

مدل‌سازی نظام نوآوری فنی با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها

و تحلیل شاخص‌های کارکردی

نمونه‌کاوی: نوآوری فنی در زمینه توسعه کاتالیست‌ها برای صنعت پتروشیمی ایران

سید محسن آزاد^۱

سیدحسن قدسی‌پور*^۲

چکیده

سیستم‌های نوآوری از مهم‌ترین مسائلی است که به‌طور مستقیم متأثر از سیاست‌های علم‌وفناوری می‌باشد. سیستم‌های نوآوری به سیستم‌های نوآوری فناورانه، بخشی، منطقه‌ای و ملی تقسیم می‌گردند. از ترکیب نظام‌های نوآوری می‌توان به مزایای جدیدی دست یافت. در ایران با توجه به اهمیت صنایع بالادستی صنعت نفت، بخش پتروشیمی زمینه لازم را برای ایجاد ارزش افزوده از نوآوری دارد. با توجه به ساختار مدیریت بخشی، ترکیب سیستم‌های نوآوری فنی و بخشی با محوریت رویکرد فنی برای تحلیل دقیق‌تر شرایط حاکم بر نوآوری در این عرصه مناسب به‌نظر می‌رسد. لذا در این مقاله از روابط معرفی‌شده در نظام نوآوری بخشی برای مدل‌سازی نظام نوآوری فناورانه در مورد یکی از کاتالیست‌های صنعت پتروشیمی ایران استفاده شده است. مدل پیشنهادی با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها توسعه داده شده و نیز با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، رفتار کارکردها طی چرخه عمر نوآوری نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده پیش‌بینی‌کننده وضعیت کارکردهای نظام نوآوری، تحلیل دوره عمر نوآوری و الزامات حاکم بر توسعه فناوری است. این امر نشان از وضعیت رو به توسعه برای فناوری منتخب در نظام نوآوری فنی می‌باشد.

کلمات کلیدی:

نظام‌های نوآوری فنی و بخشی، شاخص کارکردها، موتورهای نوآوری، بازارهای آشیانه‌ای - واسط و انبوه، مدل‌سازی پویایی‌شناسی سیستم‌ها

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

۲. عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ghodsypo@aut.ac.ir

۱- مقدمه

در دو دهه گذشته، فاصله بین علوم، پژوهش و سیاست‌گذاری فناوری با دیدگاه فنی اقتصادی و نوآوری، ایجاد و پایداری گذار با رویکرد فنی اجتماعی، کم‌رنگ شده‌است و در نتیجه، یک رویکرد جامع براساس اقتصاد تطوری به نام «نظام نوآوری»^۱ در ادبیات پدید آمده‌است. ادکوئیست^۲ (۱۹۹۷) نظام نوآوری را به‌عنوان تمام زمینه‌های مهم اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، سازمانی و غیره که بر توسعه، انتشار و استفاده از نوآوری‌ها تعریف می‌کند.

ادبیات این رویکرد که در اواخر سال ۱۹۹۰ مطرح شده‌است و در دهه‌های اخیر پیشرفت کرده‌است، چهار رویکرد سیستم‌های نوآوری را تعیین می‌کند: ملی^۳، منطقه‌ای^۴، بخشی^۵ و فنی^۶ (کارلسون و استانکوویچ^۷، ۱۹۹۱؛ کوکه^۸ و همکاران، ۱۹۹۷؛ فریمن^۹، ۱۹۹۵). شناخت، ارزیابی و تحلیل نظام‌های نوآوری ملی، منطقه‌ای، بخشی و فنی زمینه‌های فراوانی را جهت پژوهش‌های پژوهشگران در علوم اقتصادی و اجتماعی، مدیریت، مهندسی سیستم‌ها و سیاست‌گذاری علم و فناوری فراهم نموده‌است.

در این راستا مبانی نظری علمی مبحث نظام نوآوری فناورانه به کمک می‌آید و آن را در راستای آسیب‌شناسی علمی و یادگیری در جهت تشخیص شرایط هر یک از فناوری‌های مربوطه و ارائه تصمیم درست در تحریک کارکرد کلیدی از موتور پیشران متناسب یاری می‌نماید.

با توجه به شباهت مفهوم، ابزار و روش‌ها در ادبیات، رویکردهای بخشی و فنی در یک خوشه و رویکردهای ملی و منطقه‌ای در خوشه دیگر قرار می‌گیرند. از این‌رو، به نظر می‌رسد که منافع استفاده از هر دو این رویکردهای بخشی و فنی می‌تواند مفید باشد و روابط بین آن‌ها ارزش بررسی را دارد. این، دلیل اصلی برای تفکر این ادغام نیست علت مهم‌تر، استفاده از تسهیلات مواجهه با موانع، مکانیزم‌های تضعیف‌کننده و سیاست‌های بهتر برای بهبود شرایط عملکرد است.

در این مقاله علاوه بر استفاده از دو رویکرد TIS به‌عنوان رویکرد اصلی و SIS به‌عنوان رویکرد

-
- 1 . Innovation System (IS)
 - 2 . Edquist
 - 3 . National Innovation System (NIS)
 - 4 . Regional Innovation System (RIS)
 - 5 . Sectoral Innovation System (SIS)
 - 6 . Technological Innovation System (TIS)
 - 7 . Carlsson & Stankiewicz
 - 8 . Cooke
 - 9 . Freeman

مکمل، از دو مفهوم نزدیک دیگر به‌نظام نوآوری بهره گرفته شده‌است. این دو مفهوم، مدیریت گذار^۱ (راشمایر^۲ و همکاران، ۲۰۱۵) شامل بازارهای آشیانه‌ای، واسط و انبوه، و همچنین نگرش چند سطحی^۳ (هرمانز و همکاران^۴، ۲۰۱۳) با عناصر آشیانه، رژیم و محیط کلان می‌باشند. این پژوهش، برخی از مفاهیم خود را از کرن^۵ (۲۰۱۲) برای نگاشت چرخه عمر نوآوری با مراحل گذار برداشت می‌کند و رابطه بین بخش و فناوری‌های آن را با نگرش چند سطحی ارائه می‌دهد. بدین منظور، مدل سازی رویکرد TIS همراه با نگاشت TM با فازهای چرخه عمر نوآوری، موجب پیچیدگی روابط و غیرخطی شدن آن‌ها شده‌است.

روش‌های مورد اشاره با تأکید بر TIS و موتورهای پیشران فناوری عموماً برای فناوری‌های نوظهور مورد استفاده قرار می‌گیرد اما با توجه به سیستم‌های نوآوری و بهره‌گیری نظریه پردازان موتورهای فناوری نظیر هکرت و سورس از این رویکرد در تحلیل فناوری‌ها و نوآوری‌های مختلف از جمله بهره‌برداری از گاز طبیعی به‌عنوان سوخت خودروها (باقری‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۵؛ سورس و همکاران، ۲۰۰۹) که قدمتی از دهه ۷۰ میلادی دارد و همچنین تغییرات نسل به نسل فناوری‌ها در یک حوزه ویژه مانند سوخت خودرو یا کاتالیست‌های صنعت نفت نویسندگان را بر آن داشت تا در این مقاله نسبت به بهره‌گیری از این رویکرد در تحلیل و مدل‌سازی سیر رشد نسل جدید فناوری تولید کاتالیست‌ها در صنعت پتروشیمی اقدام نمایند. در واقع مسئله این تحقیق مدل‌سازی سیستم نوآوری جهت تحلیل وضعیت موجود با استفاده از شاخص‌های کارکردی و همچنین شبیه‌سازی آینده مورد انتظار برای این فناوری در صنعت پتروشیمی با رویکرد تحلیل دوره عمر و موتورهای پیشران نوآوری نظیر می‌باشد. همچنین، در این مقاله شاخص‌های کارکردی نظام نوآوری مطرح در ادبیات فرموله و تدوین شده‌اند. موتورهای نظام نوآوری از طریق شاخص‌های کارکردی فعال خود شناسایی شده و با سه بازار هدف مطرح در الگوی مدیریت گذار و همچنین فازهای چرخه عمر نوآوری انطباق یافته‌اند و در نهایت، مدل‌سازی برای حوزه‌هایی از صنعت پتروشیمی ایران و با استفاده از مفاهیم و روش‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها، صورت گرفته‌است. در نهایت با اعتبارسنجی مدل و استخراج نتایج مربوط به کارکردهای نظام نوآوری، می‌توان به الزامات سیستم مورد نظر به‌منظور بهبود عملکرد آن پی برد.

