Research Paper

Technological Innovation System Analysis of Biomass Energy in Iran (case study: incineration, gasification and anaerobic digestion)

***Seyed Moslem Mousavi Dorcheh[1], Mohsen Nasrollahi[2], Jafar Jafari[1]**

1.Assistant Professor, department of technology development study, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.
2.Researcher, department of technology development study, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Mousavi Dorcheh.M,Nasrollahi.M,Jafari.J(2025). [Technological Innovation System Analysis of Biomass Energy in Iran (case study: incineration, gasification and anaerobic digestion) (Persian)]. *Journal Strategic Studies of Public Policy,* 15(56), 58-104.https://doi.org/10.22034/sspp.2026.2075811.3855

https://doi.org/10.22034/sspp.2026.2075811.3855

CC BY NC

Received: 26 Aug 2025
Accepted: 29 Oct 2025
Available Online: 21 Dec 2025

Keywords:
Technological Innovation System, Biomass Energy, Sustainable Innovation

ABSTRACT

This study aimed to analyze the technological innovation system (TIS) of biomass energy in Iran. The research approach was grounded in a functional analysis of the TIS framework, with data collected through expert interviews and a review of relevant documents and prior studies. The results indicate that anaerobic digestion and gasification technologies remain at the pre-development stage and face challenges such as insufficient sustainable investment, weak institutional interactions, the absence of clear regulatory guidelines, and a lack of market mechanisms. In contrast, incineration technology, supported by waste management regulations and relatively high feed-in tariffs, has entered the development stage with active private sector participation. The functional analysis reveals that, at the pre-development stage, knowledge development and diffusion, resource mobilization, and system guidance are critical, whereas at the development stage, entrepreneurship, market formation, and legitimation play more prominent roles. Nonetheless, deficiencies in knowledge diffusion, institutional fragmentation, shortages of skilled human resources, and the lack of accessible long-term low-interest financing have confined most activities to the research level. Consequently, the sustainable development of these technologies requires a comprehensive approach, including the establishment of a national steering body, reform of feed-in tariff mechanisms, implementation of pilot projects, and enhancement of research quality to facilitate the transition toward a low-carbon energy system.

*** Corresponding Author:**
Seyed Moslem Mousavi Dorcheh
Address: department of technology development study, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran..
E-mail: mousavi@irost.ir

مقاله‌پژوهشی

تحلیل نظام نوآوری فناورانه انرژی زیست توده در ایران(مطالعه موردی: فناوری‌های زباله‌سوزی، گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی)

*سید مسلم موسوی درچه[۱]، محسن نصراللهی[۲]، جعفر جعفری[۱]

۱. استادیار، پژوهشکده مطالعات فناوری‌های نوین، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.

۲. پژوهشگر پژوهشکده مطالعات فناوری‌های نوین، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۰۴ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۰۷ آبان ۱۴۰۴
تاریخ انتشار: ۳۰ آذر ۱۴۰۴

چکیده

این پژوهش با هدف تحلیل نظام نوآوری فناورانه انرژی زیست‌توده در ایران انجام شد. رویکرد تحقیق بر مبنای تحلیل کارکردی نظام نوآوری فناورانه و گردآوری داده‌ها از طریق مصاحبه با خبرگان و بررسی اسناد و مطالعات پیشین استوار بود. نتایج نشان داد فناوری‌های هاضم بی‌هوازی و گازی‌سازی در مرحله پیش توسعه قرار دارند و با چالش‌هایی نظیر کمبود سرمایه‌گذاری پایدار، ضعف تعاملات نهادی، نبود دستورالعمل‌های قانونی مشخص و فقدان سازوکارهای بازار روبه‌رو هستند. در مقابل، فناوری زباله‌سوزی به دلیل وجود قوانین مرتبط با مدیریت پسماند و نرخ بالای خرید تضمینی برق، با مشارکت فعال بخش خصوصی در مرحله توسعه قرار گرفته است. تحلیل کارکردی حاکی از آن است که در مرحله پیش توسعه، توسعه و انتشار دانش، گردآوری منابع و جهت‌دهی به سیستم اهمیت دارد، در حالی که در مرحله توسعه، کارآفرینی، شکل‌دهی به بازار و مشروعیت‌بخشی نقش بیشتری ایفا می‌کنند. با این حال، ضعف در انتقال دانش، پراکندگی نهادی، کمبود نیروی انسانی متخصص و عدم وجود تأمین مالی و ارائه وام‌های بلندمدت کم‌بهره موجب شده بخش عمده فعالیت‌ها در سطح پژوهشی باقی بماند. در نتیجه، توسعه پایدار این فناوری‌ها نیازمند رویکردی جامع شامل ایجاد نهاد راهبری ملی، اصلاح مکانیزم‌های خرید تضمینی برق، اجرای پروژه‌های پایلوت و ارتقای کیفیت تحقیقات است تا مسیر گذار به نظام انرژی کم‌کربن تسهیل شود.

کلیدواژه‌ها:
نظام نوآوری فناورانه، انرژی زیست توده، نوآوری پایدار

* نویسنده مسئول:
سید مسلم موسوی درچه
نشانی: پژوهشکده مطالعات فناوری‌های نوین، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.
رایانامه: mousavi@irost.ir

مقدمه

انرژی به‌عنوان عامل اساسی تداوم زندگی انسان‌ها نقشی انکارناپذیر (زاهدی[1] و همکاران، ۲۰۲۲) و با توجه به رشد جمعیت و گسترش فعالیت‌های صنعتی، میزان مصرف آن به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (جهانگیری[2] و همکاران، ۲۰۱۹). انرژی‌های تجدیدپذیر، که قابل دسترس و بی‌پایان هستند، طیفی از منابع شامل انرژی زیست‌توده، برق‌آبی، زمین‌گرمایی، و همچنین انرژی‌های خورشیدی، بادی و امواج دریایی را در بر می‌گیرد (توار-فاسیو[3]، ۲۰۲۲). تولید برق از منابع تجدیدپذیر از ۱۶۰,۲۱۳ میلیون کیلووات‌ساعت (۰/۰۷ درصد از کل تولید برق) در سال ۲۰۱۶ به ۲۱۳۰,۱۲۰ میلیون کیلووات‌ساعت (۰/۵۵ درصد از کل تولید برق) در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است (مطهر[4]، ۲۰۲۴). در ماه می ۲۰۲۴، کل برق تجمیعی تولیدشده توسط نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر در ایران به میزان ۱۱,۹۱۷ میلیون کیلووات ساعت رسید. این میزان تولید معادل صرفه‌جویی در ۳,۳۲۴ میلیون مترمکعب گاز طبیعی و ۲,۶۲۲ میلیون لیتر آب بوده است. علاوه بر این، کاهش ۷,۴۸۰ هزار تنی در انتشار دی‌اکسیدکربن نیز حاصل شده است (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق[5]، ۲۰۲۴). برای مقابله با تهدیدات ناشی از تغییرات اقلیمی و دیگر مسائل زیست‌محیطی، نظام انرژی کنونی نیازمند تحولات گسترده فناورانه و اجتماعی است که شامل بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر نیز می‌شود (برگک[6] و همکاران، ۲۰۰۸ و هککرت[7] و همکاران، ۲۰۰۷). ایران از تنوع قابل توجهی از منابع انرژی تجدیدپذیر از جمله انرژی بادی، خورشیدی، زیست‌توده و انرژی زمین‌گرمایی برخوردار است. علیرغم برخورداری از ذخایر غنی نفت و گاز، قیمت پایین سوخت‌های فسیلی و عدم آگاهی عمومی از مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر، در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر معطوف شده است(سلیمانی[8]، ۲۰۲۱). مفهوم نظام نوآوری فناورانه به منظور تحلیل کارآمد فرآیندهای نوآوری و تبیین ماهیت تحولات فناورانه توسعه یافته است. تمایز اصلی این مفهوم با چارچوب‌های نظری نظام نوآوری در سطوح ملی و منطقه‌ای، در نقطه آغازین آن‌هاست. نظریه‌های مرسوم، از این پیشفرض که نوآوری پدیده‌ای ذاتاً جغرافیا بنیان و ناهمگون است سرچشمه می‌گیرند؛ اما در مقابل، نظام نوآوری فناورانه، محوریت را بر «فناوری» و «تغییرات فناورانه» قرار داده و تأثیر آن را بر تمامی مؤلفه‌های شکل‌دهنده فرآیند نوآوری مورد بررسی قرار می‌دهد (نگرو و هککرت[9]، ۲۰۰۸). اجزای ساختاری نظام نوآوری فناورانه که گاهی می‌تواند بیانگر بُعد ایستای این رویکرد نیز باشد، شامل بازیگران، نهادها و تعاملات می‌باشند. البته منظور از ایستایی در اینجا آن نیست که این اجزا تغییر نمی‌کنند، بلکه مقصود این است که در مقایسه با فرآیندها و کارکردهای نظام از پایداری بیشتری در طول زمان برخوردارند (میرعمادی[10]، ۲۰۱۹). اعتقاد بر این است که وجود یک نظام کارآمد، توسعه فناوری را با فعال‌سازی فعالیت‌ها

1. Zahedi
2. Jahangiri
3. Tovar-Facio
4. Motahar
5. Renewable Energy and Energy Efficiency Organization

6. Bergek
7. Hekkert
8. Solaymani
9. Negro & Hekkert
10. Miremadi

و فرآیندهای کلیدی که به طور کلی به عنوان کارکردهای نظام شناخته می‌شوند، تسهیل می‌کند. با این حال، رویکرد تحلیل کارکردی فعلی برای بررسی نظام‌های نوآوری فناورانه در کشورهای در حال توسعه محدودیت‌هایی دارد؛ زیرا این چارچوب عمدتاً از دیدگاه کشورهای توسعه‌یافته طراحی شده و بدون تطبیق با ویژگی‌های خاص کشورهای در حال توسعه، نمی‌توان آن را مستقیماً به‌کار برد (ادساند[11]، ۲۰۱۷) . شواهد نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات در حوزه نظام نوآوری فناورانه بر توسعه و گسترش فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در کشورهای پیشرفته متمرکز بوده است، مانند فناوری‌های فتوولتاییک، هیدروژن و پیل سوختی در هلند و زیست‌توده و پیل سوختی در آلمان (موسیولیک[12] و همکاران، ۲۰۱۲ و نگرو[13] و همکاران، ۲۰۱۲ الف). در یک نظام نوآوری فناورانه، موتورهای محرک، نقشه راه رشد و بلوغ فناوری را ترسیم می‌کنند. این موتورها با ارائه یک الگوی مشخص، به بازیگران مختلف کمک می‌کنند تا فعالیت‌های خود را هماهنگ و هدفمند پیش ببرند. پیروی از این الگوی مرحله‌به‌مرحله در هر بازه زمانی، کلید موفقیت و رشد پایدار آن نظام نوآوری است (نصیری[14] و همکاران، ۲۰۱۵) . همان گونه که بیان شد، با وجود برخی مطالعات برای تحلیل نظام نوآوری انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای پیشرفته، تلاش های بسیار کمی در این زمینه در یک کشور درحال توسعه به عنوان دریافت کننده فناوری وجود دارد.

با وجود گسترش سیاست‌های حمایتی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، انرژی زیست‌توده همچنان یکی از کمتر مطالعه‌شده‌ترین حوزه‌ها از منظر تحلیلی و سیاست‌گذاری به شمار می‌رود. این در حالی است که در برخی مناطق کشور، به‌ویژه شهرهای شمالی، چالش‌های مزمن مدیریت و دفع پسماند شهری به یک مسئله زیست‌محیطی و اجتماعی جدی تبدیل شده است. فناوری‌های مبتنی بر انرژی زیست‌توده، به‌ویژه فناوری زباله‌سوزی همراه با تولید برق، این ظرفیت را دارند که به‌عنوان راهکاری تلفیقی، هم‌زمان به کاهش حجم پسماند و تأمین انرژی الکتریکی کمک کنند. با این حال، بررسی‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌ها و اقدامات اجرایی موجود در این حوزه عمدتاً به‌صورت بخشی و فاقد پشتوانه یک تحلیل سیستمی منسجم طراحی شده‌اند. از منظر نظری نیز، علی‌رغم وجود مطالعات متعدد درباره نظام نوآوری فناورانه در حوزه‌های مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر، تاکنون پژوهشی که به‌صورت نظام‌مند به تحلیل کارکردهای نظام نوآوری فناورانه انرژی زیست‌توده در ایران بپردازد، انجام نشده است. این شکاف نظری و سیاستی، ضرورت انجام پژوهشی مبتنی بر چارچوب نظام نوآوری فناورانه را برجسته می‌سازد؛ پژوهشی که با تمرکز بر شناسایی چالش‌های کارکردی و ارائه سیاست‌ها و اقدامات متناظر، بتواند مبنایی تحلیلی برای بهبود اثربخشی سیاست‌های توسعه انرژی زیست‌توده در کشور فراهم آورد.

تحلیل نظام نوآوری فناورانه سیستم‌های زیست توده در ایران بر این اساس و با توجه به رویکرد نظام نوآوری فناورانه در این پژوهش پس از تبیین مسئله تحقیق و طرح پرسش‌های پژوهش، مبانی نظری و پیشینه تحقیقات مرتبط مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، روششناسی تحقیق به تفصیل شرح داده خواهد شد. سپس، یافته‌های پژوهش متشکل از

11. Edsand
12. Musiolik
13. Negro
14. Nasiri

داده‌های گردآوری‌شده و تحلیل‌های صورت‌گرفته، ارائه می‌گردند. در نهایت، بحث و نتیجه‌گیری نهایی از یافته‌ها ارائه خواهد شد.

تبیین صورت مسئله و سوال تحقیق

علیرغم پتانسیل قابل توجه منابع زیست‌توده در ایران، از جمله پسماند جامد شهری، پسماندهای کشاورزی و کود دامی این بخش در مقایسه با سایر انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی، رشد بسیار محدودی را تجربه کرده است. در حالی که چندین مطالعه، پتانسیل زیست‌توده را از منظر فنی و اقتصادی ارزیابی کرده‌اند، اما هنوز کمبود تحلیل نظام‌مند از طریق چارچوب نظام نوآوری فناورانه احساس می‌شود. در نتیجه، پویایی تحقق و افول کارکردهای نظام نوآوری فناورانه در بخش زیست‌توده کشور ایران کمتر مورد کاوش قرار گرفته است که منجر به ایجاد شکافی حیاتی در درک علت محقق نشدن توسعه قابل توجه این منبع شده است. این امر مسئله محوری را مطرح می‌سازد که با وجود در دسترس بودن و مزایای زیست‌محیطی، چرا انرژی زیست‌توده در ایران پیشرفت نکرده است؟ برای پرداختن به این مسئله، مطالعه حاضر چارچوب نظام نوآوری فناورانه را به کار می‌گیرد که امکان ارزیابی چگونگی تحقق یا افول کارکردهای سیستم از قبیل فعالیت‌های کارآفرینانه، توسعه دانش، انتشار دانش، جهت دهی به نظام، شکل‌گیری بازار، تخصیص منابع و مشروعیت بخشی را فراهم می‌کند.

پژوهش حاضر در پی آن است که نخست به شناسایی موانع نهادی، کارکردی و فناورانه‌ای بپردازد که روند پیشرفت و توسعه انرژی زیست‌توده در ایران را محدود ساخته‌اند. سپس، بر اساس چارچوب نظام نوآوری فناورانه، بررسی می‌کند که کارکردهای این نظام در حوزه انرژی زیست‌توده تا چه اندازه تحقق یافته‌اند و در چه بخش‌هایی نشانه‌هایی از ضعف یا افول عملکرد مشاهده می‌شود.

معرفی فناوری‌های انرژی زیست توده

زیست‌توده به مجموعه مواد آلی قابل تجزیه زیستی حاصل از فعالیت‌های کشاورزی، دامی، جنگلداری، صنعتی و شهری اطلاق می‌شود که شامل انواع پسماندها و ترکیبات مولکولی و ماکرومولکولی با منشأ زیستی است (پاپ[15] و همکاران، ۲۰۲۱). انرژی زیست‌توده به‌عنوان یکی از منابع پایدار و سازگار با محیط‌زیست، نقش مهمی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارتقای امنیت انرژی و حمایت از گذار به انرژی‌های سبز ایفا می‌کند. در ایران، منابع اصلی زیست‌توده شامل پسماندهای کشاورزی، فضولات دامی، زباله‌های آلی شهری و پساب‌های شهری و صنعتی است که از طریق فرآیندهایی نظیر هضم بی‌هوازی می‌توان آن‌ها را به بیوگاز و سایر محصولات باارزش تبدیل کرد (تونه[16] و همکاران، ۲۰۲۱) (اسدی[17] و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین، فناوری‌های متنوعی برای تبدیل زیست‌توده به انرژی توسعه یافته‌اند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به هاضم‌های بی‌هوازی (قریشی و رحیمی[18]، ۲۰۱۱)، گازسازی (جایارامان و گوکالپ[19]، ۲۰۱۵) ، زباله‌سوزی (اوانس[20] و همکاران، ۲۰۱۰) ، تولید بیواتانول (خیشتن‌دار[21] و همکاران، ۲۰۱۷) و بیودیزل (خان[22] و همکاران، ۲۰۱۷) اشاره کرد که هر یک بسته به نوع ماده اولیه و کاربرد موردنظر،

15. Popp
16. Tonne
17. Asadi
18. Ghorashi & Rahimi
19. Jayaraman & Gökalp
20. Evans
21. Khishtandar
22. Khan

امکان بهره‌برداری انرژی از زیست‌توده را فراهم می‌سازند.

مبانی نظری و مرور پیشینه

نظام نوآوری فناورانه

نظام‌های نوآوری به‌عنوان یک ابزار اکتشافی برای چارچوب‌بندی فرایند توسعه نوآوری پدیدار شدند. نظام‌های نوآوری فناورانه بر ویژگی‌های خاص فناوری‌های نوظهور و عواملی که بر موفقیت آن‌ها تأثیر می‌گذارند تمرکز دارند(کارلسون و یاکوبسن[۲۳]، ۱۹۹۴). یک نظام فناورانه را می‌توان شبکه‌ای از عاملان توصیف کرد که در حوزه اقتصادی یا صنعتی، در چارچوب خاصی با یکدیگر تعامل دارند(برگک[۲۴]، ۲۰۱۹) و در تولید، انتشار و بهره‌برداری از فناوری مشارکت می‌کنند (سورس و همکاران، ۲۰۱۰). نظام‌های نوآوری فناورانه به عنوان یکی از ابزارهای اساسی برای تحلیل فرآیندهای توسعه فناوری در زمینه مطالعات گذار پایدار مطرح شده‌اند(مارکارد[۲۵]، ۲۰۲۰ و مارکارد و همکاران، ۲۰۱۲) . مفهوم‌سازی کارکردهای نظام نوآوری فناورانه (TIS) دامنه‌ی مطالعات پیشینِ متمرکز بر ساختار نظام‌های نوآوری را گسترش دادهَ است (برگک[۲۶] و همکاران، ۲۰۰۸). بر اساس دسته‌بندی کارلسون و همکاران در سال ۲۰۰۲، این مفهوم می‌تواند به‌صورت یک حوزه دانشی، یک محصول مشخص، یا یک بلوک شایستگی ظاهر شود (کارلسون[۲۷] و همکاران، ۲۰۰۲).

