

A Multidimensional Alignment Framework for the Sustainability of Renewable Electrical Energy in the Industrial Sector: Based on Fuzzy Cognitive Map Analysis

Ali Alam 

Department of Systems Management, Faculty of Management and Accounting, Farabi College, University of Tehran, Qom, Iran

Mahsa Pishdar *

Department of Industrial Management and Technology, Faculty of Management and Accounting, Farabi College, University of Tehran

Mohammad Reza Fathi 

Department of Industrial Management and Technology, Faculty of Management and Accounting, Farabi College, University of Tehran

* Corresponding Author: mahsa.pishdar@ut.ac.ir

Amir Doudabi
Nejad 

Energy Economics Group, Niroo Research
Institute, Tehran, Iran

Abstract

The development of renewable electrical energy in the industrial sector requires multidimensional alignment across economic, social, environmental, and technological dimensions. This study aims to present a multidimensional alignment framework for sustainability and to analyze indicator interactions using fuzzy cognitive maps. Key indicators were extracted from literature review and expert opinions of 20 energy policymakers, industrial managers, and faculty members, with causal relationships analyzed via specialized software. Findings identified electricity price and demand, production self-sufficiency, energy saving, solar system installation, and climate change as main drivers; variables such as working capital and fossil fuel reduction played dual roles, while CO₂ reduction emerged as the response variable. The proposed framework supports strategic decision-making and roadmap development. Proposed solutions include smart monitoring and control systems based on IoT and digital twins, integrated energy management with employee self-help, non-governmental investment, public joint-stock companies, participatory models for small and medium-sized factories, and energy storage methods.

Keywords: Renewable Electrical Energy, Industrial Energy Sustainability, Strategic Alignment, Fuzzy Cognitive Maps, Sustainability Indicators

Introduction

The industrial sector occupies a strategic position in national energy policymaking because of its substantial share of electricity consumption and its essential contribution to production continuity, employment, and economic growth. A reliable electricity supply is therefore fundamental to industrial productivity, competitiveness, and resilience. Nevertheless, electricity imbalances during peak-demand periods often lead to supply restrictions for industrial units, causing reduced production capacity, lower efficiency and profitability, and, in some cases, temporary shutdowns. The existing electricity-generation portfolio remains highly dependent on fossil fuels, particularly natural gas. Constraints in fuel supply, increasing electricity demand, environmental concerns, and climate-change impacts demonstrate that the current energy system cannot adequately support long-term industrial growth. Renewable electrical energy—including solar, wind, and other clean sources—offers an important pathway for diversifying the electricity-generation mix, reducing fossil-fuel dependence, improving energy security, and mitigating environmental pollution and greenhouse-gas emissions.

However, renewable electricity development in the industrial sector is not solely a technological issue. Its sustainability depends on coherent alignment among economic, social, environmental, and technological dimensions. In practice, this alignment is challenged by inconsistent policies, inadequate infrastructure, limited financing mechanisms, insufficient operational coordination, and varying levels of industrial readiness. The absence of an integrated analytical framework for simultaneously examining these dimensions may lead to fragmented policies and ineffective investments.

Accordingly, this study aims to develop a multidimensional alignment framework for the sustainability of renewable electrical energy in the industrial sector. It also investigates the causal interactions among the effective indicators through the Fuzzy Cognitive Map (FCM) approach. The study addresses four questions: identifying the key indicators, determining causal relationships and influence levels, classifying indicators according to their roles in the system, and explaining their priorities within the proposed multidimensional framework.

Methodology

This research employed a fuzzy cognitive mapping approach to model the complex causal relationships among the indicators affecting renewable electricity sustainability in the industrial sector. FCM is an appropriate method for analyzing systems characterized by uncertainty, interdependence, feedback mechanisms, and reliance on expert knowledge.

The research process was conducted in four stages. First, relevant indicators were identified through a review of theoretical foundations, previous studies, and energy-sustainability literature. The indicators were classified into four dimensions: economic, social, environmental, and technological. Second, the preliminary indicators were reviewed and validated by a panel of 20 experts, including energy policymakers, managers from public and private industrial organizations, and university faculty members. All participating experts had more than five years of relevant professional or academic experience.

Third, the experts assessed the existence, direction, and strength of causal relationships among the identified indicators. Data were collected through a structured questionnaire distributed via the Porsia platform of the Iranian Research Institute for Information Science and Technology. The questionnaire was designed to require responses to all items; therefore, no missing data were observed. Expert judgments were aggregated to generate the final weighted adjacency matrix of the fuzzy cognitive map.

Results and Discussions

The study identified a set of key indicators influencing the alignment and sustainability of renewable electrical energy in the industrial sector across the four economic, social, environmental, and technological dimensions. The FCM analysis revealed that electricity price and demand, self-sufficiency in electricity generation, industrial energy saving, installation of solar-energy systems, and climate change are the principal driving variables in the system. These variables have high outgoing influence and play a decisive role in shaping the development path of renewable electricity in industry.

Electricity price and demand affect investment incentives, consumption behavior, and the economic feasibility of renewable-energy projects. Industrial self-sufficiency in electricity generation reduces dependence on the national grid and improves resilience against supply restrictions.

Energy-saving practices decrease industrial electricity demand and complement renewable-energy deployment. Solar-system installation contributes directly to decentralized clean-electricity production, while climate change acts as an important environmental driver that increases the urgency of energy transition and emission-reduction policies.

The findings also indicate that working capital in industries, industrial self-reliance, reduced fossil-fuel consumption, and environmental protection have bidirectional roles. These variables both influence and are influenced by other factors in the system. For example, access to working capital supports investment in renewable technologies, but it is itself affected by electricity costs, industrial performance, and policy incentives. Similarly, reduced fossil-fuel consumption contributes to environmental protection, while environmental policies and concerns can stimulate further reductions in fossil-fuel use.

The reduction of carbon dioxide emissions was identified as the main response variable. This indicates that emission reduction is primarily an outcome of coordinated improvements in electricity self-sufficiency, renewable-energy capacity, energy efficiency, financing, technology adoption, and environmental governance.

The proposed framework provides a structured basis for prioritizing policy interventions and industrial actions. It emphasizes smart consumption-monitoring and control systems, intelligent scheduling of industrial electricity use, Internet of Things (IoT)-based remote control, digital twins, integrated energy-management systems, employee participation in energy-saving initiatives, renewable-energy investment models, small-scale combined power plants for small and medium-sized enterprises, and electricity-storage solutions.

Conclusion

This study developed a multidimensional alignment framework for renewable electrical energy sustainability in the industrial sector using fuzzy cognitive maps. The findings demonstrate that sustainable renewable-energy development requires coordinated action across economic, social, environmental, and technological dimensions rather than isolated technological investments.

The results identify electricity price and demand, electricity self-sufficiency, industrial energy saving, solar-system installation, and climate change as the system's main drivers. Working capital, industrial

self-reliance, fossil-fuel reduction, and environmental protection serve as bidirectional variables, whereas carbon dioxide emission reduction is the main response variable. These results suggest that policymakers and industrial decision-makers should prioritize interventions that strengthen the system's key drivers and improve coordination among interdependent variables.

