نشریه علمی - پژوهشی
مدیریت نوآوری
سال ششم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۶
صفحه ۶۲-۲۹

مدیریت نوآوری

مدل‌سازی و سیاست‌گذاری نظام نوآوری فنی-بخشی در صنعت پتروشیمی با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها

سید محسن آزاد[۱]، سیدحسن قدسی‌پور[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۰

چکیده

سیاست‌گذاری علم و فناوری، به سیاست‌هایی اتلاق می‌گردد که رسیدن فناوری به بازار، رسیدن ایده به ثروت و بهره‌برداری از فناوری را تسهیل می‌نمایند. اجرای سیاست‌های توسعه علم و فناوری در هر کشور از طریق تقویت شرکت‌های دانش‌بنیان و مؤسسات پژوهشی، نقش مؤثری در افزایش کارآفرینی و رشد تولید ناخالص داخلی خواهد داشت. پژوهش حاضر، بر رویکردهای نظام نوآوری صنعت پتروشیمی به‌عنوان یکی از ارکان مهم سیاست‌گذاری علم و فناوری، متمرکز است. پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای مدل‌سازی نظام نوآوری فنی-بخشی در صنعت پتروشیمی استفاده شده است تا بتوان با نمودارهای علی این رویکرد پویایی‌شناسی سیستم، حرکت موتورهای پیشران پتروشیمی را براساس موتورهای فناوری‌های پتروشیمی تحلیل کرد و همچنین مدلی برای سیاست‌گذاری علم و فناوری ارائه نمود. نتایج بدست‌آمده از اعتبارسنجی مدل ارائه شده، نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول کلیه کارکردهای نظام نوآوری (بیش از ٪۸۵) می‌باشد. با توجه به نتایج، ۴ سناریو برای اعطای پاداش توسط صنعت به هریک از فناوری‌ها پیشنهاد و تحلیل شده‌اند. تحلیل سناریوها برای اعطای پاداش توسط صنعت به واحدهای فناورانه، نشان داد که صنعت باید پاداش‌های خود را به صورت موزون و براساس عملکرد هر فناوری به آنها اختصاص دهد تا در نتیجه آن سود صنعت افزایش یابد.

واژگان کلیدی: سیاست‌گذاری، نظام نوآوری فنی-بخشی، پویایی‌شناسی سیستم‌ها، موتورها و کارکردهای نوآوری، صنعت پتروشیمی

۱- دانشجو دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
۲*- استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران./ **نویسنده مسوول مکاتبات** **ghodsypo@aut.ac.ir**

۱- مقدمه

رویکرد نظام نوآوری[1]، بیش از دو دهه پیش با کارهای فریمن (Freeman, 1987)، لاندوال (Lundvall, 1992) و نلسون (Nelson, 1993) بوجود آمده است. ادکوئیست (۱۹۹۷)، نظام نوآوری را به عنوان «تمام جنبه‌های مهم اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، سازمانی و غیره که بر توسعه، انتشار و استفاده از نوآوری‌ها اثر گذارند» تعریف می‌کند (Edquist, 1997).

سیستم‌های نوآوری فناورانه[2] و بخشی[3] بر زمینه‌های فناورانه و طیف‌هایی خاص از محصولات تمرکز دارند. نظام نوآوری فناورانه، نه تنها می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر روی سازمان‌ها و عملکرد آنها داشته باشد بلکه می‌تواند عامل اصلی در درک قابلیت‌های پویای سازمان نیز باشد. سیستم نوآوری فناورانه، به این معنی است که یک محصول یا خدمت به عنوان کاربرد عملی دانش و استفاده از فرایندهای فنی در نظر گرفته می‌شود. مالربا (۲۰۰۲) تعریف کارآمدی از یک سیستم نوآوری بخشی ارائه داده است؛ سیستم نوآوری بخشی، مجموعه‌ای از تولیدات جدید و محصولات ایجاد شده به منظور کاربردهای خاص است. همچنین این رویکرد، مجموعه‌ای از فعل و انفعالات بازار و تعاملات بدون بازار را برای ایجاد، تولید و فروش آن دسته از محصولات در بر می‌گیرد (Malerba, 2002).

اگر رویکرد فنی به عنوان یک دیدگاه از پایین به بالا در نظر گرفته شود، رویکرد بخشی دارای دیدگاه از بالا به پایین است. اگر این دو رویکرد به صورت یکپارچه بررسی گردند، می‌توان یک روش تعاملی به نام نظام نوآوری فنی- بخشی[4] معرفی کرد. دلیل اصلی استفاده از این ایده، استفاده از تسهیلات مواجهه با موانع پیشرفت، سازوکارهای تضعیف کننده و سیاست‌های بهتر به منظور بهبود شرایط عملکرد می‌باشد.

به منظور تحلیل اینگونه رویکردها و ترکیب آنها و با توجه به عوامل بسیار و ارتباط تنگاتنگ بین آنها، جای خالی رویکردی سیستمی و جامع‌نگر که نه تنها تمامی ابعاد و جوانب مسأله را دربرگیرد بلکه بتواند پویایی حاکم بر سیستم را نیز به خوبی مدل نماید به شدت احساس می‌گردد. لذا در این مقاله از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم[5] به منظور تحلیل پویا، غیرخطی، تأخیری و نظام‌مند از ارتباطات بین عوامل موجود در حوزه نوآوری استفاده شده است. پویایی‌شناسی سیستم، اولین بار توسط فارستر (۱۹۶۱)، به عنوان یک روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی برای تحلیل تصمیمات بلندمدت معرفی شده است (Forrester, 1961). از دیگر مزایای این ابزار کمک به تصمیم‌گیری و شبیه‌سازی رفتار در آینده است. رویکرد پویایی‌شناسی سیستم این امکان را به تصمیم‌گیران می‌دهد که نتایج سیاست‌های پیشنهادی در مورد آینده را پیش از اتخاذ آنها مشاهده نمایند و اثربخش‌ترین سیاست را برای پیاده‌سازی به منظور بهبود شرایط به کار گیرند.

از طرفی تحولات بخش صنعت پتروشیمی می‌تواند تأثیرات به‌سزایی بر اقتصاد کشور داشته باشد. اما، تحریم‌ها

امکان دسترسی به بازارهای گوناگون را از شرکت ملی پتروشیمی گرفته است؛ و همچنین تصمیم‌های سیاسی اغلب بر منفعت‌های تجاری شرکت ملی پتروشیمی اثر منفی دارد. همانطورکه مشخص است تصمیمات و سیاست‌ها نتوانسته‌اند بهبود جدی در اوضاع صنعت پتروشیمی ایران ایجاد نماید. لذا استفاده از رویکردی جامع و یکپارچه که تمامی جوانب را در نظر بگیرد و نتیجه سیاست‌های بهبود را قبل از اعمال آن نشان دهد، برای اتخاذ تصمیمات مناسب توسط مدیران در جهت حل این معضل ملی ضروری می‌باشد.

از این رو در این پژوهش از ابزار پویایی‌های سیستمی به منظور مدل‌سازی رویکرد ترکیبی سیستم نوآوری فنی- بخشی استفاده گردیده است تا صنعت پتروشیمی ایران، با نگاه سیستمی و یکپارچه ارزیابی و تحلیل گردد. از دیگر نوآوری‌های این پژوهش که آن را از سایر کارها متمایز می‌کند، پویا بودن نحوه انتقال از یک موتور نوآوری به دیگر موتور نوآوری (سوئیچ[۶] بین موتورهای پیشران نوآوری) و همچنین پویا بودن سیاست‌گذاری بخش صنعت بر فناوری‌ها می‌باشد. بنابراین، در این مقاله با توجه به روابط غیرخطی و پیچیدگی حلقه‌های علی بین موتورهای فناوری و همچنین تحلیل رفتار موتور صنعت بر اساس موتورهای فناوری صنعت پتروشیمی، از رویکرد پویایی‌های سیستمی استفاده می‌گردد.

با توجه به اهمیت صنعت پتروشیمی و شرکت‌های تابعه در پیشرفت کشور، سناریوهایی برای صنعت مورد نظر پیشنهاد گردیده‌اند که با پیاده‌سازی آنها در مدل پیشنهادی نتایج مطلوبی حاصل خواهد شد.

در ادامه این پژوهش در بخش دوم به مرور ادبیات موضوع پرداخته شده است. در بخش سوم به تعریف مسئله و مدل‌سازی و در بخش چهارم به بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل، آنالیز حساسیت و اعتبارسنجی مدل خواهیم پرداخت. تحلیل سیاست‌های پیشنهادی برای بهبود وضعیت صنعت و به تبع آن کشور و نتایج حاصل از آنها در بخش پنجم مورد بحث قرار گرفته است. در نهایت، بخش ششم به نتیجه‌گیری و جمع‌بندی اختصاص یافته است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲- مبانی نظری و پیشینه ادبیات

۲-۱- مبانی نظری

نظام نوآوری، چارچوبی به منظور فهم و مدیریت پیچیدگی فرایندهای نوآوری و همچنین فهم شرایط و اقدامات ضروری برای نوآوری موفق تعریف می‌شود (Edquist, 1997). در بیست سال اخیر، رویکردهای نظام نوآوری بسیاری ظهور کرده‌اند. با وجود اینکه این رویکردها شباهت‌هایی را دارا هستند، ولی هریک بر جنبه‌های مختلف نظام نوآوری تاکید دارند.

سیر تاریخی سیستم‌های نوآوری از اواخر دهه ۱۹۸۰ تا اوایل قرن بیست و یکم، منجر به توسعه رویکردهای

جدول (۱): رویکردهای نظام نوآوری

نظام‌های نوآوری	نظریه پردازان
نظام نوآوری ملی[۷]	(Freeman, 1987) –(Lundvall, 1992) -(Nelson, 1993) –(Edquist, 1997)
نظام نوآوری بخشی	(Breschi & Malerba, 1997)
نظام نوآوری منطقه‌ای[۸]	(Cooke, 1992)
نظام نوآوری فناورانه	(Carlsson & Stankiewicz, 1991)

متفاوتی از مفهوم سیستم نوآوری گردیده است (جدول (۱)).

کارکردها، فعالیت‌هایی به منظور توسعه، انتشار و استفاده از نوآوری می‌باشند که دانشمندان بسیاری بررسی‌های مفیدی را در این زمینه ارائه داده و فهرست‌های مختلفی از کارکردهای سیستم ساخته شده‌اند (Hekkert et al., 2007, Negro et al., 2007, Bergek et al., 2008b, Suurs & Hekkert, 2009). اولین فهرست از کارکردهای سیستم نوآوری، در سال 1998 توسط جانسون و برگک تنظیم شده است. یکی از آخرین نسخه‌های کاکردها را می‌توان در مطالعه هکرت (Hekkert et al., 2007)، برگک (Bergek et al., 2008a) و سورس (Suurs, 2009) یافت. در جدول (۲)، خلاصه‌ای از ویژگی و تعاریف کارکردها با رویکرد هکرت درج شده است.

تعاملات میان این کارکردها، می‌تواند منجر به ایجاد حلقه‌های بسته گردد و هدفی را دنبال نماید. دو نوع حلقه بازخوردِ مثبت (تقویتی) و منفی (تعادلی) وجود دارد. حلقه‌های مثبت، رفتار سیستم را تقویت کرده است، در حالی که حلقه منفی با تغییرات مقابله و مخالفت می‌کنند (Kreng & Wang, 2013). بنابراین، یک

جدول (۲): انواع کارکردها

کارکرد	تعاریف
فعالیت‌های کارآفرینی (F1)	کشف و بهره‌برداری از فرصت‌های کسب‌وکار بر پایه فناوری‌های جدید (Wieczorek et al., 2015).
توسعه دانش (F2)	شامل یادگیری فعالیت‌ها، اکثرا در مورد فناوری نوظهور، و همچنین در مورد بازارها، شبکه‌ها و کاربران (Suurs, 2009).
انتشار دانش (F3)	تبادل آسان دانش بین تمام بازیگران درگیر در شبکه (Suurs, 2009).
جهت‌دهی به سیستم (F4)	گزینش از بین دانش‌های خلق شده متنوع (Suurs, 2009).
شکل دهی به بازار (F5)	ایجاد یک بازار امن برای فناوری‌های نوظهور در برابر رقابت‌ها (Suurs, 2009)
تسهیل و تأمین منابع (F6)	تأمین و تخصیص منابعی که برای ایجاد فرایندهای مختلف در سیستم نوآوری ضروری هستند، که به حفظ سرمایه مالی و انسانی بر می‌گردد. (Wieczorek et al., 2015)
مشروعیت بخشی (F7)	این، مورد نیاز برای غلبه بر مقاومت‌های موجود است (Wieczorek et al., 2015).

مدل خطی و غیرخطی از تعاملات چندگانه بین کارکردها وجود دارد، که اثرات مثبت و منفی بر عملکرد سیستم دارند. با توجه به تعاملات بین این کارکردها و حلقه‌های حاصل شده، مجموعه‌ای از موتورها حاصل می‌شوند، که در جدول (۳) ارائه شده است (Suurs, 2009).

جدول (۳): انواع موتورها

موتور	کارکردهای درگیر	کارکردهای کلیدی	هدف
موتور علم و فناوری	F1 – F2 – F3 – F4 – F6	F2 – F3	منجر به بلوغ فنی فناوری در محیط‌های غیر عملیاتی می‌گردد.
موتور کارآفرینی	F1 – F2 – F3 – F4 – F5 – F6– F7	F1	منجر به تبدیل دانش تولیدی به عمل– ایجاد فرصت‌های جدید کسب‌وکار– هموار کردن راه ورود صنعت به عرصه توسعه فناوری می‌شود
موتور شکل‌دهی به سیستم	F1 –F4 – F5 – F6– F7	F6– F7	ایجاد ساختاری فعال و یکپارچه در توسعه فناوری
موتور بازار	F1 –F4 – F5 – F6	F1 –F5	کاسته شدن وابستگی سیستم به نیروها و حمایت‌های خارجی– ایجاد بنیان‌های اولیه بازار فناوری

این موتورهای نوآوری روند رشد سیستم توسعه فناوری را در طول زمان به نمایش می‌گذارند و منجربه برآورده شدن کارکردهای نوآوری می‌گردند. موتورهای نوآوری در ترتیب برآورده شدن خود، یکی پس از دیگری روی کارکردهای موتور قبلی ظاهر می‌شوند تا بتوانند مسیر توسعه فناوری را نشان دهند. در این پژوهش این روند برآورده شدن موتورها یکی پس از دیگری، سوئیچ بین موتورها عنوان می‌گردد.

