Research Paper

Structural and functional analysis of the green steel technological innovation system in Iran; application of graph theory approach

Mostafa Safdari Ranjbar [1] **,*Amirhosein Nikzad**[2]

1.Assistant Professor, Department of Management and Accounting, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran.
2. Master,Technology Management, Faculty of Management and Accounting, Farabi Colleges, University of Tehran, Qom, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Safdari Ranjbar.M,Nikzad.A,(2025). [Structural and functional analysis of the green steel technological innovation system in Iran; application of graph theory approach (Persian)]. *Journal of Governance knowledge,* 02(05), 6-31.https://doi.org/10.22034/jokog.2025.498414.1045

https://doi.org/10.22034/jokog.2025.498414.1045

CC BY NC

Received: 06 Jan 2025
Revised: 31 Jan 2025
Accepted: 02 Feb 2025
Available Online: 20 Mar 2025

Keywords:
Structural and functional analysis, green steel, technological innovation system, technological transition, graph theory

ABSTRACT

Recent developments in the global steel industry and the shift of major producers towards green steel production have underscored the urgency of adopting low-carbon methods and reducing environmental impacts. As the world's tenth-largest steel producer, Iran must prioritize planning and investment to transition to green steel production to maintain competitiveness and align with environmental objectives. This study aims to identify the key actors and structural challenges involved in transitioning Iran's steel industry to green steel within the framework of technological innovation systems (TIS). The research employs a mixed-methods approach, combining qualitative analysis (document reviews and expert interviews) with quantitative methods (graph theory and social network analysis). By identifying functions, actors, and interactions within the ecosystem, the study proposes actionable pathways for achieving the transition. Findings reveal that while the Ministry of Energy plays a critical role in providing energy infrastructure, it faces significant policy-making weaknesses. The government and the Ministry of Industry, Mines, and Trade exhibit less influence but maintain stronger interactions with other actors. The impact of international organizations is limited due to constraints in engagement. Among key functions, "system guidance" and "resource mobilization" emerged as the most effective facilitators for the transition to green steel. Furthermore, the "legitimation" function, through developing standards and securing political and social support, plays a crucial role. This research highlights pathways for accelerating the transition to green steel in Iran, emphasizing the need for infrastructure development, effective policy-making, and enhanced international cooperation.

*** Corresponding Author:**
Amirhosein Nikzad
Address: Faculty of Management and Accounting, Farabi Colleges, University of Tehran, Qom, Iran.
E-mail: amir.nikzad@ut.ac.ir

مقاله پژوهشی

تحلیل ساختاری و کارکردی نظام نوآوری فنّاورانه فولاد سبز در ایران؛ کاربست رویکرد نظریه گراف

مصطفی صفدری رنجبر[۱]، * امیرحسین نیک زاد[۲]

۱. استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران.

۲. کارشناسی ارشد، مدیریت فناوری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۷ دی ۱۴۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۲ بهمن ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴ بهمن ۱۴۰۳
تاریخ انتشار: ۳۰ اسفند ۱۴۰۳

چکیده

تحولات اخیر در صنعت فولاد جهانی و تغییر رویکرد کشورهای بزرگ به سمت تولید فولاد سبز، ضرورت توجه به روش‌های کم‌کربن و کاهش اثرات زیست‌محیطی را برجسته کرده است. ایران، به‌عنوان دهمین تولیدکننده بزرگ فولاد، باید برای حفظ رقابت‌پذیری و پایبندی به اهداف زیست‌محیطی، برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری در جهت گذار به تولید فولاد سبز را در دستور کار قرار دهد. این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی بازیگران و چالش‌های ساختاری و کارکردی گذار صنعت فولاد ایران به فولاد سبز، از چارچوب تحلیل نظام نوآوری فناورانه بهره گرفته است. روش پژوهش شامل تحلیل کیفی (مطالعه اسناد و مصاحبه با خبرگان) و کمی (نظریه گراف و تحلیل شبکه اجتماعی) بوده و بر اساس شناسایی کارکردها، بازیگران و تعاملات نظام نوآوری فناورانه، راهکارهایی برای گذار به فولاد سبز ارائه می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد وزارت نیرو، به‌رغم نقش حیاتی در تأمین زیرساخت‌های انرژی، با ضعف‌های جدی در سیاست‌گذاری مواجه است. وزارت صمت نیز از تأثیرگذاری کمتری برخوردار بوده اما تعاملات بیشتری با سایر بازیگران دارند. نقش سازمان‌های بین‌المللی به دلیل محدودیت‌های تعامل، کمتر از حد انتظار است. از میان کارکردهای اصلی، جهت‌دهی به نظام و تأمین منابع، به‌عنوان مؤثرترین عوامل تسهیل گذار به فولاد سبز شناسایی شدند. همچنین، کارکرد مشروعیت بخشی در تدوین استانداردها و جلب حمایت سیاسی و اجتماعی، نقش مهمی ایفا می‌کند. این پژوهش مسیرهایی برای گذار به فولاد سبز در ایران پیشنهاد می‌دهد که بر توسعه زیرساخت‌ها، سیاست‌گذاری مؤثر و تعامل بین‌المللی تأکید دارد.

کلیدواژه‌ها:
تحلیل ساختاری و کارکردی، فولاد سبز، نظام نوآوری فناورانه، گذارفناورانه، نظریه گراف

* نویسنده مسئول:
امیرحسین نیک زاد
نشانی: دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران.
رایانامه: amir.nikzad@ut.ac.ir

مقدمه

با توجه به اهمیت موضوع کربن‌زدایی در پاسخ به گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، توجه به صنعت آهن و فولاد جهانی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع جهت دستیابی به این هدف اهمیت زیادی دارد. صنعت جهانی فولاد دومین بخش بزرگ صنعتی انتشاردهنده‌ی گازهای گلخانه‌ای بعد از سیمان است که مهم‌ترین دلیل آن، وابستگی شدید آن به مصرف سوخت‌های فسیلی است(قادر و همکاران، ۲۰۱۵)[1]. تولید فولاد باعث انتشار بین ۷ تا ۹ درصد از کل دی‌اکسید کربن جهانی است که از استفاده از سوخت‌های فسیلی ناشی می‌شود به‌طوری که در سال‌های اخیر به ازای هر تن فولاد تولید شده، میانگین ۱/۸۵ تن دی‌اکسید کربن منتشر شده است (ورد استیل، ۲۰۲۰ اِی[2]). همانطور که انتظار می‌رود تقاضا برای فولاد در طول دهه‌های آینده افزایش می‌یابد وکربن‌زدایی صنعت آهن و فولاد در راستای هدف توافقنامه پاریس برای کاهش انتشار خالص[3] جهانی به صفر تا سال ۲۰۵۰ یک چالش عمده است(یو و همکاران،۲۰۲۰[4]; یو ان‌اف‌سی سی، ۲۰۱۵). بنابراین وجود ملاحظات جدی آب و هوایی و برقراری مالیات‌ها و عوارض سنگین برای تولیدکنندگانی که آلاینده هستند، در صورت عدم اقدامات لازم باعث حذف کشور ایران در میان تولیدکنندگان برتر دنیا و عقب ماندن از رقبا خواهد شد.

ساخت فولاد سبز شامل احیای مستقیم سنگ آهن بر پایه هیدروژن است. اولین مرحله از فرآیند شیمیایی ساخت فولاد سبز، احیای سنگ آهن جامد با استفاده از هیدروژن است. این یک محصول میانی به نام آهن اسفنجی تولید می‌کند و سپس این آهن اسفنجی به یک کوره قوس الکتریکی وارد می‌شود که در آن آهن اسفنجی برای تولید فولاد ذوب می‌شود (فن و فریدمن، ۲۰۲۱). ایران با تولید حدود ۳۰ میلیون تن آهن اسفنجی در سال در سال ۲۰۲۳، بزرگترین تولیدکننده این محصول در جهان است (ورداستیل،۲۰۲۴). تولید فولاد به روش احیای مستقیم و استفاده از آهن اسفنجی، به دلیل انتشار کمتر دی‌اکسیدکربن در مقایسه با روش کوره بلند، نقش مهمی در تولید فولاد سبز دارد(مالِت و پال،۲۰۲۲). با توجه به ظهور پارادایم‌ها و فناوری‌های جدید در صنعت آهن و فولاد جهان، بررسی این صنعت در ایران که به‌عنوان یکی از صنایع پرمصرف انرژی که ۱۸ درصد کل مصرف انرژی، ۲۸ درصد گاز مصرفی و منبع انتشار ۱۰ درصد دی اکسیدکربن در بخش صنعت ایران است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (انصاری و سیف[5]، ۲۰۱۲). گاز طبیعی و برق، حامل های اصلی انرژی در صنعت آهن و فولاد ایران هستند و به دلیل سهم بالای گاز در تولید برق، تولید فولاد باعث افزایش مصرف گاز از این کانال نیز می‌شود. از سمت دیگر اختصاص یارانه‌های طولانی مدت انرژی باعث کاهش بازده انرژی در این صنعت شده است (ایفکو[6]،۲۰۰۷ وحدت[7]، ۲۰۰۹).

