Volume 10, Number 2, Summer 2018

Journal of

Science & Technology Policy

Explaining the Process of Development of Fuel Cell Technology in Iran by Using Innovation Motors Concept

Naser Bagheri Moghaddam[1], Seyed Mostafa Mohamadpour[2]*

1- Assistant Professor at Science Policy Research Center, Tehran, Iran
2- Master of Technology Management, University of Tehran, Iran

Abstract

Today, using renewable energy is highly important because of increasing energy security, maintaining and safeguarding fossil resources, elimination of environmental problems and many business opportunities in this area. On the other hand, based on the situation of each country, there are many paths toward the development of renewable energy. The level of development and the amount of fossil resources are effective in renewable energy development. Therefore effective factors on developing renewable energies and related technologies in each country are different.

The main objective of this paper is to describe and explain the process of development of fuel cell technology, based on technological innovation system and innovation motors approach. In this regard, by using historical data analysis method and semi-structured interviews, the engagement causal and relationship between functions of technological innovation system or innovation motors are identified and described. Finally, the relationship between functions of technological innovation system and fuel cell's innovation motors in Iran are examined, using structural equation modeling.

Keywords: Renewable Energies, Fuel Cell, Technological Innovation Systems, Motors of Innovation, Data Historical Analysis, Structural Equation Modeling

* Corresponding author: m.mohamadpour@ut.ac.ir

سال دهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

فصلنامه علمی-پژوهشی

سیاست علم و فناوری

تبیین فرآیند توسعه فناوری پیل سوختی در ایران با بهره‌گیری از مفهوم موتورهای محرک نوآوری

ناصر باقری‌مقدم[۱]، سید مصطفی محمدپور[۲*]

۱- عضو هیأت‌علمی مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور

۲- کارشناسی‌ارشد مدیریت فناوری، دانشگاه تهران

چکیده

امروزه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل افزایش امنیت انرژی، حفظ و صیانت از منابع فسیلی، رفع مشکلات زیست‌محیطی و وجود فرصت‌های بسیار زیاد کسب‌وکار در این حوزه دارای اهمیت بسزایی می‌باشد. از سوی دیگر توسعه انرژی‌های مذکور در کشورهای مختلف با توجه به شرایط هر کشور رویه‌های مختلفی دارد و میزان توسعه‌یافتگی و منابع فسیلی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر جدی دارند. بنابراین عوامل اثرگذار بر توسعه این انرژی‌ها و فناوری‌های مربوطه در کشورهای مختلف متفاوت است. هدف این مقاله، توصیف و تبیین فرآیند توسعه فناوری پیل سوختی بر اساس مدل نظام نوآوری فناورانه و موتورهای محرک نوآوری است. در این راستا مدل‌های فوق‌الذکر بررسی و با استفاده از روش تحلیل تاریخی وقایع و ابزار مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته، حلقه‌های علّی و معلولی و روابط بین کارکردهای نظام نوآوری فناورانه یا همان موتورهای محرک نوآوری پیل سوختی در ایران استخراج و توصیف شده است. در نهایت نیز با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری، روابط بین کارکردها و موتورهای محرک نوآوری پیل سوختی در ایران اعتبارسنجی شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: انرژی‌های تجدیدپذیر، پیل سوختی، نظام نوآوری فناورانه، موتورهای محرک نوآوری، تحلیل تاریخی وقایع، مدل معادلات ساختاری

برای استنادات بعدی به این مقاله، قالب زیر به نویسندگان محترم مقالات پیشنهاد می‌شود:

Bagheri Moghaddam, N., & Mohamadpour, S. M. (2018). **Explaining the Process of Development of Fuel Cell Technology in Iran by Using Innovation Motors Concept.** *Journal of Science & Technology Policy*, 10(2), 57-72. {In Persian}.
DOI: 10.22034/jstp.2018.10.2.539484

۱- مقدمه

امروزه با توجه به لزوم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل افزایش امنیت انرژی، حفظ و صیانت از منابع فسیلی، رفع مشکلات زیست‌محیطی و استفاده از فرصت‌های بسیار زیاد کسب‌وکار در این حوزه طی دهه‌های آینده، توسعه صنعت در این حوزه دارای اهمیت و در عین حال واجد پیچیدگی‌های زیادی است. در این راستا برنامه‌ریزی به منظور توسعه صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر و شناخت عوامل ساختاری اثرگذار به تنهایی کافی نبوده و ضروری است کارکردهای مشخصی به منظور اثرگذاری هدفمند بر این عوامل و جهت‌دهی به آنها تعریف و اعمال شوند.

از سوی دیگر اولین گام در سیاست‌گذاری مناسب و با کیفیت، توصیف و تبیین وضعیت موجود فرآیند توسعه

DOI: 10.22034/jstp.2018.10.2.539484

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: m.mohamadpour@ut.ac.ir

فناوری است. ادکوئیست[1] [۱]، کارلسون و استنکویکز[2] [۲] و کارلسون و جاکوبسون[3] [۳] برای سیاست‌گذاری توسعه فناوری بالاخص فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر از چارچوب نظام نوآوری فناورانه استفاده کرده‌اند. با این وجود گستره تحلیل فرآیند توسعه فناوری با استفاده از چارچوب نظام نوآوری فناورانه، دارای رویکردهای متفاوتی از جمله رویکردهای ساختاری، فرآیندی، پویایی کارکردی (موتورهای محرک نوآوری) و توأمان کارکردی-ساختاری است. هکرت[4] و همکاران [٤] اولین بار تحلیل جامعی از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه ارائه و بیان داشتند که این نوع تحلیل برای سیاست‌گذاری توسعه فناوری بسیار ساده‌تر و جامع‌تر است. نگرو[5] [۵]، سورس[6] [٦] و برگک[7] و همکاران [۷] نیز با استفاده از رویکرد کارکردی، نظام نوآوری فناورانه را تحلیل کرده‌اند که در این میان، سورس [٦] با استفاده از ابزار تحلیل تاریخی وقایع، پویایی کارکردهای نظام نوآوری فناورانه (موتورهای محرک نوآوری) در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر را استخراج و تبیین نموده است.

لذا بر اساس رویکرد نظام نوآوری فناورانه، یکی از گام‌های اولیه برای تدوین سیاست‌های مناسب توسعه یک حوزه فناورانه، شناسایی کارکردهای دارای اهمیت بالا در توسعه فناوری و همچنین استخراج حلقه‌های علّی و معلولی کارکردهای توسعه آن فناوری است. از این‌رو هدف اصلی این مقاله پاسخ به این سؤال است که ارتباط بین کارکردهای توسعه فناوری پیل سوختی در ایران بر اساس مدل موتورهای محرک نوآوری چیست؟

برای پاسخ به سؤال تحقیق، ابتدا با بهره‌گیری از روش تحلیل تاریخی وقایع و انجام مصاحبه با خبرگان و متخصصان، فرآیند توسعه فناوری پیل سوختی و ارتباط کارکردهای مؤثر بر توسعه فناوری آن، به صورت کیفی توصیف شده و در ادامه این روابط به صورت فرضیه‌هایی بیان و این فرضیات با استفاده از پرسشنامه و مدل‌سازی معادلات ساختاری به صورت کمّی آزمون و اعتبارسنجی شده‌اند. در واقع بر اساس این روابط علّی و معلولی بین کارکردها می‌توان نحوه شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه پیل سوختی در ایران را تحلیل و رهیافت‌هایی برای توسعه این فناوری ارائه کرد.

در ادامه مقاله، ابتدا مبانی نظری مرتبط با نظام نوآوری فناورانه و موتورهای محرک نوآوری تشریح می‌شود. سپس فرآیند توسعه فناوری پیل سوختی در ایران با مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته به صورت کیفی توصیف و ارتباط کارکردهای مؤثر بر توسعه این فناوری در ایران استخراج شده است. برای تأیید روابط بین کارکردهای مؤثر در توسعه فناوری هم شاخص‌هایی جهت تبیین هر یک از کارکردها استخراج و وضعیت این کارکردها با بهره‌گیری از پرسشنامه‌های ارسال‌شده برای خبرگان تعیین می‌شود. در نهایت نیز با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری این ارتباطات مورد آزمون قرار گرفته و چگونگی ارتباط کارکردهای مؤثر بر توسعه فناوری پیل سوختی اعتبارسنجی خواهد شد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

امروزه مفهوم نظام‌های نوآوری به عنوان یک ابزار مفهومی برای تحلیل و ارزیابی اقتصاد دانش‌بنیان مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا این مفهوم ارتباطی نزدیک با خلق، انتشار و بهره‌برداری از دانش دارد. نظام نوآوری در سطوح مختلفی قابل تحلیل است اما سه سطحی که بیشتر در پیشینه مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از:

- نظام ملی نوآوری [۸-۱۰]
- نظام بخشی نوآوری [۱۱و۱۲] و نظام‌های نوآوری فناورانه
- نظام منطقه‌ای نوآوری [۱۳]

مدل‌ها و روش‌های گوناگونی برای ارزیابی نظام‌های نوآوری وجود دارد که مجموعه‌ای از این مدل‌ها توسط محمدی و همکاران [١٤] بیان و مدل جدیدی نیز توسط آنها در این حوزه ارائه شده است. محققان با استفاده از رویکرد نظام‌های نوآوری به تحلیل علل اثرگذار بر توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای پیشرفته پرداخته‌اند. به علت قدرت رویکرد مذکور در تبیین این علل، استفاده از آن روندی رو به رشد داشته است. محققانی چون آسموس[8] [۱۵]، آیینهولت[1]

1- Edquist
2- Carlsson and Stankiewicz
3- Jacobson
4- Hekkert
5- Negro
6- Suurs
7- Bergek
8- Asmus

[۱۶] و سواین[۲] [۱۷] چگونگی اثرگذاری سیاست‌های مختلف در توسعه صنعت باد در آمریکا و اروپا را بررسی نموده‌اند. اسپینوزا[۳] [۱۸] و بانک جهانی [۱۹و۲۰] نیز اثر حامل‌های تجدیدپذیر از حیث تأمین انرژی در کشورهای در حال توسعه را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند.