The framework can support strategic decision-making and the preparation of a national or sectoral roadmap for renewable electricity development in industry. Practical measures include implementing smart energy-management systems, expanding decentralized renewable generation, promoting collective and public investment models, supporting small and medium-sized industries through participatory projects, deploying energy-storage technologies, and using advanced analytical tools for demand and generation forecasting. Future studies may extend the framework by incorporating additional stakeholders, comparing industrial subsectors, and conducting scenario-based simulations under alternative energy-policy conditions.

ارائه چارچوب همترازی چندبعدی برای پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در بخش صنعتی: براساس تحلیل نقشه‌های شناختی فازی

گروه مدیریت سیستم‌ها، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان
فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران

علی عالم 

گروه مدیریت صنعتی و تکنولوژی، دانشکده مدیریت و حسابداری،
دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران

مهسا پیشدار *

گروه مدیریت صنعتی و تکنولوژی، دانشکده مدیریت و حسابداری،
دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران

محمد رضا فتحی 

گروه اقتصاد انرژی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

امیر دودابی نژاد - 

چکیده^۱

*نویسنده مسئول: mahsa.pishdar@ut.ac.ir

^۱ مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری رشته مدیریت صنعتی گرایش مدیریت سیستم‌ها دانشکدگان فارابی دانشگاه تهران است.

توسعه انرژی تجدیدپذیر در بخش صنعت نیازمند هم‌راستایی ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فناورانه است که با چالش‌هایی در سیاست‌گذاری، زیرساخت‌های صنعتی و سازوکارهای عملیاتی روبه‌روست. این پژوهش با هدف ارائه چارچوب هم‌راستایی چندبعدی و تحلیل تعامل شاخص‌ها با نقشه‌های شناختی فازی انجام شد. شاخص‌ها از طریق مرور پیشینه و نظرخواهی از ۲۰ خبره شامل سیاست‌گذاران، مدیران صنعتی و اعضای هیئت علمی استخراج و روابط علی با نرم‌افزار تحلیل گردید. یافته‌ها نشان داد که شاخص‌های قیمت و تقاضای برق، خودکفایی تولید، صرفه‌جویی انرژی، نصب سامانه‌های خورشیدی و تغییر اقلیم به‌عنوان محرک‌های اصلی، متغیرهایی چون سرمایه‌در گردش و کاهش مصرف سوخت فسیلی دوطرفه بوده و کاهش دی‌اکسیدکربن متغیر پاسخ است. چارچوب پیشنهادی بستری برای تصمیم‌گیری راهبردی فراهم می‌کند. راهکارهایی نظیر استقرار سامانه‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال، مدیریت یکپارچه با رویکرد خودیاری، سرمایه‌گذاری غیردولتی، شرکت‌های سهامی عام، مدل‌های مشارکتی برای صنایع کوچک و متوسط و روش‌های ذخیره‌سازی انرژی پیشنهاد شد.

کلیدواژه‌ها: انرژی الکتریکی تجدیدپذیر، پایداری انرژی صنعتی، هم‌ترازی راهبردی، نقشه‌های شناختی فازی، شاخص‌های پایداری

۱. مقدمه

تأمین پایدار انرژی یکی از الزامات اساسی توسعه اقتصادی و صنعتی در جهان معاصر به شمار می‌رود. رشد سریع تقاضای انرژی، محدودیت منابع فسیلی و افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضرورت گذار به نظام‌های انرژی پایدار را بیش از پیش برجسته کرده است (جهانگرد و همکاران، ۲۰۲۰). امروزه انرژی الکتریکی نقش بسیار مهمی در کیفیت زندگی جوامع بشری ایفا می‌کند، نیاز به برق به طور مداوم در حال افزایش است (معتضدیان، ۲۰۲۴). توسعه این منابع علاوه بر کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، می‌تواند به افزایش امنیت انرژی، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و تقویت تاب‌آوری سیستم‌های انرژی کمک کند. انرژی الکتریکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حامل‌های انرژی، نقش کلیدی در توسعه اقتصادی و به‌ویژه در بخش صنعت ایفا می‌کند (حیرانی و همکاران، ۲۰۲۳). پایداری تأمین برق برای واحدهای صنعتی، عاملی حیاتی در تداوم تولید، افزایش بهره‌وری و حفظ رقابت‌پذیری بنگاه‌های اقتصادی محسوب می‌شود، اما ناترازی در دوره‌های اوج مصرف به شکل محدودیت در تأمین برق صنایع نمایان می‌شود.

و پیامدهایی نظیر کاهش ظرفیت تولید، افت بهره‌وری، کاهش سودآوری و حتی توقف موقت فعالیت برخی واحدهای صنعتی را به دنبال دارد.

در چنین شرایطی به علت عدم تنوع در سبد تولید برق کشور و وابستگی بالای آن به گاز و محدودیت تأمین سوخت گاز، شرایط فعلی نمی‌تواند پاسخگوی برق مورد نیاز جهت رشد اقتصادی کشور باشد، لذا تنوع بخشی به سبد تولید برق ضروری و ازاولویتهای کشور است (مرکز پژوهش‌های مجلس^۱، ۱۴۰۲)، توسعه انرژی‌های الکتریکی تجدیدپذیر به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش فشار بر شبکه برق، افزایش امنیت انرژی و حرکت به سوی توسعه پایدار مطرح شده است. استفاده از منابعی نظیر انرژی خورشیدی، بادی و سایر منابع تجدیدپذیر می‌تواند علاوه بر کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، به تنوع بخشی در منابع تولید برق و افزایش پایداری سیستم انرژی کمک کند. با این حال، تحقق کامل این هدف مستلزم وجود چارچوبی منسجم برای همترازی سیاست‌ها، زیرساخت‌ها، سرمایه‌گذاری‌ها و اقدامات اجرایی در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی، فناوری و محیط‌زیستی است. همترازی میان این ابعاد می‌تواند موجب هماهنگی میان بازیگران اصلی حوزه انرژی از جمله سیاست‌گذاران، نهادهای اجرایی و نظارتی، تولیدکنندگان انرژی تجدیدپذیر و مصرف‌کنندگان صنعتی شده و زمینه تحقق پایداری در نظام تأمین انرژی را فراهم سازد.

با توجه به چالش‌های موجود در تأمین پایدار انرژی الکتریکی در بخش صنعت و ضرورت توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر، یکی از مسائل اساسی در این حوزه شناسایی و درک روابط میان عوامل مؤثر بر همترازی و پایداری این نوع انرژی در بخش صنعتی کشور است. نبود یک چارچوب تحلیلی یکپارچه برای بررسی همزمان ابعاد اقتصادی، اجتماعی، فناوری و محیط‌زیستی و همچنین عدم شناخت دقیق میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری شاخص‌های مختلف، می‌تواند موجب ناکارآمدی سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر شود. از این رو، تبیین ساختار روابط میان این شاخص‌ها و تعیین نقش هر یک در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در بخش صنعت، به‌عنوان یک مسئله پژوهشی مهم مطرح می‌شود.

