The Bible of STI Policy
Volume 11, Number 2, Summer 2019

Journal of

Science & Technology Policy

Technological Innovation System: a Scheme of Innovation Policy and Technology Development

Seyed Iman Miremadi*

Graduate School of Management and Economics,
Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

In order to improve understanding of the structure and dynamics of innovation systems, researchers and policy analysts have studied the various empirical cases. However, policymakers often face with problems in exploiting practical strategies. Among the different approaches to innovation systems, the technological innovation system has a close relationship with the concept of innovation policy. The purpose of this study is, therefore, to investigate the technological innovation system, its structures and functions and also to analyse this concept for a scheme of innovation policy and technology development. The influence of contexts and life cycles that affect the policy process are also considered. Finally, in order to illustrate the application of the concepts, the photovoltaic technological innovation system in Iran is investigated.

Keywords: Technological Innovation System, Innovation Policy, Technological Changes

* Corresponding author: miremadi@gsme.sharif.edu

ویژه‌نامه جامع سیاست علم، فناوری و نوآوری
سال یازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸

فصلنامه علمی-پژوهشی
سیاست علم و فناوری

نظام نوآوری فناورانه: الگویی برای سیاست‌گذاری نوآوری و توسعه فناوری

سید ایمان میرعمادی *

دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

چکیده

گرچه محققان و تحلیلگران سیاستی، مطالعات تجربی متنوعی را برای درک بهتر ساختار و پویایی نظام‌های نوآوری انجام داده‌اند اما سیاست‌گذاران در استخراج راهبردهای عملی، اغلب با مشکلاتی مواجه هستند. از میان رویکردهای مختلف به نظام‌های نوآوری، نظام نوآوری فناورانه رابطه تنگاتنگی با مفهوم سیاست‌گذاری نوآوری و توسعه فناوری و به خصوص سیاست‌های سیستمی پیدا کرده است. نظام نوآوری فناورانه ضمن تأثیر به‌سزایی که در فرآیند تغییرات فناورانه دارد الگویی را فراهم می‌کند تا مسیرهای وقوع نوآوری‌های فناورانه شناسایی شوند. در این مقاله، ضمن آشنایی با مفهوم نظام نوآوری فناورانه و ساختارها و کارکردهای آن، الگویی برای سیاست‌گذاری نوآوری و تحلیل پویایی توسعه فناوری ارائه می‌شود و البته به این منظور، اثر مفاهیم مختلف مؤثر بر فرآیند سیاست‌گذاری مانند عوامل بافتاری و چرخه عمر هم در نظر گرفته شده است. در انتها نیز یک نمونه از کاربرد مفاهیم فوق در تحلیل نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک ایران نشان داده خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: نظام نوآوری فناورانه، سیاست‌گذاری نوآوری، تغییرات فناورانه

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

Miremadi, S. I.. (2019). **Technological Innovation System: a Scheme of Innovation Policy and Technology Development.** *Journal of Science & Technology Policy*, 11(2), 171-192. {In Persian}.

۱- مقدمه

در سال‌های انتهایی قرن بیستم، نظریه‌های نوآوری از مدل‌های خطی به سمت فرآیندهای نوآوری پیچیده‌تر حرکت کردند. بر اساس یک نگاه نظام‌مند به فرآیندهای نوآوری و با بررسی چگونگی تعامل بازیگران بخش‌های خصوصی و عمومی و نقش نهادها در توسعه و رقابت‌پذیری کشورها، مفهوم نظام ملی نوآوری متولد گردید [۱]. بعد از دهه ۸۰ میلادی و مطالعات فریمن[1] در توضیح تفاوت کشورها در نوآوری و بازده اقتصادی و توسعه مفهوم نظام ملی نوآوری، این دیدگاه سیستمی، به یکی از جریان‌های اصلی مطالعاتی حوزه علم، فناوری و نوآوری بدل شد. اما این روند مطالعاتی در سطح ملی باقی نماند و در دهه ۱۹۹۰ مفاهیم نظام نوآوری گسترش یافت تا مباحث منطقه‌ای، بخشی و فناورانه را نیز در بر بگیرد. این مفاهیم بعضاً فراتر از مرزهای کشیده شده می‌روند و بخش‌هایی که گاهی در خوشه‌های کوچک منطقه‌ای قرار دارند و گاهی در شبکه‌های جهانی سهم دارند را شامل می‌شوند. اما همواره با توجه به سطح و واحد تحلیل، از همه این رویکردها به عنوان یک چارچوب مؤثر در سیاست‌گذاری علم، فناوری و نوآوری استفاده شده است.

مقاله حاضر، بر رویکرد نظام نوآوری فناورانه که رابطه تنگاتنگی با سیاست‌گذاری نوآوری دارد تمرکز می‌کند و سعی دارد تا تأثیر این رویکرد در فرآیند سیاست‌گذاری را مورد بررسی قرار دهد. برای این منظور، ابتدا مفهوم نظام نوآوری فناورانه و عوامل ساختاری آن توضیح داده می‌شود و

* miremadi@gsme.sharif.edu

1 - Freeman

پس از آن پویایی نظام نوآوری فناورانه و کارکردهای آن بررسی می‌گردد. پس از بررسی نقش عوامل بافتاری و چرخه عمر نظام‌های فناورانه در نحوه کاربست این رویکرد در سیاست‌گذاری، یک مطالعه موردی توضیح داده خواهد شد.

۲- نظام نوآوری فناورانه و اجزاء ساختاری آن

۲-۱ تغییرات فناورانه و نظام نوآوری فناورانه

در دهه‌های گذشته، با ترکیب نظریه‌های نهادی و نظریه‌های تکاملی رویکرد نظام نوآوری متولد شد. این رویکرد، تغییرات فناورانه را نه تنها درون بنگاه‌ها بلکه در سطح نظام نوآوری تحلیل و بیان می‌کند که همه نهادها و ساختارهای اقتصادی بر سرعت و جهت تغییرات فناورانه تأثیرگذار هستند.

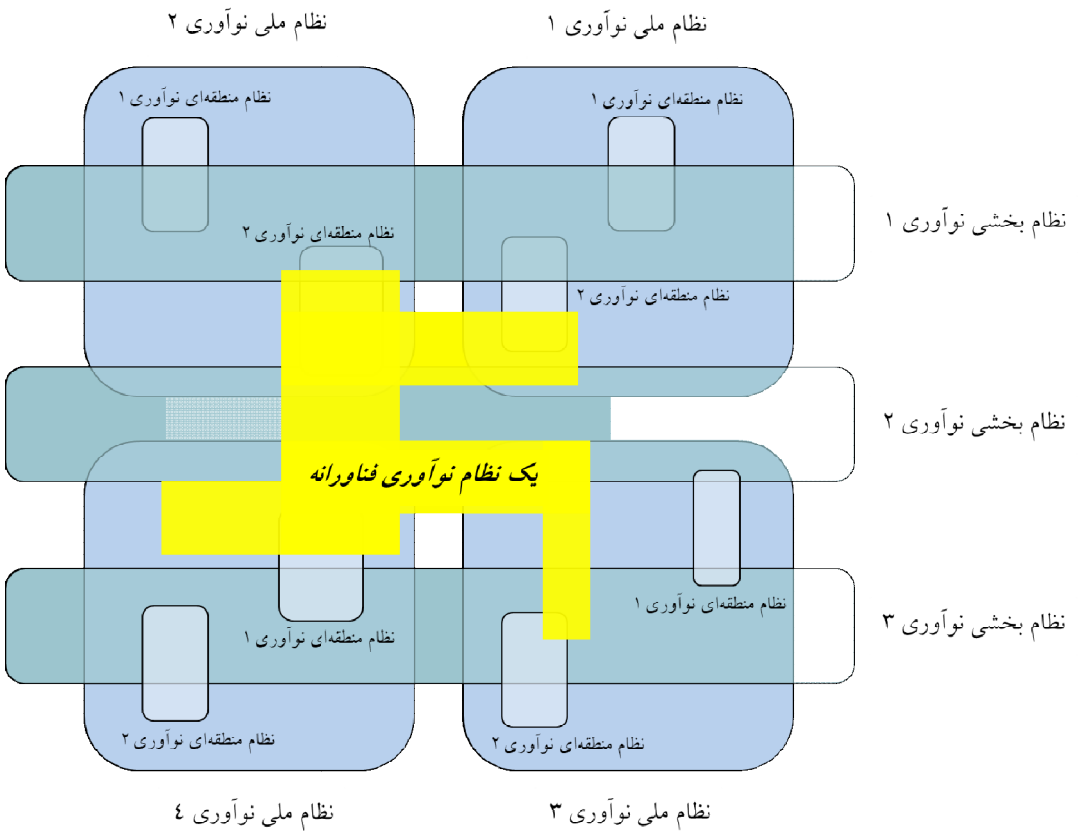
نظام نوآوری فناورانه[1] با هدف کارآمدسازی تجزیه و تحلیل‌های فرآیندهای نوآوری و توضیح ماهیت تغییرات فناورانه توسعه یافت. این مفهوم را باید از نظریه‌های سطوح ملی و منطقه‌ای نظام نوآوری متمایز دانست زیرا آنها عمدتاً از این ریشه که نوآوری از منظر جغرافیایی ناهمگون است نشأت می‌گیرند، در حالی که نظام نوآوری فناورانه با فناوری و تغییرات فناورانه شروع می‌شود و بر تمام مؤلفه‌های فرآیند نوآوری تأثیر می‌گذارد [۲].

کارلسون[2] در سال ۱۹۹۱ نظام نوآوری فناورانه را این گونه تعریف نمود: "شبکه‌ای پویا از عوامل و نهادهای مؤثر در یک منطقه اقتصادی یا صنعتی خاص، تحت مجموعه‌ای از زیرساخت‌های نهادی خاص که با یکدیگر در تعامل بوده و در تولید، انتشار و بهره‌برداری از فناوری سهیم هستند" [۳]. این مفهوم در حقیقت از دل یک پروژه تحقیقاتی واقعی در سوئد تحت عنوان "نظام فناورانه سوئد و قابلیت توسعه آینده آن" بدست آمده بود. اندیشه اصلی که منجر به توسعه این مفهوم شد این بود که در تحلیل توسعه اقتصادی کشورها، به جای جریان کالا و محصولات باید روی جریان دانش و پویایی شبکه‌ها تمرکز کرد.

این رویکرد سیستمی به تغییرات فناورانه، توضیح می‌دهد که چرا این تغییرات اغلب فرآیندهای کندی هستند و به سختی می‌توانند اثرگذار باشند. یکی از دلایلی که پیشرفت‌های فناورانه معمولاً در خط سیرهای[3] مشخص حرکت کرده و قفل‌شدگی[4] را پدید می‌آورند این است که فناوری غالب از وجوه مختلف منافعی را کسب می‌کند؛ فهم بهتری از طرف مشتریان پیدا کرده، با محیط فنی‌اقتصادی خود پیوند خورده و از لحاظ انباشت دانش و مهارت و مقررات نیز در وضعیت بهتری قرار دارد [٤]. لذا این یک پرسش اساسی است که تحت چه شرایطی رشد نظام نوآوری می‌تواند شتاب بگیرد تا توانایی رقابت با نظام موجود را پیدا کند. در اینجا مفاهیم نظام نوآوری فناورانه و پویایی آن به عنوان یک رویکرد برای سیاست‌گذاری در این راستا مورد توجه قرار می‌گیرد.

یک فناوری یا یک حوزه دانشی خاص، به تنهایی در تمام زیرساخت‌های نهادی یک کشور یا یک منطقه خاص جای نمی‌گیرد، زیرا دانش مربوط به اکثر فناوری‌ها ریشه در مناطق مختلف جغرافیایی در سراسر جهان دارد. چنین استدلالی را برای ارتباط با یک صنعت یا بخش مشخص نیز می‌توان بیان نمود [۵]. در نتیجه، با در نظر گرفتن یک فناوری خاص به عنوان نقطه شروع، رویکرد نظام نوآوری فناورانه هم‌پوشانی‌هایی با ابعاد جغرافیایی و بخش‌های مختلف خواهد داشت (شکل ۱ را ببینید). به عنوان مثال، نظام نوآوری فناورانه سلول‌های خورشیدی را در نظر بگیرید: این موضوع به پیشرفت فناورانه در مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌های سراسر دنیا بستگی دارد. در همین راستا، توسعه این فناوری به سیاست‌های حمایتی کشورها از سلول‌های خورشیدی نیز وابسته است. علاوه بر این، توسعه سلول‌های خورشیدی به شدت به بخش یا صنعت میکروالکترونیک بستگی دارد زیرا سیلیکون حالت رقابتی پیدا می‌کند و افزایش تقاضای سیلیکون در بخش میکروالکترونیک، افزایش قیمت سلول‌های خورشیدی را در پی دارد. کاربرد سلول‌های خورشیدی نیز به بخش خانگی از جمله معماری آن بستگی دارد. بنابراین، توسعه نظام نوآوری فناورانه سلول‌های خورشیدی به نظام‌های ملی و بخشی نوآوری مختلفی ارتباط دارد که بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند [٦]. ارتباط یک نظام نوآوری فناورانه با نظام‌های نوآوری دیگر در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است نظام‌های بخشی معمولاً به علت

1- Technological Innovation System (TIS)
2- Bo Carlsson
3- Trajectories
4- Lock in



شکل ۱) نظام نوآوری فناورانه و ارتباط آن با دیگر نظام‌های نوآوری. تکمیل شده مدل [٦]

ساختارهای صنعت، فراتر از مرزهای جغرافیایی می‌روند در حالی که مرزهای نظام‌های فناورانه بسته به اینکه تمرکز بر یک حوزه دانشی باشد یا یک محصول یا فناوری خاص، می‌تواند شکل‌های متفاوتی به خود بگیرد؛ اگر چه می‌تواند در یک محدوده جغرافیایی مورد تحلیل قرار گیرد، اما اغلب فراتر از مرزهای جغرافیایی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲ اجزاء ساختاری نظام نوآوری فناورانه

اجزای ساختاری نظام نوآوری فناورانه که بعضاً می‌تواند منعکس‌کننده بعد ایستای این رویکرد نیز باشد به صورت خلاصه در زیر آورده شده است. البته ایستایی در اینجا به این معنا نیست که تغییری در آنها رخ نمی‌دهد، بلکه در مقایسه با فرآیندها و کارکردهای نظام که در بخش بعدی توضیح داده می‌شوند پایداری بیشتری در طول زمان دارند.