-
- 1 . Transition Management (TM)
 - 2 . Rauschmayer et al., 201
 - 3 . Multilevel perspective (MLP)
 - 4 . Hermans et al.
 - 5 . Kern

۲- مرور ادبیات

۲-۱- نظام نوآوری

همانطور که بیان شد، سیستم نوآوری بیش از دو دهه پیش با کارهای صورت گرفته توسط فریمن (۱۹۸۷)، لاندوال (۱۹۹۲) و نلسون (۱۹۹۳) به وجود آمده است. سیستم نوآوری، چارچوبی به منظور فهم و مدیریت پیچیدگی فرآیندهای نوآوری و همچنین فهم شرایط و اقدامات ضروری برای نوآوری موفق تعریف می کند (ادکوئیست، ۱۹۹۷). در بیست سال اخیر، رویکردهای سیستم نوآوری بسیاری ظهور کرده اند. با وجود اینکه این رویکردها شباهتهایی را دارا هستند، ولی هر یک بر جنبه های مختلف سیستم نوآوری تأکید دارند. رویکردهای سیستم نوآوری شامل سیستم نوآوری ملی، سیستم نوآوری منطقه ای، سیستم نوآوری بخشی و سیستم نوآوری فناورانه می باشند.

TIS از انواع مهم سیستم های نوآوری بوده که نه تنها می تواند تأثیر قابل توجهی بر روی سازمان ها و عملکرد آن ها داشته باشد بلکه می تواند عامل اصلی در درک قابلیت های پویای سازمان نیز باشد. هر سیستم نوآوری فناورانه، شامل سه جنبه است: «ساختار»، «کارکرد» و «موتور» (سورس و همکاران^۱، ۲۰۰۹). ساختار نظام نوآوری فناورانه شامل شبکه ای از بازیگران، تعاملات، نهادها و زیرساخت ها می باشد (ویکزورک و هکرت^۲، ۲۰۱۲). همچنین هر سیستم نوآوری شامل ۷ کارکرد می باشد: فعالیت های کارآفرینانی، توسعه دانش، انتشار دانش، جهت دهی به تحقیقات، شکل گیری بازار، بسیج منابع، ایجاد مشروعیت. به طور کلی، مرحله شکل گیری یک سیستم نوآوری شامل: خلق دانش و پژوهش، تبدیل دانش به محصولات و کارآفرینی؛ جهت دادن به نهادهای منسجم مدیریتی و شکل گیری بازار می باشد (ویکزورک و همکاران^۲، ۲۰۱۳).

سیستم نوآوری بخشی که جنبه دیگری از IS می باشد، شامل سه عنصر اصلی دانش و فناوری، بازیگران و شبکه ها و نهادها است (مالربا^۳، ۲۰۰۵). در پژوهشی که توسط مالربا (۲۰۰۵) صورت گرفته است، چارچوبی به منظور ارزیابی عوامل مؤثر بر نوآوری در بخش ها پیشنهاد گردیده است. از سویی دیگر، براساس دیدگاه های بنیان گذار رویکرد بخشی (مالربا، ۲۰۰۲)، چهار زمینه می تواند برای شکل گیری این رویکرد در نظر گرفته شود:

- 1 . Suurs et al.
- 2 . Wiczorek & Hekkert
- 3 . Wiczorek et al.
- 4 . Malerba

۱. توجه ویژه به تکامل بخشی: چرخه عمر صنعت، تحلیل توسعه یافته از تکامل بلندمدت بخش
 ۲. تمرکز بر روابط و وابستگیها و حاشیههای بخش: مرزهای پویای تولید و خدمت با توجه به
 رشد نوآوری.

۳. رویکرد سیستم نوآوری: توجه به بازیگران، ساختارها، کارکردها و فرایندهای جمعی نوآوری

۴. چارچوب تکاملی: با توجه به تکامل علمی و اقتصادی و همکاری شرکت‌های ناهمگن

پژوهش ورث و مارکارد^۱ (۲۰۱۱) با در نظر گرفتن مرزهای بخشی و فناوریهای یک بخش، و با استفاده از مزایای TIS گسترش یافته، فناوریهای مؤثر بر یک IS را در زمینه انرژی ارزیابی می‌کند. پژوهش موزیولیک و مارکارد^۲ (۲۰۱۱) یک سیستم نوآوری فناورانه را با تمرکز بر روابط، تعاملات و شبکه، در دنیای واقعی ایجاد می‌کند و پژوهش دولاتا^۳ (۲۰۰۹) با تمرکز بر ابعاد فنی و اجتماعی SIS، و بر اساس تعاملات بین سیستم‌های فنی و بخشی، یک چارچوب تحلیلی مربوط به سیستم بخشی را ارائه کرده است. همچنین پژوهش جیلز^۴ (۲۰۰۴) که رویکردهای تکاملی و نیمه تکاملی را پیوند می‌دهد، ابعاد اجتماعی و فنی در SIS را بررسی می‌کند.

۲-۲- بهره‌گیری از مزایای سیستم‌های نوآوری بخشی در تحلیل نوآوری فناورانه

با توجه به تمام مزایای استفاده از رویکرد TIS، توجه بیش از حد به عوامل ساختاری و شرایط داخلی سیستم یکی از معایب آن است. علاوه بر این، ادبیات SIS، در منابع مالربا (۲۰۰۲)، جیلز (۲۰۰۴) و دولاتا (۲۰۰۹)، قادر نیست تا مانند رویکرد فنی که با جزئیات روبه‌رو است، توسعه یابد. با این حال، توانایی‌ها و ظرفیت‌های کلیدی وجود دارند که در این رویکرد نمی‌باشند.

مالربا (۲۰۰۲) بیان کرد که در سیستم بخشی، روابط به پنج گروه طبقه‌بندی می‌شود: ۱. تبادل ۲. ارتباط ۳. دستور ۴. رقابت ۵. همکاری. در واقع، به وضوح می‌توان نشان داد که «روابط» در این رویکرد، بیش از «بازیگران» و زیرساخت مورد توجه قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، آدامز و همکاران^۵ (۲۰۱۳) نقش حیاتی تقاضا و بازار را ذکر کرده‌اند، و در واقع، آن‌ها به‌طور جدی تحریک تقاضا را به‌عنوان عامل مؤثر در سیستم نوآوری معرفی می‌کنند.

1 . Wirth & Markard

2 . Musiolik & Markard

3 . Dolata

4 . Geels

5 . Adams et al.

فابر و هوپ^۱ (۲۰۱۳) چهار بعد سیستم بخشی را پیشنهاد کرده‌اند: تعاملات و شبکه‌ها، نهادها و مقررات، تقاضای بازار و رژیم فناوریانه. در واقع، چیزی که به‌ندرت در رویکرد فنی ارائه شده‌است، می‌تواند در ۳ بعد اول به تصویر کشیده شود. از این رو به نظر می‌رسد که به همین ترتیب بتوان به مزایای مدل‌سازی و شبیه‌سازی اتکاء کرد و از مزایا و تبیین روابط در رویکرد بخشی به‌منظور تقویت مدل‌سازی در رویکرد فنی بهره گرفت.

۲-۳- شاخص‌های کارکردی

کارکردها، فعالیت‌هایی به‌منظور توسعه، انتشار و استفاده از نوآوری می‌باشند که دانشمندان بسیاری بررسی‌های مفیدی را در این زمینه ارائه داده‌اند و فهرست‌های مختلفی از کارکردهای سیستم ساخته شده‌اند (هکرت و همکاران^۲، ۲۰۰۷؛ نگرو و همکاران، ۲۰۱۲؛ برگک و همکاران، ۲۰۰۸؛ سورس و همکاران، ۲۰۰۹). در ادامه، خلاصه‌ای از ویژگی و تعاریف کارکردها با رویکرد هکرت آورده شده‌است.

جدول ۱- انواع کارکردها (هکرت و همکاران، ۲۰۰۷)

تعاریف	کارکرد
کارآفرینی یکی از وظایف مهم است. در واقع، نقش خود را به تبادل علوم، شبکه‌ها و بازارهای بالقوه را به یک فناوری جدید پدید آمده‌است.	فعالیت‌های کارآفرینی (F _۱)
بخش مهم دیگری از SIS، پژوهش یا خلق دانش، به معنی فرایند یادگیری است.	توسعه دانش (F _۲)
شاخص سوم، نوعی از یادگیری است که دانش را میان بازیگران مختلف یک سیستم نوآوری انتقال می‌دهد. در کل، می‌توان گفت که فرایند انتشار دانش، نیاز به عواملی از قبیل وجود علاقه فراگیر به یادگیری در بین بازیگران، برخورداری از هنجارهای لازم و حتی نزدیکی‌های جغرافیایی و همچنین وجود زبان و فرهنگ مشترک می‌باشد.	انتشار دانش (F _۳)
اگر کارکرد توسعه دانش (F _۲)، تنوع و گسترش فناوری را نشان دهد، کارکرد هدایت پژوهش، فرایند گزینش موضوع مناسب در میان این تنوع است. این انتخاب در تخصیص منابع و به تصویر کشیدن چشم‌انداز توسعه فناوری نوظهور، مهم است. بدون این انتخاب و تنظیم جهت، محدوده گسترده‌ای از خلق دانش، انتشار و فعالیت‌های کارآفرینانه غیرقابل استفاده می‌شود.	جهت‌دهی به سیستم (F _۴)

1 . Faber & Hoppe

2 . Hekkert et al.