۲-۲- پیشینه ادبیات

یکی از انواع مهم سیستم‌های نوآوری، نظام نوآوری فناورانه بوده که نه تنها می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر روی سازمان‌ها و عملکرد آنها داشته باشد بلکه می‌تواند عامل اصلی در درک قابلیت‌های پویای سازمان نیز باشد. هر سیستم نوآوری فناورانه، شامل سه جنبه است: «ساختار»، «کارکرد» و «موتور» (Suurs et al., 2009). ساختار نظام نوآوری فناورانه شامل شبکه‌ای از بازیگران، تعاملات، نهادها و زیرساخت‌ها می‌باشد (Wieczorek & Hekkert, 2012). همچنین هر سیستم نوآوری شامل ۷ کارکرد می‌باشد: فعالیت‌های کارآفرینانی، توسعه دانش، انتشار دانش، جهت‌دهی به تحقیقات، شکل‌گیری بازار، بسیج منابع، ایجاد مشروعیت. به طور کلی، مرحله شکل‌گیری یک سیستم نوآوری شامل: خلق دانش و پژوهش، تبدیل دانش به محصولات و کارآفرینی؛ جهت دادن به نهادهای منسجم مدیریتی و شکل‌گیری

بازار می‌باشد (Wieczorek et al., 2013).

پژوهشی با استفاده از رویکرد کارکردی و مفهوم نظام نوآوری فناورانه، شکل‌گیری و رشد بخش نانوفناوری در ایران مورد بررسی واقع شده است. برای این منظور در ابتدا و با تکنیک نگاشت تاریخی داده‌ها مسیر شکل‌گیری نانوفناوری در ایران ترسیم شده و سپس با استفاده از روش تحلیل عاملی تاییدی، ابعاد و مولفه‌های مدل مفهومی مورد تایید قرار گرفته‌اند. در نهایت برای تحلیل میزان تاثیرگذاری کارکردهای نوآوری بر یکدیگر از مدل معادلات ساختاری استفاده شد. در نتیجه پژوهش یادشده، دولت به عنوان محرک اصلی در ایجاد و شکل‌گیری کارکردهای نهادینه‌سازی و قانون‌مندسازی، هدایت تحقیقات و نوآوری و تأمین و تخصیص منابع، نقشی شناخته شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین در پژوهشی که توسط تیگابو و همکاران[۹] (۲۰۱۵) به منظور ارزیابی نظام نوآوری فناورانه هضم بی‌هوازی[۱۰] در رواندا[۱۱] صورت گرفته، از رویکرد کارکردی نظام نوآوری فناورانه و مطالعه طولی[۱۲] به نام تحلیل فرایند استفاده کرده‌اند. در پژوهش یادشده، مقادیر کارکردهای نظام نوآوری فناورانه در طول زمان نشان داده می‌شوند که ارتباطی با انتشار ضعیف فناوری هضم بی‌هوازی دارند.

نظام نوآوری فناورانه، رویکردی کلیدی برای مطالعه فناوری‌های نوظهور در زمینه انتقال پایدار[۱۳] می‌باشد. هدف اکثر مطالعات نظام نوآوری فناورانه، ایجاد پیشنهادات سیاست‌گذاری، که معمولا از شناسایی موانع سیستم مشتق می‌شوند، است، اما کارایی و وظیفه اصلی این سیاست‌های پیشنهادی مشخص نمی‌باشد. در پژوهشی که توسط ریچارد (Reichardt et al., 2016) انجام شده، به این کمبودها با بکارگیری مفهوم پیچیده‌تر سیاست پولی و مالی در رویکرد نظام نوآوری فناورانه پرداخته شده است. در این پژوهش از داده‌های تحلیل سابقه‌ای پیشامد[۱۴] و مصاحبه‌ای، به منظور بررسی وابستگی‌های متقابل بین سیاست پولی و مالی و رویکرد نظام نوآوری فناورانه استفاده شده است.

نظام نوآوری بخشی که جنبه دیگری از نظام نوآوری می‌باشد، شامل سه عنصر اصلی دانش و فناوری، بازیگران و شبکه‌ها و نهادها است (Malerba, 2005). در پژوهشی که توسط مالربا صورت گرفته، چارچوبی به منظور ارزیابی عوامل موثر بر نوآوری در بخش‌ها پیشنهاد گردیده است (Malerba, 2005). همچنین ترکمان (۱۳۸۹) در پژوهش خود، لازمه رشد و شکل‌گیری و عامل موفقیت هر فناوری را فعالیت نظام نوآوری در سطح ملی و به طبع آن نظام نوآوری بخشی می‌داند. در پژوهش یادشده به منظور ارائه مسیر دستیابی به فناوری برای صنایع هوایی ایران و همچنین توسعه درون‌بخشی از روش بهینه‌گزینی، یکی از روش‌های میانبرزنی فناورانه، استفاده شده است. علاوه براین، براساس سه بخش اصلی صنایع هوایی، رسیدن به مزیت نسبت به مقیاس، ساختار صنعتی و سامانه توسعه بر اساس انتظار مشتری، و مقایسه آنها

در سطح ملی سیاست‌های کشورهای برزیل، ژاپن و روسیه، مدل بهینه‌ای در زمینه نظام نوآوری ملی صنایع هواپیمایی ایران ارائه گردیده است. همچنین در مطالعه‌ای که به کمک رویکرد نظام نوآوری بخشی در صنعت داروسازی تایوان انجام شده، عوامل عدم موفقیت در رقابت‌های بین المللی مورد بررسی قرار گرفته است (Hu & Hung, 2014). این مطالعه در دو مرحله انجام شده که در مرحله اول، روش‌های آماری برای تعیین محرک‌های نهادی در صنعت داروسازی تایوان مودر استفاده قرار گرفته و در مرحله دوم نیز از فرایندهای استقرایی و رویکردهای استنتاجی برای تحلیل عملکرد نوآوری در صنعت داروسازی استفاده شده است. نتیجه این مطالعه بیانگر اثربخشی مطلوب نظام نوآوری در بخش داروسازی است.

از طرفی نظام بخشی نوآوری، به عنوان مجموعه‌ای از محصولات برای کاربران خاص و مجموعه‌ای از عواملی تعریف می‌شوند که تعاملات بازاری و غیربازاری را برای ایجاد، تولید و فروش محصولات انجام می‌دهند (Piirainen et al., 2016). موضوع دیگری که بر نظام نوآوری بخشی تاثیر دارد، کارآفرین و نقش آن در ارزش‌دهی نظام نوآوری بخشی است. پژوهشی با استفاده از اسناد صنعت پالایش نفت خام هند نشان می‌دهد که چگونه راهبرد فناوری کارآفرین توسط دیگر تولیدکنندگان در صنعت تکرار می‌شود؛ که این امر به وضوح دوراندیشی فناوری توسط کارآفرین را نشان می‌دهد (Iyer, 2016).

جنسون و همکاران (۲۰۱۶)، دیدگاه‌های ساختاری و کارکردی از نظام نوآوری بخشی و نظام نوآوری فناورانه را در مجموعه‌ای از طرح‌ها بررسی کردند. نتیجه این بررسی مشخص کرد که چگونه نقاط ضعف نظام نوآوری منجر به شکست نوآوری فناوری می‌گردد. آنها با استفاده از تحلیل مقایسه‌ای کیفی مجموعه‌ای فازی از چندین نمونه، نشان دادند که دیدگاه‌های ساختاری و کارکردی قادرند شکست نظام نوآوری را پیشبینی کنند. قدسی‌پور و همکاران (۱۳۹۲) نیز در مطالعه‌ای، از هر دو نظام نوآوری فناورانه و بخشی استفاده کردند. آن‌ها در این مطالعه، روابط مطرح در نظام نوآوری بخشی و تبدیل مفاهیم کارکردهای نظام نوآوری فنی به شاخص‌های قابل ارزیابی، بصورت ترکیبی برای مدل‌سازی صنعت نرم‌افزار به کار گرفتند (قدسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). آزاد و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی مشابه، از مدلی پویا و ساده برای تبیین کارکردهای نظام نوآوری فناورانه استفاده کردند. آن‌ها در این پژوهش، ۵ بازیگر درگیر در ارتباطات بخشی از جمله سیاست‌گذار، پژوهشگاه، پیمانکار خصوصی، پیمانکار دولتی و بازار را معرفی نمودند و با تعریف شاخص‌های کارکردی نظام نوآوری فنی، به تعیین وضعیت سیستم پرداختند (Azad et al., 2013).

با توجه به حیاتی بودن تصمیمات در صنعت پتروشیمی و ممکن نبودن تغییر سیاست‌ها پس از اعمال آنها در بسیاری از موارد، آگاهی از پیامد حاصل از اجرای سیاست قبل از اتخاذ آن از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین یکی از بهترین ابزارهای موجود در این زمینه که علاوه بر نگاه یکپارچه و کل‌نگر به مسئله

مورد نظر، قادر به نمایش پویایی‌های حاکم در این حوضه‌ها نیز می‌باشد، رویکرد پویایی‌شناسی سیستم می‌باشد (Forrester, 1961; Forrester, 1968; Sterman, 2000).

مطالعاتی با استفاده از نظام نوآوری فناورانه و رویکردهای دیدگاه چندسطحی[۱۵] نشان داده‌اند که توسعه نظام‌های نوآوری با وابستگی‌های مستقیم و غیرمستقیم از متغیرهای مختلف یک فرایند پیچیده است. مطالعه روی انرژی باد در آلمان و چین نشان می‌دهند که برای استفاده از رویکرد TIS–MLP[۱۶]، نه تنها در یک سطح کلی بلکه در سطح جزئی از مطالعات موردی باید امکان‌سنجی صورت گیرد (Walz et al., 2016). والریو و همکاران (۲۰۱۶)، مدل پویایی‌شناسی سیستم را در پژوهش خود توسعه دادند. در این مدل مفهوم موتورهای نوآوری که در نظام نوآوری فناورانه وجود دارند، با مفهوم مسیر گذار[۱۷]، بخشی از چارچوب چندسطحی[۱۸]، نگاشت شدند (Walrave & Raven, 2016). روند مقالات بررسی شده، در جدول (۴) خلاصه شده‌اند.

مقاله پیش رو، قصد دارد رویکرد ترکیبی به نام «نوآوری بخشی- فنی» را توسعه داده و آن را در صنعت پتروشیمی پیاده‌سازی نماید. تفاوت این پژوهش با دو پژوهش قدسی پور و همکاران (۱۳۹۲) و آزاد و همکاران (Azad et al., 2013)، در این است که مدل آن، بسیار پیچیده‌تر و با سطح پویایی بیشتری طراحی خواهد شد. همچنین مدل‌سازی پژوهش حاضر، بر اساس موتورهای نوآوری است که در آن سوئیچ بین موتورها بصورت پویا رخ می‌دهد در حالیکه در دو مطالعه یادشده، مدل‌سازی بر پایه کارکردهای نظام نوآوری است.

موضوع دیگری که در حوزه رویکردهای نظام نوآوری می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد، موتورهای نوآوری هستند. مطالعات گذشته به ندرت موتورهای نوآوری را بصورت جامع و یکپارچه درون یک مدل در نظر گرفته‌اند و این موتورها، اغلب در رویکرد نظام نوآوری فناورانه بکار گرفته شده‌اند (Walrave & Raven, 2016). با توجه به جامع بودن موتورها در یک مدل و دوره‌های عمر نوآوری که موتورهای نوآوری در آنها فعال هستند، سوئیچ بین موتورها در دوره‌های عمر نوآوری به منظور تکمیل چرخه عمر نوآوری مسئله مهمی است. البته در مطالعه والریو به این موضوع توجه شده اما سوئیچ بین موتورهای نوآوری، ایستا در نظر گرفته شده است. این در حالیست که در رویکرد ترکیبی پیشنهادی این مقاله، موتورهای نوآوری و جابجایی بین آنها بصورت پویا بررسی شده است.

بنابراین با توجه به عوامل فراوان و ارتباط تنگاتنگ بین آنها، جای خالی رویکردی سیستمی و کل‌نگر که نه تنها تمامی ابعاد و جوانب مسأله را دربر بگیرد بلکه بتواند پویایی حاکم بر سیستم را نیز به خوبی مدل نماید احساس می‌گردد. لذا در این مقاله از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم به منظور تحلیل پویا، غیرخطی و نظام‌مند از ارتباطات بین عوامل موجود در رویکرد ترکیبی « نظام نوآوری فنی- بخشی « استفاده شده است.

