانسته است. در واقع، آینده‌پژوهی

فرایندی علمی است که استدلال، انتخاب و اقدام را باهم درمی آمیزد (Bell, 1997: 111). به تعبیر دیگر، آینده پژوهی مطالعه نظام مند آینده های ممکن، محتمل و مرجح و نیز بررسی دیدگاه ها، جهان بینی ها و اسطوره های بنیادین هر آینده است (Inayatullah, 2007: 1). اگرچه در ابتدا یکی از اهداف اصلی آینده پژوهی پیش بینی آینده به منظور ایجاد آمادگی برای مواجه شدن با آینده بوده است، اما با توجه به پیچیدگی سیستم های اجتماعی و حضور تعداد بی شماری از عوامل برای تعیین رفتار سیستم، این کار به ویژه در این نوع سیستم ها غیر ممکن به نظر می رسد. دیگر تصور ساده از نحوه عملکرد جهان و پدیده های آن نمی تواند کارکرد آن را به خوبی توضیح دهد. به هر حال، هیچ گاه پیش بینی آینده از عرصه فعالیت های آینده پژوهی کنار نرفته است و در آینده نیز مورد توجه پژوهشگران خواهد بود. در بخش دیگری از آینده پژوهی به شکل دادن آینده و ساختن آن بر اساس مطلوبیت ها پرداخته می شود. از طرف دیگر برای پژوهش آینده باید به ساختارهایی پرداخت که در بسیاری از موارد آنچه در سطح کلان رخ می دهد، بسیار متفاوت از رفتار اجزا در سطح خرد است و خروجی بر اساس روابط علی شکل نمی گیرد، بلکه حاصل فرایندی است که نظریه پیچیدگی آن را نوآیندی معرفی می کند. عدم قطعیت موجود در چنین سیستم هایی مطالعه و اقدام برای آینده را همواره با چالش مواجه می کند. در عین حال، مهندسی ابزارها و روش های مختلفی را تجربه، آزمون و تثبیت کرده است. تحلیل، مدل سازی، طراحی، آزمون و تکیه بر ابزار مناسب در همه مراحل تولید یا توسعه محصول، بخشی از دستاوردهای قابل استفاده مهندسی در سایر حوزه های نوظهور مانند آینده پژوهی است.

پژوهش حاضر که ما آن را مهندسی آینده نام گذاری کرده ایم، با به چالش کشیدن پیش بینی در سیستم های پیچیده، فرایند توسعه ای برای مهار پیچیدگی در این نوع سیستم ها ارائه می دهد، بنابراین نظریه پیچیدگی که به همراه نظریه آشوب، اخیراً حضور پررنگی در علم داشته اند به همراه آینده پژوهی به عنوان یک علم بین رشته ای و مهندسی به عنوان علمی عمل گرا، سه ضلع اصلی این پژوهش را شکل می دهند. ابتدا پژوهش را با بررسی این موضوع شروع خواهیم کرد که پیش بینی چقدر ممکن است با خطا همراه باشد، به ویژه زمانی که سیستم، پیچیده باشد. سپس سیستم های پیچیده را با جزئیات بیشتر، بررسی و روش هایی را که برای تحلیل این سیستم های مورد استفاده قرار می گیرد، مطالعه خواهیم کرد. بر اساس اصول مهندسی از یک سو و ویژگی های سیستم های پیچیده از سوی دیگر، فرایندی را برای توسعه آینده در سیستم های پیچیده پیشنهاد خواهیم داد. موارد اصلی این فرایند توسعه از

پرسشنامه‌ای که مخاطبان آن از متخصصان داخلی و خارج از ایران بوده‌اند، استخراج شده است و ساختار نمایش مدل نیز از فرایندهای توسعه در مهندسی اقتباس شده است.

۲. آینده پژوهی و چالش‌های پیش‌بینی

لاپلاس (۱۸۲۷-۱۷۴۹) در سال ۱۷۷۶ اعلام کرد؛ اگر بتوانیم شرایط اولیه هر پدیده را شناسایی کنیم، می‌توانیم آینده آن را نیز به‌طور دقیق پیش‌بینی نماییم (Hahn, 2005: 11). این نظریه لاپلاس، پارادایم نوینی را پایه‌ریزی کرد. پارادایمی که پژوهشگران تلاش می‌کردند اجزا و رفتار سیستم یا پدیده مورد پژوهش را به‌طور دقیق شناسایی کنند تا بتوانند رفتار آتی آن را پیش‌بینی نمایند. آنها با استفاده از حوزه ابداعی نیوتن، یعنی معادلات دیفرانسیل سعی می‌کردند پدیده‌ها و رفتار آنها را در قالب معادلات دیفرانسیل بازنویسی کنند. با تغییر متغیرهای ورودی، رفتار سیستم را در زمان معین پیش‌بینی می‌کردند. پارادایم لاپلاس به‌عنوان شیوه تفکر و معادلات دیفرانسیل نیوتن به‌عنوان ابزار محقق‌سازی پیش‌بینی، نتایج چشمگیری داشت؛ اما با پیشرفت علم و شناخت بیشتر پدیده‌ها، رفتار آنها و شرایط پیش‌بینی، پوانکاره (۱۹۱۲-۱۸۵۴) بعد از بیش از یک‌صد سال، یعنی در سال ۱۹۰۳ اعلام کرد خطاهای کوچک امروز به خطاهای بزرگ در پیش‌بینی فردا منجر می‌شود و از آنجا که اغلب، شناخت دقیق وضعیت موجود امکان‌پذیر نیست و همواره امکان بروز خطا وجود دارد، پیش‌بینی نیز امری غیرممکن است. پیش‌بینی سیستم‌های پیچیده با هر درجه از دقت، تنها در صورتی ممکن است که بتوان شرایط اولیه آنها را با دقتی نامحدود مشخص کرد. پوانکاره در محاسبات سیستم‌های نجومی مورد مطالعه‌اش مشاهده کرد که کوچک‌ترین بی‌دقتی پس از گذشت زمانی کوتاه منجر به عدم قطعیت در پیش‌بینی می‌شود، به‌طوری‌که گویا به‌جای قوانین تعیین‌پذیر^۲، شانس بر آنها حاکم است (ملیح، شجاعی، ۱۳۸۹: ۷۳). اگر در هر لحظه و هر روز، به‌طور دقیق می‌دانستیم که هر عاملی که در تصمیم‌سازی نقش دارد، چگونه عمل می‌کند، آنگاه می‌توانستیم شرایط و رویدادهای آینده را پیش‌بینی کنیم، اما این غیرممکن است.

از سوی دیگر، بررسی دستاوردهای آینده‌پژوهی نشان می‌دهد که آینده‌پژوهی از نیروهای خارجی تأثیرگذار بر آینده؛ یعنی طالع‌بینی و پیش‌گویی به سمت ساختارها (مانند الگوهای تاریخی تغییر، ظهور و سقوط ملت‌ها و نظام‌ها) و عامل انسانی (مطالعه و خلق تصاویر مرجح آینده) حرکت کرده است (Inayatullah, 2007: 1). برخی از اندیشمندان حوزه آینده‌پژوهی معتقدند کلید آینده‌پژوهی را باید در آن دسته از حوزه‌های تحقیقاتی که هربرت سیمون «علوم

طراحی» یا «علوم مصنوعی» می‌نامد، جستجو کرد و اگر همه بر این اعتقاد هم‌نظر نباشند براساس تقسیم‌بندی عنایت‌الله دسته چهارم و اخیر آینده‌پژوهی تحقیق/یادگیری حین عمل برآوردی است و مبتنی بر توسعه آینده توسط ذینفعان با استفاده از فرض‌های بنیادین آینده است. به‌هرحال، بسیاری از آینده‌پژوهان بر این باورند که بهترین راه پیش‌بینی آینده ساخت آینده است، البته ساختی که مبتنی بر مشارکت عمیق ذینفعان باشد و نکته مهم در ساخت آینده این است که به‌طور مستمر مورد بازنگری و پرسش قرار می‌گیرد.

بنابراین لزوم توجه به طراحی و ساخت آینده‌های مطلوب بیش‌ازپیش برجسته می‌شود. وجه دیگر اینکه، محیط‌ها و سیستم‌هایی که انسان‌ها ساخته‌اند یا در آنها زندگی می‌کنند که زیربنایی برای آینده خواهند بود، روزبه‌روز پیچیده‌تر می‌شود. دلیل این پیچیدگی تنوع در اجزا، ارتباط وابستگی بین آنها، قدرت تطبیق‌پذیری و سازگاری بالا و بروز رویدادهای بزرگ است که همگی از ویژگی‌های کلیدی در سیستم‌های پیچیده هستند. از سوی دیگر، میزان کار صورت‌گرفته در حوزه آینده‌پژوهی با نگاه ویژه به سیستم‌های پیچیده ناکافی است و در حوزه فرایندی تقریباً دست‌نخورده باقی‌مانده است.

