

تدوین نقشه‌راه فناوری‌های ازدیاد برداشت نفت:

رویکرد پویایی سیستمی

محمود البرزی

دانشیار مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد علوم و تحقیقات

mahmood_alborzi@yahoo.com

عباس طلوعی اشلقی

استاد مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد علوم و تحقیقات

tolioe@gmail.com

پگاه کیارسی حیدر

دانشجوی دکتری مدیریت تکنولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد رودهن

pegah.kiyarsi@gmail.com

رضا رادفر

دانشیار مدیریت تکنولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد علوم و تحقیقات (نویسنده مسئول)

radfar@gmail.com

در این تحقیق به بررسی رفتار پویای مدل تدوین نقشه‌راه فناوری‌های ازدیاد برداشت نفت با هدف کاهش هزینه‌های تحقیق و توسعه داخلی با روش پویایی سیستم‌ها پرداخته شده است. براساس داده‌ها و نظرات خبرگان متغیرهای کلیدی شناسایی و روابط علی-حلقوی میان این متغیرها ترسیم شده و سپس روابط ریاضی میان این متغیرها براساس روابط موجود در پیشینه تعیین و براین اساس سیستم مورد نظر به صورت مدلی ریاضی با شبیه‌سازی کامپیوتری به وسیله نرم افزار ونسیم در دوره زمانی تقریباً دوساله اجرا شد. نتایج تحقیق دو نوع رفتار پویای نوسانی و هدف‌جو را برای متغیرهای مدل نشان داد. همچنین نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌های پویا بیان می‌دارد که افزایش بلوغ فناوری و آموزش سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش در پیچیدگی فناوری سبب افزایش در هزینه‌ها می‌شود. از طرفی فناوری بسیار بالغ، پیچیدگی بالا و سطح بالایی از آموزش به عنوان بهترین سناریو انتخاب شد چرا که این مجموعه پارامترها کم‌ترین هزینه را به دنبال داشتند.

واژگان کلیدی: نقشه‌راه فناوری، تحقیق و توسعه داخلی، پویایی سیستم‌ها

۱. مقدمه

مطابق پیش‌بینی‌های به عمل آمده، افزایش تقاضای جهانی برای انرژی همچنان ادامه خواهد داشت و اگرچه استفاده از انرژی‌های جایگزین مانند انرژی‌های هسته‌ای و انرژی‌های تجدید پذیر در سال‌های آتی افزایش می‌یابد، ولی این افزایش در مقایسه با انرژی‌های فسیلی کم بوده و نقش اصلی منابع انرژی تجدیدپذیر حداقل تا دو دهه آینده نقش تکمیلی و حامی خواهد بود (زارعی و همکاران، ۱۳۹۳). به منظور پاسخگویی به روند رشد روزافزون تقاضای جهانی جهت تأمین منابع نفت و گاز، یا باید منابع جدید هیدروکربنی کشف شده و مورد بهره‌برداری قرار گیرند و یا با استفاده از فناوری‌های گوناگون، نفت و گاز درجا و بدون استفاده درون مخزن تحت فرایندهای ازدیاد برداشت قرار گیرند. در این حال و با توجه به شرایط سخت اکتشاف و نیز صیانت از منابع هیدروکربوری موجود، استفاده از روش دوم منطقی‌تر و اصولی‌تر می‌باشد (کریمی، ۱۳۹۲).

ازدیاد برداشت نفت^۱، به مجموعه تکنیک‌ها و فرایندهایی اطلاق می‌گردد، که طی آن سعی می‌شود با استفاده از انرژی یا مواد خارج از میدان نفتی، میزان نفت خامی را که استخراج آنها با روش معمولی امکان پذیر یا تولید آن اقتصادی و مقرون به صرفه نیست، استخراج و مورد بهره‌برداری قرار داد (محمدشاهی و مکارم، ۱۳۹۶).

براساس تئوری‌های اخیر رشد درون‌زا و مطالعات تجربی صورت گرفته، ابداع و نوآوری به عنوان موتور پیشرفت فناوری و عامل تعیین کننده بهره‌وری کل عوامل معرفی شده است، زیرا فعالیت‌های تحقیق و توسعه داخلی موجب نوآوری و استفاده مؤثرتر از منابع موجود و جذب فناوری پیشرفته خارجی خواهد گردید (شاه آبادی و امیری، ۱۳۹۳).

1. Enhanced Oil Recovery(EOR)

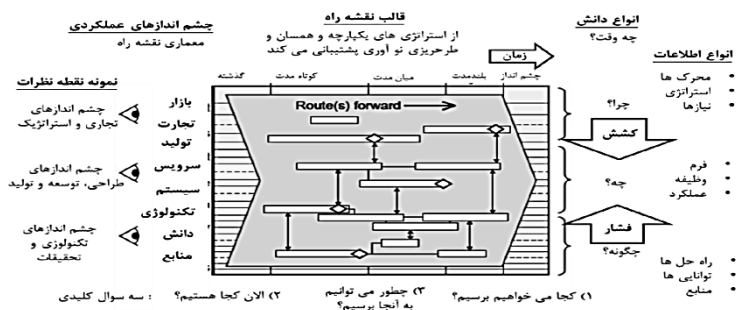
در شرایط کنونی که اغلب صنایع نفتی کشور با تحریم‌های جدی روبرو شده‌اند، انتقال محض فناوری، از یک سو دشوار است و از سوی دیگر، در صورت بروز هر گونه مشکل در فناوری خریداری شده، موجب ادامه وابستگی کشور به خارج می‌گردد. از طرفی تحقیق و توسعه داخلی در برخی موارد می‌تواند یک ریسک تلقی شود، زیرا ممکن است که این فرایند علی‌رغم هزینه بالایی که برای آن صرف می‌شود، نتیجه مطلوبی نداشته باشد (نایی فرد و فیلسرای، ۱۳۹۶). اگر این دیدگاه را بپذیریم که اکثر میادین نفتی در کشور در نیمه دوم عمر خود قرار دارند (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵)، شرکت‌های نفتی از روش‌های ازدیاد برداشت با استفاده از فناوری‌های نوین برای بهره‌برداری بیشتر در برداشت از ذخایر نفتی استفاده می‌کنند، لذا داشتن الگوی نقشه‌راه فناوری‌های ازدیاد برداشت نفت که مسیر نمای آینده فناوری‌ها را نشان دهد با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع مالی برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه داخلی به عنوان حلقه‌ای مفقوده در این صنعت محسوب می‌شود.

برنامه ریزان و مدیران برای تحقق هدف‌ها، در بسیاری موارد به صورت خطی با فرایند تدوین نقشه‌راه فناوری برخورد کرده، پویایی آن را در نظر نگرفته‌اند؛ برای نیل به این هدف، در این مقاله رویکرد پویایی سیستم‌ها با توجه به قابلیت آن در تجزیه و تحلیل تصمیمات مدیریتی و سنجش بهره‌وری این تصمیمات با توجه به اثرات بلند مدت آنها در رفتار کل متغیرهای سیستم، مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه در بخش ۲، مبانی نظری و پیشینه تحقیق شرح داده می‌شود؛ در بخش ۳، روش تحقیق و نحوه جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل آنها توضیح داده شده است و در بخش ۴، به نتیجه‌گیری و پیشنهادات می‌پردازیم.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱. نقشه‌راه فناوری^۱

یکی از مهمترین رویکردها برای مدیریت و برنامه‌ریزی مؤثر فناوری استفاده از فرایند نگاشت نقشه‌راه فناوری است. تمرکز اصلی این رویکرد به کارگیری مؤثر فناوری‌های نوین و هم‌راستا نمودن فعالیت‌ها و راهبردهای سازمان براساس این فناوری هاست که نتایج آن عموماً به صورت گرافیکی و مدل‌های مفهومی به نمایش در می‌آید. نقشه‌راه یک نمای یکپارچه و هم‌نشت را از برنامه‌های راهبردی یک سازمان در قالب گرافیکی یا جدول ارائه می‌دهد که اغلب بعد زمان هم در آن دیده می‌شود (محبی و حیدری، ۱۳۹۵).



شکل ۱. مدل ژنریک (عمومی) ترسیم نقشه‌راه فناوری (مأخذ: فال و همکاران، ۲۰۱۶)

با توجه به شکل فوق می‌توان گفت، نقشه‌راه‌ها در بالاترین سطح، در بردارنده سه لایه وسیع هستند:

- لایه‌های بالایی مربوط به روندها و محرک‌هایی است که بر اهداف یا مقاصد کلی مرتبط با فرایند تدوین نقشه‌راه حکم فرما هستند، شامل بازار خارجی و روندها و محرک‌های

صنعت (اجتماعی، فناورانه، زیست محیطی، اقتصادی، سیاسی و زیرساختی)، در کنار دیدگاه‌های مشتری و رقیب؛ روندها و محرک‌های داخلی، رویدادهای کلیدی، اهداف و محدودیت‌ها. در مجموع، نوع اطلاعات موجود در لایه بالایی را می‌توان زیر مجموعه چرایی دانش در نظر گرفت.

- لایه میانی معطوف به سامانه‌های محسوس (فیزیکی) هستند که لازم است برای پاسخ گفتن به لایه روندها (لایه بالا) توسعه داده شوند. در اکثر موارد این لایه به طور مستقیم به سیر تکامل محصولات مربوط می‌شود (کارکردها، ویژگی‌ها و عملکرد) ولی لایه میانی می‌تواند در برگرفته توسعه خدمات، زیر ساخت یا سازوکارهایی برای یکپارچه سازی فناوری، دانش و منابع به طوری که برای مشتریان و سایر ذی نفعان منافی ایجاد کند باشد. در مجموع، نوع اطلاعات موجود در لایه میانی را می‌توان نماینده چستی دانش در نظر گرفت.

- لایه پایینی مربوط به منابع است (درونی و بیرونی) که لازم است برای توسعه محصولات، خدمات و سیستم‌های مورد نیاز به خدمت گرفته شوند، مانند سرمایه، تجهیزات و همکاری‌های در کنار منابع دانش بنیان مانند فناوری، مهارت‌ها و شایستگی‌ها. در مجموع نوع اطلاعات موجود در لایه میانی را می‌توان نماینده بعد چگونگی دانش در نظر گرفت (فال و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۲. هزینه‌های تحقیق و توسعه

تحقیق و توسعه داخلی اشاره به توسعه فناوری به معنای ارتقای کمی و کیفی سطح فناوری از طریق خلق و ایجاد فناوری‌های جدید و بهبود و اصلاح فناوری‌های موجود است. توسعه فناوری به طور عمده در دو بعد تولیداتی با کارایی و کیفیت برتر و یا روش‌هایی با بازدهی بیشتر در نظر گرفته می‌شود. فناوری‌های انتقال یافته از رهگذر تحقیق و توسعه، تعدیل، اصلاح و منطبق بر شرایط موجود می‌شوند و می‌توانند رافع نیازهای کنونی صنعت باشند (ابراهیمی، ۱۳۹۴).

