تحلیل چالش‌های توسعه بازار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در ایران با مدل‌سازی ساختاری - تفسیری

■ **کیارش فرتاش** [+] [*]
استادیار پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
■ **فاطمه باوفاصفت**[1]
کارشناس‌ارشد مدیریت تکنولوژی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
■ **علی اصغر سعدآبادی**[2]
استادیار پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱/۲۵ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۷
صفحات: ۷۲-۵۵
10.22034/jtd.2022.252592

چکیده

افزایش بی‌رویه مصرف انرژی‌های فسیلی در سال‌های اخیر پیامدهای زیست محیطی و تغییر اقلیم گسترده‌ای به همراه داشته است. فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر و توسعه استفاده از منابع تجدیدپذیر، راه‌حلی پایدار و مورد توافق در سطح بین‌المللی است که برای تحقق آن، شکل‌گیری و توسعه بازار این فناوری‌ها مسئله‌ای کلیدی و از گلوگاه‌های توسعه و کاربرد گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر محسوب می‌شود. در این راستا، مقاله حاضر به تحلیل چالش‌های توسعه بازار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در ایران می‌پردازد. با بررسی پیشینه توسعه بازار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر و با نظر ۱۱ خبره در پاییز ۱۴۰۰، ۲۰ چالش محوری توسعه بازار این فناوری‌ها در ایران استخراج گردید. سپس با استفاده از مدل‌سازی ساختاری - تفسیری ارتباطات میان چالش‌ها و نفوذ و وابستگی آن‌ها با تحلیل میک‌مک تشریح می‌شود. براساس یافته‌های تحقیق، چالش‌های توسعه بازار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در ۱۳ سطح دسته‌بندی و روابط میان آن‌ها ارائه می‌شود. تاثیرگذارترین چالش‌ها شامل اقتصاد مقیاس پایین و ریسک بالای توسعه این فناوری‌هاست. ضعف در زیرساخت‌های انتقال فناوری، فعالیت‌های محدود تبلیغاتی، تعاملات ضعیف دولت با شرکت‌ها از دیگر چالش‌های کلیدی توسعه بازار فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر است. اصلی‌ترین دلالت سیاستی یافته‌های این پژوهش، لزوم توجه یکپارچه به چالش‌های توسعه بازار و لحاظ نمودن سطح هر چالش و تاثیر آن بر دیگر چالش‌ها است.

واژگان کلیدی: توسعه بازار، توسعه فناوری، انرژی تجدیدپذیر، مدل‌سازی ساختاری – تفسیری، فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر

+ شماره نمابر: ۰۲۱-۲۲۴۳۱۷۱۷ و آدرس پست الکترونیکی: K_fartash@sbu.ac.ir
* عهده دار مکاتبات
۱ شماره نمابر: ۰۲۱-۲۲۴۳۱۷۱۷ و آدرس پست الکترونیکی: Faranak.bfs97@gmail.com
۲ شماره نمابر: ۰۲۱-۲۲۴۳۱۷۱۷ و آدرس پست الکترونیکی:A_sadabadi@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از چالش‌های اصلی که جهان امروز با آن مواجه است تغییرات اقلیمی می‌باشد. یکی از دلایل اصلی تغییرات اقیلمی، انتشار گازهای گلخانه‌ای است که بیش از دو سوم آن از بخش انرژی سرچشمه می‌گیرد[۳۴]. روند فعلی مصرف انرژی در جهان، بشر را با دو بحران بزرگ آلودگی زیست محیطی و شتاب فزاینده در تهی نمودن منابع انرژی فسیلی روبرو نموده است. سوخت‌های غیرفسیلی به‌خاطر منابع زیاد و تجدیدپذیر بودن منابع و کاهش آلودگی هوا و محیط زیست، جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی عنوان شده‌اند[۵۲]. با توجه به همین امر به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در کشورهای جهان رو به افزایش بوده به‌طوری که یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی مصرف انرژی محسوب می‌شود، بنابراین این نوع انرژی روز به روز سهم بیش‌تری در سیستم تأمین انرژی ایجاد نموده در این زمینه در سال ۲۰۰۸ بیش از ۱۲۰ میلیارد دلار در بخش افزایش ظرفیت‌ها، احداث نیروگاه‌ها و تحقیق و توسعه انرژی‌های نو سرمایه‌گذاری شده است. تا انتهای سال ۲۰۱۰، ظرفیت‌های موجود در انرژی‌های تجدیدپذیر ۳,۸ درصد در تولید الکتریسیته جهان سهم داشته‌اند(این ارقام بدون درنظرگرفتن انرژی آبی است، زیرا این انرژی به‌تنهایی ۱۵ درصد در تولید الکتریسیته دنیا سهم دارد). هم‌اکنون انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از ۱۴ درصد از انرژی اولیه جهان را تامین می‌نمایند[۲ و ۶]. در سال‌های اخیر، فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر[۱] (فناوری‌های‌ات) به‌عنوان راهی برای متنوع کردن تامین انرژی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی به‌منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای و همچنین ایجاد مشاغل جدید درنظرگرفته می‌شود[۳۹]. علاوه‌براین، بیش از یک میلیارد نفر در سراسر جهان همچنان به خدمات انرژی مدرن دسترسی ندارند. همچنین دسترسی همگانی به انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد به‌منظور متحول ساختن جهان و ایجاد یک دنیای برابر، عادلانه و مطمئن برای مردم سیاره زمین است.

فناوری‌های‌ات هم‌اکنون در نقطه گذار قرار گرفته است؛ گذار به یک جامعه پایدار نیازمند تلاش‌های نوآورانه کشورها به‌منظور توسعه بازار و به‌کارگیری فناوری‌های‌ات است[۶۴]. از این رو، پژوهش درخصوص گذارهای پایدار در سال‌های گذشته گسترش یافته و از منظر موضوعی، قلمرو جغرافیایی، روش‌شناسی و چارچوب‌های نظری متنوع شده است[۴۳]. مسئله محوری اساسی پژوهش‌های گذارهای پایدار ارائه راه‌حل برای چالش‌های بزرگ جامعه نظیر مسائل زیست محیطی، تغییر اقلیم، کاهش تنوع زیستی و منابع و ... است که ناشی از الگوهای تولید و مصرف ناپایدار سیستم‌های اجتماعی - فنی موجود نظیر برق، گرما، ساخت‌وساز، حمل‌ونقل و مواد غذایی است. با توجه به اینکه غلبه بر این مشکلات و چالش‌ها صرفا با راه‌حل‌های فناورانه امکان‌پذیر نیست؛ بلکه به تغییرات تحول در سیستم‌های اجتماعی - فنی موجود یا گذار پایدار نیازمند است[۳۲]. همین امر موجب تمرکز مطالعات گذار پایدار بر تحولات چشمگیر در سیستم‌های فنی و اجتماعی شده است. گذارهای پایدار "فرآیندهای تحول طولانی مدت، چند بعدی و اساسی هستند که از طریق آنها سیستم‌های فنی-اجتماعی را به سمت تغییر در حالت‌های تولید و مصرف پایدارتر حرکت و سوق می‌دهند"[۴۶]. این سیستم‌ها از وابستگی بالایی بین فناوری‌ها، زیرساخت‌ها، نهادها و شیوه‌های کاربری و بازارها برخوردار هستند[۳۸]. چنین سیستم‌ها یا "رژیم‌ها[۲]" وابستگی شدید به مسیر دارند و منافع بازیکنان فعلی موجب می‌گردد تا آنها در برابر تغییر مقاومت کنند[۳۱ و ۶۰]؛ زیرا از یک طرف، نوآوری‌ها و روش‌های "سبز[۳]" بسیاری وجود دارد(به‌عنوان مثال خودروهای اشتراکی، انرژی‌های تجدیدپذیر، PV[۴] خورشیدی، توربین‌های بادی و وسایل نقلیه الکتریکی) از طرف دیگر، سیستم‌های عمیق جاافتاده با الگوی تولید و مصرف وجود دارد که مسیرهای پایدار و وابسته به مسیر را ایجاد می‌کند[۶۳].

نقش بازارها در گذار پایداری برای توسعه نوآوری و تحقق تغییرات اجتماعی - فنی بسیار حیاتی است. این در حالی است که در پیشینه توجه کمتری به توسعه بازار(اعم از بازار نوزاد، در حال توسعه و انبوه) انرژی‌های تجدیدپذیرشده که مورد اشاره محققان مختلف نیز قرار گرفته است[۲۵]. در پیشینه، بررسی درخصوص موانع و چالش‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه[۴۰] و توسعه‌یافته[۴۹] مشاهده می‌شود. با این حال، چالش‌های توسعه بازار فناوری‌های‌ات در کشورهای با منابع گسترده فسیلی نظیر ایران کمتر مطالعه شده است. در این راستا، مقاله حاضر، چارچوبی از موانع شکل‌گیری بازار فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه نموده و هدف این پژوهش شناسایی مهم‌ترین چالش‌های شکل‌گیری بازار و ارتباط بین این

۱ در این مقاله برای رعایت اختصار، به فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر، فناوری‌های‌ات و به فناوری انرژی تجدیدپذیر، فناوری‌ات اطلاق می‌شود.

2 regimes
3 Green
4 Photovoltaics

چالش‌ها با مدل‌سازی ساختاری - تفسیری(به ماهیت به هم وابسته چالش‌ها) است.

در ادامه مقاله، نخست به بررسی پیشینه شکل‌گیری بازارهای فناوری‌های‌ات پرداخته می‌شود و چارچوبی از چالش‌های اصلی مورد اشاره در پیشینه برای توسعه بازار فناوری‌های‌ات ارائه می‌شود. در ادامه با بیان روش تحقیق، با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری - تفسیری به تحلیل ارتباط بین چالش‌های توسعه فناوری‌های‌ات در ایران پرداخته می‌شود. در بخش پایانی، علاوه بر بحث درخصوص یافته‌ها و نوآوری تحقیق، پیشنهادهای مدیریتی و سیاستی در خصوص برطرف نمودن و مواجهه با چالش‌های فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران ارائه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

۲-۱- چالش‌های توسعه بازار نوزاد[1] فناوری‌های‌ات

توسعه فناوری‌های‌ات نیازمند شکل‌گیری بازار برای فناوری است. در مرحله نوزادی، بخش‌هایی از بازار تشکیل می‌شود. بازارها در مرحله نوزادی دارای ویژگی‌هایی نظیر عدم قطعیت و حضور کارآفرینان پیشگام، تنوع کم محصولات، تعامل تنگاتنگ بین بازیگران مختلف، تشکیل شبکه‌ها[2] و تعبیه ساختارهای نهادی[3]، ارتباطات دهان‌به‌دهان، آگهی بخشی و پذیرش اجتماعی، رقابت ضعیف، تعاملات و ارتباطات مبتنی بر اعتماد در بین مصرف‌کنندگان و تامین‌کنندگان، بازارهای تحت سلطه با اندازه محدود، سیاست‌های حمایتی و تشویقی دولت هستند. لذا متناسب با همین ویژگی‌ها، چالش‌های توسعه بازار نوزاد برای فناوری‌های‌ات هم گستره‌ای از موضوعات ازجمله ناکافی بودن زیرساخت آزمایشگاهی، سیاست‌های تشویقی و حمایتی محدود و غیرنظام‌مند و همکاری محدود بازیگران ذینفعان این حوزه را دربرمی‌گیرد.