در این پژوهش با توجه به نقش کلیدی آینده‌پژوهی در ساخت آینده، روشی به نام «مهندسی آینده^۳» شامل فرایندی جدید و گام‌های تکمیل آن در فرایندی تکراری/افزایشی^۴ پیشنهاد می‌شود. این فرایند که توسط نگارندگان، مهندسی آینده نامگذاری شده است، سعی می‌کند از اصول مهندسی شامل طراحی مبتنی بر محاسبات و مدل‌های محاسباتی^۵، شبیه‌سازی و مدل‌سازی عامل‌گرا بهره‌گیرد. مهندسی، استفاده از فرایندهایی با بهینه‌کردن هزینه‌ها و افزایش قابلیت اطمینان برای توسعه و یا تولید محصول است. در این پژوهش نیز، آینده به‌عنوان محصولی که باید توسعه یابد در نظر گرفته شده است. اگرچه بسیاری از روش‌های پیش‌بینی و آینده‌پژوهی در سیستم‌های غیرپیچیده و خطی قابل استفاده هستند، اما در سیستم‌های پیچیده موضوع کاملاً متفاوت است. سیستم‌هایی که نه‌تنها اجزا بسیار متنوع هستند، بلکه رابطه بین اجزا نیز اهمیت بالایی دارد و مدام در حال تغییر هستند. یکی از ویژگی‌های کلیدی سیستم‌های پیچیده غیرخطی بودن آنها است. همان‌طور که ژیونگ^۶ در پژوهش خود درخصوص علت عدم موفقیت برخی کسب‌وکارها اشاره می‌کند که اکثر کسب‌وکارها و فعالیت‌های اقتصادی به این دلیل شکست می‌خورند که تلاش می‌کنند

3. Engineering the Futures

4. Iterative/Incremental

5. Computational Model

6. Xiong

مشکلات غیرخطی را با فرایندهای خطی حل کنند (Xiong, 2011: 91). باید سیستم مورد مطالعه به دقت شناسایی شد، راهکار و ابزار متناسب با سیستم برای طراحی آن در نظر گرفته شود. این ویژگی در بسترهای مطالعات آینده به دفعات دیده می‌شود. از سوی دیگر، افزایش ارتباط بین مؤلفه‌های فعال در سیستم‌ها، تنوع مؤلفه‌ها و وابستگی بین آنها سیستم‌های پیچیده جدیدی را ایجاد می‌کند، پیچیدگی در حال افزایش است (Maurer, 1999: 24). در این بخش بعد از تعریف مفاهیم اولیه به برخی از مهم‌ترین مدل‌هایی پرداخته می‌شود که در آینده پژوهی برای ساخت آینده و یا در سیستم‌های پیچیده برای تحلیل پیچیدگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳. سیستم‌های پیچیده

سیستم‌های پیچیده^۷ از مؤلفه‌های متنوع و غیرمستقل تشکیل شده‌اند. مؤلفه‌هایی که با هم ارتباط دارند و می‌توانند به منظور واکنش مناسب با محیط محلی یا سراسری خود با شرایط آن سازگار شوند. در پایه‌ای‌ترین سطح، سیستم‌های پیچیده این دیدگاه را که با فهمیدن کامل رفتار هر عضو از سیستم می‌توانیم تمام سیستم را درک کنیم، زیر سؤال می‌برد (Miller & Page, 2007: 3). مطالعه سیستم‌های پیچیده به دلایل مختلفی برای ما جذاب و ضروری است. نخست اینکه آنها اغلب غیرقابل پیش‌بینی هستند. توانایی ایجاد رویدادهای بزرگ را دارند و در عین حال پابرجا^۸ هستند. منظور از پابرجا بودن این است که تغییر یا شکست در یک جزء یا مؤلفه موجب از کارافتادن کل سیستم نشود. همچنین یکی دیگر از ویژگی‌های کلیدی سیستم‌های پیچیده ناهمگونی و تنوع در اجزای آنها است. اگر بپذیریم که ناهمگونی و تنوع یکی از ویژگی‌های کلیدی در سیستم‌های پیچیده است؛ بنابراین ابزارهای سنتی تحلیل اجتماعی- با میانگین رفتاری برابر با کل (مشت نمونه خروار)- شاید ناقص یا حتی گمراه‌کننده باشد (Miller & Page, 2007: 14).

سیستم‌های پیچیده، پدیده‌های نوآیند پایین به بالا^۹ تولید می‌کنند؛ به این معنی که چیزی که در سطح کلان^{۱۰} رخ می‌دهد، متفاوت از چیزی است که در سطح خرد^{۱۱} و بین اجزا دیده می‌شود. آگاهی مثالی از یک پدیده نوآیند است. نورون‌ها به تنهایی موجودیت‌های ساده‌ای هستند، اما از ارتباط همین موجودیت‌های ساده پدیده‌ای به نام آگاهی اتفاق می‌افتد و سرانجام

7. Complex Systems

8. Robust

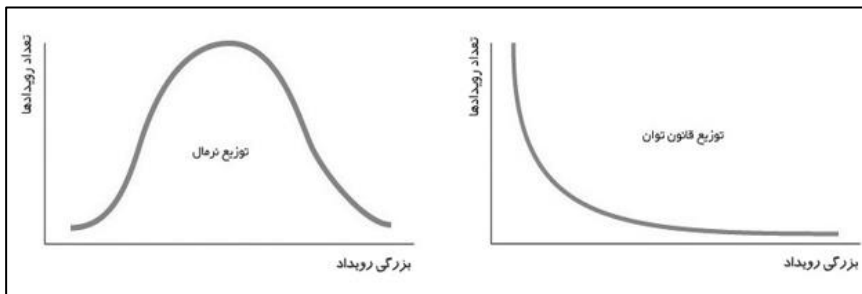
9. Bottom-Up Emergent

10. Macro Level

11. Micro Level

بر اساس تعریف، سیستمی پیچیده نامیده می‌شود که عوامل یا موجودیت‌های آن چهار ویژگی تنوع، ارتباط، وابستگی و انطباق را داشته باشند (Page, 2009: 8). بر این اساس روابط بین‌الملل، اقتصاد، چرخه طبیعت و ... سیستم‌های پیچیده هستند. پیچیده از نظر معنایی مفهومی متفاوت از پیچیده شده^{۱۲} است. ممکن است سیستم‌های پیچیده شده اجزای متنوعی داشته باشند، اما انطباق‌پذیر نیستند. علاوه بر انطباق‌پذیری و پابرجایی، سیستم‌های پیچیده توانایی تولید رویدادهای بزرگ را دارند. همچنین ویژگی نوآیندی از مشخصه‌های سیستم‌های پیچیده است جایی که کل، متفاوت از مجموع اجزا هم در مقیاس و هم از نظر نوع است. سیستم‌های پیچیده لزوماً رفتار نرمال ندارند. این سیستم‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. بلکه تابع قانون توان^{۱۳} هستند. توزیع قانون توان نشان می‌دهد که تعداد اتفاقات بزرگ به شدت کم است، اما در توزیع نرمال تمرکز داده‌ها در میانه توزیع است.

شکل (۱) - توزیع قانون توان و توزیع نرمال



یکی از ضرورت‌های توجه به علم پیچیدگی این است که دنیا در حال پیچیده‌تر شدن است و پیشران‌های این افزایش پیچیدگی افزایش تنوع، افزایش ارتباط و افزایش وابستگی بینابینی و تسریع در زمان واکنش است. بعد از جنگ جهانی دوم، بسیاری از مسائل با فنون مدیریت منابع و زمان حل می‌شد. این شیوه مدیریتی تیلوریسم^{۱۴} نامیده می‌شود. روش تیلور در حل مسائل به شیوه مدیریت علمی به این گونه است که با بررسی وضع موجود، منابع و هدف، نقطه بهینه برای حل مسئله مشخص می‌شود. وظیفه مدیران، یافتن نقطه بهینه در برنامه‌ریزی و حل مسئله است، اما دنیای امروز دنیای تیلور نیست. ارتباط بین مؤلفه‌ها و همچنین وابستگی آنها به شدت افزایش یافته است. در ادبیات پیچیدگی استعاره مورد استفاده برای دنیای تیلور و تلاش برای یافتن نقطه بهینه به کوه فوجی^{۱۵} تعبیر می‌شود که نقطه بهینه‌ای برای آن می‌توان متصور

12. Complicated

13. Power Law

14. Taylorism

15. Simple (Moun Fuji) Landscape

شد و با محاسبات و تلاش کافی می‌توان آن نقطه بهینه را به دست آورد. بسیاری از سیستم‌های مورد بررسی امروزه با توجه به افزایش ارتباط و وابستگی بین مؤلفه‌ها به‌مانند رشته‌کوه‌هایی^{۱۶} تعبیر می‌شوند که در بسیاری از موارد یافتن نقطه بهینه یا قله در آنها یا امری غیرممکن است یا بسیار دشوار می‌نماید. در سیستم‌های پیچیده با توجه به ویژگی انطباق‌پذیری و تغییر شرایط عوامل بر اساس ویژگی خودسازماندهی قله‌های این رشته‌کوه‌ها مدام در حال تغییر است و به تعبیر ادبیات این حوزه به بستری رقصان^{۱۷} می‌ماند (Page, 2009: 12).

پیچیدگی وقتی بیشتر می‌شود که نرخ تغییرات یا تعداد چیزهایی که اطراف ما هستند افزایش یابد. به‌طور کلی این موضوع پذیرفته شده است که پیچیدگی با تکامل افزایش می‌یابد. اهمیت برابر با حاصل ضرب پیچیدگی در مدت‌زمان است (Modis, 2002: 387-390). در این رابطه I نشانگر اهمیت، C نشانگر پیچیدگی و D نشانگر مدت‌زمان است. همچنین مقایسه پیچیدگی و پارادایم نیوتنی در نگاره شماره (۱). Error! Reference source not found. آمده است.

$$I = C \times D$$

رابطه ۱: رابطه اهمیت با پیچیدگی و زمان

نگاره شماره (۱) - مقایسه پیچیدگی و پارادایم نیوتنی

دورنمای پارادایم علم پیچیدگی	دورنمای پارادایم نیوتنی - کارتزین
ضرورتاً پویا/خودسازمانده	ضرورتاً مکانیکی
غیرخطی	خطی
غیرقابل کنترل	قابل کنترل
شبکه‌ای	متمرکز
غیرسلسله مراتبی	سلسله مراتبی
ارتباطات بسیار زیاد بین اجزا	ارتباطات محدود بین اجزا
متنوع	یکنواخت
معلول و معلول (نتیجه و نتیجه)	علت و معلول
غیرقابل پیش‌بینی	پیش‌بینی‌پذیر
کل‌نگر	تقلیل‌گرا
موضوع و سوژه محور	سوژه محور
تمرکز بر فرایند	تمرکز بر موجودیت‌ها
الگوسازی	همبستگی
انقلابی و تکاملی	تکاملی