طبق نظر هیئت تدوین استانداردهای حسابداری مالی اگر فعالیت‌های مربوط به تحقیق و توسعه در راستای تولید محصولات جدید، بهبود محصولات قدیمی یا کاهش دادن هزینه‌های

عملیاتی آینده انجام شود، انتظار بر این است که از محل این نوع هزینه‌ها در دوره‌های آینده و نه فقط در دوره‌های جاری منافی به دست آورد، بنابراین می‌توان این دانش را به عنوان یک قلم دارایی شرکت یا افزایش در ارزش کل دارایی‌های کنونی شرکت به حساب آورد. از این رو با توجه به اصل تطابق، باید هزینه‌های تحقیق و توسعه را به عنوان هزینه (دارایی) سرمایه‌ای منظور کرد. لذا با منظور کردن مخارج تحقیق و توسعه به عنوان هزینه سرمایه‌ای، مدیریت دارای نوعی انگیزه می‌شود تا مخارج تحقیق و توسعه را به عنوان یک قلم دارایی استراتژیک مورد توجه قرار دهد (نایی فرد و فیلسرای، ۱۳۹۶).

۳. پیشینه تحقیق

براساس مطالعات انجام شده، نمونه یا چارچوب مشخصی که تمرکز ویژه آن بر ماهیت موضوع و مسأله‌ای که در این تحقیق برای آن الگوی نقشه‌راه فناوری تدوین می‌شود؛ وجود نداشته، همچنین در زمینه استفاده از روش پویایی سیستم‌ها به عنوان روشی در جهت تحلیل سیاست‌ها، در حوزه ازدیاد برداشت نفت، تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. با مرور پژوهش‌های گذشته در زمینه نقشه‌راه فناوری، تاکنون نقشه‌راه‌های زیادی ترسیم شده‌اند که هر یک به تبع هدف ترسیم و نیز زمینه فعالیت سازمان و حوزه تأثیرگذاری نقشه‌راه رویکردهای متفاوت داشته‌اند. از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد.

نقی زاده و همکاران (۱۳۹۵)، بومی‌سازی فناوری‌های پیشرفته و راهبردی صنعت نفت و گاز را یکی از اولویت‌های کلیدی صنعت نفت کشور در طول یک دهه اخیر معرفی می‌کند. همچنین از آنجایی که هزینه توسعه فناوری در بخش تجهیزات صنعت نفت بسیار زیاد است، شناسایی انواع ریسک‌های موجود در این پروژه‌ها را بسیار ضروری می‌دانند. با این وجود آنها معتقد هستند که، در فرایند تدوین نقشه‌راه فناوری این تجهیزات کمتر به مقوله عدم قطعیت و ریسک توجه شده است. آنها در تحقیق خود به ارائه چارچوبی جهت ارزیابی ریسک براساس لایه‌های مختلف نقشه‌راه فناوری می‌پردازند؛ ۲۹ ریسک مهم را در چهار لایه نقشه‌راه شامل

لایه‌های دانش چرایی، دانش چیستی، دانش چگونگی و توانمندسازها را شناسایی و طبقه‌بندی نمودند.

ستاد توسعه فناوری و صنایع دانش بنیان دریایی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری (۱۳۹۶)، به منظور زمان‌بندی و اولویت‌بندی فناوری‌های مورد نیاز این حوزه، با همکاری همه ارگان‌های دریایی، خبرگان و متخصصین دریایی کشور از پاییز ۹۳ اقدام به ترسیم نقشه‌راه فناوری‌های دریایی کشور نمود. در این راستا ستاد با انجام مطالعات مقدماتی، برگزاری سمینارها و جلسات متعدد با خبرگان و نمایندگان سازمان‌های دریایی و متخصصین حوزه نقشه‌راه فناوری، چارچوب کلی ترسیم نقشه‌راه فناوری‌های دریایی را تدوین و به تصویب مدیران پژوهشی سازمان‌های دریایی رساند.

فرحناکیان و همکاران (۱۳۹۵)، در سند راهبردی و نقشه‌راه توسعه ربات‌های صنعت برق، به شناخت انواع ربات‌های به کار گرفته شده در صنعت برق، توانمندی‌ها و مزایای استفاده از آنها؛ شناخت فناوری‌های به کار رفته در این ربات‌ها و بررسی امکان‌پذیری ساخت و تعیین اولویت توسعه آنها و در نهایت تدوین برنامه جهت بومی‌سازی ربات‌های انتخاب شده در قالب سند راهبردی و نقشه‌راه می‌پردازد؛ همچنین ستاد راهبردی وزارت نیرو (۱۳۹۴)، به تدوین مبانی سند توسعه فناوری، ارزیابی هوشمندی فناوری، تدوین ارکان جهت ساز، تدوین برنامه اقدامات و سیاست‌ها، تدوین نقشه‌راه و برنامه عملیاتی و در نهایت تدوین برنامه ارزیابی و به روزرسانی سند راهبردی و نقشه‌راه توسعه فناوری سیستم انتقال برق با ظرفیت بالا پرداخته است.

نقشه‌راه فناوری بخش زیست فناوری ایران نیز توسط قاضی نوری و همکاران (۱۳۹۶)، با استفاده از مدل نقشه‌راه لایه‌ای در پنج لایه و با کمک مدل ساختار صنعت در قالب پنج نیروی پورتر و از طریق جلسات هم‌اندیشی گروهی و مصاحبه‌های فردی با خبرگان، طراحی گردید.

کو و همکاران^۱ (۲۰۱۶)، در تحقیقی که توسط موسسه کره‌ای ارایه شده است، نقشه‌راه فناوری را یکی از ابزارهای مفید در مدیریت برنامه ریزی تحقیق و توسعه و نیز شناسایی آینده پیشرفت فناوری در شرکت‌ها، سطوح مختلف سازمان‌های دولتی و سایر سازمان‌ها، معرفی می‌کند.

ویشسکی و مایسنر^۲ (۲۰۱۵)، در مطالعه موردی انجام شده در شرکت‌های بزرگ روسی در بخش‌های نفت و گاز، انرژی و هواپیما، رویکردی ترکیبی از پیش‌بینی و نقشه‌راه را برای مدیریت نوآوری شرکت‌ها پیشنهاد می‌دهد.

از پژوهش‌های صورت گرفته با رویکرد پویایی سیستم‌ها در حوزه نفت نیز می‌توان موارد زیر را برشمرد.

فضل‌اله تبار و همکاران (۱۳۹۶)، با شبیه‌سازی تولید نفت شیل با رویکرد پویایی‌های سیستم، تحت سناریوهای مختلف، در این تحقیق با به کار بستن رویکرد پویایی‌های سیستم و در نظر گرفتن عوامل تکنولوژیکی، اقتصادی و زمین‌شناسی، آینده روند تولید نفت شیل آمریکا بررسی گردید. مدل پیشنهادی این پژوهش تحت سناریوهای چندگانه قیمت، تکنولوژی و منابع، نقطه اوج تولید نفت شیل آمریکا و سهم آن را تا سال ۲۰۳۵ تعیین می‌کند.

کاظمی و حسین زاده (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای تحت عنوان انتخاب سناریوی برتر برای افزایش درآمد ارزی دولت در سیستم انرژی: کاربردی از رویکرد پویایی سیستم، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم به شبیه‌سازی سیستم انرژی کشور شامل بخش‌های عرضه و تقاضا پرداخته است و سناریوهای مختلف تخصیص منابع عرضه به بخش‌های مختلف مصرف، با در نظر گرفتن طرح هدفمندی سازی یارانه‌ها بررسی شده‌اند.

1. Yonghee Cho & etal

2. KonstantinVishnevskiy and legKarasevDirkMeissner

قهرمانی و همکاران (۱۳۹۴)، به منظور بررسی تابع تقاضای نفت کشور ایران با رویکرد سیستم دینامیک و اقتصادسنجی، با استفاده از داده‌های تجربی طی دوره زمانی سال ۱۳۶۷-۱۳۹۱ به وسیله نرم افزارهای Eview و vensim به مدل‌سازی می‌پردازد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میزان مصرف فرآورده‌های نفتی با گذشت زمان افزایش یافته است، همچنین مدل برای سال‌های آینده (تا سال ۱۴۰۰) مقدار تقاضا را پیش‌بینی کرده و در شرایط متغیر میزان مصرف را تخمین زده است.

حسینی و همکاران (۱۳۹۷)، با شبیه‌سازی مدلی برای افزایش منافع ملی حاصل از سیستم عرضه نفت ایران در بازار جهانی با رویکرد سیستمی، به این نتیجه دست یافت که افزایش قیمت‌های داخلی حامل‌های انرژی به سمت قیمت‌های بین‌المللی و همچنین افزایش سهم بودجه برای سرمایه‌گذاری در حوزه‌های با ارزش افزوده بیشتر در صنعت نفت برای افزایش منافع ملی اقتصادی توصیه می‌شود.

جیوم و همکاران^۱ (۲۰۱۴)، یک رویکرد یکپارچه برای نقشه‌راه فناوری و پویایی سیستم برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی سناریو فراهم می‌کنند. رویکرد پیشنهادی شامل سه بخش است: ساختن سناریو، نقشه‌برداری فناوری و شبیه‌سازی پویایی سیستم‌ها. در مطالعات بسیاری نقشه‌راه مبتنی بر سناریو به عنوان یک ابزار مؤثر برای مقابله با پویایی محیط‌های تجاری مورد توجه قرار گرفته است (لی و جوم^۲، ۲۰۱۷، حسین و همکاران^۳، ۲۰۱۷).

-
1. YoungjungGeum etal
 2. ChangyongLee
 3. Hussain et al.