تعاریف	کارکرد
در کنار کارکرد کارآفرینی، وجود بازار، یکی از ملزومات توسعه فناوری‌ها می‌باشد. شکل دهی به بازار (F_5) یک بازار امن برای فناوری‌های نوظهور، جز کارکردهای IS به حساب می‌آید.	شکل دهی
فراهم آوردن منابع لازم برای پشتیبانی فعالیت‌های مرتبط با توسعه فناوری اعم از منابع مالی، انسانی، مادی و مکمل، یکی از کارکردهای ضروری یک سیستم نوآوری می‌باشد.	تسهیل و تامین منابع (F_6)
در هر نظام، وجود عواملی چون سرمایه‌گذاری‌ها، وجود منافع مقرر و روندهای شکل یافته، حضور یک فناوری جدید را با چالش‌های جدی مواجه می‌سازد. از سوی دیگر، عملکرد کلیدی اتحادیه‌های پشتیبان، ایجاد محیطی مناسب در نظام موجود به منظور رشد فناوری‌های نوظهور می‌باشد.	مشروعیت بخشی (F_7)

تعاملات کارکردهای مختلف بین یکدیگر در مراحل توسعه فناوری، منجر به ایجاد شتاب در توسعه فناوری می‌شود. این تعاملات که منجر به حاصل شدن حلقه‌های بازخوردی می‌شوند، مجموعه‌ای از موتورهای نوآوری را تشکیل می‌دهند.

۲-۴- موتورها و پیشران سیستم‌های نوآوری

تعاملات میان کارکردها می‌تواند منجر به ایجاد حلقه‌های بسته شوند، و می‌توانند هدفی را به منظور رشد سریع‌تر فناوری نوظهور در چرخه عمر نوآوری دنبال کنند (سورس و هکرت، ۲۰۰۹). سورس (۲۰۰۹)، تلاش کرده است تا رابطه‌ای را بین چرخه عمر نوآوری و هدف مناسب کارکردها ایجاد کنند؛ و در نتیجه حلقه‌های شتاب‌دهنده نوآوری به نام موتورها را معرفی کردند.

در این پژوهش، به منظور تشخیص موتور فعال هر سیستم نوآوری، از شاخص‌های کارکردی که در بخش مدل‌سازی ارائه می‌گردند، استفاده می‌شود. بدین منظور، در هر دوره از چرخه عمر نوآوری که برخی کارکردها فعال هستند، می‌توان با توجه به درگیر بودن آن کارکردها در درون موتورهای نوآوری فهمید که در آن دوره کدام موتور نوآوری فعال است.

جدول ۲- انواع موتورهای نوآوری (سورس، ۲۰۰۹)

موتور	کارکردهای درگیر	توضیحات	نگاشت با مسیر گذار	مدل
موتور علم و فناوری	$F_3 - F_2 - F_1$ $F_6 - F_4 -$	با افزایش فعالیت‌های تحقیقاتی، این موتور منجر به بلوغ فنی فناوری در محیط‌های غیر عملیاتی می‌گردد. در این مرحله، مرکز پژوهشی، نقش اساسی را برای تکمیل این حلقه افزایشی ایفا می‌کند.	فاز پیش توسعه	
موتور کارآفرینی	$F_3 - F_2 - F_1$ $- F_5 - F_4 -$ $F_7 - F_6$	منجر به تبدیل دانش تولیدی به عمل - ایجاد فرصت‌های جدید کسب و کار - در این حالت از سیستم، کارآفرین، نقش اساسی را برای شتاب دادن این حلقه افزایشی دارد	فاز توسعه	
موتور شکل‌دهی به سیستم	$F_5 - F_4 - F_1$ $F_7 - F_6 -$	این موتور در حکم اولین مرحله به صورت ساختاری مؤثرتر سیستم می‌تواند سازمان‌دهی شود، و با ورود به مرحله بازار می‌تواند تسهیل شود.	فاز اوج‌گیری	
موتور بازار	$F_5 - F_4 - F_1$ $F_6 -$	کاسته شدن وابستگی سیستم به نیروها و حمایت‌های خارجی - ایجاد بنیان‌های اولیه بازار فناوری	فاز سرعت‌گیری	

۲-۵- چرخه عمر سیستم نوآوری و مسیر گذار

یکی دیگر از موضوعات مهم در زمینه سیاست‌گذاری سیستم نوآوری، شناخت شرایط سیستم از

منظر چرخه عمر و سطح بلوغ است. از سوی دیگر، ادبیات مدیریت گذار به طور گسترده‌ای به این مفهوم پرداخته است. در این زمینه، بازارهای آشیانه‌ای، واسط و انبوه، به عنوان مسیرهای پیش‌روی فناوری‌های جدید معرفی شده‌اند. با این حال، برخی از این فناوری‌ها، با توجه به فقدان تقاضای مناسب از بین می‌روند، در حالی که دیگران می‌توانند بازارهای کوچک، متوسط و بزرگ را تصرف کنند و به فناوری پایدار و موفق برسند.

با توجه به مفهوم آشیانه‌ای، که بین مدیریت گذار و رویکرد چند سطح مشترک است، فرصت‌هایی در مسیر هم‌گرایی این دو رویکرد ایجاد می‌شوند. بنابراین، پایگاه‌های دیگری از چارچوب نظری این مقاله، براساس رشد، تکامل و چرخه عمر از طریق فرایند تغییر وضعیت موتورهای محرک و فتح بازارهای آشیانه‌ای، واسط و انبوه در بخش بعدی در نظر گرفته شده است.

۲-۶- عوامل موفقیت نظام نوآوری و مکانیزم های تضعیف کننده

در این زمینه، مقالات بسیاری منتشر شده‌اند که عوامل موفقیت و شکست فرآیند توسعه نوآوری را شناسایی می‌کنند. در این پژوهش‌ها، ساختارهای متشکل از بازیگران، تعاملات، نهادها، زیرساخت‌ها، و کارکردها، به عنوان عوامل مهم موفقیت سیستم نوآوری معرفی شده‌اند. در حالی که موانع موفقیت سیستم‌های نوآوری در قالب «مکانیزم تضعیف کننده»^۱ یا «مشکلات سیستمی»^۲ گزارش شده‌اند. در بسیاری از تحقیقات، محققان بر تجزیه و تحلیل عوامل موفقیت و شکست سیستم‌های نوآوری متمرکز بوده‌اند. با این حال، آن‌ها به ندرت قادر به انجام تجزیه و تحلیل و وارد شدن به مرحله طراحی و سیاست گذاری بودند (برگگ و همکاران، ۲۰۰۸).

با این حال، به نظر می‌رسد که شرط برنامه‌ریزی برای بهبود و سیاست گذاری در زمینه نوآوری و فناوری، تحقیقات، تجزیه و تحلیل‌ها و همچنین شناسایی عوامل ساختاری و رفتاری سیستم‌های نوآوری هستند. در واقع، موفقیت یک سیستم نوآوری، بستگی به شناخت آن و سیاست‌های مناسب برای دستیابی به اهداف آن دارد. در این میان، تحقیقات آتی، تمرکز بیشتری را بر عوامل موفقیت و شکست سیستم نوآوری قرار داده‌اند. برگگ و همکاران (۲۰۰۸)، عوامل موفقیت را در قالب ۷ کارکرد و با دو محرک «اعتقاد به رشد» و «سیاست تحقیق و توسعه» ارائه کرده‌اند. همچنین، مکانیزم‌های تضعیف کننده مربوط به هر کارکرد معرفی گردیده‌اند. پس از شناسایی عوامل موفقیت آمیز و

