DOI : 10.22034/jrenew.2024.188447
مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: 1402/03/14
تاریخ پذیرش: 402/05/08
سال یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان 1403، ص ص 100- 109
فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
jrenew.ir
Online ISSN 2676-2994 print ISSN 2423-4931

سیستم یا اکوسیستم؟
نقدی بر سیستم نوآوری فناورانه فتوولتاییک ایران از منظر اکوسیستمی

محمد مهدی اخلاقی[1و 2]، سپهر قاضی نوری [3*]، علی شفیعی علویجه[1]

1- دانشجوی دکتری سیاستگذاری علم و فناوری، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
2- پژوهشگر، گروه پژوهشی آینده‌نگاری و سیاست‌پژوهی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
3- استاد، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
* تهران، 1411511، ghazinoory@modares.ac.ir

چکیده

اهمیت نوآوری و توسعه فناوری و درک پیچیدگی فرایندهای مربوطه موجب شده است تا محققین بسیاری در سال‌های گذشته نظریه‌های مختلفی را ارائه کنند و به بسط و توسعه این نظریات بپردازند. رویکرد سیستم (نظام) نوآوری یکی از نظریات فراگیر و موفق سالیان اخیر در حوزه مطالعات نوآوری و فناوری بوده است. به همین سیاق نظام نوآوری فناورانه یکی از رویکردهایی بوده است که مورد توجه محققین در سالیان اخیر بوده است. از طرف دیگر نواقص و ضعف‌های رویکرد نظام نوآوری و ناکافی بودن آن در تحلیل پیچیدگی فرایند نوآوری و توسعه فناوری یکی از محرک‌های ارائه نظریه اکوسیستم (بوم‌سازگان) نوآوری بوده است. با وجود تعدد مطالعات، در هیچ کدام از مقالات ارائه شده یک نظام نوآوری فناورانه خاص از منظر اکوسیستمی مورد نقد قرار نگرفته است. در این مطالعه نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک ایران از منظر اکوسیستمی با استفاده از چارچوب حکمرانی تحول آفرین بوم‌سازگان نوآوری مورد نقد قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد که رویکرد نظام نوآوری فناورانه جزءنگر است، به توسعه فناوری نگاه خطی دارد و قادر به تشخیص چالش‌های فراروی نظام نوآوری نیست و بنابراین قادر به ارائه سیاست‌های موثر نیست. همچنین رویکرد نظام نوآوری فناورانه توجهی به هم‌آفرینی ارزش و تکامل و هم‌تکاملی بازیگران و نظام نوآوری ندارد و به تنوع بازیگران و ارتباط بین آن‌ها بی توجه است. نگاه تک بعدی نظام نوآوری فناورانه توانایی رصد تک مرکزی بودن یا چند مرکزی بودن نظام نوآوری و افزونگی کارکردی نظام را ندارد و با شاخص‌های ناکافی در تشخیص مرحله توسعه نظام دچار خطا می‌شود.

کلیدواژگان: نظام نوآوری فناورانه، فتوولتاییک، رویکرد اکوسیستمی، بوم‌سازگان نوآوری

System or Ecosystem?
A critique on Iran's photovoltaic technological innovation

Mohammad Mahdi Akhlaghi[1, 2], Sepehr Ghazinoory[3*], Ali Shafiei Alavijeh[1]

1- PhD student in S&T Policy, Management and Economics, Tarviat Modares University, Tehran, Iran.
2- Senior Researcher, Foresight and Policy Research Group, Niroo Research Institute, Tehran, Iran.
3- Professor, Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
* P.O.B. 1411511 Tehran, Iran, ghazinoory@modares.ac.ir
Received: 4 June 2023 Accepted: 30 July 2023

Abstract

The importance of innovation and technology development and understanding the complexities of these processes have led numerous researchers to present and develop different theories during the recent years. One of the pervasive and successful theories of the past years in the field of innovation and technology studies is the approach of innovation systems. The shortcomings and weaknesses of the innovation system approach and its inadequacy in analyzing the complexity of the innovation process and technology development became one of the drivers for presenting the theory of innovation ecosystems. Despite the number of studies, in none of the presented articles, a specific technological innovation system was criticized from an ecosystem perspective. In this study, the photovoltaic TIS of Iran is criticized from an ecosystem perspective by using governance changes of innovation ecosystems. According to the results of this study, the approach of the TIS does not provide effective policies to overcome the challenges in innovation systems due to its detailed and linear view of technology development. Also, the approach of TIS does not pay attention to the co-creation of value and the evolution and co-evolution of actors and the innovation system, and it does not pay attention to the diversity of actors and the relationship between them. The one-dimensional view of TIS does not have the ability to monitor the monocentricity or polycentricity of the innovation system and the functional redundancy of the system, and with insufficient indicators, it makes mistakes in identifying the development stage of the system.

Keywords: technological innovation system, photovoltaics, ecosystem approach, innovation ecosystems

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص 4 کریتیو کامنز محفوظ است

1- مقدمه

توسعه فناوری‌ها از طریق همکاری بین ذینفعان مختلف شامل دانشگاه‌ها و موسسات تحقیقاتی، شرکتها و کارخانجات صنعتی و همچنین نهادهای دولتی در یک شبکه پیچیده شکل می‌گیرد. مدیران و سیاستگذاران برای موفقیت این مهم نیاز دارند تا در درجه اول به درک درستی از این شبکه و چگونگی کارکرد آن برسند تا در مراحل بعدی نسبت به تکمیل و اصلاح فرایندها در صورت لزوم اقدام نمایند. محققین و سیاست پژوهان نیز در این مسیر با تدوین مدل‌ها و ارائه تئوری‌های مختلف سعی دارند تا نسبت به شناساندن فضای توسعه نوآوری به سیاستگذار کمک نمایند و در ادامه با استفاده از مدل‌ها و تئوری‌های توسعه یافته نسبت به تدوین سیاست‌های مورد نیاز و آمیزه‌های سیاستی در این حوزه عمل نمایند.[1] از همین رو تئوری‌ها و نظریات مختلفی برای تبیین فضای جاری توسعه علم و فناوری تدوین شده است. نظام نوآوری فناورانه یکی تئوری‌های مطرح شده برای بررسی ساز و کار توسعه فناوری بوده است.

به دلایل متعددی از جمله افزایش آلودگی هوا، تغییرات اقلیمی، افزایش قیمت حامل‌های انرژی و غیره انرژی‌های تجدیدپذیر توجه بسیاری را در سالیان اخیر به خود جلب کردند.[2] از میان انرژی‌های تجدیدپذیر سیستم‌های فتوولتاییک موفق شدند تا سهم زیادی از تولید انرژی در دنیا را کسب کنند.[3] در نتیجه مطالعات بسیاری در زمینه مطالعات مربوط به توسعه فناوری سیستم‌های فتوولتاییک به انجام رسیده است[4]. با وجود تلاش دولت‌ها برای توسعه فناوری‌های فتوولتاییک بسیاری از دولت‌ها در تحقق این امر موفق نشدند، در حالیکه در سال‌های اخیر توسعه فناوری فتوولتاییک باعث شکست شدید قیمت این فناوری شد، به نحوی که با وجود کاهش قیمت نفت و گاز در سال‌های اخیر فتوولتاییک همچنان توان رقابت با سایر فناوری‌های فسیلی تولید توان را داشت. از طرف دیگر تحلیل نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های فتوولتاییک نشان می‌دهد که شرایط برای توسعه این فناوری در این کشور/ها وجود داشته است. از همین رو این سوال پیش می‌آید که چرا این تحلیل‌ها ناکارا بوده‌اند.

در سمت دیگر یکی از تئوری‌هایی که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققین حوزه‌ی سیاستگذاری علم و فناوری و علی الخصوص مدیران و سیاستمداران قرار گرفته است نظریه بوم‌سازگان نوآوری[5] است. بوم‌سازگان نوآوری در سال‌های اخیر در کشور ایران بسیار مورد توجه مدیران قرار گرفته است و در نهادهای مختلف در مورد ایجاد یا توسعه بوم‌سازگان نوآوری بحث و بررسی صورت می‌گیرد. این در حالیست که تا پیش از فراگیر شدن این تئوری، توسعه نظام نوآوری در کشور ایران توسط مدیران و سیاستگذاران مربوطه به صورت فعال پیگیری می‌شد. با توجه به تغییر ادبیات مورد استفاده مدیران و سیاستگذاران- استفاده و تاکید روی توسعه بوم‌سازگان نوآوری به جای نظام نوآوری- در سال‌های اخیر؛ و همچنین کارامد نبودن تحلیل نظام نوآوری فناورانه در زمینه فتوولتاییک سوالی مطرح می‌شود که آیا تغییر ساختار تحلیل از نظام نوآوری به بوم‌سازگان نوآوری سودمند خواهد بود؟ آیا تغییر نگرش سبب تغییر سیاست جدی در زمینه توسعه فناوری به طور خاص در زمینه سیستم‌های فتوولتاییک خواهد شد؟