در اولین مرحله توسعه بازار، شاهد ورود شرکت‌های کوچک، جدید و مستقل هستیم[۳۳]. شرکت‌های جدید برای دستیابی به دانش، دارایی‌های مکمل، شرکا، تامین‌کنندگان و مشتریان بالقوه برای توسعه مشاغل خود با چالش‌هایی روبرو هستند[۱۵]. برای اینکه فناوری‌های‌ات در بازار قابل‌رقابت باشند، نیاز به سیاست‌های دولت برای اصلاح شرایط خارجی بازار و تعریف قواعد بازی است[۲۸]. ازجمله اقدامات دولت می‌توان به سیاست‌های خرید عمومی برای شکل‌گیری بازار اشاره نمود. در نروژ شکل‌گیری بازار محلی برای تولید گرما از طریق زیست‌توده نشان می‌دهد چگونه سیاست‌ها طرف تقاضا نقش مهمی در حفظ جایگاه فناوری‌های‌ات دارند[۵۴]. فناوری‌های جدید در مرحله نوزادی نیاز به مداخلات سیاستی دارد که با فراهم کردن فضاهای محافظتی فناوری جدید را با فرایندهای یادگیری(مانند پروژه‌های تحقیق و توسعه و برنامه‌های آزمایشی[4]) از محدودیت‌ها و فشارهای بازارهای موجود محافظت نماید[۵۸]. ابزارهای سیاست دیگری مانند تعرفه‌ها و یارانه‌ها، سیاست‌های تشویقی و حمایتی محدود و غیرنظام‌مند[5] آموزش، مالیات، تنظیم‌گری[6]، استاندارد و ... بازار فناوری‌های‌ات را در مرحله نوزادی توسعه می‌دهد[۴۰ و ۵۷]. دولت آلمان با تخصیص یارانه به فعالیت‌های تحقیق و توسعه فناوری‌های‌ات توانست توسعه و تحریک بازار را بهبود دهد[۲]. عدم دسترسی به منابع مالی کافی یکی دیگر از چالش‌های مطرح در این سطح است که چالش قابل‌ملاحظه‌ای در پروژه‌های انرژی بادی در کشورهای مختلف ازجمله هند بوده است[۳۶]. از سوی دیگر، توسعه و بلوغ بازارهای نوزاد با چالش‌های مختلفی مواجه است که در ادامه به آنها اشاره می‌شود. کمبود نیروی کار ماهر و متخصص در حوزه فناوری‌های‌ات یکی از چالش‌های اصلی در این مرحله از بازار است[۴۰، ۴۹ و ۵۷]. توسعه موفقیت‌آمیز فناوری‌های انرژی بادی نیازمند اطلاعات کافی و نیروی انسانی است. لذا آموزش‌های مرتبط باانرژی در سطوح مختلف آموزشی باید طراحی و در دسترس باشد[۳۶].

در این راستا یادگیری از طریق جستجو، یادگیری تعاملی[7] و یادگیری از طریق شبکه‌ها منجر به تبادل اطلاعات بین بازیگران می‌شود[۴۸ و ۵۷]. در این مرحله از بازار نیاز به مشروعیت[8] و پذیرش اجتماعی[9] است تا فناوری جدید بتواند در ساختارهای نهادی موجود به رسمیت شناخته شود و با محیط نهادی سازگار شود[۴۰، ۵۷ و ۵۹]. عدم رشد بازار نوزاد فناوری‌ات به تفاوت آنچه در ابتدای فناوری ارائه می‌دهد و آنچه کاربران و مصرف‌کنندگان به‌طور واقعی نیاز دارند، مرتبط است. کشورهایی که موفق در توسعه بازار انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش توربین بادی عموما نیاز مصرف‌کنندگان را تشخیص و برآورده

1 Nurturing market
2 Grid
3 Embedding institutional structures
4 Pilot
5 Non-systematic
6 Regulation
7 Interactive learning
8 Legitimacy
9 Social acceptance

نموده‌اند[۴۴]. همچنین، ظهور پنل‌های خورشیدی در آلمان نیز به کاربران اولیه و تصورات عمومی آنها وابسته بود. با درگیر کردن کاربران اولیه در فرایند تولید می‌توان به شکل‌گیری بازار و رشد و توسعه آن کمک نمود[۲۵].

۲-۲- چالش‌های توسعه بازار در حال رشد[1] فناوری‌های‌ات

با رشد بازار، نقش تعاملات مبتنی بر اعتماد و کاربران اولیه[2] در این مرحله کاهش می‌یابد. بخش‌های اولیه بازار، به‌شدت به کاربران پیشگام وابسته بود؛ این در حالی است که در این مرحله ارائه‌دهندگان فناوری(مانند نصب‌کنندگان، تولیدکنندگان و سرمایه‌گذاران) بازار را هدایت می‌کنند. ازآنجاکه بازار از مرحله نوزادی عبور کرده است، شکل‌گیری بازار[3] سریع‌تر پیش می‌رود. مرحله رشد، با گسترش حجم بازار و متنوع‌سازی محصولات، مشخص می‌شود[۲۵]. با افزایش رقابت در مرحله رشد روند شکل‌گیری بازار تغییر پیداکرده و همین مسئله منجر به تغییر در گستره بازار می‌شود و شرکت‌های نوپا در قسمت‌های بالادست زنجیره ارزش[4] تشکیل می‌شود[۲۵]. رقابت فزاینده در این مرحله از بازار بسیاری از تولیدکنندگان پیشگام را از فروشندگان مستقیم به عمده‌فروشان تبدیل می‌کند که درنتیجه آن یک زنجیره ارزش استانداردتر و تخصصی‌تر برای بخش‌های مختلف بازار ایجاد خواهد شد. مرحله رشد دارای ویژگی‌هایی نظیر تنوع محصولات و ارائه محصولات جایگزین[5]، گسترش فعالیت‌های بازاریابی، تقویت و رسمی‌سازی شبکه‌ها و NGOs[6]، تمایز قیمت، افزایش رقابت، گسترش کانال‌های توزیع، افزایش سرمایه‌گذاری و شکل‌گیری بازارهای جدید هستند[۲۵].

متناسب با همین ویژگی‌ها، چالش‌های توسعه بازار در مرحله رشد فناوری‌های‌ات گستره‌ای از موضوعات ازجمله فعالیت‌های محدود ترویجی و بازاریابی اجتماعی و استانداردهای ناکافی درخصوص بازار فناوری‌های‌ات و نرخ پایین ایجاد کسب‌وکارهای جدید را دربرمی‌گیرد[۲۸، ۴۱ و ۵۷]. به‌علت وجود قوانین و استانداردهای کم ثبات انرژی‌های تجدیدپذیر در مراحل اولیه بازار نیاز به تدوین مقررات و ضوابط مربوط به مصرف انرژی برای پرهیز از اتلاف انرژی و تنظیم و اجرای روش‌های تشویقی در این خصوص است. از دیگر چالش‌های توسعه بازار در حال رشد فناوری‌های‌ات، می‌توان به فعالیت‌های ناکافی بازاریابی و لزوم تقویت شبکه‌های توزیع[7]، آموزش کارکنان توزیع و فروش و آگاه‌سازی عمومی اشاره کرد[۶۲]. مشارکت کم عمومی در توسعه انرژی بادی نقش محدودکننده دارد. در کانادا اگرچه مردم در ساسکاچوان[8] با انرژی بادی مخالفت نداشتند، اما فقدان حمایت عمومی فرصت‌های بالقوه توسعه انرژی بادی را محدود نمود[۵۳].

محدود بودن کنفرانس‌ها، کارگاه‌ها، نشست‌ها و نشریات تخصصی فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر از چالش‌های کلیدی در این مرحله از بازار است. متخصصان این حوزه باید حداقل دو بار در سال در کارگاه‌ها و کنفرانس‌های تخصصی مرتبط با کاربردهای انرژی تجدیدپذیر شرکت نمایند[۶۱].

چالش عمده دیگر در مرحله رشد، کمبود سازمان‌های غیردولتی است[۶۱] که نقش اساسی در توسعه بازار به‌عنوان ارائه‌دهنده اطلاعات انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا می‌کنند[۴۲]. نرخ پایین شکل‌گیری کسب‌وکارهای جدید در حوزه انرژی تجدیدپذیر یکی دیگر از موانع در رشد بازار فناوری‌های‌ات محسوب می‌شود. مشوق‌های مالی(مانند اعتبارات مالیاتی)، حمایت از ثبت اختراع فناوری‌های‌ات و ارائه یارانه به‌صورت ترانشه[9] به بنگاه‌ها توسعه بازار در حال رشد انرژی‌های تجدیدپذیر تاثیرگذار هستند [۴۷ و ۵۷].

۲-۳- چالش‌های توسعه بازار انبوه[10] فناوری‌های‌ات

گذار از مرحله رشد به انبوه زمانی آغاز می‌شود که بازار در حال رشد بوده اما نرخ رشد به دلایلی نظیر وجود ظرفیت مازاد[11] و افزایش شدت رقابت به‌تدریج در حال کاهش است. با بلوغ بازار، تاثیر بازیگران بر شکل‌گیری بازار تغییریافته و مکانیسم‌های اولیه بازار به فرایندهایی استاندارد تبدیل می‌شود[۱۹]. در بازار انبوه اندازه و گسترش جغرافیایی یکدست[12] و ساختارهای منطقه‌ای، ملی و فراملی بازار گسترش می‌یابد. کاربر نهایی[13] فعالانه در شکل‌گیری بازارهای جدید فناوری سهیم می‌شوند. مرحله انبوه‌سازی با ویژگی‌هایی نظیر رواج نوآوری‌های فرایندی، افزایش کارآمدی زنجیره‌های ارزش، نهادینه‌سازی ساختارهای شبکه‌ای، رقابت بالا، بازاریابی انبوه ازطریق رسانه‌های جمعی(مانند تلویزیون) در سطح بین‌المللی، کشف بخش‌های جدید بازار،

1 Bridging
2 Early users
3 Market formation
4 Value chains
5 Alternative product
6 Non-governmental Organization
7 Distribution grid
8 Saskatchewan
9 Tranche
10 Mass market
11 Excess capacity
12 Homogeneous geographical
13 End user

محصولات نسبتا استاندارد و همگن، وفاداری کم مصرف‌کنندگان، افزایش ظرفیت تولید، گسترش کانال‌های توزیع شناخته می‌شود[۲۰ و ۲۵]. متناسب با این ویژگی‌ها، چالش‌های توسعه بازار انبوه برای فناوری‌های‌ات هم گستره‌ای از موضوعات ازجمله اقتصاد مقیاس پایین فناوری‌های‌ات و نواقص نهادی واداری، محدودیت دسترسی به شبکه و ظرفیت شبکه انرژی‌های تجدیدپذیر و محدود بودن شرکت‌های صادرات محور انرژی‌های تجدیدپذیر را شامل می‌شود.

تدریجا با بهبود اقتصاد مقیاس، انرژی‌های تجدیدپذیر مقرون‌به‌صرفه شده و توانایی رقابت‌پذیری بدون یارانه را با سوخت‌های فسیلی بدست می‌آورد. در این صورت تولید انرژی پاک توسط منابع انرژی کم‌کربن مانند باد، خورشید و گرمای زمین توسعه می‌یابد[۲۴]. عدم وجود نهادهای تخصصی ارتقای فناوری‌های‌ات در جامعه و ظرفیت نهادی پایین که قادر به حمایت از فناوری‌های‌ات، نظارت و ضمانت اجرایی مقررات نباشد از چالش‌های این مرحله از بازار است. بنابراین زیرساخت نهادی مناسب که بتواند برنامه‌ای هماهنگ در همه سطوح را پشتیبانی، و جامعه را بسیج نماید، موردنیاز است[۳۶].

لزوم وجود نهادهای قوی برای حل تسهیل فرایندهای پیچیده صدور مجوز، تملک و اجازه زمین برای فعالیت کسب‌وکارهای فناوری‌های‌ات، تقویت دانش و مهارت‌های نگهداری و تعمیرات فناوری‌های‌ات برای رفع خرابی‌های سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در این سطح بازار موردنیاز است[۳۴]. عدم توسعه خدمات نگهداری و تعمیرات موثر انرژی بادی در هند، نمونه‌ای از دست رفتن اعتماد بین کارآفرینان و مشتریان و محدودکننده توسعه انرژی بادی است[۳۶].