۴. روش تحقیق

تحقیق حاضر از منظر هدف، کاربردی-توسعه‌ای است. متدولوژی اصلی مورد استفاده در این تحقیق، پویایی سیستم‌ها^۱ است. روش پویایی سیستم‌ها در اواسط سال ۱۹۵۰ توسط پروفیسور فارستر^۲ از دانشگاه ام.آی.تی^۳ ابداع شد. او در واقع پارادایم مشتق‌گیری را در نظریه کنترل به انباشت (انتگرال‌گیری) در پویایی سیستم‌ها تبدیل کرد، زیرا وی عقیده داشت که طبیعت به جای مشتق شدن انباشته می‌شود (کاظمی و حسین زاده، ۱۳۹۵). پویایی‌شناسی سیستم‌ها، روشی برای مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده و دارای بازخورد است. این سیستم‌ها می‌توانند در حوزه‌های مختلفی مثل کسب و کار، اقتصاد، محیط زیست، مدیریت انرژی، مسایل شهری و سایر حوزه‌های اجتماعی و انسانی وجود داشته باشند. در این رویکرد، تصویری از سیستم براساس بازخوردها و تأخیرهای موجود ایجاد می‌شود تا رفتار دینامیکی سیستم‌های پیچیده فیزیکی، زیستی و اجتماعی بهتر فهمیده شود. به بیان دیگر، مهمترین اصل اساسی که پویایی سیستم‌ها بیان می‌دارند این است که بازخوردها و تأخیرها رفتار سیستم‌ها را می‌سازند و پویایی رفتاری سیستم نتیجه ساختار حاکم بر سیستم است (بهمردی کلانتری و همکاران، ۱۳۹۶).

تحقیق و توسعه داخلی در فرایند نقشه‌راه فناوری، به عنوان سیستمی با روابط درونی و بیرونی پیچیده، دارای عناصری است که در تعامل مداوم با یکدیگر هستند. برنامه ریزان و مدیران برای تحقق هدف‌ها، در بسیاری موارد به صورت خطی با این سیستم برخورد کرده، پویایی آن را در نظر نگرفته‌اند؛ از طرفی به منظور بررسی اثرهای مثبت یا منفی برنامه‌های حاصل از نقشه‌راه فناوری، نیاز به شبیه‌سازی برنامه در محیط مجازی پیش از اجرای برنامه در سیستم حقیقی است؛ برای نیل به این هدف، در این مقاله رویکرد پویایی سیستم‌ها با توجه به قابلیت آن در

-
1. System Dynamics
 2. Jay.W. Forrester
 3. MIT

تجزیه و تحلیل تصمیمات مدیریتی و سنجش بهره‌وری این تصمیمات با توجه به اثرات بلند مدت آنها در رفتار کل متغیرهای سیستم، مورد استفاده قرار گرفته است.

۵. فرایند مدل‌سازی پویا

فرایندی که در این تحقیق برای مدل‌سازی پویا استفاده شده است توسط استرمن^۱ در دانشگاه ام.آی.تی ارائه شده و مراحل آن به قرار زیر است:

گام اول: تعریف دقیق مسأله (انتخاب مرز سیستم)

گام دوم: فرضیه پویا

گام سوم: فرموله کردن (پیاده‌سازی در نرم افزار)

گام چهارم: تست مدل (شبیه‌سازی)

گام پنجم: تدوین و ارزیابی سیاست‌ها (مشایخی و همکاران، ۱۳۹۳).

به منظور گردآوری داده‌ها، علاوه بر مرور نظری تحقیقات پیشین، از رویکرد مدل‌سازی گروهی^۲، که به استخراج مدل‌های ذهنی مشارکت کنندگان در جلسات مدل‌سازی می‌پردازد؛ استفاده شده است (حاجی و منطقی، ۱۳۹۷؛ ریچاردسون و اندرسون^۳، ۱۹۹۵؛ ونیکس و همکاران^۴، ۱۹۹۲). شرکت کنندگان براساس نوع ارتباط با مسأله، دانش، زمینه تحصیلی مرتبط، برخورداری از تجارب مفید، اشتغال در حوزه‌ای که با موضوع تحقیق مرتبط است، تمایل، زمان کافی برای شرکت از ۲ نهاد، صنعت (شرکت مهندسی و ساختمان صنایع نفت، ۵ نفر) و دانشگاه (۳ نفر) انتخاب شدند. مدل‌سازی در پنج جلسه سه ساعته برگزار شد. در جلسات اولیه مدل‌سازی گروهی، سیستم، مسأله، متغیرهای کلیدی، حالت‌های مرجع آنها، افق زمانی و

1. Sterman

2. Group Model Building (GMB)

3. Richardson and Andersen

4. Vennix. etal

5. Oil Industries Engineering and Construction (OIEC)

فرضیه‌های پویا تعریف شده است. طی جلسات بعدی نمودارهای علی-حلقوی و حالت- جریان، رسم گردید، سپس مدل به منظور تحلیل مدل و پیشنهاد سیاست‌های اجرایی جهت کاهش مسأله هزینه‌های تحقیق و توسعه، در نرم افزار ونسیم شبیه سازی و اجرا شد. از طرفی، مبنای تهیه و ترسیم انواع نمودارهای اشاره شده در سیستم‌های پویا، اطلاعات ثبت شده در شرکت مهندسی و ساختمان صنایع نفت می‌باشد، به منظور پیاده‌سازی مدل پویای طراحی شده در این تحقیق، یکی از فناوری‌ها در زمینه ازدیاد برداشت نفت مورد استفاده قرار گرفت.

۵-۱. گام اول: تعریف دقیق مسأله (انتخاب مرز سیستم)

منظور از سیستم، فرایند تحقیق و توسعه داخلی به منظور توسعه، اجرا، نگهداری، ارتقا و انفصال فناوری جدید، می‌باشد. توسعه فناوری جدید در فرایند تحقیق و توسعه داخلی، منجر به افزایش هزینه‌ها می‌شود. هزینه‌های توسعه فناوری در صنعت نفت بسیار زیاد است و می‌بایست برای توسعه هر یک از تجهیزات کلیدی یک نقشه‌راه فناوری دقیق ترسیم نمود. با این وجود تدوین و پیاده‌سازی این نقشه‌های راه با ریسک‌های مختلفی همراه است (نقی زاده و همکاران، ۱۳۹۵). خبرگان محدودیت‌های منابع مالی را برای سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه داخلی به عنوان مسأله تحقیق حاضر مطرح می‌کنند.

۵-۲. گام دوم: فرضیه پویا

پس از آنکه مسأله تعریف شد و روی یک افق زمانی ۱۰۴ هفته‌ای مناسب تشریح گردید (فرض بر این است که فناوری دو سال طول می‌کشد تا تکمیل شود)، فرضیه‌های پویا، توسط گروه مدل‌سازی، که به بیان علل رفتار مشکل ساز می‌پردازد، ایجاد گردید. فرضیه‌های تحقیق شامل ۳ مورد فرضیه زیر می‌باشد که از جلسات مدل‌سازی گروهی به دست آمد.

فرضیه اول: فقدان آموزش مناسب باعث ایجاد هزینه‌های اضافی در فرایند تدوین نقشه‌راه فناوری می‌شود.

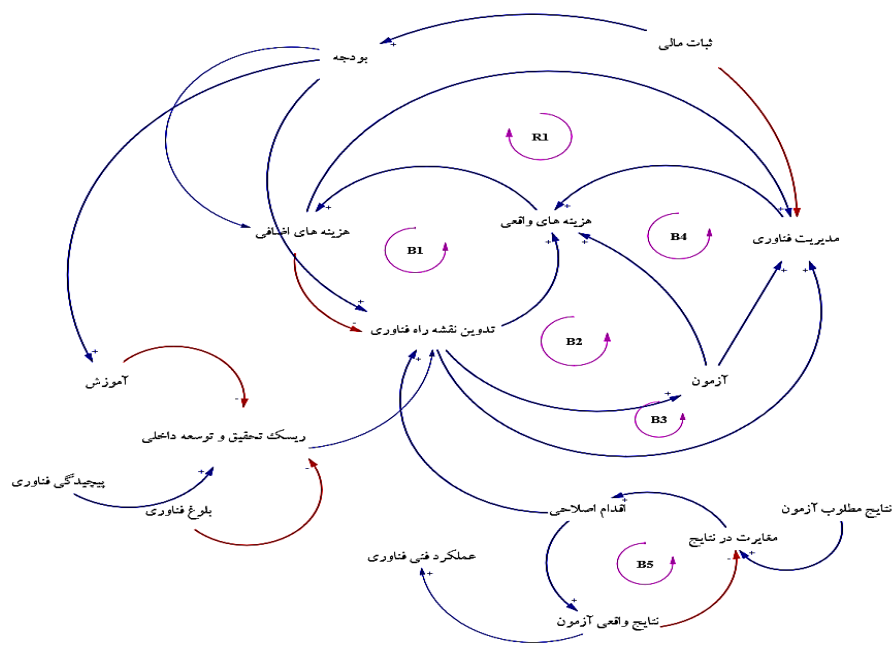
فرضیه دوم: افزایش پیچیدگی فناوری جدید باعث افزایش هزینه‌های کل می‌شود.

فرضیه سوم: افزایش بلوغ فناوری هزینه‌های کل را کاهش می‌دهد.

۵-۳. گام سوم: فرموله کردن (پیاده سازی در نرم افزار)

- نمودار علی - حلقوی^۱ (توصیف کیفی مدل)

در طی جلسات اولیه مدل‌سازی، از هر شرکت کننده در فرایند مدل‌سازی گروهی خواسته شد که متغیرها و شاخص‌هایی را که مسأله را تحت تأثیر قرار می‌دهند، فهرست کند. بعد از ترکیب اطلاعات و دانش به‌دست آمده از گروه، توافقی به صورت لیستی از متغیرها برای سیستم ایجاد شد (پیوست یک). پس از شناسایی متغیرهای کلیدی، پیدا کردن علل این متغیرها، تعیین پیامدهای متغیرهای اصلی مسأله، شناسایی حلقه‌های بازخوردی شایع، جداسازی حلقه‌های رشد، و سپس شناسایی حلقه‌های متعادل کننده که آن را محدود می‌کند، نمودارهای علی - حلقوی تحقیق رسم گردید. ساختار بازخورد سیستم نقشه‌راه فناوری با استفاده از نمودارهای مقدماتی، به صورت کیفی ترسیم شد. آخرین ویرایش نمودار علی - حلقوی به‌دست آمده از جلسات مدل‌سازی گروهی، در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است. در ادامه برخی از مهم ترین حلقه‌های مدل تشریح شده است.