به دلیل جدید بودن این نظریه، چارچوب‌های نظری آن هنوز کاملا شکل نگرفته است، بنابراین محققین برای تبیین و تطابق مفاهیم حوزه سیاستگذاری علم و فناوری با نظریه بوم‌سازگان نوآوری تلاش کرده‌اند. این مطالعات دو سویه اصلی داشته‌اند: در سویه اول بیشتر در حال تبیین بوم‌سازگان نوآوری بوده‌اند.[6] در این سویه تعریف بوم‌سازگان[7]، بوم‌سازگان کسب و کار و بوم‌سازگان نوآوری[8]، اجزای بوم‌سازگان نوآوری[9]، چرخه عمر بوم‌سازگان نوآوری[10]، ساختار بوم‌سازگان نوآوری [11]، تفاوت‌ها و شباهت‌های بوم‌سازگان کسب و کار و بوم‌سازگان نوآوری[12] مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

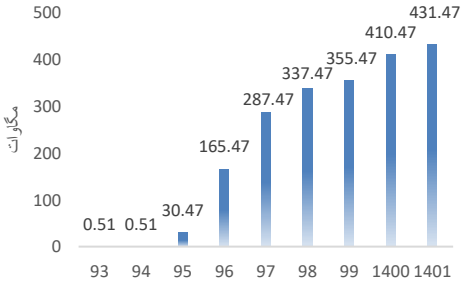
در سویه دوم محققین به مقایسه کلی دو رویکرد نظام نوآوری و بوم‌سازگان نوآوری از دیدگاه‌های مختلف پرداخته و به مقایسه مطالعات موردی نپرداخته اند. آمیترانو و همکاران[13] با بررسی و مقایسه مقالات منتشر شده به مقایسه نوع نگاه و نقش فناوری در این دو رویکرد پرداخته است. باسیس و آرملینی[12] با مرور ادبیات هر دو حوزه شباهت‌ها و تفاوت‌های دو رویکرد را در ادبیات مورد بررسی قرار داده است. ژنگ و کای[14] نیز برای ارزیابی نقش سیاست عمومی در تبدیل نظام‌های نوآوری به بوم‌سازگان‌های نوآوری اقدام به بررسی و مقایسه ادبیات مربوط به هر کدام از این دو نظریه کرده است.

با بررسی صورت گرفته مشخص شده است که نقد یک نظام نوآوری فناورانه مشخص با رویکرد بوم‌سازگان نوآوری فعالیتی است که تاکنون در هیچ کدام از تحقیقات به آن پرداخته نشده است. این نوع تحلیل موجب مقایسه دو رویکرد نظام نوآوری و بوم‌سازگان نوآوری در عمل خواهد شد و از کلی گویی و افتادن در دام نظریه پردازی صرف پرهیز می‌کند و از این طریق موجب بسط و گسترش مفاهیم حول نظریه بوم‌سازگان نوآوری خواهد شد. با در نظر گرفتن موارد فوق، این تحقیق به نقد نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک ایران با رویکرد بوم‌سازگان نوآوری می‌پردازد.

2- روند توسعه فناوری انرژی خورشیدی در ایران

توسعه انرژی خورشیدی در ایران از دهه 40 مورد توجه سیاستمداران ایرانی قرار گرفت اما اولین اتفاق جدی در انتهای دهه 60 در کشور به وقوع پیوست. وزارت پست و تلگراف و تلفن(بعدا به وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات تغییر نام یافت) به برق رسانی به برخی از ایستگاه‌های خود در مناطق دورافتاده نیاز داشت و شبکه برق به صورت گسترده در کشور توسعه نیافته بود. از طرفی طبق برنامه‌های جاری و آتی وزارت نیرو، قرار نبود شبکه برق کشور به صورت گسترده توسعه یابد و برق‌رسانی به تمامی مناطق دورافتاده انجام پذیرد. با همین رویکرد مقرر شد تا با ایجاد یک کارخانه تولید پنل فتوولتاییک، نیاز وزارت پست و تلگراف و تلفن رفع شود. به همین منظور برنامه جامعی تدوین شد که در مرحله اول خط تولید پنل فتوولتاییک وارد می‌شد و با انجام تحقیقات در مراحل بعدی کل زنجیره ارزش فتوولتاییک در ایران ایجاد می‌شد. مدتی پس از احداث کارخانه هدایت نور یزد (توسط وزارت پست و تلگراف و تلفن و واردات) و واردات خط تولید پنل به ظرفیت 3 مگاوات سالانه و شکل گیری هسته‌ی اولیه تحقیق و توسعه آن، با تدوین برنامه توسعه‌ای جدید وزارت نیرو مبنی بر توسعه شبکه خطوط برق، برقرسانی به تمامی مناطق دورافتاده در دستور کار قرار گرفت و با توجه به هزینه بالای تامین برق توسط انرژی خورشیدی در آن زمان عملا کارخانه هدایت نور یزد بازار اصلی خود را از دست داد. نبود بازار کافی برای پنل خورشیدی در کشورهای منطقه به دلیل قیمت بالای آن در آن زمان و همچنین مشکلات دیگر از قبیل نبود آزمایشگاه‌ها و استانداردهای کافی کارخانه هدایت نور برشکسته شد و تا سالها صرفا با فروش پنل‌های تولید شده در سال‌های اولیه احداث به کار خود ادامه داد.

تشکیل دفتر انرژی‌های نو در سازمان انرژی اتمی در ابتدای دهه 70 و احداث نیروگاه‌های کوچک مقیاس انرژی خورشیدی قدم بعدی توسعه انرژی خورشیدی در ایران بود. این فعالیت‌ها منجر به تشکیل سازمان انرژی‌های نو ایران در سال 1374 در وزارت نیرو شد. تلاش‌ها برای ایجاد پایلوت در حوزه‌های مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در این دوران از طرف نهادهای مختلف از جمله سانا و سازمان بهینه سازی مصرف سوخت در جریان بود. در همین دوران تشکیل ستاد توسعه فناوری انرژی‌های نو زیر نظر معاونت علمی فناوری ریاست جمهوری قدم مهم بعدی بود. دفتر این ستاد در سانا به فعالیت خود ادامه می‌داد و حمایت از تحقیقات، ایجاد آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و ساخت پایلوت از فعالیت‌های عمده سانا و ستاد توسعه فناوری انرژی‌های نو بود. تنها آزمایشگاه تحقیقاتی در زمینه سلول‌های فتوولتاییک سیلیکونی در دانشگاه تهران در همین دوران راه‌اندازی شد و هسته اولیه تشکیل دهنده آن همان افرادی بودند که در ابتدای دهه 70 در حوزه تحقیق و توسعه و پشتیبانی از شرکت هدایت نور یزد فعالیت می‌کردند. تدوین قوانین حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر، تدوین اسناد توسعه فناوری این حوزه با رویکرد تحلیل نظام نوآوری فناورانه فناوری‌های مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در پژوهشگاه نیرو، برق رسانی به برخی از روستاها با استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی، تشکیل انجمن‌های علمی از جمله انجمن علمی انرژی خورشیدی و تشکیل انجمن صنفی انرژی خورشیدی ذیل اتاق بازرگانی ایران، ایجاد رشته‌های دانشگاهی در این حوزه، برگزاری کنفرانس‌ها و همایش‌ها و در نهایت احداث اولین نیروگاه مگاواتی انرژی خورشیدی همه از فعالیت‌های این دوره تقریبا 20 ساله بودند.



شکل 1 ظرفیت تجمیعی نیروگاه‌های فتوولتاییک در ایران

تشکیل سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی ایران(ساتبا) که حاصل ادغام دو سازمان انرژی‌های نو ایران(سانا) و سازمان بهره‌وری انرژی ایران(سابا) بود در سال 94 و تغییر در ساختار بودجه‌ی مربوط به عوارض برق و اجرایی شدن خرید تضمینی برق حاصل از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال 94 باعث شد تا ظرفیت نصب شده انرژی خورشیدی از نیم مگاوات در سال 94 به 431 مگاوات در انتهای آذر ماه 1401 برسد.(**Error! Reference source not found.**)

3- نظام نوآوری فناورانه

مطالعات سیاستگذاری به منظور توسعه فناوری و نوآوری، از دهه 1950 با ارائه نظریات حول نوآوری توسط شومپیتر آغاز شده است و در پاسخ به سوالاتی پیرامون چگونگی توسعه فناوری، بررسی روند توسعه فناوری و میزان موفقیت کشورها در توسعه نوآوری و فناوری برآمده است. در طول 70 سال نظریه‌های متعددی در این حوزه ارائه شده‌اند و مطالعات متعددی پیرامون هرکدام از این نظریه‌ها انجام شده است. یکی از این نظریه‌ها نظام نوآوری فناورانه است که در سال 1991 متولد شد. نظام نوآوری فناورانه در تعریف کارلسون به این صورت است: "شبکه‌ی پویای متشکل از بازیگران و نهادهای تاثیرگذار در یک منطقه‌ی خاص اقتصادی یا صنعتی است که تحت مجموعه‌ی زیرساخت‌های نهادی در فرایندهای تولید، انتشار و بهره‌برداری فناوری در تعامل با یکدیگرند." در واقع این نظریه با رویکرد سیستمی به تغییرات فناورانه می‌نگرد و سعی در تحلیل فرایندهای حول آن دارد. اما همواره در باب کارایی این نظریه بحث و نظر در گرفته است و در سال‌های ابتدایی مطرح شدن آن زیاد مودر توجه عموم محققین قرار نگرفت. محققین با درک ناکافی بودن این نظریه سعی در تکمیل آن داشتند. فلذا محققین در مطالعات خود([15]، [16]) با طرح کارکردهای نظام نوآوری فناورانه و پویایی درونی نظام سعی در تکمیل آن داشتند.