جدول (۴): خلاصه مقالات بررسی شده

مرجع	سال	رویکرد	هدف
(Edquist, 1997)	۱۹۹۷	IS	ارزیابی IS برای فهم و مدیریت پیچیدگی فرایندهای نوآوری و همچنین فهم شرایط و اقدامات ضروری برای نوآوری موفق
(Johnson, 2001)	۲۰۰۱	IS	فهم کارکردهای نظام نوآوری بوسیله رویکردهای IS و شرح منافع کارکردها در مطالعات IS
(Nelson, 1993)	۱۹۹۳	NIS	بررسی نظام نوآوری ملی و اهداف آن بر مبنای تجزیه و تحلیل تطبیقی
Cooke et al.,) (1997	۱۹۹۳	RIS	ارزیابی مولفه‌های نظام نوآوری منطقه‌ای که همانند مولفه‌های NIS هستند ولی با مرزهای جغرافیایی متفاوت از مرزهای ملی
(محمدی و همکاران، ۱۳۹۲)	۱۳۹۲	TIS و تحلیل عاملی	تحلیل نحوه شکل گیری و رشد بخش نانوفناوری در ایران با بهره گیری از مفهوم نظام نوآوری فناورانه و با استفاده از رویکرد کارکردی
Tigabu et al.,) (2015	۲۰۱۵	TIS و تحلیل فرایند	ارزیابی TIS هضم بی هوازی در رواندا با استفاده از کارکردهای TIS و مطالعه طولی
Reichardt et al.,) (2016	۲۰۱۶	TIS و سیاست پولی و مالی	ارزیابی وابستگی‌های متقابل بین سیاست پولی و مالی و رویکرد TIS با استفاده از داده‌های تحلیل سابقه‌ای پیشامد[۱۹]
(ترکمان، ۱۳۸۹)	۱۳۸۹	SIS و NIS	ارائه مدل بهینه NIS و الگوی نظام نوآوری بخشی مناسب در صنایع هواپیمایی
Hu & Hung,) (2014	۲۰۱۴	SIS	شناسایی عوامل عدم موفقیت در رقابت‌های بین المللی برای صنعت داروسازی تایوان
(Iyer, 2016)	۲۰۱۶	SIS	بررسی دوراندیشی فناوری توسط کارآفرین با استفاده از اسناد صنعت پالایش نفت خام هند
Jenson et al.,) (2016	۲۰۱۶	SIS،TISوتحلیل مقایسه کیفی	ارزیابی نقاط ضعف IS با استفاده از تحلیل مقایسه‌ای کیفی مجموعه‌ای فازی
(قدسی پور و همکاران، ۱۳۹۲)	۱۳۹۲	ترکیب TIS و SIS	مدل‌سازی صنعت نرم‌افزار با استفاده از روابط مطرح در نظام نوآوری بخشی و تبدیل مفاهیم کارکردهای نظام نوآوری فنی به شاخص‌های قابل ارزیابی
(Azad et al., 2013)	۲۰۱۳	ترکیب TIS و SIS	ارائه مدلی ساده و پویا برای تبیین کارکردهای TIS
(Walz et al., 2016)	۲۰۱۶	TIS و MLP و SD	امکان سنجی رویکرد ترکیبی TIS–MLP با استفاده از ابزار پویایی‌های سیستمی و تحقیقات بر روی انرژی باد در آلمان و چین
Walrave & Raven,) (2016	۲۰۱۶	TIS و SD	نگاشت موتورهای نوآوری با مفهوم مسیر گذار با استفاده از پویایی‌های سیستمی

SD: پویایی شناسی سیستم، IS: نظام نوآوری، TIS: نظام نوآوری فناورانه، SIS: نظام بخشی نوآوری،NIS : نظام نوآوری ملی

۲-۳- چارچوب نظری پژوهش

مدل پویایی‌شناسی سیستم مورد بررسی در این مطالعه، نشان‌دهنده رفتار و زمان سوئیچ بین موتورهای صنعت پتروشیمی در طول دوره عمر نوآوری طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۱۳ هجری شمسی (به مدت ۵۰ دوره در مدل

که هر دوره معادل با نیمسال است) می‌باشد. در این رویکرد از فناوری‌های بخش صنعت پتروشیمی که همان شرکت‌های فعال در صنعت هستند، استفاده شده است. باتوجه به اینکه منشأ کارکرد و رفتار صنعت پتروشیمی ایران شرکت‌های تابعه می‌باشند، بنابراین باید رفتار و عملکرد این شرکت‌ها مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور، ۶ شرکت مشغول در صنعت پتروشیمی ایران، مورد بررسی و مدل‌سازی قرار گرفته‌اند. مدل‌سازی هر کدام از ۶ شرکت مبتنی بر نظام نوآوری فناورانه، کارکردها و موتورهای نوآوری صورت گرفته است. مدل نظام نوآوری فناورانه هر شرکت با استفاده از ابزار پویایی‌های سیستمی و رویکردهای هفتگانه هکرت (Hekkert et al., 2007) و به تبع آن موتورهای نوآوری ایجاد خواهد شد. موتورهای نوآوری در هر شرکت، به منظور تکمیل چرخه عمر نوآوری، بصورت پویا بین یکدیگر سوئیچ می‌شوند.

در این پژوهش شرکت‌ها به دو صورت مدل شده‌اند: جعبه سفید[۲۰] و جعبه سیاه[۲۱]. در حالت جعبه سفید، مقادیر کارکردها بر اثر تعاملات بین کارکردها در داخل مدل حاصل می‌شوند. بدین معنا که مقدار هر کارکرد در مدل از روابط ریاضی مدل و تاثیرگذاری دیگر کارکردها حاصل می‌گردد. در حالت دیگر (جعبه سیاه)، مقادیر کارکردها از داده‌های واقعی شرکت‌های پتروشیمی در مدل بدست می‌آیند. داده‌های واقعی در دسترس برای مدل‌های جعبه سیاه طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ هجری شمسی در بورس اوراق بهادار تهران و شبکه کدال آن موجود است. دلیل استفاده از این نوع مدل‌سازی این است که اطلاعات برخی از شرکت‌ها با جزئیات در دسترس نبود و در مقابل، برای برخی دیگر اطلاعات تفصیلی و کاملی وجود دارد. به عبارت دیگر در مدل‌سازی این امکان وجود دارد که اطلاعات بخشی از مدل بطور کامل در دسترس نباشد و لازم است که با ایجاد روابط ریاضی نسبت به مدل‌سازی آن بخش اقدام کرد.

۳- روش‌شناسی

رویکرد مورد استفاده در این مقاله، پویایی‌شناسی سیستم[۲۲] می‌باشد. پویایی‌شناسی سیستم‌ها، شاخه‌ای از تفکر سیستمی بوده که با اصطلاحات گنگ و پیچیده و روابط غیرخطی بین متغیرهای سیستم، کلیت سیستم را مورد بررسی قرار می‌دهد. این رویکرد، روش‌ها و نظریه‌های مورد نیاز برای واکاوی رفتار سیستم‌ها را نه تنها در مدیریت بلکه در زمینه‌هایی ازجمله تغییرات محیطی، سیاست، پزشکی و مهندسی یکپارچه کرده است. پویایی‌شناسی سیستم‌ها، رفتار یک سیستم را به ساختار سیستم که از شاخصه‌های معمول در تمام سیستم‌ها است، مرتبط می‌کند. ساختارهای سیستم معمولا از طریق الگوهای ترکیبی از حلقه‌های ساده تقویت کننده[۲۳] و متعادل کننده[۲۴] توصیف می‌شوند (Hjorth & Bagheri, 2006). با توجه به این نظریه، متغیرهای بسیاری بطور علّی در حلقه‌های بازخورد با یکدیگر در تعامل هستند. ارتباطات سیستمی بین

حلقه‌های بازخورد، ساختار سیستم را تشکیل می‌دهند و به تبع رفتار سیستم تعیین می‌گردد. به همین دلایل، رویکرد پویایی‌شناسی سیستم برای مدل‌سازی روابط علی و معلولی در صنعت و همچنین ارتباطات پیچیده و غیرخطی بین متغیرها بکار می‌رود. همچنین هدف این رویکرد، فراهم آوردن درکی از ساختار سیستم‌های پیچیده برای سیاست‌گذاران و مدیران است، به گونه‌ای که بتوانند در جهت تضمین رفتاری مبتنی بر اهداف آنان مداخله نمایند. استرمن (۲۰۰۰) بر همین مبنا گام‌های روش شناسی مدل‌سازی را بصورت ذیل ارائه نموده است (Sterman, 2000):

۱- تعریف مسأله پویا و دامنه آن: در این گام باید در مورد موضوع و چیستی و چرایی آن، متغیرها و مفاهیمی که باید در نظر گرفته شوند، افق زمانی و در نهایت تعریف مساله پویا که نشان‌دهنده رفتار مرجع و رفتار تاریخی مفاهیم و متغیرهای کلیدی است، بحث شود.

۲- تعیین متغیرها و تعیین ارتباط بین آن‌ها: در این گام نیز با مشخص شدن متغیرها، باید با مصاحبه از خبرگان و کارشناسان مرتبط، تاثیر و تأثّر متغیرها بر روی یکدیگر مشخص گردند. همچنین باید مولفه‌های ورودی متغیرها نیز تعیین گردند. طریقه جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات می‌تواند از طریق خود صنعت مورد بررسی و سایت‌های مرکز آمار و بورس و غیره صورت گیرد.

۳- ترسیم نمودار علی و معلولی: ایجاد نقشه‌های ساختار علّی، بر مبنای فرضیه‌های اولیه، متغیرهای کلیدی، رفتارهای مرجع و دیگر اطلاعات در دسترس با استفاده از ابزارهایی نظیر نمودارهای محدوده مدل، نمودارهای زیرسیستم، نمودارهای حلقه‌های علّی، نقشه‌های حالت و جریان، نمودارهای ساختار سیاست (شکل (۱)).

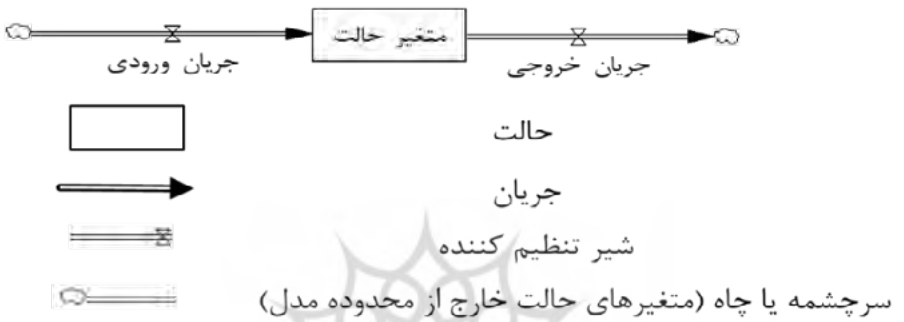
۴- انتخاب نرم‌افزار مناسب برای شبیه‌سازی: پس از توسعه مدلی ریاضی به وسیله نمودار حالت – جریان و ساختار مدل و ارتباطات درونی بین متغیرها، با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ازجمله آی‌تینک[۲۵]، پاورسیم[۲۶]، ونسیم[۲۷] و استلا[۲۸]، مدل‌سازی صورت می‌گیرد.

۵- ساختن مدل موجودی جریان: نمودار جریان برای نمایش جریان‌های فیزیکی یا اطلاعاتی در مدل پویایی‌شناسی سیستم‌ها مفید است. متغیرهای سطح (حالت) بصورت مستطیلی نشان داده می‌شوند که جریان‌های انباشته در آن سطح را بازنمایی می‌کنند (شکل (۲)).

۶- شبیه‌سازی مدل: پیاده‌سازی مدل موجودی–جریان ایجاد شده در نرم‌افزار مربوطه

۷- اعتبارسنجی مدل به کمک داده‌های کمی: اعتبار مدل به این معنا است که مدل نتایج خوبی را ارائه دهد یا به عبارت دیگر کار درست را انجام می‌دهد. انواع تست‌ها را می‌توان بصورت شکل (۳) ارائه کرد (Sterman, 2000).

شکل (۱): مثالی از نمودار علی و معلولی



شکل (۲): مثالی از مدل موجودی- جریان

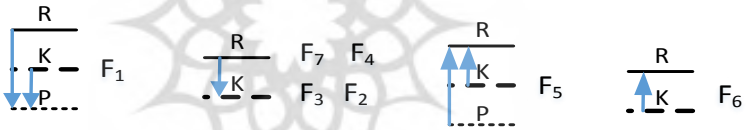
۴- تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها

۴-۱- مدل‌سازی به کمک نمودار موجودی و جریان

پیش از پرداختن به نمایش حلقه‌ها و مدل‌ها، لازم به ذکر است که با توجه به تحلیل صنعت و نظرات خبرگان در تعاملات کارکردها، دانش (K)، محصولات (P) و منابع (R) تبادل می‌شوند تا ارزش افزوده خاصی را ایجاد کنند. به عبارت دیگر این سه عنصر متغیرهای جریان می باشند. در شکل (۴) تبدیلات عناصر سه گانه یادشده (K، P و R) به یکدیگر را در هر کارکرد نشان می‌دهد. علاوه بر این از شکل (۵) تا شکل (۸) مفهوم انتقال عناصر سه گانه بین کارکردها در هر موتور را بیان می‌کنند.

در حوزه پویایی‌شناسی سیستمی، متغیرها به دو صورت حالت و جریان می‌باشند. متغیر حالت یا انباشت تجمعی، بطورکلی نشان‌دهنده حالت سیستم می‌باشند. نرخ جریان‌های ورودی و خروجی قابلیت تغییر در متغیر انباشت را دارند؛ به عنوان مثال مقدار انباشت سرمایه در یک متغیر انباشت با نرخ ورود و خروج تغییر می‌یابد.

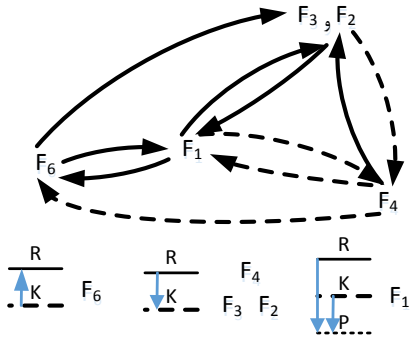
شکل (۳): روش‌های اعتبارسنجی (Sterman, 2000)



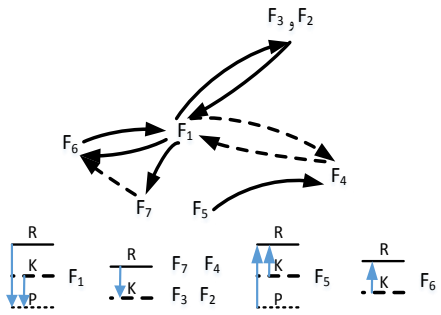
شکل (۴): تبدیلات عناصر سه گانه در کارکردها

حال می‌توان مدل نظام نوآوری فناورانه، را برای هر شرکت پتروشیمی در نرم‌افزار وِنسیم[۲۹] پیاده‌سازی کرد. این مدل بر اساس کارکردهای هفت‌گانه، عناصر سه‌گانه و موتورهای نوآوری حاصل از روابط علّی آنها در وِنسیم ایجاد و در شرکت پتروشیمی جم پیاده گردیده است (شکل (۹)).