در دو دهه اخیر، پژوهشگران متعددی تلاش کرده‌اند تا چارچوب اولیه نظام نوآوری فناورانه را توسعه دهند(سورس[۲۸] و همکاران، ۲۰۰۹)، از جمله با تمرکز بر کارکردهای سیستم‌های نوآوری (برگک[۲۹]، ۲۰۱۹ و هککرت[۳۰] و همکاران، ۲۰۰۷)، مراحل تکاملی آن در طول زمان و بررسی تعاملات آن با ساختارهای محیطی پیرامونی مانند روابط فضایی، بخشی و فناورانه (برگک[۳۱] و همکاران، ۲۰۱۵). چارچوب نظام نوآوری فناورانه به منظور ارائه یک مفهوم جامع از توسعه فناوری و استخراج توصیه‌های سیاستی توسعه یافته است (سورس[۳۲] و همکاران، ۲۰۰۹ و ون در لوس[۳۳] و همکاران، ۲۰۲۴) . مشابه سایر رویکردهای نظام نوآوری، نظام نوآوری فناورانه به عنوان یک مفهوم اکتشافی شکل گرفت که نه تنها بازیگران مختلف دخیل در فرآیند نوآوری را در نظر می‌گیرد، بلکه محیط نهادی آن‌ها را نیز مد نظر قرار می‌دهد (اولمانن و برگک[۳۴]، ۲۰۲۱) . بنابراین، ساختار یک نظام نوآوری فناورانه به عنوان سیستمی از عناصر به هم پیوسته شامل بازیگران، تعاملات و نهادهایی تعریف می‌شود که به‌طور مستقیم در توسعه و انتشار یک فناوری محوری مشارکت دارند (کارلسون و استانکیویچ[۳۵]، ۱۹۹۱ و هککرت[۳۶] و همکاران، ۲۰۰۷) .

این عناصر وظایف نظام‌مندی مشخصی را انجام می‌دهند که به صورت زیرفرآیندهایی نمایش داده می‌شوند و به عملکرد کلی نوآوری سامانه کمک می‌کنند(برگک[۳۷] و همکاران، ۲۰۰۸ و

23. Carlsson & Jacobsson
24. Bergek
25. Markard
26. Bergek
27. Carlsson
28. Suurs
29. Bergek
30. Hekkert
31. Bergek
32. Suurs
33. Van der Loos
34. Ulmanen & Bergek
35. Carlsson & Stankiewicz
36. Hekkert
37. Bergek

نگرو[38] و همکاران، ۲۰۰۷) . علاوه بر این، سورس و هککرت در سال ۲۰۰۹ (سورس[39] و همکاران، ۲۰۰۹) ارتباط بین کارکردهای مختلف را به عنوان «موتورهای توسعه» مفهوم‌سازی کردند که از طریق «علت و معلول تجمعی» موجب رشد و توسعه سامانه می‌شوند (اولمانن و برگک[40]، ۲۰۲۱) . مارکارد در سال ۲۰۲۰ ایده‌ی چرخه‌ی عمر نظام نوآوری فناورانه را مطرح کرده و به مراحل بلوغ و زوال آن اشاره می‌کند(مارکارد[41]، ۲۰۲۰). مطالعات اخیر نیز فرایندهای زوال نظام نوآوری فناورانه را بررسی کرده‌اند (بنتو و فونتس[42]، ۲۰۱۵ و مارکارد[43]، ۲۰۲۰ و ویس و نمچک[44]، ۲۰۲۲)، به‌ویژه با تمرکز بر فناوری‌های ناپایدار همچون موتور احتراق داخلی.

در این پژوهش، به منظور ارزیابی جامع کارکردهای نظام نوآوری در حوزه انرژی زیست‌توده، از چارچوب تحلیلی کبده و میتسوفوجی در سال ۲۰۱۶ (کبده و میتسوفوجی[45]، ۲۰۱۷) بهره گرفته شده است. این شاخص‌ها، کارکردهای کلیدی نظام نوآوری را در بستر یک صنعت مبتنی بر زیست‌توده را مشخص می‌کنند و امکان درک دقیق‌تر نقاط قوت و ضعف نظام نوآوری این حوزه را در ایران فراهم می‌آورند. به کارگیری این چارچوب، نه تنها امکان مقایسه سیستماتیک با دیگر فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر را مهیا می‌سازد، بلکه زمینه را برای ارائه راهبردهای سیاستی مناسب جهت تسریع توسعه و بومی‌سازی فناوری انرژی زیست‌توده در کشور فراهم می‌کند.

38. Negro
39. Suurs
40. Ulmanen & Bergek
41. Markard
42. Bento & Fontes
43. Markard
44. Weiss & Nemeczek
45. Kebede & Mitsufuji

شناسایی فاز توسعه

برگک و همکاران در سال ۲۰۱۹ دو مرحله شکل‌گیری و رشد را برای نظام نوآوری در نظر می‌گیرد و بیان می‌دارد: این بدیهی است که تعریف کارکردها در هر یک از این دو مرحله متفاوت است (برگک[46]، ۲۰۱۹). برگک ویژگی‌های این دو مرحله را بیان می کند. با این وجود اشاره می‌کند که: مطالعات بیشتری نیاز است تا تفاوت بین این دو فاز کاملاً مشخص شود. ویچورک و هککرت در سال ۲۰۱۲ این دو مرحله را در نظر می‌گیرد با این تفاوت که مرحله شکل‌گیری را بر اساس ادبیات مطالعات گذار فناوری به چهار فاز تقسیم می‌کند که هر یک از این فازها با یک موتور نوآوری در ارتباط است؛ ولی مرز بین این مراحل را به طور واضح و قطعی مشخص نمی‌کند (ویچورک و هککرت[47]، ۲۰۱۲) . البته در مطالعات گذار دو نوع تحلیل چندمرحله‌ای و چندسطحی وجود دارد و چون تغییر از نظام کنونی به یک نظام با کارایی بالاتر یک تغییر بلند مدت یا گذار محسوب می‌شود، مراحلی که در گذار فناورانه بیان می‌شود با مراحل بیان شده توسط هکرت قابل تطبیق است. از طرف دیگر وربونگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ برای مشخص کردن مراحل گذار از چندین سطح موجود که در ادبیات تحلیل چند سطحی مطرح شده است، استفاده می‌کند و با تغییراتی که در سطوح مختلف ایجاد می‌شود مراحل گذار را مشخص می‌کند (وربونگ و لورباچ[48]، ۲۰۱۷). در ادامه مرز بین مراحل با سه سطح موجود یعنی بستر محیطی، رژیم و آشیانه توضیح داده می‌شود. در مرحلهی پیش توسعه یک تغییر در بستر محیطی ایجاد می‌شود و این تغییر هم روی رژیم و هم روی

46. Bergek
47. Wieczorek & Hekkert
48. Verbong & Loorbach

آشیانه تاثیر می‌گذارد؛ به این صورت که رژیم مذکور به خاطر فشاری که بستر محیطی ایجاد می‌کند در پی یافتن راه‌حلی برای تغییرات است و برای پیدا کردن آن به تکاپو می‌افتد. از طرف دیگر توقعات آشیانه‌ها نیز به خاطر تغییر در بستر محیطی، عوض می‌شود و این آشیانه‌ها نوآوری‌هایی را شکل می‌دهند و به دنبال راهی برای سودآوری خود و پیدا کردن بازار برای نوآوری‌های خود هستند. در فاز اوجگیری ساختار رژیم دچار بحران می‌شود و مردم جامعه نیز به این بحران پی می‌برند و ذهنیت جامعه نسبت به این ساختار تغییر می‌کند و در نتیجه ساختار موجود رژیم مقبولیت خود را از دست می‌دهد و مورد انتقادهای شدید قرار می‌گیرد. در مرحله سرعت‌گیری، ساختار کنونی رژیم به خاطر بحران‌ها و انتقادها فرو می‌ریزد و آشیانه‌ها نیز با فرو ریختن ساختار رژیم، جای خود را در رژیم باز می‌کنند و در ساختار رژیم جای می‌گیرند و در نتیجه ساختار جدیدی شکل می‌گیرد. در مرحله تثبیت نیز ساختار جدید جایگاه خود را تثبیت می‌کند و ساختار قبلی کلاً به فراموشی سپرده می‌شود. حال با توجه به این توضیحات، با بررسی سیر تاریخی سیستم مورد نظر و با در نظر گرفتن سه سطح ساختاری سیستم مورد نظر، مرحله توسعه نظام نوآوری فناورانه مشخص می‌شود(گیلز[49]، ۲۰۰۲) .

تعیین موتور متناسب با فاز توسعه نظام

پس از شناسایی فاز توسعه نظام، حال نوبت آن است که موتور متناسب با فاز توسعه نظام معین گردد. هر فاز توسعه نظام متناظر با یکی از موتورهای نظام نوآوری فناورانه می‌باشد(برگک[50] و همکاران، ۲۰۰۸).با توجه به اطلاعاتی که در بخش قبل به دست آمد، وضعیت نظام نوآوری فناورانه فناوری بخش انرژی زیست‌توده در کشور برای دو فناوری هاضم و گازیسازی در مرحله پیش توسعه قرار گرفته است. بنابراین می‌توان گفت در داخل نظام توسعه این فناوری، موتور محرک علم و فناوری در حال جریان می‌باشد. همچنین فاز توسعه برای فناوری زبالهسوزی در مرحله توسعه قرار دارد که موتور محرک مربوط به مرحله توسعه موتور محرک کارآفرینی است.

تعیین کارکردهای کلیدی، حمایتی و حاشیه‌ای

در بخش قبل مشخص گردید که در داخل نظام توسعه فناوری بخش انرژی زیست‌توده، موتور محرک علم و فناوری و موتور محرک کارآفرینی در حال جریان می‌باشد. همان طور که از نام موتور محرک علم و فناوری مشخص است، با هدف گسترش دانش نظری و عملی پیرامون فناوری شکل می‌گیرد. هر موتور نوآوری از توالی کارکردهای مختلف حاصل میگردد (ویچورک و هککرت[51]، ۲۰۱۲) . زمانی که هدف، راهاندازی موتور محرک علم و فناوری باشد، انجام فعالیت در ۴ کارکرد ضروری میباشد و سایر کارکردها در اولویت قرار نمیگیرند. ۴ کارکرد خلق دانش (F۲)، انتشار دانش (F۳)، جهتدهی به سیستم (F۴) و تأمین و تسهیل منابع (F۶)، کارکردهای تشکیلدهنده این موتور هستند (کارلسون و استانکیویچ[52]، ۱۹۹۱ و هککرت[53]، ۲۰۰۹).

کارکرد محوری در این موتور که نقشی اساسی در تحقق اهداف این موتور بر عهده دارد، کارکردهای خلق دانش می‌باشد و با برآورده شدن این کارکرد، نظام نوآوری این فناوری، از این فاز وارد فاز توسعه

49. Geels
50. bergek
51. Wieczorek & Hekker
52. Carlsson & Stankiewicz
53. Hekkert

خواهد شد. کارکردهایی که این کارکرد را حمایت و پشتیبانی می‌کنند عبارتند از: کارکرد انتشار دانش و کارکرد تأمین و تسهیل منابع که به این کارکردها، کارکردهای حمایتی می‌گویند. کارکرد جهت‌دهی به سیستم یک کارکرد حاشیه‌ای می‌باشد، زیرا از کارکرد حمایتی بسیج منابع را پشتیبانی می‌نماید (برگک[۵۴] و همکاران، ۲۰۰۸ و نگرو و هککرت[۵۵]، ۲۰۰۸).

هدف دوّم این موتور این است که با گسترش فعّالیت‌های اجرایی، نیازمندی‌ها و نقص‌های دانشی موجود را شناسایی کند و بازخوردی از محیط عملیاتی به سیستم‌های تحقیق و توسعه دهد تا فناوری از لحاظ فنی نیز به بلوغ برسد (نگرو و همکاران، ۲۰۰۷).

موتور محرک کارآفرینی برای شتاب بخشیدن به روند فعّالیت‌ها، نیازمند تحقق کارکردهای مختلفی می‌باشد. به عبارت دیگر، انجام فعّالیت‌ها در چارچوب کارکردهای مختلف توسط بازیگران گوناگون، موجب برآورده شدن کارکردهایی می‌گردد که توالی این کارکردها، موتور محرک کارآفرینی را پدید می‌آورد. در موتور محرک کارآفرینی نیز مانند موتور محرک علم و فناوری، کارکردهای خلق دانش (F۲)، انتشار دانش (F۳)، جهت‌دهی به سیستم (F۴) و تأمین و تسهیل منابع (F۶) به صورت پرقدرت ظاهر هستند. اما علاوه بر اینها، کارکردهای دیگری نیز وجود دارد که تفاوت اساسی این موتور از موتور محرک علم و فناوری محسوب میشوند. حضور فعال دو کارکرد فعالیت‌های کارآفرینی (F۱) و مشروعیت‌بخشی (F۷) منجر به تغییر تعاملات میان کارکردها و پدید آمدن موتور محرک کارآفرینی می‌گردد و نیز کارکرد شکل‌دهی به بازار (F۵) نیز به صورت کمرنگ‌تر از دو کارکرد دیگر در این موتور شکل می‌گیرد. کارکرد فعّالیت‌های کارآفرینی، کارکرد محوری در این موتور است که نقشی اساسی در محقق نمودن اهداف آن بر عهده دارد(هککرت[۵۶] و همکاران، ۲۰۰۷ و نصیری[۵۷] و همکاران، ۲۰۱۵).

54. Bergek
55. Negro & Hekkert

پیشینه پژوهش

بر اساس پژوهش‌های پیشین در حوزه نوآوری فناورانه انرژی (یاکوبسن[۵۸]، ۲۰۰۴) روشن شده است که کامیابی یک فناوری جدید صرفاً ناشی از خصوصیات فنی آن نیست، بلکه به کارایی «نظام نوآوری» نیز وابسته است؛ نظامی که فرآیند توسعه، اشاعه، اجرا یا کنار گذاشتن فناوری‌های نوین زیست‌توده را هدایت می‌کند. وجود یک نظام نوآوری کارآمد به میزان قابل توجهی احتمال موفقیت فناوری مورد بحث را در جهت توسعه و انتشار افزایش می‌دهد(نگرو[۵۹] و همکاران، ۲۰۱۲ ب).

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که پویایی‌ها و کارکردهای «نظام نوآوری فناورانه» (TIS[۶۰]) نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری، توسعه و انتشار این فناوری‌ها ایفا می‌کنند. این چارچوب تحلیلی با تمرکز بر کارکردهایی همچون کارآفرینی، ایجاد دانش، جهت‌دهی جستجو، تأمین منابع مالی و مشروعیت‌بخشی، امکان بررسی نقاط ضعف و قوت مسیر نوآوری را فراهم می‌آورد. از این رو، مطالعه انرژی زیست‌توده در بستر نظام نوآوری فناورانه می‌تواند تصویری روشن از موانع و ظرفیت‌های موجود در فرایند توسعه این منبع تجدیدپذیر ارائه

56. Hekkert
57. Nasiri
58. Jacobsson
59. Negro
60. Technological innovation system

دهد و درک بهتری از چرایی ضعف توسعه آن در ایران فراهم سازد.

مروری بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد که این حوزه هم پیشرفت‌هایی قابل توجه و هم محدودیت‌های پایدار داشته است؛ موضوعی که برای درک نحوه‌ی مشارکت پژوهش حاضر در مباحث علمی و عملی جاری ضروری است. مارکارد و همکاران در سال ۲۰۱۸ توسعه «نظام‌های نوآوری فناورانه» را در چهار مرحله‌ی چرخه‌ی حیات شامل شکل‌گیری، رشد، بلوغ و افول مورد بررسی قرار داد (مارکارد[۶۱]، ۲۰۱۸). تحلیل وی تأکید داشت که اگرچه نظام‌های نوآوری فناورانه در مراحل ابتدایی به‌طور گسترده مطالعه شده‌اند، اما نظام‌های بالغ و در حال افول کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. او استدلال کرد که اتخاذ رویکرد چرخه‌ی حیات نظام های نوآوری فناورانه می‌تواند بینش‌های مهمی در خصوص گذارهای پایداری، به‌ویژه در زمینه‌ی افول فناوری و نقش سیاست عمومی در مدیریت این گذارها ارائه دهد. در این مطالعه سه نمونه‌ی تجربی از توسعه و افول بلندمدت نظام‌های نوآوری فناورانه بررسی شد که نشان داد سیاست‌گذاری‌ها می‌توانند بر مسیر و کارایی این نظام‌ها اثرگذار باشند. گالاگر و همکاران در سال ۲۰۱۲ نظام نوآوری فناوری انرژی (ETIS) را به‌عنوان چارچوبی نظام‌مند بررسی کردند که تمامی مراحل توسعه فناوری، بازیگران کلیدی، نهادها و شبکه‌ها را دربر می‌گیرد. آنان محرک‌های اصلی نوآوری انرژی را شناسایی کردند، مبانی سیاست‌گذاری دولت‌ها را مورد بحث قرار دادند و بر اساس ادبیات و مطالعات موردی، رهنمودهایی برای طراحی مؤثر ETIS ارائه دادند(گالگر[۶۲] و همکاران، ۲۰۱۲).

61. Markard
62. Gallagher

علاوه بر این، نگرو و همکاران در سال ۲۰۰۶ مسیر پرچالش نوآوری در هاضم زیست‌توده در هلند را با استفاده از چارچوب «کارکردهای نظام نوآوری» مورد بررسی قرار دادند(نگرو و هککرت[۶۳]، ۲۰۰۸). آنها شکست‌های نظام‌مند و فقدان فعالیت‌های نوآورانه را در فرآیند نوآوری تحلیل کرده و به نقش دوگانه سیاست‌های دولتی در هم‌زمان ایجاد انگیزه و ایجاد مانع برای توسعه اشاره کردند. همچنین، از مطالعه‌ی موردی خود برای ارائه درس‌آموخته‌های کلیدی در طراحی سیاست‌های شتاب‌دهنده برای انتشار انرژی زیست‌توده بهره بردند. در مطالعه‌ای دیگر با تمرکز بر هم‌پیوندی، نگرو و همکاران در سال ۲۰۰۸ گسترش موفقیت‌آمیز هاضم زیست‌توده در آلمان را با استفاده از چارچوب نظام نوآوری فناورانه تحلیل کردند(نگرو[۶۴] و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج نشان داد رشد سریع این فناوری ناشی از کارکردهای نظامی قوی و تقویت‌کننده‌ی مثبت بوده که چرخه‌های فضیلت‌آمیز ایجاد کرده است. همچنین، چن و همکاران در سال ۲۰۱۸ عوامل تعیین‌کننده‌ی انتشار دی‌اکسیدکربن در ۳۰ کشور طی دوره‌ی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴ را با استفاده از رگرسیون صدکی پانلی و با در نظر گرفتن ناهمگنی توزیعی بررسی کردند. نتایج حاکی از آن است که اثر انرژی‌های تجدیدپذیر و نوآوری فناورانه بر انتشار کربن بسته به سطح انتشار کشورها متفاوت است(چن و لی[۶۵]، ۲۰۱۸). در کشورهای با سطح بالای انتشار، مصرف انرژی تجدیدپذیر به دلیل سهم اندک آن در ترکیب انرژی، تأثیر محدودی دارد، در حالی‌که نوآوری فناورانه نقش کلیدی در کاهش انتشار در این کشورها ایفا می‌کند. این مطالعه بر ضرورت

63. Negro & Hekkert
64. Negro
65. Chen & Lei

حمایت مالی از نوآوری فناورانه و تغییر الگوهای رشد اقتصادی برای ارتقای پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش بهره‌وری انرژی تأکید می‌کند.

