



تحلیل نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های خورشیدی فتوولتاییک در ایران

زهره رحیمی‌راد^{۱*}، محمود یحیی‌زاده‌فر^۲، طاهره میرعمادی^۳، مهرداد مدهوشی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف تحلیل تاریخی شکل‌گیری کارکردهای نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های خورشیدی فتوولتاییک در ایران و استخراج موتور محرک نوآوری در هر مرحله انجام شده است. منشاء پیدایش چارچوب نظام نوآوری فناورانه، کشورهای توسعه‌یافته بوده است و کشورهای درحال توسعه، عموماً دریافت‌کننده فناوری هستند، بنابراین شاخص‌های اندازه‌گیری کارکردهایی مانند توسعه دانش در این کشورها متفاوت خواهد بود. این چارچوب در پژوهش حاضر به نظام نوآوری فناورانه مبتنی بر تحقیق و توسعه و نظام نوآوری فناورانه مبتنی بر انتشار تقسیم شد و با توجه به ماهیت نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران که عمدتاً مبتنی بر واردات تجهیزات و مونتاژ آن‌ها در داخل است، مفاهیم نظام نوآوری فناورانه مبتنی بر انتشار مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور پس از معرفی اجزای ساختاری نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های خورشیدی فتوولتاییک در ایران، با استفاده از مصاحبه با خبرگان، تحلیل اسناد و مدارک و بکارگیری روش تحلیل تاریخی وقایع، موتور محرک نوآوری در هر مرحله توسعه شناسایی گردید و در نهایت موتور محرک نوآوری در مرحله کنونی، با استفاده از ابزار پرسشنامه و روش مدل معادلات ساختاری مورد بررسی و اعتبارسنجی قرار گرفت.

واژگان کلیدی: نظام نوآوری فناورانه، تحلیل تاریخی وقایع، موتور نوآوری، فتوولتاییک، برق خورشیدی

*۱- دانشجوی دکتری مدیریت-سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. / نویسنده مسوول مکاتبات

۲- استاد، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۳- دانشیار، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.

۴- استاد، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

۱- مقدمه

به منظور مقابله با تهدید تغییرات آب و هوایی و دیگر مشکلات زیست‌محیطی، نظام انرژی فعلی ما نیازمند تحولات فناورانه و اجتماعی فراگیر از جمله استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. مطالعات نشان داده است که توسعه، انتشار و استفاده از فناوری جدید تحت تأثیر ایجاد نظام نوآوری فناورانه^۱ حول فناوری مدنظر قرار دارد (Carlsson & Stankiewicz, 1991; Hekkert, et al., 2007; Bergek, et al., 2008).

اعتقاد بر این است که وجود یک نظام مناسب، باعث تسهیل توسعهی فناوری از طریق تحقق فعالیت‌ها و فرایندهای کلیدی است که به طور کلی به عنوان کارکردهای نظام^۲ شناخته می‌شوند. به دلایلی رویکرد تحلیل کارکردی کنونی برای تجزیه و تحلیل نظام‌های نوآوری فناورانه کشورهای درحال توسعه محدودیت دارد، از جمله آنکه این چارچوب از نگاه کشورهای توسعه‌یافته شکل گرفته است و بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های کشورهای درحال توسعه نمی‌توان مستقیماً از آن استفاده کرد (Edsand, 2017). شاهد این مدعا آن است که اغلب مطالعات نظام نوآوری فناورانه، پیرامون توسعه و گسترش فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در کشورهای توسعه‌یافته همانند فناوری‌های فتوولتائیک، هیدروژن و پیل سوختی در هلند و زیست‌توده و پیل سوختی در آلمان صورت گرفته است (Negro, et al., 2012; Musiolik, et al., 2012; Suurs & Hekkert, 2009).

از سوی دیگر، ایران به‌عنوان یک کشور درحال توسعه به طور بالقوه یکی از بهترین مناطق برای استفاده از انرژی خورشیدی به‌عنوان یک انرژی تجدیدپذیر است^۳. با این وجود، گرچه در ایران سازمان‌های مختلف، از جمله وزارت نیرو، موظف به حمایت از گسترش استفاده از منابع تجدیدپذیر شده‌اند، اما شواهد نشان می‌دهد با وجود پتانسیل بالای انرژی خورشیدی در ایران، فناوری فتوولتائیک به‌عنوان یک فناوری انرژی تجدیدپذیر با موانع انتشار همراه بوده و تاکنون به نحو شایسته‌ای مورد بهره‌برداری قرار نگرفته است (الهی و همکاران، ۱۳۹۴). از این رو، نیاز به بررسی مشکل از دیدگاه سیستمی وجود دارد که این مهم به‌وسیله تجزیه و تحلیل نظام نوآوری فناورانه آن حاصل می‌شود. در یک نظام نوآوری فناورانه، هر موتور محرک نوآوری، روند رشد نظام توسعه فناوری را در طول زمان به نمایش می‌گذارد و الگویی مناسب را در برآوردن کارکردها ارائه می‌کند، به‌طوری‌که هدایت بازیگران مختلف در انجام فعالیت‌ها بر طبق الگوی توالی کارکردهای این موتورها در هر دوره زمانی، رشد موفق نظام را در آن دوره زمانی تضمین می‌نماید (باقری مقدم و همکاران، ۱۳۹۲).

همان‌گونه که بیان شد، با وجود برخی مطالعات برای تحلیل نظام نوآوری فتوولتائیک در کشورهای پیشرفته، تلاش‌های بسیار کمی در این زمینه در یک کشور درحال توسعه به‌عنوان دریافت‌کننده فناوری وجود دارد.

بر این اساس و با توجه به رویکرد نظام نوآوری فناورانه، هدف پژوهش حاضر آن است که پس از معرفی اجزای نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های خورشیدی فتولتاییک، تعاملات کارکردی را در هر مرحله از سیر تاریخی، شکل‌گیری این نظام بر مبنای مدل موتور محرک نوآوری مشخص کند. بدین منظور پس از شناسایی اجزای نظام، با استفاده از مصاحبه با خبرگان، تحلیل اسناد و مدارک و روش کیفی تحلیل تاریخی وقایع، تعاملات کارکردی اثرگذار شناسایی شد و در ادامه با بکارگیری روش کمی مدل معادلات ساختاری، این تعاملات بین کارکردها مورد بررسی و اعتبارسنجی قرار گرفت.

در ادامه پس از بیان مبانی نظری و پیشینه پژوهش، مدل منتخب پژوهش جهت تحلیل کارکردی مشخص می‌شود. پس از تبیین روش پژوهش، ساختار نظام نوآوری فناورانه فتولتاییک بررسی می‌گردد و در بخش بعدی تعاملات کارکردی موثر در هر مرحله شناسایی و موتور نوآوری مرحله کنونی نیز اعتبارسنجی می‌شود. در پایان، نتیجه‌گیری با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌ها انجام شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این بخش، ابتدا رویکرد نظام نوآوری فناورانه و اجزای ساختاری و کارکردهای این نظام به صورت کلی معرفی می‌گردد، سپس به تبیین موتور نوآوری و نظام نوآوری فناورانه در کشورهای درحال توسعه (دریافت‌کننده فناوری) پرداخته می‌شود.

۲-۱- نظام نوآوری فناورانه

چارچوب‌های مختلف نظام نوآوری اعم از ملی، منطقه‌ای، بخشی و فناورانه، به طور فزاینده‌ای به عنوان یک ابزار تحلیلی برای بررسی و تاثیرگذاری بر سرعت و جهت نوآوری مورد استفاده قرار گرفته است. در این بین، نظام نوآوری فناورانه با وجود دارا بودن ویژگی‌های مشترک با سایر رویکردهای نظام نوآوری، دارای دو ویژگی متمایزکننده از آن‌هاست که عبارتند از (Suurs, 2009):

- تاکید بر نقش شایستگی اقتصادی: به معنی توانایی در توسعه و بهره‌برداری از فرصت‌های جدید کسب‌وکار. بهره‌برداری و ترکیب دانش‌های موجود، جزء جدایی‌ناپذیر نوآوری فناورانه می‌باشد. در حقیقت، بر خلاف سایر رویکردها که تفکری کلان از نوآوری داشتند، این ویژگی بر اهمیت نیروهای کارآفرین به عنوان منابع نوآوری تاکید دارد.
- تاکید جدی بر بویایی نظام: تمرکز بر اقدام کارآفرینانه، پژوهشگران حوزه نظام نوآوری فناورانه را تشویق کرده است تا آن را به عنوان چیزی که با گذر زمان ایجاد می‌شود، ببینند.

تعدادی از محققان به تعریف اجزای ساختاری این نظام از دیدگاه خود پرداخته‌اند و به اجزای مشترکی چون بازیگران، نهادها، شبکه‌ها، زیرساخت‌ها و فناوری اشاره کرده‌اند (Carlsson & Stankiewicz, 1991; Wiczorek & Hekkert, 2012; Jacobsson & Johnson, 2000). اما از آنجا که تنها با تحلیل ساختاری نظام‌های فنی-اجتماعی، نمی‌توان تغییرات فناورانه را تحلیل کرد، این رویکرد باید فراهم‌آورنده چارچوبی برای تحلیل کارکردی نظام‌های فنی-اجتماعی باشد. محققان تاکنون کارکردهای مختلفی را برای نظام‌های نوآوری شناسایی کرده‌اند (Suurs & Hekkert, 2009; Hekkert, et al., 2007; Bergek, et al., 2008). به عنوان مثال سورس و هکرت (۲۰۰۹)، کارکردها را به ۷ دسته فعالیت‌های کارآفرینانه، خلق و توسعه دانش، انتشار دانش، جهت‌دهی به نظام، شکل‌گیری بازار، تأمین و تخصیص منابع و مشروعیت‌بخشی، نهادینه‌سازی و خستی کردن مقاومت‌ها تقسیم می‌کند (Suurs & Hekkert, 2009).

۲-۲- نظام نوآوری فناورانه در کشورهای در حال توسعه (دریافت‌کننده فناوری)

بحث‌هایی در مورد استفاده از چارچوب نظام نوآوری در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. برخی معتقدند به این دلیل که کشورهای در حال توسعه اغلب به واردات فناوری موجود از دنیای صنعتی متکی هستند، امکان اعمال تعریف غالب نظام نوآوری وجود ندارد. از سوی دیگر، برخی نیز معتقدند که با وجود پتانسیل کم کشورهای در حال توسعه در نوآوری‌های جهشی، رویکرد نظام نوآوری برای آن‌ها نیز قابل استفاده است؛ به صورتی که هم نوآوری و هم نظام می‌توانند به طور همزمان تحقق یابند (Muchie, 2004; Siyanbola & Olamide, 2016; Szogs & Wilson, 2008). مطالعات اخیر در اقتصادهای متاخر^۱ نیز نشان‌دهنده همین مسئله است (Gosens & Lu, 2013; van Alphen, et al., 2008). از این رو اشمیت و دابور (۲۰۱۴)، نظام نوآوری فناورانه را به دو دسته تقسیم می‌کنند: نظام نوآوری فناورانه ملی و نظام نوآوری فناورانه بین‌المللی. اجزای نظام نوآوری فناورانه ملی در کشور اصلی قرار دارند. و نظام نوآوری فناورانه بین‌المللی به سایر نظام‌های نوآوری فناورانه مرتبط در سایر نقاط جهان اشاره می‌کند که این دو از طریق انتقال فناوری و جریان‌های مالی با هم تعامل دارند (Schmidt & Dabur, 2014). بنابراین، علاوه بر نشان دادن منبع و جریان فناوری، چگونگی شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه مرتبط، با ارزش است.