^۱ مسائل راهبردی بخش انرژی در برنامه هفتم توسعه - ۱۹۲۸۷

ساختار این مقاله به این صورت تنظیم شده است که پس از این مقدمه، در بخش دوم مروری بر پیشینه پژوهش و مبانی نظری ارائه می‌شود. در بخش سوم روش‌شناسی تحقیق و گام‌های مدل نقشه‌شناختی فازی تشریح می‌گردد. بخش چهارم به تحلیل یافته‌ها و نتایج پژوهش اختصاص دارد و در نهایت، در بخش پایانی جمع‌بندی نتایج، ارائه پیشنهادها و بیان مسیرهای پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده ارائه خواهد شد.

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، از رویکرد نقشه‌های شناختی فازی به عنوان ابزاری مناسب برای مدل‌سازی روابط علیّ میان متغیرهای پیچیده و بهره‌گیری از دانش خبرگان استفاده می‌گردد. این روش امکان تحلیل برهم‌کنش‌ها، تعیین میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری شاخص‌ها، و تعیین محرک، پاسخ و خنثی را در نظام توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر را فراهم می‌سازد. نوآوری این مقاله در ارائه یک چارچوب تحلیلی یکپارچه برای فهم ساختار علیّ شاخص‌ها و تبیین جایگاه آنها در پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر است که رتبه‌بندی شاخص‌ها نیز بخشی از خروجی آن به‌شمار می‌آید. همچنین بر این اساس، پژوهش حاضر در پی پاسخ‌گویی به سؤالات ذیل است:

سوال اول- شاخص‌های کلیدی مؤثر بر همترازی و پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در بخش صنعت کشور کدام‌اند؟

سوال دوم- روابط علیّ و میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری میان این شاخص‌ها چگونه است؟

سوال سوم- کدام شاخص‌ها نقش محرک، کدام نقش وابسته و کدام نقش دوسویه در نظام توسعه انرژی تجدیدپذیر صنعتی دارند؟

سوال چهارم- جایگاه، اولویت و نقش هر یک از این شاخص‌ها در چارچوب همترازی چندبعدی پیشنهادی چگونه قابل تبیین است؟

۲. پیشینه پژوهش

طبق مطالعه ابان^۱ و همکاران (۲۰۲۲)، اهمیت انرژی در عملکرد اقتصاد و جامعه یک ملت قابل اغراق نیست. با این وجود، بخش عمده‌ای از تقاضای جهانی انرژی همچنان توسط سوخت‌های فسیلی تجدیدناپذیر مانند نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی برآورده می‌شود.

^۱ Abban, O. J

چن^۱ (۲۰۲۲)، فنگ^۲ و همکاران (۲۰۲۲) و فرگاهی^۳ و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقات خود بیان داشتند که دسترسی به استانداردهای بالای تولید و مصرف انرژی، شاخص کلیدی موفقیت یک کشور در دستیابی به توسعه است. با این حال، تولید و مصرف انرژی، چه فسیلی و چه غیرفسیلی، علیرغم نقشی که در کمک به رشد و توسعه اقتصادی دارد، تهدیدات و چالش‌های مهمی برای محیط زیست و توسعه پایدار ایجاد می‌کند.

در محیط‌های صنعتی، کارایی انرژی از طریق بهینه‌سازی ماشین‌آلات، کاهش تلفات انرژی و اجرای فناوری‌های بهره‌وری انرژی حاصل می‌شود که هدف آن کاهش مصرف انرژی در عین حفظ یا بهبود خروجی تولید است (احمدی و همکاران، ۲۰۲۲). این امر شامل ارزیابی میزان کار، خروجی یا خدمات مفید از انرژی مصرف شده توسط شرکت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی است. یزدانی و همکاران (۲۰۲۳)، طی مطالعه‌ای بیان داشتند که منافع استفاده از نقشه شناختی فازی اولاً امکان در نظر گرفتن وابستگی‌های متقابل بین معیارها فراهم می‌نماید و ثانیاً تعریف سیستمی مفاهیم را ممکن می‌نماید به طوری که اجازه می‌دهد معیارها را با تغییرات بالقوه پیوند داده و در نتیجه تحولات سیستم را یکپارچه کند.

یکی از شکاف‌های عمده، فقدان یک رویکرد ساختاریافته و مبتنی بر داده برای تعیین و اولویت‌بندی مؤثرترین استراتژی‌های انرژی در بخش پتروشیمی است. فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند هوش مصنوعی و نقشه‌های شناختی فازی می‌توانند نقش کلیدی در بهینه‌سازی مصرف انرژی و غلبه بر موانع موجود ایفا کنند. با این حال، این روش‌ها به طور گسترده‌ای در چشم‌انداز صنعتی ایران به کار گرفته نشده‌اند (مدیرزاده و همکاران، ۲۰۲۴). (علوی و همکاران، ۲۰۲۱) ادغام داده‌ها و یادگیری ماشین را برای به دست آوردن اطلاعات تامین کنندگان و معیارها پیشنهاد می‌کند. (دولگه^۴ و همکاران، ۲۰۲۴) در طی مطالعه‌ای از روش نقشه شناختی فازی برای تحلیل مدل‌های ذهنی ذینفعان مختلف در رابطه با اهمیت درک شده آنها از عوامل مختلف مؤثر بر اجرای ذخیره‌سازی انرژی در محیط شهری استفاده کردند. با این حال، توسعه و پذیرش راهبردهای بهره‌وری انرژی برق در بخش صنعتی ایران به کندی پیش می‌رود و این کشور در پیاده‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های

^۱ Chien, F

^۲ Fang, J

^۳ Farghali, M

^۴ Dolge, K

بهره‌وری انرژی در مقایسه با روندهای جهانی عقب مانده است (جباری^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). پروژه‌های تجدیدپذیر در سال‌های اخیر رشد کرده‌اند. سیستم‌های خانگی خورشیدی و شبکه‌های کوچک اکنون بخشی از ترکیب انرژی هستند. حدود شش میلیون خانه اکنون با انرژی خورشیدی کار می‌کنند، که عمدتاً در مناطق روستایی هستند (المحبوب و همکاران، ۲۰۲۳). تولید انرژی الکتریکی با روش فسیلی با چالش‌های زیادی از جمله فناوری‌های قدیمی، حمایت‌های ناکافی سیاستی، نبود مشوق‌های مالی برای سرمایه‌گذاری در سیستم‌های انرژی نو مواجه هستند (قاسمی و همکاران، ۲۰۲۳). در مطالعه خود اعلام داشتند که نقشه‌های شناختی فازی را می‌توان به عنوان پویا تعریف کرد. سیستم‌هایی که از حالت اولیه اجازه می‌دهند تا حالت‌های جدید سیستم‌ها را در هر مرحله زمانی معین با روابط علی استنتاج کنند (شارما^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند یادگیری ماشین می‌تواند به شناسایی اقدامات مؤثر در جهت پایداری انرژی کمک کرده، مصرف انرژی را بهینه‌سازی کرده و بینش‌های پیش‌بینی‌کننده‌ای برای غلبه بر موانع سنتی ارائه دهد (رنجبر و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، تمرکز بر تعیین و اولویت‌بندی مولفه‌های پایداری انرژی برق به ویژه در بخش صنعت، برای رفع چالش‌های انرژی ایران و بهبود امنیت انرژی در بلندمدت حیاتی است. صنعت پنج اصول پایداری را عمیق‌تر می‌کند و استفاده از منابع تجدیدپذیر و کاهش هدررفت انرژی از طریق شیوه‌های اقتصاد چرخشی را ترویج می‌کند. فرآیندهای بهره‌ور انرژی به منظور کاهش ضایعات، بازیافت مواد و کاهش ردپای کلی انرژی در تولید طراحی شده‌اند (برک^۳ و همکاران، ۲۰۲۱).