کشور ایران در سال ۲۰۲۳، با تولید ۳۱ میلیون تن فولاد، مقام دهم جهان را حفظ کرده است که نشان‌دهنده رشد سریع نسبت به رقبا و رشد تقریباً ۱۴۸ درصدی تولید در دهه اخیر است. ایران، پس از هند، با تولید ۲۹ میلیون تن، دومین کشور

1. Quader
2. WorldSteel
3. Net-Zero emissions
4. Yue

5. Ansari
6. IFCO
7. Vahdat

تولیدکننده آهن اسفنجی در جهان است (وِرکولِن[8] و همکاران،۲۰۲۳؛ ورداستیل،۲۰۲۴). بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، جایگزینی مجتمع‌های احیای مستقیم مبتنی بر گاز با بیوگاز یا هیدروژن بدون کربن، یکی از بهترین رویکردهای متعدد برای کربن‌زدایی تولید آهن و فولاد است (فن[9] و فریدمن، ۲۰۲۱؛ مالت[10] و پال، ۲۰۲۲). احیای مستقیم با هیدروژن همراه با کوره قوس الکتریکی بالغ‌ترین مسیر کم انتشار کربن است. سیستم‌های احیای مستقیم مبتنی بر گاز در مقیاس تجاری در دسترس هستند که امروزه یک کارخانه تجاری با هیدروژن در دنیا مشغول به کار است. سیستم‌های کوره قوس الکتریکی در سراسر جهان در مقیاس عمل می‌کنند. در مجموع، این سیستم‌ها می‌توانند ۸۰٪ یا بیشتر کاهش دی اکسیدکربن را به همراه داشته باشند (فن و فریدمن، ۲۰۲۱؛ آرنز[11] و همکاران،۲۰۲۱). لذا از آنجا که اکثر مجتمع‌های احیای مستقیم ایران مبتنی برگاز ایران هستند، بسیار مستعد بهسازی، اصلاح و نهایتاً جایگزینی هستند (آرنز و همکاران،۲۰۲۱؛ ورد استیل،۲۰۲۰ای-ای). از آنجا که فولاد سبز نیازمند برق تجدیدپذیر است، لذا در کشورهای توسعه یافته، یکی از راه‌حل‌های جایگزین برای برق فسیلی، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان یکی از ورودی‌های مهم آهن و فولادسازی است، (باقری مقدم[12] و همکاران، ۲۰۱۱) ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست و برای دستیابی به چند هدف باید بر توسعه فناوری در این نوع انرژی‌ها تمرکز کند که شامل دو دسته تعهد ایران به کاهش ۸ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای (مشروط) و کاهش۴درصدی (غیر مشروط) تا سال ۲۰۳۰ براساس توافقنامه تغییرات آب و هوایی پاریس است (رحمانی[13] و همکاران،۲۰۲۲).

ناترازی انرژی، بحران منابع آبی و محدودیت‌های احتمالی صادراتی در آینده در کنار وجود مزیت رقابتی بلوغ صنعت فولاد ایران براساس فناوری احیای مستقیم و کوره‌های ذوب القایی نویددهنده یک پنجره فرصت بسیار مطلوب جهت گذار فناورانه صنعت فولاد ایران به فولاد سبز خواهد بود. با این وجود در رئوس بالای صنعت فولاد ایران، همچنان فقدان چشم‌انداز دقیق، عدم تعین نهادهای متولی و فقدان برنامه راهبردی در جهت توسعه فولادسبز مشهود است و لازم است کارکردهای مؤثر درجهت رفع موانع ساختاری، فناورانه و افزایش هماهنگی بین بازیگران به‌طور دقیق‌تری تبیین شود. ناکارآمدی ساختاری-عملکردی و عدم تعامل مناسب میان کارکردها و اجزای ساختاری نظام از جمله بازیگران، قطعاً مانع توسعه آن خواهد شد و درنهایت به شکست آن منجر خواهد شد(جف و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین، لازمه سیاستگذاری مناسب در هر نظام نوآوری، تبیین و تحلیل وضعیت کنونی آن با تمرکز بر نقاط ضعف و قوت و زمینه‌های احتمالی شکست است.

بر این اساس، در این پژوهش سعی شده است با استفاده از تحلیل کارکردی و ساختاری نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز، به منظور رفع موانع موجود و تشویق بازیگران کلیدی،مهم‌ترین کارکردهای حیاتی و پیشنهادات سیاستی جهت توسعه صنعت فولاد سبز در ایران ارائه گردد. تحلیل پویایی شبکه‌های موجود به علت پیچیده بودن تعاملات صنعتی و سیاست‌گذاری، با استفاده از نظریه گراف صورت

8. Vercoulen
9. Fan
10. Mallett
11. Arens
12. Bagheri Moghaddam
13. Rahmani

گرفته و اولویت سیاستی هرکدام از سیاست‌های تقویت کننده کارکردی و بازیگران تعیین می‌شود. لذا جهت تسهیل گذار فناورانه صنعت فولاد ایران به فولاد سبز به سوالات کلیدی زیر پاسخ داده شود:

۱- مهم‌ترین موانع توسعه نظام نوآوری فناورانه فولادسبز در کشور چیست؟

۲- مهم‌ترین کارکردها و زیرکارکردهای نظام نوآوری فناورانه فولادسبز تحت تاثیر موانع ساختاری چیست؟

۳- اولویت‌بندی سیاست‌های پیشران حیاتی نظام نوآوری فناورانه فولادسبز در ایران چگونه است؟

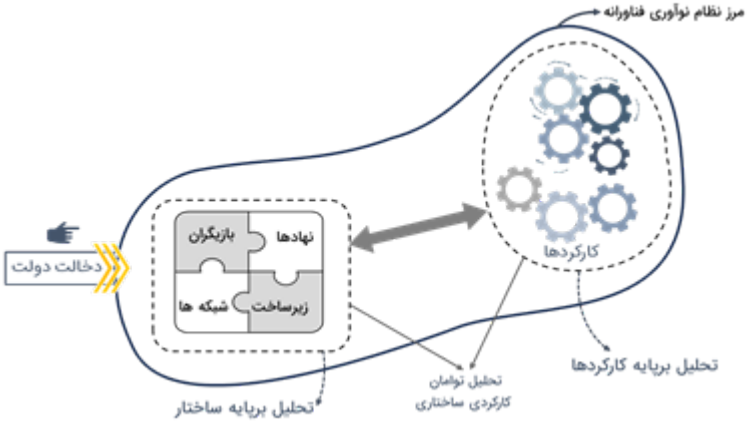
مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در ادبیات مرتبط با نظام‌های نوآوری، برخی پژوهشگران به بررسی نظام‌های نوآوری فناورانه پرداخته‌اند. برای تحلیل نظام‌های نوآوری فناوری که در یک منطقه جغرافیایی خاص یا یک بخش صنعتی قرار دارند، بهتر است به یک فناوری خاص یا حوزه‌ای از فناوری تمرکز کرد (کارلسون[14]،۲۰۰۶؛کارلسون و استنکوویز[15]،۱۹۹۱). مفهوم نظام نوآوری فناورانه (TIS) به‌عنوان یک چارچوب ارزشمند برای درک و تحلیل دینامیک‌های پیچیده تغییرات فناوری و نوآوری ظاهر شده است (برگک[16] و همکاران،۲۰۰۸). این مفهوم که در ابتدا توسط دانشمندانی چون ریچارد نلسون[17] (۱۹۹۳) و لوندوال (۱۹۹۲) پیشگامانه معرفی شده است، بر ماهیت نظام‌مندی نوآوری تأکید می‌کند، جایی که تعاملات و وابستگی‌های میان بازیگران، نهادها و منابع مختلف توسعه و انتشار فناوری‌های جدید را شکل می‌دهد (لوندوال،۲۰۱۰). اهداف اصلی مطالعات نظام‌های نوآوری فناورانه شامل تحلیل و ارزیابی رشد یک نوآوری فناورانه خاص در قالب ساختارها یا فرآیندهای حمایتی یا مخرب آن است. به عبارتی، می‌توان این رویکرد را به‌عنوان نگاهی جزئی‌نگر به مفهوم نظام‌های نوآوری بخشی تعبیر کرد (هکرت[18] و نگرو[19]، ۲۰۰۹). به‌طور کلی، یک نظام نوآوری بخشی شامل مجموعه‌ای از نظام‌های نوآوری فناورانه مرتبط و متداخل است که هر یک دارای مجموعه‌ای از فناوری‌های اصلی منحصر به فرد خود هستند(باقری مقدم و نوذری،۲۰۲۳؛ هکرت و همکاران ،۲۰۰۷). در جهت ارزیابی و تحلیل دقیق‌تر نظام‌های نوآوری فناورانه، سنجه‌هایی تحت عنوان کارکردهای این چارچوب تعریف شده است که معروف‌ترین آن‌ها توسط برگک (۲۰۰۸) و هکرت (۲۰۰۷) به‌طور قابل توجهی در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است و مجموعه‌ای مکمل از هفت عملکرد را پیشنهاد داده‌اند که شامل فعالیت‌های کارآفرینانه، توسعه دانش، گسترش دانش از طریق شبکه‌ها، هدایت جستجو، شکل‌گیری بازار، تامین منابع و مشروعیت‌بخشی است.

اگرچه با تحلیل کارکردی یک نظام نوآوری فناورانه می‌توان نقاط ضعف و موانع توسعه‌این نظام را شناسایی کرد اما این موارد برای تجویز سیاستی کافی نیست زیرا ارکان ساختاری نظام به واسطه عدم قطعیت موجود و احتمال نقص تحلیل کارکردی مورد توجه کافی قرار نگرفته‌اند. (میرعمادی،۲۰۱۸) لذا وایزورک و هکرت (۲۰۱۲) و هکرت(۲۰۱۱) نوع

14. Carlsson
15. Stankiewicz
16. Bergek
17. Richard Nelson

18. Hekkert
19. Negro



شکل ۱: مدل مفهومی پژوهش (تحلیل ساختاری و کارکردی)-(وایزورک و هکرت، ۲۰۱۲)

جدیدی از تحلیل توامان کارکردی-ساختاری را معرفی نمودند که پس از ارزیابی وضعیت کارکردها، هر کارکرد از حیث چهار جزء ساختاری یعنی بازیگران، تعاملات، نهادها و زیرساخت‌های فناوری تحلیل می‌شود (ویزورک[20] و هکرت،۲۰۱۲). مطابق شکل(۱)، مدل مفهومی پژوهش در این مقاله نیز بر همین مبنای ارکان کارکردی و ساختاری نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز در ابتدا شناسایی و تحلیل شده است.