از منظر بررسی چگونگی اثرگذاری متقابل و پویایی کارکردهای این سیستم‌ها در پیشینه نظام‌های نوآوری، جانسون[۴] و جاکوبسون [۲۱] فرآیند پویایی کارکردهای ظهور صنعت باد در کشورهای آلمان، هلند و سوئد را تحلیل نموده‌اند. هوانگ[۵] و وو[۶] [۲۲] به بررسی اثرات یارانه‌ها و اقدامات تشویقی به منظور پیشرفت انرژی‌های تجدیدپذیر در تایوان پرداخته و ادعا کرده‌اند که این اقدامات منجر به پیشرفت‌هایی در این حوزه شده اما دولت تایوان نتوانسته به اهداف بلندمدت خود دست یابد. آنها به همین دلیل با بکارگیری چارچوب نظام نوآوری فناورانه، سیر تکاملی صنعت فتوولتائیک را در این کشور تحلیل و میان تایوان و آلمان مطالعات مقایسه‌ای انجام داده‌اند تا دریابند که برای بهره‌ور ساختن صنعت مذکور باید بر روی چه نقاطی تمرکز شود. نگرو و همکاران [۲۳] به تبیین علل شکست نظام نوآوری فناورانه زیست‌توده در هلند پرداخته‌اند. آنها با استفاده از چارچوب کارکردهای نظام‌های نوآوری سعی در درک عوامل زیربنایی این موضوع نموده و نقش سیاست‌های دولت در کاهش یا توقف توسعه این فناوری را مورد بررسی قرار داده‌اند [۳۱]. برگک[۷] [۲٤] نیز مکانیسم‌های فعلی در حوزه نظام‌های نوآوری فناورانه انرژی‌های زیستی، توربین‌های بادی و کالکتورهای خورشیدی را مورد بررسی قرار داده و سیر تکاملی توربین‌های بادی را در کشورهای آلمان، هلند و سوئد با یکدیگر مقایسه کرده است.

در ایران نیز مطالعاتی پیرامون تحلیل انرژی‌های تجدیدپذیر کشور با استفاده از رویکردهای نظام نوآوری انجام شده است. میگون و همکاران [۲۵] در مطالعه‌ای به شناسایی عوامل مؤثر بر سیستم‌های نوآوری فناورانه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته‌اند. رودسری و بوشهری [۲٦] به تحلیل سیستمی وضعیت بکارگیری انرژی بادی در کشور با استفاده از رویکرد سیستم نوآوری فناورانه پرداخته‌اند. تقوا و همکاران [۲۷] با استفاده از نظام نوآوری فناورانه و بررسی پویایی میان کارکردهای آن، فرآیند توسعه فناوری باد در ایران را بررسی و تبیین نموده‌اند. در سال‌های اخیر مطالعاتی نیز پیرامون کمّی‌سازی روابط نظام نوآوری فناورانه انجام گرفته است. کوهلر[۸] و همکاران [۲۸] از روش کمّی سیستم داینامیک برای تحلیل روابط نظام نوآوری فناورانه انرژی‌های بادی در دو کشور آلمان و چین استفاده نموده است. میرعمادی و رحیمی [۲۹] از مدل‌سازی معادلات ساختاری برای شناسایی اثرگذاری کارکردهای مختلف نظام نوآوری فناورانه حوزه سوخت زیستی بر یکدیگر استفاده نموده‌اند. محمدی [۳۰] در رساله دکتری خود از روش‌های کیفی و کمّی برای تحلیل نحوه شکل‌گیری کارکردهای نظام نوآوری فناورانه در سه حوزه نانو، زیست‌فناوری و ICT استفاده نموده است.

بر اساس مطالعات انجام‌شده و با توجه به اینکه در مطالعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر (مورد مطالعاتی فناوری پیل سوختی) سطح فناوری برای مطالعه مناسب است نظام نوآوری فناورانه از بیشترین تناسب برای تبیین فرآیند توسعه این نوع فناوری‌ها در ایران برخوردار است. در ادامه به اختصار رویکرد نظام نوآوری فناورانه و موتورهای محرک نوآوری معرفی می‌شود.

۲-۱ نظام نوآوری فناورانه

نظام نوآوری فناورانه[۹] به تحلیل گذار از منظر تغییرات نهادی، سازمانی، اقتصادی، سیاسی و فنی پیرامون ظهور فناوری‌های جدید می‌پردازد. این رویکرد بر پایه نظر کارلسون و استنکویز [۲] درباره نوآوری شکل گرفته که مهم‌ترین محرک‌های خلق، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری‌های فناورانه را در تعاملات نظام‌مند کنشگران، تحت زیرساخت‌های نهادی می‌داند. این برداشت از گسترش نوآوری فناورانه با الهام از تئوری بلوک‌های توسعه داهمن[۱۰] [۳۱] و در ارتباط با رویکردهای نظام ملی نوآوری فریمن[۱۱] و نلسون[۱] و نظام بخشی نوآوری

1- Ibenholt
2- Sawin
3- Spinoza
4- Johnson
5- Huang
6- Wu
7- Bergek
8- Köhler
9- Technological innovation systems (TIS)
10- Dahmén
11- Freeman

برسچی[2] و مالربا[3] است [۸-۱۲]. کارلسون و استنکویکز [۲] نظام نوآوری فناورانه را به صورت "شبکه‌ای از بازیگران که در یک محیط صنعتی/اقتصادی، تحت یک ساختار نهادی مشخص با یکدیگر تعامل می‌کنند و مشغول تولید، انتشار و بکارگیری فناوری می‌باشند" تعریف می‌نمایند. نقطه آغاز تحلیل یک نظام نوآوری فناورانه بر یک منطقه جغرافیایی یا بخش صنعتی متمرکز نبوده و بر یک فناوری یا یک زمینه فناورانه خاص متمرکز است. هدف بیشتر مطالعات نظام نوآوری فناورانه، تحلیل و ارزیابی توسعه یک نوآوری فناورانه خاص در قالب ساختار یا فرآیندهای پشتیبان (یا مخرب) آن است. بر این اساس، رویکرد نظام نوآوری فناورانه را می‌توان از دو منظر تشریح کرد: اول، رویکرد فرآیندی که کارکردهای توسعه فناوری را مدنظر قرار می‌دهد و دوم، رویکرد ساختاری که بازیگران و روابط بین آنها را تبیین می‌نماید. در ادامه رویکرد نظام نوآوری با توجه از منظر فرآیندی تشریح می‌شود.

۲-۲ کارکردهای نظام نوآوری فناورانه

هدف هر نظام نوآوری از جمله نظام نوآوری فناورانه، تحقق فرآیند نوآوری است. این فرآیند نوآوری شامل خلق، انتشار و بهره‌برداری از فناوری است که در قالب توسعه فناوری به ظهور می‌رسد. مجموعه‌ای از فعالیت‌های مختلف که بر فرآیند نوآوری تأثیر می‌گذارند کارکردهای نظام نوآوری فناورانه نام می‌گیرند. کارکردها فرآیندهایی هستند که وجود آنها در شکل‌گیری یک نظام نوآوری فناورانه ضروری بوده و هر یک از این کارکردها می‌توانند از طریق فعالیت‌های گوناگون برآورده شوند. ادکوئیست [۳۲] دنبال کردن فرآیندهای نوآوری یا به تعبیری دیگر، توسعه، انتشار و بکارگیری نوآوری‌ها در عمل را به عنوان کارکرد اصلی نظام‌های نوآوری قلمداد می‌کند. برای مطالعه میزان تحقق این کارکرد کلی سیستم، محققان کارکردهای مختلفی را در سطح اول سیستم شناسایی کرده‌اند و بنابراین می‌توان به کارکردهای سیستم به عنوان زیرکارکردهای کارکرد اصلی آن نگریست. این کارکردها عوامل فرآیندی مؤثر بر توسعه فناوری محسوب می‌شوند. همچنین کارکردهای سیستم برآیندی از فعالیت‌های رخداده در آن می‌باشند یعنی با دسته‌بندی فعالیت‌های متجانس می‌توان کارکردهای نظام را شناسایی کرد. ارائه دسته‌بندی‌های مختلف از کارکردها نیز به دلیل وجود دسته‌بندی‌های مختلف از فعالیت‌های سیستم است. در طول زمان، محققان برای پالایش کارکردهای ارائه‌شده تلاش کردند که آخرین نسخه از کارکردها را می‌توان در مطالعه سورس و هکرت [۳۳] یافت. با مرور پیشینه کارکردها و تحلیل کارکردهای پیشنهادشده توسط محققان مختلف، مشخص شد که کارکردهای مناسب برای این مطالعه، دسته‌بندی ارائه‌شده توسط هکرت [۳٤] است. دسته‌بندی مذکور که پالایش بیشتری از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه ارائه نموده به شرح زیر می‌باشد:

- کارآفرینی (F1): تبدیل دانش فنی موجود به کسب‌وکارهای جدید
- توسعه دانش (F2): دربرگیرنده تمامی فعالیت‌هایی است که می‌توان آنها را در فرآیند یادگیری قرار داد. این یادگیری در رابطه با موضوعات مختلفی مانند دانش فنی فناوری نوظهور، بازار، شبکه‌ها و مصرف‌کنندگان صادق است.
- انتشار دانش (F3): دربرگیرنده مجموعه‌ای از فعالیت‌ها با هدف تسهیم[4] و به‌اشتراک‌گذاری[5] دانش و اطلاعات میان بازیگران مختلف موجود در سیستم است.
- جهت‌دهی به سیستم (F4): متشکل از فعالیت‌هایی است که به گزینش و محدود کردن گزینه‌های موجود در رابطه با فناوری، کاربرد و بازار آنها در سطوح مختلف می‌پردازد.
- شکل‌دهی بازار (F5): مجموعه فعالیت‌های معطوف به هدف رقابت‌پذیر کردن فناوری نوظهور نسبت به فناوری‌های موجود در بازار است.
- تأمین منابع (F6): مجموعه فعالیت‌های مربوط به تأمین و هماهنگی ورودی‌های لازم برای توسعه نظام نوآوری شامل منابع انسانی، مالی، مادی و مکمل است.
- مشروعیت‌بخشی (F7): فعالیت‌هایی که به دنبال ایجاد مقبولیت اجتماعی برای فناوری جدید هستند و می‌توانند منجر به تغییر نهادهای موجود در جامعه و هم‌راستا شدن آنها با نیازهای بازیگران موجود در نظام مورد نظر شوند را می‌توان محقق‌کننده این کارکرد دانست. این کارکرد در توسعه فناوری‌ها مانند یک کاتالیزور عمل کرده و به فرآیند توسعه نظام نوآوری سرعت می‌بخشد.

1- Nelson
2- Breschi
3- Malerba
4- Dissemination
5- Sharing

۲-۳ موتورهای محرک نوآوری

در این بخش با بهره‌گیری از مفهوم کارکردها، پویایی نظام نوآوری فناورانه در قالب مدلی به نام موتورهای محرک نوآوری بررسی خواهد شد. موتورهای نوآوری متشکل از حداقل یک حلقه علّی تجمعی هستند که وظیفه شتاب بخشیدن به رشد نظام نوآوری فناورانه در جهت‌گیری غالب (توسعه دانش، وارد نمودن کارآفرینان، ایجاد ساختارهای منسجم کاری و ایجاد بازار) را بر عهده دارند. ایجاد شتاب، هدف هر موتور نوآوری بوده و در تمام آنها مشترک است.