به‌طور کلی به عقیده ون‌آلفن (۲۰۰۸)، فرایند شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه در کشورهای کمتر توسعه‌یافته (کشورهای دریافت‌کننده فناوری)، نیاز به تأکید بیشتر بر انتشار، بهره‌برداری از آن و در نهایت توانایی‌های ساخت دارد. به‌گونه‌ای که محققان نظام‌های نوآوری مانند جانسون و لاندوال (۲۰۰۰)

توصیه کرده‌اند، در کشورهای در حال توسعه تمرکز باید از «بازتولید نظام» به «نظام‌سازی» تغییر یابد (Johnson & Lundvall, 2000). با این وجود، اغلب محققان نظام نوآوری فناورانه، روی اولین هدف نظام نوآوری، یعنی تولید تمرکز کرده‌اند. و برخی اهداف مانند انتشار و استفاده از فناوری کمتر مورد تأکید قرار گرفته‌اند. به عقیده راجرز (۲۰۱۰)، انتشار فرایندی است که طی آن، یک فناوری از طریق مسیرهای مشخصی در طول زمان در میان یک نظام اجتماعی سرایت می‌کند (Rogers, 2010).

اخیراً محققانی چون کبده و میتسوفوجی (۲۰۱۶) و تیگابو و همکاران (۲۰۱۷) به این مسئله پرداخته‌اند که چگونه مفاهیم نظام نوآوری فناورانه در جهت انتشار و سپس گسترش در یک کشور در حال توسعه به کار رود (Tigabu, et al., 2017; Kebede & Mitsufuji, 2016). به عنوان مثال کبده و میتسوفوجی (۲۰۱۶)، در راستای انتشار موفقیت‌آمیز نظام نوآوری فناورانه در کشورهای در حال توسعه با استفاده از فناوری انرژی خورشیدی، این استدلال را مطرح می‌کنند که در این کشورها، نظام‌های نوآوری باید به گونه‌ای ایجاد شوند که انتشار و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تسهیل شود. و برای این منظور نظام نوآوری فناورانه به نظام نوآوری فناورانه مبتنی بر تحقیق و توسعه^۵ و نظام نوآوری فناورانه مبتنی بر انتشار^۶ تقسیم کرده‌اند (Kebede & Mitsufuji, 2016). در نظام نوآوری فناورانه مبتنی بر انتشار، نظام نوآوری در اقتصادهای با توسعه‌یافتگی کمتر (گیرندگان فناوری)، بر انتشار فناوری موجود و ایجاد ظرفیت جذب جهت بهبود و گسترش فناوری متمرکز است. البته در این دسته‌بندی نیز، هنگام بررسی فرایندهای صورت گرفته در کشورهای پیرو^۷، می‌توان بین کشورهایی که تنها فناوری را وارد می‌کنند و آن‌هایی که صنعت ملی تولید تجهیزات را نیز به موازات توسعه می‌دهند، تمایز قائل شد. در مورد اول، روند انتشار، عمدتاً با استقرار فناوری خارجی در سطح داخلی صورت می‌گیرد. می‌توان به مثال فتوولتاییک خورشیدی در ایتالیا اشاره کرد که به طور عمده به فناوری تولید شده در خارج از کشور متکی است. در مورد دوم، فرایند، فراتر از پذیرش ساده فناوری خارجی است. و بنابراین باعث ایجاد یک زنجیره عرضه یا حتی کل نظام می‌شود و از انتشار و استفاده از فناوری پشتیبانی می‌کند. یک مثال فوق‌العاده توسعه فتوولتاییک، در چین است که ابتدا به واردات گرایش داشت، اما اخیراً شروع به استفاده از فناوری‌های بومی خود کرده است. در همین زمینه کویتزو (۲۰۱۵)، با تمرکز بر یک دوره رشد پویا (۱۹۹۹-۲۰۱۱) در زمینه فناوری فتوولتاییک، با استفاده از تحلیل تاریخی رخدادها نشان داده است که چگونه مجموعه‌ای از وابستگی‌های پویا و متقابل بین یک کشور صنعتی (یعنی آلمان) و یک اقتصاد در حال ظهور (یعنی چین) باعث انتشار فناوری فتوولتاییک شده است (Quitow, 2015).

همچنین هوانگ و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که ظهور نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک چین را می‌توان با تعامل سه عامل تغییر در نهادهای این کشور، انتقال فناوری و بازار بزرگ اروپایی توضیح داد (Huang, et al., 2016). بسته به وضعیت، کارکردهای نظام احتمالاً متفاوت هستند، به طوری که هنگام ایجاد یک نظام نوآوری یکپارچه، در مقایسه با وضعیت پذیرش ساده فناوری، انتظار می‌رود تلاش بیشتری در زمینه توسعه دانش و منابع (مالی، انسانی و ...) صورت پذیرد. علاوه بر این، توسعه یک نظام نوآوری یکپارچه معمولاً شامل انواع مختلفی از بازیگران و شبکه‌ها می‌شود و تأثیر قویتری بر ساختار اجتماعی - اقتصادی کشور دارد (Bento & Fontes, 2015).

۳-۲- موتور محرک نوآوری

در نظام نوآوری فناورانه، اصطلاح موتورهای نوآوری اشاره به دوره‌های مطلوب^۱ یا باطلی^۲ دارد که در نتیجه تعامل بین کارکردهای نظام ایجاد می‌شوند. سورس (۲۰۰۹)، چهار نوع موتور محرک برای شکل‌گیری نظام‌های نوآوری نوظهور ارائه می‌کند. این موتورها عبارتند از: (۱) موتور محرک علم و فناوری: این موتور با شتاببخشی فعالیت‌های تحقیق و توسعه، روند ظهور نظام نوآوری فناوری و شرایط رشد آن را میسر می‌کند. (۲) موتور کارآفرینی: هدف این موتور آن است که حجم فعالیت‌های کارآفرینی انجام‌شده در فرایند توسعه فناوری نوظهور را شدت بخشد. (۳) موتور نظام‌سازی: این موتور با هدف ایجاد ساختاری منسجم و یکپارچه برای توسعه فناوری در معنای عام آن است. (۴) موتور بازار: هدف این موتور آن است که نظام نوآوری فناورانه به‌عنوان بخشی از نظام‌های مسلط به حساب آمده و فناوری با تقاضای بازار توسعه یابد (Suurs, 2009). با توجه به آنکه سورس، این موتورها را با بررسی نحوه شکل‌گیری چند نظام نوآوری فناورانه نوظهور در حوزه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در کشورهای توسعه‌یافته استخراج کرده، شرایط کشورهای درحال توسعه در آن لحاظ نشده است و به‌عقیده تقوا و همکاران (۱۳۹۵) نیز موتورهای نوآوری سورس، لزوماً منطبق با شرایط کشور ما نیستند و باید با تحقیقات جداگانه موتورهای محرک نوآوری در کشور احصا شوند (تقوا و همکاران، ۱۳۹۵).

۳- چارچوب نظری پژوهش

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد با تنظیم مناسب فهرست کارکردها، تجزیه و تحلیل کارکردها در یک کشور درحال توسعه نیز امکان‌پذیر است. در این پژوهش به منظور بررسی کارکردها از شاخص‌های کبده و میتسوفوجی (۲۰۱۶)، استفاده شده که شاخص‌های کارکردهای نظام را از منظر یک صنعت خورشیدی نوپا

در یک کشور در حال توسعه مشخص کرده است (جدول ۱). به عنوان مثال در تفاوت بین این شاخص‌ها و شاخص‌های دیگر، می‌توان به کارکرد توسعه دانش اشاره کرد. در اقتصادهای پیشرفته، عمدتاً توسعه‌ی دانش با تعداد اختراعات و مقالات علمی اندازه‌گیری می‌شود (Bergek, et al., 2008; Hekkert, et al., 2007). با این حال، در یک کشور در حال توسعه غالباً یادگیری از طریق انجام، استفاده و تعامل^{۱۱} صورت می‌گیرد (Lundvall, 1992). شاخص‌های توسعه دانش در این مدل نشان می‌دهد که چگونه یادگیری از طریق انجام مطالعات امکان‌سنجی، ارزیابی بازار و تست مدل‌های جدید کسب‌وکار و فناوری از اقتصادهای پیشرفته انجام می‌شود.

جدول (۱): کارکردها و شاخص‌های اندازه‌گیری نظام نوآوری فناورانه در یک کشور در حال توسعه (Kebede & Mitsufuji, 2016)

شاخص‌های کارکردها	کارکردها
ورود شرکت‌ها به بازار (E1)، راه‌اندازی پروژه‌های پایلوت (E2)، آزمایش کاربردهای جدید (E3)	فعالیت‌های کارآفرینانه (F1)
انجام مطالعات امکان‌سنجی (K1)، تحقیقات بازار (K2)، مطالعات سنجش و ارزیابی (K3)، تست مدل‌های جدید (K4)	توسعه دانش (F2)
آموزش تکنسین‌ها، کارآفرینان، کاربران (D1)، برگزاری سمینارها (D2)، کارگاه‌ها و کنفرانس‌ها (D3)، برگزاری کمپین‌های تبلیغاتی (D4)	انتشار دانش (F3)
فرمول بندی سیاست‌ها، قوانین و مقررات (G1)، برنامه‌ریزی برای اهداف (G2)، افشای انتظارات (G3)، علاقه نشان دادن (G4)	جهت‌دهی به نظام (F4)
تأمین یارانه‌ها (M1)، معافیت‌های مالیاتی و سایر مشوق‌ها (M2)، برنامه‌های خرید دولتی (M3)، استانداردها (M4)	شکل‌گیری بازار (F5)
ارائه بودجه تحقیق و توسعه (R1)، راه‌اندازی برنامه‌های آموزشی مرتبط (R2)، ارائه کمک‌های مالی و وام برای شرکت‌ها (R3)، تأمین مالی افزایش مقیاس پروژه‌ها (R4)	تخصیص منابع (F6)
انجام برنامه‌های لایبگری و حمایت‌گرایانه (L1)	مشروعیت‌بخش (F7)

معرفی اجزاء ساختار نظام نوآوری فناورانه در متون مختلف تفاوت‌هایی دارند به طوری که تعدادی از محققان عناصر ساختاری را بسیار گسترده و بعضی محدود تعریف کرده‌اند (Markard & Truffer, 2008; Edquist, 2004; Carlsson & Stankiewicz, 1991; Wiczorek & Hekkert, 2012). در این مقاله از مؤلفه‌های مدنظر مارکارد و تروفرف (۲۰۰۸) استفاده شده است که یک نظام را متشکل از بازیگران، نهادها، شبکه‌ها و فناوری می‌داند.