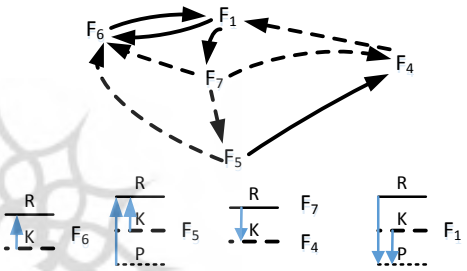
همانطورکه ذکر شد، یکی از نوآوری‌های این پژوهش، پویا بودن سوئیچ موتورها (انتقال از یک موتور به موتور دیگر به منظور رشد مسیر توسعه فناوری) در مدل است. بدین ترتیب این سوئیچ پویا از یک موتور به موتور بعدی در مدل بصورت زیر شرح داده می‌شود. با توجه به هدف فعالیت هر موتور در شکل (۹)، می‌توان روی کارکردهای کلیدی، شروطی را قرار داد که به محض ارضا شدن آن شروط، موتور فعلی، غیرفعال و ادامه چرخه به موتور بعدی منتقل شود. بدین منظور شروطی که در مدل مربوط به شرکت پتروشیمی جم اعمال شده، در جدول (۵) درج شده است. این کارکردها که شامل عناصر سه‌گانه هستند، به عنوان متغیرهای حالت



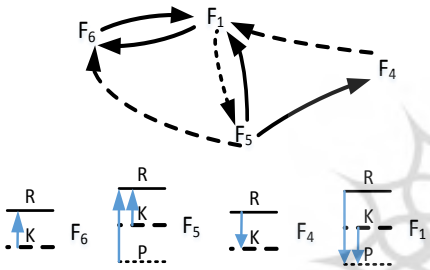
شکل (۵): موتور۱، موتور علم و فناوری



شکل (۶): موتور۲، موتور کارآفرینی



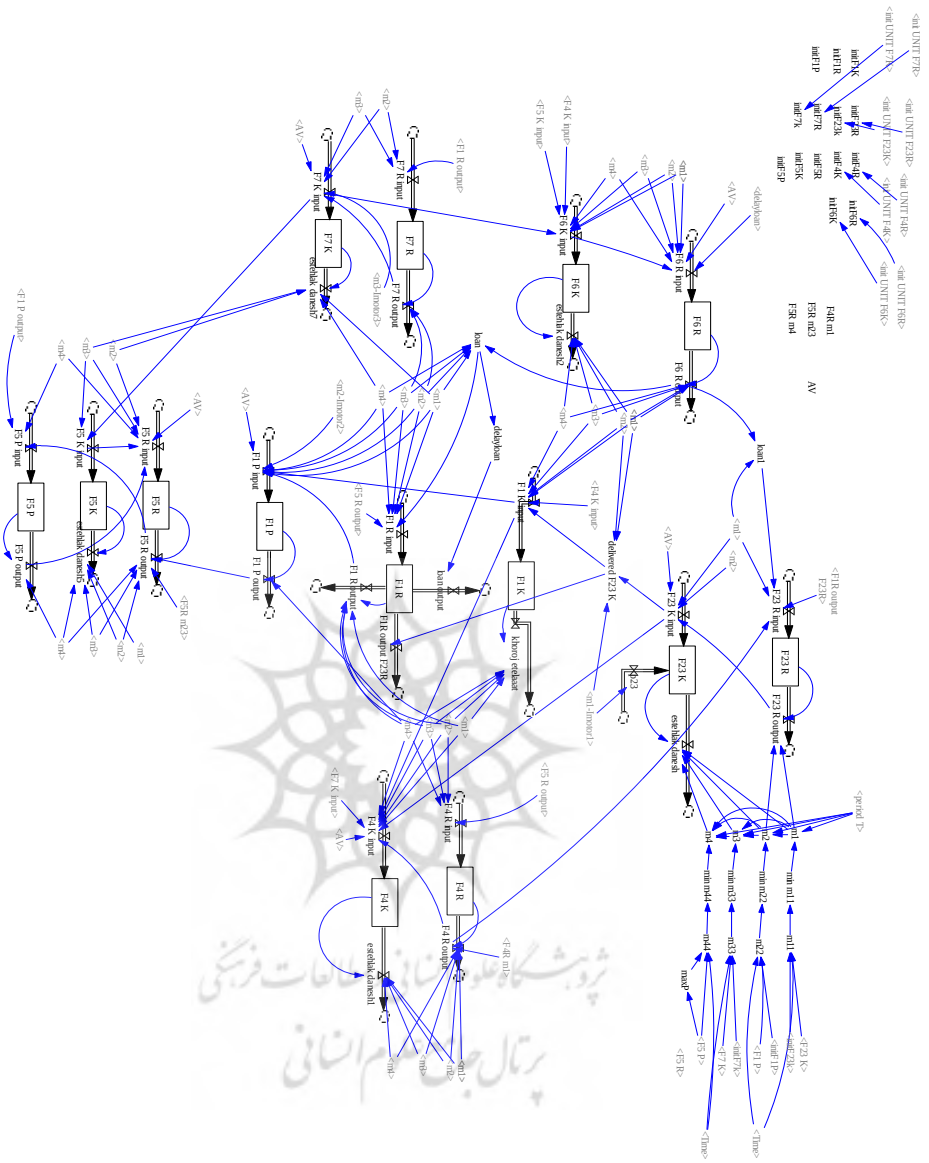
شکل (۷): موتور۳، موتور شکل‌دهی به سیستم



شکل (۸): موتور۴، موتور بازار

در مدل در نظر گرفته شده‌اند. برخی از روابط مورد استفاده در مدل، در پیوست ارائه شده‌اند.

منطق این شرایط به این صورت است که دانش می‌تواند تا ۳ برابر مقدار اولیه خود انتشار و توسعه یابد و همچنین کارآفرین می‌تواند تا یک درجه بعد از مقدار اولیه، تولید کند و در نهایت، اگر محصول بازار از ۱۰٪ حداکثر مقدار محصول بازار کمتر شود، بازار فعالیت خود را متوقف می‌کند. به عبارت دیگر، مدل از موتور اول شروع شده و تا دوره‌ای پیش می‌رود که دانش در کارکردهای F23K، از ۳ برابر مقدار اولیه خود بیشتر شود. آنگاه موتور اول خاموش و موتور دوم کار خود را شروع می‌کند. در موتور دوم، وقتی محصول در کارکرد F1P، حداقل به اندازه ۱۰ برابر مقدار محصول اولیه تولید شد، آنگاه فعالیت این موتور به اتمام می‌رسد و ادامه چرخه به موتور سوم انتقال می‌یابد. در موتور سوم، اگر مقبولیت محصول در کارکرد F7K، از ۳ برابر مقدار اولیه خود بیشتر گردد، ادامه روند به موتور چهارم محول می‌شود. در نهایت زمانی فعالیت موتور چهارم به اتمام می‌رسد که محصولات موجود در بازار (F5P) از درصدی از حداکثر محصولات موجود، کمتر گردد. حال در ادامه می‌توان حلقه‌هایی که در این مدل پویایی‌های سیستمی وجود دارند را



شکل (۹): مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت پتروشیمی جم

بصورت خلاصه نشان داد که در شکل (۱۰) ارائه شده‌اند.

کارکردها در مدل بصورت متغیر سطح آورده شده‌اند. در این مدل عناصر R، P و K از طریق بردارهایی (به ترتیب ⟵، ⟵ و ⟵) بین کارکردها تبادل می‌شوند. به‌علاوه، این عناصر در درون هر کارکرد به یکدیگر تبدیل می‌گردند و در درون هر خانه[۳۰] مربوط به کارکردها با یک بردار (به شکل ⟵) نشان

جدول (۵): شروط سوئیچ بین موتورهای فناوری شرکت پتروشیمی جم

موتور	شرط انتقال	پارامتر	متغیر سطح
موتور1 (m1)	If $F23K \geq 3 * F23K_{t0}$ then Enter m2	$F23K_{t0}$	F23K
موتور2 (m2)	If $F1P \geq 10 * F1P_{t0}$ then Enter m3	$F1P_{t0}$	F1P
موتور3 (m3)	If $F7K \geq 3 * F7K_{t0}$ then Enter m4	$F7K_{t0}$	F7K
موتور4 (m4)	If $F5P \leq 0.15 * maxF5P$ then End	–	F5P

داده می‌شوند.

مدل پیشنهادی بطور کلی از چهار حلقه بازخوردی[۳۱] تشکیل شده است (شکل (۱۰)). هر چهار حلقه از نوع تقویتی هستند. حلقه‌های R.1، R.2، R.3 و R.4، به ترتیب مربوط به موتورهای علم و فناوری، کارآفرینی، شکل‌دهی به سیستم و موتور بازار می‌باشند که در ادامه به توضیح هرکدام پرداخته شده است.

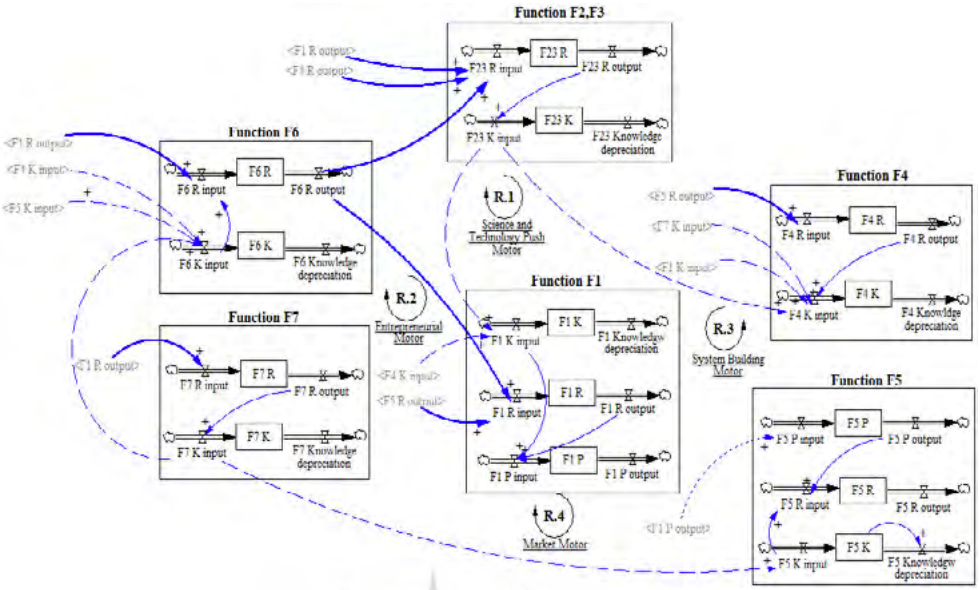
در موتور۱، بر حوزه پژوهش و فعالیت‌های کارآفرینی سرمایه‌گذاری می‌شود. سپس مراکز پژوهشی، دستاورد خود را در اختیار سیاست‌گذار قرار می‌دهند و همچنین کارآفرین به منظور تولید محصولات، اطلاعاتی را به سیاست‌گذار ارائه می‌نماید. در این موتور نیز سیاست‌گذار مشخص می‌کند که سرمایه‌گذار، چه نسبتی از سرمایه را بین مراکز پژوهشی و کارآفرین تقسیم نماید.

در موتور۲ (موتور کارآفرینی) این موارد رخ می‌دهند: ۱- کارآفرین در ازای پرداخت هزینه، دانش نوآوری را به منظور تولید محصول نوآوری دریافت می‌نماید. ۲- گزارش‌دهی کارآفرین به سیاست‌گذار در این موتور کمتر شده ولی سهم مالیات‌های جدید از بازار به دولت، تقویت می‌شود. ۳- کارآفرین ضمن تزریق سرمایه به تحلیل‌گر فناوری، سرمایه‌گذار را برای ادامه سرمایه‌گذاری روی فعالیت‌های کارآفرینانه قانع می‌نماید.

در موتور۳، شدت مقبولیت فعالیت‌های کارآفرینانه برای بازار و سیاست‌گذار در راستای ادامه فعالیت خود بیشتر می‌شود. بازار ضمن حفظ مالیات به دولت، اطلاعاتی را در زمینه خرید آتی محصول کارآفرین به سیاست‌گذار و سرمایه‌گذار ارائه می‌نماید. بر این اساس، سیاست‌گذار (دولت)، بر فعالیت‌های کارآفرینانه سرمایه‌گذاری و آن را تقویت می‌نماید. سیاست‌گذار مجوزهایی را برای تداوم فعالیت‌های کارآفرین صادر می‌نماید.

در موتور۴، بازار با پرداخت هزینه، محصول نوآوری را از کارآفرین خریداری و ضمن پرداخت مالیات به دولت، اطلاعاتی را در زمینه خرید آتی محصول به سرمایه‌گذار ارائه می‌نماید. کارآفرین بر اساس مجوز فعالیت ارئه شده توسط سیاست‌گذار، مسیر تولید و فروش را با شتاب بیشتری ادامه می‌دهد.

سه شرکت دیگر (شرکت‌های پتروشیمی پردیس، شازند (اراک) و شیراز) که بصورت جعبه سفید مدل



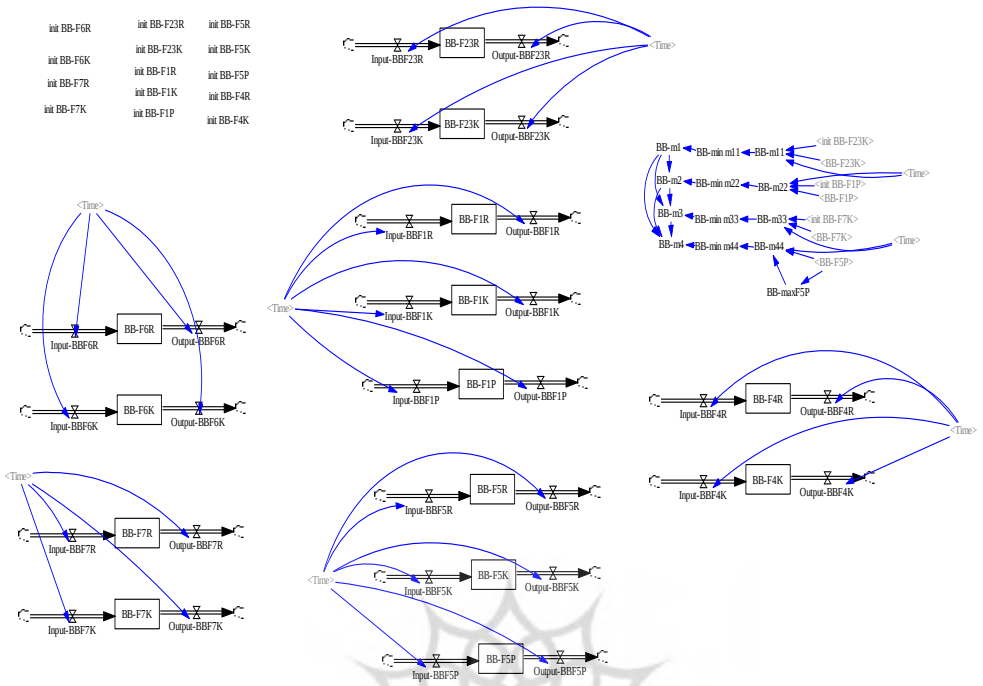
شکل (۱۰): حلقه‌های موجود در مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت پتروشیمی جم

شده‌اند، همانند مدل شرکت پتروشیمی جم که بصورت جداگانه شرح و در شکل (۹) نشان داده شد، می‌باشند. شروط اعمال شده در این سه مدل همانند شروط اعمال شده در مدل شرکت پتروشیمی جم است. همچنین در این ۴ مدل نظام نوآوری فناورانه، موتورها بصورت پویا و براساس شروط اعمال شده سوئیچ می‌شوند. شکل (۱۱) شرکت پتروشیمی خارک را نشان می‌دهد که بصورت جعبه سیاه مدل شده است. مدل مرتبط با پتروشیمی کرمانشاه نیز به همین صورت می‌باشد. مقادیر ورودی و خروجی هر کارکرد در مدل بر اساس داده‌های واقعی از شرکت‌های پتروشیمی خارک و کرمانشاه هستند.