(McMillan, 2004: 169)

۱-۳. ویژگی‌های کلیدی سیستم‌های پیچیده

زوسکی^{۱۸} کلیدی‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده را با تأکید بر سیستم‌های پیچیده مصنوعی عنوان می‌کند (Rzevski, 2010: 63-64):

۱. تصمیم‌گیری توزیع شده به جای تصمیم‌گیری متمرکز.
۲. استقلال عامل‌ها کامل نیست. هر سیستم پیچیده اصول، قوانین یا قواعد سراسری و نیز محلی برای عامل‌ها دارد. نکته مهم این است که رفتار عامل‌ها هرگز به طور کامل توسط این قوانین تعریف نمی‌شود- آنها همیشه رفتارهای محلی ممکن جایگزین دارند. به عبارت دیگر سیستم‌های پیچیده همیشه رفتارهای ممکن متفاوت و در ادامه عدم قطعیت انجام کدام رفتار را دارند. درجه آزادی که به عامل‌ها (تصمیم‌گیرندگان) داده می‌شود، توانایی سیستم برای خودسازماندهی و تکامل را تعیین می‌کند. هنگامی که عدم قطعیت جزئی و بی‌اهمیت باشد، سیستم تا حد زیادی پیش‌بینی‌پذیر رفتار می‌کند و فاقد قابلیت‌هایی برای خودسازماندهی است. هنگامی که عدم قطعیت به بالاترین حد خود می‌رسد، سیستم آشوبناک (تصادفی) عمل می‌کند.
۳. رفتار سراسری یک سیستم پیچیده از تعامل عامل‌های تشکیل دهنده ظهور پیدا می‌کند؛ چیزی که در سیستم‌های پیچیده به عنوان نوآیندی شناخته می‌شود. اما از آنجا که آزادی تصمیم‌گیری عامل‌ها محدود می‌شود، سیستم‌های پیچیده الگوهای رفتاری از خود نشان می‌دهند.
۴. سیستم‌های پیچیده غیرخطی هستند. ممکن است تغییرات کوچک (درونی یا بیرونی) باعث اثرات بسیار بزرگ در رفتار سیستم شود. سیستم‌های پیچیده رفتار خودترغیبی^{۱۹} نیز از خود نشان می‌دهند. به عبارت دیگر توانایی خلق ساختارهای جدید بدون هیچ کمک خارجی (برای مثال ایجاد ساختارهای ارگانیک از مواد غیرارگانیک در شرایط حرارتی معین).
۵. توزیع تصمیم‌گیری حاکی از مرتبط بودن عناصر تصمیم‌گیری (عامل‌ها) است. پیوندهای بین عامل‌ها می‌تواند قوی، ضعیف یا غیرموجود باشد. نوع پیوند بین عامل‌ها، پاسخ‌دهی سیستم را هنگام اختلال تعیین می‌کند. طراحان می‌توانند پیوندهای معین بین عامل‌ها را برای کاهش زمان لازم برای موج‌های خفیف به وجود آمده توسط زنجیره‌ای از تغییرات، به منظور فرونشاندن موج تضعیف کنند.

18. Rzevski

19. Autocatalytic

۶. استقلال حاکی از هوش است. هوش حاکی از دانش و توانایی، به‌کارگیری دانش برای حل عدم قطعیت است.

نگاره شماره (۲) - مقایسه ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده با سایر سیستم‌ها

ویژگی‌ها	سیستم‌های تصادفی	سیستم‌های پیچیده	سیستم‌های پایدار	سیستم‌های الگوریتم
قابلیت پیش‌بینی	عدم قطعیت کامل	عدم قطعیت قابل توجه	بدون عدم قطعیت	بدون عدم قطعیت
رفتار	تصادفی	نوآیندی	برنامه‌ریزی شده	تعیین پذیر قطعی
هنجارهای رفتاری	کاملاً در رفتار آزاد	برخی توصیه‌های بیرونی ضروری است	با توجه قوانین و مقررات هدایت می‌شود	پیروی از دستورات مشخص
درجه سازماندهی	هیچ	خودسازمانده	سازمان‌دهی شده	بسیار ساختارمند
درجه کنترل	هیچ	خودکنترلی از طریق خودسازمان‌دهی	کنترل مرکزی	نیازی برای کنترل نیست
تغییرات بازگشت‌ناپذیر	تغییرات تصادفی	هم‌تکاملی با محیط	انحراف‌های موقتی کوچک ممکن است	هیچ
نقطه عامل	هیچ	عملکرد دور از نقطه تعادل	عملکرد در نقطه تعادل	عملکرد بر اساس ویژگی‌ها

(Rzevski, 2010: 63)

۲-۳. چارچوب کینوین

یکی از کارهایی که در زمینه مهار پیچیدگی در سازمان‌ها انجام شده است، ارائه چارچوبی به نام کینوین^{۲۰} است. این چارچوب در حقیقت یک ابزار درک محیط^{۲۱} در سازمان‌های پیچیده است. این چارچوب ابتدا در مقاله کورتز و اسنودن (Kurtz & Snowden, 2003) از شرکت ای‌بی‌ام^{۲۲} معرفی شد و سپس در قالب نرم‌افزار SenseMaker® جنبه عملیاتی پیدا کرد. کورتز و اسنودن^{۲۳} چارچوب خود را در با به‌چالش کشیدن سه مفروضه نظم،^{۲۴} انتخاب عقلانی^{۲۵} و قصد و انگیزه^{۲۶} که در راهبرد و تصمیم‌گیری سازمانی بدیهی فرض می‌شود، آغاز می‌کنند. آنها معتقدند که اگرچه این مفروضات در برخی زمینه‌ها می‌تواند درست باشد، اما تعمیم آنها به همه نوع

20. Cynefin

21. Sense Making

22. IBM

23. Kurtz and Snowden

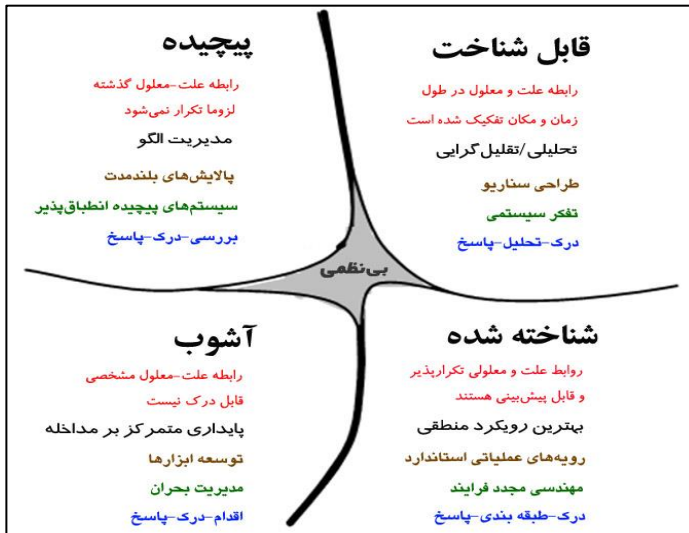
24. Order

25. Rational Choice

26. Intent

تصمیم‌گیری و برای محیط‌های متفاوت نادرست است. طراحی و پیش‌بینی عمدتاً بر اساس مفروض نظم انجام می‌شود؛ اما این فرض همیشه درست نیست. آنها بر این باورند که عدم تحقق برخی پیش‌بینی‌ها می‌تواند به دلیل مفروضات نادرست باشد. چارچوب کنوین در شکل (۲) ارائه شده است.

شکل (۲) - چارچوب کنوین به‌عنوان ابزاری برای درک محیط



(Kurtz & Snowden, 2003)

بر اساس این چارچوب، علم پیچیدگی چگونگی پدیدآمدن الگوها از طریق تعامل بین عامل‌ها را مطالعه می‌کند. رابطه علت و معلوم در پیچیدگی نیز وجود دارد، اما هم تعداد عامل‌ها و هم تعداد روابط بین آنها فنون تحلیلی و طبقه‌بندی را رد می‌کنند. الگوهای نوظهور می‌توانند درک شوند، اما نمی‌توانند پیش‌بینی شوند. این پدیده ارتباط منطقی با گذشته^{۲۷} نامیده می‌شود.

یکی از ویژگی‌های این چارچوب، معرفی سیستم‌های مختلف به همراه جزئیاتی از آنها است که برای تحلیل وضعیت سازمان و ارتقای عملکرد آن می‌تواند بسیار مفید باشد. تشخیص و تحلیل وضعیتی که سازمان یا سیستم در آن قرار دارد برای انتخاب مناسب ادامه راه حیاتی است. چارچوب کنوین سیستم‌های منظم را در دو بخش شناخته‌شده و قابل شناخت تقسیم‌بندی می‌کند. در سیستم‌های منظم کافی است رویداد داخل سیستم درک شود و پس از دسته‌بندی یا تحلیل، پاسخ مناسب برای رویداد انتخاب شود. سیستم‌های پیچیده و آشوبناک

در چارچوب کینوین، نامنظم^{۲۸} معرفی می‌شوند. البته این مفهوم متفاوت از بی‌نظمی^{۲۹} است که در شکل (۲) در بخش میانی تعریف می‌شود. سیستم‌های پیچیده و آشوبناک نمی‌توانند به‌سادگی درک شوند؛ بنابراین برای تعیین پاسخ مناسب به رویدادهایی که در آنها اتفاق می‌افتد، ابتدا باید بررسی یا اقدام، سپس درک الگو یا رفتار صورت گیرد و در نهایت پاسخی به رویداد داده شود. این پاسخ لزوماً بهترین پاسخ ممکن خواهد بود. این چارچوب امکانی را برای تقسیم‌بندی سیستم‌ها و تحلیل رفتار آنها فراهم می‌کند؛ چارچوبی که به‌عنوان یک ابزار درک محیط شناخته می‌شود.