نگرو و همکاران در سال ۲۰۰۷ همچنین با استفاده از چارچوب نظام‌های نوآوری، شکست گازی‌سازی زیست‌توده در هلند (۲۰۰۴–۱۹۸۰) را تحلیل کردند (نگرو[۶۶] و همکاران، ۲۰۰۷). این پژوهش به عدم هم‌راستایی ساختاری میان شرایط نهادی و الزامات فناورانه، و نیز فقدان کارکردهای کلیدی نظامی ــ شامل هدایت جست‌وجو، تخصیص منابع و ائتلاف‌های حامی ــ به‌عنوان دلایل اصلی ناکامی این فناوری اشاره کرد. به‌علاوه، برگک و همکاران درسال ۲۰۰۸ به چالش سیاست‌گذاران در بهره‌گیری از مطالعات تجربی نظام‌های نوآوری برای ارائه راهنمایی‌های عملی پرداخته‌اند. نویسندگان رویکرد کارکردی به پویایی‌های نظام نوآوری را به یک طرح تحلیلی اجرایی تبدیل کرده‌اند که با تکیه بر ادبیات موجود و تجربه‌های کاربردی آنان، سیاست‌گذاران را در شناسایی مسائل کلیدی و تعیین اهداف سیاستی مشخص یاری می‌رساند. در نهایت، باوئر و همکاران در سال ۲۰۱۷ توسعه و انتشار فناوری‌های زیست‌پالایشگاه را به‌عنوان اجزای کلیدی زیست‌اقتصاد بررسی کردند(باوئر[۶۷] و همکاران، ۲۰۱۷). مرور آن‌ها دانش مربوط به بازیگران، شبکه‌ها و نهادهای مرتبط را تلفیق کرده و چند یافته کلیدی را برجسته می‌سازد: افزایش صرفاً تحقیق و توسعه نمی‌تواند شکاف تجاری‌سازی موسوم به «دره‌ی مرگ» را پر کند؛ شرایط مشارکت بنگاه‌های کوچک و متوسط و کارآفرینان همچنان نامشخص است؛ مشوق‌های بازار در حال حاضر انرژی‌زیستی را نسبت به محصولات غیرانرژی ترجیح می‌دهند و این امر تنوع سرمایه‌گذاری را محدود می‌کند؛ و حمایت سیاستی ارتباط تنگاتنگی با پذیرش اجتماعی و مشروعیت دارد. این مطالعه در نهایت به شکاف‌های دانشی پایدار در این حوزه اشاره می‌کند.

مطالعه نصیری و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از چارچوب نظام نوآوری فناورانه، عوامل مؤثر بر توسعه نظام نوآوری فناوری هیدروژن و پیل سوختی در ایران را بررسی کرده است. یافته‌ها حاکی از توقف طولانی‌مدت این فناوری در مرحله نمایشی و عقب‌ماندگی آن نسبت به کشورهای پیشرو است که به‌واسطه ساختار و کارکردهای ضعیف این نظام تبیین می‌شود. این پژوهش خاطرنشان می‌سازد که خروج از این مرحله و گذار به فاز پیشاتجاری، منوط به انجام «فعالیت‌های کارآفرینانه» است که خود مستلزم تأمین منابع مالی کلان می‌باشد. بر این اساس، وضعیت قوانین و مقررات حمایتی به‌عنوان پیش‌شرط ضروری برای جذب سرمایه در این حوزه شناسایی شده است(نصیری[۶۸] و همکاران، ۲۰۱۵). مطالعه سعدآبادی وهمکاران در سال ۲۰۲۳، به تحلیل تاریخی شکل‌گیری کارکردهای نظام نوآوری فناورانه فتوولتاییک در ایران و استخراج موتور محرک نوآوری در ادوار مختلف آن پرداخت. با توجه به ماهیت مبتنی بر واردات و مونتاژ این فناوری در ایران، چارچوب نظری «نظام نوآوری فناورانه مبتنی بر انتشار» مبنا قرار گرفت. این پژوهش با به کارگیری روش ترکیبی (آمیخته)، در مرحله کیفی از مصاحبه و تحلیل اسناد برای شناسایی موتورهای محرک بهره جست و در مرحله کمی، موتور محرک مرحله جاری را با تکنیک مدلسازی معادلات ساختاری

66. Negro
67. Bauer
68. Nasiri

اعتبارسنجی نمود(سعدآبادی[۶۹] و همکاران، ۲۰۲۳).

مطالعه‌ای از بنتو و همکاران در سال ۲۰۲۵ تمرکز بر خلأ موجود در ادبیات گذار پایداری، به‌جای ظهور فناوری‌ها، فرآیند افول فناوری‌های تثبیت‌شده را مورد بررسی قرار می‌دهد. نویسندگان با توسعه چارچوب سیستم نوآوری فناورانه (TIS)، مفهوم «کارکردهای افول» را معرفی کرده و چهار کارکرد شامل مشروعیت‌زدایی، هدایت به خروج، افول بازار و بسیج‌زدایی منابع را پیشنهاد می‌کنند. این کارکردها در چهار مطالعه موردی مرتبط با فناوری‌های انرژی (لامپ‌های رشته‌ای، گرمایش نفتی، انرژی هسته‌ای و خودروهای احتراق داخلی) به‌صورت نظام‌مند تحلیل شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که این کارکردها در تمامی موارد حضور داشته و به‌صورت مرحله‌ای و تعاملی، فرآیند افول فناوری‌ها را شکل می‌دهند. مقاله نشان می‌دهد که تحلیل افول TIS می‌تواند ابزار مفهومی مهمی برای سیاست‌گذاران جهت تسریع حذف فناوری‌های ناپایدار و تقویت گذار به سوی پایداری فراهم کند (بنتو[۷۰] و همکاران، ۲۰۲۵).

در پژوهشی از اندرسون و همکاران در سال ۲۰۲۳ مرور انتقادی ادبیات سیستم‌های نوآوری فناورانه (TIS)، ابهامات مفهومی موجود در خصوص دامنه کارکردی و ساختاری این چارچوب را شناسایی می‌کند. نویسندگان نشان می‌دهند که عدم توافق درباره ماهیت کارکردهای TIS (نوآوری در برابر تولید) و عناصر ساختاری آن، مانعی برای انباشت دانش و پیشرفت مفهومی محسوب می‌شود. در پاسخ، مقاله مدلی شفاف‌تر ارائه می‌دهد که در آن کارکرد اصلی TIS (توسعه و شکل‌دهی یک فناوری مشخص) تعریف شده و فناوری به‌عنوان یک سیستم تولید–مصرف در نظر گرفته می‌شود. همچنین، ساختار TIS شامل عناصر اجتماعی، فنی و در برخی موارد اکولوژیک معرفی شده و رهنمودهایی برای تعیین مرزهای تحلیلی در مطالعات تجربی ارائه می‌گردد. این رویکرد گامی مهم در جهت ایجاد یک مدل مشترک و منسجم از تغییر فناورانه در مطالعات TIS به شمار می‌آید (اندرسون[۷۱] و همکاران، ۲۰۲۳).

در پژوهشی از ویچوسکا و همکاران در سال ۲۰۲۵ با مرور نظام‌مند ادبیات سیستم‌های نوآوری فناورانه (TIS)، نقش مطالعات TIS در تبیین فرآیندهای نوآوری مؤثر بر گذارهای پایداری را تحلیل می‌کند. نویسندگان پیشرفت‌های مفهومی و روش‌شناختی TIS را در سه سطح مزو (کارکردها و ساختارها)، ماکرو (تعاملات TIS با بستر نهادی و ساختاری) و میکرو (نقش کنشگران، عاملیت و تعاملات اجتماعی) دسته‌بندی می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که تمرکز غالب پژوهش‌ها بر مراحل ظهور فناوری بوده و تحلیل پویایی‌های سیستم‌های بالغ و در حال افول کمتر مورد توجه قرار گرفته است. مقاله بر ضرورت توسعه مطالعات آینده TIS در جهت بررسی تغییرات ساختاری، جهت‌مندی تغییرات اجتماعی–فناورانه و ارتباط میان فرآیندهای نوآوری و گذار پایداری تأکید می‌کند. در نهایت، این رویکرد امکان ارائه توصیه‌های سیاستی تحول‌گرا و هدفمندتر را فراهم می‌سازد(ویچوسکا[۷۲] و همکاران، ۲۰۲۵).

در پژوهشی از اندرسن و همکاران در سال ۲۰۲۶ با تمرکز بر نقش تحول صنعتی در شتاب‌بخشی گذارهای پایداری، چارچوبی تحلیلی برای فهم پویایی‌های چندبخشی در گذارهای اجتماعی–فناورانه ارائه می‌دهد. نویسندگان با تلفیق رویکرد

69. Sadabadi
70. Bento
71. Andersson
72. Weckowska

چند سطحی(MLP) و دیدگاه زنجیره ارزش در چارچوب سیستم نوآوری فناورانه (TIS)، یک منظر چندبخشی معرفی می‌کنند که میان زنجیره‌های ارزش فناوری و زنجیره‌های ارزش خدمات تمایز قائل می‌شود. این چارچوب با مرور نظام‌مند ۸۰ مطالعه تجربی ارزیابی شده و نه فرآیند کلیدی مؤثر بر تعاملات بین‌بخشی شناسایی می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که هم‌پوشانی بخش‌ها، تغییرات متارژیمی، توزیع‌شدگی کنشگران مسلط و ناهمگنی فضایی فرصت‌های صنعتی، نقش تعیین‌کننده‌ای در مسیر و شتاب گذار دارند. مقاله بر ضرورت ابزارهای تحلیلی و سیاستی یکپارچه برای درک هم‌تکاملی تحول صنعتی و گذار پایداری تأکید می‌کند(اندرسن[۷۳] و همکاران، ۲۰۲۶).

در پژوهشی از موسوی و همکاران با بهره‌گیری از رویکرد نظام ملی نوآوری و استفاده از روش ترکیب نظام‌مند تحقیقات، به شناسایی ویژگی‌های اصلی نظام نوآوری ایران پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که این نظام با ضعف‌های ساختاری و کارکردی متعددی از جمله کاستی در سیاست‌گذاری، ضعف نظام نظارت و ارزیابی، چالش‌های حکمرانی، شکاف میان بازیگران، محدودیت در توسعه نیروی انسانی، ضعف در کارآفرینی و کمبود سازوکارهای تأمین مالی و تسهیل فعالیت‌های تحقیق و توسعه مواجه است. در مقابل، توسعه کمی دانشگاه‌ها، افزایش نیروی انسانی متخصص و رشد تحقیقات کاربردی از نقاط قوت این نظام به شمار می‌رود. نویسندگان بر ضرورت هم‌راستاسازی سیاست‌ها، تقویت زیرساخت‌های حقوقی و نهادی، توسعه واحدهای تحقیق و توسعه، بهبود سازوکارهای تجاری‌سازی و تأمین مالی، و ارتقای تعامل میان بازیگران تأکید دارند(موسوی و همکاران، ۱۳۹۹).

در پژوهشی از حسینی و همکاران با تمرکز بر نقش کارآفرینی سیاستی و رهبری نوآوری، به تبیین سازوکارهای پیشرفت فناورانه در صنعت انرژی ایران فراتر از عناصر ساختاری و کارکردی نظام‌های نوآوری پرداخته شده است. با استفاده از مطالعه موردی تولید توربین IGT۲۵ و تحلیل مضمون داده‌ها، نتایج نشان می‌دهد که همزمانی کارآفرینی سیاستی و رهبری نوآوری، تعامل مؤثر میان این دو، و بهره‌گیری از راهبردهایی نظیر متقاعدسازی مخالفان، ایده‌پردازی و نمایش توانمندی‌ها، نقش تعیین‌کننده‌ای در خلق پنجره‌های فرصت سیاستی و موفقیت تغییرات سیاستی داشته است. همچنین یافته‌ها بر ماهیت تکاملی و انباشتی توسعه توانمندی‌های فناورانه و اهمیت برنامه‌ریزی بلندمدت تأکید دارند(حسینی و همکاران، ۱۴۰۲).

در پژوهشی از مرزبان و همکاران با بهره‌گیری از رویکرد آینده‌پژوهی و روش PESTEL، به تحلیل روندها و عوامل کلیدی مؤثر بر آینده حکمرانی در عرصه توزیع انرژی برق پرداخته است. نتایج، ۲۳ عامل کلیدی در ابعاد سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناورانه، زیست‌محیطی، حقوقی و صنعتی را شناسایی کرده و سه روند نوظهور اصلی شامل دموکراتیزه شدن تعاملات انرژی، توسعه نوآوری‌های فنی و اجتماعی، و تقویت ابعاد انسانی و فرهنگی سیستم‌های انرژی را برجسته می‌سازد. یافته‌ها نشان می‌دهد که حکمرانی آینده خدمات عمومی به‌سمت تمرکززدایی، شبکه‌ای شدن، همکاری داوطلبانه و مشارکت اجتماعی حرکت می‌کند و نقش شبکه‌های هوشمند، تولید پراکنده و خرده‌شبکه‌های محلی در مدیریت انرژی پررنگ‌تر می‌شود(مرزبان و همکاران، ۱۳۹۷).

73. Andersen

در پژوهشی از زندی و خیاطیان در سال ۱۴۰۲ با به‌کارگیری روش فراترکیب و تحلیل نظام‌مند ۳۱ پژوهش معتبر، به شناسایی و تبیین مؤلفه‌های کلیدی مفهوم «ظرفیت نوآوری» پرداخته شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که این ظرفیت متشکل از چهار بُعد اصلی فنی و فناورانه (شامل تحقیق و توسعه و فناوری اطلاعات)، انسانی (مبتنی بر یادگیری، فرهنگ و کیفیت سرمایه انسانی)، محیطی و زمینه‌ای (متأثر از فضای کلان اقتصادی-اجتماعی، رقابت و امکانات شهری) و سازمانی (شامل شبکه‌سازی، مدیریت دانش، منابع مالی و کارآفرینی) است. این پژوهش چارچوب جامعی ارائه می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای سنجش و تقویت ظرفیت نوآوری در سازمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. مطالعه حاضر با ارائه این مدل چهاربُعدی، گامی در جهت شفاف‌سازی و عملیاتی‌سازی مفهوم ظرفیت نوآوری برداشته است(زندی و خیاطیان، ۱۴۰۲).

در پژوهشی از شایان و همکاران در سال ۱۴۰۴ با هدف ارائه یک چارچوب سیاست‌گذاری برای توسعه «خدمات دیجیتال شهری شهروند-محور» انجام شده است. نویسندگان با استفاده از روش ترکیبی (مرور نظام‌مند ادبیات و مصاحبه با خبرگان)، چارچوبی جامع شامل ابعادی همچون توانمندسازهای فناورانه، حاکمیتی، جامعه‌ای، مشارکتی و نیز واسطه‌های دانشی ارائه می‌دهند. تأکید اصلی این چارچوب بر شناسایی نیازهای شهروندان و افزایش مشارکت و اعتماد آنان است تا از اجرای پروژه‌های جزیره‌ای و مدیر-محور جلوگیری شود. چارچوب پیشنهادی با تحلیل موردی سامانه «شهرزاد» اعتبارسنجی شده و به‌عنوان راهنمایی برای سیاست‌گذاران جهت تحقق شهر هوشمندِ واقعاً مردم‌محور در ایران طراحی شده است. این مطالعه بر ضرورت رویکردی یکپارچه و معطوف به ذی‌نفعان در حکمرانی دیجیتال شهری تأکید می‌ورزد (شایان و همکاران، ۱۴۰۴).

در پژوهشی از رستمی باروئی و ملکی در سال ۱۴۰۴ با رویکرد اکتشافی و از طریق مصاحبه با خبرگان، به تحلیل سیاست‌های ایران در قبال رمزارزها (با تمرکز بر بیت‌کوین) در چهار بُعد کلیدی پرداخت، صرافی‌ها، استخراج و کیف‌پول می‌پردازد. یافته‌ها نشان می‌دهد رویکرد ایران در این حوزه دوگانه، متناقض و عمدتاً مبتنی بر احتیاط است؛ به‌گونه‌ای که در بخش استخراج به رسمیت شناخته و مجوز داده می‌شود، اما در بخش‌های پرداخت و صرافی‌ها عموماً با ممنوعیت و نگرشی غیردوستانه مواجه است. این مطالعه شکاف بین سیاست‌های رسمی و غیررسمی را آشکار کرده و بر ضرورت گذار از این رویکرد دوگانه به سمت یک چارچوب منسجم و تخصصی تنظیم‌گری، با تعریف رمزارزها به عنوان دارایی دیجیتال و تقویت نقش نهادهایی مانند سازمان بورس، تأکید می‌کند (رستمی باروئی و ملکی، ۱۴۰۴).

برآیند مرور ادبیات نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات متعددی به تحلیل نظام‌های نوآوری فناورانه در حوزه انرژی و نیز به بررسی فناوری‌های زیست‌توده در سطوح مختلف پرداخته‌اند، تاکنون پژوهشی که به‌طور مشخص توسعه انرژی زیست‌توده در ایران را با رویکرد نظام نوآوری فناورانه و با تمرکز بر شناسایی چالش‌ها و تدوین سیاست‌های توسعه‌ای بررسی کند، انجام نشده است. با وجود توسعه سیاست‌های حمایتی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور، انرژی زیست‌توده همچنان از جمله حوزه‌هایی است که از منظر تحلیلی و سیاست‌گذاری کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این در حالی است که در برخی

مناطق ایران، به‌ویژه شهرهای شمالی، معضل مزمن مدیریت پسماند شهری به یک چالش زیست‌محیطی و اجتماعی جدی بدل شده و فناوری‌های مبتنی بر زیست‌توده، به‌ویژه سامانه‌های زباله‌سوز تولیدکننده برق، می‌توانند به‌عنوان راهکاری یکپارچه در کاهش حجم پسماند و تأمین انرژی نقش‌آفرینی کنند. با این حال، سیاست‌ها و اقدامات اجرایی موجود عمدتاً ماهیتی بخشی داشته و فاقد پشتوانه یک تحلیل سیستمی منسجم هستند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با پیوند دادن این دو حوزه و تمرکز بر زمینه ایران، خلأهای نظری و عملی موجود را پوشش داده و چارچوبی تحلیلی و سیاست‌محور برای بهبود اثربخشی سیاست‌های توسعه انرژی زیست‌توده و تقویت گذار به انرژی‌های پایدار ارائه می‌کند.