در مطالعه‌ای توسط نیکاس^۴ و همکاران (۲۰۲۰) چنین مشخص شد که نقشه شناختی فازی می‌تواند به شناسایی موانع مرتبط با چالش‌های موجود در سیاست‌های انرژی و پایداری کمک کند. به عنوان مثال، با استفاده از یک چارچوب ساختار یافته نقشه شناختی فازی، دینفعان خطرات مختلف مرتبط با این انتقال انرژی را شناسایی کردند. موانع برجسته‌شده شامل تأثیرات بالقوه پایدار رکود اقتصادی مداوم، پذیرش محدود عمومی از طرح‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، بی‌ثباتی نظارتی، هزینه‌های بالای فناوری، و جهت‌گیری سیاست

^۱ Jabari, L

^۲ Sharma, A

^۳ Breque, M

^۴ Nikas, A

نامطلوب است که می‌تواند منجر به قفل شدن فناوری شود. مدل سازی نقشه شناختی فازی در برنامه ریزی سیاست مفید است.

گویدن^۱ و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند که ابزارها و روش‌های زیادی برای توصیف روابط علی بین عوامل تأثیرگذار و تحلیل تأثیر تغییرات رابطه علی در یک سیستم تصمیم‌گیری پویا باید مورد استفاده قرار گیرد. نقشه‌های شناختی فازی می‌توانند روابط علی عوامل تأثیر را توسط ساختار شبکه نشان دهند و از نمایش نمادین برای توصیف وضعیت سیستم‌های پیچیده استفاده کنند. تحول صنعتی پنج برخلاف تولید انبوه در تحول صنعتی چهار، ترویج شخصی سازی انبوه را در پیش گرفته است. با تولید محصولات براساس تقاضا به جای تولید انبوه، مصرف انرژی کاهش می‌یابد زیرا محصولات کمتری به طور غیرضروری تولید می‌شوند و تولید با تقاضای واقعی بهتر هماهنگ است (نهادنی، ۲۰۱۹). (سولانگی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹) بیان داشتند که استراتژی‌های انرژی ایده‌آل چندین هدف کوتاه‌مدت و همچنین بلندمدت را برای بهبود توزیع منابع، بسته به قابلیت‌ها و پتانسیل‌های مناطق مختلف تحت محدودیت‌های مختلف، مانند محدودیت‌های تکنولوژیکی، محدودیت‌های بودجه‌ای، اهداف متضاد (عمدتاً با انگیزه ژئوپلیتیکی) و غیره هدف قرار می‌دهند. با این وجود، توسعه استراتژی‌ها و سیاست‌های انرژی باید برای اجرای موثر این سیاست در اولویت قرار گیرد، این یک فرآیند تصمیم‌گیری ترکیبی چند بعدی است که شامل چندین موضوع از جمله فنی، اقتصادی، اکولوژیکی و اجتماعی است.

گلایکز^۳ نقشه‌های شناختی فازی را به عنوان یک فرمالیسم مدل‌سازی محاسباتی معرفی می‌کنند که پیچیدگی را برطرف می‌کند و امکان تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی معیارها را فراهم می‌کند.

۲.۱. شناسایی شاخص‌های موثر

مطالعات انجام شده در جدول شماره ۱ خلاصه نویسی شده است. همچنین به منظور افزایش شفافیت شاخص‌های موثر در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر و بررسی دقیق مقالات در حوزه پایداری و انرژی الکتریکی تجدیدپذیر، شاخص‌ها و ویژگی‌هایی در حوزه اقتصادی، اجتماعی، محیطی، فناوری و زیرساخت دسته‌بندی گردید. این شاخص‌ها

^۱ Govindan, K

^۲ Solangi, YA

^۳ Glykas, M.

در در مرحله اول طبق نظر خبرگان با طیف امتیازی لیکرت مورد بررسی قرار گرفت و شاخص‌هایی که بیش از مقدار متوسط بودند به عنوان شاخص‌های کلیدی انتخاب شدند که در طراحی پرسشنامه نقشه شناختی فازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول ۱. خلاصه مطالعات پیشین جهت تعیین شاخص‌ها

نام نویسنده	سال	شاخص‌ها و معیارها	متد و روش مورد استفاده در تحقیق
آنا یوجواریگل ^۱ و همکاران	۲۰۲۵	قیمت برق، وخامت اقتصادی، تقاضای انرژی الکتریکی، سرمایه‌گذاری خارجی، اقتصاد مبتنی بر سوخت‌های فسیلی، درآمد حاصل از صادرات سوخت‌های فسیلی، قیمت جهانی تجهیزات، سرمایه‌گذاری دولتی، حمایت دولتی، ایجاد شغل، قابلیت اطمینان، و توسعه و کارایی فناوری، توسعه انرژی خورشیدی، مقررات محیط زیستی، قوانین انرژی‌های تجدید پذیر	رویکرد نقشه‌های شناختی فازی و تحلیل پایداری شبکه
اوسی و فگبولا ^۲	۲۰۲۵	تقاضای انرژی تجدید پذیر و غیرتجدید پذیر، تولید ناخالص ملی، نرخ تولید انرژی براساس سرمایه‌گذاری، جمعیت، انتشار گاز دی اکسید کربن، نرخ تورم، قیمت گذاری، درصد دسترسی به انرژی الکتریکی	پیش بینی براساس یادگیری ماشین
نیکان شاهوردی و همکاران ^۳	۲۰۲۵	بهینه‌سازی، انرژی بادی، انرژی خورشیدی، انرژی زیست توده، سیستم پشتیبان تصمیم، توسعه پایدار، ذخیره انرژی، شبکه عصبی مصنوعی	هوش مصنوعی و یادگیری ماشین – پایداری انرژی تجدید پذیر
سرکان و همکاران ^۴	۲۰۲۴	اثربخشی هزینه‌ها، پایداری سیاسی، قوانین و مقررات بانفوذ، حمایت دولت از تولید انرژی تجدید پذیر، تاب آوری حاکمان، کارکنان با صلاحیت، بازسازی، برآوردسازی انتظارات مشتری	یادگیری ماشین و منطق فازی