۳-۳. مدل نظریه تصمیم

ایده کلیدی در مدل نظریه تصمیم^{۳۰} در خصوص چگونگی انتخاب، می‌تواند در چند گام خلاصه شود. گام نخست، تعیین مجموعه گزینه‌ها است. گام دوم، تعیین هزینه هر گزینه در حالت‌های مختلف و گام سوم، محاسبه احتمال وقوع هر حالت است. مادامی که توانستیم همه گزینه‌های ممکن، احتمال وقوع هر گزینه در حالت‌های متفاوت، میزان هزینه لازم برای هر گزینه را محاسبه و مشخص کنیم می‌توانیم بین این گزینه‌ها تصمیم عقلانی یا انتخاب عقلانی^{۳۱} داشته باشیم (Page, 2009: 49). این مدل کلاسیک برای برخی از سیستم‌ها که اطلاعات کافی در مورد گزینه‌ها و نحوه محاسبه هزینه هر حالت و انتخاب داشته باشیم بسیار خوب عمل می‌کند. معمولاً پنج گام در تحلیل تصمیم‌گیری عمومی وجود دارد (ملکی، ۱۳۸۳: ۹) که به ترتیب عبارتند از: شناسایی و تعریف مسئله؛ جستجو برای یافتن راه‌حل‌های احتمالی؛ بررسی عواقب ناشی از هر راه‌حل؛ انتخاب یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری؛ به‌کاربردن یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری و اتخاذ تصمیم.

با بررسی ادبیات آینده‌پژوهی تقریباً بسیاری از پروژه‌هایی که برای شکل بخشیدن به آینده در حال انجام هستند از مدل توسعه‌یافته همین الگو استفاده می‌شود. این مدل در شکل (۳) آمده است (Bishop, et al., 2007: 7; Davis & Hall, 2003: 415; Hines & Bishop, 2006).

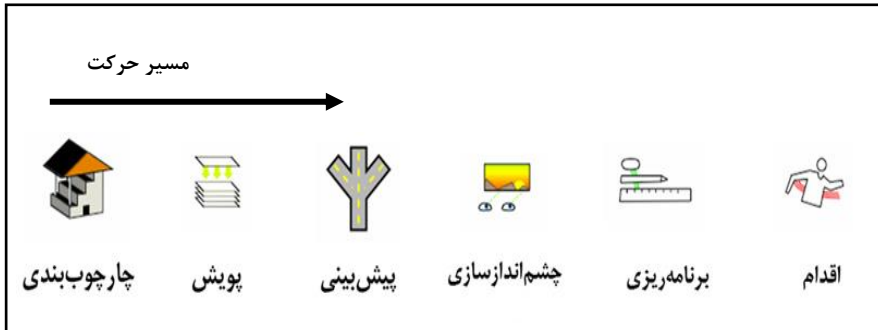
28. Unordered

29. Disorder

30. Decision Theory Model

31. Rational Choice

شکل (۳) - مدل دنباله‌ای ساخت آینده و انجام پروژه‌های آینده‌پژوهی



در این نوع فرایندها، ابتدا با تمرکز روی موضوع، چارچوب‌بندی انجام می‌گیرد. هدف از چارچوب‌بندی تعیین محدوده پروژه و شناسایی دینفعان است. گام بعدی جمع‌آوری اطلاعات در محدوده تعیین شده است. این کار معمولاً با روش پوشش محیطی انجام می‌گیرد. تعیین آینده‌های بدیل با روش پیش‌بینی یا پیش‌نگری گام سوم در این فرایند خطی است. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده و پیش‌بینی‌های صورت گرفته در خصوص آینده‌های بدیل، آینده‌های مرجح با روش چشم‌اندازسازی مشخص می‌شود. تعیین راهبردها و برنامه‌ها با استفاده از فنون برنامه‌ریزی گام پنجم در این فرایند خطی است. پس از تعیین راهبردها، اقدامات لازم در بازه زمانی باید صورت پذیرد (Technology ForeSight Initiative, 2004).

لاسول^{۳۲} یکی از آینده‌پژوهان با همین نگرش پنج کارکرد مشخص را برای مطالعه آینده برمی‌شمرد: شفاف‌سازی اهداف و ارزش‌ها؛ توصیف روندها؛ تبیین شرایط؛ تصویرسازی از آینده‌های ممکن و محتمل در صورت تداوم سیاست‌های کنونی و ابداع، ارزیابی و انتخاب گزینه‌های بدیل سیاستی (برای دستیابی به اهداف مطلوب) (Bell, 1997: 49).

بنابراین آینده‌پژوه برای تحقق کارکردهای مورد تأکید لاسول، روندها را توصیف و شرایط را تبیین می‌کند (گام اول و دوم در شکل ۴). سپس با در نظر گرفتن شرایط و روندها، آینده احتمالی برآمده از آنها را به تصویر می‌کشد (گام سوم). میزان مطلوبیت این آینده‌های محتمل مبتنی بر ارزش‌ها است. سپس این قضاوت‌های ارزشی با تبیین ارائه شده از شرایط و پیش‌بینی‌های صورت گرفته در مورد پیامدهای احتمالی اقدام‌ها، ترکیب می‌شود (گام چهارم). در این مرحله آینده‌پژوه قادر خواهد بود مجموعه‌ایی از اقدام‌های امکان‌پذیر را که هدف از آنها ساخت مطلوب‌ترین آینده است، طراحی یا انتخاب کند (گام پنجم) (Bell, 1997: 50).

این مدل‌ها اگرچه دارای گام‌های پذیرفته‌شده و درست برای اجرای پروژه‌های آینده‌پژوهی هستند، اما به دلایل زیر برای سیستم‌های پیچیده مناسب نمی‌باشند:

۱. مدل استاندارد تصمیم‌گیری توجهی به رفتار سایر عوامل ذی‌نفع و یا اثرگذار ندارد؛
۲. مدل استاندارد تصمیم‌گیری پیچیدگی را معادل عدم قطعیت می‌داند؛
۳. مدل استاندارد تصمیم‌گیری بیشتر نگاه بهره‌برداری^{۳۳} دارد. به این معنی که مراحل کمی برای درک اجزاء سیستم، عوامل اثرگذار و شناخت سیستم در نظر گرفته‌شده است. حال آنکه یکی از مفاهیم کلیدی در سیستم‌های پیچیده ایجاد توازن در دو گام مهم بررسی^{۳۴} و بهره‌برداری است (Page, 2009: 49).

مدل استاندارد تصمیم‌گیری بر یک خروجی واحد تمرکز دارد، نه ویژگی‌های سیستم. بنابراین در این مدل توجه چندانی به اینکه در ازای یک تصمیم، سیستم به چه وضعیت یا حالتی تبدیل می‌شود، ندارد.

مدل تصمیم در حوزه پیچیدگی بر گام‌های بررسی و کاوش به‌منظور ایجاد الگوها و یا الگوهای بالقوه‌ای که قبل از انجام هر عملی بیشتر قابل مشاهده هستند، استوار است. الگوها باید درک شوند و مطلوب‌ها تحقق یابند. کنترل سیستم‌های پیچیده با ویژگی‌هایی که از آنها برشمرده شده، بسیار نامحتمل است، اما بهترین روش، توزیع بذرها الگوهای مطلوب در فضای سیستم‌های پیچیده است (Kurtz & Snowden, 2003: 469).

شکی نیست که برای شناخت هر پدیده باید هم جزئیات و هم کلیات پدیده مورد بررسی، مطالعه و شناسایی شود. علاوه بر آن باید در پی آن بود تا با ارجاع به بافت و موقعیت‌های ویژه، نگرش سیستمی را جایگزین نگرش مکانیکی کرد و نه تنها باید مجموعه اجزا را با دید کل‌نگرانه و سیستماتیک درک نمود، بلکه فراتر و خلاق‌تر از آن، باید کل را هر لحظه «بازسازی» کرد (کریمی، ۱۳۸۱: ۶۲). بر این اساس، شناخت‌شناسی باید مورد بازبینی قرار گیرد و به‌جای استفاده از تفکری که مبتنی بر «علیت خطی»^{۳۵} باشد، باید شناخت و تحلیل مبتنی بر آن براساس «علیت حلقوی»^{۳۶} صورت گیرد. در علیت خطی رابطه بین متغیرها یک رابطه مکانیکی و ایستاست و در علیت حلقوی، رابطه بین متغیرها در یک میدان فضایی و در قالب یک مفهوم گشتالتی و کل‌نگرانه، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نکته حائز اهمیت، بازسازی کل به‌صورت تکراری در زمان‌های مختلف همراه با شناخت پدیده است (کریمی، ۱۳۸۱: ۶۴).

33. Exploitation

34. Exploration

35. Linear Causality

36. Circularity Causality

روش انجام پژوهش. همان طور که در ابتدای مقاله مطرح شد این پژوهش با تعیین قلمرو سیستم‌های پیچیده به دنبال ارائه فرایندی برای انجام پروژه‌های آینده پژوهی در این نوع سیستم‌ها شکل گرفت. ایده اولیه ترکیب نظریه پیچیدگی و آینده پژوهی با تکیه بر ابزارهایی که در مهندسی برای مهار عدم قطعیت و پیچیدگی استفاده می‌شود، بوده است. شکل (۴) مسیر انجام پژوهش را نشان می‌دهد. ایده اولیه با استفاده از مفاهیم استخراج شده از منابع و تجربیات به دست آمده در انجام پروژه‌ها در سیستم‌های پیچیده در قالب پرسشنامه‌ای در معرض خبرگان و متخصصان آینده پژوهی و نیز متخصصان سیستم‌های پیچیده قرار گرفت.