اگرچه تاکنون پژوهش‌های مختلفی در بستر نظام‌های نوآوری فناورانه و توسعه فناوری‌های نوظهور انجام شده است، اما در داخل کشور به شکل تخصصی به موضوع تولید فولاد سبز مبتنی بر هیدروژن و سیاست‌گذاری توسعه آن توجه کافی نشده است و پژوهش‌های موجود نیز بر موضوعاتی از قبیل عوامل مالی مؤثر برعملکرد سبز(دعائی و همکاران،۱۴۰۲)، منابع انسانی سبز(اکبری و شایق،۱۴۰۲) و نوآوری سبز(آقاسی و قربانی،۱۴۰۲) پرداخته‌اند. کوچانسکی[21] و همکاران (۲۰۲۰) از TIS برای تجزیه و تحلیل کنتور هوشمند برق در اتحادیه اروپا استفاده کردند. کوشنیر و همکاران (۲۰۲۰) رویکرد TIS را برای اتخاذ کاهش مستقیم هیدروژن در احیای مستقیم فولاد باهیدروژن در صنعت فولاد سوئد مورد مطالعه قرار دادند. آنها چندین مانع بالقوه را شناسایی کرده و هماهنگی به موقع نظام‌سیاستگذاری زیرساخت‌های برق فناوری احیای مستقیم و کوره قوس الکتریکی را حیاتی قلمداد کردند. همچنین نشان دادند که صنعت آهن و فولاد باید برای برق مبتنی بر منابع انرژی تجدیدپذیر رقابت کند و به ضرورت مداخله سیاسی برای رفع موانع برای تبدیل صنعت آهن و فولاد سوئد به اولین صنعت تقریباً بدون سوخت فسیلی در جهان پس از سال ۲۰۴۰ اشاره کردند. (کوچانسکی و همکاران، ۲۰۲۰). درداخل کشور نیز پژوهش‌های

20. Wieczorek

21. Kochański

مختلفی در بستر نظام‌های نوآوری فناورانه صورت گرفته است که می‌توان به پژوهش فرتاش و قربانی (۲۰۲۳) در تحلیل و آسیب‌شناسی توسعه سلول‌های خورشیدی، میرعمادی و رحیمی(۱۳۹۵) در حوزه سوخت‌های زیستی و حیرانی وهمکاران (۱۳۹۷) در حوزه فناوری ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز اشاره کرد (حیرانی و همکاران،۲۰۱۸). در بخش بعدی با بررسی موانع، شناخت بازیگران، کارکردها و اجزای ساختاری این نظام نوآوری فناورانه، پویایی نظام فناورانه فولادسبز با استفاده از تحلیل شبکه اجتماعی فنی نگاشت شده و پارامترهای مربوط به تحلیل گراف، در کنار تحلیل کیفی باعث تسهیل درک و اولویت‌بندی شبکه بازیگران، عناصرساختاری و کارکردها خواهد شد.

روش تحقیق

جهت‌گیری پژوهش فعلی از نوع کاربردی و مبتنی بر نظریه نظام‌های نوآوری فناورانه بوده و جزء پژوهش‌های آمیخته می‌باشد که در دو فاز اصلی اجرا گردیده است که در ادامه تشریح می‌شود. در فاز نخست، از روش تحقیق کیفی با رویکرد تحلیل محتوای استقرایی استفاده شد. گردآوری داده‌ها از طریق دو تکنیک مطالعه اسنادی و مصاحبه نیمه‌ساختاریافته انجام پذیرفت. جامعه مطالعاتی شامل ۱۴ نفر از خبرگان دانشگاهی، سیاست‌گذار و صنعتی حوزه فولاد بود که با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند و گلوله برفی انتخاب شدند که با توجه به جدید بودن مفهوم فولادسبز، یکی از بهینه‌ترین روش‌ها برای شناخت جوامع پنهان است(ماکادوداسیلوا[۲۲]، ۲۰۰۳). معیارهای انتخاب خبرگان شامل سابقه حداقل ۵ سال فعالیت پژوهشی یا اجرایی در حوزه فولاد و کربن‌زدایی فولاد، دارا بودن حداقل مدرک کارشناسی ارشد یا سابقه انتشار مقالات علمی معتبر بود.

در مرحله کیفی، تحلیل محتوای کیفی با رویکرد تحلیل مضمون برای شناسایی مؤلفه‌های کلیدی نظام نوآوری فناورانه، بازیگران و موانع ساختاری فولاد سبز در ایران به کار گرفته شد (هِیش و شانون، ۲۰۰۵). پروتکل مصاحبه بر اساس ادبیات نظری موجود و چارچوب نظری نظام نوآوری فناورانه و شاخص‌های ارائه شده توسط هکرت و همکاران(۲۰۱۲) طراحی گردید. مصاحبه‌ها تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت و حجم نمونه نهایی به ۱۵ نفر رسید. در جدول شماره ۱، مشخصات مصاحبه‌شوندگان موجود است.

در فاز دوم پژوهش، رویکرد کمی با استفاده از تحلیل شبکه اجتماعی[۲۳](SNA) و نظریه گراف برای تحلیل ساختار و روابط بین بازیگران نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز به کار گرفته شد. شاخص‌های مرکزیت درجه[۲۴]، مرکزیت بینابینی[۲۵] و مرکزیت نزدیکی[۲۶]برای تحلیل موقعیت بازیگران در شبکه مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای منبع‌بازگِفی[۲۷] و دیسکرت‌پَث[۲۸] انجام شد. تجزیه و تحلیل شبکه‌های اجتماعی روشی برای مطالعه روابط اجتماعی بین بازیگران، بررسی چگونگی تأثیر این روابط بر دیدگاه‌ها، رفتار، واکنش‌ها و تعاملات است. به دلیل ماهیت پیچیده نظام‌های نوآوری فناورانه و گذارهای فنی-اجتماعی، فرآیند نوآوری را نمی‌توان به‌طور مؤثر تنها با تمرکز

22. -Machado-da-Silva

23.- Social Network Analysis
24. -Degree Centrality
25. -Betweenness Centrality
26. -Closeness Centrality
27. -Gephi
28. -DiscretePath

جدول ۱: مشخصات مصاحبه‌شوندگان

نوع مصاحبه‌شونده	سمت	تحصیلات	کد مصاحبه‌شونده
دولتی یا سیاست‌گذار	معاون وزیر صنعت، معدن و تجارت و رئیس هیئت عامل سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو)	دکتری	P۱
	رییس انجمن تولیدکنندگان و صادرکنندگان سنگ آهن ایران	دکتری	P۲
	عضو هیات مدیره انجمن تولیدکنندگان فولاد ایران	کارشناسی ارشد	P۳
فعال صنعتی یا تولیدکننده	مدیر تحقیق و توسعه فولادمبارکه و عضو هیئت مدیره پژوهشکده‌فولاد	دکتری	P۴
	مدیر عامل شرکت فولاد خراسان و عضو هیات مدیره شرکت بورس‌کالای‌ایران	دکتری	P۵
	عضو هیئت مدیره شرکت فولاد مبارکه	دکتری	P۶
	عضو انجمن تولیدکنندگان فولاد ایران	دکتری	P۷
	معاون برنامه‌ریزی تکنولوژی و توسعه شرکت فولاد هرمزگان	کارشناسی ارشد	P۸
	مدیر واحد متالورژی و روش های تولید شرکت فولادمبارکه	دکتری	P۹
	کارشناس ارشد فناوری و نوآوری پشتیبانی و توسعه فناوری و نوآوری شرکت فولاد مبارکه و کارشناس ارشد فناوری و نوآوری شرکت MSTID	کارشناسی ارشد	P۱۰
	معاونت توسعه و برنامه‌ریزی شرکت فولاد خوزستان	دکتری	P۱۱
دانشگاهی	پژوهشگر سیاست‌گذاری صنعت فولاد دانشگاه صنعتی گراتس اتریش	دکتری	P۱۲
	مدیر تحقیق و توسعه فولاد مبارکه و عضو هیئت مدیره پژوهشکده‌فولاد	دکتری	P۱۳
	عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان و معاون سابق پژوهشکده فولاد	دکتری	P۱۴

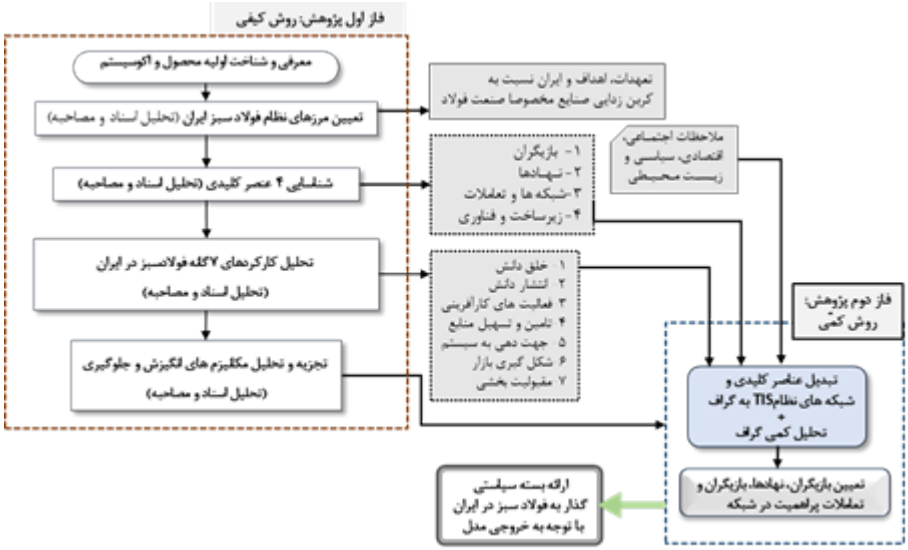
نوع مصاحبه‌شونده	سمت	تحصیلات	کد مصاحبه‌شونده
دولتی یا سیاست‌گذار	معاون وزیر صنعت، معدن و تجارت و رئیس هیئت عامل سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو)	دکتری	P۱
	رییس انجمن تولیدکنندگان و صادرکنندگان سنگ آهن ایران	دکتری	P۲
	عضو هیات مدیره انجمن تولیدکنندگان فولاد ایران	کارشناسی ارشد	P۳
فعال صنعتی یا تولیدکننده	مدیر تحقیق و توسعه فولادمبارکه و عضو هیئت مدیره پژوهشکده‌فولاد	دکتری	P۴
	مدیر عامل شرکت فولاد خراسان و عضو هیات مدیره شرکت بورس‌کالای‌ایران	دکتری	P۵
	عضو هیئت مدیره شرکت فولاد مبارکه	دکتری	P۶
	عضو انجمن تولیدکنندگان فولاد ایران	دکتری	P۷
	معاون برنامه‌ریزی تکنولوژی و توسعه شرکت فولاد هرمزگان	کارشناسی ارشد	P۸
	مدیر واحد متالورژی و روش های تولید شرکت فولادمبارکه	دکتری	P۹
	کارشناس ارشد فناوری و نوآوری پشتیبانی و توسعه فناوری و نوآوری شرکت فولاد مبارکه و کارشناس ارشد فناوری و نوآوری شرکت MSTID	کارشناسی ارشد	P۱۰
	معاونت توسعه و برنامه‌ریزی شرکت فولاد خوزستان	دکتری	P۱۱
دانشگاهی	پژوهشگر سیاست‌گذاری صنعت فولاد دانشگاه صنعتی گراتس اتریش	دکتری	P۱۲
	مدیر تحقیق و توسعه فولاد مبارکه و عضو هیئت مدیره پژوهشکده‌فولاد	دکتری	P۱۳
	عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان و معاون سابق پژوهشکده فولاد	دکتری	P۱۴

بر متغیرهای قابل سنجش مرسوم مانند شاخص‌های اقتصادی، به‌عنوان مثال، درآمد، بهره‌وری، و مقادیر مورد بررسی قرار داد (وِش[29] و همکاران، ۲۰۱۹؛ ویزورک و هکرت، ۲۰۱۲).