موتورهای نوآوری متشکل از مجموعه کارکردهایی است که دارای تعاملاتی با یکدیگر بوده و وقوع فعالیت از یک کارکرد، برآورده کردن کارکردهای دیگر را تسهیل می‌نماید. این مجموعه تعاملات میان‌کارکردی (که همان حلقه‌های علّی و معلولی و تجمعی را تشکیل می‌دهند) منجر به ایجاد شتاب بیشتری در برآوردن کارکردهای یک موتور شده و تکانه‌ای بر نظام نوآوری فناورانه در جهت رشد وارد می‌نماید. در ادامه، چهار موتور محرک علم و فناوری، کارآفرینی، شکل‌دهی به نظام و بازار که در دوره‌های زمانی مختلف از رشد موفق یک نظام به وجود می‌آیند معرفی، اهداف آنها تبیین و الگوی کارکردی که برای راه‌اندازی هر موتور لازم است به تصویر کشیده می‌شود. این موتورها توسط سورس و در مطالعات بر روی توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر در اروپا استخراج شده است. جدول ۱ اهداف هر یک از موتورهای نوآوری و کارکردهای فعال در آنها و شکل ۱ نحوه توالی میان این کارکردها را نشان می‌دهد.

هر موتور نوآوری روند رشد نظام توسعه فناوری را در طول زمان به نمایش گذاشته و الگوی مناسب در برآوردن کارکردها را ارائه می‌کند. هدایت بازیگران مختلف در انجام فعالیت مطابق الگوی توالی کارکردهای این موتورها در هر دوره زمانی، رشد موفق نظام در آن دوره زمانی را تضمین می‌نماید. نکته مهم این است که موتورهای نوآوری در ترتیب برآورده شدن خود، یکی پس از دیگری بر روی موتور قبلی سوار می‌شوند. به عبارت دیگر با ظهور هر موتور جدید، تمام کارکردهای فعال در موتورهای قبلی و حلقه‌های فعال در آن موتورها کماکان برقرار خواهند ماند. لازم به ذکر است که موتورهای نوآوری سورس لزوماً منطبق با شرایط کشور ما نیستند و بایستی با تحقیقات جداگانه، موتورهای محرک نوآوری متناسب ایران مشخص شوند.

۲-٤ فناوری پیل سوختی

پیل سوختی نوعی سل الکتروشیمیایی است که انرژی شیمیایی حاصل از واکنش را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. سازه و بدنه اصلی پیل سوختی از الکترولیت و الکترودهای آند و کاتد تشکیل شده است. پیل‌های سوختی انواع مختلفی دارند که هر یک در مرحله‌ای از پیشرفت قرار دارند و می‌توان آنها را با توجه به مواردی از جمله نوع سوخت، اکسیدکننده، نوع مبدل سوخت (مبدل خارجی یا داخلی)، نوع الکترولیت و دمای کاری و غیره تقسیم‌بندی کرد. رایج‌ترین طبقه‌بندی پیل‌های سوختی بر اساس نوع الکترولیت مورد استفاده در آنها و مشتمل بر دسته‌های پیل سوختی پلیمری، متانولی، قلیایی، اسید فسفریک، کربنات مذاب و اکسید جامد است.

۳- روش تحقیق

مقاله حاضر با توجه به تمرکز بر بخش انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران و تلاش برای پاسخگویی به یک مسأله در این زمینه (توصیف و تبیین فرآیند توسعه فناوری پیل سوختی در ایران) یک تحقیق کاربردی محسوب می‌شود. رویکرد کلی تحقیق، قیاسی و راهبرد آن از نوع ترکیبی بررسی تاریخی و پیمایش (روش آمیخته) بوده است [۳٦]. مقاله با مبنا قرار دادن کارکردهای نظام نوآوری فناورانه و مدل موتورهای محرک نوآوری سورس [٦] به عنوان چارچوب نظری اولیه (الگوی رقیب) آغاز و در ادامه به روش تحلیل تاریخی وقایع و همچنین مصاحبه با خبرگان توسعه فناوری پیل سوختی در ایران، مدل اولیه موتورهای محرک نوآوری فناوری مدنظر تدوین و بر اساس آن فرضیه‌ها تعیین شده‌اند. یکی از راه‌های شناسایی حلقه‌های علّی و معلولی، مرتبط ساختن داده‌ها به ایده‌ها و استفاده از تطبیق الگوها است که توسط کمپل[1] [۳۷] پیشنهاد شده است.

در روش فوق، چندین تکه از اطلاعات موجود در یک مطالعه تاریخی به یک ایده نظری مرتبط می‌شوند. با شناسایی الگوی‌های تکراری در اطلاعات موجود می‌توان آنها را با

1- Campbell

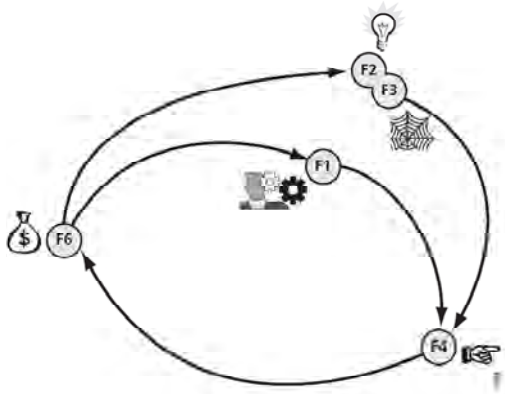
جدول ۱) اهداف و کارکردهای فعال در موتورهای نوآوری [٦و٣٥]

ردیف	عنوان موتور	اهداف	کارکردهای فعال
۱	موتور محرک علم و فناوری	به هدف گسترش دانش نظری پیرامون فناوری در هر بُعد آن (دانش امکان‌سنجی، دانش بازار، دانش فنی، دانش مدیریتی و ...) می‌پردازد.	پنج کارکرد خلق و توسعه دانش، انتشار دانش، جهت‌دهی به سیستم، تأمین منابع و فعالیت‌های کارآفرینی، کارکردهای تشکیل‌دهنده این موتور هستند. کارکرد فعالیت‌های کارآفرینی اگر چه از نقش مهمی برخوردار است ولی عموماً اوایل ظهور این موتور به صورتی بسیار ضعیف مشاهده شده یا غایب است و با بلوغ موتور، حضورش پررنگ می‌شود. کارکردهای توسعه و انتشار دانش، کارکردهای محوری این موتور هستند که نقشی اساسی در تحقق اهداف آن دارند.
۲	موتور محرک کارآفرینی	دو هدف را دنبال می‌کند: ۱) شدت بخشیدن به حجم فعالیت‌های کارآفرینی (که غالباً در محیط صنعت به وقوع می‌پیوندد) انجام‌شده در توسعه فناوری نوظهور و ۲) گسترش فعالیت‌های اجرایی و شناسایی نیازمندی‌ها و نقص‌های دانشی موجود و بازخوردی که از محیط عملیاتی به سیستم‌های تحقیق‌وتوسعه می‌دهد تا فناوری از لحاظ فناورانه به بلوغ برسد.	در این موتور نیز مانند موتور محرک علم و فناوری، کارکردهای توسعه دانش، انتشار دانش، جهت‌دهی به سیستم و تأمین منابع به صورتی پرقدرت حضور دارند. اما علاوه بر اینها کارکردهای دیگری نیز برای این موتور وجود دارد که مسبب تفاوت اساسی آن از موتور محرک علم و فناوری است. حضور فعال دو کارکرد فعالیت‌های کارآفرینی و مشروعیت‌بخشی منجر به تغییر تعاملات میان‌کارکردی و پدید آمدن موتور کارآفرینی می‌شود. کارکرد فعالیت‌های کارآفرینی کارکرد محوری در این موتور بوده و نقشی اساسی در محقق نمودن اهداف آن دارد.
۳	موتور محرک ساختاردهی	با هدف ایجاد ساختاری منسجم و یکپارچه در مسیر توسعه فناوری، به دنبال فراهم آوردن فرصت‌هایی برای برنامه‌ریزی‌های کلان بوده تا جهت رشد سیستم را از حالت وابستگی و پروژه‌محوری خارج و توسعه فناوری در معنای عام را هدف قرار دهد.	در این موتور، برای اولین بار هر هفت کارکرد نظام نوآوری فناورانه شروع به برآورده شدن می‌نمایند. کارکردهای توسعه و انتشار دانش، فعالیت‌های کارآفرینی، جهت‌دهی به سیستم، تأمین منابع و مشروعیت همچنان از موتورهای قبلی باقیمانده‌اند لیکن تغییراتی در تعاملات میان آنها صورت می‌پذیرد. مهم‌ترین کارکردی که در این موتور برای اولین بار به صورتی پرقدرت ظاهر می‌شود کارکرد تشکیل بازار است که نقشی اساسی در آن به عهده دارد. در این موتور، کارکرد مشروعیت‌بخشی (از طریق ایجاد شبکه‌های حمایتی میان کارآفرینان) مهم‌ترین نقش را در تحقق اهداف دارد.
٤	موتور محرک بازار	هدفی که در این موتور دنبال می‌شود قرار دادن نظام نوآوری فناورانه یک فناوری به عنوان بخشی از سیستم‌های موجود است به گونه‌ای که فناوری تنها با جذابیت‌های بازار به توسعه خود ادامه دهد.	در این موتور تمام کارکردها بجز کارکرد مشروعیت‌بخشی در حال فعالیت هستند. دلیل آن هم این است که در این مرحله از بلوغ سیستم، انجام فعالیت در کارکرد تشکیل بازار، نیازمند حمایت و پشتیبانی‌شبکه‌های کارآفرین و دولت نیست.

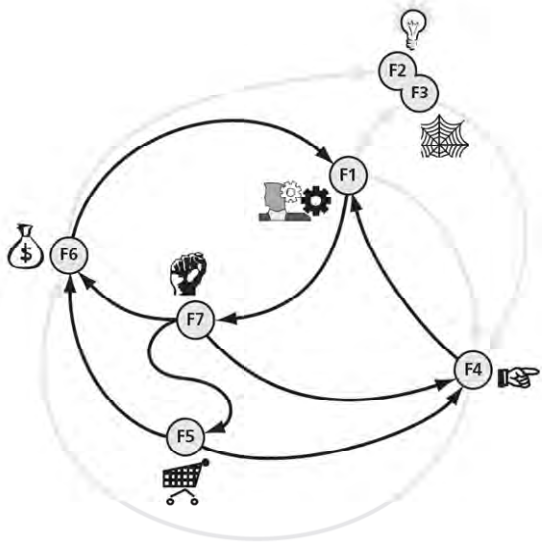
استفاده از روش تحلیل تاریخی وقایع[1] که توسط پول[2] و همکاران [۳۸] و ون د ون[3] [۳۹] ارائه شده به عنوان الگوهایی در نظریه مطرح کرد. این روش که به شکلی نظام‌مند وقایع رخ‌داده طی یک دوره تاریخی را در کنار یکدیگر تحلیل و از این طریق به کشف الگوهایی در رخداد وقایع کمک می‌کند توسط نگرو و همکاران [۲۳] در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر با موفقیت پیاده‌سازی و مشخص شده که سازوکار مناسبی در تحلیل نظام‌مند داده‌های تاریخی است.