به منظور ایجاد کارکردهای صنعت پتروشیمی ایران، مقادیر کارکردهای هر ۶ شرکت پتروشیمی، تجمیع می‌شوند. همچنین در شکل (۱۲)، شروط برای سوئیچ موتورها اعمال شده است که همانند شروط اعمال شده در جدول (۵) می‌باشد. این شروط مشخص می‌کنند صنعت در هر دوره در کدام موتور نوآوری و به تبع در چه مرحله‌ای از دوره عمر نوآوری قرار گرفته است. نوآوری دیگر این مقاله، پویا بودن سیاست‌گذاری‌های صنعت بر شرکت‌های خود می‌باشد. در نهایت مدل نهایی این پژوهش در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

۴-۲- نتایج شبیه‌سازی بر اساس مدل پایه

مدل ارائه شده برای یک بازه ۲۵ ساله بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۱۳ هجری شمسی طراحی شده است. علت در نظر گرفتن این بازه یادشده برای شبیه‌سازی این بوده که برآورده شدن کارکردهای هر موتور نوآوری و

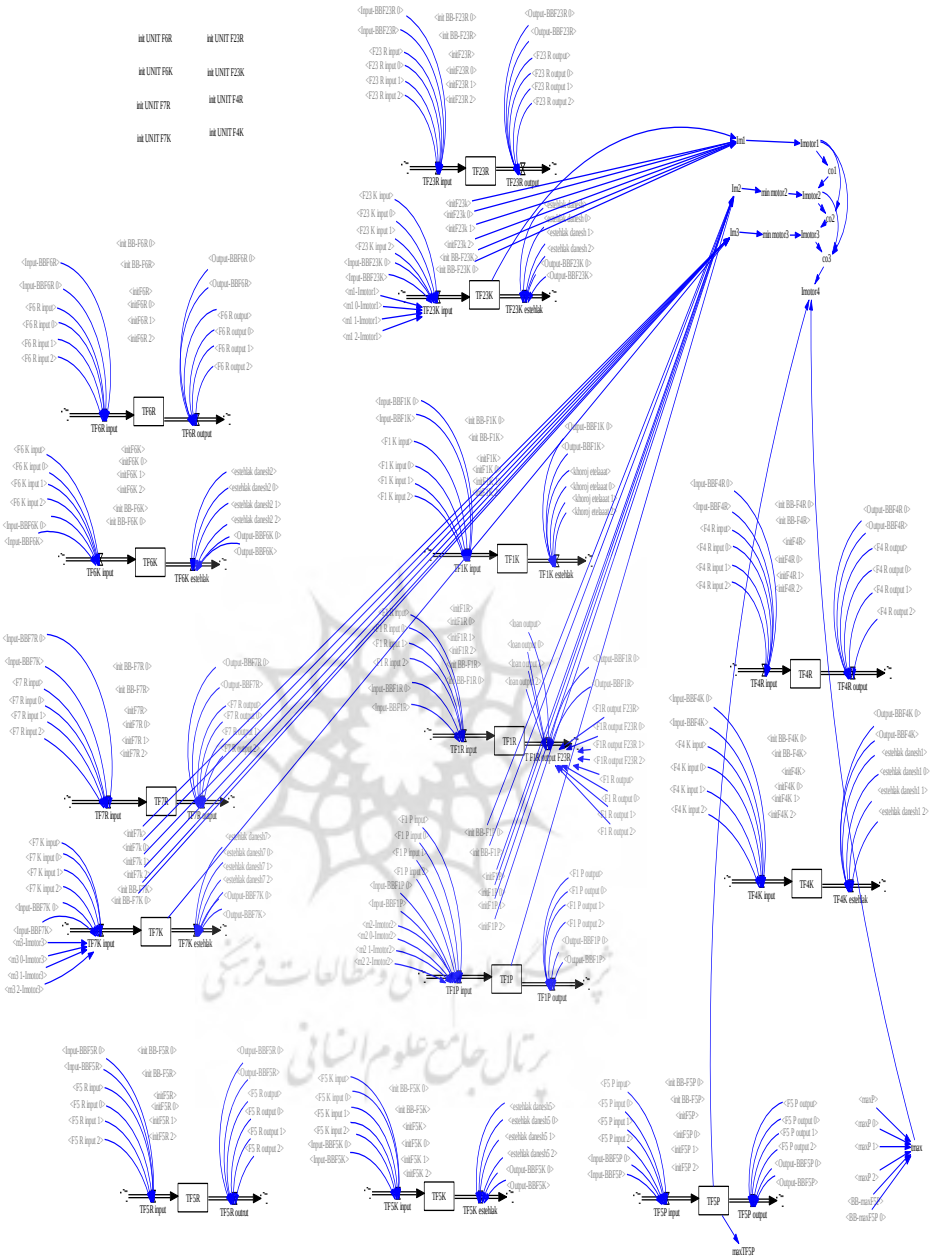


شکل (۱۱): مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت پتروشیمی خارک بصورت جعبه سیاه

سوئیچ بین موتورهای نوآوری صنعت پتروشیمی به منظور رشد مسیر توسعه فناوری، در این بازه بطور کامل صورت گرفته است و نشان داده می‌شود. در مدل ونسیم، زمان شبیه‌سازی بصورت دوره‌ای (هر دوره معادل با یک نیمسال) در نظر گرفته شده است. شکل (۱۴)، نشان‌دهنده دوره فعالیت موتورهای نوآوری صنعت پتروشیمی ایران می‌باشد. در شکل (۱۴)، محور عمودی نشان‌دهنده فعال یا غیرفعال بودن موتور(بصورت ۰ و ۱) و محور افقی نشان‌دهنده زمان شبیه‌سازی است. با توجه به این شکل می‌توان گفت که هر ۴ موتور نوآوری فعالیت خود را آغاز کرده‌اند و به پایان خواهند رسید. بدین ترتیب، چرخه عمر نوآوری صنعت پتروشیمی ایران طی ۲۳ دوره معادل ۱۱,۵ سال تکمیل شده است.

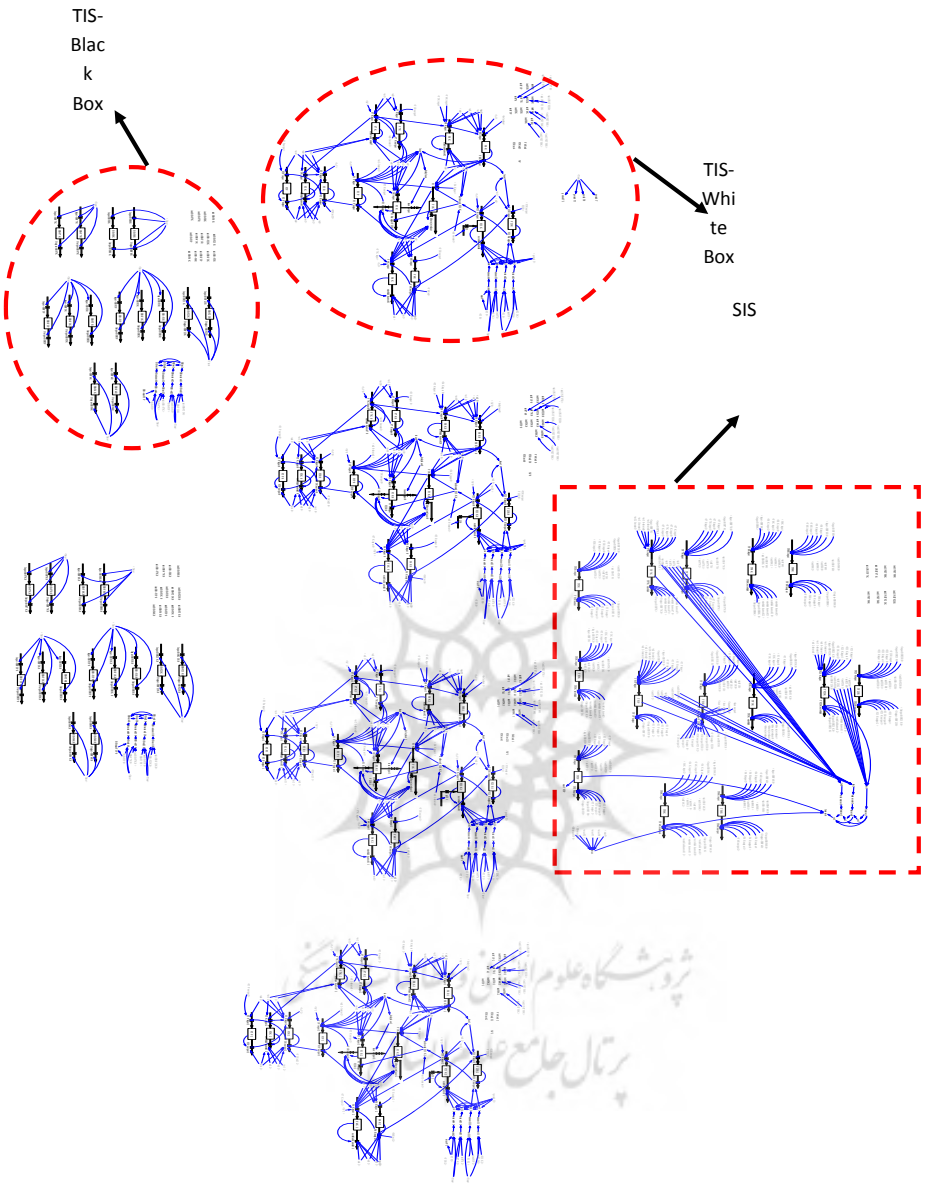
جدول (۶) مشخص می‌کند که در چه دوره‌هایی از چرخه عمر نوآوری، کدام موتورهای نوآوری فعال هستند. همانطورکه مشخص است چرخه عمر نوآوری از موتور۱ شروع گردیده است و در نهایت به منظور تکمیل چرخه به موتور۴ ختم می‌شود.

همانطورکه قبلا بیان شد، سوئیچ پویای بین موتورها از طریق شروط اعمال شده روی کارکردهای کلیدی صورت می‌گیرد. بدین منظور، در ادامه نتایج شبیه‌سازی کارکردهای اصلی صنعت پتروشیمی تحلیل می‌شوند. کارکردهای کلیدی عبارتند از: F7، F5، F23، F1.



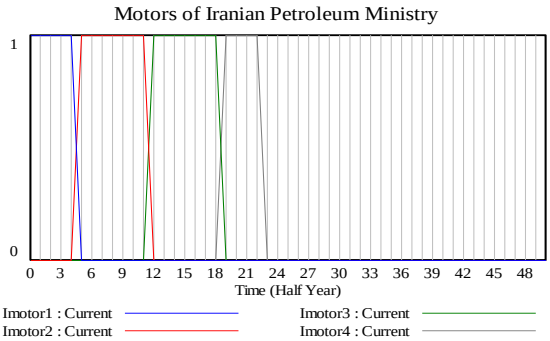
شکل (۱۲): مدل صنعت پتروشیمی ایران

همانطورکه مشخص گردید کارکرد F1، کارکرد کارآفرینی، شامل هر سه عنصر انتقالی دانش، سرمایه و محصول است. نقش این کارکرد در موتور۲ (موتور کارآفرینی) نقش بسزایی دارد. بنابراین شرطی به منظور



شکل (۱۳): مدل نظام نوآوری فنی- بخشی صنعت پتروشیمی ایران

توقف فعالیت این موتور و سوئیچ به موتور۳ برای این کارکرد اعمال می‌شود. با توجه به شرط موتور۲ در جدول (۵) و همچنین منحنی مربوط به IF1P (کارکرد F1P در صنعت) در شکل (۱۵)، محصولات صنعت در دوره ۱۲ به بیش از ده برابر مقدار خود اولیه (۹۰۶ عدد محصول) رسیده‌اند که در نتیجه آن فعالیت



شکل (۱۴): دوره‌های فعالیت موتورهای صنعت پتروشیمی ایران

جدول (۶): مدت زمان فعالیت موتورهای صنعت پتروشیمی ایران

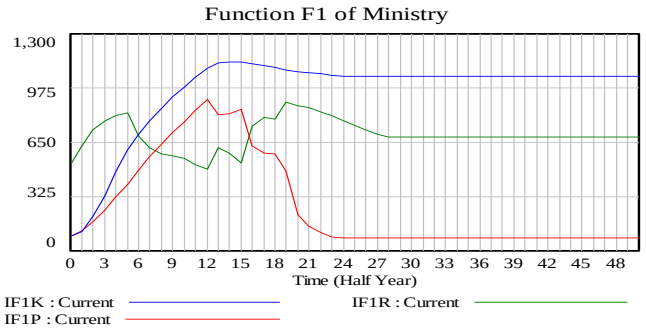
موتور صنعت / حالات	موتور۱	موتور۲	موتور۳	موتور۴
اولیه	۱-۴	۵-۱۱	۱۲-۱۸	۱۹ -۲۲

موتور۲ صنعت، در آن دوره به اتمام می‌رسد.

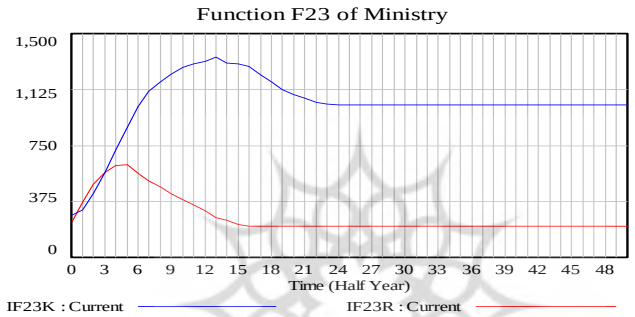
کارکردهای F2 وF3 (F23) بنام کارکردهای توسعه و انتشار دانش، شامل دو عنصر R و K هستند. این کارکردها در موتور۱ (موتور علم و فناوری) نقش پراهمیتی دارند. در نتیجه، شرط توقف موتور۱ بر پایه این دو کارکرد استوار است. با توجه به شرط موتور۱ در جدول (۵) و همچنین منحنی مربوط به IF23K (کارکرد F23K در صنعت) در شکل (۱۶)، دانش فناورانه صنعت در دوره ۵ به بیش از سه برابر مقدار اولیه خود (۸۷۳ واحد دانش) رسیده است که در نتیجه فعالیت موتور۱ صنعت در دوره ۵ به اتمام می‌رسد.