1 . Blocking mechanisms

2 . Systemic problems

مکانیزم‌های تضعیف‌کننده، سیاست‌های مربوط به این عوامل و مکانیزم‌ها مطرح شده‌اند. وبر و روراچر^۱ (۲۰۱۲)، دوازده دلیل شکست فعالیت‌های نوآورانه را در سه گروه عدم موفقیت‌های بازار، ساختار و تحول پیشنهاد کردند که با توجه به مزایای استفاده از ترکیب رویکردهای چند سطحی و سیستم نوآوری می‌باشد. نگرو و همکاران (۲۰۱۲)، عوامل شکست و موانع رشد سریع در سیستم‌های نوآوری را همراه با بررسی دستاوردهای پژوهش از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۲ طبقه‌بندی کردند. ویکزورک و هکرت (۲۰۱۲)، تلاش‌های بسیاری را برای داشتن یک طبقه‌بندی دقیق‌تر از نبود عوامل ساختاری که منجر به مشکلات سیستمی می‌شوند، انجام دادند. باین وجود، به دلیل تلاش‌های ذکر شده در تقویت عوامل سیاست‌گذاری و پیشگیری از موانع موفقیت، به نظر می‌رسد که هیچ چارچوب نظری قابل توجهی برای سیاست‌گذاری در سیستم‌های نوآوری وجود ندارد. در واقع، می‌توان به‌طور خلاصه بیان کرد که در تمام دستاوردهای پژوهش، تحلیلی برای تشکیل وضع موجود (آسیب‌شناسی) بیش از طراحی وضع مطلوب (هدف) و طرحی برای رسیدن به آن (سیاست‌گذاری) مورد توجه واقع شده‌است. ادبیات، دارای شکافی از جمله نبود مدل مفهومی پایدار برای سیاست‌گذاری دقیق و شفاف است. در ادامه، تلاش شده‌است که با بهره‌گیری از مدل سیستم و کنترل، آن شکاف نظری پوشش داده شود.

۳- روش تحقیق و مدل‌سازی

تاکنون به چارچوب نظری حاکم بر مسئله تمرکز شد و بیان شد که با بهره‌گیری از مزایای سیستم‌های نوآوری فنی بخشی درصدد طراحی مفهومی شاخص‌های کارکردی عملکرد سیستم‌های نوآوری باهدف تقویت موتورهای پیشران برمدار دوره عمر فناوری و جلوگیری از تحقق مکانیزم‌های تضعیف‌کننده هستیم.

اما سؤال این است که آیا چارچوب نظری و مفهومی برای سیاست‌گذاری یک مورد واقعی از سیستم‌های نوآوری، کفایت می‌کند که در پاسخ، باید گفت:

- اول، اکثر مفاهیم، شاخص‌ها، براساس مدل‌های مفهومی می‌باشند و کمتر به مدل‌های کمی و ابزارهای پیچیده پرداخته شده‌است.
- دوم، باید بر تجزیه و تحلیل آنچه اتفاق می‌افتد تمرکز کرد که این مهم بسیار سخت می‌نماید اگر مدلی ایجاد نشده باشد.

- سوم، مدل سازی هزینه‌های انجام سناریوهای مختلف را در شرایط واقعی کاهش می‌دهد و مانع از عواقب جبران‌ناپذیر می‌شود.
- چهارم، با توجه به الزامات موردکاوی و توسعه آن به فرم کلی، تحلیل کامل‌تر مدل‌های مختلف نوآوری مشابه میسر می‌شود.
- پنجم، قدرت پیش‌بینی، در اختیار ابزارهای مدل سازی و شبیه‌سازی است.
- و در نهایت، مدل سازی، در مقایسه با تحلیل نظری، این امکان را فراهم می‌کند تا به جزئیاتی پرداخته شود، که دارای تأثیر بسیار زیادی بر آینده سیستم‌های نوآوری دارند.

از این‌رو، به نظر می‌رسد که با این ترتیب، بتوان بر منافع حاصل از مدل سازی و شبیه‌سازی به‌منظور بهره‌گیری از مزایای آن‌ها تکیه کرد و در مورد نتایج پیاده‌سازی چارچوب نظری امیدواری بود. برای مدل سازی سیستم مورد نظر، به دلیل پیچیدگی و روابط غیرخطی بین متغیرها از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها استفاده گردیده‌است. مدل سازی این بخش از سه‌گام تشکیل شده‌است:

- ۱- جمع‌آوری داده‌های تاریخی از موردکاوی موردنظر
- ۲- فرموله کردن شاخص‌های موردنیاز برای اندازه‌گیری کارکردها
- ۳- طراحی مدل مفهومی مدل حاکم بر مسئله
- ۴- پیاده‌سازی مدل SD و نگاشت موتورها با مراحل گذار زمان.

۳-۱- مطالعه موردی، جمع‌آوری داده‌ها

دلیل استفاده از شرکت‌های پتروشیمی در این پژوهش، پراهمیت بودن این بخش از نظر بخش بالادستی صنعت نفت و نیز در زمینه ایجاد ارزش‌افزوده از نوآوری می‌باشد. در این پژوهش فناوری تولید کاتالیست‌های صنعت پتروشیمی موردتحلیل صورت می‌گیرد. دلیل مدل‌سازی این فناوری کاتالیست‌ها براساس موتورهای نوآوری، این می‌باشد که این فناوری‌های تولید کاتالیست روزه‌روز تغییروتحول می‌یابند و فناوری‌های نوظهوری به میدان رقابت وارد می‌شوند. همچنین در پژوهشی که توسط هاشم (۱۳۹۵) صورت گرفته، دلیل استفاده از صنعت کاتالیست‌های نفتی در شرکت‌های پتروشیمی از جمله گهرسرام، محیطی با سرعت تکنولوژی بالا و پیچیده‌ای است که در آن تقاضا، رقابت و فناوری در مسیر متفاوت و متنوعی قرار دارند. علاوه‌براین در پژوهش دیگری فناوری مربوط به کاتالیست‌ها را به‌عنوان فناوری نوظهور در نظر گرفته‌است به‌گونه‌ای که تولید کاتالیست برای سلول‌های

سوختی تبادل پلیمر را به‌عنوان فناوری نوظهور با استفاده از رویکرد ارزیابی چرخه عمر مورد تحلیل قرارداد (ونگلیست و همکاران^۱، ۲۰۱۷).

به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات لازم برای مدل‌سازی از خبرگان بخش‌های مختلف شرکت پتروشیمی مصاحبه صورت گرفته‌است. این بخش‌ها عبارتند از: شرکت شیمیایی گهر سرام، شرکت تجاری اسپادانا، شرکت پتروشیمی اروند، شرکت پتروشیمی امام خمینی، شرکت‌های پتروشیمی قدیر، آبادان واروند.

۳-۲- فرموله کردن شاخص‌های کارکردی

در این پژوهش، شاخص‌های کارکردی با بهره‌گیری از مفاهیم ذکرشده در بخش‌های قبلی تدوین می‌شوند.

جدول ۳- فرمول شاخص‌های کارکردی

شاخص کارکردی	توضیحات	فرمول
فعالیت‌های کارآفرینی (F _۱)	درصدی از فعالیت‌های موفق کارآفرینی را نشان می‌دهد	$F_1 = \frac{\text{سود کارآفرینانه}}{\text{مجموع سود بازیگران}}$
توسعه دانش (F _۲)	درصد افزایش دانش متناسب با تقاضا- نسبت دانش خلق شده به دانش استفاده‌شده، یک شاخص توسعه دانش و آگاهی در سیستم	$F_2 = \frac{\text{دانش خلق شده}}{\text{دانش مورد نیاز}}$
انتشار دانش (F _۳)	نسبت نشر دانش به بازیگران در مقایسه با مقدار قابل توزیع در سیستم	$F_3 = \frac{\text{دانش انتقال یافته به بازیگران}}{\text{دانش قابل توزیع}}$
هدایت و جهت‌دهی به پژوهش (F _۴)	سهام مرکز تحقیقات و کارآفرین از سود	$F_4 = \frac{\text{سود پژوهش و فناوری}}{\text{مجموع سود ذینفعان بازار آشیانه ای و واسط}}$

$F_5 = \frac{\text{تقاضای بازار انبوه برای کارآفرین}}{\text{تقاضای بازار انبوه و واسط برای کارآفرین}}$	(۵)	اثر تشکیل بازار انبوه موفق را در مقایسه با بازار واسط	شکل‌گیری بازار (F5)
$F_6 = \frac{\text{سرمایه گذاری مبتنی بر سود}}{\text{سود کارآفرین بدون سرمایه گذاری}}$	(۶)	اثرات وام سرمایه‌گذاری شده در مقدار سود	بسیج منابع (F6)
$F_7 = \frac{\text{محصول فروخته شده کارآفرین}}{\text{کل محصول فروخته شده}}$	(۷)	مقبول بودن بازار در مقابل مقدار محصولاتی که توسط رقبا و واردکنندگان عرضه می‌شوند	مشروعیت بخشی (F7)

۳-۳- طراحی مفهومی سیستم و الگوی سیاست‌گذاری

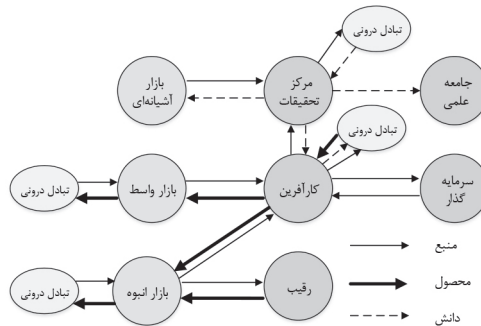
در این مقاله، مدل ارائه‌شده شامل ۵ بازیگر اصلی است و برای یک بخش مناسب به کار رفته‌است. در ادامه، این بازیگران به تصویر کشیده می‌شوند: ۱- مراکز تحقیقات، ۲- کارآفرین، ۳- سرمایه‌گذار، ۴- رقیب، ۵- بازار.