^۱ Ujwary –Gil,A

^۲ Ossai,W , Matthew Fagbola,T

^۳ Shahverdi, N , Saffari, A , Amiri,B

^۴ Eti,S

نام نویسنده	سال	شاخص ها و معیارها	متد و روش مورد استفاده در تحقیق
علیجویو ^۱	۲۰۲۴	هوش مصنوعی، امنیت سایبری، تحلیل داده‌ها، استفاده از اینترنت اشیا در انرژی تجدیدپذیر، تولید جمع پذیر انرژی، محاسبات ابری	هوش مصنوعی و یادگیری عمیق
سلیم کریمی تکلو ^۲ و همکاران	۲۰۲۴	افزایش انتظارات مشتری، دسترسی تامین منابع، آموزش و پشتیبانی مستمر، کاهش اثرات محیط زیستی، گزارش دهی از سیستم در جهت پایداری، اطلاع رسانی، مشارکت نهادهای مردمی، تنظیم مقررات و قوانین، توجه به ذی نفعان، افزایش سرمایه گذاری در حوزه انرژی، مزیت رقابتی، قیمت گذاری و فرصت بازار	نقشه شناختی فازی شهودی و تحلیل توسعه انرژی های پایدار
سایان داس و سودیپتا دی ^۳	۲۰۲۳	پتانسیل عظیم منابع انرژی تجدیدپذیر، توانایی تقویت تولید ماژول‌های خورشیدی و بادی، سرمایه گذاری ماژول‌های خورشیدی، پتانسیل حمایت مالی خارجی، انرژی پایدار با استفاده از سیستم انرژی تجدیدپذیر، گسترش تحقیق و توسعه فناوری، مزیت های جغرافیایی	تصمیم گیری چند شاخصه - فازی مردد و مدل □□□□
یانچون پان و هاشم زاده ^۴ (۲۰۲۳)	۲۰۲۳	مفهوم ضریب ظرفیت، بلوغ فناوری. کارایی، انتشار □□□، ظرفیت منبع، انرژی مصرفی، مواد و ملزومات، زمین موردنیاز، سرمایه اولیه مصرفی، عملیات و نگهداری، دوام منابع، طول عمر تجهیزات	چارچوب ارزیابی مبتنی بر اقتصاد دایره‌ای برای افزایش پایداری در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر با ملاحظات چرخه عمر

۲,۲ تعریف مفاهیم و شاخص ها

^۱ Franciskus Antonius Alijoyo

^۲ Salim, K,T

^۳ Das,S, Sudipta De

^۴ Pan, Y, Hashemizadeh, A

به منظور احصاء مفاهیم و شاخص های اصلی موثر در پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در بخش صنعت، مقالات اوسی و فگبول، کریمی تکلو مورد توجه قرار گرفت که مطالعات پایداری انرژی الکتریکی با نگرش اقتصادی و فناوری می باشند، همچنین مقالات متعددی با مضامین مرتبط با محیط زیست منتشر گردیده است که می توان به مقالات یوجوارینگل، یانچون پان و شاهوردی اشاره نمود. با مطالعه مقالات مزبور، شاخص هایی استخراج گردید که در اختیار خبرگان قرار گرفت و با توجه به امتیازات کسب شده، شاخص های اقتصادی و شاخص فناوری و زیرساخت در جدول ۲ ثبت گردیده است.

جدول ۲. شاخص های اقتصادی و فناوری موثر در پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر

نماد شاخص	مفهوم / شاخص فناوری و زیرساختی	نماد شاخص	مفهوم / شاخص اقتصادی
TEC_1	تقویت و کارایی فنی در پایداری انرژی الکتریک	ECC_1	قیمت انرژی الکتریکی
TEC_2	گسترش تحقیق و توسعه در پایداری انرژی الکتریک	ECC_2	تقاضای انرژی الکتریکی
TEC_3	تجهیزات و امکانات پیشرفته در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_3	درآمد و سودآوری صنایع
TEC_4	دانش و علم تخصصی در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_4	صادرات انرژی الکتریکی
TEC_5	رشد و بلوغ فناوری در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_5	مشارکت مالی نهاد مردمی در تولید انرژی الکتریکی
TEC_6	تحول صنعتی چهار و پنج در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_6	یارانه دولتی در تولید انرژی الکتریکی
TEC_7	ذخیره سازی انرژی در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_7	بهره وری صنایع با انرژی الکتریکی
TEC_8	قابلیت اطمینان و طول عمر تجهیزات در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_8	سرمایه در گردش صنایع در انرژی الکتریکی
TEC_9	نصب پنل های انرژی خورشیدی در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_9	دسترسی به منابع انرژی الکتریکی

TEC_{10}	استفاده از سایر فناوری های نوین در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_{10}	خود کفایی در تولید انرژی الکتریکی
TEC_{11}	کارایی و کیفیت تجهیزات در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_{11}	استقرار زنجیره تولید انرژی الکتریکی
TEC_{12}	ایده های نو و دانش بنیان در پایداری انرژی الکتریکی	ECC_{12}	عرضه انرژی الکتریکی در بورس

همچنین با مطالعات انجام شده براساس مقالات منتشر شده، شاخص محیطی و شاخص اجتماعی موثر در پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در جدول شماره ۳ گنجانده شده است.

جدول ۳. شاخص های محیطی و اجتماعی موثر در پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر

نماد شاخص	مفهوم / شاخص اجتماعی	نماد شاخص	مفهوم / شاخص محیطی
SOC_1	صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی در صنعت	ENC_1	مقررات محیط زیستی و پایداری
SOC_2	آموزش و فرهنگ سازی در صنایع و پایداری	ENC_2	حمایت از کاهش انتشار دی اکسید کربن صنایع و پایداری
SOC_3	خود ا تکایی و خودیاری در صنعت و پایداری	ENC_3	کاهش مصرف سوخت فسیلی در صنعت و پایداری
SOC_4	توجه به سلامت و رفاه کارکنان صنعت	ENC_4	پتانسیل و ظرفیت تولید انرژی تجدید پذیر و پایداری
SOC_5	اشتغال در صنایع و پایداری انرژی الکتریکی	ENC_5	مشارکت در تعهدات بین المللی و پایداری انرژی الکتریکی
SOC_6	حمایت رسانه و تبلیغات در پایداری	ENC_6	محافظت از محیط زیست در پایداری
SOC_7	ثبات سیاسی و حکمرانی در پایداری	ENC_7	کاهش آلودگی هوا در پایداری
SOC_8	تصمیمات صنفی صنایع موثر در محیطی پایداری	ENC_8	مزیت جغرافیایی تولید انرژی تجدید پذیر و پایداری

SOC_q	گسترش هوش مصنوعی در پایداری	ENC_q	کمبود آب و منابع مرتبط در پایداری
$SOC_{1,}$	قوانین توسعه انرژی پاک در پایداری	$ENC_{1,}$	تغییرات اقلیمی در پایداری

۳. روش شناسی

نقشه‌های شناختی فازی تکنیکی است که کاساکو برای مدل سازی کمی بر پایه دانش و تجربه کارشناسان و متخصصان ایجاد نموده به طوری که یک گراف کارآمد فازی است که گره ها، مفاهیم و کمان ها، روابط بین مفاهیم را نشان می دهند.