نمودار ۱. نمودار علی-حلقوی مدل

حلقه R1: هزینه‌های اضافی - مدیریت فناوری

زمانی که هزینه‌های اضافی افزایش (کاهش) یابد، تلاش‌های مدیریت برای توسعه فناوری افزایش (کاهش) می‌یابد. در واقع با افزایش (کاهش) هزینه‌های اضافی تلاش‌های مدیریت مالی افزایش (کاهش) می‌یابد. این تلاش‌ها به صورت نفر-ساعت بیان می‌شود که با افزایش (کاهش) آن، هزینه‌های واقعی سازمان افزایش (کاهش) می‌یابد. بنابراین با افزایش (کاهش) تلاش‌های مدیریت، هزینه‌های واقعی افزایش (کاهش) می‌یابند و به دنبال آن هزینه‌های اضافی بیشتر (کمتر) می‌شود. بنابراین این حلقه به صورت یک حلقه تقویت کننده رفتار می‌کند.

حلقه B1: هزینه‌های اضافی - تدوین نقشه راه فناوری

زمانی که تلاش‌های تدوین نقشه راه فناوری افزایش (کاهش) یابد، نفر-ساعت مورد نیاز افزایش (کاهش) یافته، در نتیجه هزینه واقعی افزایش (کاهش) می‌یابد. با افزایش (کاهش)

هزینه‌ها، هزینه‌های اضافی افزایش (کاهش) می‌یابد. افزایش (کاهش) هزینه‌های اضافی، فعالیت‌های تدوین نقشه‌راه فناوری را کاهش (افزایش) می‌دهد. این حلقه به عنوان یک حلقه متعادل کننده رفتار می‌کند.

حلقه B2: هزینه‌های اضافی - آزمون

زمانی که تلاش برای تدوین نقشه‌راه فناوری افزایش (کاهش) می‌یابد، منجر به افزایش (کاهش) تلاش برای آزمون می‌شود. افزایش (کاهش) در آزمون باعث افزایش (کاهش) در نفر - ساعت می‌شود. که این خود منجر به بالا (پایین) رفتن هزینه‌های واقعی و به دنبال آن بالا (پایین) شدن هزینه‌های اضافی می‌شود. افزایش (کاهش) هزینه‌های اضافی منجر به کاهش (افزایش) فعالیت‌های تدوین نقشه‌راه فناوری می‌شود. این حلقه به عنوان یک حلقه متعادل کننده رفتار می‌کند.

حلقه B3: هزینه‌های اضافی - مدیریت فناوری - تدوین نقشه‌راه فناوری

زمانی که تلاش‌های تدوین نقشه‌راه فناوری افزایش (کاهش) می‌یابد، تلاش‌های مدیریت فناوری افزایش (کاهش) یافته، در نتیجه افزایش (کاهش) در نفر - ساعت رخ می‌دهد؛ که به دنبال آن افزایش (کاهش) در هزینه‌های واقعی را داریم؛ که سبب بالا (پایین) شدن هزینه‌های اضافی می‌شوند. افزایش (کاهش) هزینه‌های اضافی سبب کاهش (افزایش) فعالیت‌های تدوین نقشه‌راه فناوری شده و به عنوان یک مکانیسم کنترلی عمل می‌کند. این حلقه مانند یک حلقه متعادل کننده رفتار می‌کند.

حلقه B4: هزینه‌های اضافی - مدیریت فناوری - تدوین نقشه‌راه فناوری - آزمون

زمانی که تلاش برای تدوین نقشه‌راه فناوری افزایش (کاهش) می‌یابد، منجر به افزایش (کاهش) تلاش برای آزمون می‌شود که به دنبال آن افزایش (کاهش) در فعالیت‌های مدیریت فناوری برای مدیریت کردن آزمون می‌باشد. افزایش (کاهش) در مدیریت فناوری، افزایش (کاهش) در نفر - ساعت را بدنبال دارد که باعث بالا (پایین) رفتن هزینه‌های واقعی و

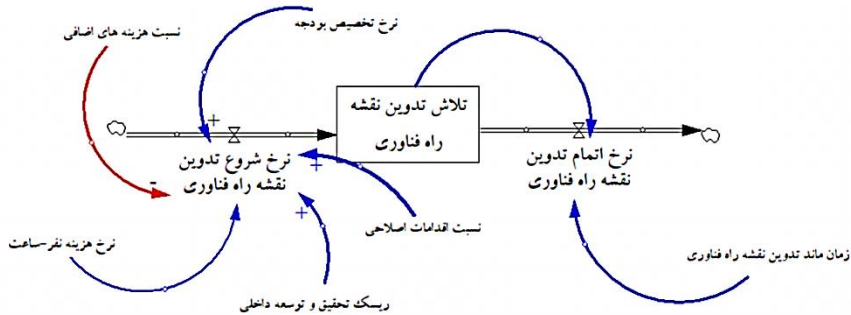
بالا(پایین) شدن هزینه‌های اضافی می‌شود. افزایش(کاهش) در هزینه‌های اضافی، به عنوان یک مکانیسم بازخوردی کنترلی عمل می‌کند. این حلقه به عنوان یک حلقه متعادل کننده رفتار می‌کند. حلقه B5: اقدامات اصلاح - نتایج آزمون‌ها - مغایرت در نتایج

افزایش(کاهش) در اقدامات اصلاحی منجر به افزایش(کاهش) در حالت واقعی سیستم می‌شود. به عبارتی دیگر منجر به نزدیکی نتایج واقعی به نتایج مطلوب می‌شود. افزایش(کاهش) در نتایج واقعی آزمون منجر به کاهش(افزایش) در مغایرت در نتایج مورد انتظار می‌شود. کاهش(افزایش) این مغایرت، نرخ توسعه را کاهش(افزایش) می‌دهد و به دنبال آن پایین(بالا) رفتن نرخ مورد نیاز برای بهبود توسعه به منظور رسیدن به اهداف مورد نظر می‌شود. این حلقه به عنوان یک حلقه متعادل کننده رفتار می‌کند.

- نمودار حالت - جریان (توصیف کمی مدل)

طی جلسات بعدی مدل‌سازی گروهی، به منظور رسم نمودارهای حالت - جریان، معادلاتی که توصیف کننده روابط بین متغیرهای مختلف بود، به دست آمد. (اطلاعات ثبت شده در شرکت مهندسی و ساختمان صنایع نفت) از شرکت کنندگان خواسته شد واحدهای اندازه‌گیری متغیرهای مختلف، معادلات بین متغیرها، پارامترهای این معادلات و مقادیر اولیه متغیرهای حالت را مشخص سازند.

- نمودار حالت - جریان تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری



نمودار ۲. ساختار حالت - جریان تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری

متغیر حالت تلاش برای تدوین نقشه‌راه فناوری (نفر-ساعت) با متغیر نرخ شروع تدوین نقشه‌راه فناوری (نفر-ساعت/هفته) افزایش و با نرخ اتمام تدوین نقشه‌راه فناوری (نفر-ساعت/هفته) تقلیل می‌یابد. متغیر حالت تلاش برای تدوین نقشه‌راه فناوری انتگرال متغیر نرخ شروع تدوین نقشه‌راه فناوری منهای نرخ پایان تدوین نقشه‌راه فناوری می‌باشد.

$$\begin{aligned}
 &+ (0) \text{ تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری} = (t) \text{ تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری} \\
 &dt [\text{نرخ اتمام تدوین نقشه‌راه فناوری} - \text{نرخ شروع تدوین نقشه‌راه فناوری}] \quad (1) \\
 &(0) \text{ تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری} = 0
 \end{aligned}$$

متغیر نرخ شروع تدوین نقشه‌راه فناوری انباشت اولیه‌ای از متغیر نرخ تخصیص بودجه است. سه چهارم از بودجه برای فعالیت‌های تحقیق و توسعه داخلی تخصیص داده می‌شود. متغیر نرخ هزینه نفر ساعت (ریال/نفر-ساعت) هزینه نیروی کار بوده و برای تبدیل واحد نرخ بودجه به واحد نرخ تدوین نقشه‌راه فناوری (نفر-ساعت) استفاده می‌شود. متغیر نسبت اقدامات اصلاحی برای تحقیق و توسعه داخلی، یک متغیر بدون بعد می‌باشد که به صورتی کسری از اقدامات

اصلاحی صورت گرفته به کل فعالیت‌های تحقیق و توسعه بیان می‌شود. متغیر نسبت هزینه‌های اضافی مقدار هزینه‌های اضافی را بر کل بودجه تخصیص داده شده بیان می‌کند. این متغیر با کاهش میزان متغیر نرخ شروع تدوین نقشه‌راه فناوری در دو برابر میزان هزینه‌های اضافی، اثرات فعالیت‌های تدوین نقشه‌راه فناوری را کاهش می‌دهد. افزایش (کاهش) در ریسک تحقیق و توسعه داخلی (مقیاس دهی ۱ تا ۱۰) ریسک خیلی کم ۱۰ ریسک خیلی زیاد) منجر به افزایش (کاهش) در نرخ شروع تدوین نقشه‌راه فناوری می‌شود. (اطلاعات ثبت شده در شرکت مهندسی و ساختمان صنایع نفت)

نسبت $(1+0.75 \times \text{نرخ هزینه نفر-ساعت} / \text{نرخ تخصیص بودجه} = \text{نرخ شروع تدوین نقشه‌راه فناوری}$
(اقدامات اصلاحی) (۲)

$$*(81 - (1 - \text{ریسک تحقیق و توسعه}) \sqrt{1 - 4 \times 5}) * (\text{نسبت هزینه‌های اضافی} * (1 - 2))$$

متغیر جریان نرخ پایان تدوین نقشه‌راه فناوری از تقسیم متغیر حالت تلاش برای تدوین نقشه‌راه فناوری بر زمان ماند تلاش برای تدوین نقشه‌راه فناوری به دست می‌آید.