پس از استخراج مدل، فرضیه‌ها (روابط بین کارکردها) تعیین و آزمون می‌شوند. به منظور آزمون فرضیه‌ها، ابتدا برای هر یک از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه که در موتورهای محرک نوآوری نقش‌آفرین هستند شاخص‌هایی تعیین و بر

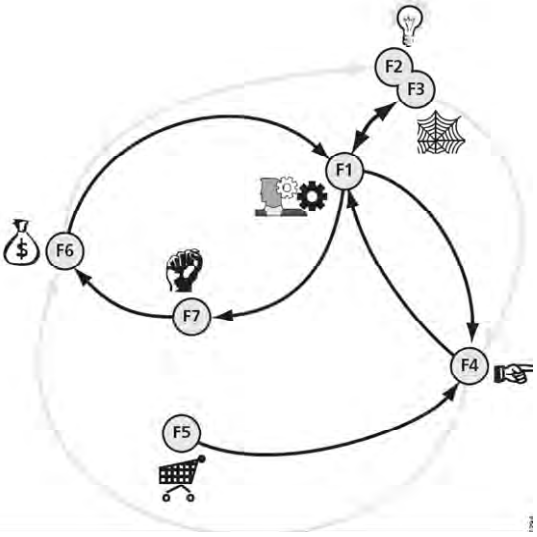
1- Historical Data Analysis
2- Poole
3- Van de Ven



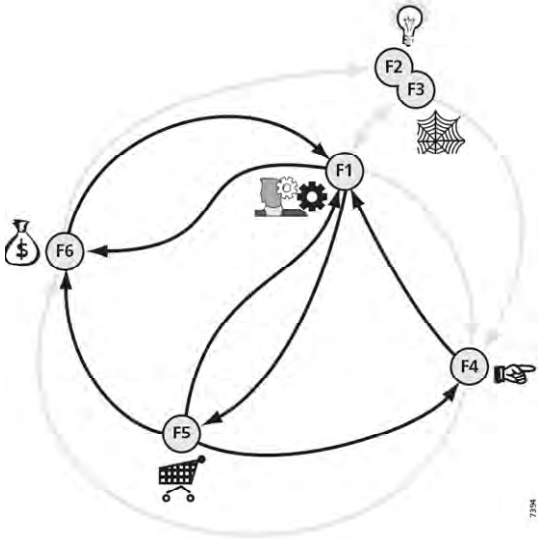
ارتباط میان کارکردها در موتور محرک علم و فناوری



ارتباط میان کارکردها در موتور محرک ساختاردهی



ارتباط میان کارکردها در موتور محرک کارآفرینی



ارتباط میان کارکردها در موتور محرک بازار

شکل ۱) توالی میان کارکردهای فعال موتورهای نوآوری

اساس این شاخص‌ها پرسشنامه‌هایی طراحی شده است. در ادامه بر اساس نظرات خبرگان، داده‌ها گردآوری و در نهایت با استفاده از این داده‌ها، فرضیه‌ها مورد آزمون قرار گرفته‌اند.

٤- مدل مفهومی توسعه فناوری پیل سوختی در کشور

٤-١ تحلیل تاریخی و استخراج مدل

بر مبنای رویکرد تحلیل تاریخی وقایع و مصاحبه‌های اشباع‌شده با دست‌اندرکاران، رویدادها و اتفاقات پیش‌آمده در فرآیند توسعه فناوری پیل سوختی در ایران طی دوره‌های زمانی مختلف، مستند و به منظور تقویت این مستندسازی با مراجعه به تاریخ مکتوب موجود در روزنامه‌ها و مدارک و نامه‌های رسمی منتشرشده، این روایت نگاری تکمیل و مثلث‌سازی شد. بدین منظور با برخی از اصلی‌ترین بازیگران و افراد مؤثر در این فناوری از جمله دو تن از معاونین مرکز همکاری‌های فناوری و نوآوری ریاست‌جمهوری، سه تن از اساتید دانشگاه‌های تهران و تربیت مدرس، معاونین برنامه‌ریزی و فنی سازمان انرژی‌های نو و همچنین مدیران پتانسیل‌سنجی و دفتر مهندسی سانا مصاحبه‌های عمیق و طولانی انجام شد. مصاحبه‌ها کدگذاری و منطبق با کارکردهای نظام نوآوری فناورانه، برچسب‌نگاری و در قالب

موتورهای نوآوری تبیین شدند که بر این اساس مراحل توسعه فناوری پیل سوختی در ایران را می‌توان در سه دوره مختلف زمانی ذیل دسته‌بندی و تشریح نمود:

✍ دوره اول: انجام فعالیت‌های جزیره‌ای (۱۳۷۲ تا ۱۳۷۹)

در این دوره طی دو فرآیند موازی توسط پژوهشگران داخلی و دانش‌آموختگان خارج از کشور، تلاش شد با فضاسازی در رابطه با آینده پیل سوختی در دنیا، مسئولین به حمایت از شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه پیل سوختی در ایران مجاب شوند. در خصوص روابط علّی میان کارکردها می‌توان گفت که با پایش فناوری پیل سوختی در دنیا از یک سو و از سوی دیگر، ورود پژوهشگران ایرانی تحصیل‌کرده در خارج از کشور، انتظارات نسبت به فناوری پیل سوختی در کشور افزایش یافت. با افزایش انتظارات و رایزنی‌ها با مسئولان کشور، منابع محدودی برای انجام طرح‌های پژوهشی اختصاص می‌یافت که در نتیجه تخصیص این منابع، تعداد محدودی طرح پژوهشی و پایلوت انجام و خروجی آنها تا حدودی به ذهنیت بازیگران سیستم جهت می‌داد. همچنین در یک مسیر دیگر با ورود پژوهشگران به کشور و جذب آنها در دانشگاه‌ها، از منابع داخلی دانشگاه‌ها برای انجام پژوهش‌هایی با اندازه کوچک بهره گرفته می‌شد. مهم‌ترین کارکردهای محقق‌شده در این دوره، کارکردهای جهت‌دهی به سیستم و ایجاد مقبولیت بود. جدول ۲ روابط میان کارکردها در این دوره را بر اساس تحلیل تاریخی وقایع نشان می‌دهد [۴۰].

جدول ۲) رویدادهای شناسایی‌شده و نحوه تعامل میان کارکردها در دوره اول [۴۰]

عنوان	تعامل میان کارکردها
پایش اولیه فناوری پیل سوختی	F2 → F4 → F6 → F2 → F4 → F7
پروژه "پایلوت فناوری هیدروژن خورشیدی"	F4 → F7 → F6 → (F1,F2,F3)
پروژه‌های تکمیلی پایلوت فناوری	F6 → (F1,F2,F3),F4 → F6 → F1
پژوهش درباره SPE و پروژه دانشگاه صنعتی شریف	F2 → F4 → F6 → F2
ورود و جذب پژوهشگران در دانشگاه‌ها	F6 → F2 → F3 → F4 → F7
مطالعات ایران‌خودرو	F7 → F6 → (F2,F1),F1 → F4 → F6
انتشار بولتن	F3 → F4 → F7 → F6 → F3

✍ دوره دوم: برنامه‌ریزی با جیب خالی (۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶)

در این دوره نیز همچون دوره قبل، مهم‌ترین کارکردها که در صورت تحقق آنها فرآیند شکل‌گیری سیستم تسریع می‌شد کارکردهای جهت‌دهی به سیستم و ایجاد مقبولیت بود که در رابطه با کارکرد جهت‌دهی به سیستم، فعالیت‌های قابل ملاحظه‌ای انجام شد. از مهم‌ترین فعالیت‌ها در این رابطه می‌توان به برگزاری نشست دانشگاه صنعتی شریف، ایجاد کمیته راهبری توسعه فناوری پیل سوختی به صورت خودجوش و انجام مطالعات امکان‌سنجی و تحلیل جذابیت فناوری پیل سوختی که بعداً به سندی مصوب در این خصوص تبدیل شد اشاره کرد. از آنجا که در تمامی فعالیت‌های گفته‌شده، متخصصان بسیاری در حوزه فناوری پیل سوختی درگیر شدند هماهنگی قابل قبولی میان آنها نسبت به اولویت‌های کشور در این حوزه ایجاد شد. هماهنگی موجود میان بازیگران اما تنها محدود به شناسایی اولویت‌ها و برنامه‌های اصلی توسعه فناوری در کشور بود و از فرصت به وجود آمده در راستای ایجاد شبکه‌های قوی میان بازیگران برای انتشار دانش استفاده نمی‌شد. تا آن زمان به دلیل عدم وجود سندی مصوب برای توسعه فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، منابع مالی قابل توجهی به این حوزه اختصاص نمی‌یافت و تنها در صورت وجود منابعی درون‌سازمانی (که مقادیر کمی هم بودند) از آنها برای انجام پروژه‌های کوچک استفاده می‌شد. بنابراین برای جذب منابع لازم جهت انجام فعالیت‌های پژوهشی می‌بایست رایزنی‌هایی با مسئولان انجام می‌گرفت. نهایتاً با تأمین منابع لازم، فعالیت‌های پژوهشی و ندرتاً فعالیت‌هایی نیز در حوزه کارآفرینی انجام می‌شد که در صورت کسب موفقیت در انجام این فعالیت‌ها انتظارات نسبت به گام‌های پیموده‌شده افزایش و منابع بعدی برای انجام پژوهش تأمین می‌گردید. جدول ۳ روابط میان کارکردها در دوره دوم را نشان می‌دهد [۴۰].