چارچوب نظام نوآوری فناورانه (TIS) در کنار تحلیل گراف شبکه اجتماعی بازیگران، شناسایی اجزای حیاتی را تسهیل می‌کند و متعاقباً امکان تجزیه و تحلیل و ارزیابی کارایی عملیاتی آن‌ها را در چارچوبی چندبعدی فراهم می‌کند که در سایر پژوهش‌های با روش آمیخته، تابه حال از این روش کمی به همراه چارچوب کیفی استفاده نشده و برخی پژوهشگران صرفاً جهت شبکه انتشار مقالات علمی و شناخت شبکه بازیگران بخش تولید علم در یک نظام نوآوری، از نظریه گراف استفاده کرده‌اند (کوشنیر[30] و همکاران، ۲۰۲۰). ترکیب نظام نوآوری فناورانه با این روش کمی جزء ابتکارات این مقاله است. همچنین جهت اعتبارسنجی داده‌های کیفی، از حیث انتقال‌پذیری، صحت و عینیت توسط اعضای نگارنده بررسی شده و بازبینی توسط ۳ نفر از خبرگان درجهت به حداقل رساندن سوءگیری صورت پذیرفت. تحلیل نهایی داده‌ها با تلفیق نتایج دو فاز کیفی و کمی، درک جامعی از ساختار، کارکردها و دینامیک نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز در سطح ملی ارائه داد. مراحل این پژوهش در شکل(۲) آورده شده است.

تحلیل داده‌ها و ارائه یافته‌ها

نتایج مرور پژوهش‌های صورت گرفته در صنعت فولاد ایران نشان می‌دهد تا به حال پژوهشی در



شکل ۲: مراحل مختلف پژوهش

29. -Wesche

30. -Kushnir

راستای تحلیل فنی-اجتماعی وشناخت موانع گذار فناورانه فولاد سبز در ایران انجام نشده است و پژوهش‌های موجود نیز صرفاً فارسی فناورانه و تحلیل پنجره‌های فرصت موجود جهت توسعه فناوری‌های نوظهور در فولاد را بررسی نموده اند (حبیب‌زاده و اسماعیلیان،۲۰۱۶; حیرانی وهمکاران،۲۰۱۸; رحمانی و همکاران،۲۰۲۱). در این پژوهش پس از تحلیل مضمون اسناد و مصاحبه‌ها و اختصاص کد به هر کدام از خبرگان، مفاهیم کلیدی فرعی و اصلی دسته‌بندی شد که در ادامه بررسی خواهد شد.

الف) تحلیل موانع ساختاری

با توجه به تحلیل ساختاری انجام شده و تحلیل مضامین مصاحبه، ذیل هفت کارکرد اصلی نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز مبتنی بر الگوی کارکردی هکرت (۲۰۰۷)، ۱۳ زیرکارکرد و ۴۲ شاخص‌فرعی شناسایی شد. باتوجه به عدم بلوغ این نظام فناورانه و مبتنی بر نگاشت کارکردها و زیرکارکردها، کارکردهایی که هرکدام از ۱۱ بازیگر شناسایی شده لازم است نسبت به ایجاد یا تقویت آن اقدام کنند از طریق ایجاد شبکه بازیگران به ماتریس کمّی تبدیل شده است. منشا تصمیم‌گیری نگاشت وتعین روابط شبکه بازیگران وکارکردها براساس موانع ساختاری است که از تحلیل مضامین مصاحبه نیمه ساختاریافته خبرگان به دست آمده است و در جدول شماره۲ موجود است.

ب) دسته‌بندی کارکردهای کلیدی نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز

باتوجه به جدول۱ پس از شناسایی و دسته‌بندی انواع موانع موجود در ساختارها، با الگوگیری از چارچوب هکرت(۲۰۰۷) و وایزورک(۲۰۱۲)، انواع کارکردهای هفت گانه لازم به همراه زیرکارکردهای مرتبط استخراج شد که در جدول۲ موجود است. جهت تحلیل کارکردها و عوامل ساختاری مؤثر بر تحلیل کارکردی، شناسایی و نگاشت بازیگران امری حیاتی است (مارکارد و تروفر[31]،۲۰۰۸؛ سورس و هکرت،۲۰۰۹). بدین منظور بازیگران مرتبط با کارکردها نیز طبق نظر خبرگان مشخص شد که در جدول شماره۳ به تفصیل مشخص شده است. در این شکل عناصر مستطیل شکل به‌عنوان بازیگران و کنش‌گران سیاسی و عناصر دایره‌ای شکل به‌عنوان زیرکارکردها در نظر گرفته شده است.

نتایج اولیه تحلیل شبکه نشان می‌دهد که ساختار شبکه به صورت کلی پراکنده است، اما الگوهای خاصی از خوشه‌بندی و تعامل بین بازیگران کلیدی قابل مشاهده است. تعداد کل رأس‌ها[32] که مجموع بازیگران و زیرکارکردهای مربوطه است، برابر۴۶ و تعداد کل یال‌ها[33] که نمایانگر تعاملات است، برابر۱۲۴ است که نشان‌دهنده مقیاس و اندازه شبکه است. چگالی شبکه با مقدار۰/۱۲ به‌عنوان یک شاخص کلیدی، بیانگر این است که ارتباطات بین بازیگران نسبتاً محدود است و ساختار شبکه از نوع کم‌تراکم می‌باشد. همچنین، قطر شبکه[34] برابر۶ بوده که نشان‌دهنده سطح دسترسی کلی بین بازیگران و پراکندگی ارتباطات است.

اولویت‌بندی بازیگران و کارکردها

نتایج تحلیل مرکزیت[35] نشان می‌دهد که برخی بازیگران دارای تأثیرگذاری بیشتری در شبکه

31.-Markard & Truffer
32.-Vertices
33.-Edges
34.-Diameter
35.-Centrality

جدول ۲: انواع موانع ساختاری توسعه فولاد سبز در کشور(منبع: مصاحبه خبرگان)

نوع موانع		مصادیق
زیرساخت	فیزیکی	مسدودسازی فناوری‌های کم انتشار (نرخ آهسته گردش سرمایه) توسط ظرفیت‌های بزرگ موجود
		اتمام تدریجی منابع سنگ آهن ایران تا ۳۰سال آینده
		عدم رشد تولیدگاز طبیعی متناسب با رشد تقاضا
		زیر ساخت‌های ضعیف در شبکه‌های انتقال برق تجدیدپذیر
		عدم وجود زیر ساخت انتقال هیدروژن با آلایندگی کم
		زیر ساخت نامناسب حمل‌ونقل ریلی ایران جهت حمل سنگ آهن
		عدم تمایل نسبت به بازسازی ساختمان‌ها و سازه های قدیمی جهت بازیافت قراضه فلزات
		عدم بازیافت خودروهای فرسوده در مدت مقرر جهت بازیافت قراضه فلزات
		وجود تعداد کم از شرکت‌های نوآور در صنعت آهن و فولاد در مقایسه با سایر صنایع نوآور
	دانشی	رویکردهای جانبدارانه و غیر بی‌طرفانه در ارزیابی فناوری‌های نوآورانه نسبت به آینده صنعت فولاد ایران
		مشکلات روش شناختی برای ارزیابی واقعی و دقیق میزان انتشار کربن و میزان سبز بودن صنعت فولاد
		فقدان دانش انباشته توسعه فناوری جذب کربن
	مالی	نیاز به مشارکت سرمایه بالا و نرخ بازگشت پایین سرمایه‌گذاری در پروژه‌های با انتشار گازهای گلخانه‌ای بالا
		عدم دسترسی ممکن به سرمایه‌گذاری، به‌ویژه در شرایط اقتصادی دشوار کشور و صنایع مختلف
		شکاف تأمین مالی بین TRL ۴ تا ۹
		عدم توجه کافی به سرمایه گذاری خطرپذیر در صنعت فولاد ایران
		هزینه سرمایه گذاری بسیار بالا در فناوری‌های اصلی و زمان سرمایه گذاری طولانی، ریسک تجاری بالا.
		عدم وجود مشوق‌های اقتصادی هدفمند در قالب کاهش مالیات، تقسیم ریسک یا ضمانت وام از موسسات مالی خصوصی و دولتی
		عدم توجه ملزمات صنایع سبز در لایحه بودجه کشور