زمان ماند تلاش تدوین / تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری = نرخ اتمام تدوین نقشه‌راه فناوری
(۳) نقشه‌راه فناوری

- نمودار حالت - جریان هزینه‌های واقعی

متغیر حالت هزینه‌های واقعی (ریال) با متغیر جریان نرخ تحقق هزینه‌ها (ریال/هفته) تغذیه می‌شود. متغیر حالت هزینه‌های واقعی انتگرال متغیر جریان نرخ تحقق هزینه‌ها می‌باشد.
(نمودار ۳)

$$dt [\text{نرخ تحقق هزینه‌ها}] + (0) \text{هزینه‌های واقعی} = (t) \text{هزینه‌های واقعی} \quad (۴)$$

$$(0) \text{هزینه‌های واقعی} = 0$$

نرخ تحقق هزینه‌ها حاصل انباشت نرخ نفر-ساعت و فعالیت‌های مدیریتی می‌باشد. نرخ نفر-هزینه (ریال/نفر-ساعت) هزینه نیروی کار است و به عنوان مبدل واحد فعالیت‌های مختلف (نفر-ساعت/هفته) به واحدهای نرخ تحقق هزینه‌ها (ریال/هفته) می‌باشد. نرخ آموزش (ریال/هفته) به هزینه‌های تحقق در هفته اضافه می‌شود. معادلات کلی به قرار زیر می‌باشد:

$$\text{نرخ پایان مدیریت فناوری} + \text{نرخ پایان فرایند تدوین نقشه راه} = \text{نرخ تحقق هزینه‌ها} \quad (5)$$

$$\text{نرخ آموزش} + \text{نرخ هزینه نفر-ساعت} * (\text{نرخ پایان آزمون نمونه} + \text{فناوری})$$

- نمودار نسبت هزینه‌های اضافی

متغیر حالت بودجه تجمعی (ریال) با متغیر جریان نرخ ورودی بودجه تجمعی (ریال/هفته) تغذیه می‌شود. متغیر حالت بودجه تجمعی انتگرال نرخ ورودی بودجه تجمعی می‌باشد. این متغیر کل بودجه دریافت شده را در هر لحظه از زمان نگه می‌دارد. (نمودار ۴-۳)

$$dt[\text{نرخ ورودی بودجه تجمعی}] + (0) \text{بودجه تجمعی} = (t) \text{بودجه تجمعی} \quad (6)$$

$$(0) \text{بودجه تجمعی} = 0$$

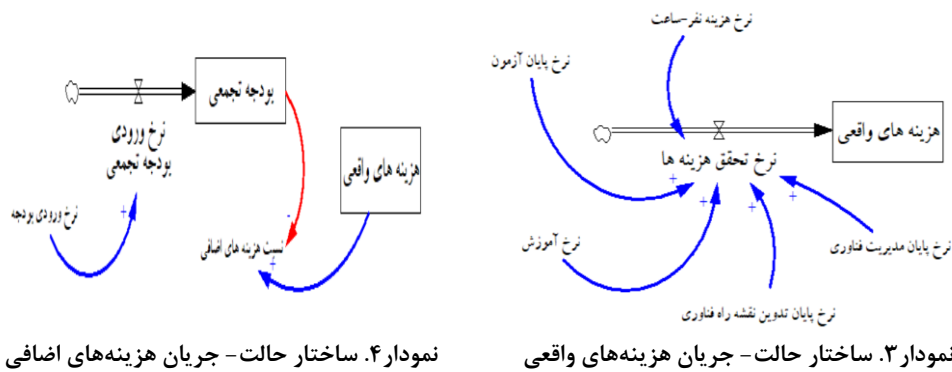
نرخ ورودی بودجه تجمعی برابر نرخ ورودی بودجه می‌باشد.

$$\text{نرخ} = \text{نرخ بودجه تجمعی} \quad (7)$$

نسبت هزینه‌های اضافی مقدار اضافی هزینه را بر کل بودجه اختصاص داده شده نشان می‌دهد، در واقع به عنوان کسری از کل بودجه اختصاص داده شده می‌باشد. این مقدار زمانی که هزینه‌های واقعی کمتر از بودجه تجمعی در یک لحظه از زمان باشد برابر صفر می‌باشد. زمانی که هزینه‌های واقعی بیشتر از بودجه تجمعی باشد، هزینه‌های اضافی می‌باشد.

$$0 \text{بودجه تجمعی} / (\text{هزینه‌های واقعی} - \text{بودجه تجمعی}) = \text{MAX}[(t) \text{نسبت هزینه‌های اضافی}] \quad (8)$$

مقدار ماکزیمم، نشان دهنده بیشترین حد تابع است.



۵-۴. گام چهارم: تست مدل (شبیه‌سازی)

- رفتارهای مدل

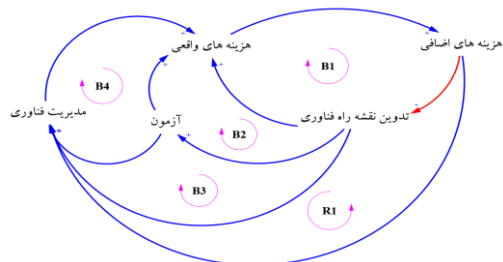
رفتار یک سیستم از ساختار آن ناشی می‌شود. این ساختار شامل حلقه‌های بازخوردی، متغیرهای حالت و جریان و غیرخطی بودن‌های ایجاد شده به وسیله تعاملات ساختار فیزیکی و سازمانی سیستم و فرایندهای تصمیم‌گیری عوامل فعال در آن است. محدوده‌های زمانی که شبیه‌سازی در طی این محدوده زمانی رخ داد و همچنین مقادیر پارامترهای مدل در پیوست ۲ ارائه شده است. براساس مقادیر پارامترها، مدل در ونسیم شبیه‌سازی شد. شبیه‌سازی دو حالت اصلی از رفتار پویا را نشان می‌دهد. یکی از رفتارهای پویا که در این تحقیق شرح داده می‌شود، مربوط به **نوسان میرا** است که برای متغیرهای تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری و نرخ تحقق یافتن هزینه‌های واقعی مشاهده شده است. ساختار بازخوردی که این رفتار پویا را ایجاد می‌کند، در نمودار ۳-۵ نشان داده شده است.

با توجه به نمودار ۳-۵ زمانی که تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری بالا (پایین) می‌رود، نفر-ساعت مورد نیاز برای اجرای تلاش واقعی بالا (پایین) شده و همچنین تلاش نفر-ساعت برای فعالیت‌های مدیریت بالا (پایین) می‌رود، که باعث بالا (پایین) راندن هزینه‌های واقعی در فاز توسعه فناوری می‌شود. زمانی که هزینه‌ها افزایش (کاهش) یابد، هزینه‌های اضافی

افزایش (کاهش) می یابد. افزایش (کاهش) در هزینه های اضافی موجب اقدامات اصلاحی برای بازگرداندن تعادل بودجه می شود که باعث کاهش (افزایش) فعالیت تدوین نقشه راه فناوری (به عنوان مکانسیم بازخوردی کنترلی) می شود. اقدامات اصلاحی برای بازگرداندن تعادل بودجه همچنان ادامه دارد حتی پس از به دست آوردن تعادل به علت تأخیر زمانی در شناسایی اثرات اقدامات بر روی سیستم انجام می شود. بنابراین هدف از حد خارج می شود. اقدامات اصلاحی که مجدداً انجام می شود منجر به پایین آوردن انحراف و در نتیجه نوسان می شود. در ادامه به توضیح رفتارهای نوسانی میرا پرداخته می شود.



نمودار ۶. ساختار بازخوردی رفتار هدف جو مدل



نمودار ۵. ساختار بازخوردی رفتار نوسان میرا مدل

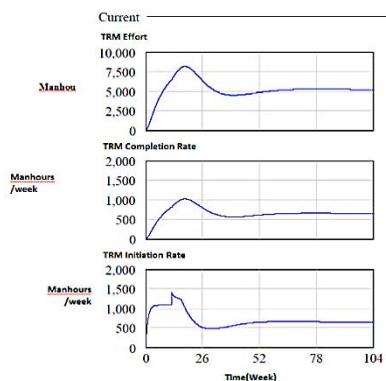
- تلاش تدوین نقشه راه فناوری

مقدار تلاشی که برای تدوین نقشه راه فناوری باید انجام شود، در طول زمان افزایش می یابد. اگر تلاش های تدوین نقشه راه فناوری مورد نیاز به خوبی انجام شوند، هزینه های مرتبط با فعالیت های تحقیق و توسعه تجمع می یابند. هزینه ها، منابع مالی مورد نیاز را افزایش داده و به دنبال آن هزینه های اضافی با کاهش فعالیت های تدوین نقشه راه فناوری به کاهش هزینه ها کمک کرده تا محدودیت مالی باقی بماند. این کاهش در حدود هفته ۱۶ و محدود به هفته ۳۲ است. ارزش تعادلی نرخ که در آن تحقیق و توسعه انجام می شود ۶۵۲ نفر-ساعت/هفته در شبیه سازی مشخص شد. نمودار ۷-۳ رفتار نوسانی میرا مشاهده شده در هنگام شبیه سازی را نشان می دهد. در هفته ۱۲ جهشی عمودی در متغیر نرخ شروع تدوین نقشه راه فناوری دیده می شود؛ که دلیل آن

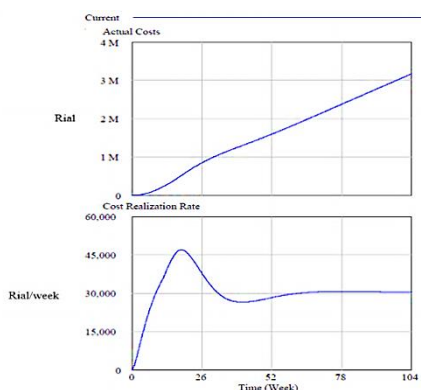
وقوع اولین فعالیت مربوط به اصلاح فناوری در طی فرایند تحقیق و توسعه و انجام آزمون تا آن زمان می‌باشد.

– هزینه‌های واقعی

نرخ هزینه‌ها در تدوین نقشه‌راه فناوری، آزمون نمونه و تلاش مدیریت، در طول زمان افزایش می‌یابد. با جهش هزینه‌ها بر اثر ورود بودجه، هزینه‌های اضافی با کم کردن تحقیق و توسعه و تلاش آزمون، باعث کاهش هزینه‌ها و باقی ماندن در محدودیت بودجه می‌شود. این امر منجر به کاهش نرخ محقق شدن هزینه‌ها می‌شود. این کاهش در حدود هفته ۲۰ دیده می‌شود و تا هفته ۴۰ ادامه می‌یابد. ارزش تعادلی نرخ‌ها که در آن هزینه‌ها متحمل می‌شود ۳۰.۱۰۰ ریال/هفته در شبیه‌سازی مشخص شد. نمودار ۸-۳ رفتار نوسانی میرا مشاهده شده در هنگام شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.