4- بوم‌سازگان نوآوری

برخلاف نظریات نظام‌های نوآوری که سرمنشا آن تئوری‌های اقتصادی و مطالعات اقتصاد بوده است، ادبیات بوم‌سازگان نوآوری از ادبیات مربوط به مدیریت کسب و کار شروع شد و به مرور توسعه پیدا کرد. اولین بار مور [17] در سال 1993 بوم سازگان کسب و کار را مطرح کرد. در سال 2006، آدنر [5] با وام گرفتن از مور، بوم سازگان نوآوری را با تاکید بر آفرینش و هم‌آفرینی ارزش مطرح کرد و پس از آن بود که مطالعات زیادی پیرامون تئوریزه کردن و بسط و گسترش این مفهوم انجام شد. به دلیل همین پیشینه محققین بسیاری برای تبیین کردن این مفهوم به روش‌های مختلفی روی آورده‌اند. برخی سعی در تبیین مفاهیم ایجاد شده حاصل از زیستی کردن مفهومی نظام نوآوری(افزودن پیشوند eco به innovation system) نموده‌اند[18]. برخی دیگر به تبیین تفاوت‌های بین دو مفهوم نظام نوآوری و بوم‌سازگان نوآوری پرداخته‌اند[19]. برخی دیگر سعی در شرح اجزا و ساختار و سایر خصوصیات یک بوم‌سازگان نوآوری پرداخته‌اند[20]. با بررسی‌های صورت گرفته می‌توان گفت در رویکرد بوم سازگان نوآوری توجه به مفاهیمی همچون تکامل/هم‌تکاملی، توجه بیشتر به روابط بین بازیگران و انواع بازیگران، خود سامان بخش بودن نظام، بازار محور بودن، توجه به پیچیدگی فرایند نوآوری و توسعه فناوری و عدم نگاه خطی به این فرایندها، توجه به نوآوری باز و توجه بیشتر به سمت تقاضای نوآوری مورد تاکید قرار می‌گیرد.

5- بررسی نظام توسعه فناوری فتوولتاییک در ایران

5-1- بررسی مطالعات صورت گرفته

مطالعات متعددی در زمینه بررسی نظام توسعه نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران انجام شده است. اسماعیل‌زاده و همکارن[21] با بررسی نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران به تحلیل کارکردی نظام نوآوری فناورانه در کشورهای درحال توسعه پرداخته‌اند. مطالعه رحیمی راد و همکاران[22] به تبیین نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران پرداخته است و پس از شناسایی اجزای نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران، وضعیت شکل‌گیری و توسعه موتورهای فناوری را در ایران(از سال 1350 تا 1396) تبیین کرده‌اند. سعدآبادی و همکاران [23] در مطالعات بعدی با تدوین موتور فناوری در دوران بعدی که سالهای 2017(1396) تا کنون را شامل می‌شود، این دوران را دوران افول نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک معرفی میکنند. به عقیده‌ی محققین در دوران چهارم با تشدید تحریم‌ها به دلیل عدم سرمایه گذاری خارجی و تشدید مشکلات همکاری بین المللی در توسعه فناوری نظام

نوآوری فناورانه شکست می‌خورد. همچنین از دیگر دلایل شکست را عدم تخصیص منابع مربوط به خرید تضمینی برق به ساتبا برمی‌شمرند. رحیمی‌راد و همکاران [24] در مطالعه بعدی دلایل سقوط نظام نوآوری فناورانه را بررسی کرده اند و مجددا با تاکید بر اینکه تحریم‌ها منشا تضعیف دو کارکرد توسعه دانش و فعالیت های کارآفرینانه بوده است، شکست نظام نوآوری را نتیجه تضعیف این دو کارکرد دانسته‌اند. در سال 1394 سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه‌ی فناوری‌های مرتبط با انرژی خورشیدی در ایران به سفارش وزارت نیرو در پژوهشگاه نیرو تدوین شد.[25] این سند به طور کلی به تمامی فناوری‌های مرتبط با انرژی خورشیدی پرداخته است. طبق مطلالعات صورت گرفته در پژوهشگاه نیرو نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران در مرحله رشد و توسعه قرار دارد و موتور فعال نظام نوآوری در این مرحله موتور محرک کارآفرینی است.

دهقان اشکذری و همکاران[26] به طور خاص به بررسی و ارزیابی اثر تحریم‌های بین المللی بر روی نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران پرداخته‌اند. در این مطالعه پیشبرد کارکردهای نظام نوآوری به جز دو کارکرد بازارسازی و بسیج منابع در شرایط تحریم خوب ارزیابی شده است. ایجاد موانع بر سر راه مبادلات مالی و ناتوانی در جذب منابع بین المللی در اثر تحریم‌ها چالش اصلی کارکرد ایجاد بازار معرفی شده است. در یکی از مطالعات صورت گرفته [27] نقش عوامل تاثیرگذار در توسعه نظام نوآوری بررسی شده است. در این مطالعه تحریم‌های اقتصادی، هدفمندی یارانه‌ها و عوامل جغرافیایی عواملی با تاثیر کم روی توسعه نظام نوآوری ارزیابی شده‌اند. به دلیل درون زا بودن نظام توسعه نوآوری در ایران، نقش تحریم‌های اقتصادی کم ارزیابی شده است. چرخه‌های رشد و رکودی اقتصاد و قیمت نفت در کشورهای دارای منابع نفت و گاز تاثیر زیادی روی نظام نوآوری دارد که سبب تاثیر در میزان سرمایه گذاری در حوزه انرژی خورشیدی است. رحیمی راد و همکاران[28] با بررسی نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک با رویکرد چند سطحی موانع اجتماعی-فنی گذار فناورانه به سیستم‌های خورشیدی را بررسی کرده‌اند. در این مطالعه موانع گذار در 4 دسته اقتصادی، نهادی، سیاسی و فنی شناسایی شده‌اند. موانع اصلی بر کارکردهای تخصیص منابع، مشروعیت بخشی و جهت دهی اثرگذار بوده‌اند. به همین جهت سیاست‌های پیشنهادی برای گذار فناوارنه به سیستم‌های خورشیدی در راستای تقویت این 3 کارکرد بوده است.

5-2- جمع بندی مطالعات نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک ایران

تمامی مطالعات صورت گرفته به جز یک مطالعه(اسماعیل زاده و همکاران[27]) روی این موضوع تاکید دارند که نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران از مرحله پیش توسعه عبور کرده است. از این بین دو مطالعه اذعان داشته‌اند که پس از آن دچار افول شده است. سایر مطالعات به صورت تلویحی این موضوع را تایید نموده‌اند. درواقع با توجه به موتورهای نوآوری معرفی شده [29]در مرحله پیش توسعه یک نظام نوآوری فناورانه کارکردهای توسعه و انتشار دانش، تامین منابع و جهت دهی در توسعه نوآوری تاثیر گذارند و سایر کارکردها فعال نیستند یا فعالیت اثر بخش ندارند. در مطالعات اسماعیل‌زاده و همکاران[21]، اشکذری و همکاران[26] و رحیمی راد و همکاران[28] تمامی کارکردهای نظام نوآوری بررسی شده و ضعف یا قوت آن‌ها بررسی شده‌است. سند توسعه فناوری انرژی خورشیدی که در بین مطالعات بررسی شده از نظر زمانی زودتر انجام شده است تصریح می‌کند که نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در سال 94 در مرحله توسعه قرار دارد. 3 مطالعه([22]، [23]و[24]) به صورت صریح تایید می‌کنند که نظام نوآوری فناورانه تا سال 96 در مرحله سرعت گیری قرار دارد و دو مطالعه ([23]و[24]) تایید می‌کنند که پس از سال 1397 نظام نوآوری دچار افول در مرحله سرعت‌گیری شده‌است.

همانطور که در جدول 1 مشاهده می‌شود از بین مطالعات انجام شده سند توسعه فناوری انرژی خورشیدی تمامی کارکردهای نظام نوآوری را دچار ضعف می‌داند. در بین مطالعات پس از آن 4 مطالعه ([21]، [22]، [23]و[24]) کارکرد کارآفرینی را دچار ضعف می‌دانند. از نظر 3 مطالعه ([21]، [26] و [28]) کارکرد جهت دهی ضعیف ارزیابی شده است و پس از آن کارکردهای توسعه دانش(2 مطالعه) کارکرد تامین منابع و کارکرد مشروعیت بخشی و انتقال دانش (هرکدام یک مطالعه) ضعیف ارزیابی شده‌اند.