نکته دیگر آنکه در نظام‌های نوآوری مرزبندی مفهومی برای جدایی نظام از محیط و همچنین تشخیص عوامل داخلی اثرگذار بر نوآوری از عوامل خارجی آن ضروری است (Asheim & Coenen, 2005). به عقیده سورس (۲۰۰۹) نیز به‌طور کلی دو دسته عامل وجود دارد که در توسعه و شکست یک نظام نوآوری فناورانه، تاثیرگذار است. عامل اول، پویایی میان اجزای درونی نظام است که عموماً از آن با عنوان موتورهای نوآوری یاد می‌شود. عامل دوم، عوامل خارجی اثرگذار بر این پویایی هستند که باعث توسعه یا شکست آن می‌شوند (Suurs, 2009). در این پژوهش صرفاً به عامل اول پرداخته خواهد شد.

۴- روش شناسی پژوهش

با توجه به اینکه پژوهش حاضر، در پی تبیین و توصیف نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک است، از نوع کاربردی خواهد بود و روش جمع‌آوری اطلاعات نیز به شکل مصاحبه، مطالعه اسناد و پرسشنامه بوده است. سوال‌های پژوهش عبارتند از:

۱) اجزای نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های خورشیدی فتوولتاییک کدامند؟

۲) تعاملات کارکردی در هر مرحله از سیر تاریخی شکل‌گیری این نظام بر مبنای مدل موتور محرک نوآوری چگونه بوده است؟

برای شناخت اجزای ساختاری به اسناد بالادستی و قوانین مرتبط رجوع شد و سپس با مراجعه به خبرگان معرفی شده در بخش کیفی پژوهش مورد تایید و اصلاح قرار گرفت.

به منظور پاسخگویی به سوال دوم از دو راهبرد بررسی تاریخی در بخش کیفی و پیمایش در بخش کمی استفاده شده است. برای ارائه مدل مفهومی توسعه فناوری ابتدا از روش کیفی تحلیل تاریخی رخدادهای و سپس از روش کمی مدل معادلات ساختاری جهت اعتبارسنجی مدل پیشنهادی مرحله کنونی استفاده می‌شود. فرایند پاسخگویی به سوال دوم به‌صورت دو گام زیر می‌باشد:

الف) تحلیل تاریخی رخدادهای و ارائه مدل پیشنهادی تعاملات کارکردی

تجزیه و تحلیل تاریخی رخدادهای یک مبنای مفهومی و عملی برای جمع‌آوری و تحلیل نظام‌مند داده‌های تاریخی کیفی فراهم می‌کند. این روش بر بازیابی رویدادهای تاریخی مربوط به توسعه فناوری که پیامدها را تحت تاثیر قرار داده تمرکز دارد. تاکنون تعدادی از محققان از این روش برای تحلیل فرایند تاریخی توسعه فناوری‌ها استفاده کرده‌اند (Suurs, 2009; Huang, et al., 2016; Tigabu, et al., 2015; Kebede & Mitsufuji, 2016). در این پژوهش به منظور جمع‌آوری داده‌ها از دو منبع استفاده شد. ابتدا

محقق منابع آرشیو را تا آنجا که در دسترس قرار داشت مورد بررسی قرار داد؛ مانند اسناد بالادستی، مطبوعات، کتاب‌ها و سایت‌ها که اطلاعات اولیه‌ای را فراهم کرد. سپس با افراد کلیدی که در مورد پیشرفت فتوولتائیک در ایران آگاهی داشتند به صورت نیمه‌ساختاریافته مصاحبه شد. در مصاحبه‌ها ابتدا رخدادهای اولیه استخراج شده از مرحله اول در اختیار مصاحبه‌شوندگان قرار گرفت تا نکات تکمیلی جهت دقیق‌تر شدن رخدادهای را بیان نمایند. سپس از آن‌ها خواسته شد به بیان رخدادهای و اتفاقات موثر در توسعه سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک و چگونگی آن‌ها بپردازند. با توجه به بازه طولانی مورد بررسی (۱۳۹۶-۱۳۷۰)، پیدا کردن افرادی که به این حوزه اشراف کامل داشته باشند به‌سادگی میسر نبود، بنابراین از روش نمونه‌گیری گلوله برفی استفاده شد. در این بخش با ۲۰ نفر از بازیگران مختلف^{۱۱} این حوزه از جمله ۳ نفر از سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی، یک نفر از ستاد توسعه فناوری حوزه انرژی، ۲ نفر عضو هیئت علمی و ۱۴ نفر افراد فعال در شرکت‌های خصوصی بخش فتوولتائیک مصاحبه شد.

پس از تهیه متن نوشتاری پاسخ‌های مصاحبه‌شوندگان، فرایند بررسی محتوای آشکار و پنهان داده‌های به دست آمده از گفته‌ها و نوشته‌ها آغاز می‌شود. هدف این فرایند کشف ارتباط درونی اجزا و عناصر تشکیل‌دهنده داده‌ها، دستیابی به قصد واقعی مصاحبه‌شونده، یافتن شرایط و محیطی که با داده‌ها مرتبط است و در نهایت، ارائه نتایجی واقع‌بینانه است. متن مصاحبه‌ها بعد از چندین بار بازخوانی دقیق توسط محقق کدگذاری و براساس کارکردهای نظام نوآوری فناورانه برچسب‌گذاری شدند و در نهایت نیز بر اساس موتورهای نوآوری تحلیل شدند. در رابطه با اینکه چگونه می‌توان اطلاعات به دست آمده از تحلیل تاریخی را در تفسیر الگوها به کار برد، یافته‌ها و اطلاعات می‌توانند حداقل در مقایسه ایده رقیب با الگوی داده‌ها تفسیر شوند (تقوا و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین در این بخش، ابتدا کارهای انجام شده توسط سورس (۲۰۰۹)، به‌عنوان الگوی رقیب انتخاب گردید و سعی شد که الگوی داده‌ها نسبت به آن مورد مقایسه و قضاوت قرار گیرد.

ب) اعتبارسنجی مدل مفهومی پژوهش مبتنی بر نتایج پیمایش

در این بخش پس از تبیین مدل مفهومی دوره کنونی و به منظور اعتبارسنجی آن تعدادی فرضیه بر مبنای روابط بین کارکردها یا همان موتور نوآوری استخراج گردید. برای تجزیه و تحلیل، یک پرسشنامه بر مبنای شاخص‌های مندرج در چارچوب کارکردهای نظام نوآوری فناورانه کبده و میتسوفوجی (۲۰۱۶) آماده شد و پس از پیمایش نظرات خبرگان با استفاده از مدل معادلات ساختاری، فرضیه‌های مستخرج مورد بررسی قرار گرفت. روایی سازه پرسشنامه با استفاده از روش تحلیل عاملی تأییدی مورد آزمون و تأیید قرار

گرفت. خبرگان نیز روایی پرسشنامه را از نظر محتوایی تأیید کردند. جامعه آماری این بخش از پژوهش متشکل از مدیران، سیاستگذاران، کارآفرینان و محققان بخش فتولتائیک است. با توجه به آنکه حجم جامعه مشخص نبود، به منظور برآورد حجم نمونه، ابتدا تعدادی پرسشنامه بین ۱۵ نفر از اعضای جامعه به عنوان نمونه توزیع شد. سوالات با مقیاس پنج درجه‌ای لیکرت اندازه‌گیری شدند. با توجه به واریانس نمونه اولیه به میزان ۰,۰۵۵ و سطح خطای ۰,۰۵ و مقدار Z برابر با ۹۶/۱، حجم نمونه ۸۶ نفر برآورد گردید که با توجه به عدم اطمینان از عودت تمام پرسشنامه‌ها، تعداد ۱۲۰ پرسشنامه الکترونیکی ارسال و در نهایت ۸۸ پرسشنامه تکمیل شده دریافت شد.

ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شده، برای همه ابعاد و مؤلفه‌های مدل، بالاتر از ۰,۷۲، به دست آمد که نشان‌دهنده پایایی بالای آن است.

به‌طور خلاصه مراحل طی شده، در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): مراحل پژوهش

۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۱-۵- تحلیل ساختاری نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های خورشیدی فتولتائیک

طبق چارچوب نظری به منظور تحلیل ساختار این نظام ۴ جزء بازیگران، نهادها، شبکه‌ها و فناوری بررسی شده که در ادامه به تفکیک به هرکدام از آنها پرداخته شده است.

۱-۱-۵- بازیگران

توسعه فناوری و گسترش به‌کارگیری آن در بخش‌های مختلف، نیازمند تلاش نظام‌مند و همه‌جانبه تمامی بازیگران مؤثر است. از این‌رو برای حصول یک درک صحیح از ظرفیت‌های کشور باید این بازیگران شناسایی و نحوه تأثیرگذاری هر یک از آن‌ها روی توسعه این انرژی مشخص شود. طبق تعریف برگگ و همکاران (۲۰۰۸)، بازیگران نه تنها بنگاه‌های موجود در زنجیره ارزش (بالادستی و پایین‌دستی)، دانشگاه‌ها و مؤسسه‌های تحقیقاتی را شامل می‌شود، بلکه دربرگیرنده نهادهای عمومی، سازمان‌های ذی‌نفع بانفوذ (مانند اتحادیه‌های صنعتی و سازمان‌های غیرتجاری)، سرمایه‌گذاران اقتصادی، سازمان‌های تعیین‌کننده استانداردها و... نیز می‌شود (Bergek, et al., 2008). با یک نگاه کلی بازیگران نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک را می‌توان به نهادهای دولتی، سازمان‌های آموزشی و تحقیقاتی، شرکت‌های فعال (واردکننده تجهیزات، طراحی، مشاوره و خدمات)، بخش تولید (نیروگاه‌ها، نظام‌های خانگی) و بخش مصرف تقسیم کرد. با الهام از میرعمادی و رحیمی‌راد (۱۳۹۵) در جدول (۲)، بازیگران تأثیرگذار در نظام نوآوری فناوری فتوولتائیک به تفکیک نقش درج شده است.