روش‌شناسی پژوهش

با توجه به هدف پژوهش حاضر که تبیین و تشریح نظام نوآوری فناورانه در حوزه سیستم‌های زیست توده است، این تحقیق در دسته مطالعات کاربردی قرار می‌گیرد. جمع‌آوری داده‌ها نیز از طریق مصاحبه، مطالعه اسناد و پرسشنامه انجام شده است. پرسش‌های اصلی پژوهش عبارتند از:

۱. چه مؤلفه‌ها و عناصر کارکردی، نظام نوآوری فناورانه در حوزه سیستم‌های زیست‌توده را تشکیل می‌دهند؟

۲. هر یک از فناوری‌های زیست توده در کدام یک از مراحل توسعه خود در کشور قرار دارند؟

۳. در هر مرحله چه کارکردهایی مهم هستند؟

۴. بر اساس کارکردهای مهم، چه چالش‌هایی پیش روی فناوری‌ها است؟

۵. چه سیاست‌ها و اقداماتی برای رفع چالش‌ها وجود دارند؟

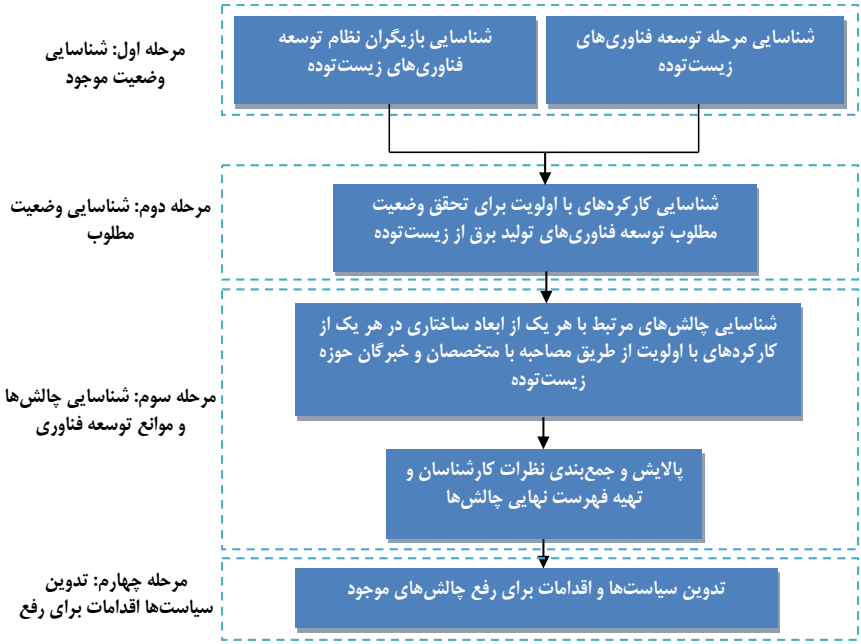
برای تحلیل نظام نوآوری فناورانه انرژی زیست‌توده در ایران، پژوهش حاضر بر چهار مرحله اصلی متمرکز شد. این مراحل شامل شناسایی وضعیت موجود، تعیین وضعیت مطلوب، بررسی چالش‌ها و موانع توسعه فناوری و نهایتاً تدوین سیاست‌ها و اقدامات راهبردی است. هر مرحله با بهره‌گیری از ترکیبی از روش‌های کیفی و کمی، شامل مصاحبه با خبرگان، مطالعه اسناد و مدارک، پرسشنامه و تحلیل محتوا اجرا شد تا داده‌های جامع، معتبر و کاربردی برای هدایت توسعه فناوری‌های زیست‌توده جمع‌آوری و تحلیل شود. در مرحله شناسایی وضعیت موجود، هدف اصلی تحلیل وضعیت کنونی نظام نوآوری فناورانه انرژی زیست‌توده در ایران بود. داده‌ها از طریق ترکیبی از مصاحبه با خبرگان حوزه، مطالعه اسناد و مدارک رسمی و پژوهشی مرتبط و پرسشنامه‌های طراحی‌شده جمع‌آوری شد (جدول (۱)).

این فرآیند امکان تعیین مرحله توسعه هر فناوری و شناسایی بازیگران کلیدی شامل نهادهای دولتی، دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های دانش‌بنیان را فراهم ساخت و تصویری جامع و واقع‌بینانه از ساختار، عملکرد و تعامل میان اجزای نظام نوآوری زیست‌توده ارائه داد. در مرحله شناسایی وضعیت مطلوب، هدف تعیین اهداف و معیارهای توسعه فناوری‌ها و تدوین چشم‌انداز ایده‌آل نظام نوآوری بود. داده‌های این بخش عمدتاً از طریق مصاحبه با متخصصان و خبرگان حوزه جمع‌آوری شد تا دیدگاه‌های علمی، فناورانه و سیاستی در خصوص آینده توسعه فناوری‌های زیست‌توده استخراج شود. تحلیل این داده‌ها کمک کرد تا فاصله میان وضعیت موجود و مطلوب شناسایی گردد و زمینه لازم برای

جدول ۱. افراد مورد مصاحبه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر

ردیف	عنوان	سابقه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر	ردیف	عنوان	سابقه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر
۱	معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سابق سانا	بیش از ۲۵ سال	۱۱	عضو هیأت‌علمی دانشگاه تهران	بیش از ۳۵ سال
۲	کارشناس ارشد سابق دفتر مرکز همکاری‌های تحول و پیشرفت	بیش از ۵ سال	۱۲	عضو هیأت‌مدیره انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر	بیش از ۳۰ سال
۳	معاونت فنی سابق ساتبا	بیش از ۲۵ سال	۱۳	معاون شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت	بیش از ۵ سال
۴	معاونت برنامه‌ریزی سابق ساتبا	بیش از ۲۵ سال	۱۴	کارشناس برنامه‌ریزی ساتبا	بیش از ۱۵ سال
۵	کارشناس ارشد برنامه‌ریزی مپنا	بیش از ۲۰ سال	۱۵	مدیر سابق دفتر انرژی زیست توده ساتبا	بیش از ۱۵ سال
۶	معاون وزیر سابق نیرو	بیش از ۳۰ سال	۱۶	کارشناس وزارت نیرو	بیش از ۱۰ سال
۷	رئیس هیئت‌مدیره انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر	بیش از ۱۵ سال	۱۷	معاون شرکت توانیر	بیش از ۱۰ سال
۸	عضو هیات علمی پژوهشگاه نیرو	بیش از ۱۵ سال	۱۸	مشاور اسبق مدیرعامل ساتبا	بیش از ۱۰ سال
۹	معاون سابق ستاد توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر	بیش از ۱۰ سال			
۱۰	مدیر یک شرکت فعال	بیش از ۱۰ سال			

طراحی سیاست‌ها و اقدامات راهبردی فراهم شود. در مرحله شناسایی چالش‌ها و موانع توسعه فناوری، تمرکز بر شناخت محدودیت‌ها و مشکلات عملی و نهادی توسعه فناوری‌های زیست‌توده بود. داده‌ها از طریق مصاحبه با خبرگان و متخصصان حوزه و تحلیل محتوا استخراج شد. این مرحله امکان شناسایی دقیق چالش‌های فناورانه، مدیریتی، مالی و نهادی را فراهم آورد و مبنای علمی و مستند برای طراحی سیاست‌ها و اقدامات مؤثر شد. در مرحله تدوین سیاست‌ها و اقدامات راهبردی، هدف طراحی راهکارها و سیاست‌های عملیاتی برای رفع موانع و تسهیل توسعه فناوری‌ها بود. در این مرحله یک پنل



شکل ۱. فرایند تدوین اقدامات توسعه فناوری‌های تولید برق از زیست‌توده

خبرگی متشکل از صاحب‌نظران تشکیل شد و اسناد بالادستی مرتبط بررسی گردید. داده‌های حاصل از مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌ها جمع‌بندی شده و در قالب سیاست‌ها و اقدامات قابل اجرا ارائه شد تا پیوند میان یافته‌های تحلیلی و راهکارهای عملی ایجاد شود و چارچوبی برای هدایت نظام نوآوری انرژی زیست‌توده ارائه گردد. به طور خلاصه مراحلی که در این پژوهش طی شده، در شکل (۱) نشان داده شده است.

فرایند تدوین اقدامات توسعه فناوری‌های زیست‌توده در گام نخست با شناسایی وضعیت موجود توسعه فناوری‌های تولید برق از زیست‌توده آغاز می‌شود. این مرحله بر مبنای بررسی سطح توسعه فناوری‌های موردنظر و شناسایی بازیگران فعال در نظام توسعه این سیستم‌ها در کشور انجام می‌گیرد. در واقع، شناخت دقیق شرایط موجود به‌عنوان زیربنای طراحی اقدامات آینده نقش کلیدی دارد و امکان تحلیل نقاط قوت، ضعف و ظرفیت‌های بالفعل و بالقوه را فراهم می‌سازد. نظام نوآوری فناوری‌های زیست‌توده متشکل از بازیگران و ذی‌نفعانی است که هر یک به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در توسعه این فناوری‌ها ایفای نقش می‌کنند. این بازیگران طیف وسیعی از بخش‌های دولتی، شرکت‌های تولیدکننده و مشاور، دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی، مؤسسات مالی و حقوقی و سایر نهادهای مرتبط را در بر می‌گیرند. در زمینه توسعه دانش و فعالیت‌های تحقیق و توسعه، پژوهشگاه‌هایی نظیر پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشگاه صنعت نفت، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، پژوهشگاه انرژی

و محیط زیست دانشگاه تهران، پژوهشکده انرژی و محیط زیست دانشگاه باهنر کرمان و مرکز تحقیقات تولید برق از زیست‌توده دانشگاه شیراز نقش مهمی ایفا می‌کنند. همچنین دانشگاه‌هایی همچون دانشگاه تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشگاه تربیت مدرس و دانشگاه باهنر کرمان از جمله مراکز اصلی تولید دانش در این حوزه محسوب می‌شوند. در حوزه تأمین منابع نیز نهادهای مختلفی نقش‌آفرین هستند. از منظر منابع مالی می‌توان به صندوق مهر امام رضا (ع)، بانک‌ها و مؤسسات اعتباری، صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور، صندوق توسعه فناوری‌های نوین و پژوهشگاه نیرو اشاره کرد. در زمینه منابع انسانی، دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های معتبر کشور نقش اصلی را بر عهده دارند. علاوه بر این، شرکت‌های مشاور و سازنده فناوری‌های زیست‌توده، تأمین‌کننده اصلی تجهیزات و قطعات محسوب می‌شوند و وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، سازمان مدیریت پسماند و همچنین کشاورزان، باغداران و دامداران از جمله بازیگران کلیدی در تأمین منابع زیست‌توده به شمار می‌روند. در ارتباط با جهت‌دهی به نظام توسعه، مجموعه‌ای از نهادهای سیاست‌گذار و تصمیم‌ساز فعال هستند که از جمله آنها می‌توان به مجمع تشخیص مصلحت نظام و مرکز تحقیقات استراتژیک، مجلس شورای اسلامی و مرکز پژوهش‌ها، وزارتخانه‌های کشور، جهاد کشاورزی، صنعت، معدن و تجارت، نفت، نیرو، علوم و بهداشت اشاره کرد. همچنین معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، سازمان حفاظت محیط زیست، شورای عالی انقلاب فرهنگی، شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری (عتف)، سندیکای صنعت برق ایران و شرکت‌های تابعه وزارت نیرو از جمله نهادهای مهمی هستند که با نقش سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و آینده‌پژوهی در جهت‌گیری این حوزه مشارکت می‌کنند. به‌طور کلی، بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش عمده فعالیت‌ها در حوزه انرژی زیست‌توده توسط دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها صورت می‌گیرد و تمرکز اصلی بر انجام تحقیقات، مطالعات علمی و پژوهشی است. این امر بیانگر آن است که نظام توسعه فناوری‌های زیست‌توده در کشور در مرحله‌ای قرار دارد که بیش از هر چیز بر تولید دانش و ایجاد زیرساخت‌های علمی متمرکز بوده و نیازمند تقویت پیوند میان پژوهش و بخش‌های صنعتی و اجرایی است.

یافته‌ها و بحث

بهره‌برداری از انرژی زیست‌توده سابقه‌ای بسیار طولانی داشته و به دوران کشف و استفاده از آتش توسط بشر بازمی‌گردد؛ به‌گونه‌ای که منابعی مانند چوب و سایر مواد آلی تا پیش از گسترش استفاده از سوخت‌های فسیلی، نقش غالبی در تأمین انرژی ایفا می‌کردند. مشاهدات اولیه از خروج گاز و اشتعال ناقص مواد آلی دفن‌شده، زمینه‌ساز شناخت تدریجی پدیده تولید بیوگاز شد و از قرن هفدهم میلادی، با شناسایی گاز مرداب و متان به‌عنوان ترکیب اصلی آن، مطالعات علمی در این حوزه آغاز گردید. از اوایل قرن نوزدهم، تحقیقات نظام‌مند درباره تخمیر بی‌هوازی و کاربردهای عملی بیوگاز گسترش یافت و در اواخر همان قرن، نخستین استفاده‌های شهری از بیوگاز برای روشنایی به ثبت رسید. در ایران نیز بهره‌گیری از زیست‌توده پیشینه‌ای قابل توجه دارد؛ به‌طوری‌که استفاده از بیوگاز حاصل از فاضلاب برای تأمین سوخت حمام در دوره صفوی گزارش شده است. در دوران معاصر، به‌ویژه از دهه ۱۳۵۰ شمسی به بعد، پروژه‌های آزمایشی متعددی در زمینه هاضم‌های بی‌هوازی در مناطق روستایی و مراکز

دانشگاهی کشور اجرا شده است که نشان‌دهنده توجه اولیه به ظرفیت‌های انرژی زیست‌توده، هرچند به‌صورت پراکنده و محدود، در نظام انرژی ایران است.

زیست‌توده به‌عنوان بخش قابل تجزیه زیستی محصولات و پسماندهای کشاورزی (شامل ضایعات گیاهی و دامی)، پسماندهای جنگلداری و صنایع وابسته (شامل شیلات و آبزی‌پروری) و همچنین سایر پسماندها مانند پسماندهای صنعتی و شهری تعریف می‌شود. زیست‌توده شامل کلیه ترکیبات مولکولی و ماکرومولکولی ناشی از محصولات گیاهی، کشاورزی، جنگلداری و هرگونه مواد باقیمانده می‌باشد. انرژی زیست‌توده به‌عنوان یک منبع انرژی پایدار و سازگار با محیط‌زیست، توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرده است (پاپ[۷۴] و همکاران، ۲۰۲۱). این منبع انرژی راه‌حل امیدوارکننده‌ای برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی و نیاز فوری به گذار به سمت انرژی‌های سبز ارائه می‌دهد، زیرا ضمن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، از امنیت انرژی ملی نیز پشتیبانی می‌کند(تون[۷۵] و همکاران، ۲۰۲۱). منابع زیست‌توده کشور ایران شامل پسماندهای کشاورزی (مانند کاه و کلش)، پسماندهای حیوانی (مانند کود و فضولات دامی) و انواع پسماندهای فاسدپذیر (زباله‌های آلی) می‌شوند. همچنین، پساب‌های شهری (فاضلاب‌های خانگی) و پساب‌های صنعتی نیز به دلیل دارا بودن محتوای آلی بالا، از منابع بالقوه زیست‌توده به شمار می‌روند که از طریق فرآیندهایی مانند هضم بی‌هوازی، می‌توان آنها را به بیوگاز (متان) و مواد با ارزش دیگر تبدیل کرد (اسدی و همکاران، ۲۰۱۲). راهکارهای فناورانه متنوعی جهت تبدیل زیست‌توده به انرژی ابداع شده است که در جدول (۲) به این فناوری‌ها اشاره شده است است.

در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، نظام های توسعه فناوری پیچیده تر شده و مستلزم هماهنگی میان بازیگران، نهادها و سیاست‌های متنوع هستند. انرژی زیست توده، به دلیل ویژگی های منحصربه فردش همچون امکان تولید انرژی پایدار و مدیریت پسماند، جایگاه ویژه‌ای در گذار به سمت اقتصاد کم کربن دارد. در تعیین وضعیت موجود توسعه فناوری، علاوه بر تعیین بازیگران مختلف حوزه مد نظر باید مرحله توسعه فناوری‌های انرژی زیست‌توده را تعیین نمود. در ادامه روش های حصول انرژی زیست توده به تفکیک آورده شده است.

مرحله توسعه فناوری هاضم بی‌هوازی

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، در حال حاضر شرکت دانش‌بنیان مستقلی در حوزه فناوری‌هاضم بی‌هوازی در کشور تأسیس نشده است و تنها یک شرکت تولیدکننده (شرکت طرح هندسه نو) در این زمینه فعال می‌باشد. بازیگران اصلی این حوزه را دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی از جمله پژوهشگاه نیرو و پژوهشگاه مواد و انرژی تشکیل می‌دهند که در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و زیست‌توده فعالیت دارند. از سوی دیگر، نقش تسهیل‌گری دولت با تدوین اسناد و تعیین قیمت خرید تضمینی برق تولیدی به میزان ۶۷۱۰۰ ریال برای هر کیلووات‌ساعت (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق، ۲۰۲۴)، در حال شکل‌گیری است. در بُعد تعاملات، اگرچه برگزاری کنفرانس‌ها و نمایشگاه‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر تا حدی موجب آشنایی متخصصان و ایجاد روابط بین‌فردی شده، اما شبکه منسجمی حول این فناوری هنوز شکل نگرفته است. از منظر نهادی نیز هرچند قانون یا دستورالعمل مشخصی برای هاضم بی‌هوازی وجود ندارد، اما

74. Popp
75. Tonne

جدول۲. فناوری‌های تبدیل زیست‌توده به انرژی و ویژگی‌های آنها

فناوری	مواد اولیه	فرآیندهای کلیدی/ محصولات	کاربردها	منبع
هاضم بی‌هوازی	پسماندهای کشاورزی، دامی، خانگی و صنعتی	هضم بی‌هوازی	تولید انرژی، کود غنی، آب قابل استفاده برای آبیاری	(قریشی و رحیمی، ۲۰۱۱)
گازسازی	هیدروکربن‌های موجود در زیست‌توده	احتراق جزئی با کنترل میزان هوا، تولید گاز سنتز (مونوکسید کربن، دی‌اکسید کربن، هیدروژن)	تولید گازهای قابل استفاده به عنوان سوخت یا feedstock صنعتی	جایارامان و گوکالپ[1]، ۲۰۱۵)
زباله‌سوزی	ضایعات جنگلی، بقایای کشاورزی (کاه)، گیاهان با رطوبت مختلف	۱. تجزیه حرارتی به زغال و مواد فرار ۲. سوختن مواد فرار و زغال	تأمین انرژی برای مصارف خانگی (پخت‌وپز، گرمایش) و صنعتی	(اوانس[2] و همکاران، ۲۰۱۰) و (ویلیامز[3] و همکاران، ۲۰۰۱)
بیواتانول	ضایعات چوبی، محصولات و پسماندهای کشاورزی	آسیاب، حرارت‌دهی، افزودن آب، تخمیر	تولید سوخت الکلی (بیواتانول)	(الویرا[4] و همکاران، ۲۰۱۰) و (خیشتن‌دار[5] و همکاران، ۲۰۱۷)
بیودیزل	ریزجلبک‌ها، محصولات و ضایعات جنگلی و کشاورزی	فیلتراسیون، خشک‌سازی، استخراج روغن	تولید سوخت زیستی	(خان[6] و همکاران، ۲۰۱۷) و (چیستی[7]، ۲۰۰۷) و (خیشتن‌دارو همکاران، ۲۰۱۷)

1. Jayaraman & Gökalp
2. Evans
3. Williams
4. Alvira
5. Khishtandar
6. Khan
7. Chisti

هنجارها و انتظارات نهادی (نهادهای نرم) در حال تاسیس شدن هستند.

با توجه به موارد فوق فناوری هاضم بی‌هوازی در مرحله پیش توسعه قرار دارد.