(پِرز^۱ و همکاران، ۲۰۱۹) درجه ارتباط از طریق اعداد فازی یا ارزش زبانی، تعریف شده در فاصله [۱،۱-] توصیف می شود. نقشه شناختی فازی متشکل از n مفهوم، در یک ماتریس $n \times n$ است (ماتریس مجاورت) نمایش داده می شود. این ماتریس از مقادیر اختصاص داده شده به کمان ها به دست می آید. همچنین (تیرولاس^۲، ۲۰۲۲) به طور خلاصه این سه حالت را به صورت ذیل بیان داشته است:

الف- افزایش ارزش مفهوم i ام باعث افزایش ارزش مفهوم j ام می شود (به این صورت که اگر ارتباط مثبت بین دو مفهوم وجود داشته باشد): $w_{ij} > 0$

ب- افزایش ارزش مفهوم i ام باعث کاهش ارزش مفهوم j ام می شود (یک علیت منفی وجود داشته باشد): $w_{ij} < 0$

ج- هیچ رابطه ای بین مفهوم i ام و مفهوم j ام وجود ندارد. $w_{ij} = 0$

همچنین (سالِمرون، ۲۰۱۹) مقادیر w_{ij} نشان می دهد به چه مقدار یا کد مفهوم (C_i) بر مفهوم دیگر (C_j) نفوذ می گذارد.

مرکزیت یک مفهوم C_j در یک نقشه شناختی فازی به وسیله مجموع تعداد مفاهیم نفوذی (که به طور مستقیم یا غیرمستقیم) C_j و تعداد مفاهیم وابسته از C_j معلوم می شود، این اعداد به وسیله تعداد یال ها در مسیرهای منتهی به C_j و خارج شده از آن معلوم می شوند. در مورد نقشه شناختی فازی، تعداد و همچنین میزان نفوذ رابطه های علیت و معلولی را می توان در نظر گرفت تا دیدگاه دقیق تر از مفهوم مرکزیت را به صورت ذیل تعریف کند:

$$C(C_i) = IN(C_i) + OUT(C_i) \quad (1)$$

^۱ Pérez,

^۲ Tirovolas,

در رابطه بالا $IN(C_i)$ مقدار ورودی مجموع وزن رابطه های علی است که شامل تمام مسیرهای متصل شونده از گره های C_i به گره C_i با فرض $(i \neq j)$ می شود که به صورت رابطه ذیل محاسبه می شود:

$$IN(C_i) = \sum_{j=1}^N w_{ji} \quad (2)$$

همچنین در رابطه بالا $OUT(C_i)$ مقدار خروجی مجموع وزن رابطه های علی است که شامل تمامی مسیرهای متصل از گره C_i به تمام گره های C_j با فرض $(i \neq j)$ می شود که به صورت رابطه ذیل محاسبه می شود:

$$OUT(C_i) = \sum_{j=1}^N w_{ij} \quad (3)$$

همچنین طبق مقاله (تیرولاس، ۲۰۲۲) در جمع بندی وزن های علی، مقادیر قدرمطلق برای اختصاص اهمیت برابر رابطه های مثبت و منفی به کار می رود. پس از توسعه نقشه شناختی فازی، اهمیت مفهوم که نشان می دهد یک مفهوم چقدر بر سایر مفاهیم در نقشه شناختی فازی تأثیر می گذارد، از طریق مرکزیت درجه محاسبه می شود و امکان تعیین علل اصلی را فراهم می کند. این مشخصه به صورت ذیل محاسبه می گردد:

$$C(C_i) = \sum_{j \neq i}^n |w_{ij}| + |w_{ji}| = OUT(C_i) + IN(C_i) \quad (4)$$

سالمرون^۱ در مقاله خود بیان داشته که نقشه های شناختی فازی به تدریج به عنوان یک الگوی قدرتمند برای نمایش دانش ظهور کرده اند آنها مکانیسمی انعطاف پذیرتر و طبیعی تر برای نمایش دانش و استدلال ارائه می دهند که برای سیستم های هوشمند ضروری هستند، یک نقشه های شناختی فازی شامل عواملی (مفاهیم/گره ها) است که عناصر مهم سیستم نگاشت شده را نشان می دهند و همین طور کمان های جهت دار که روابط علیتی بین عوامل را نشان می دهند.

مقدار A_i هر مفهوم C_i در لحظه $k + 1$ با مجموع مقدار قبلی A_i در لحظه مقدم t با حاصل ضرب مقدار A_j گره علت C_j در لحظه مقدم k و مقدار پیوند علت-معلول e_{ij} محاسبه می شود. نمایش ریاضی نقشه های شناختی فازی به صورت زیر است:

$$A_i^{k+1} = f(A_i^k + \sum_{j \neq i} w_{ji} \cdot A_j^k) \quad (5)$$

^۱ Salmeron, J,L

که در آن $f(0)$ یک تابع آستانه (فعال سازی) است. تابع آستانه سیگموئید مقادیر مفاهیم را در محدوده $[0, 1]$ ارائه می دهد و نوع ریاضی آن به صورت زیر است:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-mx}} \quad (6)$$

همچنین در این معادله m یک عدد حقیقی مثبت و x مقدار $A_i^{(k)}$ در نقطه تعادل است. براساس نظر بوریرو دومینگز و رودریگز (۲۰۲۳) در مقاله سیستم پشتیبان تصمیم گیری با نگرش نقشه شناختی فازی مراحل به صورت ذیل می باشند:

مرحله یک: انتخاب متخصصان و خبرگان.

متخصصان بر اساس دانش و تجربه گسترده خود در زمینه پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر انتخاب شدند. همه متخصصان حاضر در این نظرسنجی بیش از پنج سال تجربه در زمینه پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر داشتند.

مرحله دو: شناسایی عوامل، ویژگی ها و مفاهیم

بر اساس این مرحله، هر یک از خبرگان شاخص شناخته شده در مورد موضوع پژوهش را هنگام تکمیل پرسشنامه تایید نموده و اگر شاخص دیگری را که به نظر می رسد در پرسشنامه وجود ندارد، معرفی می کنند. پس از شناسایی شاخص اصلی مؤثر بر موضوع پایداری و همترازی مورد بررسی، خبرگان وجود و نوع روابط علی بین این شاخص را بر اساس جدول شماره ۶ تعیین نموده و سپس قدرت این روابط علی را با استفاده از یک مقیاس از پیش تعیین شده که قادر به توصیف هر نوع رابطه بین دو شاخص است، ارزیابی کند.

مرحله سه: تخمین قدرت پیوندهای علی در نقشه شناختی فازی

برای دستیابی به این هدف، تمام روابط قدرت پیشنهادی توسط افراد متخصص با استفاده از روش تجمیع به متغیرهای زبانی تبدیل می شوند تا یک وزن کلی زبانی به دست آید. این نقشه شناختی شامل درجه خروجی، درجه ورودی، مرکزیت، چگالی، سلسله مراتب و همچنین متغیرهای فرستنده، گیرنده و معمولی شاخص ها می باشد.