✍ دوره سوم: بروز مشکلی که سال‌ها پنهان بود (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶)

در این دوره از شکل‌گیری نظام نوآوری، کارکرد ایجاد مقبولیت از بیشترین اهمیت برخوردار بود. در رابطه با جهت‌دهی به سیستم، با تصویب سند راهبرد ملی توسعه فناوری ریاست‌جمهوری، نقشه راه توسعه این فناوری در

جدول ۳) رویدادهای شناسایی‌شده و نحوه تعامل میان کارکردها در دوره دوم [٤٠]

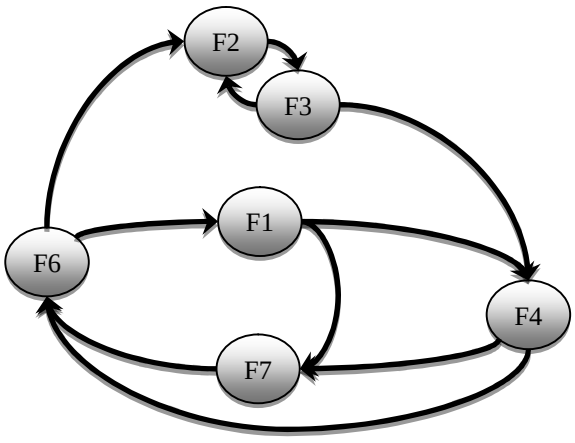
عنوان	تعامل میان کارکردها
تشکیل کمیته راهبری پیل سوختی	F3 → F4 → F7
نتایج تشکیل کمیته راهبری پیل سوختی	F4 → F7 → F6
انجام مطالعات و تصویب سند	F6 → F2 → F4 → F7
وضعیت کشور در حین تصویب سند	F4 → F2 → F3,F7 → F6 → F1
مشارکت ذینفعان در فرآیند تصویب سند	F3 → F4 → F7 → F6 → F2
پیامدهای تصویب سند	F3 → F4 → F6 → (F2,F1)
پیامد اول نبود اعتبار	F6 → F2 → F4
پیامد دوم نبود اعتبار	F6 → F2 → F3 → F4
پیامد سوم نبود اعتبار	F6 → (F2,F1) → F4,F4 → F3 → F2
تدوین برنامه عملیاتی سند	F7 → F6 → F2 → F4
انتشار سری جدید نشریه هیدروژن و پیل سوختی	F6 → F3 → F4
برگزاری هم‌اندیشی اقتصاد هیدروژنی	F3 → F4 → F7
وقایع رخ‌داده در حین تصویب سند	F6 → (F1,F2)

کشور برای تمامی بازیگران روشن شد. از این‌رو بازیگرانی که در تعریف پروژه‌ها جایگاهی عمده داشتند می‌توانستند در قالب اقدامات موجود در برنامه عملیاتی سند، فعالیت کنند. انتظار می‌رفت با تصویب سند، منابع مالی دیده‌شده در برنامه عملیاتی برای انجام پروژه‌ها تأمین شود لیکن این اتفاق نیفتاد. علت این امر نیز عدم ایجاد مقبولیت برای فناوری هیدروژن و پیل سوختی در ذهن تصمیم‌گیران رده بالای کشور است.

در تعاملات میان کارکردها یک رابطه جدید میان کارکردهای فعالیت‌های کارآفرینانه و ایجاد مقبولیت در این دوره شناسایی شد که از اهمیت فراوانی برخوردار است. تا پیش از این برای ایجاد مقبولیت، دو دسته فعالیت انجام می‌شد: الف) فعالیت‌های ترویجی مانند انتشار بولتن، نشریه و موارد مشابه و ب) رایزنی با مسئولان بر مبنای برنامه‌های تدوین‌شده و یا توسعه فناوری در خارج از کشور (کارکرد جهت‌دهی به سیستم). اما در این دوره برای اولین بار پس از ساخت نمونه‌های اولیه و نمایش آنها به مسئولین، آنها را متقاعد به حمایت از فناوری می‌کردند. جدول ٤ نشان‌دهنده رویدادهای مرتبط با دوره سوم و شکل ۲ مدل روابط میان کارکردها در این دوره را نشان می‌دهد [٤٠].

جدول ٤) رویدادهای شناسایی‌شده و نحوه تعامل میان کارکردها در دوره سوم [٤٠]

عنوان	تعامل میان کارکردها
برگزاری جلسات ستاد	F4 → F6 → F2
عدم تخصیص بودجه مورد نیاز	F7 → F6 → F2 → F4
پیامدهای عدم تخصیص بودجه	F6 → (F2,F1) → F4 → F7
سیستم پیل سوختی پلیمری ۵ و ۱۰ کیلووات	F4 → F6 → (F2,F1)) → F4
تولید نمونه خودروی پیل سوختی	F4 → F6 → F2 → F4,F1 → F7 → F6 → (F2,F1),F1 → F7 → F6 → F1
تولید تک‌سل پیل سوختی اکسید جامد	F4 → F6 → F2 → F4
تولید استک ۵۰ و ۱۰۰ واتی پیل سوختی بر پایه گاز طبیعی و اکسید جامد	F4 → F6 → F2 → F4
نصب و راه‌اندازی سیستم پیل سوختی پلیمری دما بالا	F4 → F6 → (F2,F1)
تشکیل ستاد توسعه فناوری انرژی‌های نو	F4 → F7 → F6 → (F1,F2)
ساخت دستگاه تست پیل سوختی پلیمری	F6 → (F2,F1) → F4 → F7
برگزاری نشست کمیته پس از ۲۰ ماه وقفه	F4 → F5,F4 → F7



شکل ۲) تعامل میان کارکردها در دوره سوم (طرح اولیه مدل مفهومی تحقیق)

٤-٢ تعیین و آزمون فرضیه‌ها – اعتبارسنجی مدل

٤-٢-١ تعیین فرضیه‌ها بر اساس تحلیل تاریخی وقایع

مدل‌های ارائه‌شده در بخش‌های قبلی، مدل‌هایی مرحله‌ای هستند که در نتیجه استفاده از روش تحلیل تاریخی وقایع حادث‌شده در دوره‌های مختلف زمانی، حاصل شده‌اند و فرآیند توسعه فناوری پیل سوختی را به تصویر کشیده‌اند. بر اساس مدل مفهومی ارائه‌شده برای دوره سوم که وضعیت فعلی کشور را تصویر می‌کند و همچنین ارتباطات به دست آمده بین کارکردهای مختلف، ۹ فرضیه مندرج در جدول ۵ مطرح شد که در ادامه، پذیرش یا رد روابط این مدل به وسیله روش‌های کمّی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۵) ایجاد فرضیه‌ها بر اساس تحلیل تاریخی وقایع

ردیف	فرضیه
۱	کارکرد "جهت‌دهی به سیستم" منجر به شکل‌گیری کارکرد "ایجاد مقبولیت اجتماعی" می‌شود (اثر F4 بر F7).
۲	کارکرد "ایجاد مقبولیت اجتماعی" منجر به شکل‌گیری کارکرد "تأمین و تخصیص منابع" می‌شود (اثر F7 بر F6).
۳	کارکرد "تأمین و تخصیص منابع" منجر به شکل‌گیری کارکرد "فعالیت‌های کارآفرینان" می‌شود (اثر F6 بر F1).
٤	کارکرد "فعالیت‌های کارآفرینان" منجر به شکل‌گیری کارکرد "جهت‌دهی به سیستم" می‌شود (اثر F1 بر F4).
٥	کارکرد "جهت‌دهی به سیستم" منجر به شکل‌گیری کارکرد "تأمین و تخصیص منابع" می‌شود (اثر F4 بر F6).
٦	کارکرد "تأمین و تخصیص منابع" منجر به شکل‌گیری کارکرد "خلق و توسعه دانش" می‌شود (اثر F6 بر F2).
۷	کارکرد "خلق و توسعه دانش" منجر به شکل‌گیری کارکرد "انتشار دانش" می‌شود (اثر F2 بر F3).
۸	کارکرد "انتشار دانش" منجر به شکل‌گیری کارکرد "جهت‌دهی به سیستم" می‌شود (اثر F3 بر F4).
۹	کارکرد "فعالیت‌های کارآفرینان" منجر به شکل‌گیری کارکرد "ایجاد مقبولیت اجتماعی" می‌شود (اثر F1 بر F7).

٤-٢-٢ آزمون فرضیه‌های تحقیق

در ابتدا و پس از تعریف فهرست اولیه‌ای از شاخص‌های کمّی و کیفی و ارائه آن به سازمان‌های ذیربط در کشور نظیر سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) و همچنین ستاد فناوری پیل سوختی، به دلیل عدم کفایت داده‌ها و نیز اینکه برخی شاخص‌ها ذاتاً کیفی بودند تصمیم بر آن شد که برای ارزیابی و صحت‌سنجی مدل مفهومی تحقیق از شاخص‌های کمّی استفاده شود. از این‌رو با بررسی مدل‌ها و چارچوب‌های ارائه‌شده در بخش مبانی نظری نظام‌های نوآوری فناورانه و به ویژه دو رویکرد برگک و همکاران [۷] و هکرت و همکاران [٤] مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها و شاخص‌ها برای مدل مفهومی کلان تحقیق استخراج شد. در این راستا بر مبنای مرور پیشینه، نسخه اولیه‌ای از شاخص‌های نظام نوآوری فناورانه برای کارکردهای این نظام تهیه شد:

۱۰ شاخص برای کارکرد توسعه دانش با دو رویکرد توسعه دانش‌های فنی و غیرفنی تعریف شده است. به عنوان مثال شاخص‌هایی نظیر تعداد پروژه‌های تحقیقاتی و میزان حمایت‌ها از ایجاد ظرفیت تحقیقاتی در بنگاه‌های داخلی از جمله شاخص‌های توسعه دانش فنی و میزان یاری‌رسانی دانش مدیریتی افراد درگیر در این حوزه به افزایش ظرفیت تحقیقات از جمله شاخص‌های توسعه دانش غیرفنی می‌باشد. از سوی دیگر برای انتشار دانش از دو مسیر رسمی و غیررسمی استفاده می‌شود که برای آنها ۱۲ شاخص احصاء شده و از میان آنها می‌توان به اندازه و تعداد شبکه‌های رسمی متشکل از بازیگران موجود و میزان جابجایی نیروهای تحصیل‌کرده دانشگاهی با محوریت فناوری از جمله شاخص‌های انتشار دانش می‌باشند. ارزیابی کارکرد جهت‌دهی به سیستم نیز می‌تواند به دو صورت رسمی و غیررسمی انجام گیرد و برای این منظور نیز ۱۱ شاخص تعیین شد که از جمله آنها می‌توان به میزان قانون‌گذاری و تدوین مقررات و میزان کنترل بخش دولتی بر این حوزه اشاره نمود. برای کارکرد کارآفرینی نیز ۱۰ شاخص مشخص شده که میزان تشکیل شرکت‌های نوپا و کارآفرین خصوصی و تعداد قراردادهای منعقدشده میان شرکت‌های داخلی با شرکت‌های خارجی دو شاخص از میان آنهاست. شاخص‌های بازار ایجادشده برای فناوری پیل سوختی، حمایت‌های قانونی از شکل‌گیری این

بازار و میزان فعالیت‌های انجام‌شده برای ارتقاء بازار از جمله ابعاد احصاءشده برای کارکرد شکل‌گیری بازار می‌باشد. برای کارکرد تأمین و تخصیص منابع ۱۲ شاخص شناسایی شد که این شاخص‌ها در سه دسته تأمین منابع انسانی، تأمین منابع مالی و همچنین وجود سرمایه‌های مکمل و مواد اولیه تقسیم‌بندی شدند. برای کارکرد مشروعیت‌بخشی نیز ۱۱ شاخص مطرح شد که از مهم‌ترین آنها می‌توان به میزان قوانین و نهادهای موجود در کشور که حامی انرژی‌های تجدیدپذیرند و همچنین میزان پروژه‌های نمایشی برای جلب توجه ذینفعان در این حوزه اشاره نمود.