۴،۲مرحله توسعه فناوری گازیسازی:

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، توسعه فناوری گازیسازی در ایران با حضور محدود بازیگران مواجه است. به طور کلی، تعداد مقالات و تحقیقات در این

جدول۳. شناسایی فاز توسعه فناوری هاضم بی‌هوازی

تعادل	سرعت‌گیری	اوج‌گیری	توسعه	پیش توسعه	مرحله توسعه
ـ تمام بازیگران در این حوزه ی فناورانه به صورت فعال حضور دارند.	ـ تعداد رقبای در حوزه‌ی توسعه فناوری به شدت افزایش می یابد. ـ نقش پررنگ بانک‌ها و موسسات مالی ـ نقش دولت در تنظیم گری پررنگ می‌شود.	ـ انجمن‌ها و سندیکاها شکل گرفته‌اند. ـ افزایش شرکت‌های دانش بنیان. ـ نقش دولت در سیاست گذاری (قابله گری) پررنگ می‌شود	ـ بازیگران اصلی: شرکت‌های دانش‌بنیان علاوه بر دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی ـ شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر در این حوزه ورود می‌کنند ـ نقش دولت در سیاست گذاری (حامله گری) پررنگ می‌شود	ـ بازیگران اصلی: دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی ـ تعداد محدود بازیگران ـ نقش تسهیل‌گری دولت کم کم شکل می‌گیرد	بازیگران
ـ شبکه‌های علمی قوی؛ ـشبکه‌های صنعتی قوی	ـ شبکه‌های علمی قوی ـ شبکه‌های صنفی در حال قوی شدن است	ـ شبکه‌های علمی در حال قوی شدن است. ـ شبکه‌های ضعیف صنفی کم کم شکل می‌گیرد.	ـ شبکه‌های ضعیف علمی شکل می‌گیرد	ـ روابط فردی شکل گرفته است. ـ شبکه‌های مربوط به فناوری وجود ندارد.	تعاملات
ـ نهادهای سخت‌متنوعی وجود دارد	ـ افزایش تنوع نهادها بسته به نیازها	ـ نهادهای سخت شکل گرفته است	ـ نهادهای سخت در حال شکل‌گیری است	ـ نهادهای نرم شکل می‌گیرد. ـ نهاد سختی هنوز وجود ندارد.	نهادها

حوزه محدود بوده و بازیگران اصلی را دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها (مانند پژوهشگاه نیرو و صنعت نفت) و مراکز تحقیقاتی فعال در حوزه انرژی زیست‌توده تشکیل می‌دهند. در بخش خصوصی نیز شرکت‌هایی نظیر فولاد صنعت غدیر و فن‌اندیشان صنعت و انرژی سبز تخصص‌هایی دارند، اما تعداد کلی این بازیگران اندک است. نقش دولت به عنوان تسهیل‌گر و حامی بسیار کمرنگ بوده و حتی تعرفه مشخص و تضمین‌شده‌ای برای خرید برق تولیدی این فناوری تعیین نشده است. از منظر تعاملات، هیچ کنفرانس تخصصی برای این فناوری برگزار نشده و شناخت میان فعالان عمدتاً به صورت فردی و در حاشیه نمایشگاه‌های عمومی انرژی‌های تجدیدپذیر شکل گرفته که خروجی ملموسی نداشته است. در بُعد نهادی نیز قواعد هنجاری (نهادهای نرم) مربوط به این فناوری هنوز در حال شکل‌گیری هستند.

با توجه به موارد فوق فناوری گازیسازی در مرحله پیش‌توسعه قرار دارد.

جدول ۴. شناسایی فاز توسعه فناوری گازیسازی

تعادل	سرعت‌گیری	اوج‌گیری	توسعه	پیش توسعه	مرحله توسعه
ـ تمام بازیگران در این حوزه ی فناورانه به صورت فعال حضور دارند.	ـ تعداد رقبای در حوزه‌ی توسعه فناوری به شدت افزایش می یابد. ـ نقش پررنگ بانک‌ها و موسسات مالی ـ نقش دولت در تنظیم گری پررنگ می‌شود.	ـ انجمن‌ها و سندیکاها شکل گرفته‌اند. ـ افزایش شرکت‌های دانش بنیان. ـ نقش دولت در سیاست گذاری (قابله گری) پررنگ می‌شود	ـ بازیگران اصلی: شرکت‌های دانش‌بنیان علاوه بر دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی ـ شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر در این حوزه ورود می‌کنند ـ نقش دولت در سیاست گذاری (حامله گری) پررنگ می‌شود	ـ بازیگران اصلی: دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی ـ تعداد محدود بازیگران ـ نقش تسهیل‌گری دولت کم کم شکل می‌گیرد	بازیگران
ـ شبکه‌های علمی قوی؛ ـ شبکه‌های صنعتی قوی	ـ شبکه‌های علمی قوی ـ شبکه‌های صنفی در حال قوی شدن است	ـ شبکه‌های علمی در حال قوی شدن است. ـ شبکه‌های ضعیف صنفی کم کم شکل می‌گیرد.	ـ شبکه‌های ضعیف علمی شکل می‌گیرد	ـ روابط فردی شکل گرفته است. ـ شبکه‌های مربوط به فناوری وجود ندارد.	تعاملات
ـ نهادهای سخت‌متنوعی وجود دارد	ـ افزایش تنوع نهادها بسته به نیازها	ـ نهادهای سخت شکل گرفته است	ـ نهادهای سخت در حال شکل‌گیری است	ـ نهادهای نرم شکل می‌گیرد. ـ نهاد سختی هنوز وجود ندارد.	نهادها

مرحله توسعه فناوری زباله‌سوزی

با بررسی وضعیت فناوری زباله‌سوزی در کشور، مشاهده می‌شود که بازیگران اصلی این حوزه را شرکت‌های دانش‌بنیان (مانند بهین هوشمند سازه شریف) و شرکت‌های تولیدکننده و واردکننده (از جمله تدبیر توسعه سلامت، آترین پارسیان، ماندگار پاک انرژی، World Eco Energy و آتبین) تشکیل می‌دهند که عمدتاً تحت سرمایه‌گذاری شرکت‌های خطرپذیر فعالیت می‌کنند. نقش حمایتی دولت نیز با اختصاص بالاترین قیمت خرید تضمینی برق در میان فناوری‌های زیست‌توده (به مبلغ ۵۸۷ تومان برای هر کیلووات‌ساعت) بسیار پررنگ بوده است. در بعد تعاملات، شبکه علمی نسبتاً ضعیفی با محوریت انجمن‌های تخصصی مانند انجمن مدیریت پسماند و انجمن اقتصاد انرژی شکل گرفته و برگزاری همایش‌هایی نظیر تبدیل پسماند به انرژی منجر به شکل‌گیری تدریجی کنسرسیوم مرتبط با این فناوری شده است. از منظر نهادی، چارچوب قانونی

جدول ۵.شناسایی فاز توسعه فناوری زباله‌سوزی

تعادل	سرعت‌گیری	اوج‌گیری	توسعه	پیش توسعه	مرحله توسعه
ـ تمام بازیگران در این حوزه‌ی فناورانه به صورت فعال حضور دارند.	ـ تعداد رقبای در حوزه‌ی توسعه فناوری به شدت افزایش می یابد. ـ نقش پررنگ بانک‌ها و موسسات مالی ـ نقش دولت در تنظیم گری پررنگ می‌شود.	ـ انجمن‌ها و سندیکاها شکل گرفته‌اند. ـ افزایش شرکت‌های دانش بنیان. ـ نقش دولت در سیاست گذاری (قابله گری) پررنگ می‌شود	ـ بازیگران اصلی: شرکت‌های دانش‌بنیان علاوه بر دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی ـ شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر در این حوزه ورود می‌کنند ـ نقش دولت در سیاست گذاری (حامله گری) پررنگ می‌شود	ـ بازیگران اصلی: دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی ـ تعداد محدود بازیگران ـ نقش تسهیل گری دولت کم کم شکل می گیرد	بازیگران
ـ شبکه‌های علمی قوی؛ ـ شبکه‌های صنعتی قوی	ـ شبکه‌های علمی قوی ـ شبکه‌های صنفی در حال قوی شدن است	ـ شبکه‌های علمی در حال قوی شدن است. ـ شبکه‌های ضعیف صنفی کم کم شکل می‌گیرد.	ـ شبکه‌های ضعیف علمی شکل می‌گیرد	ـ روابط فردی شکل گرفته است. ـ شبکه‌های مربوط به فناوری وجود ندارد.	تعاملات
ـ نهادهای سخت متنوعی وجود دارد	ـ افزایش تنوع نهادها بسته به نیازها	ـ نهادهای سخت شکل گرفته است	ـ نهادهای سخت در حال شکل‌گیری است	ـ نهادهای نرم شکل می‌گیرد. ـ نهاد سختی هنوز وجود ندارد.	نهادها

نسبتاً کاملی شامل قانون مدیریت پسماند مصوب وزارت کشور و سند آسیب‌شناسی پسماند که اعتبارات خاص این فناوری را تعیین و تخصیص داده است، وجود دارد.

با توجه به موارد فوق فناوری زباله‌سوزی در مرحله توسعه قرار دارد.

شناسایی وضعیت مطلوب و چالش‌های توسعه فناوری‌های انرژی زیست‌توده

در چارچوب تحلیل نظام نوآوری فناورانه، تعیین وضعیت مطلوب توسعه فناوری‌های انرژی زیست‌توده مستلزم بررسی کارکردهای کلیدی در مراحل مختلف پیش توسعه و توسعه است. در مرحله پیش توسعه، کارکرد اصلی بر توسعه دانش متمرکز بوده و انتشار دانش و بسیج منابع به‌عنوان کارکردهای حمایتی، و جهت‌دهی به سیستم به‌عنوان کارکرد حاشیه‌ای عمل می‌کنند. به‌منظور انتقال موفق فناوری از پیش توسعه به مرحله توسعه، لازم است موانع و مشکلات مرتبط با این کارکردها شناسایی و برطرف شوند. در مرحله توسعه، تمامی هفت کارکرد نظام نوآوری

اهمیت می‌یابند. در این مرحله، کارآفرینی به‌عنوان کارکرد اصلی شناخته می‌شود، در حالی‌که توسعه و انتشار دانش و جهت‌دهی به سیستم نقش حمایتی داشته و کارکردهایی نظیر شکل‌دهی به بازار، تأمین منابع و مشروعیت‌بخشی به‌صورت حاشیه‌ای ایفای نقش می‌کنند. این الگو نشان می‌دهد که توسعه پایدار فناوری‌های زیست‌توده نیازمند هم‌افزایی میان تمامی کارکردها است. به‌منظور شناسایی چالش‌ها و موانع توسعه این فناوری‌ها، یک تحلیل کارکردی صورت گرفت. در این فرآیند، چهار کارکرد اولویت‌دار در فاز پیش توسعه (توسعه دانش، انتشار دانش، تأمین منابع و جهت‌دهی به سیستم) و سه کارکرد اصلی در فاز توسعه (کارآفرینی، توسعه و انتشار دانش و جهت‌دهی به سیستم) مورد بررسی قرار گرفتند. چالش‌های موجود از طریق مصاحبه با هفت نفر از خبرگان و کارشناسان این حوزه استخراج شد. نتایج حاکی از آن است که موانع متعددی در ابعاد علمی، نهادی، مالی و سیاستی بر سر راه توسعه فناوری‌های زیست‌توده قرار دارد که در قالب جدول به تفکیک هر کارکرد مشخص شده است.

کارکرد، چالش و سیاست و اقدامات توسعه فناوری‌های انرژی زیست‌توده

در فرآیند توسعه فناوری‌های زیست‌توده، تعیین سیاست و اقدامات نقشی محوری در هدایت و پویایی نظام نوآوری ایفا می‌کند. این اهداف با توجه به مرحله توسعه فناوری (پیش توسعه و توسعه) و با در نظر گرفتن هر دو رویکرد بالا-به-پایین و پایین-به-بالا تدوین می‌شوند تا جامعیت در هدف‌گذاری حاصل شود. در مرحله پیش توسعه، تمرکز اصلی بر ایجاد و گسترش دانش، انتشار آن، بسیج منابع و شکل‌دهی مسیرهای اولیه نوآوری است؛ در حالی‌که در مرحله توسعه، تأکید بر کارآفرینی، تجاری‌سازی، شکل‌دهی بازار و مشروعیت‌بخشی قرار دارد. در این چارچوب، سیاست‌ها رویکردهای کلان هدایت‌گر توسعه فناوری را مشخص می‌کنند. به این ترتیب، سیاست‌ها و اقدامات پیشنهادی متناسب با هر مرحله توسعه و در پیوند مستقیم با چالش ها تدوین شده‌اند تا ضمن رفع چالش‌های کارکردی، زمینه تحقق راهبردهای کلان و پیشبرد توسعه پایدار فناوری‌های زیست‌توده را فراهم آورند.

جدول ۶ اقدامات لازم برای رفع چالش‌های توسعه فناوری‌های زیست‌توده در مرحله پیش توسعه را به تفکیک کارکردهای کلیدی نظام نوآوری ارائه می‌دهد و تمرکز آن بر فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی است. این جدول ابتدا چالش‌های موجود در هر کارکرد را مشخص می‌کند؛ برای مثال، در کارکرد «توسعه دانش» محدودیت‌های مربوط به کمبود تحقیقات و ظرفیت‌های علمی، در «انتشار دانش» ضعف شبکه‌های انتقال فناوری و تبادل اطلاعات، و در کارکرد «جهت‌دهی به سیستم» فقدان راهبردهای هماهنگ و سیاست‌های هدفمند مشاهده می‌شود. علاوه بر این، در بخش «تأمین و تسهیل منابع»، کمبود سرمایه مالی، منابع انسانی متخصص و زیرساخت‌های مورد نیاز شناسایی شده است. در مقابل، جدول به سیاست‌ها و اقدامات پیشنهادی برای رفع هر یک از این چالش‌ها اشاره دارد تا زمینه لازم برای توسعه پایدار فناوری‌ها فراهم گردد.

جدول ۷ اقدامات لازم برای رفع چالش‌های توسعه فناوری‌های زیست‌توده در مرحله توسعه را به تفکیک کارکردهای کلیدی نظام نوآوری ارائه می‌دهد و تمرکز آن بر فناوری زباله‌سوزی است. این جدول ابتدا چالش‌های موجود در هر کارکرد را شناسایی می‌کند؛ برای مثال، در کارکرد «کارآفرینی» کمبود فعالیت‌های نوآورانه و فرصت‌های سرمایه‌گذاری

جدول۶.اقدامات لازم برای رفع چالش‌های توسعه فناوری‌های زیستتوده در مرحله پیش توسعه به تفکیک کارکرد (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی)

کارکرد	چالش	سیاست و اقدام
توسعه دانش	کمبود زیرساخت‌های پژوهشی و آزمایشگاهی برای انجام تحقیقات کاربردی در زمینه فناوری‌های زیست‌توده، به‌ویژه در حوزه گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی.	تعریف و اجرای پروژه‌های فنی ملی با مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های دانش بنیان داخلی اجرای پروژه‌های تحقیق و توسعه ملی با مراکز علمی و تحقیقاتی معتبر جهانی
	پراکندگی فعالیت‌های تحقیقاتی و نبود شبکه منسجم میان دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در حوزه انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی).	
	محدودیت دسترسی به داده‌های فنی و تجربیات بین‌المللی به‌دلیل ضعف همکاری‌های پژوهشی مشترک با مراکز علمی معتبر جهان.	تدوین نظام‌نامه حمایت از دانشجویان و اساتید محقق در این حوزه از قبیل حمایت از پایان‌نامه‌های دانشجویی کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در زمینه انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی)
	کمبود انگیزه و حمایت مالی ناکافی از پژوهشگران و دانشجویان برای ورود به حوزه انرژی‌های زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی)، به‌ویژه در مقاطع تحصیلات تکمیلی.	
	عدم وجود نظام مؤثر انتقال دانش از پژوهش به صنعت و نبود برنامه‌ریزی برای تجاری‌سازی نتایج تحقیقات دانشگاهی.	برگزاری و شرکت در کارگاه‌های تخصصی معتبر بین‌المللی در حوزه‌های طراحی، عملکرد و نصب فناوری‌های اولویت‌دار انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی)
	ضعف در آموزش‌های تخصصی و کارگاه‌های فنی مرتبط با طراحی، نصب و بهره‌برداری از فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی، که مانع ارتقای مهارت‌های عملی محققان و کارشناسان می‌شود.	انجام مطالعات به منظور شناسایی واحدهای دانشگاهی
	فقدان نظام ارزیابی و اولویت‌بندی موضوعات تحقیقاتی متناسب با نیازهای واقعی کشور در زمینه انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) و مدیریت پسماند.	

کارکرد	چالش	سیاست و اقدام
انتشار دانش	نبود نظام جامع مدیریت دانش در حوزه انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) که بتواند داده‌ها، تجربیات و نتایج پژوهش‌ها را به‌صورت ساختارمند جمع‌آوری، تحلیل و در دسترس پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار دهد.	ایجاد سامانه ملی مدیریت دانش انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) جهت گردآوری و اشتراک‌گذاری داده‌ها، گزارش‌ها و دستاوردهای پژوهشی میان نهادهای دانشگاهی و اجرایی.
	پراکندگی و عدم انسجام در انتشار یافته‌های علمی به دلیل نبود پایگاه داده متمرکز یا پلتفرم اشتراک‌گذاری اطلاعات میان نهادهای دانشگاهی، تحقیقاتی و اجرایی.	
	محدود بودن دسترسی عمومی به نتایج پروژه‌های تحقیقاتی و گزارش‌های ملی به‌دلیل ملاحظات سازمانی یا نبود سیاست‌های الزام‌آور برای انتشار آزاد داده‌ها.	تدوین آیین‌نامه الزام‌آور برای انتشار نتایج پروژه‌های تحقیقاتی ملی به‌منظور ارتقای شفافیت و دسترسی عمومی به اطلاعات علمی و فنی.
	ضعف ارتباط میان کنفرانس‌ها، کارگاه‌ها و مراکز تصمیم‌گیری که سبب می‌شود خروجی این رویدادها به سیاست‌گذاری یا اجرا منتهی نشود.	ایجاد شبکه ملی تبادل دانش انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) میان پژوهشگران، شرکت‌های دانش‌بنیان و نهادهای سیاست‌گذار با هدف تسهیل انتقال تجربیات و تقویت پیوند میان پژوهش و تصمیم‌سازی.
	کمبود منابع مالی و نهادی برای برگزاری رویدادهای علمی بین‌المللی در حوزه زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی)، که موجب کاهش تعاملات علمی و انتقال تجربیات جهانی می‌شود.	تخصیص بودجه پایدار برای حمایت از برگزاری و مشارکت در کنفرانس‌ها و کارگاه‌های بین‌المللی، با تأکید بر مستندسازی و بهره‌برداری سیاستی از نتایج این رویدادها.
	فقدان سازوکارهای تشویقی برای مستندسازی و انتشار تجربیات بومی در زمینه طراحی و اجرای فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی.	
	نبود شبکه ارتباطی فعال میان پژوهشگران، شرکت‌های دانش‌بنیان و سیاست‌گذاران برای تبادل دانش فنی و تجربی.	

کارکرد	چالش	سیاست و اقدام
جهت‌دهی به سیستم	فقدان ساختار نهادی منسجم برای راهبری نظام نوآوری زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) ، که موجب تداخل وظایف میان نهادهای دولتی، پژوهشی و بخش خصوصی می‌شود. نبود اجماع میان ذی‌نفعان کلیدی (از جمله وزارت نیرو، نفت، صمت، و سازمان محیط‌زیست) بر سر اولویت‌ها و مسیر توسعه فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی. ضعف در فرآیند تدوین و به‌روزرسانی اسناد راهبردی به‌دلیل فقدان داده‌های دقیق، نبود ارزیابی‌های دوره‌ای، و تغییرات مکرر در سیاست‌های ملی انرژی. نبود مکانیزم‌های پایش و ارزیابی پیشرفت فناوری، که باعث می‌شود به‌روزرسانی نقشه راه و اسناد توسعه‌ای بر مبنای شواهد واقعی صورت نگیرد. فقدان چشم‌انداز مشترک در سطح ملی برای فناوری زیست‌توده، که منجر به پراکندگی برنامه‌ها و دوباره‌کاری میان نهادها می‌شود. کمبود مشارکت بخش خصوصی و شرکت‌های دانش‌بنیان در فرآیند جهت‌دهی به سیستم، به‌دلیل حاکمیت رویکردهای بالا به پایین در تدوین استراتژی‌ها.	ایجاد نهاد راهبری ملی انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) با اختیارات مشخص برای هماهنگی میان نهادهای دولتی، پژوهشی و بخش خصوصی و نظارت بر اجرای برنامه‌های تحقیق و توسعه. تدوین و به‌روزرسانی دوره‌ای نقشه راه و اسناد استراتژیک فناوری‌های زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) بر اساس داده‌های واقعی، پایش عملکرد فناوری‌ها و ارزیابی منظم پیشرفت پروژه‌ها. تشکیل شوراها و کمیته‌های تخصصی متوازن با نمایندگان بخش‌های مختلف (دولتی، دانشگاهی، صنعتی و خصوصی) برای تضمین اجماع در تعیین اولویت‌ها و جهت‌دهی به سیستم. تقویت مشارکت بخش خصوصی و شرکت‌های دانش‌بنیان در فرآیند سیاست‌گذاری و جهت‌دهی به سیستم از طریق ایجاد سازوکارهای مشورتی و مشوق‌های مشارکت در تدوین استراتژی‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی.