۲-۲-۱ بازیگران

بازیگران[1] در حقیقت طیف وسیعی از سازمان‌های خصوصی و دولتی هستند که بر فرآیند توسعه فناوری و زنجیره ارزش تأثیر می‌گذارند. این تأثیر می‌تواند به عنوان توسعه‌دهنده باشد یا کمی غیرمستقیم‌تر به عنوان قانون‌گذار، تنظیم‌گر و سرمایه‌گذار. این بازیگران در یک نظام فناورانه بر توسعه و بهره‌برداری فناوری‌ها اثر می‌گذارند [۷] ولی توسعه موفق یک نظام فناورانه به ارتباط و همبستگی این بازیگران بستگی دارد. نمونه‌ای از این بازیگران عبارتند از بنگاه‌ها، مصرف‌کنندگان، عرضه‌کنندگان، دانشگاه‌ها، سرمایه‌گذاران و سازمان‌های خصوصی و دولتی [۸]. در جریان شکل‌گیری یک نظام نوآوری فناورانه، بنگاه‌های جدیدی وارد نظام می‌شوند و دانش، سرمایه و سایر منابع را با خود می‌آورند. تازه‌واردان با انجام آزمایش‌های جدید و یافتن مسیرهای جدید، یا شکاف‌های موجود را پر می‌کنند (مثلاً به یک عرضه‌کننده اختصاصی تبدیل می‌شوند) یا تقاضاهای جدیدی را ایجاد می‌کنند (مانند توسعه کاربردهای جدید از فناوری).

۲-۲-۲ نهادها

نهادها[2] از جمله مفاهیم مهمی است که در تمام رویکردهای نظام‌های نوآوری وجود دارد و به صورت کلی، به عنوان "قواعد بازی که تعاملات میان بازیگران را تنظیم می‌کند" تعریف می‌گردد [۹]. نهادها یا رسمی هستند (مانند قوانین و مقررات حاکم بر نظام) یا غیررسمی (مانند فرهنگ، باورها،

1- Actors

2- Institutions

روتین‌ها، ارزش‌ها و هنجارهای جاری در نظام). علاوه بر فعالیت‌ها و ارتباطات بازیگران، فرآیندهای یادگیری و تصمیمات بنگاه‌ها و همچنین مبنای ارزشی بخش‌های مختلف جامعه همگی تحت تأثیر نهادها قرار دارند [۸]. تغییرات نهادی در قلب فرآیند تغییرات فناورانه قرار دارد و توسعه فناوری‌های جدید را تسهیل می‌کند. بنابراین یک موضوع کلیدی در رقابت میان نظام‌های نوآوری فناورانه این است که چه کسی می‌تواند محیط نهادی را به سمت منافع خود تغییر دهد و مشروعیت لازم و منابع مورد نیاز را کسب نماید.

۲-۲-۳ شبکه‌ها

شبکه‌ها[1] نتیجه ارتباط بین بازیگران هستند و انتقال دانش و اطلاعات میان آنها را تسهیل می‌کنند. شبکه‌ها انواع مختلفی می‌توانند داشته باشند: "شبکه‌های یادگیری" ارتباط میان تأمین‌کنندگان را با کاربران، بنگاه‌های مرتبط، رقبا و محققان دانشگاهی پیوند می‌دهند و بستر انتقال دانش ضمنی و صریح را ایجاد می‌کنند. این نوع شبکه همچنین بر انتظارات آینده از فناوری و سرمایه‌گذاری‌های این حوزه تأثیر می‌گذارد. "شبکه‌های سیاسی" یا ائتلاف‌های حمایتی، که طیفی از بازیگران با باورهای مشترک را تشکیل می‌دهند که حاضرند با مجموعه‌ای از اقدامات، تصمیم‌گیری‌های سیاسی را تحت تأثیر قرار دهند و با ائتلاف‌های دیگر به رقابت بپردازند [٦]. این نوع ائتلاف‌ها لزوماً فناورانه نیستند و می‌توانند غیرفناورانه نیز باشند مثلاً در موضوع تغییرات اقلیم خیلی مباحث سیاسی است و مستقیماً به نظام نوآوری فناورانه مربوط نمی‌شود.

۲-۲-٤ فناوری و زیرساخت‌ها

در پیشینه نظام نوآوری فناورانه، سه جزء فوق مورد پذیرش همگان قرار دارد و از آن به عنوان اجزاء اصلی نظام یاد می‌شود. در جزء چهارم اتفاق نظر وجود ندارد؛ برخی به همان سه جزء اکتفاء می‌کنند، برخی می‌گویند جزء چهارم فناوری است و برخی هم زیرساخت را نام می‌برند. زیرساخت نیز سه بخش را در بر می‌گیرد که عبارت است از: فیزیکی (مانند ماشین‌آلات، ساختمان‌ها، جاده‌ها و غیره)، دانشی (مانند دانش فنی، تخصص، مهارت و غیره) و مالی (مانند یارانه، صندوق‌های حمایت از توسعه فناوری، وام‌های بلاعوض و غیره) [۸].

1- Networks

۳- پویایی نظام نوآوری فناورانه

پس از معرفی نظام نوآوری فناورانه توسط کارلسون در سال ۱۹۹۱، این مفهوم نتوانست میان محققان و صاحب‌نظران این حوزه جایی باز کند و توسعه آن حدود یک دهه متوقف ماند و تحقیقات در این زمینه صرفاً به صورت پراکنده و نامنسجم صورت می‌گرفت. تا اینکه جکوبسون[2]، برگک[3] و همکارانشان در دانشگاه چالمرز[4] سوئد از سال ۲۰۰۰ و هکرت[5] و همکارانش در سال ۲۰۰۷ از دانشگاه اوتریخت[6] هلند نکاتی را در خصوص درک تغییرات فنی و پویایی نظام‌های نوآوری طرح کردند [٦ و ۱۰]. این پویایی می‌تواند وضع قوانین جدید، ورود تازه‌واردان به نظام و هر تغییری در نظام نوآوری در طول زمان را شامل شود. آنها عقیده داشتند توجه کافی بر پویایی نظام نوآوری در رویکردهای گذشته (مخصوصاً نظام ملی نوآوری) وجود ندارد و تحلیل پویایی نظام‌های نوآوری در سطح ملی با توجه به تعداد بالای نهادها و بازیگران دشوار خواهد بود [۱۱]. در مقابل، در یک نظام نوآوری فناورانه تعداد نهادها، شبکه‌ها و بازیگران مربوطه و در نتیجه پیچیدگی تحلیلی، به طرز قابل توجهی کمتر از سطح ملی است. این ویژگی در مورد نظام‌های نوظهور و فناوری‌های جدید به طور مضاعف قابل مشاهده خواهد بود. بنابراین، با استفاده از رویکرد نظام نوآوری فناورانه، این امکان فراهم می‌شود تا درک بهتری از پویایی نظام و جزئیات تحولات در نظام نوآوری بدست آید. بر این اساس این محققان تمرکز خود را بر کارکردهای نظام نوآوری در سطح فناوری معطوف و سعی کردند لیستی از انواع کارکردهای مؤثر در سیاست‌گذاری و توسعه فناوری تهیه کنند و در تحقیقات آینده خود نیز به بسط این مفهوم پرداختند.

۳-۱ کارکردهای نظام نوآوری فناورانه

به منظور شناسایی سیاست‌های مناسب در یک نظام نوآوری خاص، در کنار اجزاء ساختاری باید کارکردها[7] و فرآیندهای نظام نیز مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد [۱۲]. ساختار نظام نوآوری فناورانه نشان داد که چه بازیگران و اجزایی در نظام

2- Jacobsson
3- Bergek
4- Chalmers
5- Hekkert
6- Utrecht
7- Functions

نوآوری فعال هستند، اما کارکردها بیانگر این موضوع هستند که آنها چه کاری انجام می‌دهند و اینکه آیا این اقدامات برای توسعه نظام نوآوری کافی است یا خیر. کارکردهای نظام نوآوری فناورانه، مجموعه‌ای از فعالیت‌های مختلف هستند که بر فرآیندهای نوآوری تأثیر می‌گذارند و با ارزیابی فرآیندهای خاصی که منجر به موفقیت یا اخلال در نظام نوآوری می‌شود، از پیچیدگی‌های پویایی فناوری و سیاست‌گذاری آن می‌کاهد. این رویکرد شرایط جداسازی اجزای ساختاری از محتوای نظام را فراهم می‌کند تا اهداف سیاستی و مشکلات سیستمی در چارچوب کارکردها منعکس یابند. شناسایی این نقاط ضعف سیستمی نیازمند پیوند نگاه سیاستی با این چارچوب است [۱۳].

تاکنون تحقیقات متنوعی در خصوص شناسایی کارکردهای نظام نوآوری انجام شده است. به عنوان مثال جکوبسون و برگک، یک تحلیل جامع از فرآیندهای نظام‌های فناورانه با درنظر گرفتن پنج کارکرد ضروری پیشنهاد دادند، کارکردهایی که به طور مستقیم بر توسعه، نفوذ و استفاده از فناوری‌های جدید و عملکرد نظام نوآوری تأثیر داشتند [۱٤]. اما مهم‌ترین پژوهش در این زمینه به هکرت و همکارانش در سال ۲۰۰۷ [٦] و برگک و همکارانش در سال ۲۰۰۸ [۱۰] اختصاص دارد که یک لسیت اصلاح شده از هفت کارکرد نظام نوآوری فناورانه را ارائه دادند[1]. در جدول ۱ خلاصه‌ای از این هفت کارکرد اصلی توضیح داده شده است. این هفت کارکرد از طریق پیشینه حوزه نظام نوآوری و اقتصاد تکاملی و همچنین علوم سیاسی، جامعه‌شناسی و نظریه سازمان‌ها استخراج شده‌اند و بیش از بقیه مطالعات، مورد توجه قرار گرفته‌اند.

برای ارزیابی کارکردهای معرفی شده، ابزارهای گوناگونی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است که ایجاد ارتباط میان شاخص‌های نوآوری با هر یک از این کارکردها از مهم‌ترین آن است [۱۵و۱٦]. برخی از این شاخص‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است که می‌تواند برای ارزیابی شدت اثر هر یک از کارکردها در فرآیند سیاست‌گذاری مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۲ تعامل میان کارکردها و موتورهای نوآوری

عملکرد هر کارکرد به همراه پویایی تعاملی بین آنها، هر دو از عوامل مهم در بهبود بازدهی نظام نوآوری محسوب می‌شوند. الگوی تعاملی مناسب میان کارکردها می‌توانند منجر به تقویت پویایی در یک سیستم شود، در حالی که تعاملات ناسازگار فروپاشی سیستم را به همراه خواهد داشت [۱۵]. بنابراین، کارکردها بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند و تکامل یک کارکرد خاص نتیجه عملکرد درست کارکردهای دیگر است. به عنوان مثال "مشروعیت‌بخشی" به یک فناوری، منجر به تقویت کارکرد "توسعه دانش" می‌شود و در عین حال وجود سطحی از دانش، می‌تواند انتظاراتی را برای فناوری جدید به وجود آورد که منجر به ایجاد مشروعیت گردد. بنابراین، با یک مدل غیرخطی با تعاملات پیچیده میان کارکردهای آن روبرو هستیم که یا در جهت مثبت و یا در جهت منفی بر عملکرد کل سیستم تأثیر می‌گذارند. جکوبسون و جانسون سازوکارهای تغییر این فرآیندهای نظام نوآوری را توضیح داده‌اند [۱۷]. طبق نظر آنها، یک کارکرد اگر درست شکل بگیرد می‌تواند چرخه‌های تغییر را پدید بیاورد که منجر به تقویت کارکردهای دیگر می‌شود و حرکتی را برای تخریب خلاقانه درون نظام‌های موجود ایجاد کند.

تحقیقات تجربی نشان می‌دهند که توسعه یک نظام نوآوری فناورانه در ابتدا با تعداد محدودی از کارکردها شروع می‌شود و با گذر زمان گسترش پیدا می‌کند. به الگوهای مختلفی که این کارکردها توسعه پیدا می‌کنند "موتورهای نوآوری[2]" گفته می‌شود [۱۸]. به عنوان مثال به طور معمول توسعه کارکرد "جهت‌دهی به نظام" نقش مهمی در ایجاد منابع جدید و تقویت "توسعه دانش" و "فعالیت‌های کارآفرینانه" دارد. در نظام نوآوری فناورانه، اصطلاح موتورهای نوآوری به حلقه‌های مطلوب یا سازنده[3] (زمانی که کارکردها همگی در جهت رشد و شکل‌گیری سیستم عمل کنند) یا مخرب[4] (زمانی که تنها یک کارکرد در جهت مخالف رشد سیستم عمل کند تا منجر به شکست شود) اشاره می‌کند. به این حلقه‌ها که از عملکرد کارکردهای مختلف تشکیل شده‌اند و به صورت پی‌درپی بر هم اثر گذارده و فعالیت‌های یکدیگر را تسهیل می‌کنند حلقه‌های علّی تجمعی[5] می‌گویند [۱۹].

این موتورها با بیان حلقه‌های علّی معلولی بین کارکردها، به

۱- تنها تفاوت میان کارکردهای ارائه شده در [٦] و [۱۰]، کارکردی تحت عنوان "توسعه اثرات جانبی مثبت " است.

2- Motors of innovation
3- Virtous Circle
4- Vicious Circle
5- Cumulative causation

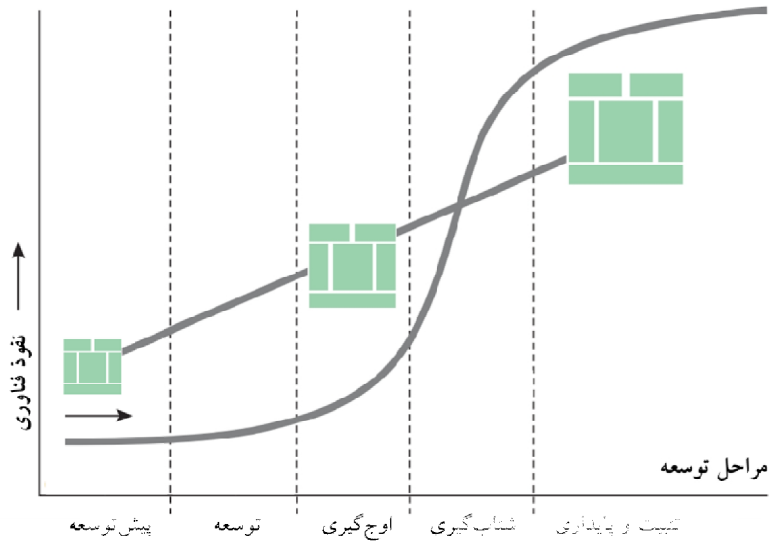
جدول ۱) کارکردهای نظام نوآوری فناورانه و شاخص‌های ارزیابی آن (تکمیل شده [۱۵])