برای تدقیق شاخص‌های مدل مفهومی، بسته شاخص‌های فوق‌الذکر در جلسات گروه‌های کانونی و با حضور خبرگان مرتبط با مباحث سیاست‌گذاری در فناوری مدنظر، بررسی و نسخه ابتدایی شاخص‌ها تدوین شد. این نسخه مجدداً برای ۳۵ نفر از خبرگان ارسال و پس از دریافت و اعمال نظرات آنها، نسخه نهایی شاخص‌ها تهیه شد (جدول ٦). نهایتاً میزان موافقت خبرگان حوزه پیل سوختی با اجزاء مدل بر اساس پرسشنامه‌ای مرکب از شاخص‌های نسخه اخیر و در قالب سنجه‌هایی با گویه‌های تعریف‌شده در قالب طیف هفت‌گزینه‌ای لیکرت مورد پرسش قرار گرفت.

از روایی پرسشنامه با ارزیابی روایی محتوایی و نیز روایی صوری (به استناد نظرات خبرگان) و همچنین تأیید روایی سازه‌ای با تحلیل عاملی تأییدی اطمینان حاصل شد. در خصوص پایایی نتایج نیز از آنجا که برای هر یک از ابعاد و مؤلفه‌های مدل، مقدار آلفاء کرونباخ بیش از ۰/۷ و برای کل سنجه‌های پرسشنامه نیز این شاخص برابر ۰/۹۳۱ به دست آمده بنابراین پایایی آن در سطحی قابل قبول است. جامعه آماری این تحقیق شامل مدیران و کارآفرینان صنعتی، پژوهشگران و اساتید دانشگاهی و غیردانشگاهی فعال در بخش فناوری پیل سوختی؛ سیاست‌گذاران و یا مدیران درگیر در فرآیند سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی توسعه فناوری در کشور و به ویژه در بخش فناوری پیل سوختی به علاوه مدیران یا کارشناسان درگیر در فرآیند تنظیم‌کنندگی یا تسهیل‌کنندگی توسعه فناوری مدنظر در کشور بوده است. برای تعیین حجم نمونه، ابتدا تخمینی از حجم جامعه آماری مربوطه لازم بود که با پیگیری‌های انجام‌شده از طریق ستاد فناوری پیل سوختی، ستاد توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، بانک اطلاعاتی نشریه پیل سوختی، کمیته راهبری پیل سوختی کشور و همچنین سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق، نهایتاً خبرگان مشمول این جامعه در قالب ٣٦٤ نفر احصاء و حجم نمونه با استفاده از فرمول تصحیح کوکران برای نمونه‌گیری از یک جامعه محدود، برابر ١٢٦ محاسبه شد. انتخاب نمونه‌ها به صورت تصادفی طبقه‌ای بوده که بیش از ۳۰۰ پرسشنامه به خبرگان ارسال و در نهایت با پیگیری‌های بسیار تعداد ۱۳۲ پرسشنامه تکمیل‌شده و قابل قبول دریافت شد.

جدول ٦) ابعاد و شاخص‌های نهایی مربوط به مدل مفهومی تحقیق

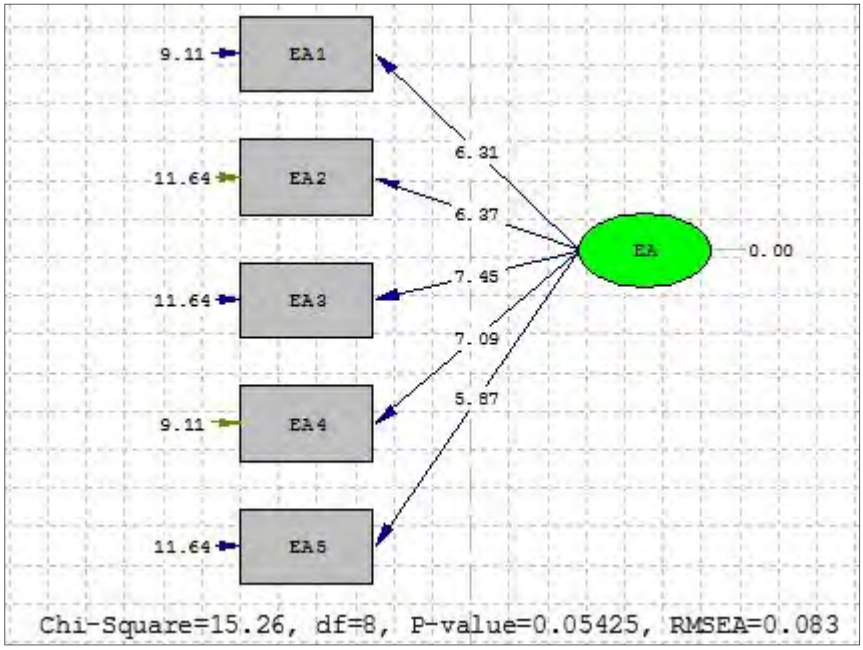
	ابعاد و شاخص‌ها		کد
کارکرد خلق و توسعه دانش (KD)	حجم پروژه‌ها و مطالعات انجام‌شده (k1)	پروژه‌های تحقیق‌وتوسعه در پیل سوختی (شامل Stack و BOP)	KD1
		پروژه‌های تحقیق‌وتوسعه در فراورش سوخت و سایر اجزاء مورد نیاز	KD2
		پروژه‌های مشترک تحقیق‌وتوسعه با سایر کشورها و یا سازمان‌های بین‌المللی	KD3
		مطالعات امکان‌سنجی، اقتصادی و بازار	KD4
	کیفیت پروژه‌ها و مطالعات انجام‌شده (k2)	کیفیت پروژه‌های تحقیق‌وتوسعه انجام‌شده در پیل سوختی (شامل Stack و BOP)	KD5
		کیفیت پروژه‌های تحقیق‌وتوسعه انجام‌شده در فراورش سوخت و سایر اجزاء مورد نیاز	KD6
		تطابق دانش تولیدشده توسط مراکز پژوهشی و دانشگاه‌های کشور با تقاضای صنعت	KD7
	میزان خروجی‌های علمی (k3)	تولید مقالات معتبر بین‌المللی، پایان‌نامه‌ها و کتب علمی	KD8
		نوآوری‌ها و اختراعات ثبت‌شده و نشده ملی و بین‌المللی متعلق به ایران در فناوری پیل سوختی	KD9