نوع موانع		مصادیق
نهادی	فناوری	فقدان فناوری پیشرفته که با موفقیت در مقیاس صنعتی اجرا شده است، به‌عنوان مثال: CCS، الکترولیز RES، هیدروژن سبز
		وقوع پدیده قفل شدگی در پیشرفت‌های تدریجی فناوری‌های فرآیند هسته های تکنولوژی
		عدم قطعیت تکنولوژیکی بالا بین مراحل تحقیق و توسعه، اجرای پایلوت و سپس تجاری‌سازی کامل (عدم قطعیت مقیاس)
		شکاف بهره وری انرژی و علاقه ناکافی به صرفه جویی در انرژی در فناوری‌های کمکی، به‌عنوان مثال. بازیابی حرارت هدر رفته
	سخت	عدم تصویب قوانین و سیاست‌های نظارتی کشور درباره آب و هوا و محیط زیست و فولاد کم کربن
		انزوای بین‌المللی کشور ایران و عدم توانایی همکاری با شرکت‌های پیشرو
		تمرکز کمتر صنایع ایران بر کربن‌زدایی با توجه به وجود مشکلات کلان اقتصادی
		همبستگی ضعیف تحول صنعت کم کربن با بخش انرژی و اقتصاد چرخشی
		وجود یارانه فراوان برسوخت‌های فسیلی و پایین بودن تعرف گاز
		مداخله مضر وزارت صمت در قیمت گذاری ها و تصمیمات کلان شرکت‌های بزرگ فولادی
		فقدان ضمانت اجرایی کافی در اجرای الزامات زیست‌محیطی
		استفاده ناکارآمد از درآمدهای صنایع فولادی برای انتقال فناوری کم انتشار در صنعت فولاد
		عدم علاقه به گنجاندن هزینه های خارجی انرژی در کل هزینه های صنعت
		عدم انسجام بسیاری از سیاست ها و استراتژی های وزارت صمت با هدف حمایت از فناوری‌های نوآورانه
		عدم وجود چارچوب های قانونی یا نظارتی ناکافی برای حمایت از فناوری‌های نوآورانه
		ضعیف سیاسی، قدرت سازمانی و اقتصادی تازه واردان
	نرم	ورود محصولات به بازار بدون الزام به ردیابی ردپای کربن
		عدم پشتیبانی و تطابق فرهنگ سازمانی با رویکردهای جدید اینترنت اشیا و هوش‌مصنوعی
		فقدان اولویت نسبت به فناوری اطلاعات در عملکرد صنعت فولاد

نوع موانع		مصادیق
		وجود تعداد محدود از بنچمارک ها به دلیل عدم تمایل صنعت برای افشای داده‌های انرژی، محیط‌زیستی و اقتصادی
		اولویت پایین بهبود تصویر صنعت به‌عنوان یک تجارت سبز (مسئولیت اجتماعی شرکتی)
		عدم تمایل کافی مسئولین به تحولات دیجیتال
شبکه ها و تعاملات		سازماندهی داخلی نامناسب در شبکه‌های تامین مالی، نظارت و مشکلات انتقال دانش در شرکت‌های جهانی
		ارتباط ضعیف بین بازیگران به دلیل واگرایی منافع تجاری، فقدان کانال های ارتباطی و پیچیدگی ساختار دولتی
		ارزیابی نامطمئن از تغییرات اجباری اعمال شده توسط سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی
		عدم تمایل به تامین مالی شبکه های صنعتی و پلت فرم‌های فناوری توسط بازیگران اصلی کسب و کار
		عدم همکاری شبکه های تحقیق و توسعه به علت تعارض منافع احتمالی و مسائل مالکیت فکری

هستند. مرکزیت بینابینی[36] با مقدار میانگین۳۰/۵۸ نشان می‌دهد که برخی رأس‌ها به‌عنوان پل‌های اصلی بین خوشه‌ها عمل می‌کنند و برای انتشار نوآوری یا تغییرات نظام‌مند اهمیت دارند که به ترتیب دولت، شرکت‌های تولید کننده فولاد، وزارت صمت و وزارت نیرو با اختلاف قابل توجهی نسبت به سایر بازیگران اهمیت دارند. همچنین، درجه مرکزیت[37] با مقدار میانگین۵/۳ نشان‌دهنده میزان ارتباط مستقیم بازیگران است. بررسی شاخص مرکزیت نزدیکی[38] با مقدار میانگین ۰/۴۳ نشان می‌دهد که برخی از بازیگران به سرعت می‌توانند به دیگران دسترسی داشته باشند و شرکت‌های تولیدکننده فولاد و وزارت نیرو، بازیگرانی هستند که مهم‌ترین پل ارتباطی بین سایر اجزای شبکه هستند و در مقام سوم دولت قرار دارد. در بخش کارکردها و زیرکارکردهای حیاتی، کارکرد های جهت دهی به نظام(G)، مشروعیت بخشی(L) و تامین و تسهیل منابع(R) به ترتیب جزو مهم‌ترین کارکردهایی هستند که جهت بلوغ فناوری‌های فولاد سبز لازم است در نظرگرفته شوند و سیاست‌های ذیل هرکدام در نظر گرفته شوند. جزییات زیرکارکردهای کلیدی در جدول شماره۴ آورده شده است.

36.-Betweenness Centrality
37.-Degree Centrality
38.-Closeness Centrality

بحث

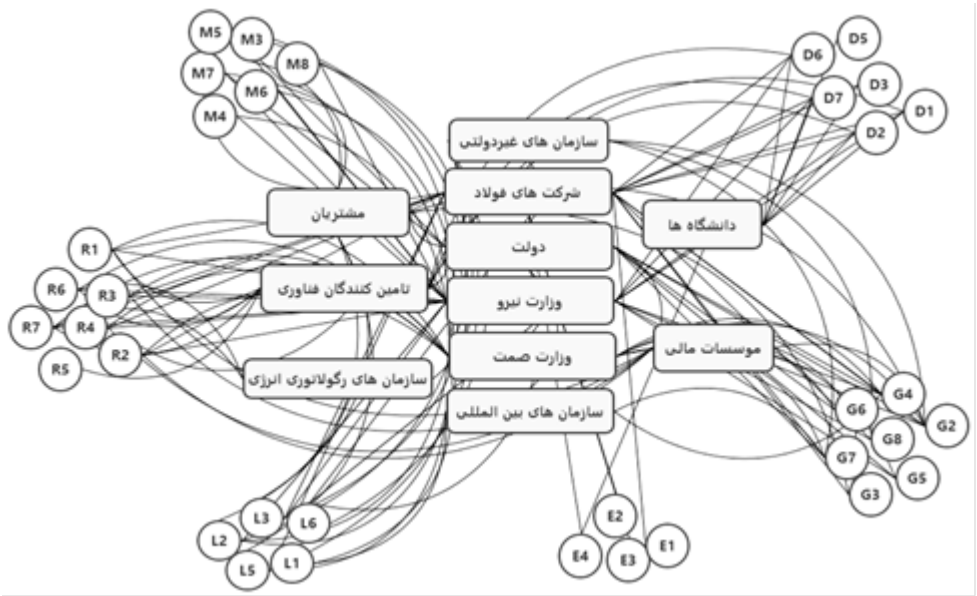
در مطالعات ارزیابی نظام‌های نوآوری فناورانه معمولاً به اولویت‌بندی کارکردها و زیرکارکردها صرفاً براساس تکرار یا همبستگی داده‌های کمّی شده خبرگان پرداخته می‌شود اما در این پژوهش علاوه بر شدت تکرار، همبستگی واجماع نظرخبرگان درباره سیاست‌های پیشنهادی، میزان تاثیرگذاری، تاثیرپذیری (مثبت یا منفی) و بهینگی‌بودن سیاست‌های پیشنهادی مورد تحلیل قرارگرفته‌اند.

جدول ۳: کارکردها و زیرکارکردهای نظام نوآوری فناورانه فولادسبز ایران

کارکردها	زیرکارکردها	شاخص ها	کد شاخص
خلق و انتشار دانش	میزان تولید دانش	حجم مقالات و انتشارات علمی	D۱
		میزان اختراعات و ثبت پتنت	D۲
		تعداد و اندازه پروژه‌های تحقیقاتی دانشگاهی و صنعتی فولادسبز در سطح ملی	D۳
		مدل‌سازی، منحنی‌های یادگیری	D۴
	میزان دانش انتشار یافته	وضعیت کنونی دانش پایه و روش‌های تولید فولاد کم کربن	D۵
		میزان توسعه دانش و فناوری در صنعت فولاد و هیدروژن سبز	D۶
		میزان انتشار مهارت‌های تجاری‌سازی محصولات دانش‌بنیان	D۷
فعالیت‌های کارآفرینی	بهبود کسب و کارهای فعال	تعداد تازه واردان شامل شرکت‌های بزرگ تنوع‌بخش و شرکت‌های زایشی	E۱
		ایفای نقش دولت در کارآفرینی صنایع تولید هیدروژن سبز	E۲
		تنوع حوزه های فعالیت شرکت‌های مختلف در زنجیره ارزش فولادسبز	E۳
	تشکیل شرکت‌های نوآور	میزان شکل گیری استارت آپ ها و شرکت‌های نوآور جدید در حوزه فولاد سبز و کربن‌زدایی	E۴
		فراوانی و تنوع شرکت ها، ایده ها و محصولات خارجی	E۵
جهت دهی به نظام	دیدگاه ها و چشم‌انداز نسبت به کربن‌زدایی فولاد	چشم‌اندازها، انتظارات و باورهای مثبت نسبت به فولاد سبز و هیدروژن سبز	G۱
		عوامل مؤثر در فرصت‌های فناورانه حاضر و پتانسیل رشد(تحقیق و توسعه)	G۲
		دیدگاه صنایع نسبت به اهمیت انواع و منابع مختلف فناوری‌های کربن‌زدایی	G۳
	سیاست‌های متناسب با اولویت‌ها	اعمال استاندارد های ملی الزام‌آور در جهت کربن‌زدایی	G۴
		موانع فنی تولید بهینه فولاد از جمله تعرفه ها و نرخ گاز	G۵
		بحران‌های فعلی در وضعیت فعلی فولاد ایران	G۶
		قابل اتکا بودن سیاستگذاری‌ها و اهداف تعیین شده برای صنعت فولاد	G۷
		تشریک مساعی میان نهاد های قانون‌گذار	G۸