کارکردها	توضیح	شاخص‌ها
توسعه دانش	به چگونگی خلق و توسعه دانش در نظام نوآوری اشاره دارد و شامل تحقیق‌وتوسعه و یادگیری از طریق تحقیق و تجربه است.	تعداد انتشارات علمی، تعداد ثبت اختراع، تعداد پروژه‌های تحقیقاتی، میزان ارجاعات، منحنی‌های یادگیری
انتشار دانش	انتقال دانش میان بازیگران و عواملی که با یکدیگر همکاری می‌کنند را شامل می‌شود. همچنین از عوامل اصلی در ارتباط شبکه‌ها در یک نظام نوآوری به حساب می‌آید.	تعداد همایش‌ها و کارگاه‌های آموزشی، اندازه و تنوع شبکه‌های دانشی، میزان فعالیت‌های مشارکتی صنایع، انتقال دانش میان ذینفعان مختلف
جهت‌دهی به نظام	فعالیت‌ها، مشوق‌ها و سازوکارهایی را در بر می‌گیرد که بر مسیر هدایت اثر می‌گذارند مانند ورود بنگاه‌های جدید به یک نظام نوآوری و یا کشف کاربرد خاصی از یک فناوری	چشم‌اندازها و انتظارات تعیین شده از سوی دولت، تغییر در چارچوب‌های تنظیم‌گیری، بیان خواسته‌های روشن طرف تقاضا و کاربران اصلی، برنامه‌های حمایتی و انگیزشی جامع، آینده‌نگاری از گزینه‌های توسعه.
فعالیت‌های کارآفرینانه	شامل فعالیت‌های نوآورانه و راهبردهای کسب‌وکار برای ایجاد فرصت‌های تجاری یک فناوری جدید. با توجه به عدم قطعیت‌های موجود، یک نظام بدون فعالیت‌های کارآفرینانه دچار رکود می‌شود.	تعداد تازه‌واردان به نظام نوآوری، میزان تنوع فعالیت‌های بنگاه‌ها، تعداد پروژه‌های آزمایشگاهی و توسعه نمونه اولیه، اندازه بنگاه‌ها
شکل‌گیری بازار	شامل فعالیت‌ها و قوانینی که به ظهور و شکل‌گیری بازارها کمک می‌کنند. سه مرحله شکل‌گیری بازار به طور معمول شامل مراقبت، مرحله گذار و در نهایت مرحله شکل‌گیری بازار کامل است.	اندازه و تنوع بازار، تعداد و تنوع کنام‌ها، تعداد و اندازه طرح‌های حمایتی، نظام مالیاتی و تنظیم‌گرایانه ویژه، یارانه‌ها، میزان تنوع در الگوهای عرضه، میزان فروش و صادرات
تأمین منابع	منابع اصلی شامل مالی، انسانی و زیرساخت‌های شبکه‌ای هستند. بسیاری از مطالعات این کارکرد را قلب نظام نام‌گذاری می‌کنند.	میزان سرمایه‌گذاری در نوآوری به خصوص در تحقیق و توسعه، تعداد نیروی انسانی در فرآیند نوآوری، حجم زیرساخت‌های فیزیکی، میزان سرمایه‌گذاری خارجی
مشروعیت بخشی	به پذیرش اجتماعی فناوری و ایجاد سازوکارهای قانونی اشاره دارد و شامل فعالیت‌هایی است (مانند ایجاد ائتلاف‌های همسو) که با مقاومت‌های پیش رو در پذیرش فناوری‌های جدید مقابله می‌کند.	تعداد گفتگوهای سیاسی مرتبط در رسانه‌ها و مجلس، گفتمان‌سازی و افکار عمومی، تعداد و میزان تنوع گروه‌های لابی‌گر فعال در سیستم، تبیین مزیت فناوری در حال توسعه

رشد نظام نوآوری فناورانه در مراحل زمانی مختلف شتاب می‌بخشند. به صورت کلی، چهار نـوع موتـور محرک برای شکل‌گیری نظام‌های نوآوری وجود دارد که عبارتند از [۱۸]: ۱) موتور محرک علم و فناوری: این موتور با شتاب‌بخشی فعالیت‌های تحقیق‌وتوسعه و گسترش دانش نظری، روند ظهور نظام نوآوری فناوری و شرایط رشد آن را میسر می‌کند، ۲) موتور محرک کارآفرینی: هدفش این است که حجم فعالیت‌های کارآفرینانه انجام شده در فرآیند توسعه فناوری نوظهور را شدت بخشد، ۳) موتور نظام‌سازی: این موتور با برنامه‌ریزی کلان و جهت‌دهی به نظام، ایجاد ساختاری منسجم و یکپارچه برای توسعه فناوری را دنبال می‌کند و ٤) موتور محرک بازار: هدفش آن است که با افزایش تقاضای بازار برای نظام نوآوری فناورانه جدید به رقابت با نظام های تثبیت شده بپردازد و سهم قابل توجهی از بازار را به خود اختصاص دهد. به صورت کلی، اگر چه بسیاری از نظام‌های نوآوری از لحاظ ساختاری مشابه هستند ولی از منظر کارکردی مسیرهای متفاوتی را طی خواهند کرد.

این چهار موتور را می‌توان با نمودار S شکل[1] توسعه نظام فناورانه منطبق دانست که به ترتیب متعلق هستند به مرحله پیش‌توسعه، توسعه، اوج‌گیری و شتاب‌گیری. این مراحل در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. مرحله اول پیش‌توسعه است که یک نمونه آزمایشی از فناوری جدید تولید می‌شود. مرحله بعد توسعه است که فناوری برای اولین بار بدون حمایت‌های دولتی به فروش می‌رسد. مرحله بعدی اوج‌گیری است که سهم بازار افزایش می‌یابد و در مرحله شتاب‌گیری، بازار رشد چشم‌گیری پیدا می‌کند تا اینکه در مرحله تثبیت، درجه نفوذ فناوری به پایداری می‌رسد [۲۰].

1- S-Curve



شکل ۲) مراحل کلی توسعه نظام نوآوری فناورانه [۲۰]

حال نکته این است که کارکردهای نظام نوآوری در هر کدام از این مراحل توسعه به صورت متفاوتی عمل می‌کنند. به عنوان مثال در مراحل اولیه چرخه عمر، حمایت از تولید دانش، تأمین منابع و شکل‌گیری بازارهای کوچک باید مورد توجه سیاست‌های دولتی قرار گیرند. شکل ۳ کارکردهای اصلی فعال در هر مرحله و تعاملات میان آنها را نشان می‌دهد. البته این نکته مهم است که سیاست‌گذار مراحل توسعه فناوری را جدا از هم نبیند و بداند که ایجاد موتورهای جدید وابسته به موتورهای قبلی است و کارکردهای موتور قبلی کماکان وجود خواهند داشت. البته نقدی را نیز برخی محققان مطرح می‌کنند که ارتباطات بین کارکردهای مختلف و اثرات تعاملی میان آنها زیر سایه مفهوم علّی تجمعی و در قالب موتورهای نوآوری مغفول مانده است. موتورهای نوآوری که برای توضیح تغییر از طریق علیت تجمعی مطرح شده‌اند توسط منطق مشخصی حمایت نمی‌شوند و کارهای آینده باید بیشتر بر جنبه‌های فنی-اجتماعی و نحوه ایفاء نقش بازیگران درون نظام تمرکز کنند [۲۱]. تلاش‌های خوبی شده که مفهوم نظام نوآوری فناورانه را با مفهوم پویایی‌شناسی سیستم[1] پیوند بدهند؛ برای مرور به [۲۲] و [۲۳] رجوع شود.

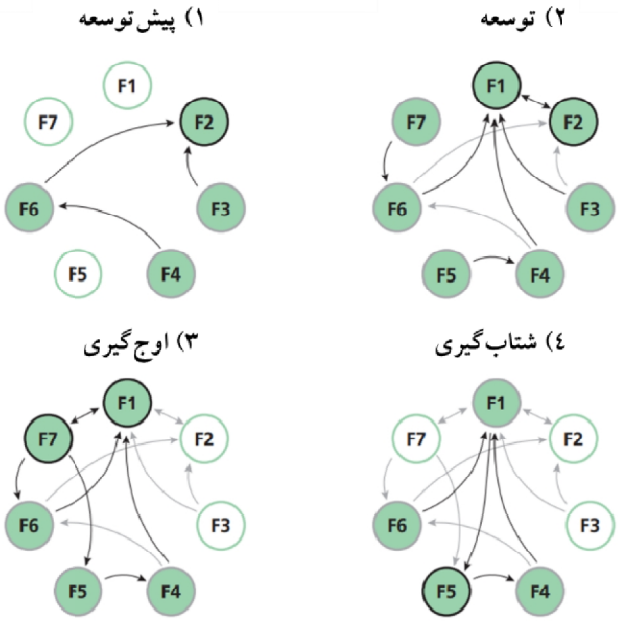
٤- مدل تحلیل نظام نوآوری فناورانه و سیاست‌گذاری نوآوری

بررسی الگوهای مؤثر و فرآیندهای مشخص در سیاست‌گذاری نوآوری همواره مورد توجه محققان و سیاست‌گذاران حوزه علم، فناوری و نوآوری بوده است. آنها تقریباً منطق شکست بازار در مداخلات سیاستی را رد و معتقدند این منطق تمام جوانب را در نظر نمی‌گیرد و رویکرد نظام‌مند یا سیستمی با تمرکز بر فرآیندهای نوآوری به جای تمرکز بر دولت‌ها، می‌تواند جایگزین مناسب‌تری باشد. در این راستا و در جریان تحولات مطالعات حوزه نظام‌های نوآوری، نیاز به چارچوب تحلیلی مفیدی برای سیاست‌گذاری مورد بحث قرار گرفت که بتواند بهره‌وری و پویایی نظام و عوامل مؤثر در بهبود فرآیندهای نوآوری را ارزیابی کند.

با تحلیل یک نظام نوآوری فناورانه، می‌توان یک حوزه فناورانه خاص را از منظر ساختارها و فرآیندهای حمایتی یا انسدادی مورد ارزیابی قرار داد. نکته مهم قابل توجه البته این است که این مراحل اما به معنای خطی بودن فرآیندهای مزبور نیست و در این میان قطعاً روابط دوطرفه متعددی میان مراحل وجود دارد که در ارزیابی اهداف سیاستی الزاماً باید مورد توجه قرار گیرد. الگوی تحلیلی نظام نوآوری فناورانه برای سیاست‌گذاری و توسعه فناوری را می‌توان در مراحل زیر خلاصه کرد[2]:

1- System dynamics

۲- تاکنون الگوهایی مختلفی برای تحلیل نظام‌های فناورانه ارائه شده‌اند (مانند ارزیابی خروجی نظام، تحلیل صرفاً ساختاری یا صرفاً کارکردی و غیره)؛ در اینجا یکی از پراستنادترین و کاربردی‌ترین الگوها برای سیاست‌گذاری نوآوری به عنوان پایه این بخش در نظر گرفته شده [۱۰] و با پژوهش‌های دیگر تکمیل گردیده است.



شکل ۳) الگوهای کارکردی (موتورهای نواوری) در هر مرحله از توسعه نظام فناورانه. (F1: فعالیت‌های کارافرینانه؛ F2: توسعه دانش؛ F3: انتشار دانش؛ F4: جهت‌دهی به نظام؛ F5: شکل‌گیری بازار؛ F6: تأمین منابع؛ F7: مشروعیت‌بخشی) [۲۰]

٤-۱ مشخص کردن تمرکز و مرز نظام نوآوری فناورانه

در این مرحله که نقطه آغازین فرآیند است، سیاست‌گذار باید به سه موضوع توجه کند و تصمیم بگیرد: ۱) انتخاب میان یک حوزه دانشی (مانند بیوفناوری) یا تمرکز بر یک محصول خاص (مثل توربین بادی) [۲٤]، ۲) مشخص کردن عمق (مانند انتخاب میان تحلیل انرژی‌های تجدیدپذیر یا تمرکز بر سلول‌های خورشیدی) و وسعت آن (مانند انتخاب میان کاربرد محدود فناوری اطلاعات در سلامت یا کاربرد گسترده آن در همه زمینه‌ها) و ۳) انتخاب دامنه جغرافیایی به معنای تعامل نظام نوآوری فناورانه با نظام ملی نوآوری یا نظام‌های منطقه‌ای موجود در آن (در بخش دو در این خصوص توضیح داده شد) [۱۰]. طبیعتاً انتخاب درست در موارد فوق یک الگوی مشخص ندارد و کاملاً به اهداف سیاستی و اهداف مطالعاتی بستگی دارد و می‌تواند متغیر باشد.

در این میان باید به منطق یا توجیه انتخاب فناوری نیز توجه شود. در حوزه مطالعات نظام‌های نوآوری فناورانه، بسیاری از مطالعات تجربی از منظر هنجاری[1] توصیه‌های سیاستی خاصی را تجویز کرده‌اند؛ یعنی سیاست‌ها چگونه می‌توانند از توسعه و نفوذ فناوری‌ها حمایت کنند. ولی این رویکرد بر خلاف جریان اصلی اقتصاد است که نگاهی توصیفی دارد. به عبارت دقیق‌تر، رویکرد نظام فناورانه باید علت حمایت از فناوری را تبیین نماید و نشان دهد که خروجی توسعه یک فناوری خاص چه خواهد بود [۲۵]. در نتیجه، سیاست‌گذاران باید به این موضوع توجه ویژه داشته باشند که کدام فناوری را برای حمایت انتخاب می‌کنند (به ازای هزینه‌های عدم حمایت از فناوری دیگر) و برای هر فناوری محدودیت‌های بودجه عمومی در تخصیص منابع را در نظر بگیرند. یکی از راهکارهای پیشنهادی برای تشریح منطق انتخاب فناوری استفاده از ارزیابی چرخه عمر[2] است.

٤-۲ شناسایی اجزاء ساختاری نظام نوآوری فناورانه

گفتیم که اجزاء اصلی ساختاری یک نظام نوآوری فناورانه عبارتند از: بازیگران، شبکه‌ها و نهادها. شیوه‌های مختلفی برای شناسایی بازیگران وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از: تحلیل ثبت اختراع[3] که فعالیت‌های فناورانه میان سازمان‌ها و افراد مختلف را مشخص می‌سازد، تحلیل‌های استنادی و شاخص‌های علم‌سنجی[4] که بازیگران مختلف اعم از دانشگاه‌ها و بنگاه‌ها که در انتشارات علمی مشارکت دارند را معین می‌کند و در نهایت مصاحبه با افراد صاحب‌نظر در حوزه آن فناوری خاص که گاهی اوقات کوتاه‌ترین مسیر

1- Normative

2- Life Cycle Assessment (LCA)
3- Patent analysis
4- Bibliometric analysis

برای شناخت اجمالی از بازیگران یک حوزه خاص محسوب می‌شود [۱۰].

در شبکه‌ها باید به همکاری بخش‌های مختلف و تحلیل‌های همکاری میان دانشگاه و صنعت در انتشار مقالات و ثبت اختراع‌های مشترک توجه داشت. ممکن این شبکه‌ها حول یک مأموریت فناورانه شکل بگیرند یا ممکن است از منظر سیاسی برای نهادسازی در موضوعی خاص تشکیل شوند. شبکه‌های غیررسمی مانند روابط خریدار و فروشنده مانند شبکه‌های رسمی قابل شناسایی نیستند و نیاز به مصاحبه و تبادل نظر با خبرگان صنعت دارد. در خصوص نهادها نیز به همین ترتیب است و تمام نهادهای رسمی (مثل قوانین و مقررات) و غیررسمی (مثل فرهنگ و هنجارها) که در توسعه فناوری خاص تأثیرگذار هستند باید احصاء شوند. تطبیق این نهادها با ظهور فناوری جدید از جمله موارد مهمی است که باید مورد توجه قرار بگیرد [۹].