چالشی دیگر در مسیر انبوه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، عدم استفاده گرمایشی و سرمایشی مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر است. فقدان زیرساخت‌های مرتبط گرمایش و سرمایش مانعی این زمینه است[۲۲]. دسترسی به شبکه و ظرفیت شبکه برای انتقال انرژی‌های تجدیدپذیر در بازار انبوه حائز اهمیت است که در برخی کشورها با محدودیت مواجه است. با افزایش تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر و با توجه به نیاز محدود به ظرفیت تولید برق مازاد در نروژ، توسعه صنایع جدید صادرات محور مرتبط با انرژی‌های پاک در دستور کار قرار گرفت[۵۰]. در کشورهای اروپایی با توجه به چشم‌اندازهای بلندمدت تحولات بازار جهانی انرژی و پیامدهای کاهش تقاضای مورد انتظار منابع فسیلی، موجب افزایش منابع طرح‌های تحقیقاتی توسعه انرژی بادی، خورشیدی و دریایی شد[۳۴] که در تقویت شکل‌گیری بازار انبوه انرژی‌های تجدیدپذیر در این کشورها تاثیرگذار بوده است. چالش‌های توسعه بازار انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش‌های مختلف بازار در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: چالش‌های توسعه بازار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر(جمع‌بندی نویسندگان از مرور پیشینه)[۱]

ردیف	چالش	نوع بازار			امتیاز[۲]	مراجع
		نوزاد	رشد	انبوه		
۱	همکاری محدود تحقیقاتی مراکز تحقیقاتی، دانشگاهی و بنگاه‌های داخلی با هدف توسعه فناوری‌های‌ات	*	*		۶.۵	[۵۷، ۴۸، ۲۷]
۲	ضعف و ناکافی بودن زیرساخت آزمایشگاهی فناوری‌های‌ات	*			۳.۲	[۲۰، ۴۰ و ۴۸]
۳	سرمایه‌گذاری کم در تحقیق و توسعه فناوری‌های‌ات توسط بنگاه‌ها	*			۱.۲	[۲۳، ۲۸، ۴۵ ، ۴۹]
۴	منابع کم تخصیص یافته به تحقیق و توسعه فناوری‌های‌ات توسط دولت	*			۱.۳	[۲۳، ۲۸، ۴۵ ، ۴۹]
۵	کمبود اطلاعات در مورد مزایای فناوری‌های جدید در مقایسه با فناوری‌های موجود	*	*	*	۵.۴	[۴، ۱۳ ، ۴۱]
۶	گرنت‌های محدود و غیرنظاممند به مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی برای توسعه فناوری‌های‌ات	*			۴.۲	[۲۸، ۴۰، ۴۱ ، ۵۷]
۷	ریسک بالای پروژه‌های فناوری‌های‌ات	*	*	*	۶.۴	[۳ ، ۱]
۸	معافیت‌های محدود و غیرنظام‌مند گمرگی برای توسعه فناوری‌های‌ات	*	*		۷.۵	[۳۰ و ۳۱]
۹	سیاست‌های تشویقی و حمایتی محدود و غیرنظام‌مند آموزش، مالیات، خرید دولتی،	*		*	۵.۵	[۲۸، ۴۰، ۴۱ ، ۵۷]

۱ چالش‌هایی که با فونت ایتالیک مشخص شده‌اند (چالش‌های ردیف ۲، ۳، ۴، ۶، ۱۲، ۱۵، ۲۰ و ۲۴)، بر اساس نظر خبرگان تناسب کمتری با شرایط ایران دارند و از لیست نهایی چالش‌های توسعه بازار فناوری‌های‌ات در جمع‌آوری داده‌ها حذف شدند.

۲ این امتیاز بر اساس میانگین نظر خبرگان تحقیق (اشاره شده در جدول ۲) به چالش‌های استخراج شده از پیشینه در طیف لیکرت (۱ تا ۷) در طیفی از خیلی کم با امتیاز ۱ تا خیلی زیاد با امتیاز ۷ محاسبه شده است.

ردیف	چالش	نوع بازار			امتیاز[۲]	مراجع
		نوزاد	رشد	انبوه		
	تنظیم‌گری و استاندارد فناوری‌های‌ات...					
۱۰	ظرفیت نهادی پایین برای ترویج فناوری‌های‌ات	*		*	۶.۵	[۲۸، ۴۰ ، ۵۹]
۱۱	عدم مشارکت ذینفعان در فرایند سیاستگذاری	*	*	*	۵.۴	[۱۱، ۲۳ ، ۵۹]
۱۲	ضمانت اجرایی پایین حقوق مالکیت فکری	*			۳.۴	[۲۳، ۲۸ ، ۵۶]
۱۳	پذیرش اجتماعی پایین انرژی تجدیدپذیر	*	*	*	۶.۵	[۴، ۲۸، ۴۰ ، ۵۹]
۱۴	تعامل ضعیف دولت با بنگاه‌های فناوری‌های‌ات		*		۵. ۴	[۲۸، ۳۷، ۴۹ ، ۵۷]
۱۵	زیبایی‌هایی ظاهری دلیلی بر مخالفت عمومی با توربین‌های بادی	*		*	۲.۳	[۲۸ ، ۴۱]
۱۶	نرخ پایین ایجاد کسب‌وکارهای جدید در حوزه فناوری‌های‌ات		*		۶.۵	[۱۷، ۲۱، ۴۰ ، ۴۵]
۱۷	فعالیت‌های محدود ترویجی و بازاریابی اجتماعی در زمینه فناوری‌های‌ات		*	*	۵.۵	[۲۴، ۲۸، ۴۰ ، ۵۷]
۱۸	ناکافی بودن تعداد و کیفیت نهادهای تحقیقاتی و آموزش عالی تخصصی فناوری‌های‌ات		*		۶.۴	[۴۰، ۴۱، ۵۷ ، ۵۹]
۱۹	کم بودن مالیات‌های وارداتی برای ارتقاء شرکت‌ها و صنایع فناوری‌های‌ات محلی در زنجیره ارزش فناوری‌های‌ات			*	۵.۵	[۲۶، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۴۰ ، ۴۱]
۲۰	فقدان نیروی ماهر فناوری‌ات و پرسنل تحقیق و توسعه	*	*		۴.۴	[۲۸، ۴۰، ۴۹ ، ۵۷]
۲۱	محدود بودن کنفرانس‌ها، کارگاه‌ها، نشست‌ها و نشریات تخصصی فناوری‌های‌ات				۶.۴	[۲۸، ۴۱، ۴۵ ، ۲۷]
۲۲	تعداد محدود و عملکرد ضعیف NGO ها و اندیشکده‌ها، انجمن‌های تخصصی در حوزه فناوری‌های‌ات		*		۵.۵	[۲۶، ۲۷، ۲۸، ۴۰ ، ۴۱]
۲۳	ناکافی بودن تعداد و کیفیت موسسات واسطه‌ای تخصصی فناوری‌های‌ات(به‌عنوان مثال، پارک‌های علم و فناوری، مراکز نوآوری و مراکز رشد)		*		۶.۴	[۲۷، ۲۸، ۴۰ ، ۴۱]
۲۴	فقدان دانش فنی و مهارت برای حفظ فناوری‌های‌ات	*		*	۳.۴	[۳۴ ، ۵۱]
۲۵	بوروکراسی اداری پیچیده برای کسب و کارها در فناوری‌های‌ات	*	*	*	۵.۵	[۲۹ ، ۳۰]
۲۶	اقتصاد مقیاس پایین فناوری‌های‌ات			*	۵.۴	[۱۲، ۲۱ ، ۴۱]
۲۷	محدودیت تعاملات تحقیقاتی بین‌المللی در زمینه فناوری‌های‌ات			*	۶.۵	[۲۶ ، ۴۱]
۲۸	ظرفیت شبکه محدود برای انتقال منابع تجدیدپذیر			*	۶.۴	[۳۴ ، ۵۱]

۳- روش‌شناسی

مدل‌سازی ساختاری - تفسیری[1] برای اولین بار توسط وارفیلد در سال ۱۹۷۳ برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده، اجتماعی - اقتصادی ارائه شد[۱۶]. این رویکرد یک فرایند یادگیری تعاملی است که یک مجموعه عوامل گوناگون و مرتبط بهم را در یک مدل سازمان یافته جامع، ساختاردهی می‌کند و با استفاده از برخی مفاهیم اصولی تئوری گراف، الگوی پیچیده روابط مفهومی بین مجموعه‌ای از متغیرها را تشریح می‌نماید[۱۸].

این روش دارای پایه ریاضی، فلسفی و یک ساختار تحلیلی و مفهومی است و ابزاری برای تبدیل سلسله مراتب ذهنی به الگوهای مشخص برای برنامه‌ریزی است. برخلاف پرسشنامه‌های متداول که پاسخ‌دهندگان در آن صرفا به موضوعات کلیدی امتیاز می‌دهند، در مدل‌سازی ساختاری - تفسیری از پاسخ‌دهندگان خواسته می‌شود که روابط و ارتباطات میان موضوعات کلیدی را نیز درنظربگیرند[۵۵].

در این مقاله، ابتدا چالش‌های تاثیرگذار بر توسعه بازار فناوری‌های‌ات با مطالعه منابع داخلی و خارجی استخراج (جدول شماره ۱) گردید و ۱۱ خبره(جدول شماره ۲) درخصوص توسعه بازار فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر که به روش گوله برفی انتخاب شده‌اند[۷، ۸ و ۹]. در انتخاب خبرگان، طیف متنوعی از بازیگران و ذی‌نفعان حوزه فناوری‌های‌ات مانند سرمایه‌گذاران و بنگاه‌ها جهت تکمیل پرسشنامه تحقیق استفاده شد؛ به ترتیبی که ترکیبی متوازن از افراد با وابستگی به سازمان‌های دولتی، بخش خصوصی و بنگاه‌ها، دانشگاه‌ها و موسسات پژوهشی، سازمان‌های درگیر در سرمایه‌گذاری، NGOs و انجمن‌های صنعتی و

1 Interpretive Structural Modelling

کسب‌وکاری مرتبط با توسعه فناوری‌های‌ات پرسشنامه تحقیق را تکمیل نمودند. خبرگان به‌صورت جداگانه به تاثیرگذاری چالش‌های توسعه بازار در حال حاضر در ایران امتیازی بین ۱ تا ۷ تخصیص دادند که در ستون سمت چپ جدول شماره ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۲: مشخصات خبرگان مشارکت کننده در تکمیل پرسشنامه تحقیق

ردیف	سمت سازمانی	سابقه (سال)
۱	کارشناس ستاد توسعه فناوری‌های حوزه آب و انرژی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری	۲۰
۲	مدیر میانی در سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی	۲۳
۳	کارشناس انجمن انرژی‌های تجدید پذیر ایران	۵
۴	هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف	۱۵
۵	هیات علمی پژوهشکده مطالعات فناوری ریاست جمهوری	۵
۶	هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی	۱۱
۷	عضو هیات علمی پژوهشگاه نیرو	۲۲
۸	مدیرکل معاونت سیاست‌گذاری و توسعه معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری	۱۲
۹	مدیرمیانی پژوهشگاه نیرو	۸
۱۰	کارشناس گروه برق و انرژی صبا	۱۳
۱۱	مدیرمیانی شرکت مهندسی و ساخت توربین مپنا (توگا)	۱۰

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از منابع داخلی و خارجی و سپس امتیاز خبرگان به تاثیرگذاری عوامل در شرایط فعلی ایران، ۲۰ چالش با امتیاز بالای ۴ به‌عنوان چالش‌های کلیدی توسعه بازار فناوری‌های‌ات در ایران انتخاب شد که در جدول شماره ۳ قابل مشاهده است. برای شناسایی چالش کلیدی ابتدا از خبرگان به‌صورت جداگانه خواسته شد براساس شرایط ایران، نسبت به اصلاح و یا تایید عوامل جدول شماره ۱(جمع‌بندی پیشینه) نظر خود را اعلام نمایند و به اهمیت هر چالش براساس تاثیرگذاری فعلی در توسعه بازار فناوری‌های‌ات ایران امتیازی بین ۱ تا ۷(خیلی کم تا خیلی زیاد) را تخصیص دهند. برای انتخاب عوامل مهم، امتیاز ۴ به‌عنوان آستانه تاثیرگذاری تعیین شد و در مجموع ۲۰ چالش دارای اهمیت با نظر خبرگان شناسایی گردید(جدول شماره ۳). در مرحله بعد با برگزاری سه جلسه در تابستان ۱۴۰۰ به میزبانی دبیرخانه برنامه ملی آینده‌نگاری در معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به‌صورت ترکیبی(حضوری و آنلاین به انتخاب خبرگان جدول شماره ۳) برگزار و نظر خبرگان درخصوص روابط بین چالش‌های توسعه بازار برای تحلیل با روش مدل‌سازی ساختاری - تفسیری، با تکمیل پرسشنامه تحقیق اخذ گردید.