کارکردها	زیرکارکردها	شاخص ها	کد شاخص
تامین و تسهیل منابع	تامین مالی نوآوری	حجم سرمایه و حمایت مالی در جهت تولید هیدروژن سبز ارزان قیمت	R۱
		سرمایه گذاری دولتی یا خصولتی در تحقیق و توسعه فناوری ccs و هیدروژن سبز	R۲
		سرمایه گذاری خصوصی در تحقیق و توسعه فناوری ccs)) و هیدروژن سبز	R۳
		ارائه تسهیلات بیمه‌ای و بلاعوض و انواع کمک های نقدی و غیر نقدی هنگام رکودهای بحرانی	R۴
	تامین منابع انسانی	حجم، کیفیت و قابلیت حرکت منابع انسانی (تامین نیروی کار بامهارت)	R۵
	تامین زیرساخت‌های حیاتی	وجود زیر ساخت‌های انتقال برق، گاز و تولید هیدروژن سبز	R۶
		تعداد انواع مختلف برنامه‌های فناوری ccs و هیدروژن سبز	R۷
	تامین فناوری‌های روز	عرضه فناوری‌ها و نوع تکنولوژی‌های تکمیلی استفاده‌شده نظیرU)CCS(	R۸
شکل گیری بازار	گستردگی بازار	اندازه و نوع بازارهای ایجادشده فولاد سبز	M۱
		زمان شکل‌گیری بازار سبز	M۲
		عوامل ایجاد بازار	M۳
	مکانیزم های تشویقی شکل گرفتن بازر	اخذ مالیت کربن و ایجاد استاندارد های دولتی	M۴
		خرید تضمینی و مشوق‌های مالیاتی	M۵
		مکانیزم دریافت عوارض مرزکربنCBAM	M۶
	تشکیل زنجیره ارزش خاص	استفاده دولت از فولاد سبز در توسعه زیر ساخت	M۷
		مقدار سفارشات قطعی و ثابت	M۸
مشروعیت بخشی	بهبود ضمانت اجرایی	تقنین قوانین محیط زیستی موافق فولادسبز	L۱
		میزان تدوین استانداردهای مرتبط با محصولات و خدمات	L۲
	زایش لابی های قدرت و مداخله‌گری مؤثر	اندازه و قدرت لابی‌های سیاستی و حامیان سیاسی و اجتماعی	L۳
		وجود نهاد مستقل و قدرتمند در عرصه فولاد سبز	L۴
		میزان وجود ذینفعان دارای قدرت جهت مشارکت	L۵
	فعالیت‌های ترویجی	برگزاری محافل مختلف علمی و نمایشگاهی جهت معرفی فولاد سبز	L۶

(منبع: مصاحبه خبرگان- محمدی،۲۰۱۳؛ وِش و همکاران،۲۰۱۹؛ ویزورک و هکرت،۲۰۱۲(



شکل۳: گراف شبکه نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز در ایران

به‌عنوان مثال در کارکرد تسهیل و تامین منابع، اگرچه تامین زیرساخت‌های فناوری جذب کربن و تولید هیدروژن سبز بصورت جدی مورد تاکید خبرگان قرار گرفته اما طبق پارامترهای مرکزیت برداری ویژه (وسرمن وفاوست[39]،۱۹۹۴) و مرکزیت نزدیکی یال‌ها، کارکرد جهت دهی به نظام و پژوهش با وجود تاکیدکمتر، بهینه‌تر بوده و باید به آن توجه ویژه نمود.(شکل۴) درواقع سیاست‌های مشوق تحقیق وتوسعه و سرمایه‌گذاری خطرپذیر به شکل بهینه‌تر و کم هزینه تر در توسعه فولادسبز در کشور مؤثر خواهد بود وپارامترهای شبکه این نکته را نشان می‌دهند که برای طی کردن کوتاه‌ترین مسیر (مسیر بهینه یا اجرای سیاست کم هزینه) در گراف، حتماً از این گذرگاه‌های ارتباطی، خواه ناخواه عبور خواهیم کرد و جهت راه‌اندازی موتور محرک علم و فناوری و آماده شدن برای ورود به فازهای بعدی توسعه نظام فناورانه فولاد سبز، خواه ناخواه از این زیرکارکردهایی که امتیاز بالاتری دارند باید عبورکرده و آن‌ها را اجرا کنیم اما علت الزام این نیست که بیشترین تعداد پیشنهاد را دارند، بلکه به دلیل اینکه اجرای این زیرکارکردها و مولفه سیاستی مرتبط، بهینه‌تر و کم‌هزینه‌تر هستند(مرکزیت بینابینی بالاتری دارند) و از دیدگاه ریاضی برای عبور از یه گره به گره دیگر، کوتاه‌ترین مسیر ممکن هستند (بُناکیچ[40]،۱۹۷۲). کارکردهای جهت دهی به نظام، تامین منابع، توسعه وانتشار دانش، مشروعیت بخشی و فعالیت‌های کارآفرینی به ترتیب مهم‌ترین کارکردهای حیاتی و لازم جهت گذار فناورانه و بلوغ فناوری‌های فولادسبز

39. -Wasserman & Faust

40. -Bonacich

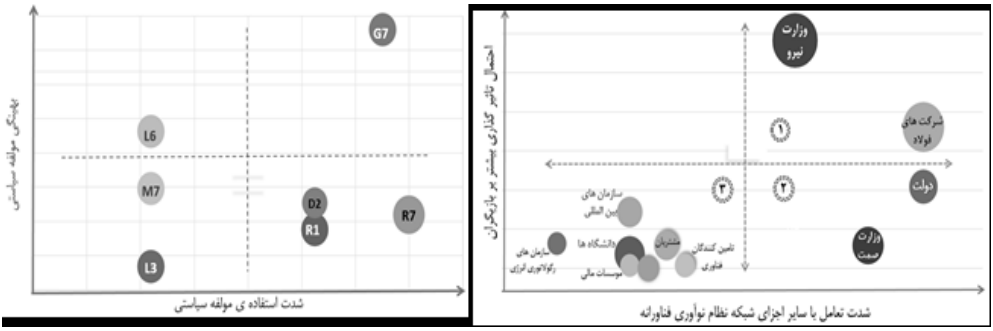
جدول۴: اولویت‌بندی مهم‌ترین زیر کارکردها بر اساس شاخص‌های مرکزیت گراف

مولفه	زیر کارکرد	شاخص	کارکرد مربوط
G۷	قابل اتکا بودن سیاستگذاری‌ها و اهداف تعیین شده برای صنعت فولاد	سیاست‌های متناسب با اولویت‌ها	جهت‌دهی به نظام
L۶	معرفی و افزایش آگاهی از فولاد سبز در مجامع مختلف آکادمیک و سیاسی	فعالیت‌های ترویجی	مشروعیت بخشی
R۷	افزایش تنوع و کمیت پروژه‌های فناوری جذب کربن و هیدروژن سبز	زیر ساخت‌های انتقال برق سبز وهیدروژن	تامین و تسهیل منابع
D۷	میزان انتشار مهارت‌های تجاری‌سازی محصولات دانش‌بنیان	میزان دانش انتشار یافته	خلق و انتشار دانش
L۲	میزان تدوین استانداردهای مرتبط با محصولات و خدمات	بهبود ضمانت اجرایی	مشروعیت بخشی
R۱	حجم سرمایه و حمایت مالی در جهت تولید هیدروژن سبز ارزان قیمت	تامین مالی نوآوری	تامین و تسهیل منابع
L۳	اندازه و قدرت لابی‌های سیاستی و حامیان سیاسی و اجتماعی	اجرای فولاد سبز در چارچوب قانون‌های مصوب و الزام‌آور	مشروعیت بخشی

در ایران است. کارکرد مشروعیت بخشی(L) صرفاً در زیرکارکرد(L۲)، یعنی میزان تدوین استانداردهای مرتبط با محصولات و خدمات، زیر کارکرد(L۳)، یعنی اندازه و قدرت لابی‌های سیاستی و حامیان سیاسی و اجتماعی و زیرکارکرد (L۶) یعنی مشروعیت بخشی بازیگران و ذینفعان از طریق برگزاری کنفرانس های علمی و مطبوعاتی بهینه است که این زیرکارکرد ها را می‌توان در ذیل همان کارکرد جهت دهی به نظام نیز تعریف کرد (فوکسون و پیرسون[41]،۲۰۰۸).

در شکل۵ ، مشخص است که با ترسیم هر بازیگر بر اساس نوع شاخص مرکزیت، در سه ناحیه ازدحام بازیگران وجود خواهد داشت. هرچند وزارت نیرو با اختلاف معناداری نسبت به سایر بازیگران قرار خواهد گرفت که نشانه ضعف موجود در وضعیت فعلی وزارت نیرو و سیاستگذاری‌های مربوطه‌اش است، ازطرفی وزارت صمت، علی‌رغم احتمال تاثیرگذاری کمتر نسبت به وزارت نیرو، دارای شدت تعامل بیشتری با سایر بازیگران است. مطالعات نشان می‌دهند که دولت‌ها می‌توانند از طریق ابزارهای مالی مانند وام‌های با بهره پایین، ضمانت‌نامه‌های دولتی و اوراق قرضه سبز، ریسک سرمایه‌گذاری در فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر را کاهش داده و سرمایه خصوصی را برای توسعه پایدار را تسهیل

41. -Foxon & Pearson



شکل۴: بررسی کمی-کیفی بازیگران اولویت دار

شکل۵: بررسی کمی-کیفی سیاست‌های اولویت دار

نمایند (ساراوید[42]، ۲۰۱۹). از سمت دیگر، رحیم دوست (۱۴۰۰) نیز در پژوهش خود تاکید می‌کند که مداخلات دولت در نظام قیمت‌گذاری زنجیره فولاد کشور، بستری برای برخی سوءاستفاده‌های مالی فراهم کرده و منجر به شکل‌گیری رانت و فساد در فرآیند تعیین قیمت می‌شود که در نهایت، منافع آن به گروه یا افراد خاصی تعلق می‌گیرد.