جدول (۲): بازیگران تأثیرگذار در نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک

بازیگران	سطح
مقام معظم رهبری، شورای عالی انقلاب فرهنگی، مجلس شورای اسلامی، شورای عالی عتف، وزارت نیرو	راهبر
سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق، سازمان حفاظت از محیط زیست، سازمان استاندارد، وزارت صنعت، معدن و تجارت، ستاد توسعه فناوری حوزه انرژی، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، مرکز همکاری‌های تحول و پیشرفت ریاست جمهوری، سازمان توسعه تجارت، سازمان کمک‌های فنی و اقتصادی، صندوق نوآوری و شکوفایی، صندوق توسعه ملی، انجمن‌ها و سازمان‌های مردم‌نهاد	هماهنگ کننده
انواع نیروگاه‌های فتوولتائیک و نظام‌های خانگی، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی، شرکت‌های فعال (واردکننده تجهیزات، طراحی، مشاوره و خدمات)	مجریان و تولیدکنندگان
مصرف‌کنندگان نهایی صنعت برق	کاربران و مشتریان

۱-۱-۵- نهادها

نگاه به نهادها به عنوان قواعد بازی در یک جامعه یا به طور رسمی‌تر «تنگناهای تدبیر شده انسانی که شکل‌دهنده تعاملات انسان‌ها می‌باشد» رایج است. می‌توان بین نهادهای رسمی و غیررسمی تمایز قائل شد. در رابطه با نهادهای رسمی می‌توان گفت که آن‌ها قواعدی مدون شده هستند و توسط افراد ذی‌صلاح و ادار

به اجرا شدن میگردند. از طرفی، نهادهای غیررسمی ضمنی تر هستند. و در نتیجه‌ی فرایند تعامل بازیگران شکل می‌گیرند (North, 1990).

در زمینه توسعه کاربرد فناوری فتوولتائیک، تعدادی نهاد رسمی تصویب شده است که از نهادهای بالادستی می‌توان به ۱- سند ملی راهبردی انرژی کشور، ۲- نقشه جامع علمی کشور، ۳- قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، ۴- سند ملی توسعه دانش‌بنیان انرژی‌های تجدیدپذیر، ۵- ابلاغ نرخ خرید تضمینی برق تجدیدپذیر و ۶- سند و نقشه راه توسعه فناوری انرژی خورشیدی در پژوهشگاه نیرو اشاره کرد. در نهادهای ۱، ۲ و ۳ به صورت کلی به انرژی‌های تجدیدپذیر اشاره شده است. اما در سند ملی توسعه دانش‌بنیان انرژی‌های تجدیدپذیر، که در زمان نگارش این مقاله مراحل اجرایی شدن خود را طی می‌کند، بر تأمین ۱.۸ درصد از انرژی کل کشور و تولید ۱۰ درصد برق نیروگاه‌های کشور از محل انرژی‌های تجدیدپذیر، تا چشم‌انداز ۱۴۰۴ تأکید شده است. با توجه به مصاحبه با خبرگان از نهادهای غیررسمی می‌توان به مسائل فرهنگی پیرامون انتشار فناوری انرژی‌های نو و نوع نگاه مسئولان کشور به توسعه این فناوری‌ها با توجه به منابع غنی فسیلی اشاره کرد که اونرا (۲۰۰۰) این شرایط را قفل‌شدگی کربن نامگذاری نموده و آن را از مهمترین عوامل وابستگی به انرژی فسیلی عنوان کرده است (Unrah, 2000).

۳-۱-۵- شبکه‌ها

مطابق با تعریف کارلسون و استانکویز (۱۹۹۱)، شبکه‌ها می‌توانند به بلوک‌های توسعه (به معنای خوشه‌هایی هم‌افزا از بنگاه‌ها و فناوری‌ها در یک صنعت یا گروهی از صنایع) تبدیل شوند (Carlsson & Stankiewicz, 1991). شبکه‌ها رسمی و غیررسمی هستند. انواع مختلفی از شبکه‌ها وجود دارند. برخی از این شبکه‌ها مانند شبکه‌های استانداردسازی، کنسرسیوم‌های پایه فناوری، گروه‌های تولیدی مشارکتی، تنها برای انجام یک وظیفه خاص شکل گرفته‌اند. سایر شبکه‌ها تحت روش‌های دارای هماهنگی کمتر، شکل گرفته‌اند مانند روابط خریدار فروشنده و راه‌های ارتباط صنعت و دانشگاه. در واقع برخی شبکه‌ها به فعالیت‌های فناورانه یا شکل‌دهی بازار متمایل هستند و برخی دیگر ماهیتی سیاستی دارند. انجمن‌های اجتماعی مانند شبکه‌های تخصصی و اتحادیه‌ها یا گروه‌های حمایت از مصرف‌کنندگان نیز باید در نظر گرفته شوند (Bergeck, et al., 2008).

شبکه‌های رسمی زیادی در زمینه سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک در ایران وجود ندارد، البته طی سال‌های اخیر، تحولات مثبتی صورت گرفته است. شبکه‌های موجود در نظام نوآوری فناورانه فتوولتائیک ایران در جدول (۳) مورد اشاره قرار گرفته است.

جدول (۳): شبکه‌های موجود در نظام نوآوری فناوریانه سیستم‌های خورشیدی فتولتائیک ایران

نام شبکه	هدف
انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر ایران	هماهنگ‌سازی، بسترسازی و تسهیل توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در حوزه‌های برق، حرارت و سوخت جهت صرفه‌جویی در مصرف منابع فسیلی
انجمن انرژی خورشیدی ایران	ایجاد و تحکیم روابط علمی و تحقیقاتی بین محققان و متخصصان انرژی خورشیدی
انجمن انرژی ایران	کانونی علمی جهت استادان، محققان و متخصصان انرژی کشور
کمیته انرژی‌های تجدیدپذیر - سندیکای صنعت برق ایران	هماهنگی، مشارکت و همفکری با مراکز تصمیم‌گیری و دولتی در تدوین آیین‌نامه‌ها و مقررات مرتبط انرژی‌های نو و کاهش تلفات انرژی
باشگاه باد و خورشید	گردهمایی علاقمندان و متخصصان دانشگاهی، بخش خصوصی و دولتی، در فضایی غیررسمی

۴-۱-۵- فناوری

در یک دسته‌بندی کلی می‌توان گفت که انرژی خورشیدی می‌تواند برای تولید برق یا حرارت استفاده شود. یکی از انواع فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشیدی، فتولتائیک می‌باشد. انواع سیستم‌های برق خورشیدی به چهار دسته‌ی: سیستم‌های مستقیم، سیستم‌های خارج از شبکه، سیستم‌های مرتبط با شبکه با باتری پشتیبان و سیستم‌های بدون باتری مرتبط با شبکه تقسیم کرد. به‌طور کلی اجزای کلی یک نظام فتولتائیک عبارتند از: صفحه‌ها (پنل‌های) خورشیدی، باتری‌های ذخیره، مبدل برق مستقیم به متناوب، دستگاه کنترل‌کننده، سازه فلزی یا ساختمانی، کابل‌های ارتباط. در شکل (۳) اجزای یک سیستم مرتبط با شبکه با باتری پشتیبان نشان داده شده است.



شکل (۲): اجزای یک نظام مرتبط با شبکه با باتری پشتیبان (Farzanegan Caspian Co., 2015)

از کنار هم قرار دادن تعدادی سلول خورشیدی^۲، یک ماژول خورشیدی^۳ ساخته می‌شود. از قرار دادن چند ماژول خورشیدی در کنار هم، یک صفحه خورشیدی^۴ ساخته می‌شود. عموماً در مصارف بزرگ، ردیف‌های زیادی از صفحه خورشیدی در کنار هم قرار می‌گیرند و یک سری خورشیدی^۵ تشکیل می‌دهند. تاکنون از مواد گوناگونی در ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده شده است که بازده و هزینه‌های ساخت متفاوتی دارند. در واقع این سلول‌ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند طول موج‌های نور خورشید که به سطح زمین می‌رسد را با بازده بالا به انرژی مفید تبدیل کنند. موادی که برای ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شوند را می‌توان در سه نسل طبقه‌بندی نمود (نیکنام و همکاران، ۱۳۹۴):

- نسل اول فناوری‌های فتوولتاییک: سلول‌های کریستالی
- نسل دوم فناوری‌های فتوولتاییک: سلول‌های خورشیدی فیلم نازک
- نسل سوم فناوری‌های فتوولتاییک: سلول‌هایی بر پایه مواد آلی و چند پیوندی.

۵-۲- سیر تاریخی شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های خورشیدی فتوولتاییک و تعاملات کارکردی مربوطه

این بخش سیر تاریخی شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه و تعاملات کارکردی آن را با توجه به مصاحبه‌های انجام شده و تحلیل اسناد و مدارک توصیف می‌کند. با توجه به این توصیفات و بر اساس تغییرات در الگوهای کارکردی، مراحل توسعه فناوری فتوولتاییک به ۳ قسمت تقسیم شده‌اند.

لازم بذکر است تحقیقات پیرامون استفاده از انرژی خورشیدی به شیوه کنونی، به سال‌های ابتدایی دهه ۱۳۵۰ برمی‌گردد. پهلوی دوم، در کتاب خود با عنوان «به سوی تمدن بزرگ»، از برنامه‌های استفاده احتمالی از سایر روش‌های آینده تحصیل انرژی از قبیل انرژی خورشیدی سخن می‌گوید. همچنین امیرعباس هویدا نخست وزیر وقت بر تلاش‌های دولت ایران برای تحقیقات در زمینه انرژی خورشیدی تاکید می‌کند. روزنامه اطلاعات در سال ۱۳۵۴ در خبری اعلام کرد: «وزارت نیرو با همکاری دانشگاه صنعتی آریامهر^۶ و دانشگاه پهلوی^۷ مطالعات و آزمایش‌هایی را آغاز کرده است که در صورت به نتیجه رسیدن از انرژی خورشیدی برای تولید نیرو در منازل استفاده خواهد شد». طبق گفته خبرنگار، نتیجه این تحقیقات توانایی استحصال ۲ کیلووات برق خورشیدی بود. پس از انقلاب اسلامی ایران و با توجه به شروع جنگ تحمیلی، فعالیت‌ها در این زمینه چشمگیر نبود و نتیجه خاصی در برنداشت. به این دلیل که عملاً کارکرد خاصی در این دوره مشاهده نشد این دوره در سیر توسعه فناوری مدنظر قرار نگرفت.