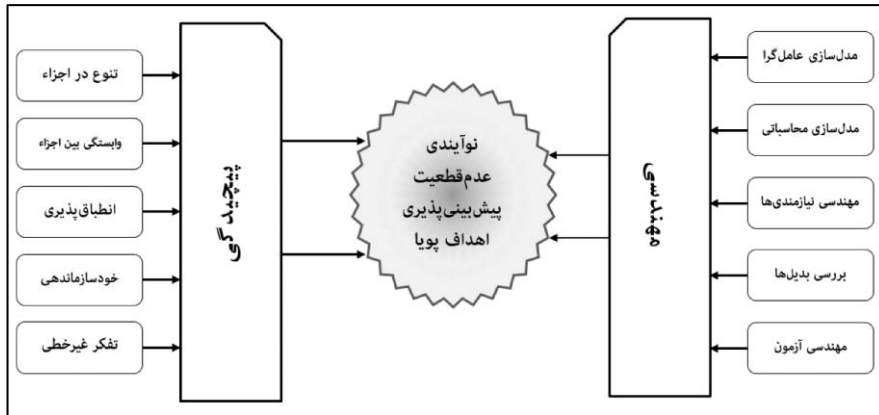
شکل (۴) - مسیر انجام پژوهش



چارچوب مفهومی پژوهش. چارچوب مفهومی^{۳۷}، نظریه یا نظریه‌هایی که لازم است تا تحلیل مورد نیاز در پژوهش انجام شود را حمایت می‌کند. به عبارت دیگر، چارچوب مفهومی به مجموعه‌ای از گزاره‌ها اطلاق می‌شود که به لحاظ نظری قادر به تبیین یا طبقه‌بندی مفاهیم اصلی در تحقیق هستند. این گزاره‌ها ممکن است از یک نظریه خاص گرفته شده و یا تلفیقی از نظریات مختلف باشند. چارچوب مفهومی نشان می‌دهد که چگونه پژوهش ما با چیزهایی که از قبل شناخته شده باشند، ارتباط دارد (ارتباط پژوهش با نظریه‌های موجود). همچنین در چارچوب مفهومی به دنبال نمایش این موضوع هستیم که پژوهش ما چه چیزی را می‌سازد (Ennis, 1999: 129). دو بعد پیچیدگی و مهندسی به دنبال مهار عدم قطعیت‌ها در ساخت

آینده‌ای هستند که به‌عنوان یک محصول باید توسعه یابد. چارچوب مفهومی پژوهش حاضر در شکل (۵) نمایش داده شده است.

شکل (۵) - چارچوب مفهومی پژوهش



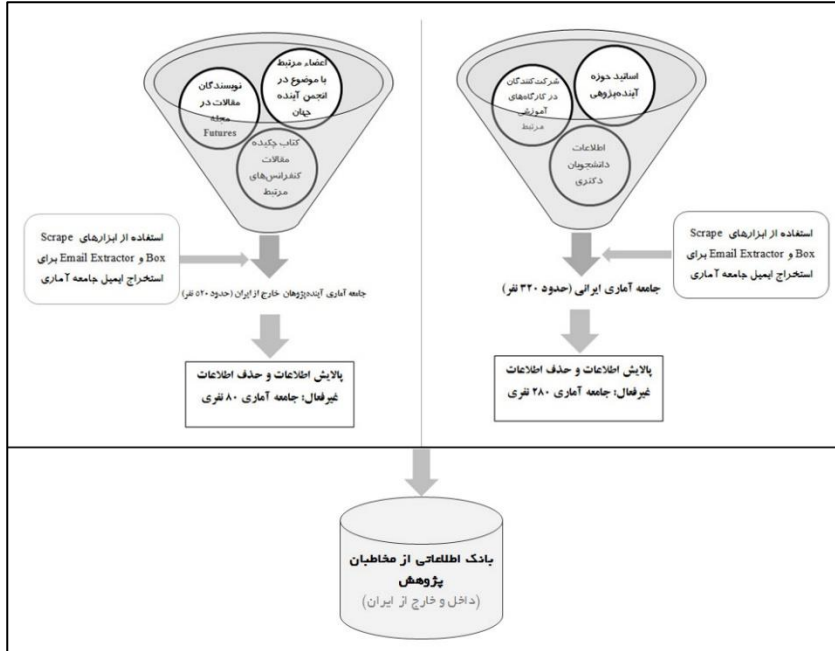
بر اساس نظریه سیستم‌های پیچیده و با تکیه بر سازه‌های اصلی این نظریه؛ یعنی تنوع در اجزای تشکیل‌دهنده سیستم، وابستگی بین اجزاء، درجه‌ای از انطباق‌پذیری، خودسازمان‌دهی و تفکر غیرخطی برای درک سیستم‌های پیچیده از یک سو و ویژگی‌های نظریه‌ها و روش‌های مهندسی مانند مدل‌سازی به دو صورت عامل‌گرا و محاسباتی، همچنین مهندسی نیازمندی‌ها، بررسی راه‌حل‌های مختلف از نظر زمان و هزینه و آزمون محصول یا فرایند برای اطمینان از دستیابی به اهداف مورد نظر از سوی دیگر، به دنبال درک نوآیندی، کنترل یا درک عدم قطعیت هستیم.

جامعه آماری. با توجه به نوپا بودن آینده‌پژوهی، یکی از چالش‌های پیش‌رو در پژوهش‌های مرتبط با این حوزه دشواری دسترسی به بانک اطلاعاتی متخصصان است. در این پژوهش یک بانک اطلاعاتی از متخصصان آینده‌پژوهی و سیستم‌های پیچیده هم داخل کشور و نیز خارج از ایران بر اساس شکل (۶) تهیه شد که هم‌اکنون قابل‌دسترس برای سایر پژوهش‌های مرتبط است. با استفاده از نرم‌افزارهای ایمیل اکستراکتور^{۳۸} از مقالات، کتب و کتابچه‌های مجموعه مقالات ایمیل متخصصانی که در حوزه آینده‌پژوهی یا سیستم‌های پیچیده فعال بودند، استخراج شد. پالایشی روی اطلاعات به‌دست‌آمده انجام شد. پرسشنامه شامل ۲۸ پرسش که پنج پرسش آن در مورد مشخصات شرکت‌کننده به دو زبان فارسی و انگلیسی بود،

^{۳۸} Email Extractor

تهیه و در وب بارگذاری شد. بر اساس اطلاعات به دست آمده از منابع و نظر متخصصان فرایند توسعه پیشنهادی شکل گرفت.

شکل (۶) - روش تهیه بانک اطلاعاتی از متخصصان مرتبط

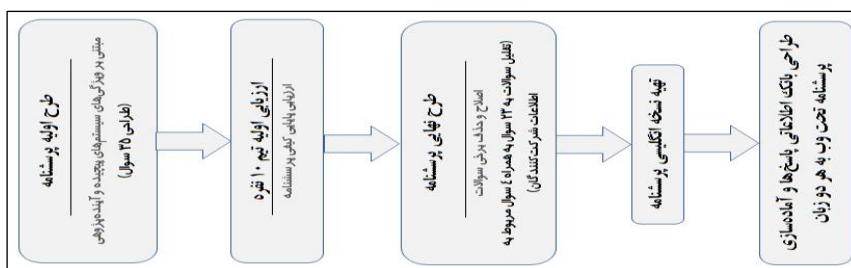


(نگارندگان)

تهیه پرسشنامه. همان طور که در شکل (۶) نمایش داده شد، ابتدا بر اساس منابع موجود، ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده از یک سو و مشخصه‌های روش‌های مهندسی از سوی دیگر استخراج شد. از ترکیب آنها پرسشنامه‌ای تهیه شد که پایایی آن به روش کیفی به دست آمد که در ادامه در خصوص شیوه اجرای آن توضیح خواهیم داد. مراحل تهیه پرسشنامه در شکل (۷) توضیح داده شده است. بر اساس اطلاعات به دست آمده از پیشینه پژوهش، طرح اولیه پرسشنامه در قالب ۳۵ پرسش آماده شد. این طرح توسط ده نفر از متخصصان آینده‌پژوهی مورد بازبینی قرار گرفت و طی چند مرحله رفت و برگشتی تعداد پرسش به ۲۳ پرسش کاهش یافت به همراه انجام تغییراتی در خود پرسش یا افزودن راهنما به پرسش برای روشن‌تر شدن منظور نگارندگان. همچنین به منظور امکان تحلیل تخصص و تجربه شرکت کنندگان، چهار پرسش نیز در خصوص مقطع تحصیلی، رشته تحصیلی، تجربه کاری و موقعیت شغلی به پرسشنامه افزوده شد. یکی از مشکلات انجام روش پرسشنامه، مشکل دسترسی به مخاطبان یا بی میلی مخاطبین به پاسخ به پرسش‌ها به دلیل نیاز به دنبال کردن مراحل چاپ، پاسخ، اسکن و ارسال یا کار با

نرم‌افزارهای ورد و پی‌دی‌اف خوان برای پاسخ به پرسش‌ها در صورت ارسال از طریق ایمیل است. در این پژوهش، یکی دیگر از کارهایی که صورت گرفت و ساختار آن قابل‌استفاده در سایر پژوهش‌های مشابه است، طراحی پرسشنامه مبتنی بر وب است. پرسشنامه به دو زبان فارسی و انگلیسی تهیه شد. در طراحی پرسشنامه مبتنی بر وب، تلاش شد محیطی کاربرپسند و ساده برای پاسخ به پرسش‌ها در کنار استفاده از فونت‌های مقبول فارسی/انگلیسی در وب برای نمایش متن پرسشنامه، طراحی شود و امکان ویرایش پاسخ‌ها برای مخاطبان فراهم شود. پرسشنامه در آدرس profs.hut.ac.ir/~bashiri/survey بارگذاری شده است.

پس از تهیه پرسشنامه، مقدمه کوتاهی در خصوص معرفی کار رساله آماده شد و به مخاطبان داخلی و خارجی ارسال شد. طبیعتاً لینک پرسشنامه فارسی به مخاطبان داخل ایران و لینک پرسشنامه انگلیسی به مخاطبان خارج از ایران ارسال شد. پاسخ‌ها در بانک اطلاعاتی که به همین منظور در وب طراحی شده بود، جمع‌آوری و پس از دریافت پاسخ‌ها مدل اولیه پیشنهادی تهیه شد.