جدول ۳: چالش‌های اصلی توسعه بازار فناوری‌های‌ات در ایران (براساس یافته‌های تحقیق)

کد	معیار
۱	بوروکراسی اداری پیچیده برای کسب و کارها در فناوری‌های‌ات
۲	معافیت‌های محدود و غیرنظام‌مند گمرگی برای توسعه فناوری‌های‌ات
۳	همکاری محدود تحقیقاتی مراکز تحقیقاتی، دانشگاهی و بنگاه‌های داخلی با هدف توسعه فناوری‌های‌ات
۴	ریسک بالای پروژه‌های فناوری‌ات
۵	کمبود اطلاعات در مورد مزایای فناوری‌های جدید در مقایسه با فناوری‌های موجود انرژی‌های تجدیدپذیر
۶	عدم مشارکت ذینفعان در قرایند سیاستگذاری
۷	ضعف زیرساخت‌های انتقال و توزیع شبکه برق سراسری برای اتصال منابع تجدیدپذیر
۸	ناکافی بودن تعداد و کیفیت نهادهای تحقیقاتی و آموزش عالی تخصصی فناوری‌های‌ات
۹	محدودیت فعالیت‌های تبلیغاتی و بازاریابی اجتماعی در فناوری‌های‌ات
۱۰	نرخ پایین ایجاد کسب‌وکارهای جدید در حوزه فناوری‌های‌ات
۱۱	سیاست‌های تشویقی و حمایتی محدود و غیرنظام‌مند آموزش، مالیات، خرید دولتی، تنظیم‌گری، استاندارد و ... فناوری‌های‌ات
۱۲	تعامل ضعیف دولت با شرکت‌های حوزه فناوری‌ات
۱۳	پذیرش اجتماعی پایین انرژی‌های تجدیدپذیر
۱۴	محدود بودن کنفرانس‌ها، کارگاه‌ها، نشست‌ها و نشریات تخصصی فناوری‌های‌ات
۱۵	کم بودن مالیات‌های وارداتی برای ارتقاء شرکت‌ها و صنایع فناوری‌های‌ات محلی در زنجیره ارزش فناوری‌های‌ات
۱۶	ناکافی بودن تعداد و کیفیت موسسات واسطه‌ای تخصصی فناوری‌های‌ات(به‌عنوان مثال پارک‌های علم و فناوری، مراکز نوآوری و مراکز رشد)
۱۷	تعداد محدود و عملکرد ضعیف NGOها و اندیشکده‌ها، انجمن‌های تخصصی در حوزه فناوری‌های‌ات
۱۸	ظرفیت نهادی پایین برای ترویج فناوری‌های‌ات
۱۹	اقتصاد مقیاس پایین فناوری‌های‌ات
۲۰	محدودیت تعاملات تحقیقاتی بین‌المللی در زمینه فناوری‌های‌ات

گام‌های مدل‌سازی ساختاری تفسیری که پژوهش حاضر برمبنا آن صورت گرفته است، به شرح زیر است:

۱. تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری(SSIM): تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری، یک ماتریس به ابعاد متغیرها است که در سطر و ستون اول آن متغیرها به‌ترتیب ذکر می‌شود و براساس نظر گروه خبرگان تشکیل می‌شود. آنگاه روابط دو به دوی متغیرها توسط نمادهایی مشخص می‌شود. هنگامی که عامل سطر (i) زمینه‌ساز رسیدن به عامل ستون (j) باشد، از نماد (v) استفاده می‌شود. اگر عامل ستون (j) زمینه‌ساز رسیدن به عامل سطر (i) باشد، از نماد (A) استفاده می‌شود. اگر بین عامل سطر (i) و ستون (j) ارتباط دوطرفه وجود داشته باشد و هر دو عامل زمینه‌ساز رسیده به همدیگر شوند، از نماد (X) استفاده می‌شود. در نهایت، هرگاه هیچ نوع ارتباطی بین دو عنصر وجود نداشته باشد، از نماد (O) استفاده می‌شود[۸].

۲. تشکیل ماتریس دستیابی اولیه(RM): این ماتریس نمادهای روابط ماتریس SSIM را به اعداد صفر و یک تبدیل می‌کند.

۳. تشکیل ماتریس دستیابی نهایی: این ماتریس با اعمال روابط تعدی موجود در بین متغیرها تشکیل می‌شود. در این ماتریس، روابط ثانویه بین ابعاد شاخص‌ها کنترل می‌شود. رابطه ثانویه به‌صورتی است که اگر بعد I به بعد J، بعد J به بعد K منجر شود، پس بعد I به بعد K منجر خواهد شد. اگر در ماتریس دستیابی این حالت برقرار نبود، باید ماتریس اصلاح و روابطی که از قلم افتاده جایگزین شود. بدین ترتیب، برخی از عناصر صفر تبدیل به یک خواهد شد که به‌صورت 1* نشان داده می‌شود. با شناسایی روابط ثانویه و اصلاح ماتریس دریافتی، ماتریس نهایی بدست می‌آید. برای سازگار کردن ماتریس روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. در پژوهش حاضر از قاعده بولین برای تبدیل ماتریس دستیابی اولیه به ماتریس دستیابی نهایی و با استفاده از نرم‌افزار Mathworks Matlab R2019a استفاده می‌شود[۸].

۴. تعیین سطح و اولویت متغیرها: پس از تعیین مجموعه دستیابی و مجموعه پیش‌نیاز برای هر عنصر و تعیین مجموعه مشترک، سطح‌بندی متغیرها انجام می‌شود. عناصری که در آنها مجموعه مشترک با مجموعه دستیابی یکسان است، سطح اول اولویت را به خود اختصاص می‌دهد. با حذف این عناصر و تکرار این مرحله برای سایر عناصر، سطح تمام عناصر تعیین می‌شود.

۵. ترسیم مدل ساختاری تفسیری: این مدل براساس ماتریس دستیابی نهایی و سطوح تعیین شده ترسیم می‌شود.

۶. تجزیه و تحلیل قدرت نفوذ وابستگی(روش میک مک): جمع سطری مقادیر در ماتریس دستیابی نهایی برای هر عنصر، بیانگر میزان نفوذ و جمع ستونی، نشان‌دهنده میزان وابستگی خواهد بود. براساس این دو عامل، چهار گروه از عناصر قابل شناسایی خواهد بود: عوامل خودمختار، وابسته، متصل و مستقل. گروه اول عوامل خودمختارند که قدرت نفوذ و وابستگی ضعیفی دارند و تا حدودی از سایر عوامل مجزا هستند. گروه دوم عوامل وابسته‌اند که قدرت نفوذ ضعیف، اما وابستگی بالایی دارند. گروه سوم شامل عوامل متصلند که قدرت نفوذ و وابستگی بالایی دارند؛ درواقع، هرگونه عملی روی این عوامل موجب تغییر سایر عوامل می‌شود. گروه چهارم عوامل مستقلند که از قدرت نفوذ بالا و وابستگی پایینی برخوردارند و در اصطلاح عوامل کلیدی خوانده می‌شود. عوامل کلیدی در یکی از دو گروه مستقل یا متصل قرار می‌گیرد.

۴- یافته‌ها

در این پژوهش، ابتدا ماتریس خودتعاملی ایجاد می‌شود. در ماتریس خودتعاملی از نمادهایی استفاده می‌شود که در گام ۱ شرح داده شد. برای استخراج این ماتریس از نظر خبرگان(جدول شماره ۳) استفاده شده که نتیجه آن در جدول شماره ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۴[۱]: ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM)

متغیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۱		O	V	A	O	O	A	X	A	v	O	A	O	O	A	V	X	X	A	V
۲			O	O	O	A	O	O	O	A	A	A	O	O	O	O	O	O	O	O

۱ V: اگر شاخص سطر i منجر به شاخص ستون j شود (شاخص سطر i بر روی شاخص ستون j تاثیر بگذارد).

X: اگر رابطه بین شاخص سطر i و ستون j دو طرفه باشد(هر دو روی هم تاثیر بگذارند).

O: اگر بین شاخص سطر i و ستون j رابطه‌ای نباشد (هیچکدام بر روی هم تاثیر نگذارند).

A: اگر شاخص ستون j منجر به شاخص سطر i شود (شاخص ستون j بر روی شاخص سطر i تاثیر بگذارد).

متغیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۳				O	O	O	O	O	O	A	O	O	A	O	O	A	O	O	O	O
۴					O	O	O	V	O	O	O	O	O	O	O	O	V	V	X	O
۵						O	O	V	A	O	O	O	A	A	A	O	A	O	O	A
۶							X	O	O	O	A	A	O	O	A	O	O	O	O	O
۷								O	O	O	A	V	O	O	A	O	O	O	O	O
۸									A	O	O	O	A	A	A	O	A	O	A	O
۹										O	O	O	O	V	A	O	O	O	O	A
۱۰											A	A	A	A	O	A	A	O	O	A
۱۱												V	O	O	O	A	V	O	O	V
۱۲													O	O	O	A	O	O	O	O
۱۳														V	V	O	O	O	O	V
۱۴															A	O	O	O	O	V
۱۵																O	O	O	O	A
۱۶																	O	O	O	O
۱۷																		X	A	O
۱۸																			A	O
۱۹																				O
۲۰																				

پس از دستیابی به ماتریس اولیه، طبق آنچه در گام سوم روش تحقیق شرح داده شد، باید سازگاری درونی در آن برقرار شود. بدین منظور از قاعده بولین برای تبدیل ماتریس دستیابی اولیه به ماتریس دستیابی نهایی استفاده شده است که این امر به‌وسیله نرم‌افزار Mathworks Matlab R2019a صورت پذیرفت. سلول‌های جدول شماره ۵ که علامت * در کنار آنها آمده نشان‌دهنده این است که در ماتریس دستیابی اولیه مقدار آنها صفر بوده و پس از سازگاری درونی عدد یک به آنها اختصاص داده شده است. همچنین، در این ماتریس قدرت نفوذ و وابستگی هر متغیر در برابر متغیرهای دیگر مشخص شده است. قدرت نفوذ هر متغیر از جمع تعداد متغیرهای متاثر از آن و خود متغیر بدست می‌آید. وابستگی یک متغیر از جمع متغیری که از آنها تاثیر می‌پذیرد و خود متغیر بدست می‌آید. نتایج حاصل از جدول ماتریس نهایی نشانگر این است که کدام متغیر بیشترین و کمترین تاثیر را دارد. این جدول مبنای تحلیل میک‌مک است.

جدول ۵: ماتریس دستیابی نهایی

متغیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	قدرت نفوذ
۱	1	*1	1	0	*1	0	0	1	*1	1	*1	*1	0	0	*1	1	1	0	1	1	14
۲	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
۳	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
۴	1	0	*1	1	0	0	1	0	0	*1	*1	0	0	0	*1	1	1	1	1	*1	11
۵	*1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
۶	*1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	*1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
۷	1	*1	*1	0	0	1	1	*1	0	*1	0	1	0	0	*1	*1	*1	1	0	*1	12
۸	1	0	*1	0	0	0	0	1	0	*1	0	0	0	0	*1	*1	*1	*1	0	*1	8
۹	1	0	*1	0	1	0	0	1	1	*1	0	0	1	0	*1	*1	*1	*1	0	*1	11
۱۰	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