کارکرد		چالش	سیاست و اقدام
تأمین و تسهیل منابع	منابع مالی	محدود بودن منابع مالی اختصاص‌یافته به تحقیقات انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) در مقایسه با سایر فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی.	
		فقدان سازوکار پایدار تأمین مالی دولتی، به‌گونه‌ای که بودجه‌های تحقیقاتی اغلب کوتاه‌مدت، ناپیوسته و وابسته به تغییرات سالانه تخصیص می‌یابند.	تدوین سازوکار پایدار تأمین مالی تحقیقات زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی)».
		بروکراسی پیچیده در فرآیند تخصیص و جذب منابع پژوهشی، که موجب تأخیر در اجرای پروژه‌های تحقیقاتی و کاهش اثربخشی آن‌ها می‌شود.	اصلاح فرآیند تخصیص و جذب بودجه‌های پژوهشی، با هدف کاهش بروکراسی و تسریع در پرداخت منابع به پروژه‌های تحقیقاتی اولویت‌دار انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی).
		نبود نظام اولویت‌بندی در حمایت مالی از پروژه‌های تحقیقاتی، به‌گونه‌ای که برخی طرح‌ها بدون ارزیابی دقیق فنی و اقتصادی تأمین بودجه می‌شوند.	ایجاد نظام ارزیابی و اولویت‌بندی پروژه‌های تحقیقاتی انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) بر اساس معیارهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌منظور بهینه‌سازی تخصیص منابع مالی.
		ضعف در نظارت و ارزیابی اثربخشی هزینه‌کرد منابع مالی، که مانع از یادگیری نهادی و اصلاح سیاست‌های حمایتی می‌گردد.	
		عدم مشارکت مؤثر بخش خصوصی و سرمایه‌گذاران خطرپذیر در تأمین مالی تحقیقات اولیه، به دلیل نبود مشوق‌های مالی و تضمین بازگشت سرمایه در حوزه زیست‌توده.	طراحی مشوق‌های مالی و تضمین‌های حمایتی برای جذب سرمایه‌گذاران خصوصی و صندوق‌های خطرپذیر در مرحله تحقیقات اولیه و توسعه فناوری‌های زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) .
		کمبود هماهنگی میان نهادهای تأمین مالی دولتی، دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی، که منجر به پراکندگی منابع و موازی‌کاری در طرح‌های تحقیقاتی می‌شود.	

کارکرد		چالش	سیاست و اقدام
	منابع و سرمایه‌های انسانی	کمبود نیروی انسانی متخصص در حوزه‌های میان‌رشته‌ای مرتبط با فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی (مانند مهندسی زیستی، شیمی انرژی و محیط‌زیست)، که مانع شکل‌گیری تیم‌های تحقیقاتی کارآمد می‌شود. نبود برنامه‌های آموزشی هدفمند در دانشگاه‌ها و مراکز فنی‌حرفه‌ای برای تربیت نیروی کار ماهر در زمینه طراحی، بهره‌برداری و نگهداری تجهیزات زیست‌توده(فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی). محدود بودن همکاری‌های بین‌المللی آموزشی و پژوهشی، به دلیل چالش‌های نهادی، محدودیت‌های مالی و ضعف در شبکه‌سازی علمی جهانی. مهاجرت یا خروج نیروی انسانی متخصص و فارغ‌التحصیلان توانمند، که منجر به تضعیف ظرفیت دانشی داخلی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. فقدان مشوق‌های کافی برای جذب متخصصان خارجی یا ایرانیان مقیم خارج، به‌ویژه در پروژه‌های تحقیق و توسعه بخش خصوصی. ضعف در پیوند میان نظام آموزش عالی و نیازهای صنعت، که باعث می‌شود مهارت‌های فارغ‌التحصیلان با الزامات عملی فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی هم‌راستا نباشد. کمبود زیرساخت‌های آموزشی و آزمایشگاهی مجهز برای برگزاری دوره‌های تخصصی و ارتقای مهارت‌های تکنسین‌ها و کارشناسان. عدم وجود برنامه مدون برای توسعه مسیر شغلی و حرفه‌ای متخصصان حوزه زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی)، که انگیزه مشارکت بلندمدت آنان را در فعالیت‌های نوآورانه کاهش می‌دهد.	طراحی و اجرای برنامه‌های آموزشی و میان‌رشته‌ای در دانشگاه‌ها و مراکز فنی‌حرفه‌ای، با هدف تربیت نیروی انسانی متخصص در حوزه‌های فنی و مدیریتی انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی). توسعه همکاری‌های آموزشی و پژوهشی بین‌المللی، از طریق اعزام پژوهشگران، برگزاری دوره‌های مشترک و جذب اساتید خارجی در پروژه‌های تحقیقاتی انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی). ایجاد برنامه‌های حمایتی برای حفظ و بازگشت متخصصان ایرانی، از طریق ارائه مشوق‌های مالی، فرصت‌های تحقیقاتی و طرح‌های همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در حوزه انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی). تقویت ارتباط میان دانشگاه و صنعت، از طریق تعریف پروژه‌های مشترک آموزشی–پژوهشی و بازنگری در سرفصل‌های درسی متناسب با نیازهای فناوری‌های زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی). ایجاد و تجهیز مراکز آموزشی و آزمایشگاهی تخصصی انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) در دانشگاه‌ها و پارک‌های علم و فناوری به‌منظور ارتقای مهارت‌های فنی تکنسین‌ها و کارشناسان. تدوین برنامه توسعه مسیر شغلی متخصصان حوزه انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) ، شامل نظام رتبه‌بندی، فرصت‌های ارتقای حرفه‌ای و مشوق‌های ماندگاری در بخش تحقیق و توسعه.

کارکرد		چالش	سیاست و اقدام
	زیرساخت	پیچیدگی و طولانی بودن فرآیند اخذ مجوزهای مرتبط با احداث واحدهای آزمایشی و تحقیقاتی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی)، به‌ویژه در تعامل با نهادهایی مانند سازمان محیط‌زیست، وزارت نیرو و وزارت صمت.	
		نبود دستورالعمل‌ها و استانداردهای فنی مشخص برای طراحی، نصب و بهره‌برداری از تجهیزات زیست‌توده، که باعث سردرگمی مجریان و نهادهای صدور مجوز می‌شود.	تدوین و اجرای دستورالعمل‌ها و استانداردهای فنی ملی برای طراحی، ساخت، نصب و بهره‌برداری از واحدهای تحقیقاتی و پایلوت انرژی زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) ، با مشارکت وزارت نیرو، سازمان محیط‌زیست و مراکز تحقیقاتی.
		تعدد نهادهای تصمیم‌گیر و موازی‌کاری میان سازمان‌های ذی‌ربط، که روند صدور مجوز و تخصیص زمین یا تسهیلات را کند می‌کند.	
		فقدان زیرساخت‌های فنی و آزمایشگاهی مناسب در مقیاس نیمه‌صنعتی (Pilot)، برای آزمون و بهینه‌سازی فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی.	تأمین مالی و ارائه وام‌های بلندمدت کم‌بهره اصلاح و تسهیل فرآیند صدور مجوز برای پروژه‌های تحقیقاتی و پایلوت، از طریق ایجاد «پنجره واحد خدمات انرژی زیست‌توده» برای هماهنگی میان نهادهای ذی‌ربط و کاهش موازی‌کاری.
		نبود نظام هماهنگ برای ارزیابی زیست‌محیطی پروژه‌های زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی) ، که سبب ابهام و تأخیر در فرآیند تأیید طرح‌ها می‌شود.	
		محدودیت دسترسی به تجهیزات تخصصی و قطعات وارداتی، به‌دلیل موانع گمرکی، تحریم‌ها و نبود تولیدکنندگان داخلی معتبر.	حمایت از بومی‌سازی و تأمین تجهیزات تخصصی آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی، از طریق تسهیلات گمرکی، مشوق‌های مالی و حمایت از تولیدکنندگان داخلی در حوزه فناوری‌های زیست‌توده (فناوری‌های گازی‌سازی و هاضم بی‌هوازی).
		کمبود منابع مالی بلندمدت برای پروژه‌های زیست‌توده، نرخ بالای تسهیلات بانکی و عدم توجیه اقتصادی سرمایه‌گذاری،	

جدول۷. اقدامات لازم برای رفع چالش‌های توسعه فناوری‌های زیستتوده در مرحله توسعه به تفکیک کارکرد (فناوری زباله سوزی)

کارکرد	چالش	سیاست و اقدام
کارآفرینی	ریسک بالای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های زیست‌توده (فناوری زباله سوزی) و نبود مدل‌های تجاری پایدار برای تبدیل طرح‌های تحقیقاتی به کسب‌وکارهای اقتصادی.	
	کمبود زیرساخت‌های صنعتی و فنی برای ساخت و تست پایلوت‌ها، که فرآیند توسعه نمونه‌ها و رفع ایرادات فنی را کند و پرهزینه می‌کند.	ساخت، نصب و راهاندازی نمونه پایلوت فناوری‌های اولویت‌دار و رفع ایرادات آن
	ضعف در شناسایی و حمایت هدفمند از شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در انرژی زیست‌توده (فناوری زباله سوزی) ، به دلیل نبود معیارهای تخصصی در ارزیابی و طبقه‌بندی آن‌ها.	تدوین دستورالعمل شناسایی شرکت‌های دانش‌بنیان در این حوزه و رایزنی با معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و شورای عالی عتف جهت اخذ حمایت‌های مالی و پشتیبانی برای این شرکت‌ها
	فقدان نظام حمایتی مؤثر برای شرکت‌های نوپا (استارت‌آپ‌ها) و شرکت‌های زایشی دانشگاهی، به‌ویژه در تأمین سرمایه اولیه، فضای کار و دسترسی به بازار.	
	محدودیت حضور شرکت‌های بین‌المللی در پروژه‌های تحقیق و توسعه داخلی، ناشی از چالش‌های حقوقی، تحریم‌ها و نبود مشوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک.	تدوین مکانیزم‌های جذب شرکت‌های بین‌المللی جهت ایجاد واحدهای تحقیق و توسعه خود در داخل کشور
	کمبود تعامل میان دانشگاه‌ها و بخش خصوصی، که مانع انتقال ایده‌های فناورانه از محیط‌های پژوهشی به فضای تجاری می‌شود.	برگزاری جشنواره‌های ملی به منظور حمایت از محققین و مخترعین
	نبود سازوکارهای مؤثر برای حفاظت از مالکیت فکری، ثبت اختراع و تجاری‌سازی نوآوری‌ها، که باعث کاهش انگیزه کارآفرینان فناور می‌گردد.	حمایت از اساتید و دانشجویان این حوزه جهت تشکیل و راه‌اندازی شرکت‌های زایشی در دانشگاه‌ها
	کم‌رنگ بودن فرهنگ کارآفرینی فناورانه در جامعه علمی، به‌ویژه در حوزه‌های انرژی‌های نو که نیازمند ترکیب مهارت‌های مدیریتی، فنی و مالی هستند.	
	عدم استمرار حمایت‌های دولتی از شرکت‌های نوآور، که موجب می‌شود بسیاری از طرح‌های پایلوت پس از اتمام دوره حمایت، به مرحله صنعتی‌سازی نرسند.	

کارکرد	چالش	سیاست و اقدام
توسعه دانش	عدم هم‌راستایی میان اولویت‌های پژوهشی دانشگاه‌ها و نیازهای واقعی صنعت انرژی زیست‌توده (فناوری زباله سوزی)، که موجب می‌شود بسیاری از تحقیقات دانشگاهی کاربرد مستقیم نداشته باشند.	
	ضعف در مکانیزم‌های هدایت تحقیقاتی، به‌گونه‌ای که نظام پژوهش کشور فاقد سازوکار الزام‌آور برای تطبیق پروژه‌های دانشگاهی با نقشه راه ملی فناوری‌های زیست‌توده (فناوری زباله سوزی) است.	ایجاد سازوکار هدایت پژوهشی دانشگاه‌ها بر اساس نقشه راه ملی فناوری‌های زیست‌توده، شامل الزامات تطبیق پروژه‌ها با اولویت‌های صنعتی و حمایت از تحقیقات کاربردی.
	محدود بودن ظرفیت انتقال فناوری از دانشگاه به صنعت، به دلیل کمبود دفاتر انتقال فناوری فعال و نداشتن چارچوب‌های قراردادی مؤثر میان طرفین.	توسعه دفاتر انتقال فناوری (TTO) فعال و ایجاد چارچوب‌های قراردادی مؤثر برای تسهیل انتقال دانش و فناوری از دانشگاه به صنعت.
	فقدان برنامه‌های آموزشی منسجم برای آموزش مهارت‌های انتقال فناوری و مدیریت نوآوری، به‌ویژه در سطح دانشگاه‌ها و مراکز رشد.	راه‌اندازی برنامه‌های آموزشی منسجم در دانشگاه‌ها و مراکز رشد برای مهارت‌های انتقال فناوری، مدیریت نوآوری و استفاده از مطالعات موردی داخلی و بین‌المللی.
	کمبود مطالعات موردی داخلی و تجربیات مستند از پروژه‌های موفق، که موجب می‌شود آموزش‌های انتقال فناوری بیشتر تئوریک باقی بمانند.	تقویت ارتباطات بین‌المللی علمی و صنعتی از طریق همکاری‌های مشترک پژوهشی، تبادل محققان و حضور در شبکه‌های فناوری جهانی، به منظور بهره‌گیری از تجربیات موفق کشورهای پیشرو.
	ضعف در ارتباطات بین‌المللی علمی و صنعتی، که مانع از بهره‌گیری از دانش فنی و تجربیات موفق کشورهای پیشرو در حوزه زیست‌توده می‌شود.	
	کمبود منابع مالی و انگیزه برای انجام تحقیقات کاربردی و بین‌رشته‌ای، به‌ویژه در دانشگاه‌هایی که زیرساخت‌های آزمایشگاهی کافی ندارند.	ایجاد نظام ارزیابی و پایش نتایج پژوهش‌های توسعه‌ای و بین‌رشته‌ای برای ارتقای یادگیری سازمانی، اصلاح مسیر تحقیقات و افزایش بازدهی سرمایه‌گذاری‌های علمی.
	فقدان نظام ارزیابی و پایش نتایج پژوهش‌های توسعه‌ای، که سبب می‌شود یادگیری سازمانی و اصلاح مسیر تحقیقات به‌درستی انجام نشود.	

کارکرد	چالش	سیاست و اقدام
شکل‌دهی بازار	نبود بازار پایدار و پیش‌بینی‌پذیر برای محصولات و برق تولیدی از فناوری‌های زیست‌توده، به‌دلیل تغییرات مکرر در سیاست‌های خرید تضمینی برق و تعرفه‌ها.	ایجاد یک بازار مطمئن از طریق خرید دولتی از محصولات با کیفیت ساخت داخل
	ضعف در اعتماد نهادهای مصرف‌کننده و سرمایه‌گذاران به کیفیت تجهیزات ساخت داخل، که مانع از پذیرش فناوری‌های بومی در بازار می‌شود.	اعمال پاداش در تعرفه خرید برق برای احداث‌کنندگانی که از تجهیزات بومی استفاده می‌کنند
	فقدان نظام انگیزشی کافی برای استفاده از فناوری‌های بومی، به‌گونه‌ای که پاداش‌های تعرفه‌ای یا مزایای مالی اغلب ناکافی یا به‌درستی اجرا نمی‌شوند.	بازنگری و تدقیق تعرفه خرید تضمینی برق توسط دولت
	عدم شفافیت و ثبات در اجرای قراردادهای خرید تضمینی برق، که باعث بی‌اعتمادی بخش خصوصی نسبت به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی زیست‌توده (فناوری زباله سوزی) می‌شود.	تدوین استانداردهای دقیق و هوشمندانه در بازار فناوری‌های اولویت‌دار
	نبود استانداردهای فنی دقیق و سازوکارهای اعتبارسنجی تجهیزات و فناوری‌ها، که زمینه ورود محصولات غیراستاندارد و کاهش رقابت‌پذیری بازار را فراهم می‌کند.	
	ضعف هماهنگی میان نهادهای متولی (وزارت نیرو، محیط‌زیست، جهاد کشاورزی و شهرداری‌ها) در تعریف الزامات و سیاست‌های بازار انرژی زیست‌توده (فناوری زباله سوزی).	
	محدود بودن آگاهی عمومی و صنعتی از مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی فناوری‌های زیست‌توده، که موجب عدم شکل‌گیری تقاضای داوطلبانه در بازار می‌شود.	
	فقدان زیرساخت‌های مالی و قراردادی برای خرید و فروش انرژی زیست‌توده (فناوری زباله سوزی)، از جمله پلتفرم‌های معاملاتی، قراردادهای استاندارد و نظام قیمت‌گذاری شفاف.	
	تسلط انرژی‌های فسیلی و یارانه‌های بالای آن‌ها بر بازار انرژی، که باعث می‌شود فناوری‌های نو مانند انرژی زیست‌توده (فناوری زباله سوزی) از نظر اقتصادی رقابت‌پذیر نباشند.	