یک سیستم برای سیاست‌گذار تا زمانی می‌تواند جالب باشد که دارای امکانات اصلاح و بهبود عملکرد باشد. باین حال، نکته مهم این است که کدام پارامترها، قابل کنترل و مؤثر بر روی سیستم هستند؟ در ادبیات سیستم نوآوری فنی، تمرکز بیشتر بر روی ساختار و اصلاحات ممکن در عوامل ساختاری بوده‌است. در میان این عوامل ساختاری، این دو بخش «بازیگران» و «زیرساخت» مورد توجه بیشتر بوده‌اند.

مرکز تحقیقات، خلق و توزیع دانش را در سیستم کنترل می‌کند. کارآفرین به‌عنوان یک نقش اصلی در این مدل در نظر گرفته می‌شود که با دیگران در ارتباط است. سرمایه‌گذار مسئول طرح توسعه تأمین مالی کارآفرین و کسب منافع است. رقیب یک شرکت تجاری است که محصولات را از طریق واردات عرضه می‌کند.

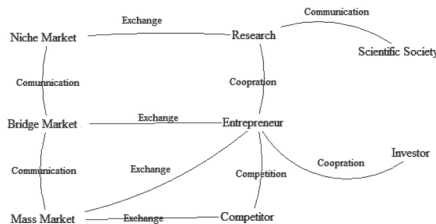
بازار به ۳ بخش تقسیم می‌شود: بازار آشیانه‌ای، که مسئول تبدیل دانش مرکز تحقیقات به منابع مالی می‌باشد، بازار واسط، شرکت‌هایی هستند که با ریسک و به مقدار کمی محصول را سفارش می‌دهند و بازارهای انبوه، شرکت‌های مخالف ریسک هستند که ترجیح می‌دهند محصولات وارداتی را بخرند تا مطمئن شوند، محصولات جدید باصلاحیت بیشتر و ارزان‌تر هستند. بازیگر دیگری به نام سیاست‌گذار وجود دارد که اقدامات حمایتی و عالی در سیستم را کنترل می‌کند.

در SIS، با توجه به پژوهش مالریا (۲۰۰۲)، همانطور که قبلاً ذکر شد، روابط شامل: تبادل، روابط، دستور، رقابت، همکاری تعریف شده‌اند. در شکل زیر، مدل پایه با بازیگران و روابط آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۵- روابط بخشی در سیستم

جریان‌های موجود در مدل به‌طور کلی به‌عنوان: منابع، محصولات و دانش تعریف شده می‌شوند. این جریان‌ها به‌منظور ایجاد ارزش افزوده خاص، بین بازیگران تبادل می‌شوند. این تبادلات به دو صورت درونی در هر بازیگر و به‌صورت تبادلات خارجی از طریق بین دو بازیگر می‌باشد. برای هر بازیگر تبادلات درونی مبتنی بر مأموریت و تبادلات خارجی مبتنی بر منافع و مکانیزم بازار به نام «عرضه و تقاضا» می‌باشند. به‌عنوان مثال، مرکز تحقیقات به‌عنوان یک بازیگر می‌تواند منبع خود را از طریق تبادل درونی خود به دانش تبدیل کند و قادر به فروش دانش خود به بازار آشنایه‌ای یا کارآفرین و کسب پول از طریق روابط خارجی باشد. در زیر، یک نمودار از روابط تعریف شده برای سیستم طراحی شده، به تصویر کشیده شده است.

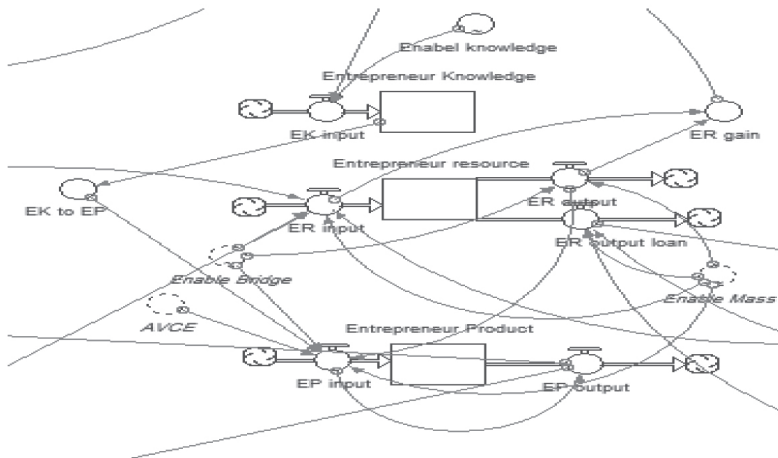


شکل ۶- روابط بین بازیگران سیستم

هر جریان-منابع، محصولات و دانش-توسط بازیگران به‌عنوان یک «متغیر سطح» و اکثر روابط و تعاملات با استفاده از «متغیرهای کمکی» تعیین می‌شوند. کارآفرین هر ۳ متغیر سطح را دارا است و دیگر بازیگران دارای ۲ متغیر سطح هستند. تعداد کمی از بازیگران تنها یکی از این سه متغیر سطح را براساس نقش خود در مدل دارند.

۳-۴- مدل‌سازی مدل مفهومی با رویکرد SD

به‌منظور مدل‌سازی مدل مفهومی بخش قبلی، به‌عنوان مثال، وضعیت و روابط کارآفرین در Ithink - به‌عنوان یک شبیه‌ساز پویایی‌شناسی سیستم - به‌صورت زیر است:



شکل ۷- تصویر شماتیک روابط کارآفرین

بخش دیگری از سیستم نوآوری با توجه به طراحی پایه و با استفاده از ساختار ذکرشده و تعامل مکانیزم‌ها مدل شده‌است. براساس طراحی مفهومی، پس از مدل‌سازی سیستم، شاخص‌های کارکردی باید تعریف شوند. با توجه به چارچوب تحلیلی، ۷ کارکرد، باید به‌طور اساسی و دقیق با استفاده از دیگر عناصر سیستم، تعریف و تدوین شوند. سیاست‌گذار با توجه به این پارامترهای قابل‌مشاهده و مجموعه نقاط متناسب با چرخه عمر و موتور مربوطه، می‌تواند وضعیت دقیق را تشخیص و خطای بین مجموعه نقاط مناسب و مقدار کارکردها را محاسبه کند. اگرچه امکان شناسایی وضعیت سیستم را در هر بخشی از مسیر گذار در بلندمدت وجود دارد، اما سیاست‌گذار

برای ارائه راه‌حل‌های بهبود در هر مرحله، باید به‌صورت کوتاه‌مدت تصمیم‌گیری کند. دو گزینه در مقابل کنترل‌کننده سیستم می‌باشند. یکی از آن‌ها، خلاف مکانیزم تضعیف‌کننده است و به موتور مربوطه سرعت می‌بخشد و دیگری تقویت‌کننده مکانیزم تضعیف‌کننده و مانع حرکت موتور است. اگر گزینه صحیح انتخاب‌شده باشد، مدل می‌تواند برای دیگر دوره‌ها اجرا شود و از یک موتور به موتور بعدی انتقال یابد و اگر نادرست انتخاب‌شده باشد، پس از چند دوره، مقدار کارکردها کاهش می‌یابد و سیستم به موتور قبلی انتقال داده می‌شود.