جدول ٦) ابعاد و شاخص‌های نهایی مربوط به مدل مفهومی تحقیق

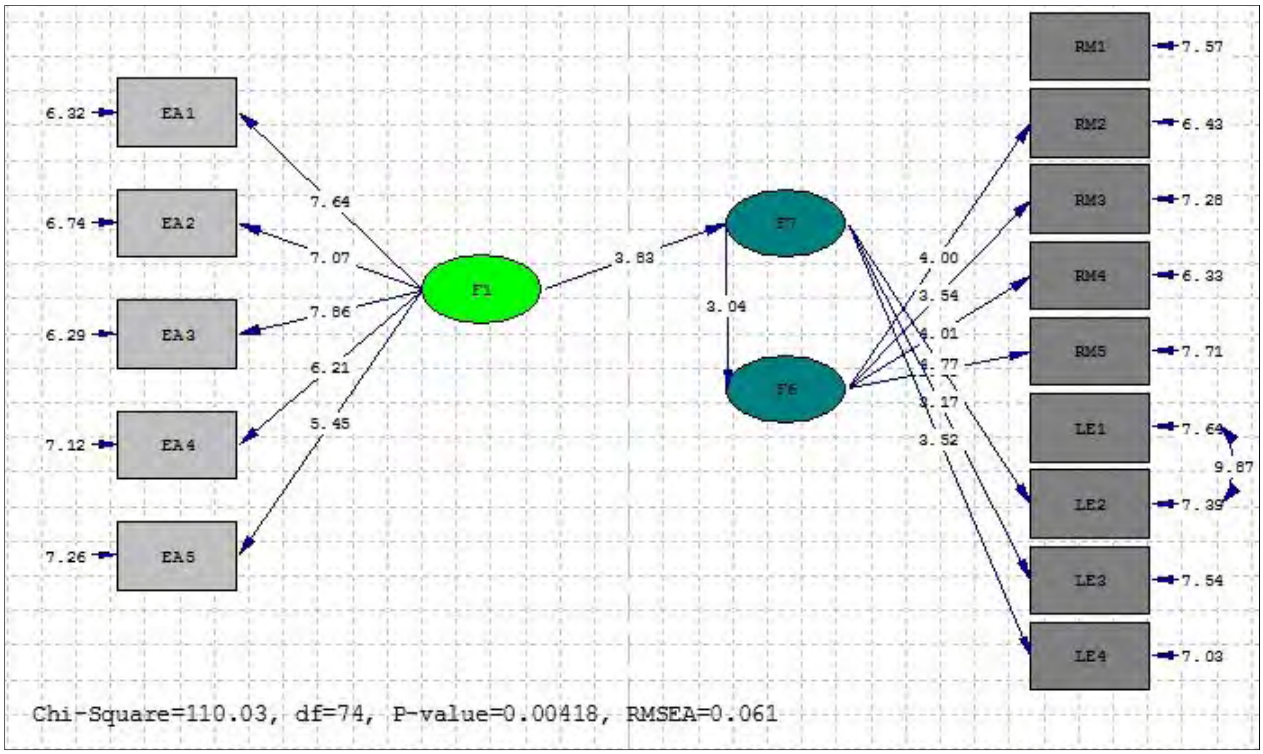
	ابعاد و شاخص‌ها		کد
کارکرد انتشار دانش (KDI)	نقش پروژه‌های تحقیق‌وتوسعه مشترک میان سازمان‌های مختلف (دولتی، دانشگاهی یا صنعتی) در افزایش دانش بازیگران		KDI1
	تشکیل شبکه‌های (مجموعه روابط پایدار) متشکل از بازیگران (در دولت، دانشگاه و صنعت) مانند انجمن‌های مختلف برای انجام همکاری‌های گوناگون		KDI2
	تعداد کنفرانس‌ها، همایش‌ها، سمینارها و کارگاه‌های تخصصی مفید برگزارشده		KDI3
	ارتباط و انتقال دانش فنی نیروهای آموزش‌دیده و ماهر در این حوزه بین سازمان‌ها و شرکت‌های مختلف		KDI4
کارکرد کارآفرینی (EA)	ورود شرکت‌های مختلف به حوزه‌های کاربرد فناوری		EA1
	ورود سازمان‌های دولتی و عمومی (نظیر شهرداری‌ها و بنیادها) به حوزه‌های کاربرد فناوری		EA2
	ارتقاء تعداد شرکت‌های مستقر در مراکز رشد و پارک‌های فناوری		EA3
	پروژه‌های انجام‌شده برای تولید نمونه‌های اولیه از محصولات و قطعات مبتنی بر توان داخلی و یا با کمک شرکت‌های خارجی		EA4
	سطح همکاری‌های میان شرکت‌ها و سازمان‌های خارجی با شرکت‌ها و سازمان‌های داخلی در ارسال تجهیزات و محصولات جانبی جهت نصب و راه‌اندازی کاربردهای این فناوری		EA5
کارکرد جهت‌دهی به سیستم (GS)	هدف‌گذاری‌های انجام‌شده (g1)	آگاهی محققین و توسعه‌دهندگان این فناوری از اهداف و راهبردهای دولت	GS1
		میزان اجرایی شدن اهداف کمّی و راهبردهای توسعه این فناوری از سوی دولت	GS2
	وضع قوانین و مقررات (g2)	تنوع قوانین و مقررات حمایتی وضع‌شده	GS3
		اثربخشی قوانین و مقررات حمایتی وضع‌شده	GS4
	هماهنگی اجزاء سیستم (g3)	گرایش محققین و توسعه‌دهندگان کشور به سوی یک طراحی غالب در کاربردهای پیل سوختی	GS5
		انجام فعالیت‌ها در قالب یک تقسیم کار ملی هماهنگ	GS6
		شتاب‌زدگی و بی‌برنامگی در تصمیمات و سیاست‌های اتخاذشده	GS7
کارکرد شکل‌گیری بازار (MF)	بازار ایجادشده (m1)	حجم بازار ایجادشده برای برق حاصل از فناوری	MF1
		حجم بازار ایجادشده برای محصولات فناوری مانند توربین و تجهیزات	MF2
	حمایت‌های قانونی از شکل‌گیری بازار (m2)	مزیت رقابتی خاص از طریق ارائه معافیت‌های مالیاتی و بخشودگی تعرفه گمرکی برای صنعتگران این فناوری	MF3
		حمایت عمومی از تولید برق از فناوری پیل سوختی	MF4
		جذابیت تعرفه‌های خرید برق حاصل از این فناوری برای بخش خصوصی	MF5
	میزان فعالیت‌های انجام‌شده برای ارتقاء بازار (m3)	خریدهای دولتی انجام‌شده (بازارهای خاص ایجادشده از سوی دولت) برای ارتقاء استفاده از توان داخل	MF6
		پیوستگی در سفارش‌های داده‌شده برای خرید محصولات و خدمات این فناوری	MF7
تأمین و تخصیص منابع (RM)	نیروی انسانی توانمند و متخصص (با دانش علمی و یا مهارت) موجود		RM1
	حجم آموزش‌ها و کمک‌های فنی مهندسی و تخصصی مرتبط با فناوری از طریق کارشناسان خارجی		RM2
	سرمایه‌گذاری در تأمین فناوری و دانش فنی از سوی دولت		RM3
	سرمایه‌گذاری در تأمین فناوری و دانش فنی از سوی سرمایه‌گذاران بخش خصوصی		RM4
	زیرساخت‌ها و تجهیزات مکمل و مواد اولیه مورد نیاز برای بکارگیری این فناوری مانند تجهیزات آزمایشگاهی و تست		RM5
کارکرد مشروعیت بخشی (LE)	حمایت قوانین و مقررات کلان موجود در بخش انرژی از فناوری		LE1
	حمایت مدیران میانی و کلان از فناوری		LE2
	پروژه‌های نمایشی و فعالیت‌های تبلیغاتی انجام‌شده برای جلب توجه ذینفعان		LE3
	حمایت اجتماعی (پذیرش جامعه و مردم) از انرژی‌های تجدیدپذیر		LE4

٤-۲-۳ اعتبارسنجی مدل

هر یک از سازه‌های مدل به صورت مجزا ابتدا با استفاده از تحلیل عاملی تأییدی و در ادامه نیز حلقه‌های مدل مفهومی با بهره‌گیری از مدل‌سازی معادلات ساختاری اعتبارسنجی شده‌اند که برای رعایت اختصار، صرفاً به ارائه محاسبات مربوط به سازه فعالیت‌های کارآفرینی (F1) به عنوان یکی از سازه‌های هفت‌گانه کارکردی مدل مفهومی تحقیق و حلقه {کارآفرینی ← مشروعیت‌بخشی ← تأمین منابع ← کارآفرینی} اکتفاء می‌شود. شکل ۳ مدل تحلیل عاملی تأییدی سازه فعالیت‌های کارآفرینی و شکل ٤ مدل معادلات ساختاری حلقه مدنظر را نشان می‌دهد که در هر دو مدل، تمامی ضرایب مسیرها معنی‌دار و بارهای عاملی استانداردشده متغیرهای این سازه‌ها نیز درخور توجه و بالا بوده است.



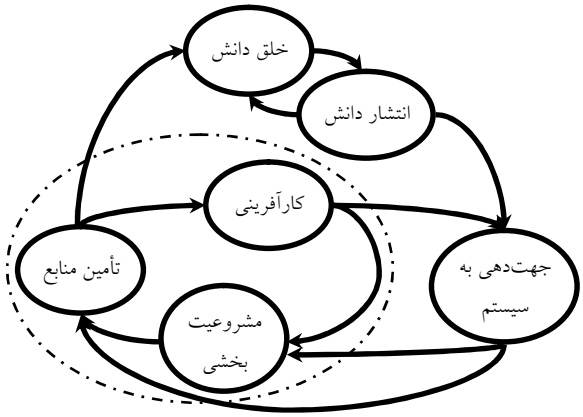
شکل ۳) مدل تحلیل عاملی تأییدی اندازه‌گیری سازه فعالیت‌های کارآفرینی (F1)



شکل ٤) مدل معادلات ساختاری حلقه {کارآفرینی ← مشروعیت‌بخشی ← تأمین منابع ← کارآفرینی}

حلقه مورد بررسی (مشخص‌شده با خط‌چین در شکل ۵) تاکنون مؤثرترین حلقه در شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه پیل سوختی و پیشرفته‌ترین حلقه در توسعه فناوری آن است. در حقیقت، فناوری پیل سوختی می‌بایست تا حدی توسعه یابد که این حلقه در سیستم نمایان شود. علت این امر نیز لزوم وجود محصولات فناورانه اولیه برای متقاعد کردن بازیگران قدرتمندتر و جلب اعتماد آنها است. به همین دلیل نیز حلقه مذکور در دو مرحله اول توسعه فناوری پیل سوختی شناسایی نشد. تا پیش از ساخت سیستم پنج کیلووات پیل سوختی پلیمری، در کشور محصول فناورانه‌ای که قابلیت ارائه داشته باشد وجود نداشت اما پس از تولید اولیه آن، این حلقه در نظام نوآوری پیل سوختی شکل گرفت. انتظار می‌رود با تقویت این حلقه و تکرار آن به دفعات زیاد، مقدمه ایجاد بازارهای اولیه و در نتیجه، ظهور کارکرد شکل‌گیری بازار در سیستم نوآوری پیل سوختی فراهم شود.

به طور مشابه، کل ساختار مدل مفهومی تحقیق به همان صورت طرح اولیه مندرج در شکل ۱ تأیید شد.



شکل ۵) حلقه {کارآفرینی ← مشروعیت‌بخشی ← تأمین منابع ← کارآفرینی} در ساختار نهایی (تأییدشده) مدل مفهومی نشان‌دهنده ارتباط کارکردها

۵- نتیجه‌گیری

رویکرد موتورهای محرک نوآوری به سیاست‌گذاران کمک می‌کند که سیاست‌گذاری‌های خود را با توجه به چرخه پویایی نظام و میزان شکل‌گیری نظام نوآوری ارائه نمایند و به این ترتیب با صرف منابع کمتر، نتایج احتمالاً بهتری به دست آورند. دلیل آن هم این است که هر نظام نوآوری یک فناوری خاص، دارای چرخه‌های متفاوتی بوده و در هر مقطع زمانی می‌توان با یکی از این چرخه‌ها (که همخوانی بهتری بین وضعیت نظام نوآوری و سیاست‌های اعمال‌شده ایجاد می‌نماید) به تحلیل رفتار آن پرداخت. با این مقدمه، اولین قدم برای سیاست‌گذاری توسعه فناوری، توصیف و تبیین فرآیند آن است تا بتوان تحلیل درستی از این فرآیند داشت و سیاست‌های مناسب را برای توسعه این فناوری در نظر گرفت. یکی از فناوری‌های حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر که با در نظر گرفتن شرایط ایران و همچنین توانمندی داخلی در توسعه آن، لازم است مورد توجه قرار گیرد فناوری پیل سوختی است.

در این مقاله سعی شد فرآیند توسعه فناوری پیل سوختی در ایران توصیف و تبیین شود که در این راستا ابتدا با استفاده از تحلیل تاریخی وقایع، فرآیندهای مهم بر اساس کارکردهای نظام نوآوری فناورانه بررسی و پویایی این کارکردها استخراج و سپس این پویایی با استفاده از تحلیل پرسشنامه‌ها و مصاحبه‌ها و همچنین تحلیل عاملی تأییدی و مدل‌سازی معادلات ساختاری، مورد آزمون قرار گرفته و صحت آنها با آزمون‌های مختلف تأیید شد.