مرحله نخست: دوره سکوت (سال‌های ۱۳۸۴ - ۱۳۷۰)

گرچه جرقه‌های ابتدایی پیدایش پنل‌های خورشیدی در اواخر دهه ۱۳۶۰ در ایران زده شد؛ اما پیدایش بویایی‌های کارکردی نظام نوآوری فتوولتاییک در سال ۱۳۷۱ بود که شرکت هدایت نور یزد^۸ به‌عنوان اولین

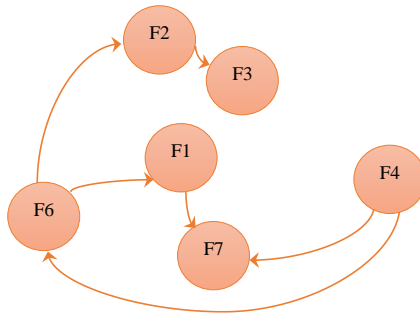
تولیدکننده سلول و پنل‌های خورشیدی با استفاده از فناوری کشور آلمان با ظرفیت ۳ مگاوات در تهران، تأسیس شد و مورد بهره‌برداری قرار گرفت، اما به دلیل عدم وجود برنامه‌ریزی برای استفاده از این تجهیزات، به توفیق چندانی دست نیافت. نکته مهم این رخداد آنجاست که نشان می‌دهد، شکل‌گیری این فناوری از ابتدا نه مبتنی بر توسعه دانش بلکه مبتنی بر واردات تجهیزات و مونتاژ آن‌ها در داخل رخ داده است. از سال ۱۳۷۴، دو نیروگاه فتوولتاییک در سمنان و یزد توسط سازمان انرژی اتمی ایران به بهره‌برداری رسید. سازمان انرژی اتمی که در آن زمان یک بخش با عنوان انرژی‌های نو را ایجاد کرده بود، تلاش داشت، با این فعالیت‌های نمایشی و آشنا کردن سیاست‌گذاران و مسئولان با این فناوری آن‌ها را به تخصیص منابع مالی بیشتر متقاعد کند که البته این امر صرفاً باعث تخصیص منابع محدودی برای انجام پروژه‌های کوچک مقیاس شد.

فعالیت مهم در این دوران، تشکیل سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) تحت نظر وزارت نیرو در سال ۱۳۷۴ بود^{۱۹}. از آنجا که نهادهای دیگری همچون سازمان انرژی اتمی، وزارت جهاد کشاورزی و سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت نیز در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر فعالیت‌هایی را انجام می‌دادند، به منظور استفاده بهینه و بهره‌برداری موثر از این انرژی‌ها، انجام کلیه مأموریت‌ها و فعالیت‌های قانونی مربوط به این حوزه در سال ۱۳۸۴ به سازمان انرژی‌های نو ایران سپرده شد.

با وجود شکل‌گیری سازمان سانا برای توسعه بهره‌گیری از انرژی خورشیدی و دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر و با اینکه ایران جزء اولین واردکنندگان این صنعت در جهان بود، ولی متأسفانه کارکردها چندان برآورده نشدند و نتوانستند با شکل‌گیری دوره‌های مطلوب به توسعه فناوری بیانجامند. جدول (۴)، رخدادهای مرتبط با دوره نخست و نحوه تعاملات کارکردی این دوره را مشخص کرده است. همچنین بر مبنای تحلیل تاریخی رخدادهای، شکل (۳) نشان‌دهنده مدل تعاملات کارکردی این دوره می‌باشد.

جدول (۴): رخدادهای دوره نخست و تعاملات کارکردی متناظر

ردیف	رخداد	سال وقوع	تعاملات کارکردی
۱	انجام فعالیت‌های جسته و گریخته تحقیقاتی	تا قبل از ۱۳۷۰	F4→F2
۲	بهره‌برداری از اولین خط تولید سلول و ماژول خورشیدی	۱۳۷۱	F6→F1
۳	راه‌اندازی ۳ نیروگاه فتوولتاییک با ظرفیت‌هایی زیر ۱۰۰ کیلووات	۱۳۷۴	F6→F1→F7
۴	تشکیل سازمان انرژی‌های نو ایران و انجام پروژه‌های تحقیقاتی	۱۳۷۴	F4→F6→F2→F3
۵	حضور انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان اولویت در اسناد بالادستی ^{۲۰}	۱۳۸۰	F4→F7
۶	تصویب قانون الحاق دولت جمهوری اسلامی ایران به پروتکل کیوتو ^{۲۱}	۱۳۸۴	F4→F7



شکل (۳): تعاملات میان کارکردها در دوره نخست

مرحله دوم: دوره ظهور نیروگاه‌های کوچک (سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۵)

در این مرحله از شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه، طرح برق‌رسانی فتوولتاییک به روستاها به صورت مستقل از شبکه، از طرح‌های موفق حمایتی دولت بود که از سال ۱۳۸۵ توسط سانا آغاز شد و به کارکرد مشروعیت‌بخشی کمک کرد که البته با وجود نتایج مثبت، با مشکلاتی چون ناآشنایی به فرهنگ مدیریت بر مصرف و نگهداری این سیستم‌ها توسط مصرف‌کنندگان مواجه بود.^{۲۲} از سال ۱۳۸۶، نمایشگاه‌ها و همایش‌های انرژی تجدیدپذیر، شروع به فعالیت‌های انتشار دانش کردند که البته چندان به ایجاد شبکه‌های قوی میان بازیگران منجر نشد.

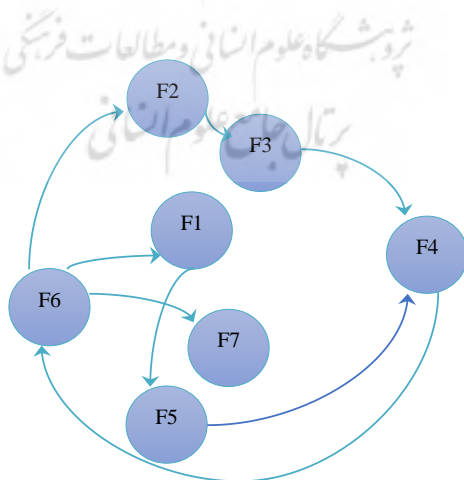
از سال ۱۳۸۸، دو کارخانه تولید پنل‌های خورشیدی در کشور راه‌اندازی و آماده فعالیت شد. بنا به گفته کارشناسان، در حال حاضر تمام شرکت‌های تولیدکننده پنل در ایران به نوعی واردکننده سلول‌های خورشیدی از کشورهای صاحب فناوری هستند و به مونتاژ واردات می‌پردازند و خود آن‌ها سلول را تولید نمی‌کنند. همچنین افتتاح نیروگاه الهیه مشهد با ظرفیت ۱۰۸ کیلووات از دستاوردهای این دوره بود. در این دوره، گرچه رخدادهای مثبتی مانند قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، قرار گرفتن انرژی‌های تجدیدپذیر در اولویت اول نقشه جامع علمی و حمایت صندوق توسعه ملی از احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر اتفاق افتاد، اما کماکان کمک‌چندانی به تخصیص منابع در این حوزه نکرد. به‌عنوان مثال، اگرچه قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، وزارت نیرو را موظف به عقد قرارداد بلندمدت برای خرید تضمینی برق تولیدکنندگان غیردولتی از منابع تجدیدپذیر کرده بود، اما تا سال ۱۳۹۳ این قانون اجرایی نشد.

تشکیل ستاد توسعه فناوری‌های تجدیدپذیر^{۲۳}، تا حدی به ایجاد هماهنگی میان اجزای مختلف نظام نوآوری فناورانه و به موازات آن افزایش مشروعیت در میان مسئولان و سیاستگذاران کمک کرد. همچنین

نصب سیستم فتوولتاییک در ۲۰ دانشگاه کشور (به هر دانشگاه مبلغ ۲۰۰ میلیون تومان اعتبار تعلق گرفت)، باعث فرهنگ‌سازی در محیط دانشگاه و در نهایت توسعه کارکرد مشروعیت‌بخشی شد. جدول (۵)، رخدادهای مرتبط با دوره دوم و نحوه تعاملات کارکردی این دوره را مشخص کرده است. بر مبنای تحلیل تاریخی رخدادهای، شکل (۴) نشان‌دهنده مدل تعاملات کارکردی این دوره می‌باشد.

جدول (۵): رخدادهای دوره دوم و تعاملات کارکردی متناظر

ردیف	رخداد	سال وقوع	تعاملات کارکردی
۱	آغاز طرح برق‌رسانی فتوولتاییک به روستاها	از سال ۱۳۸۵	F4→F6→F1→F5→F4
۲	انجام پروژه‌های تحقیقاتی در سازمان انرژی‌های نو ایران ^{۲۴}	۱۳۸۶	F4→F6→F2
۳	برگزاری نخستین سمینارها، کنفرانس‌ها و جشنواره‌ها	۱۳۸۶	F2→F3→F4
۴	تشکیل ستاد توسعه فناوری‌های تجدیدپذیر	۱۳۸۷	F4→F6→F7
۵	راه‌اندازی رشته مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش پژوهشگران	۱۳۸۸	F4→F6→F2→F3
۶	راه‌اندازی دو کارخانه تولید پنل‌های خورشیدی در کشور	۱۳۸۸	F6→F1
۸	تصویب برخی برنامه و قوانین ^{۲۵} به سود این حوزه و عدم اجرایی شدن آن‌ها	۱۳۹۰	F4→F6
۹	حمایت از نصب نظام فتوولتاییک در ۲۰ دانشگاه کشور توسط معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری	۱۳۹۰	F4→F6→F7



شکل (۴): تعاملات میان کارکردها در دوره دوم

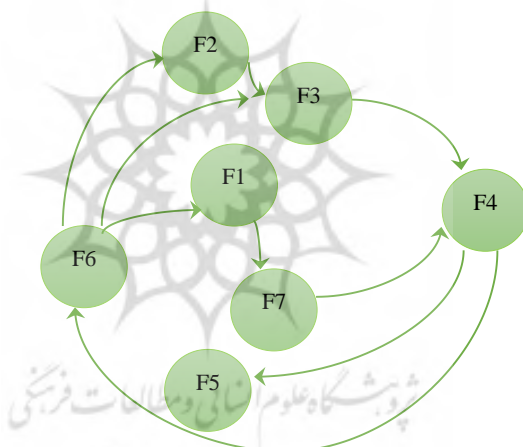
مرحله سوم: دوره تحول (۱۳۹۶-۱۳۹۲)