نمودار ۷. رفتار نوسانی میرا متغیر
"تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری"



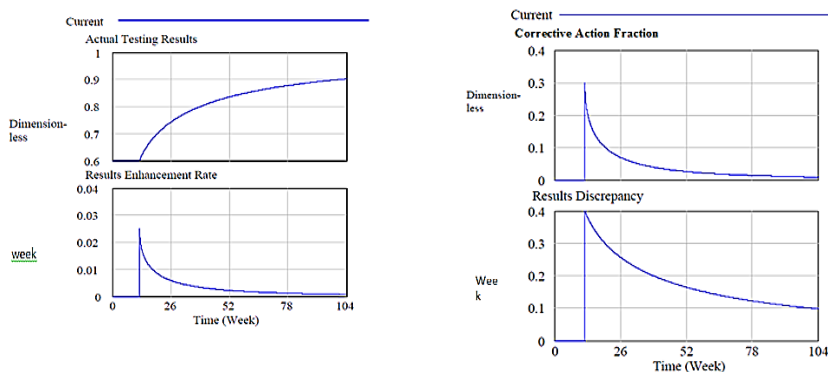
نمودار ۸. رفتار نوسانی میرا متغیر
"هزینه‌های واقعی"

نوع دیگری از رفتار سیستم پویا که در مدل مشاهده شد، رفتار هدف جو بود که در خصوص متغیر نتایج واقعی آزمون مشاهده شد. ساختار بازخوردی که این رفتار پویا را ایجاد می‌کند در نمودار ۶-۳ نشان داده شده است. حلقه‌های بازخوردی مثبت سبب ایجاد رشد

می‌شوند، انحرافات را بزرگ می‌کنند و تغییر را تقویت می‌کنند. حلقه‌های منفی در جستجوی توازن، تعادل و سکون اند. حلقه‌های بازخوردی منفی برای رساندن وضعیت سیستم به هدف یا وضعیت مطلوب فعالیت می‌کنند. این حلقه‌ها هر گونه اختلالی را که وضعیت سیستم را از هدفش دور می‌کند خنثی می‌کنند. وضعیت سیستم با هدف مقایسه می‌شود. چنانچه اختلافی میان وضعیت مطلوب و واقعی وجود داشته باشد، اقدام اصلاحی صورت می‌گیرد تا وضعیت سیستم را به خط هدف برگرداند.

– اقدامات اصلاحی، مغایرت در نتایج و نتایج واقعی آزمون

برای فرمول بندی مدل فرض شده است که فعالیت تدوین نقشه راه فناوری، شصت درصد از نتایج مطلوب را به دست می‌آورد، زمانی که برای اولین بار قبل از هر فعالیت اقدام اصلاحی انجام شود. نتایج آزمون‌های اولیه یک اختلاف ۴۰ درصدی را به وجود می‌آورد که براساس آن یک تلاش اصلاحی برابر با ۳۰ درصد فعالیت تدوین نقشه راه فناوری آغاز می‌شود. یک تأخیر مشاهده شده مرتبط با فعالیت اصلاحی وجود دارد. این به فرمول بندی مدل مربوط می‌شود که در آن فرض شد که اولین فعالیت اصلاحی در هفته ۱۲، هنگامی که برخی از فعالیت‌های تدوین نقشه راه فناوری و آزمون نمونه صورت گرفته است. هنگامی که فعالیت اصلاحی آغاز شده است آزمایش بر روی آن انجام می‌شود، نتایج آزمون واقعی افزایش می‌یابد. بنابراین اختلاف نتایج آزمون کاهش می‌یابد، بنابراین کاهش میزان که در آن فعالیت اصلاحی بیشتر و افزایش نتایج آزمون اتفاق می‌افتد. ارقام بالا در شکل ۹-۳ و شکل ۱۰-۳ نشان می‌دهد که هدف دنبال کردن رفتار مشاهده شده در اجرای شبیه سازی است.



نمودار ۹. نسبت اقدامات اصلاحی و مغایرت در نتایج نمودار ۱۰. نرخ بهبود نتایج و نتایج واقعی آزمون

- آزمون‌های اعتبار مدل

برای کسب اطمینان از اعتبار نتایج بررسی‌ها و ارزیابی‌ها، اعتبارسنجی مدل، شرطی لازم و ضروری است. پس از ایجاد نمودار حالت - جریان و شبیه‌سازی سیستم می‌بایست با استفاده از یک یا چند روش، اعتبار مدل را مورد آزمون قرار داد. روش اعتبارسنجی در ادامه ذکر می‌شود:

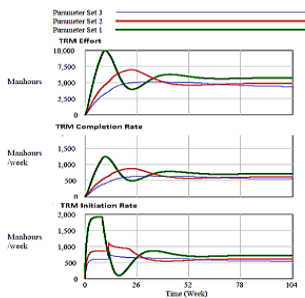
- تجزیه و تحلیل حساسیت^۱

در این روش به بررسی این سوال می‌پردازیم که، آیا با تغییر در پارامترها، مرزها و بازه‌های زمانی، تغییرات قابل توجهی در مقادیر عددی، رفتار و سیاست‌های حاصله مشاهده می‌شود؟

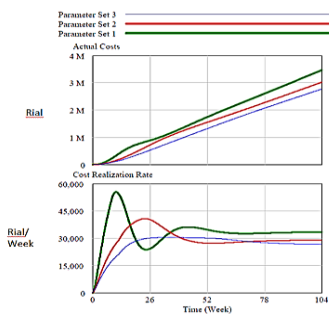
در این تست با استفاده از مقادیر حدی بعضی از متغیرها به تعیین اینکه آیا معادلات و مدل به صورت منطقی و مطابق با قوانین فیزیکی رفتار می‌کنند پرداخته می‌شود. به عنوان مثال در این تست مدل با سه مجموعه از پارامترهای کلیدی شبیه‌سازی شد. این مجموعه‌ها شامل: ۱. پیچیدگی فناوری بسیار بالا، بلوغ فناوری پایین، فاقد آموزش؛ ۲. پیچیدگی فناوری متوسط،

1. Sensitivity Analysis

بلوغ فناوری متوسط، آموزش متوسط؛ ۳. پیچیدگی فناوری خیلی پایین، بلوغ فناوری بالا، آموزش بالا. این مجموعه‌ها به صورت دو سناریوی قوی و یک سناریوی متوسط انتخاب شدند که با بررسی شرایط متفاوت از لحاظ میزان بلوغ، پیچیدگی فناوری و مقدار آموزش مورد آزمون قرار گرفتند. حاصل نتایج در نمودار ۱۱-۳ و نمودار ۱۲-۳ مشاهده می‌شود. پارامترهای مجموعه ۱: پیچیدگی بسیار بالا (پیچیدگی فناوری جدید=۵)، فناوری نابالغ (فناوری بالغ=۱)، فاقد آموزش (درصد آموزش=۰٪)؛ پارامترهای مجموعه ۲: پیچیدگی متوسط (پیچیدگی فناوری جدید=۳)، بلوغ فناوری متوسط (فناوری بالغ=۳)، آموزش متوسط (درصد آموزش=۲/۵٪)؛ پارامترهای مجموعه ۳: پیچیدگی بسیار پایین (پیچیدگی فناوری جدید=۱)، بلوغ فناوری بالا (فناوری بالغ=۵)، آموزش بالا (درصد آموزش=۵٪).



نمودار ۱۲. نتایج تست تجزیه و تحلیل حساسیت مدل



نمودار ۱۱. نتایج تست تجزیه و تحلیل حساسیت مدل

نتایج شبیه‌سازی با خروجی‌های مورد انتظار تطابق داشت.

پارامترهای مجموعه ۱، نشان دهنده **بدترین سناریو** می‌باشند، جایی که فناوری نابالغ، پیچیدگی آن زیاد و آموزشی در این خصوص صورت نمی‌گیرد. این دسته از پارامترها به بالاترین هزینه‌های تجمعی و بالاترین مقدار برای نرخ‌های فرایند تدوین نقشه‌راه فناوری می‌شود. پارامترهای مجموعه ۲، نشان دهنده **سناریو متوسط** می‌باشند، جایی که بلوغ فناوری متوسط، پیچیدگی آن متوسط و سطح متوسط آموزش به کارگران، تکنسین‌ها و متخصصان

مربوطه در فرایند تحقیق و توسعه را دربر می‌گیرد. این دسته از پارامترها به هزینه‌های تجمعی پایین تر و مقادیر پایین تر برای نرخ‌های فرایند تدوین نقشه‌راه فناوری می‌شود.

پارامترهای مجموعه ۳، نشان دهنده **بهترین سناریو** می‌باشد. فناوری بسیار بالغ، پیچیدگی بالا و سطح بالایی از آموزش برای کارگران، تکنسین‌ها و متخصصان که در فرایند تحقیق و توسعه حضور داشتند، انجام گرفت. این مجموعه پارامترها کم‌ترین هزینه‌های تجمعی و کمترین مقدار برای نرخ‌های فرایند تدوین نقشه‌راه فناوری می‌شود.

۵-۵. گام پنجم: تدوین و ارزیابی سیاست‌ها

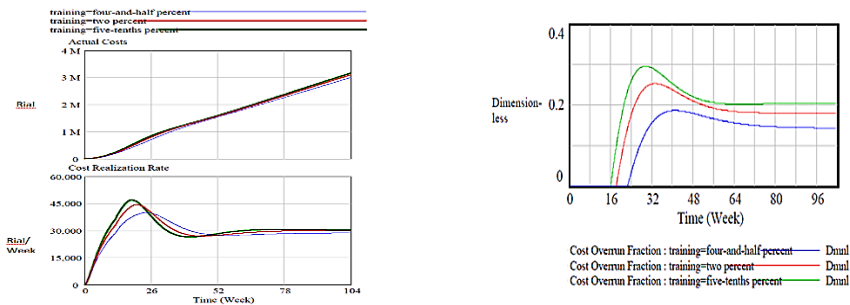
- سیاست آموزش

فرضیه اول تحقیق بیان می‌کند که کمبود آموزش مناسب باعث به وجود آمدن هزینه‌های اضافی شده و افزایش هزینه‌ها را در طی فرایند تدوین نقشه‌راه فناوری به دنبال دارد. شبیه‌سازی در سه سطح از درصدهای آموزش انجام شد. اولین شبیه‌سازی با درصد ۵/۰، دومین با درصد ۲ و سومین با درصد ۴/۵ از بودجه موجود انجام گرفت. نتایج در نمودار ۱۳-۳ قابل مشاهده می‌باشند. مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار آموزش (درصدی از بودجه) هزینه‌های واقعی، نرخ تحقق یافتن هزینه‌ها و نسبت هزینه‌های اضافی کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که سیاست "افزایش آموزش" منجر به کاهش هزینه‌های کل و هزینه‌های اضافی می‌شود مورد تأیید است.

همان‌طور که مشاهده شد، آموزش تأثیر قابل توجهی در کاهش هزینه‌ها دارد. این امر می‌تواند به عنوان یک تغییر سیاست برای اختصاص منابع و توجه بیشتر به آموزش در پروژه‌های بزرگ تدوین نقشه‌راه فناوری باشد. اهمیت این موضوع در خصوص فناوری‌های جدید بسیار حایز اهمیت است.