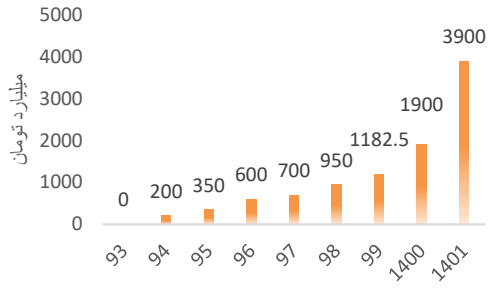
جدول 1- جمع بندی ضعف‌های کارکردی نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک از منظر مطالعات صورت گرفته

	کارآفرینی	توسعه دانش	جهت دهی	سایر کارکردها
اسماعیل‌زاده و همکاران[21]	✓	×	✓	انتقال دانش
رحیمی راد و همکاران[22]	✓	×	×	-
سعدآبادی و همکاران[23]	✓	✓	×	-
رحیمی راد و همکاران[24]	✓	✓	×	-
اشکذری و همکاران[26]	×	×	✓	توسعه بازار
اسماعیل‌زاده و همکاران[27]	عدم ارزیابی کارکردها			
رحیمی راد و همکاران[28]	×	×	✓	تامین منابع مشروعیت بخشی
سند توسعه فناوری انرژی خورشیدی[25]	✓	✓	✓	توسعه و انتشار دانش، توسعه بازار

همانطور که در جدول 2 مشاهده می‌شود از میان مطالعات صورت گرفته 4 مطالعه چالش پیش روی نظام نوآوری را عدم همکاری بین المللی عنوان کرده‌اند، پس از آن عدم تامین منابع، تحریم‌های بین المللی و عدم سرمایه‌گذاری خارجی(هرکدام توسط 3 مطالعه) به عنوان چالش عدم توسعه نظام نوآوری معرفی شده‌اند. تنها یک مطالعه اثر تحریم‌ها و عدم سرمایه‌گذاری خارجی را در توسعه نظام نوآوری بی اثر قلمداد کرده است. پس از آن چالش‌های عدم تبدیل دانش به محصول، خرید تضمینی ریالی و تغییرات نرخ ارز، رشد و رکودهای اقتصاد، قفل شدگی کربنی به عنوان موانع توسعه نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک معرفی شده‌اند.

با همین رویکرد سیاست‌های پیشنهادی مطالعات عمدتا معطوف به تقویت کارکردهای ضعیف و یا غلبه بر چالش‌ها و موانع توسعه نظام نوآوری بوده‌است.

سیاست‌های ارائه شده عمدتا معطوف به تقویت همکاری بین‌المللی، ارائه مشوق‌های مالیاتی، افزایش قیمت برق فسیلی، توسعه بازار خرید تضمینی برق و کاهش عوارض گمرکی تجهیزات عنوان شده است.



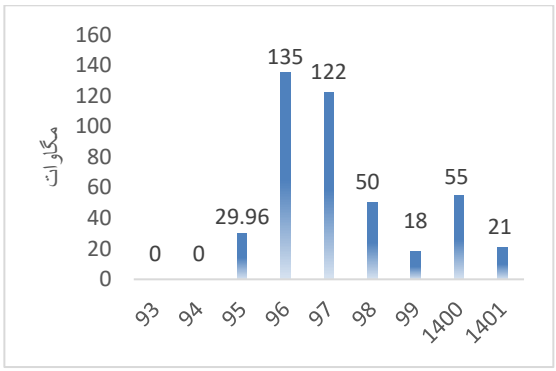
شکل 2 بودجه سالانه خرید تضمینی برق تجدیدپذیر در ایران

جدول 2 چالش‌های پیش روی نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک از منظر مطالعات صورت گرفته

	تحریم و عدم سرمایه گذاری خارجی	عدم همکاری بین‌المللی	عدم تامین منابع	سایر چالش‌ها
اسماعیل‌زاده و همکاران[21]	-	-	✓	عدم تبدیل دانش به محصول
رحیمی راد و همکاران[22]	-	-	-	-
سعدآبادی و همکاران[23]	✓	✓	✓	-
رحیمی راد و همکاران[24]	✓	✓	-	خرید تضمینی ریالی برق
اشکذری و همکاران[26]	✓	✓	✓	-
اسماعیل‌زاده و همکاران[27]	کم اثر	✓	✓	رشد و رکود اقتصادی
رحیمی راد و همکاران[28]	-	-	-	موانع متعدد فنی، سیاسی، نهادی و اقتصادی ناشی از قفل شدگی کربنی
سند توسعه فناوری انرژی خورشیدی[25]	✓	-	✓	عدم تبدیل دانش به محصول عدم وجود بازار مناسب عدم وجود قوانین کافی

طبق اطلاعات آژانس بین المللی انرژی‌های تجدیدپذیر[30] هزینه نصب و احداث نیروگاه‌های خورشیدی از سال 2016 تا کنون بیش از 50 درصد کاهش داشته است. همچنین بر خلاف ادعای مطرح شده مبنی بر عدم تخصیص منابع مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر، منابع مربوطه سالانه افزایش یافته است. (**Error! Reference source not found.**) اما چرا با وجود شکل گ یری حلقه‌های نظام نوآوری فناورانه تا سال 1396، شکل‌گیری بازار، اقدامات جهت دهی، بازیگران متعدد، شبکه ها و غیره و همچنین کاهش قیمت جهانی سیستم‌های فتوولتاییک هیچگاه ظرفیت احداث سالانه انرژی خورشیدی در ایران از 120 مگاوات فراتر نرفت؟(**شکل 3**) این سوالی است که نظریه نظام نوآوری فناورانه قادر به پاسخگویی آن نیست.

در واقع برخلاف ادعای محققین، مبنی بر رشد و توسعه نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک، پس از گذشت سالیان طولانی و هزینه کردهای زیاد در توسعه و انتقال دانش، ایجاد بازار، شکل گیری قوانین بالادستی متعدد، مطالعات متاخر بر عدم شکل گیری دانش و تبدیل دانش به محصول اذعان داشتند اما راهکارهای پیشنهادی مستخرج از رویکرد نظام نوآوری فناورانه برای حل این مشکل مجددا همان راه حل‌هایی بوده است که پیش از آن ارائه شده، اجرا شده و در نهایت ناکارآمدی آن‌ها اثبات شده است. همچنین دلایلی که این رویکرد برای افول یا عدم توسعه نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران ارائه کرده‌اند با اهداف اصلی توسعه نظام نوآوری فناورانه متناقض است.



شکل 3 ظرفیت نصب شده سالانه نیروگاه‌های فتوولتاییک در ایران

6- نقد نظام نوآوری فناورانه با مدل حکمرانی تحول آفرین بوم‌سازگان نوآوری

برای نقد با رویکرد بوم‌سازگان نوآوری نیاز است تا چارچوبی برای نقد و بررسی انتخاب شود. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته مدل مبنای پایش بوم‌سازگان نوآوری، مدل حکمرانی تحول آفرین بوم‌سازگان نوآوری ارائه شده توسط کونولا و همکاران[31] است. کونولا و همکاران در مطالعه خود برای حکمرانی تحول آفرین بوم‌سازگان نوآوری ساختاری را طراحی کرده‌اند و به بررسی و پایش 5 عنصر کلیدی در مراحل چرخه عمر بوم سازگان پرداخته است. دلیل انتخاب این مدل برای نقد نظام نوآوری فناورانه، جامع بودن مدل است. در واقع در این مدل تمامی مفاهیم کلیدی و مهم در نظریات بوم‌سازگان نوآوری مورد توجه قرار گرفته است. عبارتند از جهت دهی، تنوع، ارتباط بین بازیگران، چند مرکزی بودن و افزونگی کارکردی. در مطالعه کونولا و همکاران چرخه عمر یک بوم سازگان شامل 3 مرحله تولد، توسعه و بلوغ است.