این دوران را به عقیده خبرگان می‌توان در توسعه فناوری فتوولتائیک، مثبت و چشمگیر قلمداد کرد به گونه‌ای که برنامه‌ها به سمت اجرایی شدن پیش رفتند. البته می‌توان از طرح اختصاص تسهیلات بلاعوض برای نصب پنل‌های خورشیدی یک کیلوواتی در بام خانه‌ها با عنوان «طرح یک میلیون بام خورشیدی ایران» نام برد که به دلایلی مانند عدم فرهنگسازی برای شروع این طرح و عدم شفافسازی در نحوه اعطای تسهیلات و محاسبه تعرفه‌های برق چندان موفق نبود و با وجود تخصیص منابع، نتوانست منجر به فعالیت‌های کارآفرینانه و در نتیجه مشروعیت‌بخشی گردد. در سال ۱۳۹۵، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) از ادغام دو سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) و سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) با هدف ارتقاء بهره‌وری انرژی و استفاده هرچه بیشتر از منابع تجدیدپذیر و پاک تشکیل شد. از رخدادهای تاثیرگذار این دوران که مقدمه گام‌های دیگر بود، می‌توان به تصویب طرح دریافت مبلغی مازاد بر بهای برق روی قبوض برق مصرفی به عنوان عوارض انرژی تجدیدپذیر اشاره کرد که طبق قانون، عین وجوه دریافتی صرفاً بابت حمایت از توسعه و نگهداری شبکه‌های روستایی و تولید برق تجدیدپذیر و پاک هزینه شود. نقطه عطف این سال‌ها به ابلاغ نرخ خرید تضمینی برق تجدیدپذیر برمی‌گردد که همزمان با توافق برجام پای سرمایه‌گذاران خارجی را به انرژی‌های تجدیدپذیر ایران باز کرد و منجر به افتتاح نیروگاه‌های ۷ مگاواتی امیرکبیر و خلیج فارس در همدان با سرمایه‌گذاری آلمانی‌ها، نیروگاه ۱۰ مگاواتی جرقویه اصفهان با سرمایه‌گذاری یونانی‌ها و نیروگاه ۲۰ مگاواتی مکران کرمان با سرمایه‌گذاری سویسیها شد. البته از اولویت خارج شدن احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر از حمایت صندوق توسعه ملی نیز جزء رخدادهای منفی این دوره بود.

در کنار اینها، با وجود اینکه در دو سال پایانی این دوره قیمت خرید تضمینی ثابت ماند و بازار نسبتاً ثبات داشت و همچنین ثبات نسبی در قوانین و نرخ‌های خرید برق تجدیدپذیر به گونه‌ای بود که موجب جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی و حضور سرمایه‌گذاران در این حوزه شد، اما عدم تخصیص بودجه خرید برق تجدیدپذیر، به گونه‌ای به بازار شوک وارد کرد که به عقیده خبرگان در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران برای احداث نیروگاه‌های جدید تردید به وجود آورد. جدول (۶)، رخدادهای مرتبط با دوره دوم و نحوه تعاملات کارکردی این دوره را مشخص کرده است. بر مبنای تحلیل تاریخی رخدادهای، شکل (۵)، نشان‌دهنده مدل تعاملات کارکردی این دوره می‌باشد.

جدول (۶): رخدادهای دوره سوم و تعاملات کارکردی متناظر

ردیف	رخداد	تعاملات کارکردی
1	انجام و تداوم فعالیت‌های کارآفرینانه با تصویب و اجرای قوانین مثبت ^{۲۶}	F1→F7→F4→F6→F1 F4→F5
2	عدم استقبال مردم از طرح ده هزار مشترک خورشیدی در ایران	F6→F1
3	انجام پروژه‌های تحقیقاتی ^{۲۷}	F4 → F6 → (F2,F3) → F4
4	تعهد ایران به توافق اقلیمی پاریس	F7→F4
5	از اولویت خارج شدن احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر از حمایت صندوق توسعه ملی	F4→F6
6	افتتاح بزرگترین کارخانه تولید پنل‌های خورشیدی در شیراز	F6→F1
7	پیامدهای عدم تخصیص بودجه تجدیدپذیر	F6→F1



شکل (۵): تعاملات میان کارکردها در دوره سوم

۳-۵- اعتبارسنجی مدل مفهومی پژوهش

پس از بررسی سیر تاریخی مرحله قبل که دوره‌های مختلف زمانی فرایند توسعه فناوری فوتولتائیک و تعاملات کارکردی هر یک از آن‌ها را مشخص کرد، در این مرحله بر اساس مدل مفهومی دوره سوم که وضعیت کنونی کشور را نشان می‌دهد، ۹ فرضیه تدوین گردید (جدول (۷)) تا با استفاده از روش تحلیل مسیر، مدل یادشده مورد اعتبارسنجی قرار گیرد.

جدول (۷): فرضیات پژوهش

ردیف	فرضیه
1	کارکرد خلق و توسعه دانش (F2)، منجر به شکل‌گیری کارکرد انتشار دانش (F3) می‌شود.
2	کارکرد تخصیص منابع (F6)، منجر به شکل‌گیری کارکرد انتشار دانش (F3) می‌شود.
3	کارکرد انتشار دانش (F3)، منجر به شکل‌گیری کارکرد جهت‌دهی نظام (F4) می‌شود.
4	کارکرد جهت‌دهی به نظام (F4)، منجر به شکل‌گیری کارکرد تخصیص منابع (F6) می‌شود.
5	کارکرد تخصیص منابع (F6)، منجر به شکل‌گیری کارکرد خلق و توسعه دانش (F2) می‌شود.
6	کارکرد تخصیص منابع (F6)، منجر به شکل‌گیری کارکرد فعالیت‌های کارآفرینانه (F1) می‌شود.
7	کارکرد فعالیت‌های کارآفرینانه (F1)، منجر به شکل‌گیری کارکرد مشروعیت‌بخشی (F7) می‌شود.
8	کارکرد مشروعیت‌بخشی (F7)، منجر به شکل‌گیری کارکرد جهت‌دهی نظام (F4) می‌شود.
9	کارکرد جهت‌دهی به نظام (F4)، منجر به شکل‌گیری کارکرد شکل‌گیری بازار (F5) می‌شود.

در روش‌شناسی مدل معادلات ساختاری، ابتدا باید روایی سازه‌ها با استفاده از تحلیل عاملی تاییدی مورد مطالعه قرار گیرد تا مشخص شود شاخص‌های انتخاب شده (در این پژوهش شاخص‌های مدنظر کبده و میتسوفوجی (۲۰۱۶)) برای اندازه‌گیری سازه‌های مورد نظر خود از دقت لازم برخوردار هستند. بدین منظور بارهای عاملی از طرق محاسبه مقدار همبستگی شاخص‌های یک سازه با آن سازه محاسبه می‌شوند که اگر این مقدار برابر یا بیشتر از ۰,۴ شود، مؤید این مطلب است که واریانس بین سازه و شاخص‌های آن از واریانس خطای اندازه‌گیری آن سازه بیشتر است و پایایی مدل اندازه‌گیری قابل قبول است (داوری و رضازاده، ۱۳۹۲).

همچنین برای سنجش برازش ساختاری مدل، آماره‌های تی بررسی می‌شود. در صورتی که مقدار این اعداد از ۱/۹۶ بیشتر شود، نشان از صحت رابطه بین سازه‌ها و در نتیجه تأیید فرضیه‌های پژوهشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. در جدول (۸) نتایج تحلیل عاملی تاییدی با استفاده از نرم‌افزار Smart PLS نشان داده شده است که حکایت از مناسب بودن مدل دارد.

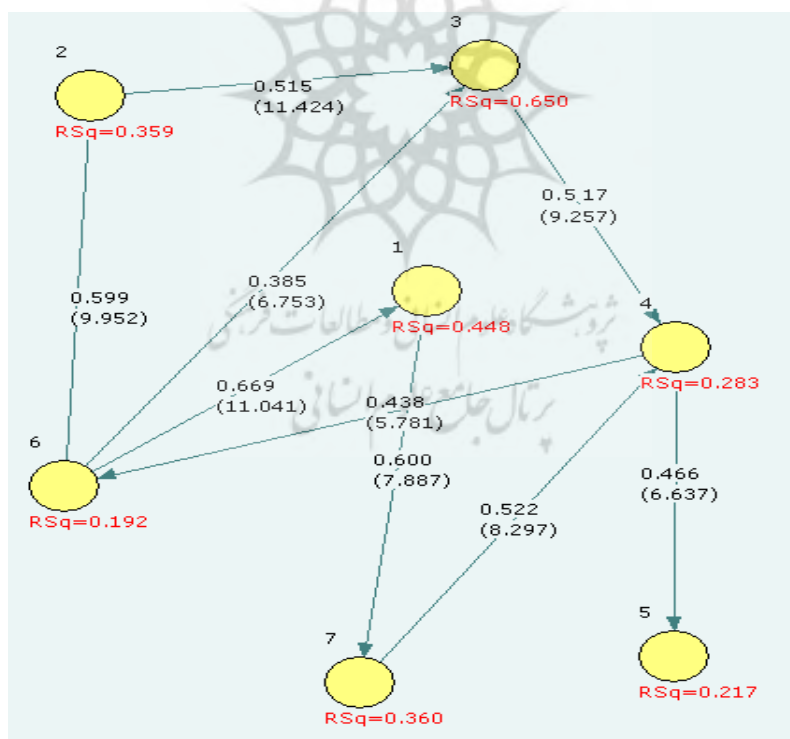
جدول (۸): نتایج تحلیل عاملی تاییدی

متغیرها	نشانگر	سوالات	بار عاملی	ضریب معناداری
فعالیت‌های کارآفرینانه	F1	E1	۰/۸۲	۱۲/۱۴
		E2	۰/۸۸	۱۲/۸۶
		E3	۰/۸۰	۱۲/۹۲
خلق و توسعه دانش	F2	K1	۰/۷۸	۱۱/۲۸
		K2	۰/۸۱	۱۲/۱۲
		K3	۰/۸۴	۱۲/۵۱
		K4	۰/۸۲	۱۲/۱۸
انتشار دانش	F3	D1	۰/۷۹	۱۱/۵۶
		D2	۰/۸۰	۱۱/۹۳
		D3	۰/۸۵	۱۲/۷۲
		D4	۰/۸۱	۱۲/۰۹
جهت‌دهی نظام	F4	G1	۰/۸۰	۱۱/۹۰
		G2	۰/۸۴	۱۲/۴۹
		G3	۰/۸۲	۱۲/۱۶
		G4	۰/۸۶	۱۲/۷۹
شکل‌گیری بازار	F5	M1	۰/۸۳	۱۲/۳۲
		M2	۰/۸۲	۱۲/۲۲
		M3	۰/۸۰	۱۱/۹۴
		M4	۰/۷۹	۱۱/۷۷
تخصیص منابع	F6	R1	۰/۸۵	۱۲/۶۲
		R2	۰/۸۲	۱۲/۱۹
		R3	۰/۸۰	۱۱/۹۷
		R4	۰/۸۳	۱۲/۳۰
مشروعیت‌بخشی	F7	L1	۰/۸۱	۱۲/۱۱

در ادامه، برای بررسی مدل مفهومی پیشنهادی توسعه فناوری فتوولتائیک در ایران، فرضیه‌های استخراج شده مورد آزمون قرار گرفت. نتیجه نهایی مدل معادلات ساختاری در شکل (۶) و نتایج تحلیل آن برای تمام فرضیه‌ها در جدول (۹) مشخص است.