در گروه سوم، نیز سازمان‌های بین‌المللی دارای قدرت زیادی در احتمال تاثیرگذاری بر بازیگران این نظام فناورانه دارند هرچند شدت تعامل آن‌ها زیاد نیست که یکی از علت‌های مهم آن، وجود تحریم‌های بین‌المللی است. تامین‌کنندگان فناوری نیز با وجود شدت تعامل نسبتاً مناسب با سایر بازیگران، قدرت تاثیرگذاری کمی دارند که نشان از وجود شکست‌های مختلف کارکردی در نحوه تعامل و همکاری با سایر بازیگران است که باید به صورت ویژه مورد توجه قرار گیرد.برگک و همکاران(۲۰۱۵) نیز براین نکته تأکید می‌کنند که موفقیت گذار به انرژی‌های پاک نیازمند هماهنگی گسترده بین بازیگران دولتی، خصوصی و دانشگاهی است و دولت‌ها باید با ایجاد چارچوب‌های نهادی مناسب، همکاری بین این بازیگران را تسهیل می‌کنند (برگک و همکاران،۲۰۱۵).

نکته قابل توجه دیگر این است که مشتریان(وجود تقاضا و ثبات تقاضا) نیز نقش مهم‌تری نسبت به دانشگاه‌ها دارند و در صورت اعمال سیاست‌های طرف تقاضا، مصرف کنندگان این قدرت را دارند که علیرغم کمبود تامین مالی دولتی، با همکاری تامین‌کنندگان فناوری خصوصی به توسعه نظام نوآوری کمک نمایند در حالی‌که به علت مداخله زیاد بازیگران دولتی در صنعت فولاد امری دشوار به نظر می‌رسد. جف و همکاران در جهت سیاست‌های حمایتی برای غلبه بر شکست‌های بازار نشان می‌دهند که شکست‌های بازار مانند عدم اطمینان فناوری و هزینه‌های بالای تحقیق و توسعه، مانع اصلی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز هستند که مداخلات دولتی می‌توانند این شکست‌ها را جبران کنند (جف[43] وهمکاران، ۲۰۰۵). در مجموع انطباق ایران با فناوری‌های نوظهور در صنعت فولاد با تمرکز بر ارتقای قابلیت‌های بومی، استفاده از همکاری‌های بین‌المللی و پاسخ به چشم‌انداز فناوری در حال تحول در بازار جهانی مشخص می‌شود و اعمال استانداردها و سیاست‌های زیست‌محیطی الزام‌آور،

42. Saravade

43. Jaffe

اولین اقدام حیاتی لازم جهت گذار فنی اجتماعی فولادسبز در کشور خواهد بود.

در مجموع، این پژوهش ضمن ارائه تصویری جامع از چالش‌ها و فرصت‌های نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز، محدودیت‌های موجود در روش‌ها و ابزارهای تحلیلی را برجسته کرده و مسیرهایی برای بهبود در پژوهش‌های آتی ارائه داده است. با این حال، محدودیت‌هایی در روش پژوهش و استفاده از نظریه گراف نیز وجود دارد. در بخش کیفی، چالش‌هایی مانند محدودیت در دسترسی به داده‌های جامع و نبود شفافیت کافی در برخی مصاحبه‌ها منجر به دشواری در استخراج دقیق تعاملات و روابط میان بازیگران شد. در بخش کمی نیز، مدل‌سازی گراف شبکه به دلیل پراکندگی داده‌ها و ساختار کم‌تراکم شبکه با محدودیت‌هایی مواجه بود که ممکن است بر دقت تحلیل شاخص‌های مرکزیت و تأثیرگذاری بازیگران تأثیر گذاشته باشد. همچنین، نظریه گراف به‌تنهایی قادر به تحلیل عمیق پویایی‌های اجتماعی و سیاسی موجود در شبکه نیست و نیاز به ترکیب آن با دیگر روش‌های تحلیل نظام‌های اجتماعی-فنی وجود دارد.

نتیجه‌گیری

در بستر تغییرات اقلیمی و الزامات جهانی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، توسعه فولاد سبز برای ایران یک ضرورت استراتژیک است که فراتر از یک انتخاب فناورانه، یک الزام بقای اقتصادی محسوب می‌شود. حرکت به سمت فناوری‌های کم‌کربن نه تنها یک راهبرد زیست‌محیطی، بلکه یک مزیت رقابتی بین‌المللی محسوب می‌شود. استراتژی ایران تاکنون در این مسیر، ترکیبی هوشمندانه از انتقال فناوری و توسعه بومی است که با مهندسی معکوس فناوری‌هایی مانند میدرکس و پرِد[44] نویدبخش گذاری موفق به نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز است. در این پژوهش، نظام نوآوری فناورانه فولاد سبز ایران با استفاده از رویکرد کارکردی-ساختاری و تحلیل شبکه اجتماعی نظام نوآوری فناورانه بررسی شد. نتایج نشان داد که این نظام با چالش‌های ساختاری و عملکردی گسترده‌ای روبروست، از جمله ضعف در زیرساخت‌های انتقال انرژی تجدیدپذیر، کمبود سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوآورانه و نبود سیاست‌های هم‌راستا و هماهنگ بین وزارت صمت و وزارت نیرو. تحلیل شبکه اجتماعی نیز بیانگر پراکندگی و ضعف ارتباطات در میان بازیگران اصلی بود، به‌طوری‌که نقش دولت، وزارت نیرو، و شرکت‌های تولیدکننده فولاد به‌عنوان محورهای اصلی در تسهیل گذار فناورانه به فولاد سبز برجسته است و کارکردهای جهت دهی به نظام، مشروعیت بخشی و خلق دانش جزو مهم‌ترین کارکردهای موردنیاز است که تا به حال به آن توجه نشده و کارکردهای شکل گیری بازار و فعالیت‌های کارآفرینانه باتوجه به عدم بلوغ این نظام فناورانه از اولویت کمتری نسبت به سایرین برخوردارند. مهم‌ترین سیاست‌های پیشنهادی جهت توسعه فناوری‌های نوآورانه فولادسبز عبارتند از: تمرکز برنامه‌های تحقیق و توسعه بر فناوری‌های نوآورانه به‌عنوان گزینه‌های اصلی برای کاهش عمیق کربن‌زدایی، عدم مداخله منفی سازمان‌های بالادستی در قیمت‌گذاری دستوری و تعرفه‌ها، توسعه زیرساخت حمل‌ونقل ریلی بوسیله سرمایه‌گذاری خطرپذیر و سرمایه‌گذاران خصوصی، اقناع مسئولین بالادستی در باب اهمیت کربن‌زدایی فولاد ایران از قبیل کنفرانس‌های علمی و مطبوعاتی، افزایش هماهنگی و تشریک مساعی میان نهادهای مرتبط با فولاد سبز، ائتلاف و تشکیل یک کمیته جهت رهگیری اهداف کربن‌زدایی صنایع و تشکیل رژیم جذاب مالکیت فکری برای نوآوری در فولاد سبز و کربن‌زدایی فولاد.

44. -Pered

پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی با درنظرگرفتن هیدروژن سبز به‌عنوان یک پنجره فرصت جدی که در صنایع آلاینده دیگر نظیر تولیدسیمان وجود دارد، تحلیل نظام نوآوری فناورانه هیدروژن سبز و برق تجدیدپذیر با رویکرد های مختلف کمی وسبه کمی گراف در آینده پیشنهاد می‌گردد. همچنین به کارگیری تحلیل شبکه‌های بازگشتی گراف در جهت درک پویایی بهتر شبکه تعامل بازیگران و مشوق‌های سیاستی می‌تواند راهگشا باشد.

توصیه‌های سیاستی

جهت ارتقای شفافیت و کارآمدی در صنعت فولاد ایران، بازنگری در سیاست‌های قیمت‌گذاری و کاهش تدریجی یارانه‌های انرژی ضروری است. توسعه رقابتی صنعت فولاد کشور مستلزم اصلاحات ساختاری و کاهش مداخلات دولتی در این صنعت است. توزیع عادلانه منابع و حذف رانت‌های موجود، با تأکید بر توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل و انرژی، می‌تواند به تحقق اهداف تعیین‌شده کمک کند. همچنین، تقویت نظارت و اجرای سیاست‌های حمایتی مبتنی بر بهره‌وری، به جای تخصیص یارانه‌های گسترده، می‌تواند به کاهش فساد مخصوصا در بخش استخراج معدنی و افزایش رقابت‌پذیری صنعت فولاد منجر شود.

تشویق به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با ارائه مشوق‌هایی نظیر یارانه‌ها و اعتبارات مالیاتی، گامی مؤثر در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی است. علاوه بر این، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای فناوری‌های نوین، از جمله استفاده از هیدروژن سبز و فرآیندهای تولید کم‌کربن، نقش کلیدی در کاهش اثرات زیست‌محیطی دارد.

اقتصاد چرخشی و بهره‌وری انرژی نیز از دیگر محورهای مهم هستند. ترویج بازیافت فولاد و کاهش ضایعات می‌تواند نیاز به مواد اولیه انرژی‌بر را کاهش دهد و بهره‌وری انرژی در تولید، انتشار گازهای گلخانه‌ای را به حداقل برساند. برنامه‌های دولتی با مشارکت وزارت صمت و شرکت ایمیدرو نیز با استفاده از قدرت خرید خود می‌توانند از تولیدکنندگان فولاد سبز حمایت کرده و تقاضای بازار برای این محصولات را افزایش دهند.