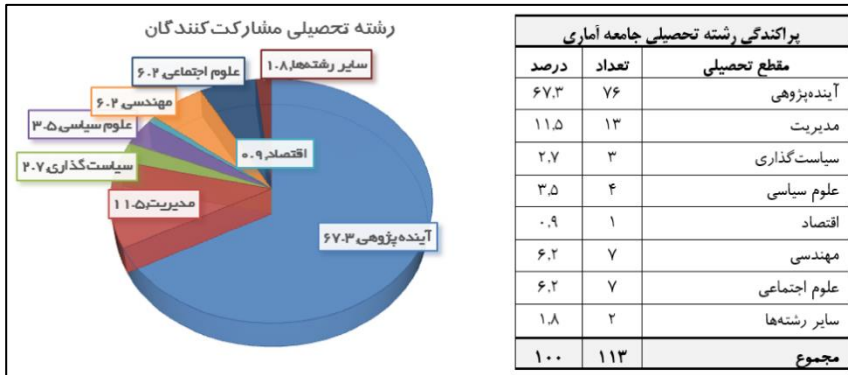


نتایج - تحلیل مشارکت‌کنندگان. در این بخش مشارکت‌کنندگان از نظر مقطع و رشته تحصیلی و همچنین موقعیت شغلی و سابقه فعالیت مرتبط از مجموع دودسته مشارکت‌کنندگان داخلی (داخل ایران) و خارجی (خارج از ایران) مورد بررسی قرار می‌گیرند. در کنار ۲۳ پرسشی که برای محتوی مدل از مشارکت‌کنندگان پرسیده شد، چهار پرسش نیز برای تحلیل جامعه آماری در نظر گرفته شد. جداول و نمودارهای پیش‌رو بر اساس پاسخ به این چهار پرسش تهیه شده است. لازم به ذکر است اطلاعات گردآوری‌شده از مشارکت‌کنندگان داخلی و خارجی به تفکیک جمع‌آوری و سپس تحلیل‌شده است. در این بخش، تحلیل از مجموع اطلاعات به‌دست‌آمده ارائه می‌شود.

مقطع تحصیلی مشارکت‌کنندگان را نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از مشارکت‌کنندگان (بیش از ۸۳ درصد) را دکتری یا دانشجویان دکتری تشکیل می‌دهد.

همچنین در شکل (۷) مشخص شده است که بیش از ۶۷ درصد مشارکت کنندگان از رشته آینده پژوهی و بقیه نیز از رشته‌های مرتبط بوده‌اند.

شکل (۷) - مشارکت کنندگان - رشته تحصیلی



۴. مدل پیشنهادی

بر اساس اطلاعات به دست آمده از منابع و نظر متخصصان فرایند اصول مورد تأکید در مدل پیشنهادی شناسایی شد. اصولی مانند درک صحیح و کامل از آینده پس از شکل‌گیری بخشی از آن برای دینفعان، تغییر بخش قابل توجهی از اهداف متناسب با پیشرفت پروژه در پروژه‌های آینده پژوهی، عدم امکان کنترل سیستم‌های پیچیده، امکان درک بهتر سیستم و آینده‌های بدیل با استفاده از روش‌های تکراری در پروژه‌های آینده پژوهی، تعبیر درست برنامه‌ریزی در سیستم‌های پیچیده به مطالعه و درک تغییرات و اینکه سختی پاسخ به پژوهش‌های علمی عموماً به ابزارهایی که در دسترس داریم بستگی دارد، همه از مواردی بودند که از مطالعه منابع و نظر متخصصان استخراج شد. سازمان‌ها، فرایندها و محصولاتی که در معرض تغییرات مکرر هستند باید به جای پایداری و ثبات برای سازگاری با تغییرات در محیط‌هایشان طراحی شوند (Alexiou, et al, 2010: 61). البته آلكسیو در همان کتاب اعلام می‌کند که به نظر وی، تنها سازمان‌ها، فرایندها و محصولاتی که بر مبنای اصول پیچیدگی طراحی شده‌اند می‌توانند تطبیقی و انعطاف‌پذیر باشند. بر اساس این اصول با تکیه بر چارچوب مفهومی که در کل توضیح داده شد، تلاش گردید فرایندی ترسیم شود که به رعایت این اصول وفادار باشد. اصولی که با استفاده از ابزارها و قواعد مهندسی برای مهار پیچیدگی در توسعه آینده به کار گرفته می‌شود. همان‌طور که پرسشنامه قبل از انتشار، توسط کمیته منتخب ده نفری مورد بازبینی و ارزیابی کیفی قرار گرفته بود، مدل پیشنهادی نیز توسط همین کمیته بررسی و پیشنهادهایی برای تکمیل و بهبود آن ارائه و سپس اعمال شد.

- در روش حل مسئله به شیوه خطی - ترتیبی مراحل زیر دنبال می‌شود:
- فهمیدن کامل مسئله‌ای که باید حل شود (وضع موجود تحلیل و تصویر مطلوب از آینده ترسیم شود)؛
 - طراحی یک راه‌حل که همه نیازمندی‌ها و محدودیت‌ها را دیده و به هدف نزدیک باشد؛
 - اجرا یا پیاده‌سازی راه‌حل طراحی شده بر اساس بهترین فنون و روش‌های موجود؛
 - واریسی و آزمون اینکه پیاده‌سازی یا اجرا، نیازمندی‌های مطرح شده را پوشش داده است؛
 - تحویل محصول (تحقق آینده). مسئله حل شد.

این شیوه حل مسئله و ساخت آینده، اگرچه بسیار منطقی به نظر می‌رسد، اما با آنچه در عمل اتفاق می‌افتد؛ بسیار متفاوت است. اطلاعات به دست آمده بر اساس پرسشنامه از نظر متخصصان این ایده را تأیید می‌کند. مشکل اینجاست که: ۱. ما مفروضات اشتباه داشتیم؛ ۲. اینکه نیازمندی‌ها ثابت هستند و تغییر نمی‌کنند، فرض اشتباهی است. مطلوبیت‌ها و اهداف پویا هستند و تغییر می‌کنند؛ ۳. همچنین این فرض که ما می‌توانیم مراحل تحلیل، شناخت مسئله و طراحی را به‌طور کامل و صحیح قبل از اجرا یا ساخت آینده انجام دهیم نیز فرض اشتباهی است.

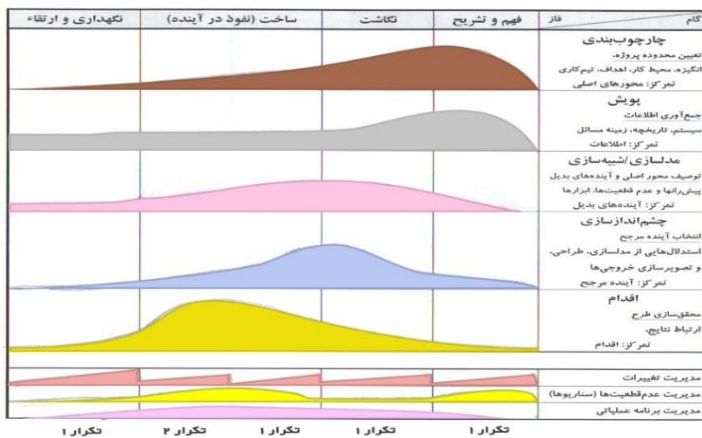
بنابراین در این پژوهش بر اساس دانشی که از متون سیستم‌های پیچیده، آینده‌پژوهی و مشکلات مدیریت پروژه‌های آینده‌پژوهی و توجه به لزوم بسترسازی برای حضور اجزای متنوع و ارتباط آنها با یکدیگر به‌منظور انطباق‌پذیری و سازگاری با محیط از یکسو و دانش ضمنی استخراج شده از متخصصان این حوزه از سوی دیگر به دست آمد، مدل شکل (۸) معرفی شد. ایده چگونگی نمایش مدل از هاگنز (2015) و کرول و دیگران (2003) گرفته شده است.

در این مدل با توجه به قانون ۸۰-۲۰ در مهندسی، از ایده تکراری بودن گام‌ها برای توسعه آینده (پروژه آینده‌پژوهی) استفاده شده است. به این معنی که در سیستم‌های پیچیده، پویای محیط به‌صورت خطی انجام نخواهد پذیرفت. چشم‌اندازسازی، شبیه‌سازی و ... همه فعالیت‌هایی هستند که در مراحل اصلی پروژه با اهداف متفاوت تکرار خواهند شد. تعدادی از گام‌های اصلی همان‌هایی هستند که در پروژه‌های آینده‌پژوهی بر اساس مدل شکل (۸) انجام می‌گیرند که تعدادی از گام‌های اساسی در سیستم‌های پیچیده مانند گام مدل‌سازی/شبیه‌سازی به آن افزوده شده است. چهار مرحله اصلی «فهم و تشریح»، «نگاشت»، «ساخت - نفوذ در آینده» و «نگهداری و ارتقا» با اهداف تمرکز بر شناسایی مسئله و سیستم مورد نظر، شیوه و روش نگاشت، ساخت آینده و بازبینی و بهبود آینده پس از تحقق آن تعریف شده‌اند. در هر یک از این مراحل اصلی، گام‌های معرفی شده به‌عنوان «چارچوب‌بندی»، «پویایی»،

«مدل سازی/شبیه سازی»، «چشم انداز سازی» و «اقدام» تکرار می شود. منحنی های نمایش داده شده در مدل حجم کارهای لازم برای تکمیل هر گام در هر یک از مراحل است. به عنوان نمونه تمرکز بر «چارچوب بندی» در مرحله «تشریح» نسبت به سایر مراحل بالا است. اما بخشی از «چارچوب بندی» در مراحل بعدی تکمیل می شود و به دلیل پیچیده بودن سیستم نگاه خطی به این معنی که گام «چارچوب بندی» به اتمام خواهد رسید و بعد گام بعدی را شروع کنیم، در عمل نمی تواند اتفاق بیفتد.