جدول (۹): نتایج آزمون فرضیه‌های پژوهش

نتیجه	ضریب معناداری	ضریب تاثیر	فرضیه
تأیید	۱۱/۴۲۴	۰/۵۱۵	کارکرد خلق و توسعه دانش (F2)، منجر به شکل‌گیری کارکرد انتشار دانش (F3) می‌شود.
تأیید	۶/۷۵۳	۰/۳۸۵	کارکرد تخصیص منابع (F6)، منجر به شکل‌گیری کارکرد انتشار دانش (F3) می‌شود.
تأیید	۹/۲۵۷	۰/۵۱۷	کارکرد انتشار دانش (F3)، منجر به شکل‌گیری کارکرد جهت‌دهی نظام (F4) می‌شود.
تأیید	۵/۷۸۱	۰/۴۳۸	کارکرد جهت‌دهی به نظام (F4)، منجر به شکل‌گیری کارکرد تخصیص منابع (F6) می‌شود.
تأیید	۹/۹۵۲	۰/۵۹۹	کارکرد تخصیص منابع (F6)، منجر به شکل‌گیری کارکرد خلق و توسعه دانش (F2) می‌شود.
تأیید	۱۱/۰۴۱	۰/۶۶۹	کارکرد تخصیص منابع (F6)، منجر به شکل‌گیری کارکرد فعالیت‌های کارآفرینانه (F1) می‌شود.
تأیید	۷/۸۸۷	۰/۶۰	کارکرد فعالیت‌های کارآفرینانه (F1)، منجر به شکل‌گیری کارکرد مشروعیت‌بخشی (F7) می‌شود.
تأیید	۸/۲۹۷	۰/۵۲۲	کارکرد مشروعیت‌بخشی (F7)، منجر به شکل‌گیری کارکرد جهت‌دهی نظام (F4) می‌شود.
تأیید	۶/۶۳۷	۰/۴۶۶	کارکرد جهت‌دهی به نظام (F4)، منجر به شکل‌گیری کارکرد شکل‌گیری بازار (F5) می‌شود.



شکل (۶): مدل ساختاری فرضیه‌های پژوهش

با مقایسه شکل‌های (۵) و (۶) می‌توان دریافت که نتایج حاصل از تحلیل تاریخی رخدادها، با نتایج حاصل از مدل تحلیل مسیر معادلات ساختاری (مبتنی بر نظر خبرگان) همخوانی دارد. بر اساس مدل نهایی معادلات ساختاری و نتایج آزمون فرضیه‌ها، می‌توان دو مسیر کلیدی در شکل‌گیری نظام نوآوری فتوولتاییک مشاهده کرد:

(۱) تاثیر «کارکرد خلق و توسعه دانش» و «کارکرد انتشار دانش» بر «کارکرد جهت‌دهی نظام» و سپس تاثیر «کارکرد جهت‌دهی نظام» بر «کارکرد تخصیص منابع» و در نهایت تاثیر «کارکرد تخصیص منابع» بر «کارکرد انتشار دانش» و «کارکرد خلق و توسعه دانش» که نشان‌دهنده شکل‌گیری و تداوم فعالیت‌های توسعه و انتشار دانش در این حوزه می‌باشد.

(۲) تاثیر «کارکرد جهت‌دهی نظام» بر «کارکرد تخصیص منابع» و سپس تاثیر «کارکرد تخصیص منابع» بر «کارکرد فعالیت‌های کارآفرینانه» و پس از آن تاثیر «کارکرد فعالیت‌های کارآفرینانه» بر «کارکرد مشروعیت‌بخشی» و در نهایت تاثیر «کارکرد مشروعیت‌بخشی» بر «کارکرد فعالیت‌های کارآفرینانه» که نحوه شکل‌گیری فعالیت‌های کارآفرینانه بوسیله جهت‌دهی نظام و تخصیص منابع از طرف دولت و متعاقب آن مشروعیت‌بخشی فناوری را نشان می‌دهد.

۵- جمع‌بندی

آگاهی از پویایی‌های داخلی نظام نوآوری فناورانه می‌تواند به طور اثرگذاری در جهت‌دهی به سیاست‌های آن نقش داشته باشد و در این بین موتورهای نوآوری اصلی‌ترین عوامل در موفقیت یا شکست توسعه فناوری خواهند بود. با توجه به اینکه یکی از اهداف ایران در زمینه انرژی تجدیدپذیر، احداث ۵۰۰۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر در طی برنامه ششم توسعه است، در این پژوهش سعی شد تا ضمن معرفی اجزای نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک به‌عنوان یک فناوری انرژی تجدیدپذیر، موتور محرک نوآوری آن نیز بررسی شود.

طبق آمار کارشناسان سازمان ساتبا، ظرفیت جمعی تولید نیروگاه‌های فتوولتاییک کشور تا زمان نگارش این مقاله تنها ۵۳٫۲ مگاوات است که گرچه نشان از شکل‌گیری کمابیش تمام کارکردها دارد اما میزان خروجی مشخص می‌کند که تعاملات کارکردی هنوز نتوانسته حرکت به سمت توسعه فناوری را تسریع کند. بنابراین در ادامه نکاتی پیرامون توالی‌های کارکردی شناسایی شده بیان می‌گردد:

(۱) اولین دور مطلوب شناسایی شده در بخش قبلی با هدف گسترش دانش عملی و نظری پیرامون

فناوری فتوولتاییک شکل گرفته است (اغلب مطالعات امکان‌سنجی و تحقیقات بازار تا خود فناوری). شکل‌گیری نظام نوآوری در کشورهای در حال توسعه (کشورهای دریافت‌کننده فناوری) بر دو گام استوار است: (۱) معرفی و ورود فناوری از کشورهای صنعتی (۲) سازگاری، استفاده و تولید نوآوری‌های جدید در طول زمان. بنابراین برای ایجاد یک نظام نوآوری یکپارچه، در مقایسه با وضعیت پذیرش ساده فناوری، نیاز به تلاش بیشتری در زمینه توسعه دانش و تخصیص منابع (مالی، انسانی و ...) وجود دارد. روند انتشار فناوری فتوولتاییک در ایران، عمدتاً با استقرار فناوری خارجی در داخل و مونتاژ صورت گرفته است. اما واضح است که صرف داشتن ماشین‌آلات و خط تولید، به ویژه در فضای پرشتاب توسعه فناوری در دنیا، کشور را صاحب فناوری نمی‌کند. برای پاسخ به حلقه مفقوده چرخه ساخت و تولید سلول‌های فتوولتاییک و بومی‌سازی این فناوری، نیاز مبرمی به تحقیق و توسعه در تحقیقات دانشگاهی و موسسات علمی وجود دارد، همان‌گونه که به عقیده برگگ نیز در میان کارکردهای نظام، توسعه دانش در قلب هر نظام نوآوری قرار دارد (برگگ و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین ایجاد ظرفیت محلی نوآوری و توسعه فناوری در کشور، نیازمند رشد مهارت‌های مناسب، تقویت ظرفیت جذب و تحقیق و توسعه از طریق موسسات علمی و پژوهشی است که منجر به حرکت از نظام نوآوری فناورانه مبتنی بر انتشار به نظام نوآوری فناورانه مبتنی بر تحقیق و توسعه شود.

(۲) دومین دور مطلوب شناسایی شده نیز، در راستای شدت بخشیدن به حجم فعالیت‌های کارآفرینی شکل گرفته است. همان‌گونه که با بررسی سیر تاریخی نیز مشخص می‌شود، با وجود پیشی گرفتن ایران در ورود این فناوری نسبت به کشورهای دیگر، در عمل تا سال ۱۳۹۴، فعالیت‌های کارآفرینانه چشمگیری انجام نگرفت (نیروگاه‌های محدود زیر یک مگاوات). اما با تصویب قوانین حمایتی جدید و ورود سرمایه‌گذاران خارجی به این عرصه در کشور نیروگاه‌های فتوولتاییک متصل به شبکه توسط بخش غیردولتی اجرا و راه‌اندازی شده‌اند. گرچه تاکنون بازیگران محدودی وارد توسعه فناوری شده‌اند، اما در صورت تکرار بیشتر این حلقه به صورت مطلوب، بازیگران با نرخ فزاینده‌ای افزوده شده و می‌تواند تمام بازیگران بخش عرضه و تقاضا را با خود همراه کند و در نتیجه‌ی تداوم این توالی، یادگیری در حین کار نیز رخ می‌دهد و می‌تواند به بهبود ماهیت فناوری نیز کمک کند. با توجه به این نکات، به منظور انتشار فناوری قوی‌تر و موثرتر توسط نظام، پیشنهاد می‌شود پس از شناسایی موانع هر کارکرد از طریق مداخلات سیاستی به آن‌ها پرداخته شود که البته این امر نیاز به اولویت‌گذاری

دقیق دارد. در همین راستا، به نظر می‌رسد راهکارهایی چون، اجرای برنامه‌های آگاه‌سازی مردم و مسئولان پیرامون اهمیت سیستم فتوولتاییک، به منظور مشروعیت‌بخشی این فناوری، ارائه مشوق‌های مالیاتی به شرکت‌های فعال این حوزه جهت بهبود فعالیت‌های کارآفرینانه، تأسیس صندوق ملی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در راستای ساماندهی و تسهیل تخصیص منابع، تخصیص بودجه‌های پژوهشی برای بومی‌سازی فناوری و ... به توسعه و بلوغ نظام کمک خواهد کرد.

سخن آخر اینکه، همان‌طور که در مبانی نظری اشاره شد، اقتصادهای در حال ظهوری وجود دارند که ابتدا به واردات فناوری روی آوردند و سپس به وسیله فعالیت‌های تحقیق و توسعه قادر به بالارفتن از نردبان نوآوری شدند؛ به عنوان مثال، می‌توان به انرژی باد و فتوولتاییک خورشیدی در چین اشاره کرد، که این رویه برای ایران نیز می‌تواند موثر باشد. همچنین برای ایجاد یادگیری بیشتر در مورد کارکردهای نظام نوآوری فناورانه، برای انتشار موفقیت‌آمیز انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی این نظام با سایر نظام‌های نوآوری فناورانه ایران مقایسه شود.