٤-۳ نگاشت الگوی کارکردی نظام نوآوری فناورانه

این مرحله مشخص می‌سازد که کارکردهای نظام فناورانه (که در بخش دو توضیح داده شد) تا چه میزان در فرآیند سیاست‌گذاری فناوری درگیر هستند و به چه نحوی بر یکدیگر اثر می‌گذارند. این الگوی کارکردی یکسان نیست و ممکن است در هر نظام نوآوری فناورانه متفاوت باشد و حتی ممکن است با گذر زمان تغییر کند.

٤-٤ ارزیابی عملکرد کارکردهای نظام نوآوری فناورانه و تعیین اهداف سیاستی

پس از تعیین الگوی کارکردی نظام نوآوری فناورانه، باید ارزیابی کرد که این نظام از لحاظ کارکردی آیا درست عمل می‌کند یا خیر. این ارزیابی از دو منظر زیر قابل بررسی است:

الف) مرحله توسعه نظام نوآوری فناورانه

برای سیاست‌گذاری مناسب باید میان مرحله شکل‌گیری و مرحله رشد یک نظام نوآوری فناورانه تفاوت قائل شد زیرا کارکردهای نظام در هر مرحله با یکدیگر متفاوت است. فاز شکل‌گیری را می‌توان به کمک شاخص‌های زیر شناسایی کرد [۱۰]:

– از لحاظ بعد زمان، معمولاً فاز شکل‌گیری کمتر از یک دهه انجام نمی‌شود (یا حتی ممکن است چند دهه طول بکشد مانند توسعه سلول‌های خورشیدی)

– عدم قطعیت بالا در خصوص فناوری‌ها، بازارها و کاربردها (مهم‌ترین ویژگی مرحله شکل‌گیری)

– توسعه نیافتن نسبت مناسب قیمت/بازدهی محصولات

– سطح پایین فعالیت‌های اقتصادی و اشاعه فناوری در مقایسه با پتانسیل‌های بالقوه آن

– نامشخص بودن دقیق تقاضا

– فقدان اثرات خارجی مثبت و بازخوردهای درونی سیستم

در مرحله رشد تمرکز بر گسترش سیستم و انتشار گسترده فناوری از طریق شکل‌دهی بازارهای موازی و واسطه‌ای است. یک اشتباه رایج در سیاست‌گذاری این است که یک نظام نوآوری فناورانه در مرحله شکل‌گیری را با معیارهایی که مناسب ارزیابی نظام در مرحله رشد است، تحلیل می‌کنند. به عنوان مثال، بارها دیده شده که به اشتباه یک نظام نوآوری فناورانه را بر اساس حجم فعالیت‌های اقتصادی ارزیابی می‌کنند. این موضوع به علت اهمیتی که در فرآیند سیاست‌گذاری دارد در بخش ٦ به صورت تفصیلی توضیح داده خواهد شد.

ب) مقایسه میان نظام‌های نوآوری فناورانه

مقایسه نظام نوآوری فناوری مورد مطالعه با دیگر نظام‌های مستقر در کشورها موجب افزایش درک سیاست‌گذاران خواهد شد. این مقایسه نه تنها به ارزیابی دقیق‌تر میزان توسعه مورد نیاز کمک می‌کند، بلکه برای تعیین کارکردهای اصلی نظام مفید خواهد بود [٢٦]. همچنین بر اساس مقایسه تطبیقی می‌توان ضمن تعریف اهداف سیاستی، نحوه تکامل الگوی کارکردی برای رسیدن به عملکرد بهتر را تعیین نمود. این اهداف فرآیندی[1] مانند وسعت دادن به پایه دانشی یا افزایش تعداد تجربه‌های کارآفرینی، مناسب‌تر از هدف‌گذاری‌های کلی (مانند افزایش رشد اقتصادی) هستند [۱۰].

٤-٥ شناسایی سازوکارهای تشویقی و انسدادی

دلایلی مختلفی وجود دارد که محیط به سمت نظام فناورانه موجود تمایل پیدا کند و پویایی نظام جدید به خوبی شکل نگیرد. دسته‌ای از عوامل به صنعتی تعلق دارند که نظام نوآوری فناورانه در بستر آن در حال ظهور است، مانند نظام فناورانه سلول‌های خورشیدی در صنعت برق. دسته دیگر عوامل خارج از بخش مورد بررسی هستند و به موضوعات

1- Process goals

کلان‌تر اشاره دارند مانند مسائل مطرح در مورد تغییرات اقلیم و گرم‌شدن زمین که به عنوان سازوکارهای تشویقی یا انسدادی در بخش‌های مختلف عمل می‌کنند و نظام‌های فناورانه متعددی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

سیاست‌گذاران می‌توانند سازوکارهای انسدادی را به یکی از طرق زیر شناسایی کنند [۱۰]:

• ممکن است طرفداران فناوری جدید سازماندهی ضعیفی داشته باشند و نتوانند کارکرد "مشروعیت‌بخشی" را به خوبی شکل دهند و در نتیجه در تغییر نهادهای مورد نیاز برای فناوری جدید موفق عمل نکنند. این عدم تغییر نهادی و فقدان استانداردهای جدید، کارکرد "شکل‌گیری بازار" را با مشکل مواجه ساخته و موجب تضعیف کارکردهای "جهت‌دهی به نظام" و "فعالیت‌های کارآفرینانه" می‌شود.

• قابلیت‌های توسعه‌نیافته مشتریان و بی‌توجهی به پتانسیل‌های آنها می‌تواند به فقدان یا ضعف در تنوع تقاضا منجر شود که تضعیف پویایی کارکردهای "شکل‌گیری بازار" و "فعالیت‌های کارآفرینانه" را به همراه خواهد داشت.

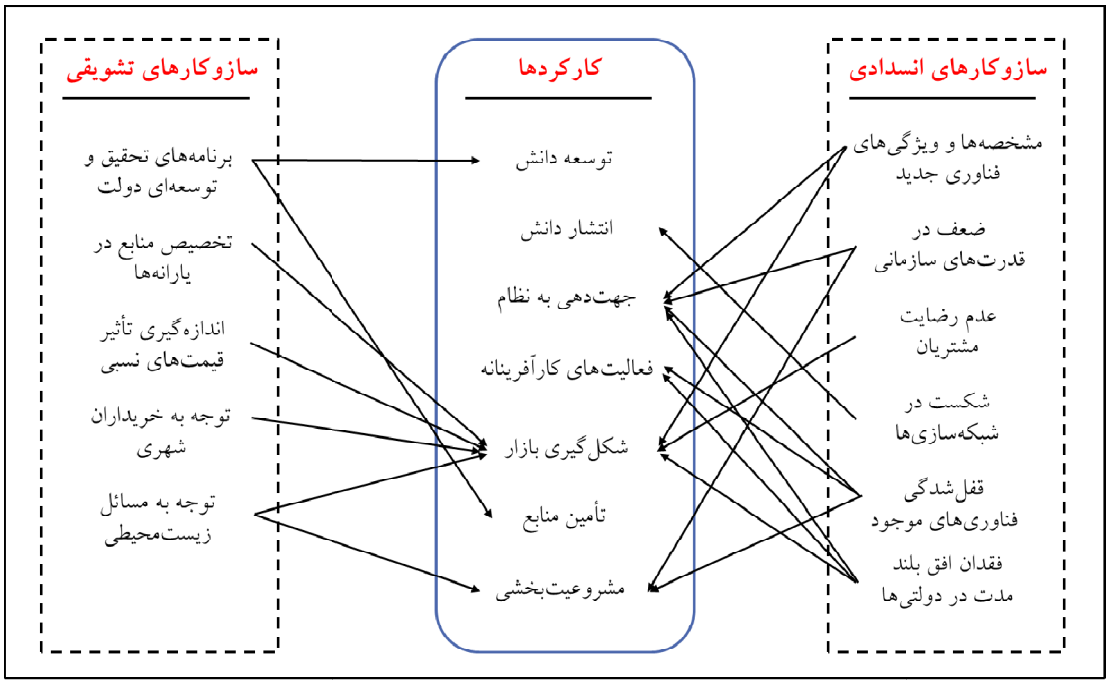
• شبکه‌ها ممکن است به دلیل ضعف در ارتباط میان بازیگران، در توسعه فناوری جدید مؤثر نباشند. شبکه‌های بیش از حد منسجم نیز می‌تواند قفل‌شدگی را به همراه داشته باشند و کارکرد "جهت‌دهی به نظام" را تضعیف نمایند.

سازوکارهای تشویقی نیز انواع مختلفی می‌تواند داشته باشد. مثلا ایجاد باور به ظرفیت‌ها و قابلیت رشد نظام نوآوری جدید و حمایت‌های تحقیق‌وتوسعه‌ای از سوی دولت، دو سازوکار تشویقی هستند که کارکردهای "جهت‌دهی به نظام"، "توسعه دانش" و "تأمین منابع" را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

همانطور که در بحث موتورهای نوآوری اشاره شد، کارکردهای نظام مستقل از هم نیستند. به عنوان مثال ضعف در کارکرد "شکل‌گیری بازار" بر کارکردهای "جهت‌دهی به نظام" و "فعالیت‌های کارآفرینانه" اثر منفی دارد و در ادامه رشد ناقص "فعالیت‌های کارآفرینانه" بر کارکردهای "توسعه دانش" و "تأمین منابع" اثر منفی خواهد گذاشت. این یعنی تأثیر سازوکارهای انسدادی به دلیل این به هم پیوستگی چندبرابر خواهد بود و به همین دلیل، سیاست‌ها باید بر تضعیف این سازوکارهای انسدادی تمرکز کنند. تحلیل ارتباط میان کارکردها و سازوکارهای تشویقی و انسدادی، یک گام مؤثر در تدوین سیاست‌های مربوط به نظام نوآوری فناورانه است. شکل ٤ این موضوع را برای فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در سوئد نشان می‌دهد [۲۷].

٤-٦ سیاست‌گذاری برای مقابله با شکست‌های سیستمی

پس از تعیین اهداف فرآیندی، در این مرحله می‌توان موضوعات سیاستی کلیدی را احصاء نمود. همان‌گونه که سیاست‌ها باید در جهت تقویت سازوکارهای تشویقی و تضعیف سازوکارهای انسدادی تدوین شوند، باید در جهت



شکل ٤) تعاملات سازوکارهای تشویقی-انسدادی با کارکردهای نظام نوآوری فناورانه در فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر سوئد [۲۷]

رفع مشکلات سیستمی حاکم بر نظام نیز اقدام نمایند [۲۸]. در این راستا، مشارکت محققان در مشاوره‌های سیاستی، نه تنها سیاست‌گذاران را در جهت یافتن صورت‌بندی‌های مطلوب آماده می‌کند، بلکه می‌تواند به تولید بینش‌های حاصل از تجربه برای توسعه رویکرد نظام نوآوری فناورانه نیز منجر شوند [۲۹]. در بسیاری از موارد برای حل مشکلات سیستمی به ابزارهای سیاستی سیستمی نیاز است. تاکنون ابزارهای سیستمی مختلفی برای نیل به چنین اهدافی پیشنهاد شده‌اند؛ مانند [۸] و [۲۹]. وایزورگ و هکرت [۸] بر اساس رویکرد نظام نوآوری فناورانه، اهداف‌های سیستمی را با ابزارهای سیاستی مرتبط کرده‌اند که خلاصه‌ای از آن در زیر آمده است:

- با هدف تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران نظام و تقویت تعاملات: خوشه‌بندی؛ توسعه روابط جدید دولت و بخش‌های خصوصی؛ کارگاه‌ها و نشست‌های علمی؛ برنامه‌های تحقیقاتی مشترک؛ فرآیندهای ارزیابی سیاست‌ها؛ کمک‌های مالی در ازای برنامه‌های مشارکتی و غیره.
- با هدف توسعه توانمندی‌های بازیگران: گفتمان‌سازی؛ تدوین نقشه‌راه؛ طوفان فکری؛ آینده‌نگاری؛ برنامه‌های آموزشی و مهارتی؛ پروژه‌های آزمایشی و غیره.
- برای جلوگیری از ایجاد شبکه‌های ضعیف یا بیش از حد منسجم: حمایت‌های موقتی و هدفمند؛ مدیریت راهبردی کنام‌ها؛ جوایز برای ابتکارات نوآورانه؛ وام و مشوق‌های مالیاتی برای کاربردهای فناورانه جدید؛ سرمایه‌گذاری‌های جسورانه و غیره.
- برای جلوگیری از وضع نهادهای خیلی ضعیف یا خیلی قوی: تنظیم‌گری در بخش عمومی و خصوصی؛ برنامه‌های آموزشی و ارائه اطلاعات؛ نشست‌های عمومی؛ لابی‌گری؛ ایجاد محدودیت‌های مشخص؛ قوانین ثبت اختراع؛ وضع استانداردها؛ قوانین مالکیت معنوی و غیره.
- برای تقویت زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی: کمک هزینه‌های تحقیق و توسعه‌ای؛ مالیات؛ وام‌ها؛ یارانه‌ها؛ آزمایشگاه‌های تحقیقاتی عمومی و غیره.
- برای حفظ کیفیت مناسب زیرساخت‌ها: آینده‌نگاری؛ پیگیری روند تحقیقات جهانی و توسعه نقشه‌راه؛ انجام مطالعات تطبیقی هوشمند؛ انجام تحلیل‌های خوشه‌ای؛ توسعه پایگاه‌های داده و اطلاعات برای پایش و ارزیابی؛ انجام پیمایش از کاربران و غیره.

سیاست‌گذاران باید توجه کنند که در کاربست ابزارهای سیاستی، تعاملات میان ابزارها در چارچوب نظام‌های نوآوری و شرایط اجتماعی و اقتصادی حاکم بر توسعه فناوری نیز باید در نظر گرفته شود. در این راستا، مفهوم آمیزه‌های سیاستی[1] مطرح می‌گردد تا سیاست‌های تدوین شده با یک رویکرد همه‌جانبه حداکثر اثربخشی را داشته باشند [۳۰]. رویکرد نظام نوآوری فناورانه با کمک آمیزه‌های سیاستی می‌تواند نقش بسزایی در شناسایی مشکلات و گلوگاه‌ها و صورت‌بندی توصیه‌های سیستمی سیاستی داشته باشد [۳۱].

۵- عوامل بافتاری نظام نوآوری فناورانه و نقش آن در سیاست‌گذاری

اگر چه کارکردهای نظام نوآوری فناورانه کمک بزرگی در درک پویایی نظام داشتند، اما به صورت صریح به عوامل بافتاری[2] نظام و پویایی آنها اشاره‌ای نمی‌کنند [۳۲]. یک نظام نوآوری فناورانه توسط مرزهای خود با ساختارها و عوامل خارج از نظام نوآوری فناورانه (یا همان عوامل بافتاری) جدا می‌شود. اینکه مرز نظام چگونه تعریف شود به اهداف تحقیقاتی و اهداف سیاستی ارتباط دارد که تعامل نظام فناورانه با عوامل بافتاری را مشخص می‌سازد. در ادامه چهار نوع تعامل اصلی میان نظام نوآوری فناورانه و عوامل بافتاری آن توضیح داده می‌شود:

۵-۱ تعامل نظام نوآوری فناورانه اصلی با دیگر نظام‌های نوآوری فناورانه

در اینجا عامل بافتاری، دیگر نظام‌های نوآوری فناورانه هستند که به طرق گوناگون با نظام فناورانه اصلی تعامل دارند. این تعاملات یا رقابتی هستند یعنی بازیگران نظام‌ها با یکدیگر بر سر سهم بازار و دارایی‌های راهبردی (مثل مواد خام، نیروی کار و سرمایه) رقابت می‌کنند یا حمایتی هستند، یعنی آنچه در یک نظام نوآوری فناورانه رخ می‌دهد اثر مثبتی بر دیگر نظام‌های نوآوری می‌گذارد [۳۳]. به عنوان مثال، سلول‌های فتوولتائیک با پیشرفت‌های اخیر در فناوری باتری تکمیل گشته‌اند و همزمان با انرژی باد و هسته‌ای رقابت دارد.