کارکرد F5، بنام کارکرد شکل‌دهی به بازار، شامل هر سه عنصر انتقالی R،K و P است. این کارکرد در موتور۴ (موتور بازار)، نقش بسزایی دارد. بنابراین شرطی به منظور توقف فعالیت این موتور و تکمیل چرخه عمر نوآوری برای این کارکرد اعمال می‌شود. با توجه به شرط موتور۴ در جدول (۵) و همچنین منحنی مربوط به IF5P (کارکرد F5P در صنعت) در شکل (۱۷)، سطح محصولات صنعت در بازار فروش، در دوره ۲۳ به کمتر از ۱۵٪ مقدار ماکزیمم محصول در بازار رسیده است که در نتیجه فعالیت موتور۴ صنعت، در دوره ۲۳ به اتمام می‌رسد.

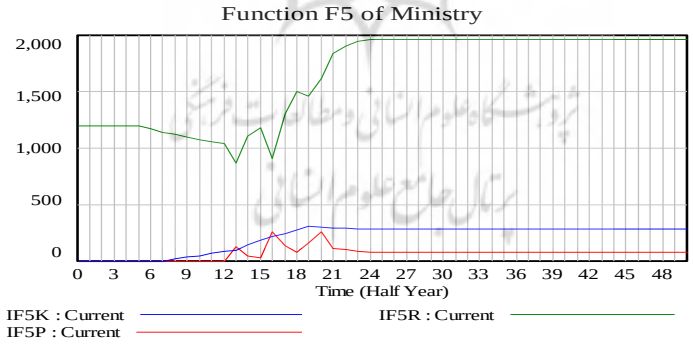
کارکرد F7، بنام کارکرد مشروعیت بخشی، شامل هر دو عنصر انتقالی K و R است. نقش این کارکرد در موتور۳، موتور شکل‌دهی به سیستم، نقش بسزایی دارد. بنابراین شرطی به منظور توقف فعالیت این موتور و



شکل (۱۵): متغیر سطح کارکرد F1 صنعت

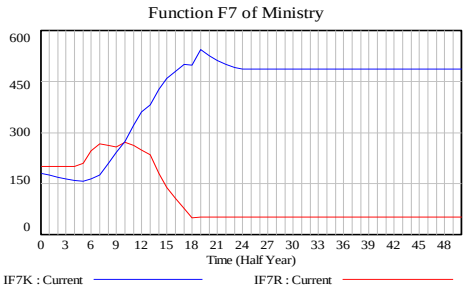


شکل (۱۶): متغیر سطح کارکرد F23 صنعت

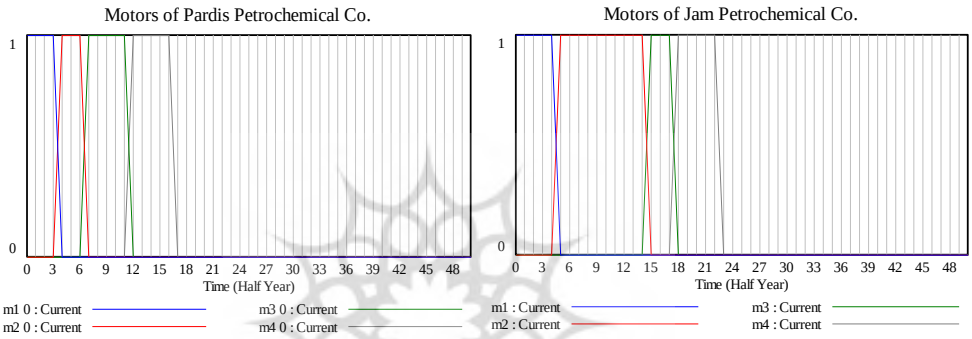


شکل (۱۷): متغیر سطح کارکرد F5 صنعت

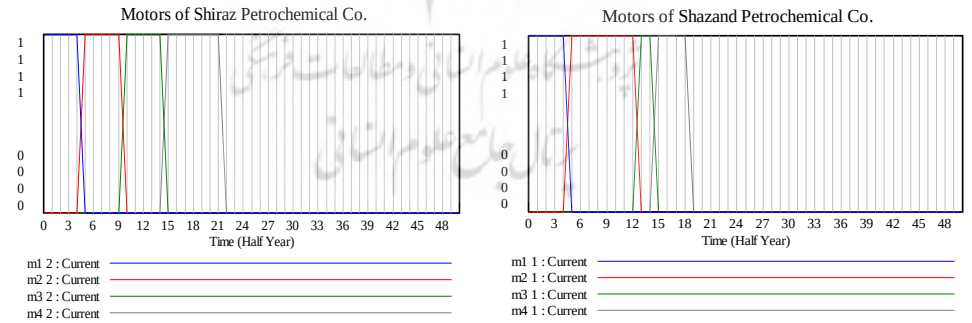
سوئیچ به موتور۴ برای این کارکرد اعمال می‌شود. با توجه به شرط موتور۳ در جدول (۵) و همچنین منحنی مربوط به IF7K (کارکرد F7K در صنعت) در شکل (۱۸)، اطلاعات مربوط به مشروعیت بخشی صنعت در دوره ۱۹ به بیش از سه برابر مقدار اولیه خود (۵۴۳ واحد) رسیده است که در نتیجه فعالیت موتور۳ صنعت



شکل (۱۸): متغیر سطح کارکرد F7 صنعت



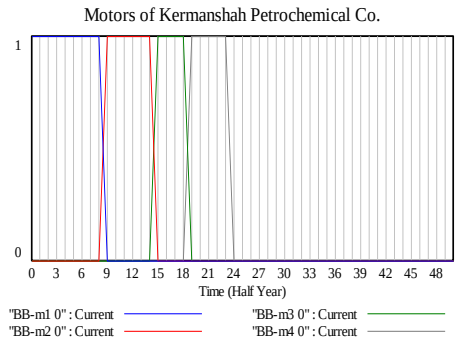
شکل (۱۹): دوره فعالیت موتورهای شرکت جم **شکل (۲۰): دوره فعالیت موتورهای شرکت پردیس**

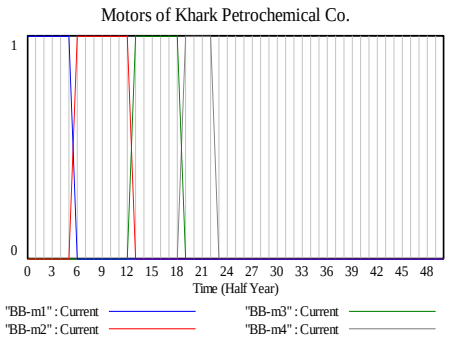


شکل (۲۱): دوره فعالیت موتورهای شرکت شازند اراک **شکل (۲۲): دوره فعالیت موتورهای شرکت شیراز**

در دوره ۱۹ به اتمام می‌رسد.

همچنین دوره فعالیت موتورهای نوآوری شرکت‌های پتروشیمی در شکل‌های (۱۹) تا (۲۴) نشان داده شده‌اند.





شکل (۲۳): دوره فعالیت موتورهای شرکت خارک شکل (۲۴): دوره فعالیت موتورهای شرکت کرمانشاه

۴-۲-۱- آنالیز حساسیت

مهمترین و اساسی‌ترین جزء مدل، مربوط به سیاست‌های اعمال شده روی سوئیچ موتورهای نوآوری صنعت می‌باشد. در این بخش تلاش می‌شود تا به کمک تحلیل حساسیت، فرایند سوئیچ بین موتورها به منظور افزایش سود کل کارکردها تسریع گردد. با توجه به اینکه تمام سیاست‌های اعمال شده در مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت‌ها یکسان است، بنابراین باید تحلیل حساسیت روی سیاست‌های اعمال شده، بطور یکسانی صورت پذیرد.

با توجه به تحلیل حساسیت سیاست‌های موجود در جدول (۷)، می‌توان پی برد که با تغییر ضرایب در شروط سوئیچ بین موتورها، دوره فعالیت برخی از موتورها کوتاه شده است. به عنوان مثال، در تحلیل حساسیت مورد۱، تسریع زمان سوئیچ بین موتورهای اول و دوم رخ داده ولی از موتور سوم به موتور چهارم سوئیچی صورت نگرفته است؛ در نتیجه با این تغییر چرخه عمر نوآوری صنعت پتروشیمی تکمیل نخواهد شد.

۴-۲-۲- اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، از دو رویکرد مقایسه مقادیر واقعی با مقایر شبیه‌سازی شده (بر مبنای شاخص‌های R2 و MAPE) استفاده شده است. برای اعتبارسنجی مدل، باید مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت‌های پتروشیمی را مورد ارزیابی قرار داد. بدین منظور داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده مربوط به کارکرد کارآفرینی (F1) آنها جمع‌آوری شده و در جدول (۸) آورده شده است.

این داده‌ها مربوط به ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ هجری شمسی است. علاوه بر ۴ شرکت پتروشیمی یادشده، دو شرکت پتروشیمی خارک و کرمانشاه نیز وجود دارند که بدلیل جعبه سیاه بودن این دو شرکت، مقادیر وارد شده در مدل، همان مقادیر موجود در واقعیت است. بنابراین نیازی به اعتبارسنجی مدل این دو شرکت پتروشیمی نیست.

برای مقایسه بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی از ضریب تعیین[۳۳] و درصد میانگین مطلق خطا[۳۴] استفاده شده

جدول (۷): تحلیل حساسیت بر روی سیاست‌های اعمال شده

	سیاست		سود کل صنعت (واحد پولی)	دوره فعالیت موتور			
				m1	m2	m3	m4
اولیه	If F23K $\geq$ 3 * $F23K_{t0}$ then Enter m2	موتور۱ (m1)	۴۹۲۲٫۵۸	۴-۱	۱۱-۵	۱۸-۱۱	۲۲-۱۹
	If F1P $\geq$ 10 * $F1P_{t0}$ then Enter m3	موتور۲ (m2)					
	If F7K $\geq$ 3 * $F7K_{t0}$ then Enter m4	موتور۳ (m3)					
	If F5P $\leq$ 0.15 * maxF5P then End	موتور۴ (m4)					
۱	If F23K $\geq$ 2* $F23K_{t0}$ then Enter m2	موتور۱ (m1)	۴۶۲۱٫۸۸	۳-۱	۹-۴	۱۰ به بعد*	خاموش**
	If F1P $\geq$ 8* $F1P_{t0}$ then Enter m3	موتور۲ (m2)					
	If F7K $\geq$ 3* $F7K_{t0}$ then Enter m4	موتور۳ (m3)					
	If F5P $\leq$ 0.2* max F5P then End	موتور۴ (m4)					
۲	If F23K $\geq$ 2* $F23K_{t0}$ then Enter m2	موتور۱ (m1)	۴۲۷۵٫۳۸	۳-۱	۴ به بعد	خاموش	خاموش
	If F1P $\geq$ 6* $F1P_{t0}$ then Enter m3	موتور۲ (m2)					
	If F7K $\geq$ 2* $F7K_{t0}$ then Enter m4	موتور۳ (m3)					
	If F5P $\leq$ 0.3* maxF5P then End	موتور۴ (m4)					
۳	If F23K $\geq$ 3* $F23K_{t0}$ then Enter m2	موتور۱ (m1)	۳۰۷۹٫۸۹	۴-۱	۱۴-۵	۱۵ به بعد	خاموش
	If F1P $\geq$ 11* $F1P_{t0}$ then Enter m3	موتور۲ (m2)					
	If F7K $\geq$ 4* $F7K_{t0}$ then Enter m4	موتور۳ (m3)					
	If F5P $\leq$ 0.15* maxF5P then End	موتور۴ (m4)					
۴	If F23K $\geq$ 3* $F23K_{t0}$ then Enter m2	موتور۱ (m1)	۳۲۲۹٫۰۹	۴-۱	۱۱-۵	۱۲ به بعد	خاموش
	If F1P $\geq$ 10* $F1P_{t0}$ then Enter m3	موتور۲ (m2)					
	If F7K $\geq$ 4* $F7K_{t0}$ then Enter m4	موتور۳ (m3)					
	If F5P $\leq$ 0.1* maxF5P then End	موتور۴ (m4)					
۵	If F23K $\geq$2* $F23K_{t0}$ then Enter m2	موتور۱ (m1)	۶۴۲۳٫۳۲	۳-۱	۹-۴	۱۰ به بعد	خاموش
	If F1P $\geq$ 8* $F1P_{t0}$ then Enter m3	موتور۲ (m2)					
	If F7K $\geq$ 3* $F7_{t0}$ then Enter m4	موتور۳ (m3)					
	If F5P $\leq$ 0.15* max F5P then End	موتور۴ (m4)					

* به این معنی است که موتور مربوطه از دوره ۱۰ تا انتهای دوره فعال است.
** به این معنی است که موتور مربوطه در تمام دوره‌ها غیر فعال است.

است که معادلات آنها به این صورت می‌باشند (Samara et al., 2012, Hassanzadeh et al., 2012).