مانند بسیاری از مدل ها، گام ها به دودسته جریان کاری اصلی و گام های مدیریتی تقسیم بندی شده اند. برای هر گام در جریان کاری عنوانی انتخاب شده که فعالیت محوری آن مشخص شده است. به عنوان مثال برای گام «پوش محیطی» فعالیت محوری جمع آوری اطلاعات با تمرکز بر اطلاعات مشخص شده است. برای گام «مدل سازی/شبیه سازی» فعالیت محوری توصیف محور اصلی و آینده های بدیل با تمرکز بر آینده های بدیل مشخص شده است. در کنار این گام های اصلی، با دانش بر این موضوع که در سیستم های پیچیده، عدم قطعیت یکی از ویژگی های موجود در این دسته از سیستم ها است لازم است تغییرات که ناشی از همین عدم قطعیت ها است و سناریوهای مختلفی که در اثر اعمال سیاست های جدید، تغییر رفتار محیط و آگاهی از متغیرهای اثرگذار جدید بر سیستم بررسی می شود، مدیریت گردد. منظور از مدیریت برنامه عملیاتی نیز که حجم آن، به ویژه در زمان نفوذ به آینده افزایش می یابد، اقدامات عملی برای تحقق و ساخت آینده است.

شکل (۸) - مدل پیشنهادی برای پروژه های آینده پژوهی در سیستم های پیچیده



(نگارندگان)

۵. کاربرد: بیان یک نمونه

فرض کنیم وزارت علوم، تحقیقات و فناوری بر اساس مأموریت خود برنامه‌ای با عنوان بین‌المللی‌سازی آموزش عالی در ایران تعریف کرده است. شرایط مناسب برای توسعه این برنامه چیست؟ در خصوص آنچه در آینده برای آموزش عالی بین‌المللی شده اتفاق خواهد افتاد چه می‌توانیم بدانیم؟ آنچه به صورت کلاسیک برای چنین برنامه‌هایی صورت می‌گیرد، مطالعه وضع موجود در داخل کشور (تهیه اطلاعات و آمار، پتانسیل دانشگاه‌ها و ...) و تحولات منطقه‌ای و جهانی در حوزه آموزش عالی و شناسایی روندها است. بر اساس مطالعات انجام‌شده وضع مطلوب ترسیم می‌گردد و به اصطلاح چشم‌اندازی تهیه می‌شود. با توجه به امکانات و منابع، سیاست‌ها و اقدامات لازم برای دستیابی به وضع مطلوب وضع و ابلاغ می‌شود. طبیعتاً نظارت‌هایی برای انجام‌گرفتن کارها صورت می‌گیرد. در دوره‌های زمانی مشخص اطلاعاتی از بازوهای اجرایی (دانشگاه‌ها) به کمیته مرکزی (وزارت علوم، تحقیقات و فناوری) جمع‌آوری می‌گردد و شیوه تحقق اهداف رصد می‌شود. البته بر اساس بازخوردها و یادگیری‌ها که اتفاق می‌افتد، برخی سیاست‌ها و اقدامات نیز تغییر می‌کنند. گاهی این تغییرات بسیار زیاد است و منجر به تغییر کلی در سیاست‌ها و اقدامات می‌شود. بر اساس مطالعاتی که انجام داده‌ایم، بر این باوریم که دلیل تغییرات زیاد (که در بسیاری از موارد این تغییرات اجتناب‌ناپذیر است) در اجرای این برنامه‌ها ماهیت سیستم به‌عنوان یک سیستم پیچیده و عدم شناخت کافی از اجزای چنین سیستمی است. از طرفی بر اساس گزاره‌های سیستم‌های پیچیده، امکان شناخت کامل سیستم در مرحله مطالعاتی وجود ندارد. اهداف پویا هستند و متناسب با تغییرات در محیط درونی و بیرونی، این اهداف نیز تغییر می‌کنند. ابتدا به این موضوع می‌پردازیم که چرا سیستم آموزش عالی یک سیستم پیچیده است. آموزش عالی کشور، مجموعه‌ای از اجزا شامل دانشگاه‌ها، پژوهشکده‌ها، مؤسسات آموزش عالی دولتی و غیردولتی است که کاملاً از یکدیگر مستقل نیستند. به‌عنوان نمونه تغییر سیاست در یک مؤسسه آموزش عالی برای جذب دانشجوی بهتر یا بیشتر می‌تواند بر سیاست سایر مؤسسات نیز تأثیر مستقیم داشته باشد. چنین سیستمی هم دارای اجزای به‌نسبت متنوع، غیرمستقل و انطباق‌پذیر هستند. البته لازم است ذکر شود که چنین سیستمی به دلیل تنوع کم اجزا و وابستگی کم بین اجزا، در بین سیستم‌های پیچیده، به‌عنوان سیستم پیچیده ضعیف شناخته می‌شود. برای اجرای برنامه بین‌المللی‌سازی آموزش عالی باید پیچیده‌بودن سیستم لحاظ شود. عدم قطعیت‌ها بررسی شده و بر تکرار گام‌های اجرای مدل تأکید شود. بر اساس مدل تشریح شده در شکل (۸) برای اجرای برنامه مورد نظر ابتدا چهار مرحله اصلی «فهم و تشریح»، «نگاشت»، «نفوذ در آینده»،

«نگهداری و ارتقا» باید دیده شود. در هر یک از این مراحل گام‌های زیر باید تکرار شود. بر اساس توضیحاتی که ذیل شکل (۸) آورده شده است این گام‌ها در مراحل اصلی با ویژگی‌های تعریف‌شده برای آنها ادامه یابد.

چارچوب‌بندی. در این گام باید به مفاهیم اولیه آموزش عالی، اجزای آن، مفهوم بین‌المللی شدن آموزش عالی و چرایی آن پرداخته شود.

پویش محیط. در این گام روند شکل‌گیری بین‌المللی شدن آموزش عالی در جهان، منطقه و کشور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مدل‌سازی/شبیه‌سازی. بر اساس اطلاعاتی که جمع‌آوری گردیده است، مدلی مبتنی بر عامل از کارکرد اجزای سیستم آموزش عالی تهیه می‌شود. در این مدل قوانین اولیه تعریف می‌شود و امکان تغییر معیارها/متغیرها برای بررسی رفتارهای آینده سیستم در صورت تغییر متغیرها و مقادیر مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

چشم‌اندازسازی. بر اساس ارزش‌ها و مأموریت آموزش عالی ایران چشم‌انداز بین‌المللی‌سازی آموزش عالی ترسیم می‌گردد. آینده مرجح با توجه به تأثیرات اقدامات احتمالی بر سایر بخش‌های آموزش عالی انتخاب می‌شود.

اقدام. اجرای سیاست‌ها و برنامه‌ها در این گام انجام می‌گیرد. طبیعتاً در مرحله «تشریح و شناخت»، اقدامات گسترده‌ای انجام نخواهد پذیرفت و همان‌طور که در شکل (۸) نمایش داده شده است با پیشرفت در سایر مراحل، توجه به این گام فزونی می‌یابد.

پس از تکمیل مرحله نخست و انجام گام‌های ۱ تا ۵ مرحله دوم با عنوان «نگاشت» و تکرار گام‌های ۱ تا ۵ ادامه می‌یابد. در این مرحله بخش باقیمانده از چارچوب‌بندی موضوع تکمیل می‌شود؛ چرا که با انجام گام‌هایی مانند پویش، مدل‌سازی، چشم‌اندازسازی و اقدام اطلاعاتی بیشتری از مفاهیم اولیه و روندهای شناسایی شده به‌دست آمده است. پویش بر اساس اطلاعاتی که در مرحله «فهم و تشریح» به‌دست آورده‌ایم به‌صورت تکمیلی ادامه می‌یابد. در مرحله نخست، زیرساخت مدل‌سازی فراهم شده بود. در این مرحله با تکمیل قوانین بر اساس اطلاعات به‌دست آمده، متغیرها مقداردهی می‌شوند و سیاست‌های مختلف مورد ارزیابی پیشینی قرار می‌گیرند. به‌اصطلاح آینده‌های بدیل ارزیابی می‌شوند. آینده مطلوب در این مرحله دستخوش تغییراتی می‌شود و بر اساس آن اقدام‌هایی صورت می‌گیرد. در مرحله سوم علاوه بر تکرار گام‌ها ۱ تا ۴، گام اقدام شدت بیشتری می‌یابد؛ چراکه فهم ما از مسئله، اجزای سیستم، قوانین، وضعیت بین‌المللی‌سازی در منطقه و جهان و حتی تأثیر سیاست‌های مختلف در قالب آینده‌های بدیل بیشتر شده است. مرحله «ساخت یا نفوذ در آینده» به معنی شدت‌گرفتن

اقدامات عملی برای تحقق سیاست‌های انتخاب‌شده است. در مرحله «نگهداری و ارتقا» تنها یک گام انجام نمی‌شود. بلکه بر اساس بازخوردهایی که از اجرای عملی سیاست‌های بین‌المللی‌سازی آموزش عالی به دست می‌آوریم، فرایند یادگیری و اطلاعاتی که از پویش به دست آورده‌ایم مراحل ۱ تا ۵ برای ارتقای اهداف و دستیابی به اهدافی حتی بالاتر از چشم‌انداز اولیه ترسیم شده، تکرار می‌شوند.

در این نمونه سعی شد شیوه استفاده عملی از مدل، در قالب مسئله بین‌المللی‌سازی آموزش عالی تشریح شود.