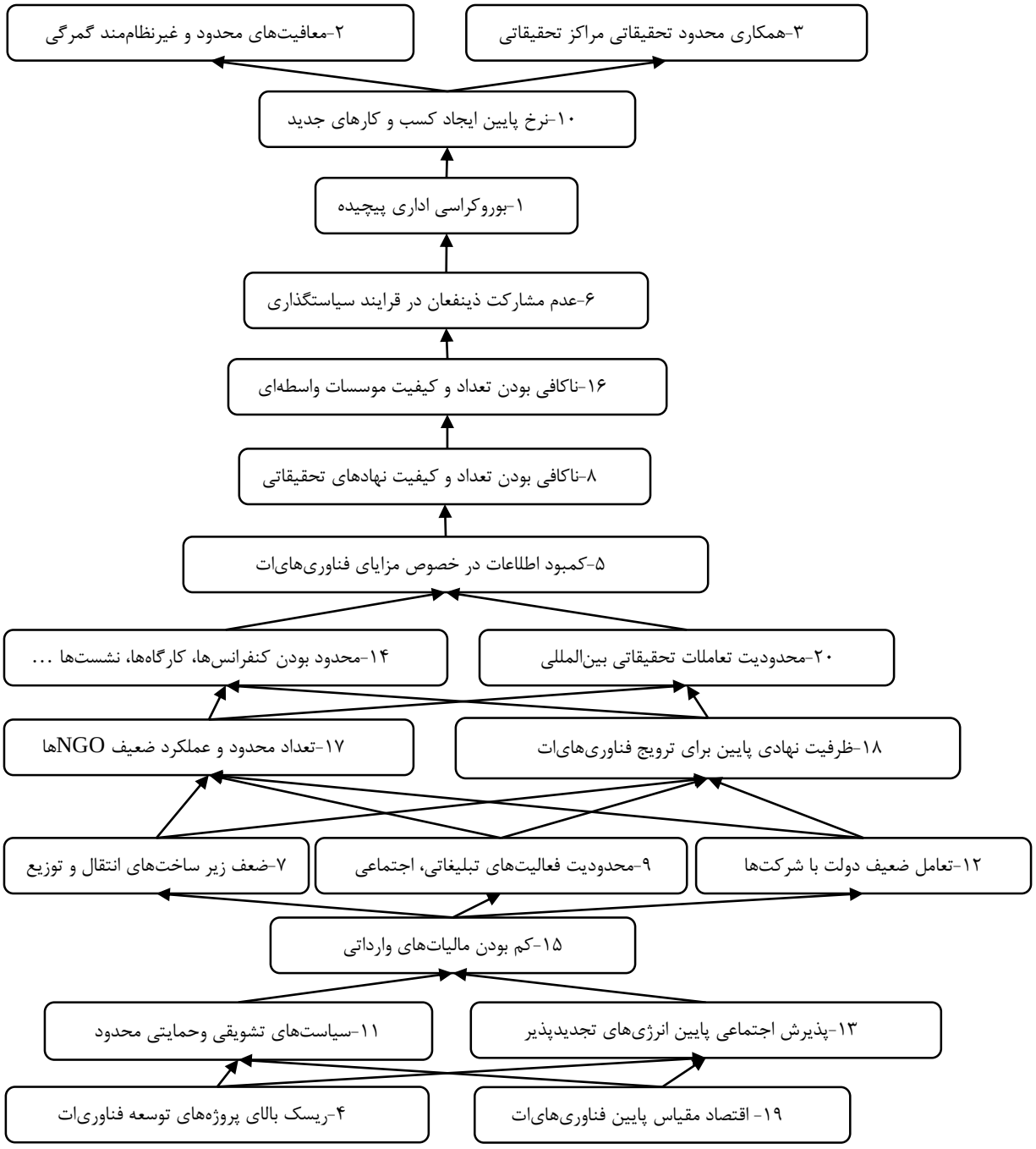
متغیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	قدرت نفوذ
۱۱	1*	1	1*	0	1*	1	1	0	1*	1	1	1	0	0	1*	1	0	0	0	1	13
۱۲	1	1	1*	0	0	1	1*	1*	0	1	0	1	0	0	0	1*	1*	1*	0	1*	12
۱۳	1*	1*	1	0	1	1*	1*	1	1*	1	0	1*	1	1	1	1	0	0	0	1	15
۱۴	1*	0	0	0	1	0	0	1	1*	1*	0	0	0	1	1*	0	0	0	0	1	8
۱۵	1	1*	1*	0	1	1	1	1	1	1*	0	1*	0	1	1	1*	1*	1*	0	1*	16
۱۶	1*	1*	1	0	0	1*	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	7
۱۷	1	1*	1*	0	0	1*	1*	1*	0	1	1	1*	0	0	0	1*	1	1	0	1*	13
۱۸	1	0	1*	0	0	0	0	1*	0	1*	1*	0	0	0	0	1*	1	1	0	1*	9
۱۹	1	0	1*	1	0	0	0	1	0	1*	1*	0	0	0	0	1*	1	1	1	1*	11
۲۰	1*	1*	1*	0	1	1*	1*	1*	1	1	0	0	0	1*	1	0	0	0	0	1	12
میزان وابستگی	17	12	16	2	8	9	8	14	7	16	6	9	1	5	6	13	10	10	2	14	

پس از دستیابی نهایی به ماتریس، براساس آنچه در گام چهارم روش تحقیق شرح داده شد، نسبت به تعیین سطح متغیرها اقدام می‌شود. برای تعیین سطح متغیرها در مدل نهایی به ازای هرکدام از آنها سه مجموعه دستیابی، مجموعه پیش‌نیاز و مجموعه مشترک تشکیل می‌شود. متغیری در سطح یک قرار می‌گیرد که مجموعه دستیابی و عناصر مشترک آن کاملا یکسان باشد. پس از تعیین این متغیر یا متغیرها، آنها از ماتریس دستیابی نهایی حذف می‌شود و با بقیه متغیرهای باقی مانده، سطح‌بندی ادامه می‌یابد.

جدول ۶: تعیین سطوح شاخص‌ها(بر اساس یافته‌های تحقیق)

متغیر	مجموعه دستیابی	مجموعه پیش‌نیاز	مجموعه اشتراک	سطح
۱	۱-۲-۳-۵-۸-۹-۱۰-۱۱-۱۲-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۲۰	۱-۴-۵-۶-۷-۸-۹-۱۱-۱۲-۱۳-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰	۱-۵-۸-۹-۱۱-۱۲-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۲۰	۳
۲	۲	۱-۲-۶-۷-۱۰-۱۱-۱۲-۱۳-۱۵-۱۶-۱۷-۲۰	۲	۱
۳	۳	۱-۳-۴-۷-۸-۹-۱۰-۱۱-۱۲-۱۳-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰	۳	۱
۴	۱-۳-۴-۸-۱۰-۱۱-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰	۴-۱۹	۴-۱۹	۱۳
۵	۱-۵-۸	۱-۵-۹-۱۱-۱۳-۱۴-۱۵-۲۰	۱-۵	۷
۶	۱-۲-۶-۷-۱۲	۶-۷-۱۱-۱۲-۱۳-۱۵-۱۶-۱۷-۲۰	۶-۷-۱۲	۴
۷	۱-۲-۳-۶-۷-۸-۱۰-۱۲-۱۶-۱۷-۱۸-۲۰	۶-۷-۱۱-۱۲-۱۳-۱۵-۱۷-۲۰	۶- ۷- ۱۲- ۱۷- ۲۰	۱۰
۸	۱- ۳- ۸- ۱۰- ۱۶- ۱۷- ۱۸- ۲۰	۱- ۴- ۵- ۷- ۸- ۹- ۱۲- ۱۳- ۱۴- ۱۵- ۱۷- ۱۸- ۱۹- ۲۰	۱- ۸- ۱۷- ۱۸- ۲۰	۶
۹	۱- ۳- ۵- ۸- ۹- ۱۰- ۱۴- ۱۶- ۱۷- ۱۸- ۲۰	۱- ۹- ۱۱- ۱۳- ۱۴- ۱۵- ۲۰	۱- ۹- ۱۴- ۲۰	۱۰
۱۰	۲- ۳- ۱۰	۱- ۴- ۷- ۸- ۹- ۱۰- ۱۱- ۱۲- ۱۳- ۱۴- ۱۵- ۱۶- ۱۷- ۱۸- ۱۹- ۲۰	۱۰	۲
۱۱	۱- ۲- ۳- ۵- ۶- ۷- ۹- ۱۰- ۱۱- ۱۲- ۱۵- ۱۶- ۲۰	۱- ۴- ۱۱- ۱۷- ۱۸- ۱۹	۱-۱۱	۱۲
۱۲	۱-۲-۳-۶-۷-۸-۱۰-۱۲-۱۶-۱۷-۱۸-۲۰	۱-۶-۷-۱۱-۱۲-۱۳-۱۵-۱۶-۱۷	۱-۶-۷-۱۲-۱۶-۱۷	۱۰
۱۳	۱-۲-۳-۵-۶-۷-۸-۹-۱۰-۱۲-۱۳-۱۴-۱۵-۱۶-۲۰	۱۳	۱۳	۱۲

متغیر	مجموعه دستیابی	مجموعه پیش‌نیاز	مجموعه اشتراک	سطح
۱۴	۲۰-۱۵-۱۴-۱۰-۹-۸-۵-۱	۲۰-۱۵-۱۴-۱۳-۹	۲۰-۱۵-۱۴-۹	۸
۱۵	۲۰-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۲-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۳-۲-۱	۲۰-۱۵-۱۴-۱۳-۱۱-۱	۲۰-۱۵-۱۴-۱	۱۱
۱۶	۱۶-۱۲-۱۰-۶-۳-۲-۱	۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۳-۱۲-۱۱-۹-۸-۷-۴-۱	۱۶-۱۲-۱	۵
۱۷	۲۰-۱۸-۱۷-۱۶-۱۲-۱۱-۱۰-۸-۷-۶-۳-۲-۱	۱۹-۱۸-۱۷-۱۵-۱۲-۹-۸-۷-۴-۱	۱۸-۱۷-۱۲-۸-۷-۱	۹
۱۸	۲۰-۱۸-۱۷-۱۶-۱۱-۱۰-۸-۳-۱	۱۹-۱۸-۱۷-۱۵-۱۲-۹-۸-۷-۴-۱	۱۸-۱۷-۸-۱	۹
۱۹	۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۱-۱۰-۸-۴-۳-۱	۱۹-۴	۱۹-۴	۱۳
۲۰	۲۰-۱۵-۱۴-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۳-۲-۱	۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۹-۸-۷-۴-۱	۲۰ -۱۵ -۱۴ -۹ -۸ -۷ -۱	۸

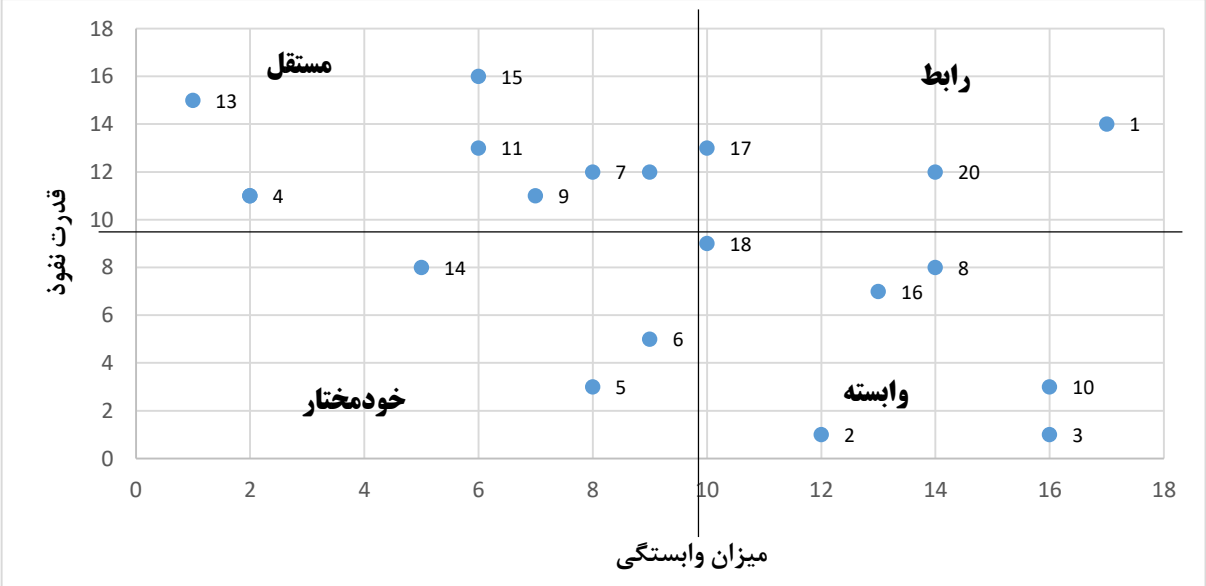


شکل ۱: سطح‌بندی چالش‌های توسعه بازار فناوری‌های‌ات در ایران(براساس یافته‌های تحقیق)

پس از آنکه سطوح هرکدام از متغیرها(چالش‌ها) مشخص شد، با درنظرگرفتن ماتریس دستیابی نهایی، مدل ساختاری - تفسیری چالش‌های تاثیرگذار بر فرایند توسعه بازار فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران ترسیم شد(شکل شماره ۱) که از ۱۳ سطح تشکیل شده است.