مرحله چهارم: محاسبات نقشه شناختی فازی

در مرحله بعد، تعدادی شبیه سازی با استفاده از فرآیند استنتاج ارائه شده توسط معادلات اصلی روش نقشه فازی شناختی انجام می شود. خروجی محاسبه شده مدل نقشه شناختی فازی نشان می دهد که چگونه سیستم تحت فرضیات ارائه شده توسط خبرگان مرتبط واکنش نشان

می‌دهد. طبق مقاله مزبور نیازی به انجام فازی زدایی نمی‌باشد و شبکه ایجاد شده از گره‌ها و یال‌ها با کمک نرم‌افزار محاسبات تا رسیدن به ماتریس مجاورت انجام گرفته و نتایج مربوط به مرکزیت و تفاضل و نقشه شناختی فازی حاصل می‌گردد. به منظور اجرای این مراحل جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از پلتفرم پرسا متعلق به پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک)^۱ انجام گردیده، به طوری که تعداد ۲۰ پرسشنامه در مدت دو هفته توسط خبرگان تکمیل گردید. این پرسشنامه به گونه‌ای تنظیم شده است که پاسخ‌دهندگان همه سوالات آن را تکمیل نمایند که در این صورت داده‌گمشده در پرسشنامه‌ها وجود ندارد. برای دستیابی به اجماع نظر و مدیریت‌پذیرش نظرات، ترکیب نفرات جدول شماره ۴ به عنوان تعریف عملیاتی خبرگان قید شده است.

جدول ۴. تعریف عملیاتی خبرگان

شماره	تعریف عملیاتی و معیارهای انتخاب	تحصیلات	وابستگی سازمانی	شماره	تعریف عملیاتی و معیارهای انتخاب	تحصیلات	وابستگی سازمانی
۱	عضو هیات علمی دانشگاه و نماینده	دکتری مدیریت	سیاست‌گذاری کلان و حکمرانی	۱۱	مدیر اجرایی و نماینده	کارشناسی ارشد	سیاست‌گذاری کلان
۲	عضو هیات علمی پژوهشگاه نیرو	دکتری اقتصاد		۱۲	مدیر ارشد و عضو هیات مدیره	کارشناسی ارشد	
۳	عضو هیات علمی پژوهشگاه نیرو	دکتری مهندسی		۱۳	مدیر ارشد و مشاور مدیرعامل	کارشناسی ارشد	پژوهشگاه و تحقیقاتی
۴	هیات علمی پژوهشگاه نیرو	دکتری مهندسی	فناوری و مهندسی	۱۴	عضو هیات علمی دانشگاه	دکتری مهندسی	

^۱ IRANDOC

شماره	تعریف عملیاتی و معیارهای انتخاب	تحصیلات	وابستگی سازمانی	شماره	تعریف عملیاتی و معیارهای انتخاب	تحصیلات	وابستگی سازمانی
۵	عضو هیات علمی دانشگاه	دکتری مدیریت		۱۵	مدیر عامل	دکتری مدیریت	شرکت های تولیدی و صنعتی بخش دولتی و بخش خصوصی
۶	عضو هیات علمی پژوهشگاه نیرو	دکتری تکنولوژی		۱۶	مدیر عامل	کارشناسی ارشد	
۷	هیات علمی و مدیر ارشد سازمان	دکتری اقتصاد	اقتصاد، مالی و بازار انرژی	۱۷	مدیر عامل	کارشناسی ارشد	
۸	مدیر ارشد	کارشناسی ارشد اقتصاد		۱۸	مدیر عامل	کارشناسی ارشد	
۹	هیات علمی و مشاور سازمان	دکتری مهندسی	محیط زیست و پایداری	۱۹	رئیس هیات مدیره	کارشناسی ارشد	
۱۰	مدیر ارشد و محقق	کارشناسی ارشد	معماری و مهندسی	۲۰	مدیر عامل	کارشناسی	

۴. یافته های پژوهش

پرسشنامه در چهار جنبه اقتصادی، جنبه اجتماعی، جنبه فناوری و زیرساخت، جنبه محیطی پایداری و همترازی بخش انرژی الکتریکی تجدید پذیر صنعتی با رویکرد تحلیل نقشه های شناختی فازی به تعداد ۴۴ سوال تهیه گردید. این پرسشنامه در ابتدا به دو نفر از

خبرگان پژوهشگاه نیرو ارسال گردید که طبق نظرات ایشان اصلاحاتی در سؤالات پرسشنامه ایجاد شد و سپس با تایید تیم تحقیق و با استفاده از پلتفرم پرسا توسط نفر خبرگان امور دانشگاهی و پژوهشگاهی، نهادهای قانون گذاری و مدیران اجرایی شرکت های دولتی و خصوصی صنعتی مرتبط با مصرف انرژی الکتریکی تکمیل گردید. انتخاب خبرگان به صورت هدفمند بوده و همه آنها به پرسشنامه الکترونیکی دسترسی داشتند. مطابق داده های به دست آمده از پرسشنامه، اطلاعات جمعیت شناسی خبرگان به صورت خلاصه در جدول شماره ۵ گنجانده شده است.

جدول ۵. خلاصه اطلاعات جمعیت شناختی خبرگان

شرح وضعیت شغلی	درصد	شرح جنسیت	درصد
شاغل در بخش پژوهشی و دانشگاهی	۲۵٪	مرد	۸۵٪
شاغل در بخش صنعتی دولتی	۲۵٪		
شاغل در بخش قانون گذاری	۱۰٪	زن	۱۵٪
شاغل در بخش صنعتی غیردولتی	۴۰٪		
شرح وضعیت تجربه		شرح سن	درصد
کمتر از ۵ سال	۰٪	سن زیر ۲۵ سال	۰
۶ تا ۱۵ سال	۳۰٪	۲۵-۴۰ سن	۲۵٪
۱۶ تا ۲۵ سال	۵۵٪	۴۱-۶۰ سن	۷۰٪
بیشتر از ۲۵ سال	۱۵٪	سن بالای ۶۰	۵٪

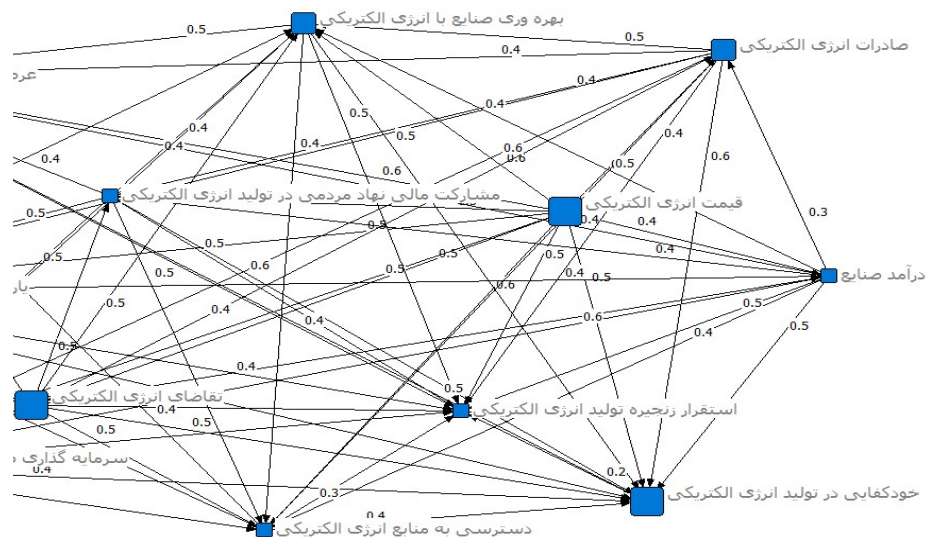
در این تحقیق در سامانه پرسا توسط ۲۰ نفر خبره تکمیل گردید، پایایی پرسشنامه مورد سنجش قرار گرفت که مقدار آلفای کرونباخ مطابق جدول ذیل ۰٫۸۳۱ می باشد که در محدوده قابل قبول قرار دارد و نشان دهنده پایایی و قابل اعتماد بودن پرسشنامه می باشد. روایی پرسشنامه گویای اعتبار پرسشنامه می باشد. به طور کلی برای تعیین روایی محتوایی پرسشنامه از قضاوت متخصصان و بررسی میزان پوشش و تناسب سؤالات با اهداف موضوع