1- Policy mixes
2- Contexts

بسیاری از تعاملات نظام‌های نوآوری فناورانه در طول زنجیره ارزش فناوری و به صورت عمودی رخ می‌دهد. نظام نوآوری فناورانه اصلی به موادخام، اجزاء مختلف فناوری، زیرسیستم‌ها و خدمات متنوعی نیاز دارد که از طریق نظام‌های نوآوری بالادستی تأمین می‌گردد. البته نظام‌های فناورانه بالادست و پایین‌دست می‌توانند به عنوان گلوگاه برای "توسعه دانش" در نظام فناورانه اصلی نیز ظاهر شوند؛ به عنوان مثال اگر فناوری‌های تکمیلی به همان سرعت رشد نظام نوآوری فناورانه اصلی توسعه نیابند، این گلوگاه شکل خواهد گرفت [۳۲].

تعاملات میان نظام‌های فناورانه می‌تواند به صورت افقی نیز باشد. یعنی نظام‌ها ورودی‌ها و دارایی‌های مکمل مشابهی با نظام نوآوری فناورانه اصلی دارند یا خروجی مشابهی با آن را فراهم می‌کنند. به عنوان مثال در زیست‌گاز[1]، محصولات و کشت مواد غذایی بر دارایی مشابه اصلی که زمین‌های زراعتی هستند رقابت دارند. به همین ترتیب، فناوری‌های انرژی باد و فتوولتائیک با یکدیگر در رقابت هستند زیرا یک محصول (برق) تولید می‌کنند. در تعاملات افقی، در هم‌تنیدگی با نهادها نیز می‌تواند اتفاق بیفتد. به عنوان مثال در آلمان سیاست خرید تضمینی برق[2] برای شتاب بخشیدن به طیف وسیعی از فناوری‌های تجدیدپذیر که در رقابت با یکدیگر بودند (مانند انرژی باد، خورشیدی و زیست‌گاز) بکار گرفته شد [۳٤]. با توجه به این مطالب، سیاست‌گذاری مناسب می‌تواند پاسخ درستی به مسائل زیر را فراهم کند: ۱) ایجاد تعادل در رقابت میان نظام فناورانه اصلی با دیگر نظام‌های فناورانه، ۲) در نظر گرفتن ماهیت متفاوت بازیگران مختلف در این رقابت‌ها، ۳) هدایت بازیگران موجود در نظام‌های رقیب برای ایجاد هم‌افزایی و همکاری در تغییرات نهادی مورد نظر و ٤) در نظر گرفتن نحوه پیشرفت فناورانه و تأثیر آن بر نظام‌های دیگر که آیا به رشد آنها کمک می‌کند یا رقبا را از بازار خارج خواهد کرد.

۵-۲ تعامل نظام نوآوری فناورانه اصلی با بخش‌ها و صنایع دیگر

بخش‌ها[3] مجموعه بزرگتری از فناوری‌ها را شامل می‌شوند که در مراحل مختلف توسعه قرار دارند. صنایع و بخش‌ها عامل بافتاری نسبتاً پایدارتری هستند و نظام‌های فناورانه با آنها سازگار می‌شوند یا اینکه به نفع خود تغییراتی را ایجاد می‌کنند [۳۵].

شبکه‌های موجود در سطح بخشی مانند سازمان‌های لابی‌گر، انجمن‌های صنعتی یا شبکه‌های تحقیقاتی می‌توانند بر کارکردهای "مشروعیت‌بخشی" و "جهت‌دهی به نظام" تأثیرگذار باشند. اگر برخی از بازیگران نظام نوآوری فناورانه اصلی در این شبکه‌ها وجود داشته باشند می‌توانند مزیت‌هایی را برای نظام خود ایجاد کنند؛ مثلاً بخشی از بودجه تحقیقاتی یک مؤسسه‌ای را به سمت حوزه دانشی نظام فناورانه خود هدایت کنند [۳۲]. گاهی اوقات این شبکه‌ها مرزهای بین بخشی را نیز پوشش می‌دهند؛ مثلاً برخی از بازیگران بخش انرژی با بازیگران بخش کشتی‌رانی و ماهی‌گیری هم‌افزایی می‌کنند تا مشروعیت توسعه توربین‌های بادی دریایی[4] را کاهش دهند.

دارایی‌های فناورانه اشتراکی در یک بخش (مانند زیرساخت‌های فیزیکی یا پایگاه‌های دانشی مشترک) می‌توانند در جهت‌دهی به نظام‌های فناورانه در حال ظهور اثرگذار باشند. از این رو، خط سیرهای فناورانه درون بخش‌ها در جهت‌دهی به نظام فناورانه تأثیر بسزایی دارند؛ به عنوان مثال، در بخش روشنایی، خط سیر بهینه‌سازی انرژی منجر به ظهور فناوری‌های جدید لامپ در طول زمان شد (مثل هالوژن و LED) و به بهبود محصولات جدید در نظام فناورانه کمک کرد. همزمان نظام‌های فناورانه نیز منجر به تقویت خط سیر بهینه‌سازی انرژی شدند.

تعاملات با عامل بافتاری بخشی می‌تواند در سطح نهادی نیز رخ دهد. نهادهای بخشی شامل قوانین، مقررات و حمایت‌هایی هستند که بر اغلب فناوری‌های درون آن بخش تأثیر دارند [۲٦]. مثلاً قانون محدودیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر بخش بر "شکل‌گیری بازار" و "جهت‌دهی به نظام‌های فناورانه" تأثیر ویژه‌ای دارند. البته برعکس این موضوع نیز وجود دارد که در یک بخش خاص، قوانین ویژه‌ای برای هر نظام فناورانه وجود داشته باشد؛ مثلاً در قانون خرید برق تضمینی در آلمان، میزان قیمت ثابت در هر

1- Biogas
2- Feed-In Tarif (FIT)
3- Sectors
4- Offshore wind power

فناوری متفاوت است. نهادهای غیر رسمی مانند ارزش‌ها و هنجارها نیز گاهی اوقات توسعه نظام‌های جدید را مخصوصاً از لحاظ "مشروعیت‌بخشی" با مشکل مواجه می‌سازند.

در نهایت، نظام‌های فناورانه می‌توانند قسمتی از چند بخش مختلف باشند یا بازیگرانی که در توسعه نظام جدید دخیل هستند از بخش‌های دیگر آمده باشند. در این حالت ردیابی تأثیرات دوطرفه مانند قبل ساده نخواهد بود و بسته به اینکه نظام فناورانه با کدام بخش زودتر سازگاری پیدا کند، نتایج متفاوتی به همراه خواهد داشت. به این ترتیب، سیاست‌گذاری برای هدایت نظام فناورانه میان صنایع و بخش‌ها برای تحلیل عواقب توسعه نظام فناورانه بسیار پر اهمیت خواهد بود.

۵-۳ تعامل نظام نوآوری فناورانه اصلی با ساختارهای جغرافیایی

اگر چه مفهوم نظام نوآوری فناورانه فراتر از مرزهای ملی می‌رود، اما این یک واقعیت است که اجزاء ساختاری هر نظام معمولاً در یک محدوده مشخص متمرکز شده‌اند؛ از این رو عامل بافتاری جغرافیایی در گام اول به تعیین مرزهای نظام فناورانه می‌پردازد. به عنوان مثال اگر فناوری انرژی باد در وهله اول در دانمارک توسعه یافته باشد، طبیعی است که برای جستجوی شرایط مطلوب توسعه این فناوری به ساختارهای سیاسی، اجتماعی و اقتصادی مشابه با همین کشور رجوع کنیم. اغلب تحقیقات تجربی در خصوص نظام نوآوری فناورانه در سطح ملی متمرکز شده‌اند یا به مقایسه چند نظام فناورانه در محدوده ملی می‌پردازند [۵].

محدوده جغرافیایی از این جهت که شرایطی را به وجود می‌آورد تا با دیگر عوامل فناورانه، بخشی و سیاسی هم‌پوشانی پیدا کنند، اهمیت ویژه‌ای در سیاست‌گذاری نوآوری دارد. بازیگران، شبکه‌ها و نهادها در یک نظام فناورانه به طور معمول در ساختارهایی نهادینه شده‌اند که قبل از ظهور نظام فناورانه نیز در این منطقه جغرافیایی وجود داشته‌اند [۳۲]. به عبارت دقیق‌تر، محدوده‌های جغرافیایی (مانند شهرها یا کشورها) را می‌توان به عنوان یک نتیجه تاریخی از شرایط طبیعی این محیط‌ها و هم‌ترازی فرآیندهای سازمانی و نهادی (شامل بخش‌های صنعتی، هنجارهای فرهنگی، قوانین، نظام آموزشی، بازار نیروی کار و غیره) دانست. به عنوان مثال، شرایط و قوانین ساخت و ساز ساختمان‌ها در یک فرآیند تاریخی و با توجه به نیازهای منطقه شکل گرفته است، اما مسیر نصب فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر را با مشکلاتی مواجه کرده است. بازیگران نظام فناورانه باید برای تغییر قوانین ساخت‌وساز با توجه به شرایط جدید تلاش کنند.

همچنین بازیگران منطقه‌ای و فرهنگ نهادینه شده در آن می‌تواند به طور مستقیم در توسعه یک نظام فناوارنه ایفاء نقش کنند. تحلیل‌های معمول، علت اصلی توسعه و شکل‌گیری بازار فتوولتائیک در آلمان را همان سیاست خرید برق تضمینی عنوان می‌کنند. اما سال‌ها قبل از تصویب این قانون، گروه‌های محلی در سراسر کشور (با نام انجمن‌های مدنی خورشیدی) فعالیت‌های گسترده‌ای را در حوزه‌های آموزشی، فنی و رایزنی‌های سیاستی در این حوزه شروع کرده بودند. با ایجاد این شبکه اعتماد میان مردم محلی، مشروعیت قوی‌ای را برای شکل‌گیری سیاست مربوطه ایجاد کرد و تصویب آن بدون هیچ‌گونه مخالفت سیاسی انجام گردید [۳۶]. در نتیجه ساختار نظام فناورانه اصلی می‌تواند به شدت به منابع و بسترهای خاص محلی و منطقه‌ای وابسته باشد. سیاست‌گذاری در این خصوص می‌تواند به هم‌افزایی سیاست‌های منطقه‌ای و راهبردهای تغییرات فناورانه توجه نماید.

۵-٤ تعامل نظام نوآوری فناورانه اصلی با ساختارهای سیاسی

فریمن و لوکا در سال ۲۰۰۱ در کتاب بی‌نظیر خود صریحاً نشان دادند که تعامل نظام‌های نوآوری با ساختارهای سیاسی نقش مهمی در تحولات بزرگ و انقلاب‌های فناورانه دارد [۳۷]؛ جایی که تنظیمات نهادی و تغییرات در هنجارها، باورها و مقررات بر روند تغییرات فناورانه بسیار تأثیرگذار بودند.

کارکردهای تأمین منابع، مشروعیت‌بخشی، شکل‌گیری بازار می‌توانند تابعی از حمایت‌های سیاسی از نظام فناورانه باشند و در ورود تازه‌واردان و فراهم کردن منابع آنها تأثیر بسزایی داشته باشند. از سوی دیگر بنگاه‌ها نیز به عنوان بخشی از شبکه‌های سیاسی برای لحاظ کردن منافع خود در ایجاد تغییرات نهادی رقابت می‌کنند که مولد تعارضات منافع بین بازیگران خواهد شد [۳۲]. بنابراین، همین بازیگران و

شبکه‌ها، تعاملات میان نظام فناورانه اصلی و ساختار سیاسی را منعکس می‌سازند.

هر کشور ساختار سیاسی خاص خود را دارد و در نتیجه بازیگران نظام‌های فناورانه در هرکشور باید راهبردهای خاص خود را اتخاذ کنند که طبیعتاً با یکدیگر متفاوت است [۱۲]. سیاست‌گذاران می‌توانند با توجه بیشتر به چارچوب‌های نهادی ملی و بررسی عوامل سیاسی مؤثر در شکل‌گیری یا عدم شکل‌گیری فناوری‌ها به مسائل ناشی شده از این تفاوت‌ها بپردازند. این سیاست‌ها می‌تواند شامل مواردی مثل تشکیل ائتلاف یا لابی‌گری (مانند ایجاد نهاد لابی‌گر در سیلیکون‌ولی، جهت حفظ منافع بازیگران در واشنگتن) باشد یا حتی شناسایی ائتلاف‌های انسدادی و کاهش اثرات آنها را دنبال کند [۲۱].

نکته مهم این است توصیه‌های سیاستی در توسعه نظام‌های نوآوری فناورانه ممکن است در طول زمان با توجه به شرایط سیاسی جدید دچار تغییر شوند. در نتیجه، توصیه‌های سیاستی باید محیط سیاسی مرتبط با سیاست‌گذاران و مسائل اجتماعی پیرامون آن را به طور صریح در نظر بگیرند.

٦- نقش چرخه عمر نظام‌های نوآوری فناورانه در سیاست‌گذاری

اساساً در یک سیاست‌گذاری جامع و مؤثر، علاوه بر ظهور فناوری‌ها و سیاست‌های نوین، افول فناوری‌های غالب و سیاست‌های نهادینه شده در سیستم نیز باید مورد توجه قرار گیرد؛ مانند سیاست‌های خروج فناوری‌های زغال‌سنگ و لامپ‌های پرمصرف از چرخه انرژی. این موضوع، در قالب مفهوم چرخه عمر[1] قابل بررسی است و با تکیه بر رویکرد نظام نوآوری فناورانه، دیدگاه نوینی را برای توسعه فناوری و سیاست‌گذاری آن پدید می‌آورد [۳۸].

٦-١ چرخه عمر صنعت و فناوری

برای درک مفهوم چرخه عمر نظام نوآوری فناورانه، ابتدا باید چرخه عمر یک صنعت و یک فناوری شناخته شوند. پیشینه حوزه چرخه عمر صنعت بر الگوهای تکراری و درون‌زا در ظهور و بلوغ صنایع و جمعیت بنگاه‌های در حال رقابت تمرکز دارد. مطالعات این حوزه ارتباط تنگاتنگی با پیشینه چرخه عمر محصول دارند و تغییر از نوآوری در محصول به نوآوری در فرآیند را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. ابعاد اصلی این مطالعات شامل نرخ ورود و خروج بنگاه‌ها، اندازه و سهم بازار، نرخ بقاء و ساختار عمودی بنگاه‌ها خواهد بود [۳۹].