متغیرهایی که در سطوح بالای سلسله مراتب قرار دارد، از تاثیر کمتری برخوردار است؛ متغیرهایی همچون معافیت‌های محدود و غیرنظام‌مند گمرگی برای توسعه فناوری‌های‌ات و همکاری محدود تحقیقاتی مراکز تحقیقاتی، دانشگاهی و بنگاه‌های داخلی با هدف توسعه فناوری‌های‌ات از طرفی دیگر، موسوی و همکاران نیز همراستا با یافته‌های این تحقیق به لزوم سیاستگذاری منسجم توسعه فناوری‌های‌ات برای افزایش همکاری تحقیقاتی مراکز پژوهشی و بنگاه‌ها اشاره نموده‌اند[۱۴]. متغیرهایی که در سطوح پایین سلسله مراتب قرار دارد، از تاثیر بیشتری برخوردار است؛ چالش‌هایی همچون ریسک بالای پروژه‌های فناوری‌ات و اقتصاد مقیاس پایین فناوری‌های‌ات از این نوع محسوب می‌شود. این یافته‌ها همراستا با پیشینه نیز می‌باشد که با بهبود اقتصاد مقیاس، انرژی‌های تجدیدپذیر مقرون‌به‌صرفه شده و توانایی رقابت‌پذیری بدون یارانه را با سوخت‌های فسیلی بدست می‌آورد[۲۴]. یکی دیگر از چالش‌ها و موانع سرمایه گذاری و توسعه بازار فناوری‌های‌ات هزینه های بالا این نوع انرژی ها و ریسک بالا توسعه فناوری‌های‌ات است که همراستا با یافته‌های جمالی و همکاران نیز است[۱].

پس از اینکه مدل ساختاری - تفسیری چالش‌های تاثیرگذار بر فرایند توسعه بازار فناوری‌های‌ات در ایران ترسیم شد، براساس آنچه در گام ششم روش پژوهش بیان شد، نسبت به تحلیل میک‌مک اقدام گردید که متغیرها در آن به ۴ گروه طبقه‌بندی می‌شود. در جدول شماره ۴، میزان نفوذ و وابستگی هریک از متغیرها در ارتباط با یکدیگر مشخص شد. برای این تحلیل بایستی جدولی طراحی شود که به تعداد متغیرها سطر و ستون وجود داشته باشد. هر متغیر میزان نفوذ و وابستگی مخصوص در محور سطر(وابستگی) و ستون(نفوذ) را دارا است. به‌عبارتی، هر عامل در جدول شماره ۴ دارای دو عدد میزان وابستگی و قدرت نفوذ است که به‌ترتیب در سطر و ستون جدول مشخص می‌گردد و نقطه تقاطع سطر و ستون، جایگاه عامل را در تحلیل میک‌مک مشخص می‌کند. با استفاده از شدت نفوذ و وابستگی هریک از معیارها (جدول شماره ۳)، می‌توان به گروه‌بندی شاخص‌ها با استفاده از روش تحلیل میک‌مک پرداخت(شکل شماره ۲).



شکل ۲: نمودار قدرت نفوذ و وابستگی(براساس یافته‌های تحقیق)

بر این اساس معیارهای ریسک بالای پروژه‌های فناوری‌ات، ضعف زیرساخت‌های انتقال توزیع شبکه برق سراسری برای اتصال منابع تجدیدپذیر، محدودیت فعالیت‌های تبلیغاتی و بازاریابی اجتماعی در فناوری‌های‌ات، سیاست‌های تشویقی و حمایتی محدود و غیرنظام‌مند آموزش، مالیات، خرید دولتی، تنظیم‌گری، استاندارد و ... فناوری‌های‌ات، تعامل ضعیف دولت با

شـرکت‌های حوزه فناوری‌ات، پذیرش اجتماعی پایین انرژی‌های تجدیدپذیر، کم بودن مالیات‌های وارداتی برای ارتقاء شـرکت‌ها و صـنایع فناوری‌های‌ات محلی در زنجیره ارزش فناوری‌های‌ات، اقتصـاد مقیاس پایین فناوری‌های‌ات از نوع متغیرهای مسـتقل هسـتند. این متغیرها دارای وابسـتگی کم و هدایت بالا هسـتند. به‌عبارت‌دیگر، تاثیرگذاری بالا و تاثیرپذیری کم از ویژگی‌های این متغیرهاسـت. حایز اهمیت بودن این چالش‌ها و لزوم پیاده‌سازی سـیاست‌های تشویقی و حمایتی از جمله اعطای وام‌های کم بهره و معـافیـت مالیاتی به شـــرکت‌های توانمند و بزرگ تولید کننده توربین بـادی برای توسـعه بازار فناوری‌های‌ات توسـط معادی رودسـری و بوشهری نیز مورد تاکید قرار گرفته است[۱۱]. معیار معـافیـت‌هـای محـدود و غیرنظـام‌منـد گمرگی برای توسـعه فنـاوری‌هـای‌ات، همکـاری محـدود تحقیقاتی مراکز تحقیقاتی، دانشـگاهی و بنگاه‌های داخلی با هدف توسـعه فناوری‌های‌ات، ناکافی بودن تعداد و کیفیت نهادهای تحقیقاتی و آموزش عالی تخصـصـی فناوری‌های‌ات، نرخ پایین ایجاد کسـب‌وکارهای جدید در حوزه فناوری‌های‌ات، ناکافی بودن تعداد و کیفیت موسـسـات واسطه‌ای تخصصی فناوری‌های‌ات(به‌عنوان مثال پارک‌های علم و فناوری، مراکز نوآوری و مراکز رشـد) از نوع وابسـته اسـت. این متغیرها دارای وابستگی قوی و هدایت ضعیف هستند؛ این متغیر اصـولا تاثیرپذیری بالا و تاثیرگذاری کمی روی سـیسـتم دارند. معیـارهای بوروکراســی اداری پیچیده برای کســب‌وکارها در فناوری‌های‌ات، محدودیت تعاملات تحقیقاتی بین‌المللی در زمینه فناوری‌های‌ات از نوع رابط هسـتند. این متغیرها از وابسـتگی و قـدرت هـدایـت بـالـایی برخوردارنـد؛ بـه‌عبارتی، تاثیرگذاری و تاثیرپذیری این معیارها بسیار بالاست و هر تغییر کوچکی بر روی این متغیرها باعث تغییرات اساسی در سیستم می‌شود. معیارهای کمبود اطلاعات در مورد مزایای فناوری‌های جدید در مقایسـه با فناوری‌های موجود انرژی‌های تجدیدپذیر، عدم مشارکت ذینفعان در قرایند سـیاسـتگذاری، محدود بودن کنفرانس‌ها، کارگاه‌ها، نشسـت‌ها و نشـریات تخصـصـی فناوری‌های‌ات از نوع خودمختار هستند و میزان وابستگی و قدرت هدایت کمی دارند. این معیارها عموما از سـیسـتم جدا می‌شـوند؛ زیرا دارای اتصـالات ضـعیف با سـیسـتم هسـتند. تغییری در این متغیرها باعث تغییر جدی در سـیسـتم نمی‌شـود. متغیر ۱۷(تعداد محدود و عملکرد ضـعیف NGOهـا و انـدیشـکده‌ها، انجمن‌های تخصـصـی در حوزه فناوری‌های‌ات) خصـوصـیات رابط و مسـتقل را دارد. معیار ۱۸(ظرفیـت نهـادی پـایین برای ترویج فنـاوری‌هـای‌ات) نیز خصوصیات معیارهای وابسته و خودمختار را دارد.

۵- نتیجه‌گیری

ویژگی‌های منحصر به فرد انرژی‌های تجدیدپذیر باعث توسعه آن در دنیا شـده است. بهره‌گیری از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر بـرای تـامین انـرژی الکتریکی راهکاری اجتناب‌ناپذیر در مسیر توسـعه پایدار کشـــورها در جهان امروز اسـت. ایران، به‌دلیل برخورداری مناســب از شــدت تابش آفتاب، همچنین به‌دلیل برخورداری از بادهای موسـمی مناسب، یکی از کشورهای مستعد برای بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر به شـمار می‌رود. اما بنا به دلایلی، استفاده از این نوع انرژی‌های پاک در کشورمان آنچنان که باید و شـاید توسـعه نیافته اسـت و در این شـرایط در ایران تاکنون ۶۵۴ مگاوات برق از طریق نیروگاه‌های تجیدپذیر تولید شـده که این میزان کمتر از یک درصـد کل ظرفیت برق ایران اسـت. ازاین‌رو، نیاز به وجود یک رویکردی علمی و واقع‌گرایانه برای اسـتفاده سـیاسـتگذاران و فعالان حوزه انرژی به‌منظور تصـمیم‌گیری توسـعه و رشد بازار انرژی‌های تجدیدپذیر احساس می‌شود.

در پژوهش حاضـر ابتدا با مرور پیشینه، چالش‌های تاثیرگذار بر فرایند توسـعه بازار فناوری‌های‌ات در ایران اسـتخراج شـد. به‌منظور اسـتخراج این چالش‌ها سـعی کردیم که به زمینه کشورهای در حال توسعه به‌ویژه ایران توجه لازم را داشته باشیم. با اسـتفاده از روش مدل‌سـازی ساختاری - تفسیری، ارتباط بین چالش‌های تاثیرگذار بر فرایند توسعه بازار فناوری‌های‌ات در ایران تحلیل شـد و بر اسـاس یافته‌ها، چالش‌ها در ۱۳ طبقه (شکل ۱) دسـته‌بندی شده‌اند. یافته‌ها این مقاله به سیاستگذاران و مدیران کمـک می‌کنـد تا درک صـحیحی از روابط میان چالش‌های تاثیرگذار بر فرایند توسعه بازارهای فناوری‌های‌ات در ایران کسب نموده و از جایگاه هر یک از چالش‌های بیان شـده در توسـعه و عدم رشد بازار انرژی‌های تجدیدپذیر اطلاع کسب نمایند.

چالش‌هایی که در سـطوح پایین مدل سـاختاری - تفسـیری قرار دارند، اساسی‌ترین چالش‌ها هستند و بدون پرداختن به آن‌ها نمی‌توان بر سـایر چالش‌ها غلبه کرد. سـیاسـت‌گذاران و مدیران بایسـتی ابتدا چالش‌های موجود در سـطح اول مدل سـاختاری - تفسـیری را برطرف نمایند و بعد از آن نسـبت به برطرف کردن چالش‌های موجود در سـطوح بالاتر اقدام کنند، که این موضـوع می‌تواند به تصـمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران برای تجسم سطح اولویت هریک از چالش‌ها و همچنین، اختصـاص زمان و منابع مناسب کمک کند.