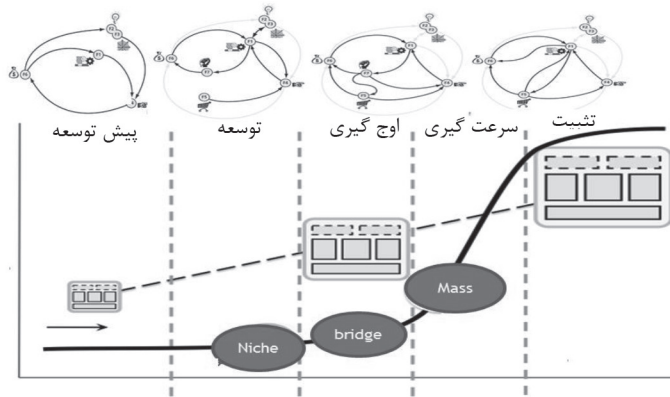
با توجه به آنچه در بالا ذکر شد، موتورها و حالت گذار باید نگاشت شوند. سپس مطالعه موردی می‌تواند بیان شود و مقدار واقعی کارکردها ارائه گردند. در نهایت اثرات تصمیم‌گیری‌های درست و غلط سیاست‌گذاران بر عملکرد سیستم می‌تواند گزارش شود.

۳-۴-۱- نگاشت بین مسیر گذار، چرخه عمر نوآوری و موتورها

با توجه به تعاریف کارکردها و موتورهای پیشران نوآوری، هکرت، نگرو و همکاران (۲۰۱۱) با تعریف چرخه عمر، هر فاز از چرخه را با موتورهای نوآوری مربوطه نشان دادند. در این پژوهش با بهره‌گیری و جمع‌بندی دو مقاله مذکور و همچنین پژوهش ناصر باقری مقدم و همکاران (۱۳۹۵)، نگاشت موتورهای نوآوری با فازهای چرخه عمر ارائه‌شده است. این نگاشت بین چرخه عمر نوآوری، شرایط بازار، موتورها و ارزش موردانتظار برای کارکردها، مجموعه نقاط را برای سیاست‌گذار در هر دوره مشخص می‌کند.

موتور علم و فناوری در مدل، در مرحله اول و هنگامی اجرا می‌شود که نوآوری یک آشیانه‌ای است. این موتور منطبق با فاز اول مسیر گذار به نام پیش توسعه است. موتور کارآفرینی در مدل پس از موتور اول و زمانی که نوآوری، مرحله به مرحله توسعه یافته است، اجرا می‌شود. در این حالت از سیستم، کارآفرین، نقش اساسی را برای شتاب دادن این حلقه تقویتی دارد. این موتور با فاز دوم مسیر گذار به نام توسعه انطباق دارد. با توسعه دانش فنی در موتور اول، و وارد شدن به حوزه توسعه صنعت در موتور دوم، موتور ساختاردهی در مدل پس از موتور کارآفرینی و هنگامی اجرا می‌شود که نوآوری به سرعت در حال رشد است. این موتور با فاز سوم مسیر گذار به نام اوج‌گیری، نگاشت می‌شود. موتور بازار در مدل به‌عنوان آخرین موتور و زمانی آغاز به کار می‌کند که نوآوری به‌طور مستقیم، با بازار مواجه است. در این شرایط، شکل‌گیری بازار و علل آن شامل کارآفرینی، نقش اساسی را ایفا می‌کند. این موتور، بر فاز

چهارم مسیر گذار به نام سرعت‌گیری نگاشت می‌شود. تطبیق موتورها با فازهای چرخه عمر نوآوری، در شکل ۸ نشان داده شده‌است.



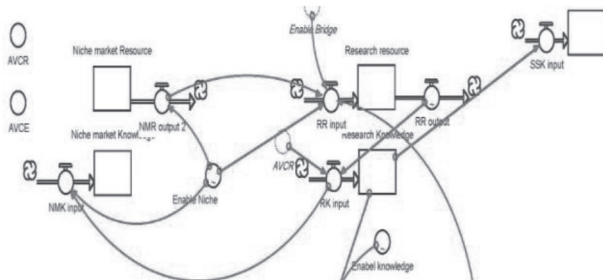
شکل ۸- نگاشت بین موتورها و چرخه عمر نوآوری (Hekkert et al., 2011)

۳-۴-۲- مطالعه موردی

در این قسمت از مطالعه، مدل برای یک نمونه واقعی به‌عنوان مطالعه موردی به کار گرفته می‌شود و الزامات سیستم برای بهبود عملکرد آن ارزیابی می‌شوند. مطالعه موردی، روش تولید کاتالیست پتروشیمی در وزارت نفت ایران می‌باشد. بازیگران اصلی این مدل به‌صورت زیر می‌باشند:

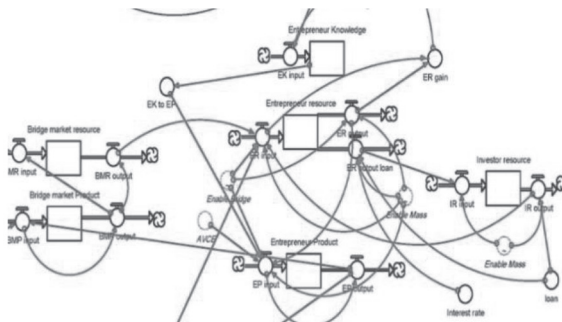
- مرکز پژوهشی: پژوهش و فناوری پتروشیمی
- کارآفرین: شرکت شیمیایی گهر سرام
- رقیب: شرکت تجاری اسپادانا
- سرمایه‌گذار: بانک خصوصی
- بازار آشیانه: شرکت پتروشیمی اروند
- بازار واسط: شرکت پتروشیمی امام خمینی
- بازار انبوه: شرکت‌های پتروشیمی قدیر، آبادان و اروند

همانطور که می‌بینید، در این مثال، بازار آشیانه، شرکت پتروشیمی اروند و بازار واسط، شرکت پتروشیمی امام خمینی هستند و پس از دو سال، مرحله اول بازار واسط، آغاز شده‌است. در بازار آشیانه، مشتریان، محدود هستند و بازار نیاز دارد تا بزرگ‌تر شود. در این مرحله از مدل پویایی سیستم، روابط خاصی بین منبع پژوهش و منبع بازار آشیانه وجود دارند و برخی از پارامترها، دارای نقش اساسی هستند. (شکل ۹)



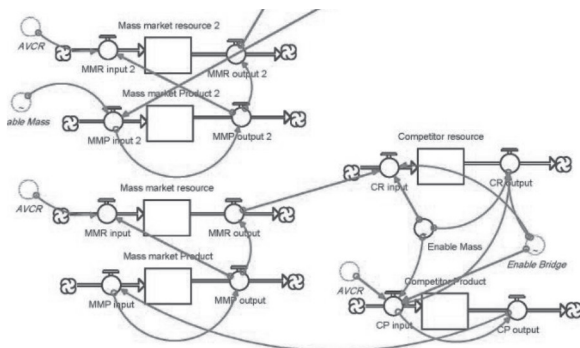
شکل ۹- بازیگران و روابط در فاز بازار آشیانه

پس از آن، یک مرحله جدید با رابطه‌ای بین منبع پژوهش و منبع کارآفرین و منبع سرمایه‌گذار آغاز می‌شود و این سه قسمت اصلی همراه با دیگر قسمت‌ها، بازار واسط را ایجاد می‌کنند. (شکل ۱۰)



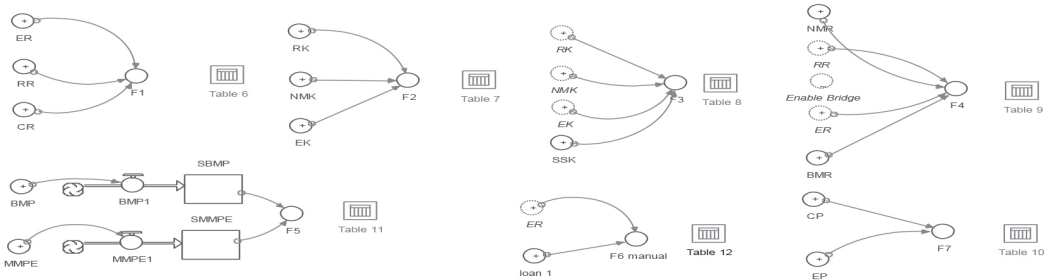
شکل ۱۰- بازیگران و روابط در فاز بازار واسط

این مرحله مانند پلی است که بازار آشیانه را به بازار انبوه متصل می‌کند. در مرحله آخر، «انبوه» به بازاری برای کالاهایی برمی‌گردد که در اندازه‌های بزرگ تولید می‌شوند و روابط بین منبع کارآفرین و برخی پارامترهای منبع بازار انبوه (خروجی MMR، ورودی MMP)، مرحله بازار انبوه را آغاز می‌کنند. (شکل ۱۱)



شکل ۱۱- بازیگران و روابط در فاز بازار انبوه

لازم به بیان است که منابع رقیب، وارد این بخش می شود و تلاش می کنند تا دانش را از بازار انبوه به دست آورد و آن ها را بهبود دهد. تمام کارکردهای مشاهده شده به عنوان پارامترهایی برای سیاست گذار، در مدل محاسبه می شوند و سیاست گذار می تواند تصمیم بگیرد که چه کار مناسبی را با توجه به شرایط باید انجام دهد. شکل زیر گویای الگوی محاسبه کارکردها می باشد.