6-1- جهت دهی

برای جهت دهی بوم‌سازگان نوآوری باید بازیگران مختلف را حول یک بیانیه ارزش مشترک شکل داد. ایجاد چشم انداز مشترک بین بازیگران بوم‌سازگان موجب همراستایی فعالیت‌ها و تکامل بوم‌سازگان می‌شود. گزاره ارزش آفرین

ارائه شده توسط دولت برای جهت دهی بوم‌سازگان نوآوری فتوولتاییک ایجاد حدود 5000 مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر در کشور بوده است. درواقع چشم انداز برنامه 5 ساله ششم توسعه[32] احداث 4966 مگاوات(معادل 5 درصد ظرفیت برق کشور) نیروگاه تجدیدپذیر(بجز برقآبی) است که طبق اذعان وزرای نیرو و ریاست وقت سازمان ساتبا منظور از نیروگاه‌های تجدیدپذیراین ظرفیت مربوط به احداث نیروگاه‌های بادی و خورشیدی است و عملکرد مربوطه مطابق گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس این نکته را تایید می‌کند. همچنین طبق اعلام ریاست وقت سازمان ساتبا این ظرفیت به طور مساوی بین انرژی و خورشیدی تقسیم خواهد شد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت چشم‌انداز حوزه انرژی خورشیدی احداث حدود 2500 مگاوات انرژی خورشیدی بوده است که گاهی در اسناد توسعه این گزاره ارزش بدون توجه به جایگاه نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در بوم‌سازگان نوآوری نیرو و همچنین عدم توجه به جایگاه آن در بوم‌سازگان جهانی فتوولتاییک بوده است. از آنجایی که در مراحل اولیه تولد و رشد یک نظام نوآوری فناورانه نیاز است تا بازار محافظت شده‌ای ایجاد شود، دولت برای کمک به رشد نظام نوآوری فناورانه در یک محیط حفاظت شده در برابر سایر نظام‌های نوآوری فناورانه بالغ در بوم‌سازگان نوآوری نیرو سیاست خرید تضمینی برق تجدیدپذیر را از سال 1394 پیاده‌سازی کرد اما به دلیل توجه نکردن به جایگاه نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در بوم‌سازگان جهانی در آن سال، بوم‌سازگان نوآوری صنعتی فتوولتاییک چین توانست این بازار را تصاحب کند و عملا سیاست‌های بازار به گونه‌ای نبود که بتواند از شرکت‌های نوآور و صنعتی داخلی در برابر شرکت‌های خارجی محافظت کند. همچنین با افزایش ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های خورشیدی دانشی به کشور منتقل نشده است.

همچنین ایجاد 2500 مگاوات نیروگاه خورشیدی ارزشی نیست که نیاز به همکاری بالایی بین بازیگران بوم‌سازگان داشته باشد و از طریق هم‌آفرینی ارزش ایجاد نمی‌شود و در نتیجه منجر به تکامل و رشد و توسعه نظام نوآوری نمی‌شود. در همین راستا سیاست‌های تعدیل کننده به نفع نظام نوآوری فناورانه داخلی اعمال شد ولی کافی نبود. اعمال تعرفه گمرکی برای واردات تجهیزات و اعمال پاداش خرید تضمینی برای نیروگاه‌هایی که از تجهیزات تولید داخل استفاده کنند سیاست‌های تعدیل کننده‌ی بعدی بودند. به دلیل محدودیت منابع مالی عملا بازار خرید تضمینی در سال 1401 به پایان خود رسید و برای رسیدن به ظرفیت 2500 مگاوات درج شده در اسناد بالادستی مناقصات احداث نیروگاه فتوولتاییک برگزار شد.

گزاره ارزش آفرین مطلوب برای توسعه نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک توانمندی تولید محصولاتی با فناوری روز دنیا و همچنین توانایی در تامین نیازهای داخلی است. همچنین ایجاد بازار با رویکرد گزاره ارزش آفرین فوق و به کمک برگزاری مناقصات سالانه و چند مرحله‌ای با شرط تامین تمام یا قسمتی از تجهیزات توسط شرکت‌های داخلی است. بازار ایجاد شده را باید به چشم یک بازیگر بوم‌سازگان دید که خود تکامل می‌یابد و در برخورد با سایر بازیگران بوم‌سازگان موجب هم‌تکاملی خود و باقی بازیگران می‌شود.

رویکرد نظام نوآوری فناورانه توجهی به هم‌آفرینی ارزش ندارد بنابراین صرفا وجود یک چشم‌انداز به عنوان سیاستی برای تقویت کارکرد جهت‌دهی نظام نوآوری عنوان شده است. از منظر نظام نوآوری شکل‌گیری نهادهای سخت یکی از شاخص‌های ارزیابی توسعه نظام نوآوری است و به همین ترتیب وجود برخی قوانین مانند قانون هدفمندی یارانه‌ها و قانون اصلاح الگوی مصرف به عنوان سیاست‌های تقویت کارکردهای مختلف از جمله کارکرد جهت‌دهی، ایجاد بازار و مشروعیت بخشی تلقی شده است.

6-2- تنوع

در حوزه تحقیقات فتوولتاییک سیلیکونی از ابتدای دهه 70 تا کنون تنها بازیگر اصلی دانشگاه تهران بوده است. شرکت‌ها و صنایع تولید کننده داخلی در سال‌های اخیر توسعه پیدا کرده اند و تاکنون بیش از 6 شرکت تولید کننده داخلی وجود دارد که همگی ظرفیت‌های ناچیزی دارند و مخصوصا پس از رشد فناوری در این حوزه در 6 سال گذشته فناوری مورد استفاده آن‌ها چندین نسل از فناوری روز دنیا عقب‌تر است. شرکت‌های نصب کننده‌ی زیادی در سال‌های اخیر در کشور شکل گرفته‌اند. ظرفیت نصب شده داخلی توسط چندین شرکت مختلف داخلی انجام شده است. بازیگر اصلی این حوزه ساتبا است که به شکل دهی بازار در سال‌های اخیر پرداخته است. سایر سازمان‌های و نهادها مانند شرکت‌های توزیع، برق منطقه‌ای، گمرک و غیره در موارد محدودی در این حوزه به فعالیت می‌پردازند اما فعالیت آن‌ها مداوم نیست. با این اوصاف می‌توان گفت از منظر بوم‌سازگان نوآوری، نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک یک بازیگر رهبر دارد(ساتبا). بازیگر غالبی در این نظام نوآوری وجود ندارد. یک بازیگر خبره که به پشتیبانی ارزش می‌پردازد در این بوم‌سازگان وجود دارد(دانشگاه تهران). وزارت نیرو بازیگر حامی این بوم‌سازگان است که به تامین منابع مالی می‌پردازد و بازیگران متعدد تامین کننده که به واردات و نصب و احداث نیروگاه می‌پردازند. همچنین بازیگر کنامی در بوم‌سازگان وجود ندارد.

ایجاد بازار حول چند بازیگر غالب، کمک به ایجاد بازیگران کنام و بازیگران کارآفرین از طریق ایجاد پارک‌های فناوری و صنعتی حول بازیگران غالب و همچنین ایجاد بازیگر مبارز، بازیگر هماهنگ کننده موجب شکل گیری بوم‌سازگان نوآوری فتوولتاییک خواهد شد. تاکنون بازیگران کاربر نقشی در نظام نوآوری فناورانه نداشته اند فلذا سیاست‌های اعمالی باید به برقراری رابطه بین کاربران و سایر اجزا بوم‌سازگان کمک کند. ایجاد چندین بازار با ابزارهای مختلف موجب تنوع و برقراری رابطه بین بازیگران مختلف خواهد شد. سیاست‌های به کارگرفته شده تا کنون با هدف ایجاد و حفاظت گلخانه‌ای از بوم‌سازگان اعمال شده است اما منجر به رشد بوم‌سازگان نشده است. تنوع کم بازیگران در این حوزه موجب شده است تا نظام نوآوری بوم‌سازگان نوآوری صنعتی فتوولتاییک چین بازیگر غالب این بوم‌سازگان شود و موجب مرگ گلخانه نوآوری فتوولتاییک ایران شود.

رویکرد نظام نوآوری فناورانه به تنوع بازیگران توجهی ندارد و صرفا افزایش تعداد بازیگران را به عنوان توسعه نظام نوآوری فناورانه تلقی می‌کند. در واقع تعداد بازیگران نظام نوآوری فارغ از تنوع و نقششان یکی از شاخص‌های ارزیابی توسعه نظام نوآوری فناورانه است و در مطالعات صورت گرفته بر این نکته تاکید می‌شود که بازیگران زیادی در نظام نوآوری حضور دارند. هرچند در مطالعات صورت گرفته بر این نکته تاکید می‌شود که نظام نوآوری بر پایه واردات شکل گرفته است و شرکت‌های فعال عمدتا به واردات محصولات رو آورده‌اند اما رویکرد نظام نوآوری فناورانه قادر به تبیین دلایل این مشکل نیست کما اینکه سیاست‌های پیشنهادی هیچ‌کدام معطوف به حل مشکل نیستند. عمدتا انجام تحقیق و توسعه دانشگاهی، حمایت از تحقیقات، توسعه آزمایشگاه‌ها، تقویت همکاری‌های تحقیقاتی بین‌المللی، تقویت نیروی انسانی و غیره در راستای

تقویت کارکرد توسعه دانش پیشنهاد شده است. علاوه بر این این مسئله نشان می‌دهد که رویکرد نظام نوآوری فناوارنه به توسعه فناوری رویکرد خطی است.