ریسـک بالای پروژه‌های توسـعه فناوری‌ات و اقتصـاد مقیاس

پایین این فناوری‌ها از جمله چالش‌های اساسی تاثیرگذار بر فرایند توسعه بازارهای فناوری‌های‌ات در ایران است. علی‌رغم هدف‌گذاری افزایش تولیدات فناوری‌های‌ات در سال‌های گذشته، سهم بازار فناوری‌های‌ات در مقایسه با انرژی‌های فسیلی ناچیز است، اگرچه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر هزینه بهره‌برداری کمی دارد، اما به دلیل نداشتن صرفه‌های ناشی از مقیاس، هزینه‌های سرمایه گذاری بسیار بالاتر در مقایسه با انرژی‌های فسیلی دارند. یکی دیگر از چالش‌ها و موانع سرمایه گذاری و توسعه بازار فناوری‌های‌ات هزینه های بالا این نوع انرژی ها و ریسک بالا توسعه فناوری‌های‌ات است. بنابراین، می تواند با ارائه تسهیلات به منظور کاهش هزینه ها از ترویج انرژی های تجدیدپذیر پشتیبانی کرد تا انگیزه‌ی سرمایه گذاری در انرژی های تجدیدپذیر جهت جایگزینی این انرژی ها با انرژی فسیلی فراهم شود. با توجه به ریسک بالا سرمایه‌گذاری اولیه فناوری‌های‌ات، تخصیص مناسب حمایت مالی دولتی، قوانین سرمایه‌گذاری و اطمینان از افزایش سریع مصرف انرژی تجدیدپذیر، افزایش بودجه عمومی به‌عنوان یک عامل مهم برای بسیج سرمایه‌گذاری‌های خصوصی خواهد بود. استفاده از ابزارهای جدید کاهش ریسک و ارتقاء حاملان سرمایه‌گذاری برای تجاری‌سازی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر سبب افزایش علایق سرمایه‌گذاران به‌ویژه سرمایه‌گذاران نهادی بزرگ می‌شود. تأمین مالی اقلیمی و دیگر منابع مالی دولتی می‌تواند به‌منظور تجهیز سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، در راستای راهبردها و سایر تلاش‌های بین‌المللی مکمل باشد. ازاین‌رو، با بهبود و اصلاح این چالش‌ها می‌توان به نتایج بهتری در توسعه فناوری‌های‌ات دست یافت. در مجموع، بایستی بیان کرد که پژوهش حاضر می‌تواند بینش‌های سیاستی و مدیریتی برای بهبود و توسعه بازار فناوری‌های‌ات در ایران و کشورهای در حال توسعه به همراه داشته باشد. بر اساس یافته‌های این مقاله، دو چالش همکاری محدود تحقیقاتی مراکز تحقیقاتی و معافیت‌های محدود و غیرنظام‌مند گمرگی در بالاترین سطح قرار گرفته‌اند و اگرچه برای برطرف شدن آن‌ها لازم است دیگر چالش‌ها مرتفع شوند، اما خود بر حل دیگر چالش‌ها تاثیر زیادی ندارد. این دو چالش از نوع متغیر وابسته و دارای وابستگی قوی و هدایت ضعیف هستند که دارای تاثیرپذیری بالا و تاثیرگذاری کمی روی سیستم دارند.

بر اساس یافته‌های نویسندگان، تصمیم‌گیران و سیاستگذاران باید به بهبود و برطرف شدن چالش‌های کلیدی توسعه بازار شامل ریسک بالای پروژه‌های فناوری‌ات، ضعف زیرساخت‌های انتقال توزیع شبکه برق سراسری برای اتصال منابع تجدیدپذیر، محدودیت فعالیت‌های تبلیغاتی و بازاریابی اجتماعی در فناوری‌های‌ات، سیاست‌های تشویقی و حمایتی محدود و غیرنظام‌مند آموزش، مالیات، خرید دولتی، تنظیم‌گری، استاندارد و ... فناوری‌های‌ات، تعامل ضعیف دولت با شرکت‌های حوزه فناوری‌ات، پذیرش اجتماعی پایین انرژی‌های تجدیدپذیر، کم بودن مالیات‌های وارداتی برای ارتقاء شرکت‌ها و صنایع فناوری‌های‌ات محلی در زنجیره ارزش فناوری‌های‌ات، اقتصاد مقیاس پایین فناوری‌های‌ات و معیارهای کمبود اطلاعات در مورد مزایای فناوری‌های جدید در مقایسه با فناوری‌های موجود انرژی‌های تجدیدپذیر، عدم مشارکت ذینفعان در فرایند سیاستگذاری، محدود بودن کنفرانس‌ها، کارگاه‌ها، نشست‌ها و نشریات تخصصی فناوری‌های‌ات توجه داشته باشند. درواقع، این چالش‌ها اساسی و در سطح پایین سلسله مراتب چالش‌ها قرار دارند و بدون غلبه بر آنها نمی‌توان به سایر چالش‌ها غلبه کرد.

چالش‌های قرار گرفته در سطوح پایین مدل ساختاری-تفسیری (شکل ۱) برای تحقق بازار انبوه از اهمیت بالاتری برخوردار هستند. بر این اساس، چالش‌های سیاست‌های تشویقی و حمایتی محدود، پذیرش اجتماعی پایین انرژی‌های تجدیدپذیر، کم بودن مالیات‌های وارداتی و ضعف در زیر ساخت‌های توزیع و انتقال در بازار ایران به مراتب اهمیت بالاتری در توسعه بازار دارند. با توجه به اینکه ۴,۷ درصد از تولید ناخالص داخلی ایران (معادل ۲۹,۷ میلیارد دلار) در سال ۲۰۲۰ به صورت یارانه سوخت‌های فسیلی تخصیص یافت[1] که سهم قابل توجهی از اقتصاد کشور می‌باشد. این حجم بالا از یارانه به سوخت‌های فسیلی، الزام حمایت و مشوق‌های سیاستی برای توسعه بازار فناوری‌های‌ات را دو چندان می‌نماید. به علاوه، رشد متوازن سهم بازار منابع انرژی‌های تجدیدپذیر بادی، خورشیدی و بیوگازسوز نیازمند پیاده‌سازی سیاست‌های تشویقی مانند اعطای یارانه برای پوشش مزیت نسبی پایین فناوری‌های‌ات است. ظرفیت برق تولیدی از منابع تجدیدپذیر در سال‌های اخیر رشد نسبتاً خوبی در کشور داشته و از ۱۴۵ مگاوات در سال ۱۳۹۳ به ۵۳۱ مگاوات در سال ۱۳۹۶ و به ترتیب ۸۲۰ و ۹۲۰ مگاوات در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ رسیده است[2]. با این حال سهم این منابع در

1 https://www.iea.org/topics/energy-subsidies (accessed 14 January 2022)

۲ گزارش آماری وزارت نیرو، قابل دسترس در:

https://isn.moe.gov.ir/?lang=en-us (accessed 14 January 2022)

مقایسه با کل ظرفیت تولیدی برق کشور ناچیز (حداکثر ۱,۵ درصد) است که بر اقتصاد مقیاس پایین توسعه فناوری‌های‌ات به عنوان چالشی برای توسعه بازار این فناوری‌ها دلالت دارد.

ضعف زیرساخت‌های انتقال توزیع شبکه برق سراسری برای اتصال منابع تجدیدپذیر از چالش‌های عمده توسعه بازار انرژی‌های تجدیدپذیر که به دلیل سرمایه‌گذاری‌ها و توجیه اقتصادی بیشتر توسعه زیرساخت‌های تولید و توزیع انرژی‌های فسیلی، جذابیت سرمایه‌گذاری برای توسعه زیرساخت‌های توزیع و انتقال انرژی‌های نو را کاهش داده است

یافته‌های این مقاله نشان می‌دهد چالش‌های تاثیرگذار بر فرایند توسعه بازار فناوری‌های‌ات الزاماً هم‌سطح و هم‌سنخ با یکدیگر نیستند. لذا پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران توسعه بازار فناوری‌های‌ات در هدف‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های خود ابتدا در مراحل اولیه و در کوتاه‌مدت، محرک‌های سیاستی برای شکل‌گیری کسب و کارها و جذب سرمایه‌گذاران به این حوزه کسب و کاری پیاده‌سازی نمایند. به‌تدریج، پس از آنکه ظرفیت داخلی به رشد مناسب و قابل قبولی رسید، در میان‌مدت سیاست‌ها بر رقابتی شدن و مقررات‌زدایی فضای بازار و حمایت از افزایش قابل توجه مقیاس متمرکز شوند.

محدودیت‌های عمده این پژوهش شامل پیشینه محدود مرتبط به موضوع تحقیق و کمبود اطلاعات آماری دقیق و همچنین تعداد کم خبرگان و کارشناسان این حوزه است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده پژوهشگران با استفاده از دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره، پیشران‌های جهانی تاثیرگذار بر توسعه فناوری‌های‌ات را مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد تا به تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران این حوزه برای برنامه‌ریزی دقیق‌تر کمک نماید. به‌علاوه، پیشنهاد می‌گردد پژوهشگران به بررسی تطبیقی این چالش‌ها در کشورهای در حال‌توسعه دیگر با کشورهای پیشرو در این زمینه از قبیل چین، آلمان و آمریکا پرداخته و به استخراج و تشریح الزامات اصلاح و بهبود این چالش‌ها در کشورهای در حال توسعه بپردازند.

فهرست منابع

[۱] جمالی، میلاد؛ رستمکلایی مطلق، عارفه السادات؛ اسدی، حمیدرضا؛ **"مدیریت ریسک پروژه درحوزه انرژی‌های تجدیدپذیر انرژی بادی"**، اولین همایش بین‌المللی عمران، معماری و شهر سبز پایدار، همدان، ۱۳۹۶.
https://civilica.com/doc/673642

[۲] آژانس‌بین‌المللی‌انرژی(ترجمه: حق‌پرست کاشانی، آرش؛ بحری، عباس؛ بزرگمهری، شهریار)؛ **صرفه‌جویی در مصرف سوخت و کاهش انتشار CO2 در حمل‌ونقل: گزینه‌ها و راهبردها**، انتشارات به تدبیر، تهران، ۱۳۸۶.

[۳] درگاهی، حسن؛ قربان‌نژاد، مجتبی؛ **"تعیین رشد حجم پول بهینه در اجرای سیاست هدفمندی یارانه حامل‌های انرژی: رویکرد هدفگذاری تورمی انعطاف‌پذیر"**، اقتصاد و الگوسازی، دوره ۲، شماره ۶-۵، صص ۱۳۰-۹۱، ۱۳۹۰.

[۴] رحیمی راد، زهره؛ یحیی زاده فر، محمود؛ میرعمادی، طاهره؛ مدهوشی، مهرداد؛ **"شناسایی و بررسی موانع گذار اجتماعی - فنی به سیستم‌های خورشیدی فتوولتاییک با تاکید بر رژیم برق فسیلی"**، فصلنامه مدیریت توسعه فناوری، دوره ۶، شماره ۲، صص ۷۷-۴۹، ۱۳۹۷. doi: 10.22104/jtdm.2018.2847.1961

[۵] شجاعی، سارا؛ جلیلیان، نگار؛ زنجیرچی، سید محمود؛ **"بررسی زیرساخت‌های ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر در فضای فازی شهودی(مورد مطالعه: کشور ایران)"**، چهارمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت صنعتی، یزد، ۱۳۹۸.
https://civilica.com/doc/937863

[۶] شمس، محمدحسین؛ خاوری، فرشاد؛ محمدی، مسعود؛ نوری، جلال؛ **"مروری بر فناوری‌های تولید برق از انرژی خورشیدی و مقایسه آماری بزرگ‌ترین نیروگاه‌های خورشیدی جهان"**، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، دوره ۱۱، شماره ۲۱، صص ۲۲-۱، ۱۳۹۲.

[۷] طهماسبی، حمزه امین؛ **"شناسایی و تعیین عوامل اصلی توسعه تکنولوژی با استفاده از مدل سازی ساختاری - تفسیری(ISM) (مطالعه موردی: بنگاه‌های کوچک و متوسط استان گیلان)"**، نشریه توسعه تکنولوژی صنعتی، دوره ۱۶، شماره ۳۴، صص ۳۸-۲۸، ۱۳۹۷.

[۸] قربانی، امیر؛ کیارش، فرتاش؛ خیاطیان یزدی، محمدصادق؛ **"مدلسازی ساختاری-تفسیری چالش‌های تاثیرگذار بر**

فرآیند سیاستگذاری توسعه فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران"، نشریه توسعه تکنولوژی صنعتی، دوره ۱۸، شماره ۴۱، صص ۲۶-۱۳، ۱۳۹۹.

[۹] کریمی زارچی، محمد؛ فتحی، محمدرضا؛ رئیسی نافچی، سمانه؛ **"ارائه مدل توانمندسازهای نوآوری تکنولوژیک در صنایع کوچک و متوسط با به‌کارگیری روش مدل سازی ساختاری- تفسیری"**، نشریه توسعه تکنولوژی صنعتی، دوره ۱۷، شماره ۳۶، صص ۸۲-۷۳، ۱۳۹۸.

[۱۰] مجدزاده طباطبایی، شراره؛ هادیان، ابراهیم؛ زیبایی، منصور؛ **"تعیین میزان یارانه مناسب جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران با استفاده از یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه با رهیافت تلفیقی"**، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، شماره ۵، دوره ۱۷، صص ۱۲۹-۱۶۷، ۱۳۹۴. doi: 10.22054/jiee.2016.7172

[۱۱] معادی رودسری، محمد حسن؛ بوشهری، علیرضا؛ **"تحلیل سیستمی وضعیت به کارگیری انرژی بادی در کشور با استفاده از رویکرد سیستم نوآوری فناورانه"**، ۱۳۹۶.

https://civilica.com/doc/1228872

[۱۲] منظور، داود؛ نیاکان، لیلی؛ **"توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور: موانع و راهبردها"**، نشریه انرژی ایران، شماره ۱۵، دوره ۳، ۱۳۹۱.