شکل ۱۲- الگوی شاخص های کارکردی

به عنوان یک نکته جانبی، سرمایه گذار، یک بازیگر کمکی مانند یک بانک می باشد که وامی را با سود معین به پیمانکار قرض می دهد و مجدد همان پول را با سودش دریافت می کند.

۴- یافته های پژوهش

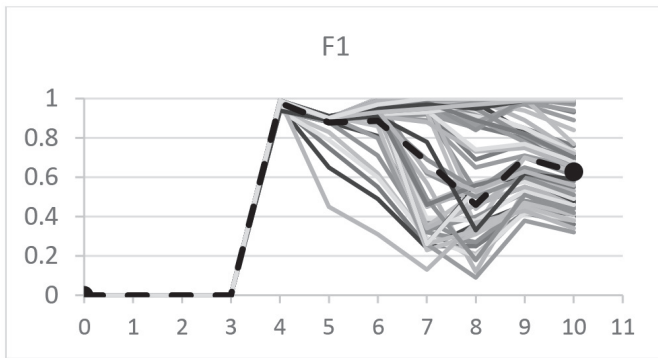
با توجه به اینکه مدل سازی در بخش سوم صورت گرفته، در این بخش به پایایی و اعتبار مدل و همچنین تجزیه و تحلیل یافته ها پرداخته می شود.

۴-۱- شبیه سازی مونت کارلو و بررسی پایایی مدل

به منظور بررسی پایایی مدل که نشان از قابلیت اطمینان آن است از روش مونت کارلو استفاده شده است. بدین منظور برخی از پارامترهای مدل پیشنهادی به صورت متغیرهای تصادفی در نظر گرفته می شوند. این متغیرها در مدل عبارتند از Loan، AVCE، AVCR، Interest rate. بدین منظور برای اجرای مدل با توجه به متغیرهای تصادفی می توان از روش شبیه سازی مونت کارلو استفاده کرد که در آن مدل برای ۲۵۰ بار اجرا می گردد. سپس با استفاده از میانگین نتایج حاصله به اعتبارسنجی مدل پرداخته می شود. مدل در ۱۰ دوره اجرا می شود و هر دوره ۶ ماه می باشد.

با توجه به شکل ۱۳ و چرخه عمر نوآوری، نسبت سود کارکرد کارآفرین طی ۲۵۰ بار شبیه سازی،

در موتور اول صفر می‌باشد. با ادامه روند چرخه عمر نوآوری، موتورهای دوم و سوم فعال می‌شوند که در آن‌ها نسبت سود کارآفرین افزایش و کاهش می‌یابد. دلیل این صفر بودن سود کارآفرین در موتور اول، این است که کارآفرین در این مرحله فعالیت اقتصادی ندارد در نتیجه سودی کسب نخواهد کرد. این فعالیت اقتصادی کارآفرین از موتور دوم شروع می‌شود و با توجه به جریان مالی کارآفرین، این سود کم و زیاد خواهد شد. منحنی ضخیم‌تر و بصورت خط چین که دو سمت آن با گوی مشخص گردیده، میانگین مقادیر ۲۵۰ اجرای مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳- نتایج برای نسبت سود کارکرد کارآفرین به مجموع سود بازیگران

برای باقی شاخص‌های تعریف شده نیز بدین صورت مورد تحلیل قرار گرفته که در نهایت به دلیل اینکه نتیجه تمامی آنها تدوین شده مدل طی آزمایش‌ها بسیار هم‌گرا و نتایج یکسانی را برای هر کارکرد به همراه داشته، این مدل از پایایی مناسبی برخوردار است.

۴-۲- اعتبارسنجی و بررسی روایی مدل

به منظور ارزیابی روایی مدل که همان اعتبار مدل می‌باشد، لازم است نشان داده شود که نتیجه دو سال از مدل با شرایط واقعی مطابق است.

برای مقایسه بین داده‌های واقعی و میانگین مقادیر شاخص‌ها از شبیه‌سازی، از درصد میانگین مطلق خطا (MAPE)^۱ (حسن‌زاده و دیگران، ۲۰۱۲؛ سامارا و جرجیادیس و همکاران^۲، ۲۰۱۲) استفاده شده است که معادلات آن‌ها به صورت زیر می‌باشند.

1 . Mean Absolute Percent Error

2 . Samara, Georgiadis

$$MAPE = \left| \frac{O_t - S_t}{O_t} \right| \quad (۸)$$

پارامترها در معادلات بالا به صورت زیر تعریف می شوند:

$O_t = t$ مقدار واقعی برای کارکرد مربوطه در دوره t

$S_t = t$ مقدار حاصل از شبیه سازی برای کارکرد مربوطه در دوره t

همانطور که از درصد میانگین مطلق خطا (MAPE) مشخص است، هر چه مقدار این شاخص به صفر نزدیک تر باشد، مدل دارای اعتبار بیشتری می باشد.

جدول ۴- اعتبار سنجی مدل

F۷	F۶	F۵	F۴	F۳	F۲	F۱	کارکرد
%۱۵	%۲۸	%۰	%۸۷	%۴۴	%۱۰۳	%۹۹	سال دو (در مدل)
%۱۵	%۲۶	%۰	%۸۷	%۴۱	%۹۷	%۹۳	سال دو (در شرایط واقعی)
%۰	%۷.۷	%۰	%۰	%۷.۳	%۶.۲	%۶.۴	MAPE

همانطور که مشاهده می شود، درصدهای MAPE ناچیز هستند و میانگین کل MAPE ۳,۹ درصد که نشان از اعتبار مدل است.

۳-۴- نتایج شبیه سازی و تحلیل مقادیر شاخص های کارکردی

با استفاده از تمام داده های توضیح داده شده، مدل، طراحی شده و اجرا می شود (با ۹,۱,۳ Ithink).

نتایج مقادیر کارکردها در مدل محاسبه شده و در جدول زیر نشان داده می شود:

مقادیر شاخص های کارکردی از سال های سوم تا پنجم از نوع پیش بینی می باشند و آینده مورد انتظار برای فناوری در صنعت پتروشیمی را نشان می دهد.

همانطور که از جدول ۵ مشخص است، در سال اول به دلیل اینکه مقدار درصد شاخص F۱ صفر و درصد F۲ بالا و برابر ۹۹ درصد می باشند و همچنین به دلیل فعال بودن کارکردهای F۳، F۴ و F۶ می توان یافت که موتور اول فناوری فعال در فاز پیش توسعه از چرخه عمر نوآوری قرار دارد. همچنین فناوری صنعت پتروشیمی وارد بازار آشیانه ای شده است و در این مرحله کارآفرین فعالیت خیلی کمی دارد و بیشترین فعالیت را مراکز پژوهش به منظور خلق و انتشار دانش انجام می دهند. با تسریع فعالیت های تحقیق و توسعه، کارآفرین وارد عرصه شده و فعالیت خود را آغاز می کند. اما بعد از گذشت

سال دوم، و فعالیت کارآفرینی (F۱) و شروع فرایند مقبولیت کالا (F۷) سیستم موفق شده‌است از موتور اول به دوم برود و وضعیت خود را به حالت توسعه از چرخه عمر نوآوری تغییر دهد.