بی‌شک نیروی انسانی ماهر مهم‌ترین شاخص برای پیشرفت یک فناوری خواهد بود. نیروی ماهر تنها با آموزش‌های معمول دانشگاهی به دست نخواهد آمد و افزون بر آموزش‌های انجام شده در دانشگاه‌ها و پژوهشکده‌ها باید جهت دهی به سمت تولید نیز سرلوحه برنامه‌های

آموزشی قرار گرفته و به موازات آن به مسایلی چون بررسی بازدرنده‌های تولید، بازاریابی و برنامه ریزی برای آن نیز توجه داشت. آموزش در راستای خلق فناوری که معیار پیشرفت و توسعه کشورها در سده آینده است، با یک حرکت موازی در زمینه آموزش و تحقیق و تولید در درون سازمان و ایجاد شبکه همکاری برون سزمانی با جهت گیری تولیدی امکان پذیر است. ایجاد فضای اقتصادی و رفاهی مناسب برای پژوهشگران و سرمایه گذاران به طوری که استعدادهای درخشان علمی و اقتصادی به سمت این فناوری ترغیب شوند (نعمی، ۱۳۹۴).



نمودار ۱۳. نتایج شبیه‌سازی سیاست ۱ در خصوص آموزش

- سیاست پیچیدگی فناوری

فرضیه دوم تحقیق بیان می‌کند که، افزایش در میزان پیچیدگی فناوری جدید سبب افزایش در هزینه‌های کل می‌شود. بدین منظور شبیه‌سازی در سه سطح از میزان پیچیدگی فناوری صورت گرفت (نتایج در نمودار ۱۴-۳ نمایش داده شده است).

سطح ۱: پیچیدگی خیلی کم=۱، سطح ۲: پیچیدگی متوسط=۳، سطح ۳: پیچیدگی خیلی زیاد=۵؛ مشاهده می‌شود که با افزایش میزان پیچیدگی فناوری، هزینه‌های واقعی و نرخ تحقق هزینه‌ها افزایش می‌یابد. شبیه‌سازی فرضیه بالا را تأیید می‌کند. نتایج افزایش هزینه‌های کل با افزایش پیچیدگی فناوری را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که وقتی که پیچیدگی فناوری از ۱ تا ۵ افزایش می‌یابد هزینه ۱۰٪ افزایش می‌یابد.

تداوم اجرای فناوری‌های جدید باید در راستای صرف هزینه‌های بیشتر برای تحقیقات دانشگاهی باشد تا بتواند قبل از اقدام به اجرای آن در فرایند ازدیاد برداشت نفت، بهتر و بهتر از فناوری استفاده کند. از آزمون فرضیه در خصوص تأثیر پیچیدگی فناوری بر هزینه‌ها و برآورد هزینه‌ها دیده می‌شود که یک فناوری ساده هزینه‌های کمتری را نسبت به یک فناوری پیچیده دارد. لذا می‌توان اینگونه پیشنهاد داد که دادن مشوق بیشتر به منظور انجام تحقیقات دانشگاهی بر روی فناوری جدید می‌تواند درک ما را نسبت به آن فناوری بالا برده و در نتیجه پیچیدگی فناوری را کاهش دهد که این خود می‌تواند سبب کاهش در هزینه‌ها در فرایند ازدیاد برداشت نفت شود.

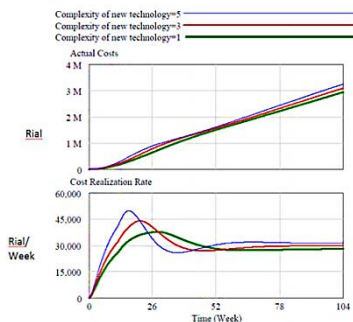
- سیاست بلوغ فناوری

فرضیه سوم تحقیق بیان می‌کند که افزایش بلوغ فناوری منجر به کاهش هزینه‌های کل می‌شود. بدین منظور شبیه‌سازی در سه سطح صورت پذیرفت (نتایج در نمودار ۱۵-۳ نمایش داده شده است).

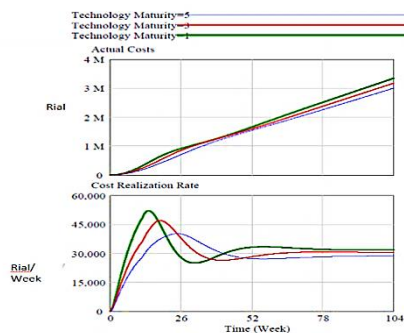
سطح اول: فناوری نابالغ=۱، سطح دوم: فناوری با بلوغ متوسط=۳، سطح سوم: فناوری خیلی بالغ=۵؛ مشاهده می‌شود که با افزایش میزان بلوغ فناوری، هزینه‌های واقعی و نرخ تحقق یافتن هزینه‌ها کاهش می‌یابد. نتایج تأیید فرضیه ۳ را بدنال دارد. کاهش ۱۲٪ در هزینه‌ها زمانی که بلوغ فناوری از ۱ (بلوغ حداقل) تا ۵ (بلوغ بالا) افزایش می‌یابد، مشاهده می‌شود.

یک فناوری نابالغ سبب افزایش هزینه‌ها می‌شود. مسأله مهم دیگر این است که برخی فناوری‌ها بسیار سریع منسوخ می‌شوند، بنابراین پیشنهاد می‌شود که اگر پیاده سازی فناوری به زمان دقیق انجام آن بسیار حساس نباشد، عاقلانه است که روند را به تعویق اندازیم. این به عنوان یک مزیت عمل می‌کند چرا که افزایش بلوغ فناوری باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود. از سوی دیگر نقی زاده و همکاران (۱۳۹۵)، در تحقیقی تحت عنوان، ارزیابی ریسک‌ها توسعه فناوری تجهیزات صنعت نفت و گاز، ریسک چرخه عمر فناوری و تغییر اساسی فناوری را به عنوان یکی از ریسک‌های پراهمیت در این صنعت معرفی می‌کند. لذا پیشنهاد می‌شود نیازمندی‌هایی چون

ارزیابی سطح فناوری، رصد فناوری، رصد بازار، بازاریابی بین‌المللی، انتقال فناوری، ضمانت فناوری، تسهیلات، طرح تجاری، مستندسازی و... در سازمان دیده شود. این نیازمندی‌ها در چارچوب خدمات توسعه فناوری می‌تواند تعریف شوند.



نمودار ۱۴. نتایج شبیه‌سازی سیاست ۲
در خصوص پیچیدگی فناوری



نمودار ۱۵. نتایج شبیه‌سازی سیاست ۳
در خصوص بلوغ فناوری

۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مدل پویایی سیستم تدوین نقشه‌راه فناوری‌های ازدیاد برداشت نفت به وسیله پارامترهایی که توسط خبرگان در خصوص فناوری مشخص شده بود، شبیه‌سازی شد. برای فناوری‌های مختلف باید پارامترهای مختلفی تنظیم شود. جزئیات نتایج به‌دست آمده از اجرای شبیه‌سازی در آخرین قسمت توضیح داده شده است. شبیه‌سازی در دوره زمانی تقریباً دوساله (۱۰۴ هفته) اجرا شد که نشان‌دهنده افق زمانی برای توسعه فناوری بود. شبیه‌سازی دو نوع حالت اصلی از رفتار دینامیکی را نشان داد. یکی رفتار دینامیکی نوسانی برای متغیرهای تلاش تدوین نقشه‌راه فناوری، تلاش آزمون، تلاش مدیریت فناوری و نرخ تحقق هزینه‌های واقعی و رفتار دینامیکی هدف جو، برای متغیر نتایج واقعی آزمون. ساختار بازخوردی علت این نوع رفتار دینامیکی می‌باشد. فرضیه‌های پویایی سیستم در بخش ۵-۳ مورد بحث قرار گرفتند و در نرم افزار ونسیم نسخه ۶/۴ به وسیله پارامترهای مختلف شبیه‌سازی شده و در طی شبیه‌سازی تغییرات مشاهده شد.

اولین فرضیه این تحقیق این بود که، کمبود آموزش مناسب باعث تحمیل هزینه‌های اضافی در فرایند توسعه فناوری در فرایند تدوین نقشه‌راه فناوری می‌شود، نتایج آزمون فرضیه نشان داد که هزینه‌های واقعی، نرخ تحقق هزینه‌ها و نسبت هزینه‌های اضافی با افزایش در مقدار آموزش (که به صورتی درصدی از بودجه بیان می‌شود) کاهش می‌یابند. نتایج نشان می‌دهد که افزایش در آموزش، هزینه‌های کل و هزینه‌های اضافی را کاهش می‌دهد. دومین فرضیه بیان می‌کند که افزایش در پیچیدگی فناوری جدید سبب افزایش در هزینه‌های کل می‌شود. با توجه به نتایج شبیه‌سازی فرضیه مشاهده شد زمانی که هزینه‌های واقعی و نرخ تحقق یافتن هزینه‌های افزایش یافته است زمانی است که پیچیدگی فناوری افزایش داشته است. افزایش پیچیدگی فناوری، افزایش در هزینه‌های کل را در مدل نمایش داد. سومین فرضیه تحقیق بیان می‌دارد که افزایش در میزان بلوغ فناوری سبب کاهش در هزینه‌های کل می‌شود. با توجه به نتایج شبیه‌سازی فرضیه مشاهده شد که هزینه‌های واقعی و نرخ تحقق یافتن هزینه‌ها با افزایش در بلوغ فناوری کاهش می‌یابند که این نشان می‌دهد با افزایش بلوغ فناوری، هزینه‌های کل کاهش می‌یابند. فرضیه‌های پویای سیستم مورد آزمون قرار گرفته و اثر تغییرات مختلف در پارامترهای مدل بر روی زیر سیستم‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی با استفاده از سه مرحله تحت عنوان: (۱) پیچیدگی فناوری بسیار بالا- بلوغ فناوری خیلی کم- بدون آموزش؛ (۲) پیچیدگی فناوری متوسط- بلوغ فناوری متوسط- آموزش متوسط و (۳) پیچیدگی فناوری خیلی کم- بلوغ فناوری بالا- آموزش بالا.