فناوری پیل سوختی تاکنون در ایران بر اساس موتور محرک نوآوری شکل ۱ توسعه یافته است. در توسعه این فناوری در کشور، موتور محرک علم وفناوری فعال شده اما موتور دوم (موتور کارآفرینی) هنوز محقق نشده است. علت این موضوع آن است که دولت‌ها بازارشان[1] را به دلیل وجود فناوری‌های ارزان‌قیمت و سهل‌الوصول در اختیار این فناوری قرار نداده‌اند و این امر باعث شده کارآفرینان نتوانند محصولات خود را به علت عدم وجود بازار مناسب توسعه دهند. از سوی دیگر تفاوت عمده‌ای که بین موتور محرک نوآوری فناوری پیل سوختی در ایران با کشورهای توسعه‌یافته (به طور خاص مدل‌های ارائه‌شده توسط سورس) مشاهده می‌شود نقش بارزتر و مهم‌تر کارکرد مشروعیت‌بخشی و به طور خاص رایزنی‌های اجتماعی-سیاسی است که باعث تسریع و افزایش دستیابی به منابع مالی (کارکرد پنجم) در کشور می‌شود. این کارکرد هر چند جزء کارکردهای نظام نوآوری فناورانه است اما در مدل‌های ارائه‌شده در کشورهای توسعه‌یافته به این میزان دارای اهمیت در شروع و شکل‌گیری نظام نوآوری

1- Public procurement

فناورانه نیست. به عبارت دیگر نقش حاکمیت در توسعه فناوری در ایران، نقشی کلیدی است و از این‌رو نیز متقاعدسازی حکمرانان دارای اهمیت بوده و تحقق آن باعث تخصیص منابع به توسعه فناوری می‌شود. بنابراین تجربه نشان می‌دهد که توسعه فناوری در ایران نیازمند مشروعیت‌بخشی است. این موضوع البته در توسعه فناوری‌های دارای رقیب، با چالش‌هایی مواجه است و از جمله چالش‌های توسعه فناوری پیل سوختی هم وجود فناوری غالب و مستقر در جامعه نظیر خودروهای بنزینی و نیروگاه‌های فسیلی می‌باشد که باعث ایجاد زیرساخت‌هایی مبتنی بر این فناوری‌ها و وابستگی نظام اقتصادی کشور به نفت شده و به این دلیل، کارکرد مشروعیت‌بخشی در این حوزه محقق نشده است. با این مقدمه، کارکرد مشروعیت‌بخشی برای جذب منابع مالی و جهت‌گیری سیاست‌های مرتبط با توسعه این فناوری در کشورهای نفتی از جمله ایران بسیار مؤثر است در حالی که این کارکرد در کشورهای توسعه‌یافته که نظام اقتصادی‌شان مبتنی بر نفت نیست از چنین تأثیری برخوردار نیست.

در نظام نوآوری فناورانه کشورهای توسعه‌یافته، نقش اصلی در پیاده‌سازی و شکل‌گیری نظام را عمدتاً کارآفرینان بر عهده داشته و در کنار این عامل ساختاری، دولت‌ها نیز با اتخاذ اقداماتی سعی می‌کنند این فرآیند را تسریع بخشند (کارکرد جهت‌دهی به تحقیقات). در صورتی که با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل تاریخی وقایع پیل سوختی در کشور و همچنین میزان همبستگی به دست آمده از مدل‌های کمّی در این تحقیق، نقش حاکمیت در ایران بسیار اساسی‌تر و مهم‌تر از کارآفرینان ارزیابی می‌شود و این نقش خصوصاً در موارد مرتبط با چرخه علم و فناوری به عنوان اولین چرخه از موتورهای نوآوری، بیشتر به چشم می‌خورد. در نهایت می‌توان گفت که مهم‌ترین دلیل برای عدم توسعه همه‌جانبه فناوری پیل سوختی در کشور، جایگزین بودن این فناوری برای فناوری‌های موجود (منابع فسیلی و ...) می‌باشد.

آنچه در مطالعات بعدی باید مورد توجه قرار گیرد شناسایی بازارهای گوشه و جهت‌دهی توسعه فناوری پیل سوختی به آن سمت است و با کمک این بازارها شاهد رشد و شکوفایی این فناوری در کشور خواهیم بود.

منابع References

[1] Edquist, C. (1997). **Systems of innovation: technologies, institutions and organizations.** *Routledge.*

[2] Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). **On the nature, function and composition of technological systems.** *Journal of evolutionary economics,* 1(2), 93-118.

[3] Carlson, B., & Jacobson, S. (1997). **Diversity creation and technological systems. Systems of innovation–technologies, institutions and organisations.** *Cassell Academic,* London.

[4] 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.

[5] Negro, S. O. (2007). **Dynamics of technological innovation systems: the case of biomass energy** (Doctoral dissertation, Utrecht University).

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

[7] 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.

[8] Freeman, C. (1989). **Technology policy and economic performance** (p. 34). Great Britain: *Pinter Publishers.*

[9] Lundvall, B. A. (1992). **National innovation system: towards a theory of innovation and interactive learning.** *Pinter,* London.

[10] Nelson, R. R. (1993). **National systems of innovation: a comparative study.**

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

[12] Malerba, F. (2002). **Sectoral systems of innovation and production.** *Research policy,* 31(2), 247-264.

[13] Cooke, P. (1992). **Regional innovation systems: competitive regulation in the new Europe.** *Geoforum,* 23(3), 365-382.

[14] Mohammadi, M., Elyasi, M., Mohamadpour, M., & Shojaei, A. (2016). **A Model for Evaluating and Comparing the National Innovation Systems in 146 Countries.** *Journal of Science & Technology Policy,* 7(4), 57-80. {In Persian}.

[15] Asmus, P. (2000). **Trends in the Wind: Lessons from Europe and the US in the Development of Wind Power.** *Corporate Environmental Strategy,* 7(1), 51-61.

[16] Ibenholt, K. (2002). **Explaining learning curves for wind power.** *Energy Policy,* 30(13), 1181-1189.

[17] Sawin, J. L. (2001). **The role of government in the development and diffusion of renewable energy technologies: Wind power in the United States, California, Denmark and Germany, 1970-2000.**

[18] Abad, J. L. E. (1998). **Renewable Energy for**

Science & Technology Policy, 8(1), 27-42. {In Persian}.
[30] Mohammadi, M. (2011). **Formation of Emerging Technological Innovation Systems in Iran (Case study in Iranian Nanotechnology, Biotechnology and ICT sectors).** Ph.D thesis in Management of Technology at the Allameh Tabatabaee University, Department of Management & Accounting. {In Persian}.
[31] Dahmén, E. (1988). **"Development blocks" in industrial economics.** *Scandinavian Economic History Review,* 36(1), 3-14.
[32] Edquist, C. (2004). **Reflections on the systems of innovation approach.** *Science and public policy,* 31(6), 485-489.
[33] 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.
[34] Hekkert, P., van Dijk, M., & Lloyd, P. (2011). **Vision in product design: Handbook for innovators.**
[35] Bagheri moghaddam, N., Mousavi, S. M., Nasiri, M., & Moallemi, E. A. (2013). **Motors of Innovation (a novel approach for analayzing technological innovation systems.** *National Research Institute for Science Policy.* {In Persian}.
[36] Skaran, U. (2003). **Research Methods for business** (Translate by: Saebi, M., & Shirazi, M.). Tehran: *Institute for management and planning studies.* {In Persian}.
[37] Campbell, D. T. (1979). **Degrees of freedom and the case study.** *Qualitative and quantitative methods in evaluation research,* 1, 49-67.
[38] Van de Ven, A. H., Poole, M. S., Dooley, K., & Holmes, M. E. (2000). **Organizational change and innovation processes: Theory and methods for research.**
[39] Van de Ven, A. H. (1990). **Longitudinal methods for studying the process of entrepreneurship (No. 147).** *Strategic Management Research Center, University of Minnesota.*
[40] Bagheri Moghaddam, N. (2012). **A model of Technological innovation system for renewable Energy in iran (case study: Fuel cell and Wind power plants technologies).** Ph.D thesis in Management of Technology at the Allameh Tabatabaee University, Department of Management & Accounting. {In Persian}.
Rural Electrification in Ecuador: Application to Remote Areas (Doctoral dissertation, University of Calgary, Faculty of Graduate Studies).
[19] World Bank. (1996). **Rural energy and development: improving energy supplies for 2 billion people.** Washington DC.
[20] World Bank. (2000). **Energy services for the world's poor.** *Washington DC, Energy Sector Management Assistance Programme-ESMAP, World Bank.*
[21] Jacobsson, S., & Johnson, A. (2000). **The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research.** *Energy policy,* 28(9), 625-640.
[22] Huang, Y. H., & Wu, J. H. (2007). **Technological system and renewable energy policy: a case study of solar photovoltaic in Taiwan.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 11(2), 345-356.
[23] 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,* 35(2), 925-938.
[24] Bergek, A. (2002). **Shaping and exploiting technological opportunities: the case of renewable energy technology in Sweden.** *Göteborg: Chalmers University of Technology.*
[25] Meigoon Pouri, M. R., Motevaseli, M., Meigoon Pouri, E. (2014). **Identifying the Factors Influencing Technological Innovation System in the Field of Renewable Energy.** *Journal of entrepreneurship development,* 6(22), 169-184. {In Persian}.
[26] Maadi Roudsari, M. H., & Booshehri, A. (2017). **A Technological Innovation Systems Analysis on the Use of Wind Energy in Iran.** *Majlis & Rahbord,* 24(89), 185-222. {In Persian}.
[27] Taqva, M. R., Bagheri Moghaddam, N., Tabatabaeian, S. H., & Taqhavi fard, M. (2017). **Explain the process of technology development by motors of innovation; The Case of wind power plants in Iran.** *Journal of Technology Development Management,* 3(3), 75-106. {In Persian}.
[28] Walz, R., Köhler, J. H., & Lerch, C. (2016). **Towards modelling of innovation systems: An integrated TIS-MLP approach for wind turbines** (No. 50). *Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis.*
[29] Miremadi, T., & Rahimi rad, Z. (2016). **Identification of system failures in biofuels technological innovation system of Iran.** *Journal of*

Volume 10, Number 2, Summer 2018

Journal of

Science & Technology Policy

Explaining the Process of Development of Fuel Cell Technology in Iran by Using Innovation Motors Concept

Naser Bagheri Moghaddam[1], Seyed Mostafa Mohamadpour[2]*

1- Assistant Professor at Science Policy Research Center, Tehran, Iran
2- Master of Technology Management, University of Tehran, Iran

Abstract

Today, using renewable energy is highly important because of increasing energy security, maintaining and safeguarding fossil resources, elimination of environmental problems and many business opportunities in this area. On the other hand, based on the situation of each country, there are many paths toward the development of renewable energy. The level of development and the amount of fossil resources are effective in renewable energy development. Therefore effective factors on developing renewable energies and related technologies in each country are different.

The main objective of this paper is to describe and explain the process of development of fuel cell technology, based on technological innovation system and innovation motors approach. In this regard, by using historical data analysis method and semi-structured interviews, the engagement causal and relationship between functions of technological innovation system or innovation motors are identified and described. Finally, the relationship between functions of technological innovation system and fuel cell's innovation motors in Iran are examined, using structural equation modeling.

Keywords: Renewable Energies, Fuel Cell, Technological Innovation Systems, Motors of Innovation, Data Historical Analysis, Structural Equation Modeling

* Corresponding author: m.mohamadpour@ut.ac.ir