مطالعات حوزه چرخه عمر فناوری با توجه به روابط پیچیده بین عوامل فنی و اقتصادی، بر الگوهای ظهور و بلوغ فناوری‌ها تمرکز می‌کند. چرخه عمر فناوری به صورت دنباله‌ای از ناپیوستگی‌های فناورانه، ظهور یک طرح غالب[2] و مرحله توسعه تدریجی آن را در نظر می‌گیرد. هنگامی که یک طرح غالب می‌شود، تنوع فناورانه و عدم قطعیت کاهش می‌یابد. ابعاد کلیدی تحلیل در این حوزه عبارتند از تنوع فناورانه، بازدهی فناوری و شدت نوآوری و مفاهیم اصلی مطرح نیز، طراحی غالب، منحنی‌های S شکل نفوذ فناوری و استانداردهای فناوری است [٤٠].

٦-٢ چرخه عمر نظام نوآوری فناورانه

مارکارد [۳۸] سه بلوک اصلی برای تحلیل چرخه عمر نظام نوآوری فناورانه معرفی می‌کند که عبارتند از: ۱) نظام نوآوری فناورانه و عوامل بافتاری به عنوان دو جزء اصلی تحلیل، ۲) مجموعه‌ای از ابعاد تحلیلی برای تشخیص مرحله توسعه نظام نوآوری فناورانه و ۳) یک چشم‌انداز تحول‌گرایانه که توسعه نظام نوآوری فناورانه را در گذر زمان منعکس می‌سازد.

بلوک اول تفصیلاً در بخش‌های قبل توضیح داده شده است. برای بلوک دوم یعنی ابعاد تحلیلی، سه عنصر اصلی زیر باید در سیاست‌گذاری نظر گرفته شود:

- اول، اندازه نظام و بازیگران اصلی، که نشان‌دهنده میزان فعالیت‌های مرتبط با نظام نوآوری فناورانه است.
- دوم، ساختار نهادی، که نشان‌دهنده میزان ساختارمندی یک نظام نوآوری فناورانه است که شامل انواع مختلف نهادها، ارتباط بین آنها و اثراتشان می‌شود. ساختارمندی و تصلب نهادی می‌تواند در اثر شکل‌گیری استانداردهای فناوری، زنجیره‌های ارزش و بازارها، افزایش مقررات رسمی یا رسمی‌شدن شبکه‌های میان سازمانی و صنایع ایجاد شود.
- سوم، تنوع و عملکرد فناوری[3]، که به میزان رشد فناوری و همچنین مسیر توسعه آن تمرکز می‌کند. تعیین بهبود تدریجی

1- Life Cycle

2- Dominant

3- Technology performance

یا رادیکالی بازدهی فناوری و همچنین نحوه ظهور یک فناوری غالب در این بخش بررسی می‌شوند.

در بلوک سوم یعنی چشم‌انداز تحول‌گرایانه، تحولات نظام نوآوری فناورانه و عوامل بافتاری به صورت توأمان تحلیل می‌گردد. یکی از راه‌های توصیف این تحولات، پیگیری تغییرات در ابعاد تحلیلی فوق است. در بعد اول، بسط و افول معنا پیدا می‌کند؛ بسط نظام نوآوری فناورانه می‌تواند به عنوان نتیجه ورود بازیگران و یا تحقیق‌وتوسعه بیشتر باشد. تغییرات در بعد دوم را می‌توان با تصلب نهادی در برابر ناپایداری (کاهش ارتباطات سیستمی و تنش نهادی) توصیف کرد. بعد سوم، می‌تواند شامل تغییرات در بازدهی فناوری و مسیر توسعه باشد. بحث بهبود بازدهی و عملکرد توسط محققان مکرراً گزارش شده ولی همچنان این سؤال باقی است که آیا در مرحله افول، بازدهی نیز تنزل می‌یابد یا خیر؟ برای تغییر در مسیر توسعه نیز، یک فناوری ممکن است ابتدا برای کاربرد خاصی طراحی شود ولی بعدها با تغییر سیاست‌ها، اهداف متفاوتی را پی بگیرد. تغییرات عوامل بافتاری و ارتباط میان نظام و بافتار نیز مهم است که به آن خواهیم پرداخت.

۶-۳ مراحل مختلف توسعه نظام نوآوری فناورانه

برای توصیف چرخه عمر یک نظام نوآوری فناورانه از چهار مرحله استفاده می‌شود: مرحله شکل‌گیری، مرحله رشد، مرحله بلوغ و مرحله افول [۳۸]. درک عناصر چرخه عمر در هر یک از مراحل، یک ضرورت برای سیاست‌گذاری محسوب می‌شود که در جدول ۲ توضیح داده شده است.

۶-۴ تغییرات در تعاملات نظام نوآوری فناورانه و عوامل بافتاری

حین تغییرات و تحولات فناورانه، نکته مهم در سیاست‌گذاری توجه به پویایی تعاملات نظام نوآوری و عوامل بافتاری آن است. این پویایی را به صورت کلی در دو دوره می‌توان تشریح کرد که در شکل ۵ نشان داده شده است.

الف) سیاست‌گذاری در دوره گسترش و بسط نظام نوآوری فناورانه

در مرحله شکل‌گیری، تأثیرگذاری عوامل بافتاری بر نظام نوآوری فناورانه یک طرفه است (قسمت الف شکل ۵). عوامل بافتاری، هم می‌توانند نقش پیشران و هدایت‌کننده نظام را داشته باشند و هم می‌توانند مانعی برای توسعه آن باشند. در نتیجه بازیگران نظام نوآوری، فعالانه روابط نظام-بافتار را مدیریت می‌کنند و ضمن تطبیق با بافتار فعلی، مشروعیت شکل می‌گیرد. با توجه به مشکلات صنایع مرتبط و از طریق چارچوب‌بندی فناوری جدید، ارتباطات شناختی[1] بین فناوری مرکزی و بافتار به عنوان بخشی از فرآیند نهادینه‌سازی ایجاد می‌گردد. همچنین، ارتباطات مشارکتی[2] (مثلاً بین دانشگاه و صنعت) برای حمایت از توسعه دانش یا تأمین منابع‌مالی به خصوص برای طرح‌های آزمایشی نیز وجود دارند.

در مرحله رشد، نظام فناورانه گسترش می‌یابد و ساختارهای نهادی مخصوص فناوری مانند استانداردها به صورت فزاینده‌ای مؤثرتر می‌شوند. بازارها، ارتباط با مشتریان و زنجیره‌های ارزش شکل می‌گیرند و ارتباطات تولیدکننده-عرضه‌کننده، نظام فناورانه را با سایر صنایع حامی مرتبط می‌کند (پیکان سبز). ارتباطات نظام-بافتار علاوه بر افزایش در تعداد به صورت دوطرفه درمی‌آیند (پیکان‌های دوطرفه در قسمت ب شکل ۵)؛ یعنی تغییرات بافتاری نیز می‌تواند ناشی از توسعه نظام فناورانه اصلی باشد. برای مثال رشد سریع نظام نوآوری فناورانه زیست‌گاز در آلمان در محدوده سال ۲۰۱۰ باعث تغییرات گسترده در کشاورزی (بافتار) شد و با افزایش شدید در کشت محصولات انرژی[3]، کشاورزان را از تأمین‌کنندگان غذا به تأمین‌کنندگان انرژی تبدیل کرد. اگر این تغییرات بافتاری باعث ایجاد مقاومت و تعارض شوند، نظام فناورانه می‌تواند از توسعه‌های آتی باز بماند.

در مرحله بلوغ، یک نظام نوآوری فناورانه در درجه بالایی از ساختارمندی قرار می‌گیرد (خط‌های عمودی در قسمت ج شکل ۵). در این مرحله، تعاملات متعدد و عمیق با بافتار وجود دارد (پیکان‌های با دو خط بدنه) و فناوری تدریجی و وابسته به مسیر توسعه می‌یابد. همانند مرحله رشد، ارتباطات با بافتار دو طرفه است و همچنین انتظار بهبود تدریجی در بازدهی فناوری و توسعه کاربردهای فناوری در سایر حوزه‌ها نیز وجود دارد.

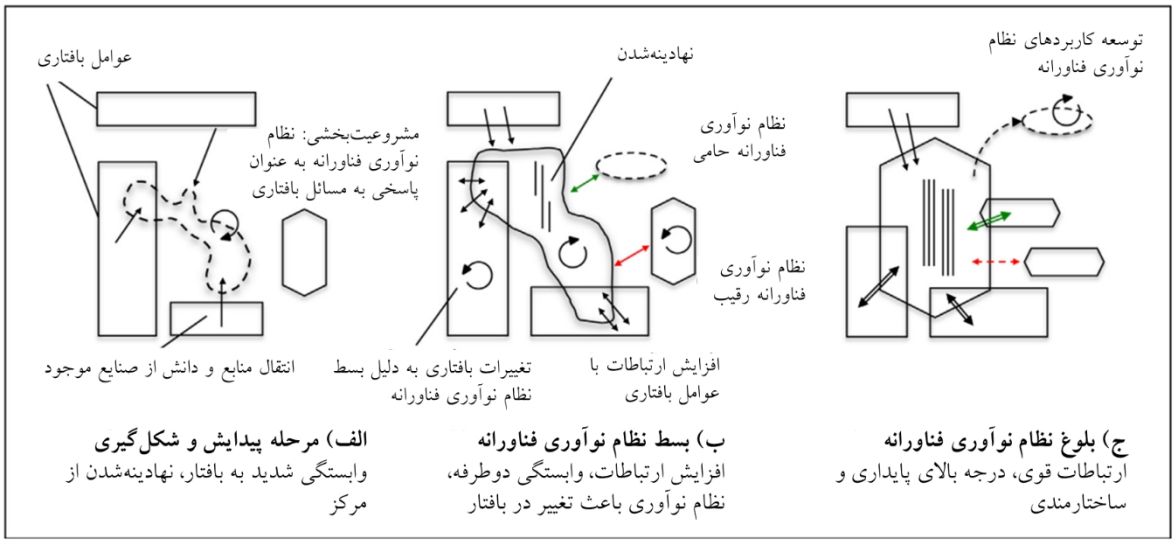
ب) سیاست‌گذاری در دوره افول نظام نوآوری فناورانه

مرحله افول می‌تواند ناشی از شوک‌های شدید (اغلب برون‌زا) و یا فناوری‌های جدید رقیب باشد (پیکان‌های قرمز در

1- Cognitive relationships
2- Collaborative relationships
3- Energy crops

جدول ۲) چهار مرحله از یک چرخه عمر نظام نوآوری فناورانه و تحولات آن [۳۸]

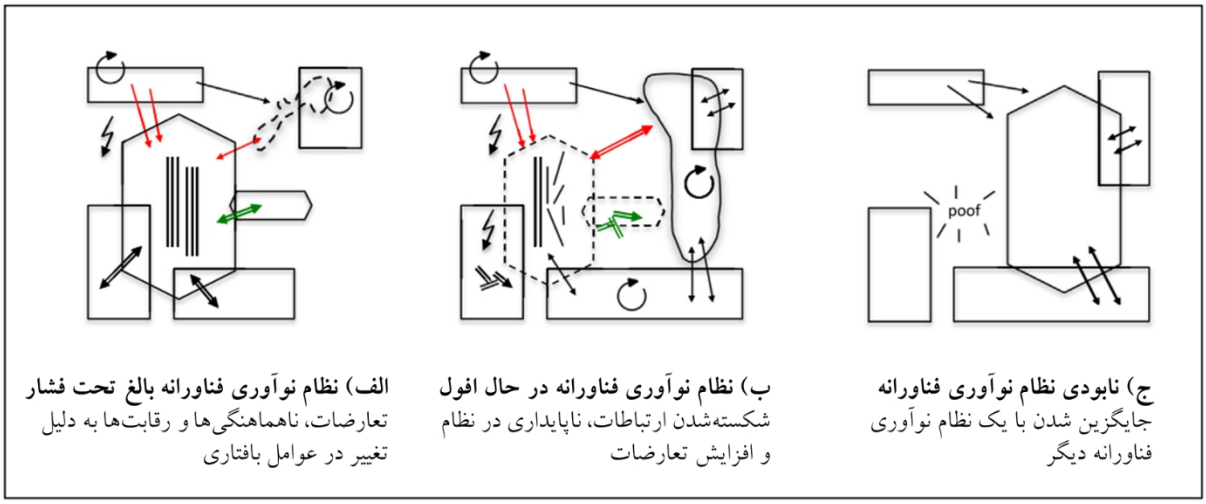
	مرحله شکل‌گیری	مرحله رشد	مرحله بلوغ	مرحله افول
اندازه نظام و بازیگران اصلی	فروش نزدیک به صفر، رشد اندک، تعداد کم بازیگران، درجات بالای یکپارچگی عمودی، نرخ ورود و خروج پایین	فروش مدیریت شده و سپس رشد سریع، تعداد متوسط تا زیاد بازیگران، ظهور واسطه‌ها، نرخ ورود بالا، رقابت شدید بر سر استانداردها	میزان بالای فروش، رشد کم، تعداد متوسط تا زیاد بازیگران، میزان تخصصی‌سازی بالا، نرخ پایین ورود و خروج، وجود بازیگران غالب، تعارضات کم	فروش کمتر از میزان حداکثری و با روند نزولی، نرخ خروج بالا، از دست رفتن اثر واسطه‌ها، روند افزایش تعارضات
ساختار نهادی و شبکه‌ها	ساختارمندی کم، عدم قطعیت بالا، شبکه ضعیف، زنجیره ارزش ناقص	افزایش ساختارمندی، شکل‌گیری بازارها، افزایش رسمیت، مشارکت در شبکه‌ها	میزان بالای ساختارمندی، عدم قطعیت کم، بازارها و زنجیره ارزش و شبکه‌های شکل‌گرفته	ناپایداری ساختاری، مناقشات بر سر نهادها، اضمحلال شبکه‌ها
بازدهی و تنوع فناوری	معیارهای نامشخص بازدهی، بازدهی کمتر نسبت به فناوری موجود، تنوع بالا	معیارهای مشخص بازدهی، بازدهی افزایشی، کاهش تنوع، ظهور یک طرح غالب	روند افزایشی بازدهی، امکان بالقوه گسترش فناوری به سایر شاخه‌های جدید کاربردی	زیر سؤال رفتن معیارهای عملکرد
ارتباط بین نظام و عوامل بافتاری	وابستگی نظام فناورانه به بافتار و ظهور اولین روابط	ارتباطات رسمی و متعدد نظام فناورانه با بافتار، افزایش تعارضات بالقوه، وابستگی	تعداد زیاد روابط نزدیک، تعامل بافتار و نظام فناورانه، وابستگی	قطع روابط، افول بافتارهای ساختاری وابسته



شکل ۵) تعاملات نظام-بافتار در زمان بسط و گسترش نظام نوآوری فناورانه [۳۸]

قسمت الف شکل ٦). توسعه فناوری‌های رقیب ممکن است توسط صنایع موجود در نظام هدایت شوند؛ یعنی صنایع موجود با هدف استفاده از فرصت‌ها و با ورود به یک نظام فناورانه جدید شرایط افول نظام فعلی را فراهم کنند.