فرجام

اگرچه بسیاری از روش‌های علمی که از تقلیل‌گرایی و شکست کل به اجزای کوچک‌تر برای شناخت پدیده مورد بررسی استفاده می‌کنند، دستاوردهای قابل توجهی داشته‌اند، اما لازم است این نوع نگاه در مورد سیستم‌های پیچیده مورد بازبینی قرار گیرد. گاهی ارتباط بین اجزا به اندازه خود اجزا در شناخت سیستم، اهمیت پیدا می‌کنند. بنابراین علاوه بر پرداختن به جزئیات باید مدام اجزای پدیده مورد بررسی در بافتار کلی نیز مورد کنکاش قرار گیرند و نه تنها باید مجموعه اجزا را با دید کل‌نگرانه و نظام‌مند درک نمود، بلکه فراتر و خلاق‌تر از آن، باید کل را هر لحظه «بازسازی» کرد. شناخت‌شناسی باید مورد بازبینی قرار گیرد و به جای استفاده از تفکری که مبتنی بر «علیت خطی» باشد، باید شناخت و تحلیل مبتنی بر آن براساس «علیت حلقوی» صورت گیرد. برای بازسازی کل و اصلاح شناختی که از اجزا به دست آورده‌ایم، لازم است رفتار سیستم مورد سنجش و ارزیابی قرار گیرد. این یکی از کلیدی‌ترین مراحل است که از ابزارهای مناسب و مدل‌های محاسباتی استفاده می‌شود. بر اساس منابع بررسی‌شده در دو حوزه آینده‌پژوهی و سیستم‌های پیچیده توجه به موارد زیر در انجام پروژه‌های آینده‌پژوهی در بستر سیستم‌های پیچیده دارای اهمیت زیادی است.

فراتر رفتن از تقلیل‌گرایی و داشتن نگاه کل‌نگر. اگرچه داشتن دانش کافی در خصوص جزئیات ضروری و لازم است، اما برای کار در سیستم‌های پیچیده کافی نیست. از آنجایی که در چنین سیستم‌هایی، کل چیزی بیش از مجموع اجزای تشکیل‌دهنده است، علاوه بر داشتن اطلاعات لازم در مورد جزئیات، لازم است نگاه کل‌نگر به سیستم داشته باشیم.

لزوم دیدگاهی فراتر از واقعیت‌های مشاهده‌شده. در تدوین سناریوهای آینده روش‌ها نباید به روش‌های سنتی مانند برون‌یابی روند و پیش‌بینی رویدادها محدود شود، بلکه باید از مطالعات اکتشافی برای تعریف اهدافی فراتر از واقعیت‌های مشاهده‌شده استفاده کرد.

تمرکز کافی بر آینده و حال. برای ساخت آینده، تنها نباید بر اهداف متمرکز شد، بلکه وضعیت اکنون و تأثیر اقدامات در مقیاس محلی نیز باید در نظر گرفته شود.

از پژوهش‌های کیفی و مصورسازی الگوها استفاده شود. مفاهیم و ابزارهای تکامل و نوآیندی در شبکه‌ها مورد مطالعه قرار گیرد. در مطالعه شبکه‌های به هم متصل که توانایی تولید ساختارهای غیرخطی دارند، باید پیش‌رو بود (که موجب بسترسازی برای تأثیرات بزرگ توسط تغییرات کوچک می‌شوند). تنها وضعیت‌های تعادل نباید مورد توجه قرار گیرد، بلکه تکامل‌هایی که موجب گذار و تغییرات ناگهانی در سیستم می‌شوند، باید مورد توجه قرار گیرد.

توجه به بررسی^{۳۹} و بهره‌برداری^{۴۰} به‌طور هم‌زمان. مدل استاندارد تصمیم‌گیری بیشتر نگاه بهره‌برداری دارد، به این معنی که مراحل بسیار کمی برای درک اجزای سیستم، عوامل اثرگذار و شناخت سیستم در نظر گرفته شده است. حال آنکه یکی از مفاهیم کلیدی در سیستم‌های پیچیده ایجاد توازن در دو گام مهم بررسی و بهره‌برداری است.

استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی در علوم اجتماعی. شبیه‌سازی در علوم اجتماعی پدیده‌ای نوظهور است. علوم اجتماعی نیز نیازمند مدل‌سازی و شبیه‌سازی است. در این مدل‌سازی‌ها، قوانین پایه باید استخراج شوند و بر اساس این قوانین سیستم‌های اجتماعی تفسیر و تبیین شوند. البته نباید از نظر دور داشت که قوانین در علوم اجتماعی برخلاف بسیاری از قوانین فیزیکی از پایداری به مراتب کمتری برخوردار هستند و اتفاقاً این خود دلیلی بر نیاز بیشتر به ابزارهایی برای تسریع در محاسبات شبیه‌سازی‌ها است.

توجه به ابزارهای محاسباتی برای پردازش اطلاعات. دیگر تصور ساده از نحوه عملکرد جهان و پدیده‌های آن نمی‌تواند کارکرد آن را به‌خوبی توضیح دهد. با پیچیده‌تر شدن دنیا دیگر دانش ضمنی خبرگان و تنها تجربه آنها برای پیش‌بینی پدیده‌ها، تعیین سیاست‌ها و چارچوب‌های ساخت آینده کافی نیست. انسان‌ها باید بالاترین توان پردازش اطلاعاتی خود برای برآورد اولیه از آینده را به‌کارگیرند. این توان پردازشی شامل مدل‌های پیچیده ریاضیاتی مانند نظریه بازی‌ها و ابزارهای پردازش آنها مانند ابرکامپیوترها است که یک مثال موفق آن، به‌ویژه در زمینه نظریه بازی‌ها، پروژه‌های آینده‌پژوهی است که بروس بوئنو دمسکی^{۴۱}، استاد سیاست دانشگاه نیویورک در آزمایشگاه تحقیقاتی خود انجام می‌دهد.

39. Exploration

40. Exploitation

منابع فارسی

- بل، وندل (۱۳۹۲)، *مبانی آینده پژوهی: تاریخچه، اهداف و دانش - علم انسانی برای عصر جدید*، ترجمه مصطفی تقوی و محسن محقق، جلد اول، تهران: موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، مرکز آینده پژوهی علوم و فناوری دفاعی.
- ملکی، عباس (۱۳۸۳)، *مدخلی بر علوم تصمیم‌گیری (گزارش کارگاه فرایند تصمیم‌گیری و حل مشکل)*، تهران: شرکت راهبران پتروشیمی.
- کریمی، عبدالعظیم (۱۳۹۲)، *تربیت چه چیز نیست؟ چگونه تربیت نکنیم*، چاپ نهم، تهران: منادی تربیت.
- گریبین، مری و جان گریبین (۱۳۸۶)، *آشوب و عدم قطعیت به زبان ساده*، ترجمه علی فروتن، سارا صحت و فاطمه گزین، شیراز: دانشگاه علوم پزشکی شیراز.
- ملیح سیدرضا و زهرا شجاعی (بهار و تابستان ۱۳۸۹)، «نقد و بررسی دیدگاه‌های اصلی رقیب در مورد مسئله بازگشت‌پذیری»، *پژوهش‌های فلسفی*، شماره ۱۷: ۹۵-۵۷.

منابع لاتین

- Alexiou, Katerina, Johnson, Jeffrey & Zamenopoulos, Theodore (2010), *Embracing Complexity in Design*, Routledge.
- Bell, Wendell (1997), *Foundations of futures studies, vol. 1: Human science for a new era: History, purposes, knowledge*, New Brunswick and London: Transaction Publishers.
- Bishop, Peter, Hines, Andy & Collins, Terry (2007), "The Current State of Scenario Development: An Overview of Techniques", *Foresight*, Vol.9, No.1: 5-25.
- Davis, John & Hall, Jim (2003), "A Software-Supported Process for Assembling Evidence and Handling Uncertainty in Decision-Making", *Decision Support Systems*, Vol.35, No.3: 415-433.
- Ennis, Catherine (1999), "A Theoretical Framework: The Central Piece of a Research Plan", *Journal of Teaching in Physical Education*, Vol 18: 129-140.
- Hahn, Roger, (2005), *Pierre Simon Laplace 1749-1827: A Determined Scientist*, Harvard University Press.
- Hines, Andy & Bishop, Peter (2006), *Thinking about the Future: Guidelines for Strategic Foresight*, Washington, DC: Social Technologies.
- Hughes, Ralph (2015), *Agile Data Warehousing for the Enterprise: A Guide for Solution Architects and Project Leader*, Newnes
- Inayatullah, Sohail (2007), *Questioning the Future: Methods and Tools for Organizational and Societal Transformation, 3rd edition*, Tamsui, Taipei, Taiwan: Tamkang University Press.

- Inayatullah, Sohail (2007), *Questioning the Future: Methods and Tools for Organizational and Societal Transformation, 3rd edition*, Tamsui, Taipei, Taiwan: Tamkang University Press.
- Kroll, Per, Kruchten, Phillippe & Booch, Grady (2003), *The Rational Unified Process Made Easy: A Practitioner's Guide to the RUP*: Addison-Wesley Professional.
- Kurtz, Cynthia F. & Snowden, David J. (2003), "The New Dynamics of Strategy: Sense-Making in a Complex and Complicated World", *IBM Systems Journal*, Vol.42, No.3: 462-483.
- Maurer, Brian. A. (1999), *Untangling Ecological Complexity: The Macroscopic Perspective*, The University of Chicago Press.
- Miller, John H. & Page, Scott. E. (2007), *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*, Princeton University Press.
- Modis, Theodore (2002), "Forecasting the Growth of Complexity and Change", *Journal of Technological Forecasting & Social Change*, Vol.69, No.4: 377-404.
- Page, Scott. E. (2009), *Understanding Complexity*, Virginia: The Teaching Company.
- Rzevski, G. (2009), "Using Complexity Science Framework and Multi-agent Technology in Design", *Embracing complexity in design*, 61-72.
- Technology Foresight Initiative (2004), *UNIDO: Foresight Methodologies, Training Modul 2*, Vienna, Austria.
- Xiong, Jay. (2011), *New Software Engineering Paradigm Based on Complexity Science: An Introduction to NSE*, Springer.