یکی از مشکلات اصلی در مدل‌سازی سیستم‌های پویا وجود سطوح انتزاع در مدل می‌باشد. فرضیه‌های ساخته شده در مدل سیستم‌های پویا مشخص می‌کنند که چه متغیرهایی در مدل قرار گیرند، چه متغیرهایی در نظر گرفته نشوند و علاوه بر آن سطح جزییاتی که مفاهیم در مدل مورد بررسی قرار می‌گیرند را مشخص می‌کنند. در شکل فعلی این تحقیق، فرمول‌بندی تدوین نقشه‌راه فناوری در سطح بسیار بالای فعالیت، مدیریت فناوری، آزمون، هزینه‌ها و ... صورت گرفته است. لذا یکی از مسائل اصلی برای تحقیق بیشتر این گونه پیشنهاد می‌شود که سطح دقیق‌تری از انتزاع برای متغیرهای تدوین نقشه‌راه فناوری در نظر گرفته شود.

مسئله دیگر برای تحقیق در آینده، استفاده از جدول زمان‌بندی هزینه‌های اضافی است. ساختار مدل فعلی این مسئله را نادیده می‌گیرد. شبیه هزینه‌های اضافی، جدول زمان‌بندی هزینه‌های اضافی می‌تواند بخشی از یک مکانیزم بازخورد قابل توجه در مدل باشد که بر سایر متغیرهای کلیدی تأثیر می‌گذارند. این یک منطقه تحقیق قطعی است که باید مورد بررسی قرار گیرد.

ساختار فعلی فرمول بندی مدل، جریان سرمایه‌گذاری را در هر هفته برای فعالیت‌هایی که در تدوین نقشه‌راه فناوری قرار دارد، در نظر می‌گیرد. در زندگی واقعی، بودجه می‌تواند در زمان‌های مختلف، می‌تواند متفاوت باشد. جالب است که مشخصات بودجه جدیدی را به مدل اضافه کنیم و مشاهده و تجزیه و تحلیل پویایی‌های بعدی رفتار سیستم براساس آن مورد بررسی قرار گیرد.

مورد دیگر در خصوص متغیرهای تلاش است که به صورت نفر-ساعت در مدل آمده است. این متغیرها در سطح کلان می‌باشند لذا تجزیه این متغیر به متغیرهای خردتر مانند جریان‌های کاری، مواد می‌تواند برای مطالعات بعدی پیشنهاد شوند.

منابع

- ابراهیمی، سید نصراله و فاطمه خوش‌چهره (۱۳۹۴)، "استفاده، انتقال و توسعه تکنولوژی در صنایع بالادستی نفت و گاز ایران"، فصلنامه حقوق پزشکی، ویژه نامه حقوق مالکیت فکری، صص ۶۵-۱۰۲.
- بهمردی کلانتری، رستم؛ توفیق، علی اصغر و محمد علی شفیعا (۱۳۹۶)، "قیمت‌گذاری فناوری بیوگاز در ایران با رویکرد پویایی سیستم"، فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال سوم، شماره ۸، صص ۹۹-۱۱۸.
- حاجی غلام سریزدی، علی و منوچهر منطقی (۱۳۹۷)، "نست و اعتبارسنجی روش مدل‌سازی گروهی با مدل مرجع"، فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، سال سیزدهم، شماره ۴۴، صص ۳۰-۴۶.

حسینی، سیدحسین؛ شکوری گنجوی، حامد و عالیہ کاظمی (۱۳۹۷)، "مدلی برای افزایش منافع ملی حاصل از سیستم عرضه نفت ایران در بازار جهانی (رویکرد سیستمی)"، پژوهش‌های مدیریت در ایران، دوره ۲۲؛ شماره ۳، صص ۱۵۸-۱۳۳.

زارعی، اکبر؛ نجیبی، سیدحسام و بیژن هنرور (۱۳۹۳)، "مقایسه اثر پارامترهای مؤثر بر فرایند SAGE در مخازن Conventional و Fracture با توجه به نتایج شبیه سازی نرم افزار CMG در یکی از مخازن نفت سنگین ایران"، مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مهندسی مخازن، هیدروکربوری و صنایع بالادستی، تهران، ۲۹ خردادماه.

ستاد توسعه فناوری و صنایع دانش بنیان دریایی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری (۱۳۹۵). نقشه راه فناوری‌های دریایی ایران (۱۳۹۵-۱۴۰۴)، چاپ اول. صص ۸-۹.

شاه آبادی، ابوالفضل و مصطفی امیری (۱۳۹۳)، "تأثیر انباشت تحقیق و توسعه داخلی و سرریز تحقیق و توسعه خارجی بر رشد بهره‌وری کل عوامل تولید بخش کشاورزی ایران"، فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال سوم، شماره ۹، صص ۹۳-۱۱۴.

فرحناکیان، محمدعلی؛ موسی خانی، مرتضی؛ طالبی، حیدرعلی؛ صمدی، مهرداد؛ جمشیدی، بهمن؛ سرپاک، مسعود؛ نریمانی، امیر و علیرضا نوروززاده (۱۳۹۵)، "سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری ربات‌های صنعت برق".

فضل اله تبار، محمد؛ شیرازی، بابک و احمد جعفری صمیمی (۱۳۹۶)، "شبیه‌سازی تولید نفت شیل با رویکرد پویایی سیستم، تحت سناریوهای مختلف"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال سیزدهم، شماره ۵۵، صص ۳۸-۱.

قاضی نوری، سیدسروش؛ امین لو، مبترا؛ خلیل زاده، نیلوفر؛ ردانی، نیلوفر و محبعلی زاده، سمانه (۱۳۹۶)، "به کارگیری تحلیل نیروی رقابتی در تدوین نقشه راه فناوری (مورد مطالعه: تدوین نقشه راه زیست فناوری کشور)"، نشریه بهبود مدیریت، سال یازدهم، شماره ۱، پیاپی ۳۵، صص ۱۱۶-۹۳.

قربانی، هادی و جمشید مقدسی (۱۳۹۵)، "ارزیابی عملکرد روش‌های ازدیاد برداشت نفت وارائه راهکار متناسب با مخازن نفتی ایران"، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی، ایران: تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما.

قهرمانی، فاطمه؛ مولایی، محمدعلی و حسین رضایی (۱۳۹۵)، "بررسی تابع تقاضای نفت کشور ایران با رویکرد سیستم دینامیک و اقتصادسنجی طی دوره ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۱"، دومین کنفرانس تحقیقات مدرن در مدیریت، اقتصاد و حسابداری، مالزی.

کاظمی، عالیه و مهناز حسین زاده (۱۳۹۵)، "طراحی مدل تخصیص نفت و گاز به بخش‌های مختلف مصرف با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از رویکرد پویایی سیستم"، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی/نثری، سال دوم، شماره ۲، صص ۱۴۱-۱۱۱.

کریمی، مجتبی (۱۳۹۲)، "نقشه‌راه فناوری حوزه بالادستی نفت و گاز در کشورهای پیشرو (مطالعه موردی: نروژ- ژاپن)"، ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۰۴، صص ۹-۱۴.

محبی، آزاده و امیر حیدری (۱۳۹۵)، "نگاشت نقشه‌راه فناوری اطلاعات: رویکردی برای همراستایی راهبردهای فناوری اطلاعات با راهبردهای کسب و کار"، فصلنامه مدیریت اطلاعات، دوره ۱، شماره ۱ و ۲، زمستان ۹۴ بهار ۹۵، صص ۳۷-۱۶.

محمدشاهی، امبد و محمد امین مکارم (۱۳۹۶)، "نقش آکريل آميد در مخازن نفتی برای ازدیاد برداشت نفت"، دومین همایش بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و HSE، همدان.

مشایخی، علی نقی؛ آذر، عادل و ابوذر زنگویی نژاد (۱۳۹۳)، "ارائه مدل دینامیکی برای کاهش متوسط زمان پرداخت خسارت شرکت‌های بیمه"، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۷۱، صص ۹۵-۱۱۷.

نایی فرد، مسعود و مهدی فیلسرایی (۱۳۹۶)، "اثر تعدیلی مخارج تحقیق و توسعه و اندازه شرکت بر رابطه بین نقدینگی و ارزش شرکت‌ها"، فصلنامه پژوهش‌های جدید در مدیریت و حسابداری، شماره نوزدهم، صص ۹۵-۱۰۹.

نعیمی، امیر؛ نجف‌لو، پریسا و سید محمد جواد سبجانی (۱۳۹۴)، "نقش آموزش/ترویج و اطلاع‌رسانی در توسعه فناوری زیستی کشاورزی از دیدگاه متخصصان"، فصلنامه پژوهش مدیریت آموزش کشاورزی، شماره ۳۳، صص ۹۷-۱۱۰.

نقی زاده، محمد؛ ابراهیمی، بتول و سعید پاک سرشت (۱۳۹۵)، "ارزیابی ریسک‌های توسعه فناوری در لایه‌های مختلف نقشه‌راه فناوری (مورد مطالعه: مته‌های حفاری)"، فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، دوره چهارم، شماره ۲، صص ۱۷۵-۱۵۱.

وزارت نیرو (۱۳۹۴)، "سند راهبردی و نقشه‌راه توسعه فناوری سیستم‌های انتقال برق با ظرفیت بالا".

Konstantin Vishnevskiy, legKarasev Dirk Meissner (2015) "Integrated Roadmaps and Corporate Foresight as Tools of Innovation Management: The Case of Russian Companies", *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 90, Part B, pp.433-443.

Hussaina M., Tapinosb E. and L. Knighta, (2017), "Scenario-driven Roadmapping for Technology Foresight", *Technological Orecasting and Social Change*, No.124, pp.160-177.

Phaal R., Kerr C., Ievbare I., Farrukh C., Routley M. and N. Athanassopoulou (2016). "On 'self-facilitating' Templates for Technology and Innovation Strategy Workshops". *Centre for Technology Management*, working paper series ISSN 2058-8887, No. 8.

Richardson G.P. and D.F. Andersen (1995). "Teamwork in Group Model Building". *System Dynamics Review*, 11(2), pp. 113-137.

Vennix J.A.M., Andersen D.F., G.P. Richardson and J. Rohrbaugh (1992). "Model Building for Group Decision Support: Issues and Alternatives in Knowledge Elicitation". *European Journal of Operational Research*, No. 59, pp 28-41.

Yonghee Cho, Seong-Pil Yoon, Karp-SooKimc (2016), "An Industrial Technology Roadmap for Supporting Public R&D Planning", *Technological Forecasting and Social Change*, No. 107, pp 1-12.

Youngjung Geum, Sora Lee, Yongtae Park (2014), "Combining Technology Roadmap and System Dynamics Simulation to Support Scenario-planning: A Case of Car-sharing Service", *Computers & Industrial Engineering*, No.71, pp 37-49.