رحیمی راد و همکاران[22] عنوان می‌کنند که تکرار بیشتر حلقه‌های پویایی درونی نظام نوآورانه موجب افزوده شدن بازیگران با نرخ فزاینده و متعاقبا همراهی تمامی بازیگران بخش عرضه و تقاضا می‌شود و در نتیجه تداوم این توالی یادگیری اتفاق می‌افتد و موجب بهبود ماهیت فناوری می‌شود. در دو مطالعه بعدی این تیم تحقیقاتی در سال 2022 محققین همچنان اذعان داشته‌اند که یادگیری رخ نداده و ماهیت فناوری تغییری نکرده است و از آنجایی که رویکرد نظام نوآوری فناوارنه قادر به تبیین علت این مشکل نیست، دلایل دیگری مانند تحریم به عنوان مانع اصلی توسعه نظام نوآوری عنوان می‌شود. این در حالیست که اسماعیل‌زاده و همکاران[27] اثر تحریم را در عدم توسعه نظام نوآوری ناچیز می‌داند و دهقان اشکذری و همکاران[26] تحریم‌ها را چالش اصلی کارکرد ایجاد بازار به دلیل ایجاد موانع بر سر راه مبادلات مالی و ناتوانی در جذب منابع بین المللی می‌داند و پیشبرد کارکردهای نظام نوآوری به جز دو کارکرد بازارسازی و بسیج منابع را در شرایط تحریم خوب ارزیابی می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت به دلیل عدم توانایی رویکرد نظام نوآوری در تبیین علت واردات محور بودن بازیگران و نگاه تک بعدی به بازیگران نظام نوآوری و نگاه خطی به توسعه فناوری عمدتا چالش‌های عدم توسعه نظام نوآوری معرفی شده معطوف به موضوع اصلی نیست.

6-3- ارتباط بین بازیگران

در نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران روابط محدود، ساده و بعضا یک طرفه‌ای بین بازیگران حاضر وجود دارد. وزارت نیرو به عنوان تامین کننده منابع را در اختیار ساتبا قرار می‌دهد، ساتبا منابع را از طریق ساز و کار بازار در اختیار شرکت‌های احداث کننده قرار می‌دهد و برق تولیدی آن‌ها به شرکت‌های توزیع تحویل داده می‌شود. همچنین در سال‌های اخیر منابعی برای انجام تحقیقات از طریق ساتبا در اختیار دانشگاه تهران قرار داده شده است و این منابع اکنون قطع شده است. دانشگاه تهران برای انجام تحقیقات منابعی را از سایر نهادها مانند معاونت علمی تحقیقاتی ریاست جمهوری دریافت کرده است که هم اکنون دیگر پرداخت نمی‌شود. در واقع ارتباط بین صنعت و دانشگاه به طور کلی قطع است. داده‌های مربوط به حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر به طور کامل در اختیار بازیگران مختلف قرار نمی‌گیرد.

از منظر بوم سازگان نوآوری بازیگران را می‌توان در چارچوب هسته-پیرامون 3 سطحی تقسیم بندی کرد. در این تقسیم بندی در حال حاضر در لایه مرکزی که هسته بوم‌سازگان است فقط ساتبا و وزارت نیرو حضور دارد و سایر بازیگران شامل شرکت‌های صنعتی غیر فعال هستند. در لایه دوم که دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی، شرکت‌های توزیع، بورس انرژی و مصرف کنندگان صنعتی قرار دارند فقط شرکت‌های توزیع فعال هستند و در لایه آخر که سندیکاهای صنعت برق، شرکت‌های نصب کننده و احداث کننده، تامین کنندگان مالی، انجمن‌های علمی و صنفی قرار دارند شرکت‌های EPC و انجمن‌های علمی فعالیت دارند و سایر بازیگران فعال نشده‌اند. از همین رو در کنار سیاست‌های توسعه بازارهای چندگانه و موازی، ایجاد پارک‌های علم و فناوری حول شرکت‌های صنعتی و برقراری رابطه بین صنعت و دانشگاه و همچنین ایجاد پلتفرم تجدیدپذیر برای ایجاد جریان داده و تسهیل برقراری رابطه بین بازیگران مختلف موجب فعالیت و برقراری رابطه بین بازیگران در سطوح مختلف خواهد شد.

رویکرد نظام نوآوری فناورانه به ارتباط بین بازیگران هیچ توجهی ندارد و صرف وجود تعدادی بازیگر و شکل‌گیری نهادهای نرم و سخت را موجب توسعه نظام نوآوری می‌داند. دو رویکرد برای ارزیابی نظام نوآوری وجود دارد، رویکرد کارکرد محور که بررسی کارکردهای نظام نوآوری فناورانه می‌پردازد و پویایی درونی کارکردها را بررسی می‌کند؛ رویکرد نهادمحور که بررسی نهادهای موجود و شدت و ضعف نهادها و اثرگذاری آن‌ها بر توسعه نظام نوآوری می‌پردازد. در هیچ کدام از رویکردهای ارزیابی یا تبیین نظام نوآوری فناورانه ارزیابی ارتباط بین بازیگران مختلف مورد توجه قرار نمی‌گیرد. این در حالیست که در رویکرد بوم‌سازگان نوآوری با رصد جریان های مالی، دانشی و ایده/محصول روابط بین بازیگران و نوع رابطه بین آن‌ها(همکاری، رقابت، تکامل/هم‌تکاملی) می‌توان کارکرد واقعی و پویایی بوم‌سازگان را ارزیابی کرد. درواقع نگاه رویکرد نظام نوآوری به بازیگران مکانیکی و ایستا است، در واقع سیاست‌هایی پیشنهادی برای توسعه نظام نوآوری معطوف به تقویت کارکردها و نهایتا تقویت پویایی بین کارکردهاست و پویایی بین بازیگران در این بین مغفول مانده است .

6-4- چند مرکزی بودن

نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک ایران در تمامی مراحل متکی به یک بازیگر بازارساز و یک سیاست اصلی حمایتی بوده است. از سال 1394 تا 1401 سیاست خرید تضمینی برق توسط ساتبا و از 1401 سیاست برگزاری مناقصه احداث 2000 مگاوات انرژی خورشیدی توسط ساتبا دنبال شده است. چند مرکز بودن موجب تقویت پایه‌های نظام نوآوری فناوارنه می‌شود. ایجاد بازار حول مصرف کنندگان صنعتی و همچنین سیاست صادرات برق حاصله از انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار خرید تضمینی برق و برگزاری مناقصه توسط ساتبا موجب چندمرکز شدن نظام نوآوری فناورانه خواهد شد. حتی در حوزه‌ی تحقیقات نیز نظام نوآوری فناورانه تک مرکزی است. در واقع حتی در صورت حمایت مالی یا توسعه نظام نوآوری جریان دانشی ورودی به بوم سازگان نیاز بوم‌سازگان را برطرف نخواهد کرد و موجب ناپایداری بوم‌سازگان می‌شود. سیاست ایجاد کلاسترهای توسعه فناوری و نوآوری شامل دانشگاه‌ها و پارک‌های نوآوری منطقه‌ای حول شرکت‌های صنعتی جریان موجب چند مرکز شدن نظام نوآوری خواهد شد.

نگاه تک بعدی نظام نوآوری به تقویت کارکردها موجب شده است نتواند تک مرکزی بودن یا چند مرکزی بودن نظام نوآوری را رصد کند. درواقع نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران در تمامی دوره‌ها تک مرکزی بوده است. در دوره‌های اولیه بر مبنای حمایت‌های مالی دولت برای توسعه دانش یا احداث نیروگاه بوده است و در دوره‌های بعدی حول سیاست خرید تضمینی برق شکل گرفته است. این مساله موجب شده است تا در هر دوره هر اختلالی سبب عقب گرد نظام نوآوری و افول آن شود. رویکرد نظام نوآوری به دلیل نگاه کارکرد محور در تشخیص چالش توسعه نظام نوآوری دچار خطا شود، به همین دلیل مطالعات مختلف به دلیل این ناتوانی دلایل متعددی را برشمرده‌اند تا به نحوی بتوانند این چالش را تبیین کنند اما در نهایت در تبیین علت ناکام مانده‌اند. در مطالعات صورت گرفته این مهم به صورت‌های مختلف و متعدد عنوان شده است. ارائه دلایل متعدد و ناکافی و گاها متضاد گواهی این مدعاست. علت این چالش در مطالعات صورت گرفته به صورت‌های مختلف عنوان شده است از

جمله عدم تامین یا تخصیص منابع (ضعف کارکردی تامین منابع)، رشد و رکود اقتصادی، خرید تضمینی ریالی و تغییرات نرخ ارز، قفل شدگی کربنی، تحریم‌ها و عدم سرمایه‌گذاری خارجی. با رویکرد بوم‌سازگان نوآوری این موارد دلایل عدم توسعه نظام نوآوری است و نه علت آن. در واقع رویکرد بوم‌سازگان نوآوری نگاهی همه جانبه به مسائل دارد و سعی دارد تا علت عدم توسعه را شناسایی کند. رویکرد نظام نوآوری معطوف به دلایل است و به همین دلیل سیاست‌های پیشنهادی نیز عمدتا ناظر به حل مشکل نیست و در رفع علت نخواهند بود. کما اینکه مطالعات صورت گرفته با رویکرد نظام نوآوری فناورانه همچنان برای رفع مشکل سیاست‌هایی از قبیل تقویت مشارکت عمومی و خصوصی برای جذب حمایت‌های مالی، معافیت مالیاتی برای شرکت‌های خارجی که در پروژه تحقیقاتی مشترک با شرکت‌های داخلی همکاری دارند و تضمین بازار داخلی برای این شرکت‌ها، توسعه بازار خرید تضمینی برق، تاسیس صندوق ملی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و تخصیص بودجه‌های پژوهشی بوده است که هیچ کدام منجر به چند مرکزی شدن و تقویت نظام نوآوری نخواهد شد.