در نهایت، افزایش آگاهی عمومی در مورد مزایای فولاد سبز و همکاری‌های بین‌المللی برای تبادل دانش و فناوری، می‌تواند زمینه‌ساز توسعه پایدار در این صنعت باشد. رفع موانع صادرات و تقویت حضور در بازارهای جهانی نیز از ضرورت‌هایی است که علاوه بر تسهیل گذارفناورانه فولاد سبز، به رشد اقتصادی و کاهش وابستگی به درآمدهای نفتی کمک خواهد کرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی اصول اخلاقی در پژوهش این مقاله رعایت شده‌اند.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به یک اندازه در نگارش مقاله مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد

منابع

منابع فارسی

آقاسی, سعید و قربانی, سعید . (۱۴۰۲). تاثیر نوآوری سبز بر عملکرد مالی - زیست‌محیطی مجتمع فولاد مبارکه. مطالعات مدیریت توسعه سبز, ۲(۱), ۱۵۸-۱۷۲.
doi: 10.22077/jgmd.2023.6674.1040

اکبری، پیمان، شایق، مصطفی.(۱۴۰۲). تحلیل تاثیر مدیریت منابع انسانی سبز و مسئولیت اجتماعی شرکت بر عملکرد پایدار با نقش میانجی رفتار شهروندی محیط زیست محور. مدیریت سبز و توسعه ۲. ۴۱-۶۶.
magiran.com/p2692093

حیرانی, حسین , باقری مقدم, ناصر , قدسی پور, سیدحسن , وطنی, علی و طباطبائیان, سید حبیب اله . (۱۳۹۷). تحلیل نظام نوآوری فناورانه با تأکید بر نقش عوامل زمینه‌ای؛ مورد مطالعه: فناوری ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی. سیاست علم و فناوری, ۱۱(۱), ۲-۱۷.
doi: 10.22034/jstp.2018.10.1.539419

دعائی، شراره، وکیلی فرد، حمیدرضا، صراف، فاطمه، (۱۴۰۲). شناسایی عوامل مالی مؤثر بر عملکرد سبز ; صنعت فولاد، نشریه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۱۴(۵۴)، ۱۴۳-۱۵۹.[لینک]

رحمانی, سوما , علیزاده ثانی, محسن , منطقی, منوچهر و فرزامی, هومن . (۱۴۰۰). عوامل مؤثر بر ناکامی فرارسی فناورانه در زنجیره ارزش فولاد ایران. مدیریت توسعه فناوری, ۹(۲), ۱۶۳-۱۹۶.
doi: 10.22104/jtdm.2021.4796.2768

محمدی, مهدی , طباطباییان, سید حبیب ا... , الیاسی, مهدی و روشنی, سعید . (۱۳۹۲). تحلیل مدل شکل‌گیری کارکردهای نظام نوآوری فناورانه نوظهور در ایران؛ مطالعه موردی بخش نانوفناوری. سیاست علم و فناوری, ۶(۲), ۱۹-۳۲.[لینک]

References

Aghasi, S. and Ghorbani, S. (2023). The impact of green innovation on financial-environmental performance of Mobarake steel complex. Green Development Management Studies, 2(1), 158-172. [in persian] doi: 10.22077/jgmd.2023.6674.1040

Akbari, Peyman, Shayeg, Mustafa. (2023). Analyzing the impact of green human resource management and corporate social responsibility on sustainable performance with the mediating role of environmentally-oriented citizenship behavior. Green Management and Development 2. 41- 66 [in persian]

Ansari, N., & Seifi, A. (2012). A system dynamics analysis of energy consumption and corrective policies in Iranian iron and steel industry. Energy, 43, 334–343. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.020

Arens, M., Åhman, M., & Vogl, V. (2021). Which countries are prepared to green their coal-based steel industry with electricity? - Reviewing climate and energy policy as well as the implementation of renewable electricity. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 143, 110938. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110938

Bagheri Moghaddam, N., Mousavi, S. M., Nasiri, M., Moallemi, E. A., & Yousefdehi, H. (2011). Wind energy status of Iran: Evaluating Iran's technological capability in manufacturing wind turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(8), 4200-4211. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.029

Bagheri Moghaddam, N., & Nozari, M. (2023). Dynamic evaluation of technological innovation system; the case of underground natural gas storage technology in Iran. Energy Strategy Reviews, 49, 101153. https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101153

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

Bonacich, P. (1972). TECHNIQUE FOR ANALYZING OVERLAPPING MEMBERSHIPS. Sociological Methodology, 4, 176.

Carlsson, B. (2006). Internationalization of innovation systems: A survey of the literature. Research Policy, 35(1), 56-67. https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.08.003

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

Doai, Sharare, Vakilifard, Hamidreza, Saraf, Fatemeh, (2023). Identifying financial factors affecting green performance; Steel Industry, Journal of Financial Engineering and Securities Management, 14(54), 143-159. [in persian]

Fan, Z., & Friedmann, S. J. (2021). Low-carbon production of iron and steel: Technology options, economic assessment, and policy. Joule, 5(4), 829-862.

Foxon, T., & Pearson, P. (2008). Overcoming

barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies: some features of a sustainable innovation policy regime. Journal of Cleaner Production, 16(1, Supplement 1), S148-S161. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.10.011

habibzadeh, e., & esmaelian, m. (2016). Identifying and Prioritizing Internal Organizational Factors Affecting Technological Learning - The Case of Mobarakeh Steel Company. Journal of Technology Development Management, 4(1), 9-42. https://doi.org/10.22104/jtdm.2017.476

Heirani, H., Bagheri Moghadam, N., Ghodsi pour, S. H., Vatani, A., & Tabatabaeian, S. H. (2018). Technological System Analysis by Emphasizing the Role of Contextual Factors; Case Study: Underground Gas Storage Technology. Journal of Science and Technology Policy, 11(1), 2-17. [in persian] https://doi.org/10.22034/jstp.2018.10.1.539419

Hekkert, M. P., & Negro, S. O. (2009). Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. Technological Forecasting and Social Change, 76(4), 584-594. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.04.013

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

Hsieh, H.-F., & Shannon, S. (2005). Three Approaches to Qualitative Content Analysis. Qualitative health research, 15, 1277-1288. https://doi.org/10.1177/1049732305276687

IFCO. (2007). Iranian Fuel Conservation Company (IFCO) reports. http://ifco.ir/industry/industryparts/mainMetal/koliyat.asp

Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2005). A tale of two market failures: Technology and environmental policy. Ecological Economics, 54(2), 164-174. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.027

Kochański, M., Korczak, K., & Skoczkowski, T. (2020). Technology innovation system analysis of electricity smart metering in the European Union. Energies, 13(4), 916.

Kushnir, D., Hansen, T., Vogl, V., & Åhman, M. (2020). Adopting hydrogen direct reduction for the Swedish steel industry: A technological innovation system (TIS) study. Journal of Cleaner Production, 242, 118185.

Lundvall, B.-å. (2010). National Systems of Innovation Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning. Anthem Press. http://www.jstor.org/stable/j.ctt1gxp7cs

Machado-da-Silva, C. (2003). Qualitative Research & Evaluation Methods. Revista de Administração Contemporânea, 7, 219-219. https://doi.org/10.1590/S1415-65552003000200018

Mallett, A., & Pal, P. (2022). Green transformation in the iron and steel industry in India: Rethinking patterns of innovation. Energy Strategy Reviews, 44, 100968. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100968

Markard, J., & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. Research Policy, 37(4), 596-615. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.01.004

Mohammadi, M. (2013). Formation of

Emerging Technological Innovation System in Iran; Case of Nanotechnology Sector. Journal of Science and Technology Policy, 5(4), 19-32. [in persian] [link]

Peyman Akbari , Mostaffa Shayegh, (2024). Analysis of the effect of green human resource management and corporate social responsibility on sustainable performance with an emphasis on the mediating role of organizational citizenship behavior in an environment-oriented approach towards the development, Journal of Green Development Management Studies, 2(2), 41-66. magiran.com/p2692093

Quader, M. A., Ahmed, S., Ghazilla, R. A. R., Ahmed, S., & Dahari, M. (2015). A comprehensive review on energy efficient CO2 breakthrough technologies for sustainable green iron and steel manufacturing. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 594-614. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.026

Rahmani, S., AlizadehSani, M., Manteghi, M., & Farzami, H. (2021). Factors Affecting Technological catch-up failure in Iran's Steel Value Chain. Journal of Technology Development Management, 9(2), 163-196. https://doi.org/10.22104/jtdm.2021.4796.2768

Rahmani, S., Ranjbar, M. S., & Mafi, V. (2022). Transition pathways, transition failure, and sustainable transition in developing countries: Insights from wind turbines in Iran. Energy for Sustainable Development, 70, 133-145. [in persian] https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.07.010

Saravade, V. (2019). Green Bonds: Current Development and Their Future. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10059.82722

Skoczkowski, T., Verdolini, E., Bielecki, S., Kochański, M., Korczak, K., & Węglarz, A. (2020). Technology innovation system analysis of decarbonisation options in the EU steel industry. Energy, 212, 118688. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118688

Suurs, R., & Hekkert, M. P. (2009). Motors of sustainable innovation.

Tahere Miremadi, M. B., Maryam Behzadirad. (2018). Structural-functional analysis of the Rotary Wing Technological Innovation System in Iran. Management of innovation, 7(1), 33-56. https://www.nowavari.ir/article_81030_221e8a9288bac400f1d3958b084eec87.pdf

UNFCCC. (2015). Adoption of the Paris Agreement FCCC/CP/2015/L. 9/Rev. 1. United Nations Framework Convention on Climate Change,

Vahdat, S. E. T., N. (2009). SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN ENVIRONMENT FOR IRON AND STEEL MAKING IN IRAN BY FUZZY LOGIC. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES, 35(51), 122-111. https://doi.org/https://sid.ir/paper/3001/en

Vercoulen, P., Lee, S., Han, X., Zhang, W., Cho, Y., & Pang, J. (2023). Carbon-Neutral Steel Production and Its Impact on the Economies of China, Japan, and Korea: A Simulation with E3ME-FTT:Steel. Energies, 16(11).

Wasserman, S., & Faust, K. (1994). Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge University Press.https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9780511815478

Wesche, J., Negro, S. O., Dütschke, E., Raven, R., & Hekkert, M. P. (2019). Configurational innovation systems – Explaining the slow German heat transition. Energy Research & Social Science, 52, 99-113. https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.12.015

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

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

WorldSteel. (2020a-a). Steel's Contribution to a Low Carbon Future and Climate Resilient Societies – Worldsteel Position Paper. https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:7ec64bc1-c51c-439b-84b8-94496686b8c6/Position_paper_climate_2020_vfinal.pdf

WorldSteel. (2020a-b). Steel's Contribution to a Low Carbon Future and Climate Resilient Societies – Worldsteel Position Paper https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:7ec64bc1-c51c-439b-84b8-94496686b8c6/Position_paper_climate_2020_vfinal.pdf

WorldSteel. (2024). World Steel in Figures 2024. https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024/

Yue, X., Deane, J. P., O'Gallachoir, B., & Rogan, F. (2020). Identifying decarbonisation opportunities using marginal abatement cost curves and energy system scenario ensembles. Applied Energy, 276, 115456. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115456