کارکرد		چالش	سیاست و اقدام
تأمین و تسهیل منابع	منابع مالی	عدم توانایی محققین و کارآفرینان در تأمین سرمایه مورد نیاز	تدوین و اجرای برنامه‌های حمایتی منسجم دولتی برای تولیدکنندگان و صنایع داخلی با هدف کاهش ریسک مالی و افزایش توان رقابت‌پذیری پروژه‌های زیست‌توده.
		عدم حمایت دولت از تولیدکنندگان و صنایع داخلی به صورت منسجم	ایجاد و گسترش وام‌های بلندمدت کم‌بهره و تسهیلات مالی انعطاف‌پذیر برای سرمایه‌گذاران و کارآفرینان حوزه زیست‌توده، با کاهش پیچیدگی و زمان دریافت منابع.
		محدود بودن حجم و ظرفیت وام‌های بلندمدت کم‌بهره، که ممکن است پاسخگوی نیاز سرمایه‌گذاران برای پروژه‌های بزرگ صنعتی نباشد.	تشویق مشارکت بخش خصوصی و سرمایه‌گذاران خطرپذیر از طریق ابزارهای مالی نوآورانه مانند صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک و بیمه فناوری.
		پیچیدگی و طولانی بودن فرآیند دریافت وام‌ها و ضمانت‌های مالی، که باعث تأخیر در اجرای پروژه‌ها می‌شود.	توسعه سیاست‌ها و تضمین‌های جذب سرمایه‌گذاری خارجی با شرط انتقال فناوری، جهت افزایش دسترسی به دانش و فناوری نوین.
		وابستگی زیاد به منابع دولتی و کمبود مشارکت بخش خصوصی و سرمایه‌گذاران خطرپذیر، که ریسک مالی پروژه‌ها را افزایش می‌دهد.	اصلاح سیاست‌های گمرکی و تعرفه‌ای مرتبط با واردات تجهیزات فناوری‌های زیست‌توده به منظور حمایت از بومی‌سازی و کاهش هزینه پروژه‌ها.
		ضعف در مکانیزم‌های حمایت از سرمایه‌گذاری خارجی، به‌ویژه تضمین انتقال فناوری، که مانع جذب سرمایه‌گذاران خارجی و فناوری‌های نوین می‌شود.	راه‌اندازی نظام ارزیابی و پایش اثربخشی حمایت‌های مالی برای اطمینان از تخصیص بهینه منابع و بهبود تصمیم‌گیری سیاست‌گذاری مالی.
		فقدان سیاست‌های هماهنگ گمرکی برای واردات تجهیزات، که باعث افزایش هزینه واردات و کاهش انگیزه بومی‌سازی می‌شود.	
		ریسک اقتصادی ناشی از نوسانات تعرفه‌های خرید برق یا تغییر سیاست‌های حمایتی، که سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی را محتاط می‌کند.	
		نبود ابزارهای مالی جایگزین و نوآورانه، مانند صندوق‌های مشترک سرمایه‌گذاری یا بیمه فناوری، برای کاهش ریسک پروژه‌های انرژی زیست‌توده (فناوری زباله سوزی).	
		ضعف در ارزیابی اثربخشی و توجیه اقتصادی حمایت‌های مالی، که می‌تواند منجر به تخصیص ناکارآمد منابع شود.	

کارکرد		چالش	سیاست و اقدام
	منابع و مواد اولیه	ناپایداری و پراکندگی منابع زیست‌توده، که مانع تأمین مستمر مواد اولیه برای پروژه‌های صنعتی می‌شود. محدودیت در استفاده از زمین‌های حاشیه‌ای و آب‌های کم کیفیت، به دلیل مشکلات حقوقی، مالکیت زمین و مسائل زیست‌محیطی. عدم قطعیت در میزان و کیفیت محصولات زراعت گیاهان انرژی‌زا، که می‌تواند بر عملکرد فناوری‌های زیست‌توده اثر منفی بگذارد. فقدان قوانین و سیاست‌های شفاف و عملیاتی برای تخصیص منابع زیست‌توده، که باعث عدم اطمینان سرمایه‌گذاران و تولیدکنندگان می‌شود. رقابت میان صنایع مختلف برای منابع زیست‌توده، مانند صنایع خوراک دام یا صنایع کشاورزی، که منجر به محدود شدن دسترسی فناوری‌های انرژی می‌شود. کمبود مشوق‌های اقتصادی برای توسعه کشت‌های فراسرزمینی یا گیاهان مختص انرژی، که سبب می‌شود تولید منابع اولیه مقیاس‌پذیر نشود. فقدان سامانه‌های پایش و مدیریت منابع زیست‌توده، که مانع برنامه‌ریزی مؤثر و تخصیص بهینه منابع می‌گردد.	ایجاد نظام ملی پایش و مدیریت منابع زیست‌توده برای برنامه‌ریزی مؤثر، پیش‌بینی کمبودها و تخصیص بهینه مواد اولیه به پروژه‌های صنعتی. تعیین قوانین و سیاست‌های شفاف برای تخصیص منابع زیست‌توده شامل حمایت از زمین‌های حاشیه‌ای و آب‌های کم کیفیت به منظور تأمین پایدار مواد اولیه. ایجاد مشوق‌های اقتصادی برای توسعه کشت گیاهان انرژی‌زا و کشت‌های فراسرزمینی، با هدف افزایش تولید منابع اولیه مقیاس‌پذیر. راه‌اندازی سازوکار هماهنگی میان صنایع مختلف و ذی‌نفعان منابع زیست‌توده برای کاهش رقابت ناسالم و تضمین دسترسی فناوری‌های انرژی به مواد اولیه مورد نیاز.

کارکرد		چالش	سیاست و اقدام
	منابع انسانی	کمبود نیروی انسانی متخصص و ماهر در سطح صنعتی، به ویژه تکنسین‌ها و مهندسان عملیاتی در زمینه بهره‌برداری و نگهداری فناوری‌های زیست‌توده. ضعف در نظام آموزشی و حرفه‌ای متناسب با نیازهای واقعی صنعت، که باعث فاصله مهارت‌های فارغ‌التحصیلان با الزامات عملی می‌شود. نبود استانداردهای شفاف و ملی برای مشاغل فنی و حرفه‌ای حوزه زیست‌توده، که مانع ایجاد مسیر شغلی منسجم و قابل پیش‌بینی برای نیروی کار می‌شود. کمبود مراکز آموزش عملی و کارگاه‌های تخصصی مجهز، که مانع ارتقای مهارت‌های فنی در سطح صنعتی می‌گردد. محدودیت انگیزه و مشوق‌های شغلی برای ورود نیروی کار به صنایع زیست‌توده، به ویژه در مقایسه با حوزه‌های انرژی مرسوم مثل خورشیدی و بادی. چالش در نگهداشت و حفظ نیروی انسانی متخصص، به دلیل مهاجرت، پیشنهادات کاری بهتر در بخش‌های دیگر یا عدم جذابیت اقتصادی و حرفه‌ای صنعت زیست‌توده. فقدان نظام ارزیابی و به‌روزرسانی استانداردهای مشاغل فنی، که باعث می‌شود مهارت‌ها با تحولات فناوری همگام نشوند.	تدوین و اجرای استانداردهای ملی مشاغل فنی و حرفه‌ای حوزه زیست‌توده (فناوری زباله سوزی) برای ایجاد مسیر شغلی منسجم، ارزیابی مهارت‌ها و به‌روزرسانی مستمر آن‌ها مطابق با تحولات فناوری. توسعه مراکز آموزش عملی و کارگاه‌های تخصصی صنعتی برای تربیت تکنسین‌ها و مهندسان عملیاتی و ارتقای مهارت‌های فنی مورد نیاز صنایع زیست‌توده (فناوری زباله سوزی). ایجاد بسته‌های مشوق شغلی و اقتصادی برای جذب و نگهداشت نیروی متخصص، شامل حقوق رقابتی، فرصت‌های ارتقای حرفه‌ای و مزایای بلندمدت برای ماندگاری در صنعت. تقویت همکاری میان دانشگاه، مراکز آموزشی و صنایع زیست‌توده از طریق برنامه‌های آموزشی مشترک، کارآموزی صنعتی و پروژه‌های عملی، به‌منظور هم‌راستا کردن مهارت‌های فارغ‌التحصیلان با نیازهای واقعی بازار کار.

کارکرد	چالش	سیاست و اقدام
مشروعیت‌بخشی	کمبود منابع و ظرفیت برای انتشار مستمر و اثرگذار نشریات تخصصی و عمومی، که موجب کاهش اطلاع‌رسانی علمی و ترویجی می‌شود.	توسعه و حمایت از نشریات تخصصی و عمومی حوزه زیست‌توده (فناوری زباله سوزی) با هدف انتشار مستمر دانش فنی و ترویجی و افزایش آگاهی جامعه و سرمایه‌گذاران.
	ضعف در طراحی و اجرای برنامه‌های آگاه‌سازی عمومی، به‌گونه‌ای که سطح دانش و شناخت جامعه از مزایا و کاربردهای فناوری‌های زیست‌توده محدود باقی می‌ماند.	طراحی و اجرای برنامه‌های آگاه‌سازی و کمپین‌های اطلاع‌رسانی عمومی شامل نمایشگاه‌ها، رویدادها و رسانه‌های دیجیتال برای ارتقای شناخت مزایا و کاربردهای فناوری‌های زیست‌توده (فناوری زباله سوزی) .
	محدود بودن پوشش رسانه‌ای و تبلیغاتی، که مانع از جلب توجه عمومی و سرمایه‌گذاران به فناوری‌های نوین زیست‌توده می‌شود.	ایجاد نظام تقدیر و تشویق فعالان و فناوران زیست‌توده (فناوری زباله سوزی) برای تقویت انگیزه نوآوری و مشارکت در توسعه صنعت.
	کمبود تعامل میان سازمان‌های مسئول و مخاطبان هدف، که باعث می‌شود رویدادها و نمایشگاه‌ها تأثیر کافی در تغییر نگرش و رفتار نداشته باشند.	تدوین شاخص‌های ارزیابی اثرگذاری فعالیت‌های اطلاع‌رسانی و ترویجی به منظور پایش مستمر، اصلاح برنامه‌ها و افزایش کارآمدی اقدامات فرهنگی و رسانه‌ای.
	ضعف در فرهنگ‌سازی و تقدیر از فعالان حوزه، که انگیزه مشارکت و نوآوری فناوران را کاهش می‌دهد.	
	نبود شاخص‌های سنجش اثرگذاری پروژه‌های اطلاع‌رسانی و ترویجی، که مانع ارزیابی اثربخشی اقدامات و اصلاح برنامه‌ها می‌شود.	
	رقابت با سایر حوزه‌های انرژی و محیط‌زیست که موجب پراکندگی توجه رسانه‌ها و نهادهای عمومی می‌شود و باعث کاهش اثرگذاری پیام‌ها می‌گردد.	

محدود، در «توسعه دانش» نیاز به تقویت پژوهش‌های کاربردی و انتقال فناوری، و در «شکل‌دهی بازار» موانع ورود فناوری به بازار و کمبود تقاضای تجاری مشاهده می‌شود. در کارکرد «تأمین و تسهیل منابع» محدودیت‌های مربوط به سرمایه مالی، منابع انسانی متخصص و دسترسی به مواد اولیه شناسایی شده است و در کارکرد «مشروعیت‌بخشی» چالش‌هایی مرتبط با پذیرش اجتماعی، مقررات و حمایت‌های سیاستی مطرح گردیده است. در مقابل، جدول سیاست‌ها و اقدامات پیشنهادی برای رفع هر یک از این چالش‌ها را ارائه می‌دهد تا توسعه فناوری زباله‌سوزی در کشور با انسجام و اثربخشی بیشتری دنبال شود. این جدول، تصویری نظام‌مند از موانع عملی و سیاست‌های راهبردی مرتبط با مرحله توسعه فناوری ارائه می‌کند و به‌عنوان راهنمایی برای تصمیم‌گیری و طراحی سیاست‌های اجرایی قابل استفاده است.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تحلیل نظام نوآوری فناورانه انرژی زیست‌توده در ایران و با به‌کارگیری چارچوب تحلیل کارکردی انجام شد. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که توسعه این فناوری در کشور با چالش‌های نهادی عمیقی روبرو است که موجب شده است فناوری‌های امیدبخشی مانند هاضم بی‌هوازی و گازی‌سازی عمدتاً در مرحله پیش توسعه متوقف بمانند، در حالی که فناوری زباله‌سوزی به دلیل پشتیبانی قانونی و بازار نسبتاً مشخص، موفق به عبور به مرحله توسعه شده است. این تحقیق با شناسایی دقیق این چالش‌ها و تدوین سیاست‌ها و اقدامات متناسب با هر مرحله، نقشه راهی عملی برای گذار از وضعیت نامطلوب کنونی به یک نظام نوآوری پویا و پایدار ارائه می‌دهد. در تحلیل یکپارچه یافته‌ها، بررسی همزمان جداول سیاست‌گذاری و چالش‌ها نشان می‌دهد که مسیر توسعه فناوری‌های زیست‌توده در ایران نه با یک مانع منفرد، بلکه با یک «شکاف نظام‌مند» مواجه است. در مرحله پیش توسعه، اقدامات پیشنهادی عمدتاً بر توسعه دانش، انتشار آن و تأمین منابع متمرکز هستند، اما چالش‌های پیش‌رو - از جمله پراکندگی نهادی، فقدان نهاد راهبری ملی و نبود زیرساخت‌های پژوهشی - دقیقاً همان موانعی هستند که اجرای همین اقدامات را با دشواری مواجه می‌سازند. این وضعیت سیستم را در یک «دور باطل» قرار داده است: برای خروج از مرحله پژوهشی نیاز به اقدامات عملی وجود دارد، اما اجرای این اقدامات خود مستلزم خروج از این مرحله است. به عبارت دیگر، سیستم برای حرکت به سمت توسعه نیازمند اجرای پروژه‌های پایلوت و جذب سرمایه‌گذاری است، اما انجام این پروژه‌ها خود نیازمند وجود زیرساخت‌های فنی، نیروی انسانی متخصص و چارچوب‌های قانونی است که در مرحله پیش توسعه به صورت ناقص وجود دارند. این تناقض اساسی، لزوم اتخاذ یک رویکرد سیاستی تلفیقی و همزمان را آشکار می‌سازد که هم بر چالش‌ها و هم بر توسعه کارکردها تمرکز کند و راهبردهایی را در پیش گیرد که به صورت موازی بر هر دو جنبه تأثیر بگذارد. برجسته‌ترین چالش‌های نظام نوآوری زیست‌توده ایران شامل فقدان نهاد راهبری متمرکز، ناپایداری منابع مالی و ریسک بالای سرمایه‌گذاری، و شکاف میان پژوهش و صنعت است. در پاسخ به این چالش‌ها، سیاست‌های کلیدی همچون ایجاد نهاد راهبری ملی، تدوین سازوکار پایدار تأمین مالی، و هدایت پژوهشی دانشگاه‌ها بر اساس نقشه راه صنعتی پیشنهاد شده است. این سیاست‌ها در صورت اجرای هماهنگ می‌توانند چرخه معیوب کنونی را شکسته و زمینه توسعه پایدار این فناوری را فراهم آورند.

برجسته‌ترین چالش‌های شناسایی‌شده را می‌توان در چند محور اصلی دسته‌بندی نمود:

- چالش نهادی و راهبری: مهمترین مانع، فقدان یک نهاد راهبری ملی متمرکز است. پراکندگی و تداخل وظایف میان نهادهای متعدد (مانند وزارت نیرو، نفت، جهاد کشاورزی و سازمان محیط‌زیست) که در جدول چالش‌های جهت‌دهی به سیستم آمده، موجب شده است تا هیچ‌کس مسئولیت اصلی پیشبرد این فناوری را بر عهده نگیرد. سیاست کلیدی «ایجاد نهاد راهبری ملی با اختیارات مشخص» پاسخی مستقیم به این چالش است. این نهاد می‌تواند با ایجاد هماهنگی، تدوین نقشه راه یکپارچه و نظارت بر اجرا، شکاف موجود در هدایت سیستم را پر کند.

- چالش مالی و اقتصادی: ناپایداری و ناکافی بودن منابع مالی و ریسک بالای سرمایه‌گذاری، چالش محوری در هر دو مرحله پیش توسعه و توسعه است. در مرحله پیش توسعه، این چالش به صورت محدودیت حمایت مالی از پژوهشگران و در مرحله توسعه به شکل عدم توانایی در تأمین سرمایه ظاهر می‌شود. اقدامات پیشنهادی مانند «تدوین سازوکار پایدار تأمین مالی»، «ایجاد وام‌های بلندمدت کم‌بهره» و «بازنگری در تعرفه خرید تضمینی برق» در صورت اجرای هماهنگ، می‌توانند اطمینان خاطر لازم را برای سرمایه‌گذاران دولتی و خصوصی ایجاد کنند.
- چالش دانشی و منابع انسانی: شکاف میان پژوهش و صنعت و کمبود نیروی انسانی متخصص از موانع جدی هستند. تمرکز بیش از حد دانشگاه‌ها بر تحقیقات بنیادی و فقدان برنامه‌های آموزشی متناسب با نیازهای صنعت (چالش‌های توسعه دانش و منابع انسانی)، باعث شده است خروجی نظام علمی پاسخگوی نیازهای فنی و عملیاتی بازار نباشد. سیاست‌هایی مانند «هدایت پژوهشی دانشگاه‌ها بر اساس نقشه راه ملی» و «تدوین استانداردهای ملی مشاغل فنی» می‌تواند این شکاف را کاهش داده و پیوند دانشگاه و صنعت را تقویت کند.
- چالش بازار و مقررات: نبود بازار مطمئن و فقدان استانداردها و مقررات شفاف، به ویژه برای فناوری‌های در حال پیش توسعه، مانع جدی برای جذب بخش خصوصی است. اقداماتی مانند «ایجاد بازار مطمئن از طریق خرید دولتی»، «تدوین استانداردهای دقیق» و «تسهیل فرآیند صدور مجوز» می‌تواند با کاهش ریسک‌های غیرفنی، بستر لازم برای ظهور کارآفرینان و شرکت‌های دانش‌بنیان را فراهم آورد.

توسعه پایدار فناوری‌های زیست‌توده در ایران مستلزم تحولی نهادی و اتخاذ رویکردی یکپارچه است. این تحول بر سه محور اصلی استوار است: اولویت‌بندی هوشمندانه سیاست‌ها متناسب با مرحله توسعه هر فناوری، تلفیق حمایت‌های مالی، فنی و مقرراتی به صورت همزمان، و تقویت کل اکوسیستم نوآوری از طریق سرمایه‌گذاری روی منابع انسانی و فرهنگ‌سازی. تنها با اجرای هماهنگ این راهبردها می‌توان از چرخه معیوب کنونی خارج شد و به سمت نظام نوآوری پویا و پایدار حرکت کرد. با تلفیق یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که توسعه پایدار فناوری‌های زیست‌توده در ایران مستلزم یک تحول نهادی و سیاستی است که بر چند محور اصلی استوار باشد:

- اولویت‌گذاری هوشمندانه: با توجه به تفاوت مراحل توسعه فناوری‌ها، سیاست‌ها باید تفکیک‌شده و هدفمند باشند. برای فناوری‌های پیش توسعه (هاضم و گازی‌سازی)، اولویت با اجرای پروژه‌های پایلوت صنعتی و تقویت زیرساخت‌های پژوهشی است. برای فناوری توسعه‌یافته‌تر (زباله‌سوزی)، اولویت بر رفع موانع بازار و توسعه مدل‌های کسب‌وکار پایدار متمرکز است.
- حمایت همه‌جانبه و مستمر: موفقیت در گرو تلفیق حمایت‌های مالی، فنی و مقرراتی است. ایجاد «صندوق پایدار تأمین مالی»، «نهاد راهبری متمرکز» و «بازار تضمین‌شده» باید به صورت همزمان پیگیری شود.
- تقویت اکوسیستم نوآوری: توسعه زیست‌توده تنها یک مسئله فنی نیست، بلکه نیازمند تقویت کل زنجیره نوآوری - از پژوهشگر و

کارآفرین تا سرمایه‌گذار و سیاست‌گذار- است. سرمایه‌گذاری بر روی توسعه منابع انسانی متخصص و فرهنگ‌سازی عمومی از ارکان اصلی این اکوسیستم است.