تغییرات بافتاری باعث ایجاد تعارضات و اعمال فشار بر نظام فناورانه می‌شود و ناپایداری در ساختارهای نهادی مانند مقررات حمایتی فناوری را به همراه می‌آورد (خطوط به هم ریخته در قسمت ب شکل ٦). همچنین به دلیل افزایش سهم بازار فناوری جدید و یا تغییر جهت به سمت تحقیق‌وتوسعه آن، تخصیص منابع برای فناوری فعلی کاهش می‌یابد. همزمان شاهد کاهش روابط نظام-بافتار خواهیم بود و صنایع موجود نیز یا دچار ناپایداری می‌گردند یا به سمت حمایت از فناوری رقیب متمایل می‌شوند. اختلافات نهادی بیشتری می‌شود و با تشدید فشارها بر بازیگران، میزان خروج آنها افزایش می‌یابد و در نهایت ممکن است فناوری اصلی از بین برود یا در سطح کوچکی به حیات خود ادامه دهد (قسمت ج شکل ٦).



شکل ٦) تعاملات نظام-بافتار در زمان افول نظام نوآوری فناورانه [۳۸]

تحقیقات جدید در این حوزه با چالش‌های اجتماعی و زیست‌محیطی پیوند خورده است و اهداف توسعه پایدار و مسائلی مانند گذار و دگرگونی[1] را دنبال می‌کند. این دگرگونی به تغییر در نظام فنی‌اجتماعی اشاره دارد که در پیشینه گذارهای پایدار[2] مفهوم‌پردازی شده است [٤١]. نظام نوآوری فناورانه (در کنار رویکردهای دیگر مانند رویکرد چند سطحی[3] و غیره) به عنوان یکی رویکرد اصلی در تحلیل گذارها و نظام‌های فنی‌اجتماعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این موضوع بحث مفصلی دارد که در این مقال نمی‌گنجد.

۷- مطالعه موردی: تحلیل نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک در ایران

در این بخش، نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک در ایران بررسی می‌گردد تا کاربرد مفاهیم بحث شده در این مقاله به صورت خلاصه نشان داده شود. با وجود پتانسیل بالای انرژی خورشیدی در ایران، توسعه فناوری فتوولتائیک با موانع انتشار همراه بوده و تاکنون به نحو شایسته‌ای مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است. از این رو، احصای مشکلات سیستمی و تحلیل آن با رویکرد نظام نوآوری فناورانه یک ضرورت برای توسعه و سیاست‌گذاری این فناوری محسوب می‌شود.

۷-۱ تحلیل ساختاری نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک

همانطور که در بخش دو اشاره شد، قدم اول در تحلیل یک نظام نوآوری فناورانه، تحلیل ساختاری آن است:

الف) بازیگران

بازیگران تأثیرگذار در نظام نوآوری فناوری فتوولتائیک در سطوح مختلف قابل احصاء است. در سطح سیاست‌گذار، مجلس شورای اسلامی، شورای عالی انقلاب فرهنگی و وزارت نیرو از بازیگران اصلی هستند. در سطح تنظیم‌گر و تسهیل‌گر، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق، سازمان حفاظت از محیط‌زیست و ستاد توسعه فناوری حوزه انرژی معاونت علمی از مهم‌ترین بازیگران محسوب می‌شوند. در سطح اجرا و توسعه فناوری نیز نیروگاه‌های فتوولتائیک، دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و بنگاه‌های کوچک و متوسط نقش اصلی را ایفاء می‌کنند [٤٢].

ب) نهادها

نهادهای رسمی نظام فناورانه فتوولتائیک شامل برخی قوانین و اسناد بالادستی است که عبارتند از: سند چشم‌انداز بیست‌ساله کشور، سیاست‌های کلی نظام در بخش انرژی، سند ملی راهبردی انرژی کشور، نقشه جامع علمی کشور، قانون اصلاح الگوی مصرف، سیاست‌های کلی محیط‌زیست، قانون حمایت از صنعت برق، ترازنامه انرژی، طرح جامع انرژی کشور، سند ملی توسعه دانش بنیان انرژی‌های تجدیدپذیر و نقشه‌راه توسعه فناوری انرژی خورشیدی. از نهادهای غیررسمی می‌توان به نگرش و باور مسئولان کشور پیرامون تقابل توسعه فناوری انرژی‌های نو و استفاده از منابع فسیلی اشاره کرد.

ج) شبکه‌ها

برخی از شبکه‌های رسمی فعال در نظام نوآوری فناورانه

1- Transformative change
2- Sustainability transitions
3- Multi-level perspectiev (MLP)

فتوولتائیک ایران عبارتند از: انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر ایران، انجمن انرژی خورشیدی ایران، انجمن انرژی ایران و باشگاه باد و خورشید [٤٢].

۷-۲ تحلیل کارکردی نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک

تحلیل تاریخی شکل‌گیری کارکردهای نظام نوآوری فناوری فتوولتائیک در ایران و استخراج موتور محرک نوآوری در هر دوره زمانی، پیش‌شرط تحلیل نظام فناورانه است. در ابتدا وضعیت پیشبرد هر یک از کارکردهای فناوری فتوولتائیک در ایران از دید خبرگان در شکل ۷ نشان داده شده است.

این شکل شدت قوت و ضعف هر کارکرد در این نظام فناورانه را به صورت ایستا نشان می‌دهد؛ کارکرد توسعه و انتشار دانش نسبت به بقیه در وضعیت بهتری قرار دارد، در حالی که کارکرد تأمین منابع به شدت نیاز به سیاست‌های حمایتی دارد. برای شناسایی نحوه شکل‌گیری کارکردها در گذر زمان و تحلیل پویایی آن، تحلیل تاریخی در چهار دوره زمانی انجام شده است:

الف) دوره نخست: پیش از دهه ۷۰

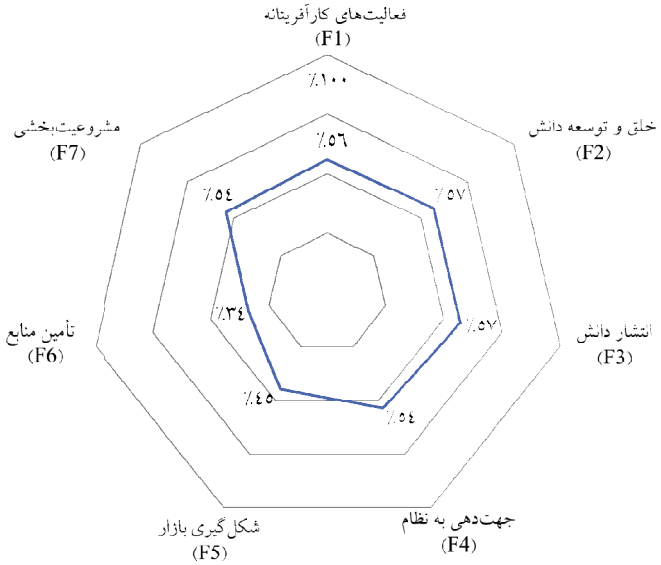
در این دوره، اتفاق مهمی در حوزه توسعه انرژی‌های خورشیدی در ایران رخ نداده و صرفاً باتوجه به پیشرفت‌های فناورانه در کشورهای توسعه‌یافته، برخی تحقیقات پراکنده و نامسنجم با محوریت چند دانشگاه برتر و تعدادی از سازمان‌ها و مراکز دولتی انجام شده است. به عنوان مثال وزارت پست و تلگراف در دهه ۱۳٦۰ برای تأمین انرژی دکل‌های آنتن خود از صفحات خورشیدی وارداتی استفاده کرد. بنابراین، کارکردهای توسعه و انتشار دانش به میزان کم و کارکردهای جهت‌دهی به نظام فناورانه و تخصیص جزئی منابع به کمک برخی مراکز دولتی در حال انجام بود (قسمت الف شکل ۸ را ببینید).

ب) دوره دوم: از ۱۳۷۰ تا۱۳۸۵

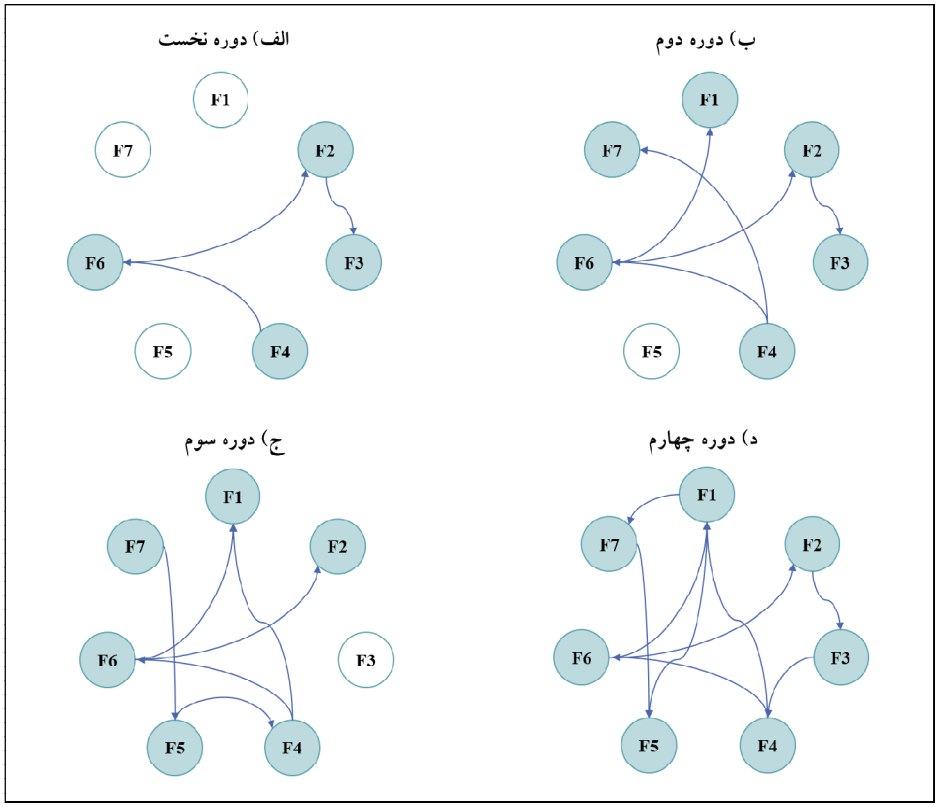
همزمان با رشد فزاینده فناوری‌های فتوولتائیک در دنیا، فعالیت‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران از اوایل دهه ۱۳۷۰ شروع و اولین صفحات خورشیدی ایرانی در سال ۱۳۷۱ توسط شرکت فیبر نوری ساخته شد. بنابراین، نظام فناورانه بیش از اینکه مبتنی بر کارکرد توسعه دانش شکل بگیرد، مبتنی بر واردات تجهیزات و مونتاژ آنها در حال وقوع بود. در همان دوران سازمان انرژی اتمی با تمرکز بر انجام برخی پروژه‌های آزمایشی نظیر ساخت آبگرمکن خورشیدی، ساخت آینه‌های سهموی برای استفاده در نیروگاه‌های خورشیدی به کار خود شتاب بخشید.

سازمان انرژی‌ها نو ایران وابسته به وزارت نیرو در سال ۱۳۷٤ تأسیس شد. در همان سال، دو نیروگاه فتوولتاییک نیز در سمنان و یزد توسط سازمان انرژی اتمی ایران به بهره‌برداری رسید [٤٢]. برخی فعالیت‌های پراکنده نیز در این دوران در حال انجام بود مانند استفاده از صفحات فتوولتائیک برای پمپ‌های آب در مهرشهر و ساخت و نصب چراغ‌های خیابانی خورشیدی.

از مهم‌ترین رویدادهای دهه ۸۰ می‌توان به تصویب ماده قانونی اشاره کرد که برای اولین خرید برق تجدیدپذیر را در



شکل ۷) وضعیت پیشبرد کارکردهای نظام نوآوری فناوری فتوولتائیک در ایران. اصلاح شده شکل [٤٣]



شکل ۸) پویایی کارکردهای نظام نوآوری فناوری فتوولتائیک در ایران در چهار دوره زمانی

دستور کار قرار داده بود [٤٤]. از سال ۸٤ به منظور استفاده بهینه و بهره‌برداری مؤثر از انرژی‌های تجدیدپذیر، انجام کلیه فعالیت‌های قانونی مربوط به این حوزه به سازمان انرژی‌های نو ایران سپرده شد. برخی از پروتکل‌های بین‌المللی مانند کیوتو نیز نقش مهمی در اقبال به انرژی‌های خورشیدی ایفاء کردند.

بنابراین، در این دوره علاوه بر تقویت برخی از کارکردهای موجود در دوره نخست، کارکردهای دیگر مانند فعالیت‌های کارآفرینانه و مشروعیت‌بخشی نیز فعال شدند که نوع تعامل آنها با توجه به توضیحات فوق، در قسمت ب شکل ۸ نشان داده شده است.

ج) دوره سوم: از ۱۳۸٦ تا ۱۳۹۰

در سال ۱۳۸٦ طرح برق‌رسانی فتوولتائیک به روستاهای فاقد شبکه برق توسط سانا پی گرفته شد و به کارکرد مشروعیت‌بخشی کمک زیادی کرد. با برپایی نمایشگاه‌ها و همایش‌های انرژی تجدیدپذیر، کارکرد انتشار دانش تقویت گردید [٤٢]. پس از تغییر مجدد قیمت برق حاصل از منابع تجدیدپذیر بین سال‌های ۸۷ تا ۸۹ شاهد اتفاقات جدیدی در این حوزه بودیم. به عنوان مثال تأسیس شرکت هدایت نور یزد (شهید قندی سابق) جهت تولید صفحات خورشیدی و تأسیس آزمایشگاه سیستم‌های فتوولتائیک دانشگاه تهران در این دوران اتفاق افتاد.

سال ۱۳۸۷ ستاد توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور تجاری‌سازی نتایج حاصل از تحقیقات تأسیس شد و تا حدی به ایجاد هماهنگی میان اجزاء مختلف نظام فناورانه کمک کرد. همچنین با حمایت معاونت علمی نصب سیستم فتوولتاییک در بیست دانشگاه کشور پیگیری شد که در توسعه کارکرد مشروعیت‌بخشی نقش مهمی را ایفاء کرد [٤٢]. راه‌اندازی رشته مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر در این سال‌ها اتفاق افتاد.

در سال ۱۳۹۰ دولت خرید پنج‌ساله انرژی تجدیدپذیر را تضمین کرد؛ اما همچنان قیمت برای انواع گوناگون انرژی‌های تجدیدپذیر یکسان بود که این موجب استقبال از تولید برخی انرژی‌ها با هزینه‌ها تولید پایین‌تر می‌شد [٤٤]. در این دوره، اگر چه رخدادهای مثبتی مانند قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی و قرار گرفتن انرژی‌های تجدیدپذیر در اولویت نقشه جامع علمی اتفاق افتاد، اما کماکان کمک چندانی به تخصیص منابع در این حوزه نکرد. قسمت ج شکل ۸ نحوه تعامل کارکردهای توضیح داده شده در این دوره را نشان می‌دهد.