[۱۳] موسوی درچه، سید مسلم؛ قانعی راد، محمد امین؛ کریمیان خوزانی، حسن؛ شاهمرادی، بهروز؛ **"شناسایی مسیر گذار فناورانه انرژی‌های تجدیدپذیر(انرژی‌های بادی و خورشیدی) در ایران براساس رویکرد تحلیل چند سطحی"**، مدیریت نوآوری، شماره ۶، دوره ۴، صص ۹۸-۶۳، ۱۳۹۶.

[۱۴] موسوی شفائی، مسعود؛ نوراللهی، یونس؛ رضایان قیه باشی، احد حسین؛ یوسفی، رضایان؛ علی حسین؛ **"امنیت انسانی و چالش‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، با تاکید بر امنیت زیست محیطی"**، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۸(ویژه‌نامه شماره ۲)، صص ۱۸۰-۱۶۷، ۱۳۹۵.

[15] Aldrich, H, E.; Fiol, C. M.; "*Fools rush in? The institutional context of industry creation*", Academy of management review , Vol. 19, No. 4, pp. 645-670, 1994.

[16] Attri, R.; Dev, N.; and Sharma, V.; "*Interpretive structural modelling (ISM) approach: an overview*", Research Journal of Management Sciences, Vol. 2319, No. 2, p.1171, 2013.

[17] Bayley, R.; *Opportunities in the energy sector of South Africa: An exploratory study of entrepreneurship*, PhD diss., University of Pretoria, 2018.

[18] Behl, A.; Pal, A.; *"Sustainability of environmentally sound technologies using interpretive structural modelling"*, International Journal of Innovation and Sustainable Development, Vol. 13, No. 1, pp.1-19, 2019.

[19] Berg, T.L.; Apostolou, D.; Enevoldsen, P.; "*Analysis of the wind energy market in Denmark and future interactions with an emerging hydrogen market*", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 46, No. 1, pp.146-156, 2021.

[20] Boie, I.; Fernandes, C.; Frías, P.; Klobasa, M.; *"Efficient strategies for the integration of renewable energy into future energy infrastructures in Europe–An analysis based on transnational modeling and case studies for nine European regions"*, Energy Policy, Vol. 67, pp. 170-185, 2014.

[21] Bolanos, J.A.; "*Energy, uncertainty, and entrepreneurship: John D Rockefeller's sequential approach to transaction costs management in the early oil industry*", Energy Research & Social Science, Vol. 55, pp. 26-34, 2019.

[22] Chassein, E.; Gollmer, C.; Roser, A.; "*Challenges to make heating renewable: empirical Results from six European case studies. In Heading Towards Sustainable Energy Systems: Evolution or Revolution?*", 15th IAEE European Conference, Sept 3-6, International Association for Energy Economics, 2017.

[23] Chen, K.; Ren, Z.; Mu, S.; Sun, T.Q.; Mu, R.; "*Integrating the Delphi survey into scenario planning for China's renewable energy development strategy towards 2030*", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 158, p.120157, 2020.

[24] Danilina, N.; Reznikova, I.; "*Renewable energy technologies on the path towards decentralized low-carbon energy systems",* In E3S Web of Conferences, Vol. 250, p. 03001, EDP Sciences, 2021.

[25] Dewald, U.; and Truffer, B.; "*The local sources of market formation: explaining regional growth differentials in German photovoltaic markets*", European Planning Studies, Vol. 20, No. 3, pp.397-420, 2012.
[26] Elmustapha, H.; Hoppe, T.; and Bressers, H.; *"Comparing two pathways of strategic niche management in a developing economy; the cases of solar photovoltaic and solar thermal energy market development in Lebanon",* Journal of cleaner production, vol. 186, pp. 155-167, 2018.
[27] Fartash, K.: Ghorbani, A.: Khayatian, M.: Elyasi, M: *"Analysing the interrelationship of knowledge creation and diffusion challenges of renewable energy technologies development in Iran"*, International Journal of Energy Sector Management, 2021.
[28] Fashina, A.; Mundu, M.; Akiyode, O.; Abdullah, L.; Sanni, D.; Ounyesiga, L.; "*The drivers and barriers of renewable energy applications and development in Uganda: a review*", Clean Technol, Vol. 1, pp. 9–39, 2018.
[29] Gabriel, C.A.; "*What is challenging renewable energy entrepreneurs in developing countries?*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 64, pp. 362-371, 2016.
[30] Gabriel, C.A.; Kirkwood, J.; Walton, S.; Rose, E.L.; "*How do developing country constraints affect renewable energy entrepreneurs?*", Energy for Sustainable Development, Vol. 35, pp. 52-66, 2016.
[31] Geels, F.W.; and Schot, J.; *"Typology of sociotechnical transition pathways"*, Research policy, vol. 36, no. 3, pp.399-417, 2007.
[32] Grin, J.; Rotmans, J.; Schot, J.; Loorbach, D.; Lyons, G.; Anne Loeber, P.O.; *Routledge studies in sustainability transitions*, 2010.
[33] Hockerts, K.; Wüstenhagen, R.; "*Greening Goliaths versus emerging Davids—Theorizing about the role of incumbents and new entrants in sustainable entrepreneurship*", Journal of business venturing, Vol. 25, No. 5, pp. 481-492, 2010.
[34] IRENA, IEA, REN; *Renewable energy policies in a time of transition*, IRENA, OECD/ IEA, and REN, 2018.
[35] Ismael, D.N.F.; *Goal Framing to Encourage More Sustainable Engineering Design Decisions for the Built Environment across Cultures*, Doctoral dissertation, Virginia Tech, 2019.
[36] Jagadeesh, A., "*Wind energy development in Tamil Nadu and Andhra Pradesh, India Institutional dynamics and barriers—A case study*", Energy Policy, Vol. 28, No. 3, pp. 157-168, 2000.
[37] Joia, L.A.; Silva, T.; "*Key success factor ranking for intrafirm knowledge sharing in the oil and gas industry: A Delphi approach*", Knowledge and Process Management, Vol. 27, No. 3, pp. 174-186, 2020.
[38] Kanger, L.; Schot, J.; "*User-made immobilities: a transitions perspective*", Mobilities, Vol. 11, No. 4, pp. 598-613, 2016.
[39] Kanti, A.; Sudiana, I.M.; "*Fungal diversity and its functions in tropical peatlands as plant growth promoting microorganism or associated with green house emission*", In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, Vol. 308, No. 1, p. 012073, 2019.
[40] Karatayev, M.; Hall, S.; Kalyuzhnova, Y.; Clarke, M.L.; "*Renewable energy technology uptake in Kazakhstan: Policy drivers and barriers in a transitional economy*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 66, pp. 120-136, 2016.
[41] Kebede, K.Y.; Mitsufuji, T.; "*Technological innovation system building for diffusion of renewable energy technology: A case of solar PV systems in Ethiopia*", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 114, pp. 242-253, 2017.
[42] Khan, M.; Chaudhry, M.N.; Ahmad, S.R.; Saif, S.; "*The role of and challenges facing non-governmental organizations in the environmental impact assessment process in Punjab, Pakistan*", Impact Assessment and Project Appraisal, Vol. 38, No. 1, pp.57-70, 2020.
[43] Köhler, J.; Geels, F.W.; Kern, F.; Markard, J.; Onsongo, E.; Wieczorek, A.; Alkemade, F.; Avelino, F.; Bergek, A.; Boons, F.; and Fünfschilling, L.; "*An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions*", Environmental innovation and societal transitions, Vol. 31, pp. 1-32, 2019.
[44] Lewis, J.I.; Wiser, R.H.; "*Fostering a renewable energy technology industry: An international comparison of wind industry policy support mechanisms*", Energy policy, Vol. 35, No. 3, pp. 1844-1857, 2007.
[45] Liu, D.; Shiroyama, H.; "*Development of photovoltaic power generation in China: a transition perspective*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 25, pp. 782-792, 2013.
[46] Markard, J.; Raven, R.; Truffer, B.; "*Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects*", Research policy, Vol. 41, No. 6, pp. 955-967, 2012.

[47] Meijer, L.L.J.; Huijben, J.C.C.M.; Van Boxstael, A.; Romme, A.G.L.; "*Barriers and drivers for technology commercialization by SMEs in the Dutch sustainable energy sector*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 112, pp. 114-126, 2019.

[48] Mustapha, M.A.Z.L.I.N.A.; Zulkifli, F.Z.; Awang, K.W.; "*Enhancing sustainability through implementation of balanced scorecard: A case study of beach resorts*", J. Sustain. Sci. Manag, Vol. 5, pp. 136-147, 2018.

[49] Negro, S.O.; Alkemade, F.; Hekkert, M.P.; "*Why does renewable energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems*", Renewable and sustainable energy reviews, Vol. 16, No. 6, pp. 3836-3846, 2012.

[50] Ottesen, S.Ø.; Tomasgard, A.; Fleten, S.E.; "*Prosumer bidding and scheduling in electricity markets*", Energy, Vol. 94, pp. 828-843, 2016.

[51] Painuly, J.P.; Wohlgemuth, N.; "*Renewable energy technologies: barriers and policy implications*", In Renewable-Energy-Driven Future, pp. 539-562, 2021.

[52] Pérez-Lombard, L.; Ortiz, J.; Pout, C.; "*A review on buildings energy consumption information*", Energy and buildings, Vol. 40, No. 3, pp. 394-398, 2008.

[53] Richards, G.; Noble, B.; Belcher, K.; "*Barriers to renewable energy development: A case study of large-scale wind energy in Saskatchewan, Canada*", Energy Policy, Vol. 42, pp. 691-698, 2012.

[54] Rygg, B.J.; "*Renewable Energy as a Community Concern How Local Communities Face the Challenge of Increasing Use and Production of Renewable Energy*", Doctoral thesis, 2015.

[55] Sagar, A.D.; Holdren, J.P.; "*Assessing the global energy innovation system: some key issues*", Energy Policy, Vol. 30, No. 6, pp. 465-469, 2002.

[56] Sarkissian, A.; "*Intellectual property rights for developing countries: Lessons from Iran*", Technovation, Vol. 28, No. 11, pp. 786-798, 2008.

[57] Shubbak, M.H.; "*The technological system of production and innovation: The case of photovoltaic technology in China*", Research Policy, Vol. 48, No. 4, pp. 993-1015, 2019.

[58] Smith, A.; Raven, R.; "*What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability*", Research policy, Vol. 41, No. 6, pp. 1025-1036, 2012.

[59] Tigabu, A.D.; "*Analysing the diffusion and adoption of renewable energy technologies in Africa: The functions of innovation systems perspective*", African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, Vol. 10, No. 5, pp. 615-624, 2018.

[60] Turnheim, B.; Berkhout, F.; Geels, F.; Hof, A.; McMeekin, A.; Nykvist, B.; van Vuuren, D.; "*Evaluating sustainability transitions pathways: Bridging analytical approaches to address governance challenges*", Global Environmental Change, Vol. 35, pp. 239-253, 2015.

[61] Ugwuoke, N.J.; Ozurumba, I.G.; Obiozor, E.E.; Osagie, A.O.; Oyigbo, D.N.; Okoye, O.E.; Ugwu, N.A.; "*Lifelong Learning for Sustainable Community Development: Implication for Renewable Energy Education in Enugu State, Nigeria*", In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, Vol. 730, No. 1, p. 012030, 2021.

[62] Venetsanos, K.; Angelopoulou, P.; Tsoutsos, T.; "*Renewable energy sources project appraisal under uncertainty: the case of wind energy exploitation within a changing energy market environment*", Energy Policy, Vol. 30, No. 4, pp. 293-307, 2002.

[63] Walker, I.; "*IEA's programme of Energy Technology Collaboration*", CADDET Renewable Energy Newsletter, 2000.

[64] Wilson, C.; Grubler, A.; "*Lessons from the history of technological change for clean energy scenarios and policies*", In Natural Resources Forum, Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, Vol. 35, No. 3, pp. 165-184, 2011.