انرژی زیست‌توده در ایران با وجود پتانسیل بسیار بالا، در آستانه یک گذار حیاتی قرار دارد. این پژوهش نشان می‌دهد که کلید این گذار، عبور از رویکردهای جزیره‌ای و کوتاه‌مدت به سمت یک راهبرد جامع، نظام‌مند و بلندمدت است. چارچوب پیشنهادی مبتنی بر تحلیل کارکردی و شناسایی چالش‌ها، نه تنها نقشه راهی برای سیاست‌گذاران فراهم می‌کند، بلکه معیاری برای پایش پیشرفت آینده این فناوری ارائه می‌دهد. در صورت تحقق این الزامات و اجرای هماهنگ سیاست‌های پیشنهادی، می‌توان امیدوار بود که فناوری‌های زیست‌توده نقش مهمی در تحقق اهداف اقتصاد کم‌کربن، امنیت انرژی و مدیریت پایدار پسماند در ایران ایفا کنند. تحقیقات آتی می‌تواند به ارزیابی اثربخشی این سیاست‌ها و نیز تحلیل تعاملات نظام نوآوری فناورانه زیست‌توده با دیگر نظام‌های انرژی تجدیدپذیر در کشور بپردازد.

پیشنهادهای سیاستی

توسعه بازار انرژی زیست‌توده بر گسترش و تقویت بازار فناوری‌های زیست‌توده متمرکز است تا تقاضای پایدار برای این منابع انرژی ایجاد شود. شرکت‌های تولیدکننده و پیمانکاران فناوری، سرمایه‌گذاران بخش خصوصی و شرکت‌های توزیع‌کننده انرژی به‌عنوان ذینفعان اجرایی، فرآیند عرضه و فروش انرژی زیست‌توده را مدیریت می‌کنند. نهادهای سیاست‌گذار مانند وزارت نیرو، وزارت صنعت، معدن و تجارت و ستاد توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، نقش تدوین مقررات، تعیین تعرفه‌های تشویقی و ایجاد مشوق‌های مالی را بر عهده دارند. ارزیابی و پایش این سیاست از طریق شاخص‌های بازار، میزان سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، نرخ رشد مصرف انرژی زیست‌توده و شاخص‌های بهره‌وری انجام می‌شود تا اثربخشی سیاست و تحقق اهداف توسعه بازار سنجیده شود.

به منظور شبکه‌سازی و توسعه فناوری انرژی زیست‌توده، تقویت همکاری میان دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها، شرکت‌های فناور و مراکز صنعتی اهمیت دارد تا انتقال دانش و توسعه فناوری‌های نوین تسهیل شود. در این سیاست، دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها، شرکت‌های فناور و مراکز صنعتی به‌عنوان ذینفعان اصلی اجرا، پروژه‌های تحقیق و توسعه و همکاری‌های مشترک را پیگیری می‌کنند. نهادهای سیاست‌گذار شامل وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری هستند که ایجاد سازوکارهای همکاری میان دانشگاه و صنعت و حمایت از پروژه‌های مشترک را هدایت می‌کنند. ارزیابی این سیاست از طریق شاخص‌هایی مانند تعداد پروژه‌های مشترک، میزان انتشار مقالات و پتنت‌ها و شاخص‌های نوآوری فناورانه انجام می‌شود.

ترویج و اشاعه فناوری‌های زیست‌توده به‌ویژه در شهرهای با چالش حاد مدیریت پسماند مانند شهرهای شمالی و کلان‌شهرها، هدف اصلی این سیاست است تا پذیرش اجتماعی و اجرایی فناوری‌ها افزایش یابد. ذینفعان اجرایی شامل شهرداری‌ها، شرکت‌های مدیریت پسماند و نهادهای محلی هستند که پیاده‌سازی فناوری‌های زباله‌سوزی یا هضم بی‌هوازی را مدیریت می‌کنند. نهادهای سیاست‌گذار شامل وزارت کشور، سازمان حفاظت محیط زیست و ستاد توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر،

برنامه‌ها را با الزامات محیط‌زیستی و قانونی هماهنگ می‌کنند. اثربخشی این سیاست بر اساس میزان کاهش پسماند، تولید انرژی قابل استفاده و پذیرش اجتماعی فناوری سنجیده می‌شود.

ایجاد نظام ملی پایش و مدیریت منابع زیست‌توده با هدف بهینه‌سازی برنامه‌ریزی، تخصیص مواد اولیه و پیش‌بینی کمبودها طراحی شده است. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، شرکت‌های صنعتی و پژوهشگاه‌ها به‌عنوان ذینفعان اجرایی داده‌ها و اطلاعات منابع زیست‌توده را جمع‌آوری و تحلیل می‌کنند. نهادهای سیاست‌گذار، از جمله وزارت نیرو و معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، چارچوب‌ها و استانداردهای ملی را تعیین می‌کنند. ارزیابی سیاست از طریق شاخص‌هایی نظیر دقت پیش‌بینی منابع، میزان تخصیص بهینه و کارایی بهره‌برداری از مواد اولیه صورت می‌گیرد.

توسعه سیاست‌ها و تضمین‌های لازم برای جذب سرمایه‌گذاری خارجی با تأکید بر انتقال فناوری، هدف این سیاست است تا سرمایه‌گذاری بین‌المللی و فناوری‌های پیشرفته وارد کشور شود. شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی، شرکت‌های خارجی و سرمایه‌گذاران بین‌المللی به‌عنوان ذینفعان اجرایی پروژه‌ها را پیاده‌سازی می‌کنند. نهادهای سیاست‌گذار شامل وزارت اقتصاد و دارایی، وزارت صنعت، معدن و تجارت و سازمان سرمایه‌گذاری خارجی، مشوق‌های قانونی، تسهیلات مالی و حمایت‌های بیمه‌ای را فراهم می‌آورند. ارزیابی این سیاست بر اساس میزان جذب سرمایه، انتقال دانش فناورانه و تأثیر اقتصادی و زیست‌محیطی پروژه‌ها انجام می‌شود.

تأمین مالی و ارائه وام‌های بلندمدت کم‌بهره به‌عنوان یکی از سیاست‌های کلیدی توسعه انرژی زیست‌توده، با هدف کاهش ریسک‌های سرمایه‌گذاری و افزایش جذابیت اقتصادی پروژه‌ها طراحی می‌شود. ذینفعان اجرایی این سیاست شامل ، صندوق توسعه ملی، نهادهای مالی و شرکت‌های فعال در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر هستند که مسئول تأمین منابع مالی و تخصیص تسهیلات به پروژه‌های انرژی زیست‌توده می‌باشند. نهادهای سیاست‌گذار مانند وزارت امور اقتصادی و دارایی، بانک مرکزی، وزارت نیر، ساتبا و سازمان برنامه و بودجه، چارچوب‌های اعتباری، نرخ‌های ترجیحی و سازوکارهای تضمین بازپرداخت را تدوین و نظارت می‌کنند. ارزیابی اثربخشی این سیاست از طریق شاخص‌هایی نظیر میزان جذب سرمایه، تعداد پروژه‌های تأمین مالی‌شده، نرخ بازپرداخت تسهیلات و سهم انرژی زیست‌توده در سبد انرژی کشور انجام می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی اصول اخلاقی در پژوهش این مقاله رعایت شده اند.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

مشارکت‌نویسندگان

نویسندگان به یک اندازه در نگارش مقاله مشارکت داشته اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

منابع فارسی

مرزبان، ا. محمدی، م. پورعزت، ع ا. قادری، س ف. آینده حکمرانی در عرصه تسهیلات عام المنفعه: عـوامل کلیـدی و روندهـای نوظهـور (مطالعه موردی: توزیع انرژی برق)، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی، دوره ۸، شماره ۲۷، تابستان ۱۳۹۷.

موسوی، آ. احمدی، ح. استخراج ویژگی های اصلی نظام ملی نوآوری ایران از طریق ترکیب نظام مند تحقیقات. فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی، دوره ۱۰.شماره ۳۴. بهار ۱۳۹۹.

حسینی، س ع. الیاسی، م. قاضی نوری، س س. بامداد، جهانیار. استراتژی های کارآفرینان سیاستی در خلق و بهره برداری از پنجره های فرصت سیاستی حوزه انرژی ایران: مطالعه موردی توربین IGT۲۵، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی، دوره ۱۳، شماره ۴۶، بهار ۱۴۰۲.

https://doi.org/10.22034/sspp.2023.1988068.3377

زندی، م ا. خیاطیان، م ص. شناسایی و تبیین مؤلفه های ظرفیت نوآوری با استفاده از روش فراترکیب. فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی. دوره ۱۳، شماره ۴۹. زمستان ۱۴۰۲ .

https://doi.org/10.22034/sspp.2024.1988658.3469

شایان، ع. کهوند، م. الهی، ش. رئیسی، ا. چارچوبی برای سیاست‌گذاری توسعه خدمات دیجیتال شهری شهروند – محور. فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی. دوره ۱۵، شماره ۵۵، تابستان ۱۴۰۴.

10.22034/sspp.2025.2032042.3662

رستمی باروئی، ر. ملکی، ع. تبیین سیاست‌های ایران در حوزه رمزارزها: تحلیل چهاربُعدی پرداخت، صرافی‌ها، استخراج و کیف پول. فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی. دوره ۱۵، شماره ۵۵، تابستان ۱۴۰۴.

10.22034/sspp.2025.557436.3246

Refrences

Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M., & Negro, M. J. (2010). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. Bioresource Technology, 101(13), 4851–4861. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.093

Andersen, A. D., Mäkitie, T., Steen, M., & Wanzenböck, I. (2026). Conceptualizing the relationship between industrial transformation and accelerating sustainability transitions: A multi-sectoral perspective. Energy Research and Social Science, 131. https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.104509

Andersson, J., Hojcková, K., & Sandén, B. A. (2023). On the functional and structural scope of technological innovation systems – A literature review with conceptual suggestions. In Environmental Innovation and Societal Transitions (Vol. 49). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100786

Asadi, M. R., Moharrampour, M., & Abdollahian, H. (2012). Review State of Biomass Energy in Iran. Advanced Materials Research, 463–464, 885–889. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.463-464.885

Bauer, F., Coenen, L., Hansen, T., McCormick, K., & Palgan, Y. V. (2017). Technological innovation systems for biorefineries: a review of the literature. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 11(3), 534–548. https://doi.org/10.1002/bbb.1767

Bento, N., & Fontes, M. (2015). The construction of a new technological innovation system in a follower country: Wind energy in Portugal. Technological Forecasting and Social Change, 99, 197–210. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.06.037

Bento, N., Nuñez-Jimenez, A., & Kittner, N. (2025). Decline processes in technological innovation systems: Lessons from energy technologies. Research Policy, 54(3). https://doi.org/10.1016/j.respol.2025.105174

Bergek, A. (2019). Technological innovation systems: a review of recent findings and suggestions for future research. In Handbook of Sustainable Innovation (pp. 200–218). Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781788112574.00019

Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., Markard, J., Sandén, B., & Truffer, B. (2015). Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. Environmental Innovation and Societal Transitions, 16, 51–64. https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.07.003

Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. Research Policy, 37(3), 407–429. https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.12.003

Carlsson, B., & Jacobsson, S. (1994). Technological systems and economic policy: the diffusion of factory automation in Sweden. Research Policy, 23(3), 235–248. https://doi.org/10.1016/0048-7333(94)90036-1

Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., & Rickne, A. (2002). Innovation systems: analytical and methodological issues. In Research Policy (Vol. 31).

Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On

the nature, function and composition of technological systems. Journal of Evolutionary Economics, 1(2), 93–118. https://doi.org/10.1007/BF01224915

Chen, W., & Lei, Y. (2018). The impacts of renewable energy and technological innovation on environment-energy-growth nexus: New evidence from a panel quantile regression. Renewable Energy, 123, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.026

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances, 25(3), 294–306. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001

Edsand, H.-E. (2017). Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. Technology in Society, 49, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.01.002

Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2010). Sustainability considerations for electricity generation from biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(5), 1419–1427. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.01.010

Gallagher, K. S., Grübler, A., Kuhl, L., Nemet, G., & Wilson, C. (2012). The Energy Technology Innovation System. Annual Review of Environment and Resources, 37(1), 137–162. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-060311-133915

Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. Research Policy, 31(8–9), 1257–1274. https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8

Ghorashi, A. H., & Rahimi, A. (2011). Renewable and non-renewable energy status in Iran: Art of know-how and technology-gaps. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 729–736. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.037

Hekkert, M. P. (2009). Motors of sustainable innovation. https://www.researchgate.net/publication/255587265

Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. Technological Forecasting and Social Change, 74(4), 413–432. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002

Hekkert MP, Negro SO, Harmsen R, & Heimeriks GJ. (2011). Technologie innovation system analysis: a manual for analysts. Utrecht University.

Hosseini, S. A., Elyasi, M., Soroush Ghazinoori, S., & Bamdadsoofi, J. (2023). Research Paper Strategies of Political Entrepreneurs in Creating and Exploiting Windows of Political Opportunity in Iran's Energy Sector: A Case Study of IGT25 Turbine Production. 13, 46. https://doi.org/10.22034/sspp.2023.1988068.3377

Iman Miremadi, S. (n.d.). Technological Innovation System: a Scheme of Innovation Policy and Technology Development Science & Technology Policy.

Jacobsson, S. (2004). Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. Industrial and Corporate Change, 13(5), 815–849. https://doi.org/10.1093/icc/dth032

Jahangiri, M., Haghani, A., Alidadi Shamsabadi, A., Mostafaeipour, A., & Pomares, L. M. (2019). Feasibility

study on the provision of electricity and hydrogen for domestic purposes in the south of Iran using grid-connected renewable energy plants. Energy Strategy Reviews, 23, 23–32. https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.12.003

Jayaraman, K., & Gökalp, I. (2015). Pyrolysis, combustion and gasification characteristics of miscanthus and sewage sludge. Energy Conversion and Management, 89, 83–91. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.09.058

Kebede, K. Y., & Mitsufuji, T. (2017). Technological innovation system building for diffusion of renewable energy technology: A case of solar PV systems in Ethiopia. Technological Forecasting and Social Change, 114, 242–253. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.018

Khan, S., Siddique, R., Sajjad, W., Nabi, G., Hayat, K. M., Duan, P., & Yao, L. (2017). Biodiesel Production From Algae to Overcome the Energy Crisis. HAYATI Journal of Biosciences, 24(4), 163–167. https://doi.org/10.1016/j.hjb.2017.10.003

Khishtandar, S., Zandieh, M., & Dorri, B. (2017). A multi criteria decision making framework for sustainability assessment of bioenergy production technologies with hesitant fuzzy linguistic term sets: The case of Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77, 1130–1145. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.212

Markard, J. (2018). The next phase of the energy transition and its implications for research and policy. Nature Energy, 3(8), 628–633. https://doi.org/10.1038/s41560-018-0171-7

Markard, J. (2020). The life cycle of technological innovation systems. Technological Forecasting and Social Change, 153, 119407. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.045

Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. Research Policy, 41(6), 955–967. https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013

Motahar, S. (2024). Harnessing Renewable Energy for Sustainable Employment: A Comparative Study with a Focus on Iran. https://doi.org/10.22097/EEER.2024.465355.1334

Moussavi, A., & Ahmadi, H. (2020). Research Paper Extracting the Main Features of Iran's National Innovation System Through a Systematic Mix of Research (Vol. 10).

Musiolik, J., Markard, J., & Hekkert, M. (2012). Networks and network resources in technological innovation systems: Towards a conceptual framework for system building. Technological Forecasting and Social Change, 79(6), 1032–1048. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.01.003

Nasiri, M., Ramazani Khorshid-Doust, R., & Bagheri Moghaddam, N. (2015). The status of the hydrogen and fuel cell innovation system in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43, 775–783. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.075

Negro, S. O., Alkemade, F., & Hekkert, M. P. (2012a). Why does renewable energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 3836–3846. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.043

Negro, S. O., Alkemade, F., & Hekkert, M. P. (2012b). Why does renewable

energy diffuse so slowly? A review of innovation system problems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(6), 3836–3846. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.043

Negro, S. O., & Hekkert, M. P. (2008). Explaining the success of emerging technologies by innovation system functioning: the case of biomass digestion in Germany. Technology Analysis & Strategic Management, 20(4), 465–482. https://doi.org/10.1080/09537320802141437

Negro, S. O., Hekkert, M. P., & Smits, R. E. (2007). Explaining the failure of the Dutch innovation system for biomass digestion-A functional analysis. Energy Policy, 35(2), 925–938. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.01.027

Popp, J., Kovács, S., Oláh, J., Divéki, Z., & Balázs, E. (2021). Bioeconomy: Biomass and biomass-based energy supply and demand. New Biotechnology, 60, 76–84. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.004

Renewable Energy and Energy Efficiency Organization (SATBA). (2024). Renewable Energy and Energy Efficiency Organization. . (2024, June 20). Http://Www.Satba.Gov.Ir/.

Sadabadi, A. A., Rahimi Rad, Z., & Azimzadeh, H. (2023). Photovoltaic technological innovation system (PV TIS) in Iran: identifying barriers, incentives, dynamics and developing policies. Journal of Environmental Planning and Management, 66(9), 1938–1961. https://doi.org/10.1080/09640568.2022.2043837

Solaymani, S. (2021). A Review on Energy and Renewable Energy Policies in Iran. Sustainability, 13(13), 7328. https://doi.org/10.3390/su13137328

Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P., Kieboom, S., & Smits, R. E. H. M. (2010). Understanding the formative stage of technological innovation system development: The case of natural gas as an automotive fuel. Energy Policy, 38(1), 419–431. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.032

Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P., & Smits, R. E. H. M. (2009). Understanding the build-up of a technological innovation system around hydrogen and fuel cell technologies. International Journal of Hydrogen Energy, 34(24), 9639–9654. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.09.092

Tonne, C., Adair, L., Adlakha, D., Anguelovski, I., Belesova, K., Berger, M., Brelsford, C., Dadvand, P., Dimitrova, A., Giles-Corti, B., Heinz, A., Mehran, N., Nieuwenhuijsen, M., Pelletier, F., Ranzani, O., Rodenstein, M., Rybski, D., Samavati, S., Satterthwaite, D., … Adli, M. (2021). Defining pathways to healthy sustainable urban development. Environment International, 146, 106236. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106236

Tovar-Facio, J., Cansino-Loeza, B., & Ponce-Ortega, J. M. (2022). Management of renewable energy sources. In Sustainable Design for Renewable Processes (pp. 3–31). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824324-4.00004-4

Ulmanen, J., & Bergek, A. (2021). Influences of technological and sectoral contexts on technological innovation systems. Environmental Innovation and Societal Transitions, 40, 20–39. https://doi.org/10.1016/j.eist.2021.04.007

Van der Loos, A., Elzinga, R., Negro, S., & Hekkert, M. (2024). The rise of technological innovation systems in

sustainability transitions. https://doi.org/10.33774/coe-2024-t859z

Verbong, Geert., & Loorbach, Derk. (2017). Governing the Energy Transition : Reality, Illusion or Necessity? Routledge.

Weckowska, D., Weiss, D., Schwäbe, C., & Dreher, C. (2025). Technological innovation system analyses and sustainability Transitions: A literature review. In Environmental Innovation and Societal Transitions (Vol. 54). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.eist.2024.100935

Weiss, D., & Nemeczek, F. (2022). A Media-based Innovation Indicator: Examining declining Technological Innovation Systems. Environmental Innovation and Societal Transitions, 43, 289–319. https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.04.001

Wieczorek, A. J., & Hekkert, M. P. (2012). Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars. Science and Public Policy, 39(1), 74–87. https://doi.org/10.1093/scipol/scr008

Williams, A., Pourkashanian, M., & Jones, J. M. (2001). Combustion of pulverised coal and biomass. Progress in Energy and Combustion Science, 27(6), 587–610. https://doi.org/10.1016/S0360-1285(01)00004-1

Zahedi, R., Mousavi, M. S., Ahmadi, A., & Entezari, A. (2022). Forecast of Using Renewable Energies in the Water and Wastewater Industry of Iran. New Energy Exploitation and Application, 1(2). https://doi.org/10.54963/neea.v1i2.47