د) دوره چهارم: از ۱۳۹۱ تاکنون

از رخدادهای تأثیرگذار این دوران می‌توان به تصویب طرح دریافت مبلغی مازاد بر بهای برق روی قبوض برق مصرفی به عنوان عوارض انرژی تجدیدپذیر (به‌منظور حمایت از تولید برق تجدیدپذیر) اشاره کرد. در سال ۱۳۹۳، شاهد افتتاح نیروگاه‌های خورشیدی آترین پارس و قزوین کوهک بودیم. وزارت نیرو موظف شد برق تولیدی از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر را بر اساس تعرفه‌های جدید که با توجه به منابع مختلف نرخ‌های متفاوت دارد، خریداری نماید و مدت زمان خرید به ۲۰ سال افزایش یافت. همچنین در سال ۹٤ انجمن حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر تأسیس شد [٤٤]. قرارداد مقابله با تغییرات اقلیمی در سال ۱۳۹٤ موسوم به COP21 در پاریس منعقد گردید و پایبندی ایران به کاهش ٤ الی ۱۲ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد توافق قرار گرفت که در مشروعیت‌بخشی به نظام فناورانه کمک کرد.

سرانجام در سال ۱۳۹۵ سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) از ادغام دو سازمان سابا و سانا با هدف ارتقاء بهره‌وری انرژی و استفاده هرچه بیشتر از منابع تجدیدپذیر تشکیل شد [٤۲]. در این سال، تعرفه خرید برق تضمینی برق از نیروگاه‌های تجدیدپذیر افزایش چشمگیری داشت و همین موضوع سبب تشویق سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی به این حوزه شد. افتتاح نیروگاه‌های امیرکبیر و خلیج فارس در همدان، جرقویه اصفهان و مکران کرمان با سرمایه‌گذاری خارجی‌ها در این سال‌ها روی داد. در قانون برنامه ششم، سهم تجدیدپذیرها از سبد انرژی کشور، مجدداً ۵۰۰۰ مگاوات اعلام شد. البته حذف حمایت صندوق توسعه ملی از احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر نیز جزو رخدادهای منفی این دوره بود.

بنابراین به طور کلی این دوره، مرحله اوج‌گیری توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و به خصوص انرژی خورشیدی است و تمام کارکردها با تأکید بر مشرعیت‌بخشی، تأمین منابع و شکل‌گیری بازار با یکدیگر در تعامل قرار گرفته‌اند (قسمت د شکل ۸ را ببینید).

۷-۳ تأثیر عوامل بافتاری بر نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک

از میان چهار عامل بافتاری که در مقاله توضیح داده شد، عوامل سیاسی (و تا حدودی بعد جغرافیایی) در توسعه نظام فناورانه فتوولتائیک در ایران نقش فراوانی داشتند. توسعه فناوری فتوولتائیک تحت تأثیر تحریم‌های بین‌المللی قرار گرفت [٤۳]. تحریم‌های بانکی و ارزی بیشترین آثار منفی را داشتند که در نهایت فضای کسب‌وکار را به محیطی پرخطر برای سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی تبدیل می‌کرد. با شروع مذاکرات هسته‌ای از سال ۱۳۹۲ این روند منفی متوقف و در سال ۱۳۹٤ با توافق برجام و بازشدن فضای سیاسی و اقتصادی کشور، سقف مراودات تجاری و صنعتی با کشورهای صنعتی افزایش یافت و حجم تقاضای سرمایه‌گذاری خارجی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی و بادی به ٤ میلیارد دلار رسید.

تحریم‌ها بر کارکردهای نظام فناورانه فتوولتائیک نیز اثر مستقیم داشت [٤۳]. به عنوان مثال در کارکردهای توسعه و انتشار دانش، تحقیقات مشترک بین‌المللی با مشکلاتی مواجه شد و بعضاً چاپ مقالات ایرانی در مجلات علمی دشوار شد. یا در کارکرد شکل‌گیری بازار، صادرات را چه در خصوص پنل‌ها و چه در خصوص محصول نهایی یعنی برق با مشکل مواجه گردید. از آنجا که فناوری فتوولتائیک فراتر از مرزهای جغرافیایی است، تحریم‌های بین‌المللی بیشترین اثر منفی را بر کارکرد تأمین منابع داشته است زیرا به واسطه تحریم‌ها هم سازوکارهای تبادلات مالی دچار مشکل شده و هم فضایی از عدم اطمینان ایجاد شده است.

در خصوص تأثیر عامل بافتاری بخشی بر توسعه نظام نوآوری فتوولتائیک نیز تحلیل‌های مختلفی صورت گرفته است [٤۵]. همکاری میان بنگاه‌های موجود در صنعت سیلیکون متالوژی با فناوری فتوولتائیک، نشان داد که ریشه‌های اصلی این صنایع برای فتوولتائیک نیز کاربردی و قابل اجرا است. البته حفظ تأثیر مثبت صنایع موجود (به عنوان یک عامل بافتاری)، به کارکردهای مشروعیت‌بخشی و شکل‌گیری بازار نظام فناورانه جدید وابسته است.

۷-٤ توصیه‌های سیاستی برای نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک ایران

با توجه فراوانی منابع فسیلی در ایران و اعطاء شدید یارانه‌های سوختی، تأمین منابع مالی کافی و پایدار از سوی دولت و تقویت سیاست‌های معطوف به بازار، یک ضرورت

برای توسعه کامل نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک محسوب می‌شود. توسعه این نظام فناورانه در ایران وابستگی فراوانی به توسعه فناوری فتوولتائیک در دیگر کشورهای توسعه‌یافته دارد؛ زیرا اساساً نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک محدود به مرزهای ملی نیست و ماهیت بین‌المللی دارد.

تحلیل پویایی کارکردها نشان داد که جنس سیاست‌های اتخاذی توسط دولت بر روند توسعه نظام فناورانه فتوولتائیک بسیار اثرگذار بوده است. در مراحل ابتدایی، سیاست‌های توسعه فناوری‌های تجدیدپذیر، عمدتاً از جنس سیاست‌های تحریک طرف عرضه و سعی بر بومی‌سازی قطعات و تجهیزات تجدیدپذیر، بدون توجه به شکل‌دهی بازارها بوده است که ناکام ماندند. اما در مراحل آخر، جنس سیاست‌های اتخاذی به تحریک طرف تقاضا یا بازار معطوف گشت؛ مانند قانون خرید تضمینی برق، نرخ یارانه داده شده به خرید برق تجدیدپذیر، اخذ عوارض برق جهت تأمین منابع مالی خرید برق تجدیدپذیر. این سیاست‌ها در جذب سرمایه‌های غیردولتی، اعم از داخلی و خارجی، موفق عمل کردند. با توجه به ضعف موجود در کارکردهای مشروعیت‌بخشی و شکل‌گیری بازار، راهکارهایی چون اجرای برنامه‌های آگاه‌سازی مردم و مسئولان پیرامون اهمیت سیستم فتوولتائیک، ارائه مشوق‌های مالیاتی به شرکت‌های فعال این حوزه، ایجاد ائتلاف‌های قدرتمند حمایتی برای اثرگذاری بر روند سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری انرژی خورشیدی و تأسیس صندوق ملی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به توسعه و بلوغ نظام کمک خواهد کرد [٤٦].

تقدیر و تشکر

نگارنده از آقای علیرضا رسولی به دلیل مشارکت در بخش چرخه عمر نظام‌های نوآوری فناورانه تشکر می‌کند.

منابع References

[1] Freeman, C. (1987). Technology policy and economic performance: lessons from Japan. London: Pinter.

[2] Markard, J., & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. Research Policy, 37, 596-615.

[3] Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the Nature, Function, and Composition of Technological systems, Journal of Evolutionary Economics, 1, 93-118.

[4] Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmen, M., & Rickne, A. (2002). Innovation systems: analytical and methodological issues. Research Policy, 31(2), 233-245.

[5] Binz, C., Truffer, B., & Coenen, I. (2014). Why space matters in technological innovation systems—Mapping global knowledge dynamics of membrane bioreactor technology. Research Policy, 43, 138-155.

[6] Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analyzing technological change. Technological Forecasting and Social Change, 74, 413-432.

[7] Markard, J., & Truffer, B. (2008). Actor-oriented analysis of innovation systems: exploring micro-meso level linkages in the case of stationary fuel cells. Technology Analysis & Strategic Management, 20(4), 433-464.

[8] Wieczorek, A., & Hekkert, M. P. (2012). Systemic instruments for systemic innovation problems: a framework for policy makers and innovation scholars. Sci. Public Policy, 39(1), 74-87.

[9] North, D. C. (1990). Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge University Press, New York.

[10] Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. Research Policy, 37, 407-429.

[11] Hekkert, M. P., & Negro, S. O. (2009). Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Emperical evidence for earlier claims. Technological Forecasting and Social Change, 76, 584-594.

[12] Bergek, A., Jacobsson, S., & Sanden, B. (2009). Legitimation'and 'development of positive externalities: two key processes in the formation phase of technological innovation systems. Technology Analysis & Strategic Management, 20, 575-592.

[13] Bening, C., Blum, N., & Schmidt, T. (2015). The need to increase the policy relevance of the functional approach to Technological Innovation Systems. Environmental Innovation and Societal Transitions, 16, 73-75.

[14] Bergek, A., & Jacobsson, S. (2004). Transforming the Energy Sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. Industrial and Corporate Change, 13, 815-849.

[15] Miremadi, I., Saboohi, Y., & Jacobsson, S. (2018). Assessing the performance of energy innovation system: Towards an established set of indicators. Energy Research & Social Science, 40, 159-176.

[16] Gosens, J., & Lu, Y. (2013). From lagging to leading? Technological innovation systems in emerging economies and the case of Chinese wind power. Energy Policy, 60, 234-250.

[17] Jacobsson, S., & Johnson, A. (2000). The Diffusion of Renewable Energy Technology: An Analytical Framework and Key Issues for Research. Energy Policy, 28, 625-640.

[18] Suurs, R. A. A. (2009). Motors of sustainable innovation. Towards a theory on the dynamics of

systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. Environmental Innovation and Societal Transitions, 16, 51-64.
[33] Sanden, B. A., & Hillman, K. M. (2011). A framework for analysis of multi-mode interaction among technologies with examples from the history of alternative transport fuels in Sweden. Research Policy, 40, 403-414.
[34] Jacobsson, S., & Lauber, V. (2006). The politics and policy of energy system transformation—explaining the German diffusion of renewable energy technology. Energy Policy, 34, 256-276.
[35] Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. Research Policy, 31, 247-264.
[36] Dewald, U., & Truffer, B. (2012). The local sources of market formation: explaining regional growth differentials in german photovoltaic markets. European Planning Studies, 20, 397-420.
[37] Freeman, C., & Louca, F. (2001). As time goes by: From the industrial revolutions to the information revolutions. Oxford University Press.
[38] Markard, J. (2018). The life cycle of technological innovation systems. Technological forecasting and social change. Doi: 10.1016/j.techfore.2018.07.045
[39] Peltoniemi, M. (2011). Reviewing industry life-cycle theory: avenues for future research. International Journal of Management Reviews, 13, 349-375.
[40] Taylor, M., & Taylor, A. (2012). The technology life cycle: conceptualization and managerial implications. International Journal of Production Economics, 140, 541-553.
[41] Schot, J., & Steinmueller, W. E. (2019). Transformative change: What role for science, technology and innovation policy?. Research Policy, 48, 843-848.
[42] RahimiRad, Z., YahyazadeFar, M., & Miremadi, T. (2018). Analysis of Photovoltaic Solar System Technological Innovation System in Iran. Innovation Management Journal, 6(4), 1-28. {In Persian}.
[43] Dehghan, N., Miremadi, T., & Ramezanpour, G. (2019). The Assessment of International Sanctions on Photovoltaic Innovation System of Iran. Journal of Science & Technology Policy, 10(4), 63-77. {In Persian}.
[44] Mousavi, M., GhaneiRad, M., & Karimian, H. (2018). Presenting a Framework for Describing the Technological Transitions Based on the Multilevel Analysis Approach-Case Study: The Transition to Renewable Energy in Iran. Journal of Improvement Management, 12(2), 141-176. {In Persian}.
[45] Hanson, J. (2018). Established industries as foundations for emerging technological innovation systems: The case of solar photovoltaics in Norway. Environmental Innovation and Societal Transitions, 26, 64-77.
[46] Miremadi, I., Saboohi, Y., & Khajepor, H. (2019). Development of a Comprehensive Framework to Analyse Systems of Energy and Environmental Innovation. Journal of Improvement Management, 12(4), 73-98. {In Persian}.
technological innovation systems (Thesis). Utrecht University, Utrecht.
[19] Suurs, R. A. 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.
[20] Hekkert, M., Negro, S., Heimeriks, G., & Harmsen, R. (2011). Technological innovation system analysis: A manual for analysts. Utrecht University.
[21] Kern, F. (2015). Engaging with the politics, agency and structures in the technological innovation systems approach. Environmental Innovation and Societal Transitions, 16, 67-69.
[22] Alco Kieft, A., Harmsen, R., & Hekkert, M. (2018). Toward ranking interventions for Technological Innovation Systems via the concept of Leverage Points. Technological forecasting and social change. Doi: 10.1016/j.techfore.2018.09.021
[23] Walrave, B., & Raven, R. (2016). Modelling the dynamics of technological innovation systems. Research Policy, 45, 1833-1844.
[24] Holmen, M., & Jacobsson, S. (2000). A method for identifying actors in a knowledge based cluster. Economics of Innovation and New Technology, 9, 331-351.
[25] Bening, C., Blum, N., & Schmidt, T. (2015). The need to increase the policy relevance of the functional approach to Technological Innovation Systems. Environmental Innovation and Societal Transitions, 16, 73-75.
[26] Bergek, A., & Jacobsson, S. (2003). The emergence of a growth industry: a comparative analysis of the German, Dutch and Swedish wind turbine industries. In: Metcalfe, S., & Cantner, U. (Eds.), Change, Transformation and Development. Physica-Verlag, Heidelberg, pp. 197-227.
[27] Bergek, A., Hekkert, M., & Jacobsson, S. (2008). Functions in innovation systems: A framework for analysing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by entrepreneurs and policy makers. RIDE/IMIT Working Paper No. 84426-008.
[28] Dodgson, M., Hughes, A., & Metcalfe, S. (2011). Systems thinking, market failure, and the development of innovation policy: The case of Australial. Research Policy, 40, 1145-1156.
[29] Smits, R., & Kuhlmann, S. (2004). The rise of systemic instruments in innovation policy. International Journal of Foresight and innovation policy, 1(1), 4-32.
[30] Reichard, K., Negro, S., & Hekkert, M. (2016). Analyzing interdependencies between policy mixes and technological innovation systems: The case of offshore wind in Germany. Technological Forecasting and Social Change, 106, 11-21.
[31] Truffer, B. (2015). Challenges for Technological Innovation Systems research. Environmental Innovation and Societal Transitions, 16, 65-66.
[32] Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., Markard, J., & Truffer, B. (2015). Technological innovation