6-5- افزونگی کارکردی

از منظر بوم سازگان، تک مرکز بودن نظام نوآوری فناورانه موجب شده است تا در برابر هر تغییری نظام نوآوری فناورانه توانایی بازیابی صحیح کارکردهای خود را نداشته باشد. در سال‌های اخیر با تغییرات نرخ ارز جریان ورودی مالی دچار ناپایداری شده است به نحوی که حتی ظرفیت نصب شده سالانه نیز در 4 سال اخیر با وجود کاهش هزینه نصب نیروگاه‌های خورشیدی رو به افول نهاده است. مجموعه سیاست‌های پیشنهادی در خصوص تنوع، برقراری رابطه بین بازیگران، جهت دهی و چند مرکزی در مجموعه موجب افزونگی کارکردی نظام نوآوری خواهد شد.

رویکرد نظام نوآوری نمی‌تواند افزونگی کارکردی نظام را رصد کند. همانطور که پیش از این عنوان شد دو رویکرد نهاد محور و کارکرد محور در ارزیابی نظام وجود دارد و سیاست‌های پیشنهادی با این رویکرد صرفا جهت رفع موانع و تقویت کارکردها یا نهادها خواهد بود. در نتیجه این رویکردها توانایی دیدن کل نظام را به عنوان یک سیستم پویا ندارند. هرچند رحیمی راد و همکاران[24] خرید تضمینی ریالی برق را به عنوان یک چالش مطرح کردند اما در واقع شناسایی این چالش نیز به صورت مستقیم اتفاق نمی‌افتد. در واقع چالش خرید تضمینی ریالی برق و تحریم‌ها یکی از دلایل عدم سرمایه گذاری خارجی بوده است. رویکرد نظام نوآوری در آن مطالعه توانسته است عدم سرمایه گذاری خارجی را به عنوان چالش مربوط به ضعف کارکرد تامین منابع شناسایی کند و بالتبع دلایل ایجاد آن چالش یعنی خرید تضمینی ریالی برق(و همچنین تغییرات نرخ ارز که به صورت مستقیم در مطالعه به آن اشاره نشده است.) نیز به عنوان چالش عدم توسعه نظام نوآوری معرفی شده است. عدم ارائه سیاستی جهت رفع چالش خرید تضمینی ریالی برق نیز گواهی بر این مدعاست. در واقع تمامی سیاست‌های پیشنهادی این مطالعه (مطابق جدول 2) ناظر به بین‌المللی سازی نظام نوآوری فناورانه بوده است.

برخی از محققین در سال‌های اخیر متوجه این ضعف شده‌اند، به نظر می‌رسد ترکیب دو رویکرد نظام نوآوری فناورانه و رویکرد چند سطحی تلاشی برای حل این مشکل بوده است.[33] کما اینکه اسماعیل زاده و همکاران[27] طی مطالعه خود رشد و رکود اقتصادی را مهمترین عامل اثرگذار بر نظام نوآوری فناورانه عنوان کردند. اما همانطور که در این مطالعه نشان داده شد این رویکردها نیز هنوز موفق به بسط نگاه جزءنگر نظام نوآوری فناورانه نشده است.

6-6- چرخه عمر

با در نظر داشتن نتایج 5 قسمت قبلی می‌توان استنباط کرد که نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران در کدام مرحله از چرخه عمر خود قرار دارد. از آنجایی که نشان داده شد که مطابق چارچوب حکمرانی تحول آفرین بوم‌سازگان نوآوری، در مرحله تولد یک بوم‌سازگان نوآوری اقداماتی حول تدوین چشم‌انداز مشترک و گزاره ارزش آفرین در حال انجام است، افزایش مشارکت ذینفعان متنوع در حال افزایش است. تمامی نقش‌ها در بوم‌سازگان ممکن است وجود نداشته باشد، بوم سازگان از تنوع کافی برخوردار نیست، روابط بین بازیگران محدود است و روابط موثر شکل نگرفته است، بوم‌سازگان حول یک نیروی موثر در حال شکل‌گیری است و در نهایت بوم‌سازگان از منظر تاب‌آوری، افزونگی کارکردی و مقاومت در سطح ضعیفی قرار دارد و با هر اختلالی کارکردهای بوم‌سازگان ممکن است مختل شود.

در مجموع با مباحث مطرح شده، باید اذعان داشت که بوم‌سازگان نوآوری فتوولتاییک در ایران با وجود فعالیت سال‌های اخیر و سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته همچنان در مرحله تولد قرار دارد. این درحالیست که همانطور که در بخش 5-2 نشان داده شد، مطالعات صورت گرفته در سالیان اخیر با رویکرد نظام نوآوری فناورانه ادعا کرده‌اند که نظام نوآوری فناوارنه فتوولتاییک در ایران از مرحله پیش توسعه عبور کرده و در مراحل رشد و توسعه قرار دارد. در صورتی که با بررسی‌های صورت گرفته مشاهده شد اگر با رویکرد بوم‌سازگان نوآوری به بررسی نظام نوآوری پرداخته شود، تنوع کم بازیگران بوم‌سازگان، روابط محدود و ناکارآمد بین بازیگران، تک مرکزی بودن و عدم پایداری، تاب آوری و افزونگی کارکردی بوم‌سازگان همگی نشان‌دهنده عدم رشد نظام نوآوری و عبور از مرحله پیش توسعه و تولد است. در واقع رویکرد نظام نوآوری فناورانه به دلیل نگاه جزءنگر خود نمی‌تواند کل نظام را از یک منظر بالاتر ببیند و همین امر موجب شده است تا با ارائه شاخص‌های ناکافی برای ارزیابی رشد و توسعه نظام نوآوری در ارزیابی نظام دچار خطا شود.

7- نتیجه گیری

در این مطالعه وضعیت توسعه فناوری فتوولتاییک در ایران بررسی شد. در ادامه به بررسی مطالعات صورت گرفته حول نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران پرداخته شد. مطالعات بررسی شده ضمن اذعان به ضعف در کارکردهای کارآفرینی، جهت دهی و توسعه دانش، بر این نکته تاکید داشتند که نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران در مراحل رشد و توسعه قرار دارد. همچنین تحریم‌ها، عدم سرمایه گذاری خارجی، عدم همکاری بین المللی و عدم تامین یا تخصیص منابع مربوط به خرید تضمینی برق و همچنین منابع پژوهشی را به عنوان عمده چالش‌های فراروی نظام نوآوری تشخیص داده‌اند و برای حل این چالش‌ها سیاست‌هایی در راستای تقویت کارکردهای توسعه نظام نوآوری ارائه داده‌اند.

در ادامه با رویکرد بوم‌سازگان نوآوری به نقد و بررسی رویکرد نظام نوآوری فناورانه از منظرهای جهت دهی، تنوع بازیگران، ارتباط بین بازیگران، چند مرکزی بودن و افزونگی کارکردی پرداخته شد. طبق نقدهای بعمل آمده مشخص شد که رویکرد نظام نوآوری فناورانه رویکردی جزءنگر است، به توسعه فناوری نگاه خطی دارد و قادر به تشخیص علت مشکلات و چالش‌های فراروی

نظام نوآوری نیست و با معرفی دلایل و نگاه خطی قادر به ارائه سیاست‌های موثر نیست. طی بررسی‌ها مشخص شد که رویکرد نظام نوآوری فناورانه توجهی به هم‌آفرینی ارزش ندارد. از منظر نظام نوآوری شکل‌گیری نهادهای سخت یکی از شاخص‌های ارزیابی توسعه نظام نوآوری است، در حالی که با رویکرد بوم‌سازگان نوآوری سیاست‌های جهت دهی باید معطوف به هم‌آفرینی ارزش بوده و موجب تکامل و هم‌تکاملی بازیگران و بوم‌سازگان نوآوری شوند. رویکرد نظام نوآوری فناورانه به تنوع بازیگران توجهی ندارد و صرفا افزایش تعداد بازیگران را به عنوان توسعه نظام نوآوری فناورانه تلقی می‌کند. در مطالعات صورت گرفته با رویکرد نظام نوآوری فناورانه بر این نکته تاکید می‌شود که نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک ایران بر پایه واردات شکل گرفته است اما رویکرد نظام نوآوری فناورانه قادر به تبیین علل این مشکل نیست. علاوه بر این باتوجه به اینکه سیاست‌های پیشنهادی رویکرد نظام نوآوری فناورانه برای حل این مشکل عمدتا سیاست‌های معطوف به توسعه نظام علم در راستای تقویت کارکرد توسعه دانش بوده است، نشان می‌دهد که رویکرد نظام نوآوری فناوارنه به توسعه فناوری رویکرد خطی است. رویکرد نظام نوآوری فناورانه به ارتباط بین بازیگران هیچ توجهی ندارد و صرف وجود تعدادی بازیگر و شکل‌گیری نهادهای نرم و سخت را موجب توسعه نظام نوآوری می‌داند و در هیچ کدام از رویکردهای ارزیابی نظام نوآوری فناورانه یا تبیین نظام نوآوری فناورانه ارزیابی ارتباط بین بازیگران مختلف مورد توجه قرار نمی‌گیرد. نگاه رویکرد نظام نوآوری به بازیگران مکانیکی و ایستا است، در واقع سیاست‌هایی پیشنهادی برای توسعه نظام نوآوری معطوف به تقویت کارکردها و نهایتا تقویت پویایی بین کارکردهاست و پویایی بین بازیگران در این بین مغفول مانده است. نگاه تک بعدی نظام نوآوری فناورانه توانایی رصد تک مرکزی بودن یا چند مرکزی بودن نظام نوآوری و همچنین افزونگی کارکردی نظام را ندارد. همچنین رویکرد نظام نوآوری به دلیل نگاه کارکرد محور در تشخیص چالش توسعه نظام نوآوری دچار خطا می‌شود، و دلایل را به جای علت‌ها معرفی می‌کند و در نهایت در ارائه سیاست پیشنهادی نیز ناکام است. در حالیکه نشان داده شد که رویکرد بوم‌سازگان نوآوری نگاهی همه جانبه به مسائل دارد و سعی دارد تا علت‌های عدم توسعه بوم‌سازگان را شناسایی کند.