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های کارکردی

F۷	F۶	F۵	F۴	F۳	F۲	F۱	سال (دوره)	
٪۰	٪۲۲	٪۰	٪۹۳	٪۰	٪۰	٪۰	شروع	ارزیابی وضع موجود
٪۰	٪۲۲	٪۰	٪۹۷	٪۳۷	٪۹۹	٪۰	(۲)۱	
٪۱۵	٪۲۸	٪۰	٪۸۷	٪۴۴	٪۱۰۳	٪۹۹	(۴)۲	
٪۱۱	٪۳۷	٪۰	٪۷۴	٪۴۶	٪۱۲۷	٪۸۹	(۶)۳	شبیه‌سازی وضع آینده
٪۴۳	٪۵۴	٪۶۲	٪۷۲	٪۶۹	٪۸۵	٪۴۶	(۸)۴	
٪۴۳	٪۶۳	٪۸۳	٪۸۷	٪۸۲	٪۸۵	٪۶۳	(۱۰)۵	

همانطور که بیان شد، شرایط دو سال اول شبیه‌سازی وضع موجود و انطباق آن با داده تاریخی را نشان می‌دهد. با توجه به توضیحات پیشین می‌توان گفت که وضع موجود این فناوری در انتهای سال دوم خود در موتور دوم قرار دارد. حال در ادامه اشاره می‌شود که آینده این فناوری، چرخه عمر نوآوری، رشد و توسعه فناوری تکمیل یا تضعیف می‌شود. در سال سوم، به دلیل اینکه شکل‌گیری بازار (F۵) هنوز رخ نداده‌است، بنابراین چرخه عمر نوآوری در سال سوم پیشرفتی نداشته و در موتور دوم فناوری باقی‌مانده‌است. اما با بسیج امکانات (F۵) در سال چهارم می‌توان نتیجه گرفت که موتور سوم فناوری صنعت فعال خواهد شد که این فرآیند پس از تکمیل فعالیت‌های موتورهای اول و دوم رخ داده‌است. با مقایسه سال ۴ و ۵، می‌توان فهمید که F۲ و F۷ ثابت هستند و دیگر کارکردها افزایش یافته‌اند. بعد از سال پنجم مشاهده می‌شود که اکثر مقادیر شاخص‌ها، بیش از ۶۰ درصد هستند، و دارای شرایط خوبی هستند. شاخص‌های بسیج منبع و مشروعیت بخشی نشان می‌دهند که مدل با مسائلی در شکل‌گیری بازار مواجه است. به عبارت دیگر، فناوری در مرحله آخر موتور سوم و ابتدای موتور چهارم می‌باشد و سیاست‌گذار بایست برای تحریک سرمایه‌گذار به سرمایه‌گذاری بیشتر و تشویق مشتریان برای اعتماد به فناوری جدید، سیاست‌گذاری کند.

در نتیجه پیش‌بینی می‌شود این فناوری در سال‌های پنجم به بعد مشروط بر سیاست‌گذاری صحیح ایجاد مقبولیت و همچنین بسیج امکانات وارد موتور تکامل نوآوری و سیستم بازار گردد و این

نشان دهنده مسیر درست شکل گیری، طفولیت، رشد و تکامل این فناوری با توجه به شرایط مورد کاوی می باشد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، مقدمه‌ای بر مدل سازی مفهوم TSIS همراه با چارچوب تحلیلی با تأکید بر TIS و استفاده از مزایای SIS در کنار آن در تحلیل یک فناوری ارائه شده است. در این چارچوب پدید آمده که از تسهیلات رویکرد MLP استفاده می کند، فناوری، بخش و صنعت با مفاهیم آشیانه، رژیم و محیط کلان منطبق شده اند. همچنین، موتورهای نوآوری و دوره عمر فناوری با مسیر گذار رویکرد TM در مراحل آشیانه‌ای، واسط و انبوه نگاشت شده است و در این راه، رابطه بین دوره عمر، وضعیت سیستم و کارکردهای ویژه هر دوره تعیین شده است. مدل مفهومی همراه با روابط بین بازیگران صنعت پتروشیمی ایران در نرم افزار Ithink ۹,۱,۳ طراحی گردیده و برای یک فناوری تولید کاتالیست آن صنعت به کار رفته است. با توجه به اینکه مدل در ۱۰ دوره ۶ ماهه اجرا گردیده است، نتایج پایایی و اعتبار سنجی مدل، با توجه به خطای کمتر از ۴ درصد، معتبر بودن مدل را نشان می دهد. همچنین نتایج حاصل از مدل سازی نشان می دهد که مراحل دوره عمر و موتورهای یکی پس از دیگری پشت سر نهاده می شوند به گونه‌ای که بعد از پنج سال، شاخص‌های کارکردی بهبود یافته‌اند. از آنجاکه دو سال اول از شبیه سازی، وضعیت صنعت را در فاز توسعه نشان می دهد، سه فاز بعدی در سال‌های سوم الی پنجم، براساس تصمیمات درست سیاست گذار همانطور که انتظار می رفت حاصل گردیدند. برای پژوهش بیشتر، توسعه چارچوب سیستم نوآوری فنی-بخشی با استفاده از پارامترهای باقابلیت کنترل بیشتر و سناریوهایی برای سیاست گذاری پیشنهاد داده می شود.

منابع

- باقری مقدم، ناصر؛ موسوی، سید مسلم؛ نصیری، مسعود؛ معلمی، عنایت اله؛ رادپور، سعیدرضا (۱۳۹۵). موتورهای محرک نوآوری: چارچوبی خلاقانه برای تحلیل پویایی نظام‌های نوآوری فناورانه. مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور؛ چاپ دوم؛ ۲۳۸-۲۷۰.
- هاشم، فاطمه (۱۳۹۵)، ارزیابی ابعاد و شاخص‌های مدیریت نوآوری در بنگاه صنایع پیشرفته مطالعه موردی: شرکت تحقیقاتی و دانش‌بنیان گهرسرام. ششمین کنفرانس بین‌المللی و دهمین کنفرانس ملی مدیریت فناوری.
- Adams, P., Fontana, R., & Malerba, F. (2013). The magnitude of innovation by demand in a sectoral system: The role of industrial users in semiconductors. *Research policy*, 42(1), 1-14.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research policy*, 37(3), 407-429.
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of evolutionary economics*, 1(2), 93-118.
- Cooke, P., Uranga, M. G., & Etxebarria, G. (1997). Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research policy*, 26(4), 475-491.
- Dolata, U. (2009). Technological innovations and sectoral change: transformative capacity, adaptability, patterns of change: an analytical framework. *Research policy*, 38(6), 1066-1076.
- Edquist, C. (1997). *Systems of innovation: technologies, institutions, and organizations*: Psychology Press.
- Evangelisti, S., Tagliaferri, C., Brett, D., & Lettieri, P. (2017). Life Cycle Assessment of Emerging Catalyst Technologies: The Case of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells. In *MODERN DEVELOPMENTS IN CATALYSIS* (pp. 289-312).
- Faber, A., & Hoppe, T. (2013). Co-constructing a sustainable built environment in the Netherlands—Dynamics and opportunities in an environmental sectoral innovation system. *Energy policy*, 52, 628-638.
- Freeman, C. (1995). The 'National System of Innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of economics*, 19(1), 5-24.
- Freeman, C. (1987). Technical innovation, diffusion, and long cycles of economic

- development, The long-wave debate. Springer, pp. 295-309, 10.1007/978-3-662-10351-7_21.
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research policy*, 33(6), 897-920.
 - 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* 26, 129-145, 0920-4741, 10.1007/s11269-011-9909-8.
 - 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*, 74(4), 413-432.
 - Hekkert, M., Negro, S., Heimeriks, G., & Harmsen, R. (2011). Technological innovation system analysis. A manual for analysts. To be found on: http://www.innovation-system.net/wpcontent/uploads/2013/03/UU_02rapport_Technological_Innovation_System_Analysis.pdf. Accessed, 2, 2013.
 - Hermans, F., Stuiver, M., Beers, P., & Kok, K. (2013). The distribution of roles and functions for upscaling and outscaling innovations in agricultural innovation systems. *Agricultural Systems*, 115, 117-128.
 - Kern, F. (2012). Using the multi-level perspective on socio-technical transitions to assess innovation policy. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(2), 298-310.
 - 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*, 31(2), 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* 14, 63-82, 1043-8599.
 - Musiolik, J., & Markard, J. (2011). Creating and shaping innovation systems: Formal networks in the innovation system for stationary fuel cells in Germany. *Energy policy*, 39(4), 1909-1922.
 - Negro, S. O., Alkemade, F., & Hekkert, M. P. (2012). Why does renewable energy

diffuse so slowly? A review of innovation system problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3836-3846.

- Nelson, R.R., 1993. National innovation systems: a comparative analysis. Oxford university press, 0195360435.
- Rauschmayer, F., Bauler, T., & Schäpke, N. (2015). Towards a thick understanding of sustainability transitions—Linking transition management, capabilities and social practices. *Ecological economics*, 109, 211-221.
- Samara, E., Georgiadis, P., & Bakouros, I. (2012). The impact of innovation policies on the performance of national innovation systems: A system dynamics analysis. *Technovation*, 32(11), 624-638.
- 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*, 76(8), 1003-1020.
- Suurs, R.A., 2009. Motors of sustainable innovation: Towards a theory on the dynamics of technological innovation systems. Utrecht University, 9062662641.
- 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*, 34(24), 9639-9654.
- Weber, K. M., & Rohracher, H. (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework. *Research policy*, 41(6), 1037-1047.
- 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*, 39(1), 74-87.
- 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*, 26, 294-306.
- Wirth, S., & Markard, J. (2011). Context matters: How existing sectors and competing technologies affect the prospects of the Swiss Bio-SNG innovation system. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(4), 635-649.