مولفه‌ها در معادلات بالا بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (S_t - \bar{S})(O_t - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n} (S_t - \bar{S})^2 \sum_{t=1}^{n} (O_t - \bar{O})^2}} \right)^2$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} \left| \frac{O_t - S_t}{O_t} \right|$$

جدول (۸) مجموعه مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده

نام شرکت – فناوری	کارکرد / سال	F1P	
		واقعی	شبیه‌سازی
پتروشیمی جم– فناوری اول F1P	۰	۱۵,۹۶	۱۵
	۱	۳۲,۶۵	۳۰,۴۴
	۲	۵۱,۳۵	۵۰,۷۹
	۳	۷۰,۶۹	۸۰,۸۵
	۴	۹۱,۰۱	۱۰۷,۲۲
	۵	۱۱۳,۸۲	۱۲۵,۹
پتروشیمی پردیس– فناوری دوم F1P0	۰	۲۰,۳۶	۱۵
	۱	۵۱,۲۶	۴۵,۹۲
	۲	۸۳,۵۵	۹۸,۷۹
	۳	۱۱۱,۱۱	۱۴۱,۴۸
	۴	۱۲۸,۱۴	۱۶۱,۹
	۵	۱۶۱,۰۹	۱۷۲,۳۱

نام شرکت – فناوری	کارکرد / سال	F1P	
		واقعی	شبیه‌سازی
پتروشیمی اراک– فناوری سوم F1P1	۰	۱۶,۱۷	۱۵
	۱	۳۵,۶۵	۳۰,۰۸
	۲	۵۵,۸۴	۵۹,۳
	۳	۷۴,۳۲	۹۳,۳۴
	۴	۹۴,۲۲	۱۱۷,۵۸
	۵	۱۱۴,۲۳	۱۳۴,۳۵
پتروشیمی شیراز– فناوری چهارم F1P2	۰	۲۴,۱۶	۱۵
	۱	۴۳,۵۱	۳۸,۰۹
	۲	۶۶,۱۸	۷۴,۳۸
	۳	۸۸,۸۹	۱۱۳,۳۹
	۴	۱۰۸,۹۴	۱۳۹,۵۱
	۵	۱۲۷,۹۲	۱۵۸,۰۶

O_t = مقدار واقعی برای کارکرد مربوطه در دوره t

$\bar{O}$ = میانگین مقادیر واقعی برای کارکرد مربوطه

S_t = مقدار حاصل از شبیه‌سازی برای کارکرد مربوطه در دوره t

$\bar{S}$ = میانگین مقادیر حاصل از شبیه‌سازی برای کارکرد مربوطه

n = تعداد دوره‌ها (در اینجا ۵ سال است)

ضریب تعیین ابزاری آماری (R^2) برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. هرچه این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد، آن دو متغیر دارای همبستگی بیشتری است و مدل اعتبار بیشتری دارد. همانطورکه درصد میانگین مطلق خطا نشان می‌دهد، هرچه مقدار این شاخص به صفر نزدیکتر باشد، مدل دارای اعتبار بیشتری می‌باشد (شکل‌های (۲۵)، (۲۶)، (۲۷) و (۲۸)).

با توجه به شکل‌ها، ضرایب تعیین (R2) بیشتر از ۸۵٪ می‌باشند، که می‌توان نتیجه گرفت که مدل دارای اعتبار مطلوبی است و همچنین درصدهای میانگین مطلق خطا کمتر از ۱۰٪ می‌باشند، که واگرایی و خطای نظام‌مند کمی را نشان می‌دهد.

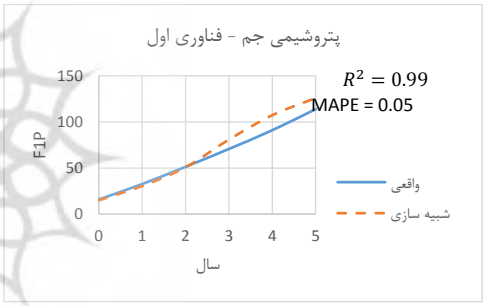
۴-۳- سناریوهای بهبود

از نتایج بخش اعتبارسنجی مشخص گردید که مدل معتبر است و نتایج پنج سال اول مدل شرکت‌های

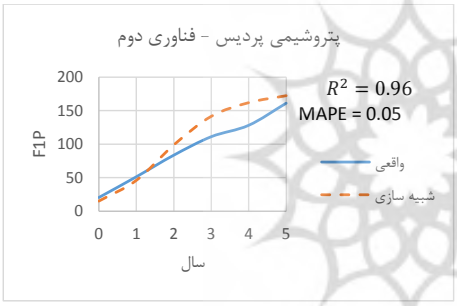
پتروشیمی با واقعیت خود تطابق دارند. حال هدف این بخش ارائه سیاست‌هایی به منظور بهبود عملکرد صنعت پتروشیمی (اعم از تسریع انتقال بین موتورها و بهبود سود کل صنعت) می‌باشد.

شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران را می‌توان یکی از مهمترین ارکان این صنعت و قلب تپنده آن دانست. استفاده از این تعبیر به این دلیل است که شرکت یادشده مسئول سیاستگذاری، برنامه‌ریزی درباره توسعه ظرفیت و زیرساخت و در نهایت جهت‌دهی به شرکت‌های زیرمجموعه این صنعت در زمینه‌های تولید، فروش، توزیع و صادرات محصولات پتروشیمی است.

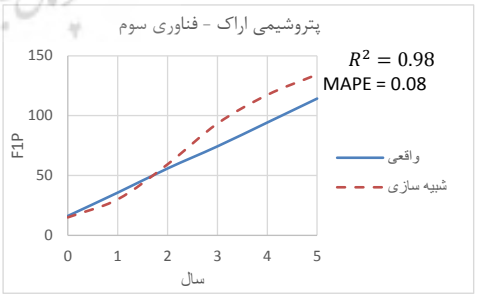
بدین منظور در این پژوهش، سیاستی در نظر گرفته شده است که در آن، صنعت به منظور تسریع سوئیچ موتورهای نوآوری خود، به شرکت‌های پتروشیمی خود پاداش می‌دهد تا بتوانند ظرفیت‌ها، طیف محصولات تولیدی و حوزه تحقیق‌وتوسعه و فناوری را توسعه و گسترش دهند. این پاداش‌ها بستگی به موتوری دارد



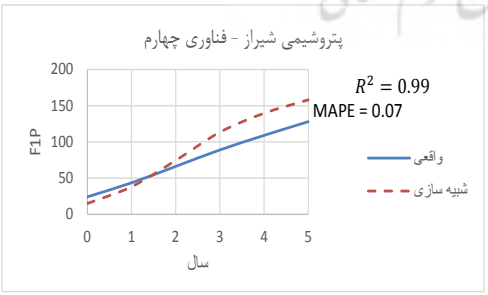
شکل (۲۵): اعتبارسنجی مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت جم



شکل (۲۶): اعتبارسنجی مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت پردیس



شکل (۲۷): اعتبارسنجی مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت شازند اراک



شکل (۲۸): اعتبارسنجی مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت شیراز

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

که صنعت در آن قرار گرفته و باید کارکرد کلیدی آن موتور تحریک گردد تا زمان سوئیچ موتور تسریع گردد. بنابراین با توجه به مدل ارائه شده در شکل (۲۹) صنعت، ۴ سناریو پاداش را بین شرکت‌های پتروشیمی تقسیم می‌کند.

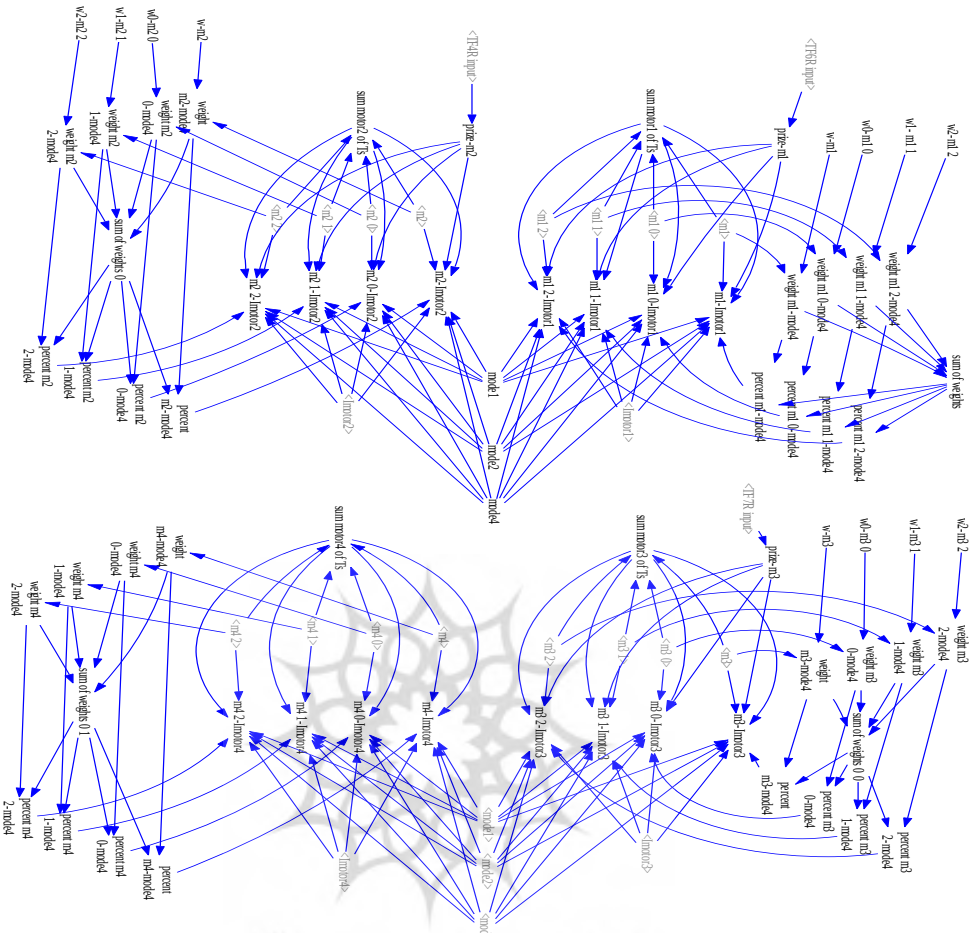
در سناریو اول، منابع به صورت یکسان بین موتورهای موثر فناوری‌ها به منظور تسریع زمان فعالیت موتورها تخصیص می‌یابد. در سناریو دوم، منابع به صورت یکسان بین موتورهای غیرموثر فناوری‌ها تخصیص داده می‌شود. در سناریو سوم، منابع به صورت یکسان بین موتورهای موثر و غیرموثر فناوری‌ها تقسیم می‌گردد. در نهایت در سناریو چهارم، تقسیم منابع بین موتورهای موثر فناوری‌ها با وزن‌های مختلف (به صورتی که بیشترین اثر را در تسریع سوئیچ موتورهای پیشران داشته باشد) صورت می‌گیرد. نتایج حالت‌های گفته شده از مدل، در جدول (۹) خلاصه شده‌اند.

سناریو اولیه در جدول (۹)، عدم تخصیص منابع بین موتورهای نوآوری است. با توجه به نتایج این جدول، سناریوی دوم بیشترین سود را برای صنعت ایجاد می‌کند اما موتورهای نوآوری آن نتوانسته‌اند چرخه عمر نوآوری صنعت را تکمیل نمایند. از طرف دیگر نتیجه سناریوی چهارم، نشان‌دهنده سود بیشتر برای صنعت و نیز تکمیل چرخه عمر نوآوری با سوئیچ سریع موتورهای نوآوری صنعت می‌باشد. در نتیجه می‌توان سناریوی چهارم را به عنوان بهترین سناریو به منظور بهبود عملکرد صنعت پتروشیمی در نظر گرفت.

در نهایت و با توجه به شکل (۳۰)، مقایسه‌ای بین سود کل کارآفرین در صنعت پتروشیمی بر اساس مقادیر واقعی، نتایج شبیه‌سازی مدل پایه و نتایج حاصل از سناریوی چهارم صورت می‌گیرد. همانطورکه ملاحظه می‌شود تا سال پنجم، مقادیر واقعی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل تا حد زیادی مطابقت دارد که اعتبار کافی مدل را نشان می‌دهد. از آنجاکه مقادیر واقعی سود کارآفرین برای ۵ سال اول موجود است، لذا نتایج حاصل از مدل پایه برای سال پنجم به بعد، جنبه پیش‌بینی خواهد داشت. مطابق شکل (۳۰)، نتایج حاصل از پیش‌بینی سناریوی چهارم از مدل پایه، عملکرد بهتری دارد که در نتیجه سود کل کارآفرین در صنعت از طریق این سناریو افزایش خواهد یافت.

۵- جمع‌بندی

در سال‌های اخیر، سیاست‌گذاری علم و فناوری و توجه به مسائل حوزه نوآوری مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است، به نحوی که رشد چشمگیری را در پژوهش‌های این حوزه مشاهده می‌شود. نظام‌های نوآوری به طور کلی به ۴ بخش نظام نوآوری ملی، منطقه‌ای، بخشی و فنی تقسیم می‌شود که این پژوهش بر روی رویکرد ترکیبی نظام نوآوری فنی- بخشی در حوزه صنعت پتروشیمی ایران و شرکت‌های آن متمرکز گردیده است. هدف پژوهش حاضر استفاده از کارکردها و موتورهای نوآوری به منظور ایجاد

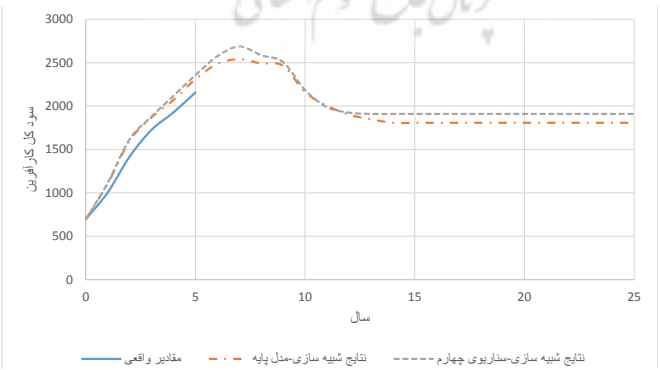


شکل (۲۹): مدل سیاست‌گذاری

جدول (۹) مدت دوره روشن ماندن موتورهای پیشران صنعت

موتور صنعت / حالت‌ها	موتور۱	موتور۲	موتور۳	موتور۴	سود کل صنعت (واحد پولی)
اولیه	۴-۱	۱۱-۵	۱۸-۱۲	۲۲-۱۹	۴۹۲۲,۵۸
سناریو اول	۴-۱	۹-۵	۱۸-۱۰	۲۲-۱۹	۵۱۸۷,۱
سناریو دوم	۴-۱	۵ به بعد	خاموش	خاموش	۵۹۶۹,۳
سناریو سوم	۴-۱	۹-۵	۱۶-۱۰	۲۲-۱۷	۵۲۹۳,۳۱
سناریو چهارم	۴-۱	۹-۵	۱۲-۱۰	۲۲-۱۳	۵۳۷۲,۵۴