بسیاری از محققین به این نتیجه رسیده‌اند که نظام نوآوری فناورانه دارای ضعف‌های جدی در تجزیه و تحلیل و ارائه راهکارهای سیاستی بوده است و سعی در تکمیل این رویکرد داشته‌اند. در این مطالعه ضمن نقد و بررسی این دیدگاه‌های تکاملی، نشان داده شد که این تلاش‌ها نیز موفق به بسط نگاه جزءنگر نظام نوآوری فناورانه نشده است.

8- مراجع

[1] S. Ghazinoory, M. Amiri, S. Ghazinoori, and P. Alizadeh, "Designing innovation policy mix: a multi-objective decision-making approach," *Economics of Innovation and New Technology,* vol. 28, no. 4, pp. 365-385, 2019, doi: 10.1080/10438599.2018.1500115.

[2] R. Hosseinalizadeh, A. Arshadi Khamseh, and M. M. Akhlaghi, "A multi-objective and multi-period model to design a strategic development program for biodiesel fuels," *Sustainable Energy Technologies and Assessments,* vol. 36, 2019, doi: 10.1016/j.seta.2019.100545.

[3] M. M. Akhlaghi, F. Abbasizade, A. Shafiei Alavijeh, R. HosseinAlizadeh, and M. M. AmirAbadi Farahani, "Investigation on opportunities and challenges of cross-border electricity trade for Iran," *Scientia Iranica,* 2019.

[4] S. O'Negro, V. Vasseur, W. G. Van Sark, and M. Hekkert, "Solar eclipse: the rise and 'dusk'of the Dutch PV innovation system," *International Journal of Technology, Policy and Management,* vol. 12, pp. 135-157, 2012.

[5] R. Adner, "Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem," *Harvards Business Review,* 2006.

[6] L. A. d. V. Gomes, A. L. F. Facin, M. S. Salerno, and R. K. Ikenami, "Unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution, gaps and trends," *Technological Forecasting and Social Change,* vol. 136, pp. 30-48, 2018, doi: 10.1016/j.techfore.2016.11.009.

[7] R. Adner and R. Kapoor, "Value creation in innovation ecosystems: how the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations," *Strategic Management Journal,* vol. 31, pp. 306-333, 2010.

[8] S. Rinkinen and V. Harmaakorpi, "Business and innovation ecosystems: innovation policy implications," *International Journal of Public Policy,* vol. 15, no. 3/4, 2019, doi: 10.1504/ijpp.2019.103038.

[9] O. Dedehayir, S. J. Mäkinen, and J. Roland Ortt, "Roles during innovation ecosystem genesis: A literature review," *Technological Forecasting and Social Change,* vol. 136, pp. 18-29, 2018, doi: 10.1016/j.techfore.2016.11.028.

[10] Z. Chen, S. M. Dahlgaard-Park, and L. Yu, "Service quality management and ecosystem theory," *Total Quality Management and Business Excellence,* vol. 25, pp. 1190-1205, 2014.

[11] J. Luo, "Architecture and evolvability of innovation ecosystems," *Technological Forecasting and Social Change,* vol. 136, pp. 132-144, 2018, doi: 10.1016/j.techfore.2017.06.033.

[12] N. Faissal Bassis and F. Armellini, "Systems of innovation and innovation ecosystems: a literature review in search of complementarities," *Journal of Evolutionary Economics,* vol. 28, no. 5, pp. 1053-1080, 2018, doi: 10.1007/s00191-018-0600-6.

[13] C. Amitrano, M. Tregua, T. Russo Spena, and F. Bifulco, "On Technology in Innovation Systems and Innovation-Ecosystem Perspectives: A Cross-Linking Analysis," *Sustainability,* vol. 10, no. 10, 2018, doi: 10.3390/su10103744.

[14] X. Zheng and Y. Cai, "Transforming Innovation Systems into Innovation Ecosystems: The Role of Public Policy," *Sustainability,* vol. 14, no. 12, 2022, doi: 10.3390/su14127520.

[15] A. Bergek, S. Jacobsson, B. Carlsson, and A. Rickne, "Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis," *Research Policy,* vol. 37, pp. 407-429, 2008.

[16] M. P. Hekkert, R. A. A. Suurs, S. O. Negro, S. Kuhlmann, and R. E. H. M. Smits, "Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change," *Technological Forecasting and Social Change,* vol. 74, no. 4, pp. 413-432, 2007, doi: 10.1016/j.techfore.2006.03.002.

[17] J. F. Moore, "Predators and prey: a new ecology of competition," *Harvard Business Review,* vol. 71, pp. 75-86, 1993.

[18] M. Iansiti and R. Levien, "Strategy as Ecology," *Harvard Business Review,* vol. 82, pp. 1-11, 2004.

[19] A. Suominen, M. Seppanen, and O. Dedehayir, "A bibliometric review on innovation systems and ecosystems: A research agenda," *European Journal of Innovation Management,* vol. 22, pp. 335–360, 2019.

[20] O. Granstrand and M. Holgersson, "Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition," *Technovation,* vol. 90-91, 2020, doi: 10.1016/j.technovation.2019.102098.

[21] M. Esmailzadeh, S. Noori, A. Aliahmadi, H. Nouralizadeh, and M. Bogers, "A Functional Analysis of Technological Innovation Systems in Developing Countries: An Evaluation of Iran's Photovoltaic Innovation System," *Sustainability,* vol. 12, no. 5, 2020, doi: 10.3390/su12052049.

[22] Y. f. M. Rahimi rad Z., Mir emadi T., Madhoshi M. , "Analysis of Photovoltaic Solar System Technological Innovation System in Iran," *Innovation Management,* vol. 6, no. 4, pp. 1-28, 2018.

[23] A. A. Sadabadi, Z. Rahimi Rad, and H. Azimzadeh, "Photovoltaic technological innovation system (PV TIS) in Iran: identifying barriers, incentives, dynamics and developing policies," *Journal of Environmental Planning and Management,* pp. 1-24, 2022, doi: 10.1080/09640568.2022.2043837.

[24] Z. Rahimi Rad, A. A. Sadabadi, and H. Azimzadeh, "Explaining the rise and fall of the photovoltaic technological innovation system in

Iran," *Environmental Progress & Sustainable Energy,* vol. 41, no. 5, 2022, doi: 10.1002/ep.13851.
[25] "Solar Energy technology development National Roadmap," Ministry of Energy of Iran, Niroo Research Institute, 2015.
[26] M. e. T. Dehghan Ashkezari M. J., Ramezanpour Nargesi Gh., "The Assessment of International Sanctions on Photovoltaic Innovation System of Iran.," *Journal of Science & Technology Policy,* vol. 10, no. 4, pp. 63-76, 2019.
[27] M. Esmailzadeh, S. Noori, H. Nouralizadeh, and M. L. A. M. Bogers, "Investigating macro factors affecting the technological innovation system (TIS): A case study of Iran's photovoltaic TIS," *Energy Strategy Reviews,* vol. 32, 2020, doi: 10.1016/j.esr.2020.100577.
[28] Y. f. M. Rahimi rad Z., Miremadi T., Madhoshi M., "Identification and Analysis of Social-Technical Transition Barriers to Photovoltaic Solar Systems Focusing on Fossil Fuel Regime," *Journal of Technology Development Management,* vol. 6, no. 2, pp. 49-77, 2018.
[29] R. Suurs, " 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,* vol. 16, pp. 51-64, 2009.
[30] IRENA, "RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2021," 2021.
[31] T. Könnölä, V. Eloranta, T. Turunen, and A. Salo, "Transformative governance of innovation ecosystems," *Technological Forecasting and Social Change,* vol. 173, 2021, doi: 10.1016/j.techfore.2021.121106.
[32] *the Law of the Sixth 5-year Development Plan*, 2017.
[33] J. Markard and B. Truffer, "Technological innovation systems and the multi-level perspective: towards an integrated framework," *Research Policy,* vol. 37, no. 4, 2008.