Reference

۶- منابع

- Asheim, B. T. & Coenen, L., 2005. Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters. *Research policy*, 34(8), pp. 1173-1190.
- Bento, N. & Fontes, M., 2015. Spatial diffusion and the formation of a technological innovation system in the receiving country: The case of wind energy in Portugal. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Volume 15, pp. 158-179.
- Bergek, A. et al., 2008. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research policy*, 37(3), pp. 407-429.
- Binz, C., Truffer, B. & Coenen, L., 2014. Why space matters in technological innovation systems—Mapping global knowledge dynamics of membrane bioreactor technology. *Research Policy*, 43(1), pp. 138-155.
- Blum, N. U., Bening, C. R. & Schmidt, . T. S., 2015. An analysis of remote electric mini-grids in Laos using the Technological Innovation Systems approach. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 95, pp. 218-233.
- Carlsson, B. & Stankiewicz, R., 1991. On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of evolutionary economics*, 1(2), pp. 93-118.
- Edquist, C., 2004. Reflections on the systems of innovation approach. *Science and public policy*, 31(6), pp. 485-489.
- Edsand, H., 2017. Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the tech-

- nological innovation system and the wider context. *Technology in Society*, Volume 49, pp. 1-15.
- Farzanegan Caspian Co., 2015. ekahroba. [Online] Available at: <https://ekahroba.com/electrica/posts> [Accessed 2018].
- Gillham, B., 2000. *The Research Interview*. London: Rautledge.
- Gosens, J. & Lu, Y., 2013. From lagging to leading? Technological innovation systems in emerging economies and the case of Chinese wind power. *Energy Policy*, Volume 60, pp. 234-250.
- Hekkert, M. P. et al., 2007. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological forecasting and social change*, 74(4), pp. 413-432.
- Huang, P., Negro, S. O., Hekkert, M. P. & Bi, K., 2016. Huang, P., Negro, S. O., Hekkert, M. P., & Bi, K. (2016). How China became a leader in solar PV: An innovation system analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 64, pp. 777-789.
- Jacobsson, S. & Johnson, A., 2000. The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. *Energy policy*, 28(9), pp. 625-640.
- Johnson, B. H. & Lundvall, B. Å., 2000. Promoting innovation systems as a response to the globalising learning economy. In: *Systems of Innovation and Development*. Edward Elgar Publishing.
- Kebede, . K. Y. & Mitsufuji, T., 2016. Technological innovation system building for diffusion of renewable energy technology: A case of solar PV systems in Ethiopia. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 114, pp. 242-253.
- Lundvall, . B. A., 1992. *National innovation system: towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter.
- Markard, J. & Truffer, B., 2008. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research policy*, 37(4), pp. 596-615.
- Muchie, M., 2004. Resisting the deficit model of development in Africa: Rethinking through the making of an African national innovation system. *Social Epistemology*, 18(4), pp. 315-332.
- Musiolik, J., Makard, J. & Hekkert, M., 2012. Networks and network resources in technological innovation systems: Towards a conceptual framework for system building. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(6), pp. 1032-1048.
- Negro, S. O., Alkemade, F. & Hekkert, M. P., 2012. Why does renewable energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), pp. 3836-3846.
- North, D. C., 1990. *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge university press.
- Quitow, R., 2015. Dynamics of a policy-driven market: The co-evolution of technological innovation systems for solar photovoltaics in China and Germany. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Volume 17, pp. 126-148.
- Rogers, E. M., 2010. *Diffusion of innovations*. Simon and Schuster.
- Schmidt, T. S. & Dabur, S., 2014. Explaining the diffusion of biogas in India: a new functional approach

considering national borders and technology transfer. *Environmental Economics and Policy Studies*, 16(2), pp. 171-199.

Siyanbola, W. & Olamide, O., 2016. *Innovation systems and capabilities in developing regions: Concepts, issues and cases*. Routledge.

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

Suurs, R. A. & Hekkert, M. P., 2009. Cumulative causation in the formation of a technological innovation system: The case of biofuels in the Netherlands. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(8), pp. 1003-1020.

Szogs, A. & Wilson, L., 2008. A system of innovation?: Biomass digestion technology in tanzania. *Technology in Society*, 30(1), pp. 94-103.

Tigabu, A., Berkhout, F. & van Beukering, P., 2017. Development aid and the diffusion of technology: Improved cookstoves in Kenya and Rwanda. *Energy Policy*, Volume 102, pp. 593-601.

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

Truffer, B. & Coenen, L., 2012. Environmental innovation and sustainability transitions in regional studies. *Regional Studies*, 46(1), pp. 1-21.

Unruh, G., 2000. Understanding carbon lock-in. *Energy policy*, pp. 817-830.

van Alphen, K., Hekkert, M. P. & van Sark, W. G., 2008. Renewable energy technologies in the Maldives Realizing the potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), pp. 162-180.

Wieczorek, A. J. & Hekkert, M. P., 2012. Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy*, 39(1), pp. 74-87.

الهی، ش.، غربی، ج.، مجیدپور، م. و انواری رستمی، ع. ا.، ۱۳۹۴. مسیر اشاعه فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر: رویکرد نظریه‌سازی بنیادی. مدیریت نوآوری، ۲(۴) صص. ۳۳-۵۶.

باقری مقدم، ن.، موسوی درجه، س. م.، نصیری، م. و معلمی، ع. ا.، ۱۳۹۱. موتورهای محرک نوآوری چارچوبی برای تحلیل پویایی نظام نوآوری فناورانه. تهران: مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور.

تقوا، م.، باقری مقدم، ن.، طباطبائی، س. ح. ا. و تقوی فرد، م. ت.، ۱۳۹۶. تبیین فرایند توسعه فناوری با استفاده از موتورهای محرک نوآوری؛ مورد مطالعه: توسعه فناوری نیروگاه‌های بادی در ایران. فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، ۳(۴) صص. ۷۵-۱۰۶.

داوری، ع. و رضازاده، آ.، ۱۳۹۲. مدل سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار PLS. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی. میرعمادی، ط. و رحیمی راد، ز.، ۱۳۹۵. شناسایی شکست‌های سیستم در تحلیل نظام نوآوری فناورانه سوخت زیستی در ایران. سیاست علم و فناوری، ۸(۱)، صص. ۲۷-۴۱.

نیکنام، ن.، محمدی، ع.، میرزاحسینی، س. و تقوی، ل.، ۱۳۹۴. فرصتها و چالشهای توسعه پایدار نظامهای فتوولتائیک در ایران. پایداری، توسعه و محیط زیست، ۲(۱)، صص. ۱۷-۲۹.

1. Technological innovation system

2. System functions

۳. با توجه به استانداردهای بین‌المللی، اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳٫۵ کیلووات ساعت در متر مربع (۳۵۰۰ وات/ساعت) باشد استفاده از مدل‌های انرژی خورشیدی نظیر نظام‌های فتولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون‌به‌صرفه است. متوسط تابش خورشید در ایران ۴٫۵ تا ۵٫۵ کیلووات ساعت در مترمربع است بطوری‌که ۳۰۰ روز آفتابی در دو سوم مساحت ایران وجود دارد. علاوه بر این، یک ارزیابی در سطح کشور نشان می‌دهد که در ۸۰ درصد از سرزمین ایران، تابش خورشید بین ۱۶۴۰ تا ۱۹۷۰ کیلووات ساعت در مترمربع در سال می‌رسد (سایت ساتبا، ۱۳۹۶).

4. Latecomer

5. R&D based

6. Diffusion based

7. Follower

8. Virtuous Circle

9. Vicious Circle

10. Doing, Using and Interacting (DUI)

۱۱. متن مصاحبه‌ها و اسامی افراد مصاحبه‌شونده نزد محقق موجود است.

12. PV Cell

13. PV Module

14. PV Panel

15. PV Array

۱۶. دانشگاه صنعتی شریف کنونی

۱۷. دانشگاه شیراز کنونی

۱۸. سابقاً با عنوان شرکت تولید فیبرنوری و برق خورشیدی

۱۹. هنگام تأسیس، این سازمان متولی امر دستیابی به اطلاعات و فناوری‌های روز دنیا در مورد استفاده از منابع انرژیهای تجدیدپذیر، پتانسیل‌سنجی و اجرای پروژه‌های تجدیدپذیر، خرید و فروش تضمینی برق تجدیدپذیر برای جلب مشارکت بخش خصوصی در این حوزه، سیاست پژوهی به منظور طرح جامع توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور و همچنین آگاه‌سازی و آموزش‌های ترویجی در این زمینه بود.

۲۰. موارد اندکی مانند تأکید بر توسعه کاربرد انرژی‌های نو به‌عنوان یک راهکار در کاهش مصرف انرژی در برنامه سوم توسعه و تعیین چشم‌انداز تولید یک درصد انرژی مصرفی در کشور از انرژی‌های تجدیدپذیر در برنامه چهارم توسعه

۲۱. قانون الحاق دولت جمهوری اسلامی ایران به پروتکل کیوتو در سال ۱۳۸۴ تصویب شد که به وضوح در ماده ۲ آن به ترغیب تحقیق، توسعه و گسترش استفاده از انواع جدید و تجدیدپذیر انرژی و فناوری‌های کنترل انتشار دی‌اکسید کربن و فناوری‌های پیشرفته و جدید بی‌خطر برای محیط زیست تأکید شده بود.

۲۲. طبق آمار تا پایان سال ۱۳۹۵، تعداد ۲۱۷ روستا شامل ۲۳۵۰ خانوار از این طریق برق‌دار شده‌اند (نشریه آمار برق روستایی، ۱۳۹۶).

۲۳. در سال ۱۳۹۶، سه ستاد توسعه فناوری و نوآوری نفت، گاز و ذغال سنگ، توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر و بهینه‌سازی انرژی و محیط زیست ادغام شد و به ستاد توسعه فناوری حوزه انرژی تغییر نام داد.

۲۴. تحقیقاتی مانند کسب دانش فنی ساخت اتصالات اهمیتیک برای سلول‌های خورشید و مطالعات شناخت، امکان‌سنجی فنی-اقتصادی کاربرد و طراحی نظام‌های هیبرید انرژی‌های تجدیدپذیر (باد-دیزل-فتولتائیک-زیست‌توده و خورشیدی) در ایران

۲۵. منظور مواردی چون قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی و حمایت صندوق توسعه ملی از احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر است.

۲۶. منظور ابلاغ قوانین حمایتگر مانند نرخ خرید تضمینی برق تجدیدپذیر، افزایش مدت قرارداد خرید تضمینی برق از ۵ به ۲۰ سال، معافیت گمرکی برای واردات تجهیزات نیروگاه‌های تجدیدپذیر و افزایش نرخ پایه خرید تضمینی که از تجهیزات ساخت داخل استفاده کنند، عوارض ۳۰ ریالی به ازای مصرف هرکیلووات ساعت برق شبکه سراسری به‌منظور حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر است.

۲۷. مواردی مانند انجام پتانسیل‌سنجی و تهیه اطلس خورشیدی کشور و تأسیس مرکز توسعه فناوری انرژی خورشیدی