رویکرد ترکیبی نظام نوآوری فنی- بخشی می‌باشد و این امر یکی از نوآوری‌های پژوهش حاضر محسوب می‌گردد. تفاوت این پژوهش با پژوهش‌های پیشین، در سطح پیچیدگی و پویایی بیشتر آن است. همچنین نوآوری دیگر این مقاله که آن را از سایر پژوهش‌های این حوزه متمایز می‌سازد، سوئیچ پویای بین موتورها در مدل می‌باشد که عملاً برای نخستین بار به آن پرداخته شده و قابلیت پشتیبانی از تصمیمات را به مدل بخشیده است. به علت پیچیدگی بسیار بالای اجزا و روابط بین آن‌ها در یک نظام نوآوری فنی- بخشی، در این پژوهش از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها به منظور مدل‌سازی استفاده شده است. رویکرد پویایی‌های سیستمی، یک رویکرد نظام‌مند و کل‌نگر می‌باشد که قابلیت مدل‌سازی روابط غیرخطی و تأخیری را داراست، بنابراین برای استفاده در این پژوهش بسیار مفید می‌باشد. همچنین در این مقاله، ارتباط بین موتورها و مراحل دوره عمر نوآوری به صورت پویا مدل‌سازی شده تا نتایج بدست آمده به واقعیت نزدیکتر شوند. همچنین از دیگر نکات قابل توجه مقاله، درنظر گرفتن یکپارچه و جامع تمام موتورها در یک مدل می‌باشد که یکی پس از دیگری فعال شده و چرخه عمر را تکمیل می‌کنند. در نهایت نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل، نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب آن و قابل اعتماد بودن نتایج بدست آمده می‌باشد. همانطورکه بیان گردید، اعتبارسنجی مدل از طریق مقایسه مقادیر واقعی ۵ ساله با نتایج شبیه‌سازی صورت گرفت. بنابراین مدل پیشنهادی، نتایج برای سال‌های آتی (از سال پنجم به بعد) را پیش‌بینی می‌کند. تحلیل حساسیت مدل بر مولفه‌های کلیدی آن از جمله زمان سوئیچ بین موتورها صورت گرفته و در ادامه ۴ سناریو به منظور بهبود عملکرد صنعت پتروشیمی پیشنهاد شده است. این ۴ سناریو مربوط به طریقه پاداش‌دهی صنعت به شرکت‌های خود می‌باشد. بررسی نتایج سیاست‌های پیشنهادی، نشان‌دهنده آن است که سناریوی چهارم، بهترین عملکرد را در صنعت خواهد داشت. همانطور که پیش‌تر ذکر گردید این سناریو مربوط به تقسیم منابع با وزن‌های مختلف بین آن شرکت‌های پتروشیمی است که موتورهای آنها بیشترین تاثیر را در تسریع سوئیچ



شکل (۳۰): مقایسه سود کل کارآفرین در صنعت (مقادیر واقعی، مدل‌سازی و سناریوی سوم)

موتورهای پیشران صنعت دارند. این سناریو، همراه با نتایج شبیه‌سازی مدل پایه و همچنین مقادیر واقعی از سود کارآفرین در شکل (۳۰) مقایسه گردیده‌اند. هچنین از طریق این شکل می‌توان به اعتبار مدل در ۵ سال اول و بهتر بودن سناریوی چهارم پی برد. نتایج حاصل از سناریوها به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا با دقت بیشتری تصمیم‌گیری نمایند و نتایج حاصل از سیاست‌های پیشنهادی را پیش از اعمال آن و به کمک شبیه‌سازی مشاهده و در صورت لزوم تغییراتی را در سیاستهای خود ایجاد کنند.

در این پژوهش شروع فعالیت تمام فناوری‌های شرکت‌های پتروشیمی بصورت همزمان در نظر گرفته شده است که می‌توان آن را بصورت غیرهمزمان مدل کرد. به عبارت دیگر ورود هر فناوری نوظهور می‌تواند در هر دوره‌ای رخ دهد. بخشی که در این پژوهش به آن پرداخته شد مرتبط با بخش پتروشیمی است که با ترکیب این بخش با سایر بخش‌های پتروشیمی خلیج فارس می‌توان مدل نظام نوآوری منطقه‌ای را تدوین کرد. با توجه به مطالعه موردی، صنعت پتروشیمی، می‌توان کارکردهای این صنعت را با صنایع دیگر کشور تجمیع کرد و مدل نظام نوآوری ملی را برای کشور ارائه کرد. می‌توان تعداد فناوری‌های نوآورانه بیشتری را برای مدل نظام نوآوری فنی-بخشی در نظر گرفت، که باید پیچیدگی ناشی از مقیاس تحلیل گردد.

۶- منابع References

Azad, S., Pour, H. G. & Roshannafasa, F. 2013. Introduction to Techno-Sectoral Innovation System Modeling and Functions Formulating. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, Volume 7, pp. 3167-3172.

Bergek, A., Hekkert, M. & Jacobsson, S. 2008a. Functions in innovation systems: A framework for analysing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by entrepreneurs and policy makers. Innovation for a low carbon economy: economic, *institutional and management approaches*, Volume 79.

Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S. & Rickne, A. 2008b. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research policy*, Volume 37, pp. 407-429.

Breschi, S. & Malerba, F. 1997. Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. Systems of innovation: *Technologies, institutions and organizations*, pp. 130-156.

Carlsson, B. & Stankiewicz, R. 1991. On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of evolutionary economics*, Volume 1, 93-118.

Cooke, P. 1992. Regional innovation systems: competitive regulation in the new Europe. *Geoforum*, Volume 23, pp. 365-382.

Cooke, P., Uranga, M. G. & Etxebarria, G. 1997. Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research policy*, Volume 26, pp. 475-491.

Edquist, C. 1997. Systems of innovation: *technologies, institutions, and organizations*, Psychology Press.

Forrester, J. 1961. W.(1961). Industrial Dynamics. Cambridge: MIT Press.

Forrester, J. 1968. Principles of System. Cambridge, Mass: Productivity Press.

Freeman, C. 1987. Technical innovation, diffusion, and long cycles of economic development. *The long-wave debate*. Springer.

Hassanzadeh, E., Zarghami, M. & Hassanzadeh, Y. 2012. Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling. *Water Resources Management*, Volume 26, pp. 129-145.

Hekkert, M. P., Suurs, R. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S. & Smits, R. E. 2007. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological forecasting and social change*, Volume 74, pp. 413-432.

Hjorth, P. & Bagheri, A. 2006. Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. *Futures*, Volume 38, pp. 74-92.

Hu, M.-C. & Hung, S.-C. 2014. Taiwan›s pharmaceuticals: A failure of the sectoral system of innovation? *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 88, pp. 162-176.

Iyer, C. G. 2016. Impact of entrepreneur on the sectoral system of innovation: Case study of the Indian crude oil refining industry. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 102, 102-111.

Jenson, I., Leith, P., Doyle, R., West, J. & Miles, M. P. 2016. Innovation system problems: Causal configurations of innovation failure. *Journal of Business Research*.

Johnson, A. 2001. Functions in innovation system approaches. Nelson and Winter Conference, Aalborg, Denmark.

Kreng, V. B. & Wang, B. J. 2013. An innovation diffusion of successive generations by system dynamics—An empirical study of Nike Golf Company. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 80, pp. 77-87.

Lundvall, B.-A. 1992. National innovation system: towards a theory of innovation and interactive learning. *Pinter*, London.

Malerba, F. 2002. Sectoral systems of innovation and production. *Research policy*, Volume 31, pp. 247-264.

Malerba, F. 2005. Sectoral systems of innovation: a framework for linking innovation to the knowledge base, structure and dynamics of sectors. *Economics of innovation and New Technology*, Volume 14, pp. 63-82.

Negro, S. O., Hekkert, M. P. & Smits, R. E. 2007. Explaining the failure of the Dutch innovation system for biomass digestion—a functional analysis. *Energy policy*, Volume 35, pp. 925-938.

Nelson, R. R. 1993. *National innovation systems: a comparative analysis*, Oxford university press.

Piirainen, K. A., Koria, M., CA, T. N., Wangwe, S., Wennberg, M., Lemola, T., Junttila, P., Pyrhönen, E. & Salmenhaara, K. 2016. An analysis of the drivers for emerging sectoral innovation systems in developing economies: cases Tanzania and Vietnam (ESIS): ESIS policy brief.

Reichardt, K., Negro, S. O., Rogge, K. S. & Hekkert, M. P. 2016. Analyzing interdependencies between policy mixes and technological innovation systems: The case of offshore wind in Germany. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 106, pp. 11-21.

Samara, E., Georgiadis, P. & Bakouros, I. 2012. The impact of innovation policies on the performance of national innovation systems: A system dynamics analysis. *Technovation*, Volume 32, pp. 624-638.

Sterman, J. D. 2000. *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, Irwin/Mc-Graw-Hill Boston.

Suurs, R. A. 2009. *Motors of sustainable innovation: Towards a theory on the dynamics of technological innovation systems*, Utrecht University.

Suurs, R. A. & Hekkert, M. P. 2009. Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: The case of biofuels in the Netherlands. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 76, pp. 1003-1020.

Suurs, R. A., Hekkert, M. P. & Smits, R. E. 2009. Understanding the build-up of a technological innovation system around hydrogen and fuel cell technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 34, pp. 9639-9654.

Tigabu, A. D., Berkhout, F. & Van Beukering, P. 2015. Technology innovation systems and technology diffusion: Adoption of bio-digestion in an emerging innovation system in Rwanda. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 90, pp. 318-330.

Walrave, B. & Raven, R. 2016. Modelling the dynamics of technological innovation systems. *Research Policy*.

Walz, R., Köhler, J. H. & Lerch, C. 2016. Towards modelling of innovation systems: An integrated TIS-MLP approach for wind turbines. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI).

Wieczorek, A. J. & Hekkert, M. P. 2012. Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy*, Volume 39, pp. 74-87.

Wieczorek, A. J., Hekkert, M. P., Coenen, L. & Harmsen, R. 2015. Broadening the national focus in technological innovation system analysis: The case of offshore wind. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Volume 14, pp. 128-148.

Wieczorek, A. J., Negro, S. O., Harmsen, R., Heimeriks, G. J., Luo, L. & Hekkert, M. P. 2013. A review of the European offshore wind innovation system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 26, pp. 294-306.

ترکمان، ا. ۱۳۸۹. ارائه الگوی نظام نوآوری بخشی مناسب در صنایع هوایی ایران. چهارمین کنفرانس مدیریت تکنولوژی، تهران، انجمن مدیریت تکنولوژی ایران.

قدسی‌پور، ح.، آزاد، س. و روشن‌نفس، ف. ۱۳۹۲. مدل‌سازی نظام نوآوری فنی- بخشی با رویکرد پویایی سیستم‌ها(موردکاوی:صنعت نرم‌افزار). دهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

محمدی، م.، طباطبائیان، س. ا.، الیاسی، م. و روشنی، س. ۱۳۹۲. تحلیل مدل شکلگیری کارکردهای نظام نوآوری فناورانه نوظهور در ایران؛ مطالعه موردی بخش نانوفناوری. فصلنامه علمی-پژوهشی سیاست علم وفناوری.

پیوست

۱- معرفی شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران

شرکت ملی پتروشیمی ایران یکی از چهار شرکت مادر تخصصی حوزه نفت کشور است که متولی اداره صنعت پتروشیمی ایران می‌باشد و سایر شرکت‌های پتروشیمی به گونه‌ای زیرمجموعه و در ارتباط با آن، فعالیت می‌کنند. پتروشیمی به‌عنوان یکی از بخش‌های اصلی صنعت کشور، طلایه‌دار ایجاد ارزش افزوده در منابع نفت و گاز است. این صنعت به عنوان دارنده مقام اول صادرات نفتی در جهت شکوفایی اقتصادی کشور، توسعه پایدار و ایجاد اشتغال و غیره نقش اساسی را برعهده دارد. عمده‌ترین مزایای این صنعت در ایران، تنوع خوراک، دسترسی به آبهای ازاد و نیروی انسانی متخصص می‌باشد. فعالیت پتروشیمی در سال ۱۳۴۲ با بهره‌برداری از واحد تولید کود شیمیایی شرکت پتروشیمی شیراز آغاز شد و متعاقب آن، در سال ۱۳۴۳ شرکت ملی صنایع پتروشیمی با مالکیت دولت و تحت پوشش شرکت ملی نفت ایران تاسیس گردید. اجرای پروژه‌های متعدد، طی برنامه‌های توسعه باعث رشد قابل توجه تولید محصولات پتروشیمی‌گردید، که در نتیجه آن ظرفیت تولید محصولات پتروشیمی از ۵,۲ میلیون تن در سال ۱۳۷۶ به حدود ۵۹,۱ در انتهای سال ۱۳۹۴ افزایش یافت. این صنعت محصولات خود را از نفت خام یا گاز طبیعی تولید می‌کند. همچنین مدل پیشنهادی این پژوهش برای شرکت‌هایی از این صنعت بکار گرفته می‌شود. این شرکت‌ها عبارتند از: پتروشیمی جم، پتروشیمی پردیس، پتروشیمی خارک، پتروشیمی اراک، پتروشیمی شیراز و پتروشیمی کرمانشاه.

۲) روابط موجود در مدل نظام نوآوری فناورانه شرکت پتروشیمی جم

F1 P input = AV*(0.3*F1 K input + (F1 R output)*(m1+0.5*m2+0.3*m3+m4)) (۳)

F23 K input = AV*(F23 R output)*(m1+m2) (۴)

(۵)

F4 K input = (DELAY1I(0.5*F1 K input , 2, 0) + 0.8*F23 K input + AV*0.4*F4 R output)*m1 + (DELAY1I(0.5*F1 K input , 2,0) + AV*F4 R output)*m2 + (0.5*F7 K input + AV*F4 R output)*m3 + (AV*F4 R output)*m4

F5 R input = ((F5 K input)*(0.5*m2 + 0.5*m3 + 0.2*m4) + 2*F5 P output*m4)*AV (۶)

F6 R input = F6 K input*(m1 + m2 + m3 + m4)*AV + delayloan (۷)

F7 K input = (m2 + m3)*AV*F7 R output (۸)

1. Innovation System Approach
2. Technological Innovation System (TIS)
3. Sectoral Innovation System (SIS)
4. Techno-Sectoral Innovation System (TSIS)
5. System Dynamics (SD)
6. Switch
7. National Innovation System (NIS)
8. Regional Innovation System (RIS)
9. Tigabu et al.
10. Bio-digestion
11. Rwanda
12. Longitudinal methodology
13. Sustainability transitions
14. Event-history analysis
15. Multi-level-perspective (MLP) approaches
16. TIS-MLP approach
17. Transition pathways
18. multi-level-framework
19. event-history analysis
20. White box
21. Black box
22. System Dynamics
23. Reinforcing Loop
24. Balancing Loop
25. IThink
26. Powersim
27. Vensim
28. Stella
29. Vensim
30. Box
31. Feedback loop
32. Self-reinforcing feedback loops
33. Coefficient of Determination
34. Mean Absolute Percent Error (MAPE)