تحقیق استفاده شد به طوری که پس از استخراج و دسته بندی عوامل پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر پرسشنامه طراحی شده طبق نظر تیم تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت و اصلاحات محتوایی انجام گردید. در ادامه به منظور تهیه نقشه شناختی طبق نظرات خبرگان، براساس نتایج بدست آمده برای هریک از شاخص ها که به عنوان یک سوال در پرسشنامه در نظر گرفته شده است. به منظور تهیه نقشه شناختی فازی مربوط به هر جنبه بر اساس جواب های کلامی طبق جدول شماره ۶ پرسشنامه توسط خبرگان تکمیل شده است. نتایج حاصل به منظور ایجاد یک ماتریس مجاورت نهایی مورد استفاده قرار می گیرد به طوری که فاصله هریک از پرسش ها با سایر پرسش های جنبه مورد نظر محاسبه گردیده و حاصل جمع نظرات خبرگان به عنوان یک ماتریس مجاورت نهایی جهت انجام محاسبات با نرم افزار FCMapper مورد استفاده قرار گرفته است تا مقادیر مربوط به مرکزیت و تفاضل هر شاخص محاسبه گردد.

جدول ۶. راهنمای امتیازدهی پرسشنامه

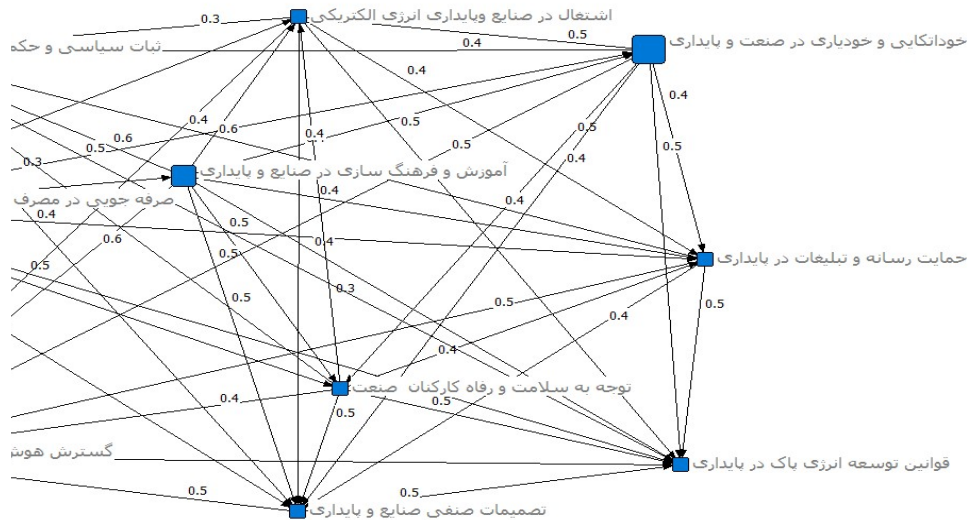
عبارت های کلامی (بیانی)	طیف لیکرت	عدد فازی
کاملاً مرتبط	۵	(۰,۷۵,۱,۱)
تا حدود زیادی مرتبط	۴	(۰,۵۰,۰,۷۵,۱)
مرتبط برابر نامرتبط	۳	(۰,۲۵,۰,۵۰,۰,۷۵)
تا حدود زیادی نا مرتبط	۲	(۰,۰,۰,۲۵,۰,۵)
کاملاً نامرتبط	۱	(۰,۰,۰,۰,۲۵)

الف- نقشه شناختی جنبه اقتصادی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در صنعت؛ شبکه مربوط به جنبه اقتصادی با در نظر گرفتن ۱۲ شاخص به عنوان گره ها و ارتباط گره ها که به صورت یال های گراف در نظر گرفته شده و نقشه شناختی فازی جنبه اقتصادی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در صنعت در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. این شکل شامل عنوان شاخص ها به صورت یک گره در شبکه می باشد که اندازه هر گره متناسب با مقدار مرکزیت می باشد.



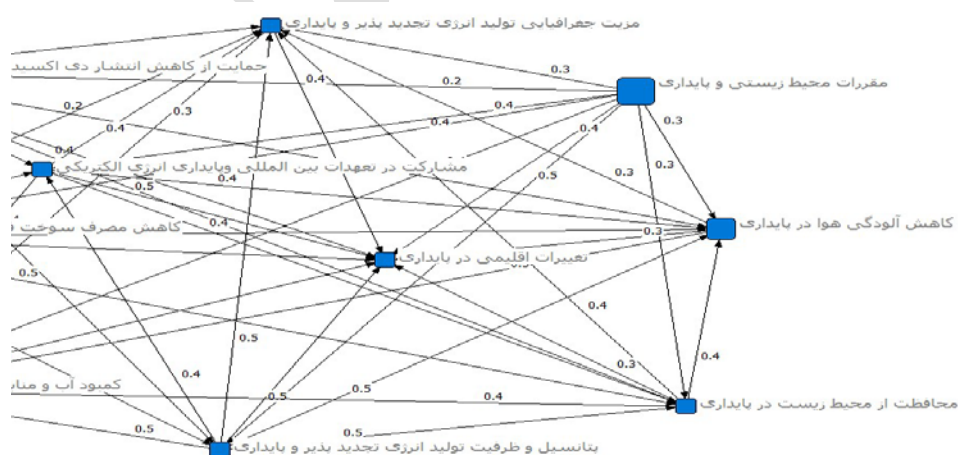
شکل ۱. نقشه شناختی فازی جنبه اقتصادی پایداری و همترازی انرژی الکتریکی

ب- نقشه شناختی فازی جنبه اجتماعی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی
تجدیدپذیر در صنعت؛ شبکه مربوط به جنبه اجتماعی با در نظر گرفتن ۱۰ شاخص به عنوان
گره‌ها و ارتباط گره‌ها که به صورت یال‌های گراف در نظر گرفته شده و نقشه شناختی فازی
جنبه اجتماعی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در صنعت در شکل
شماره ۲ نشان داده شده است.



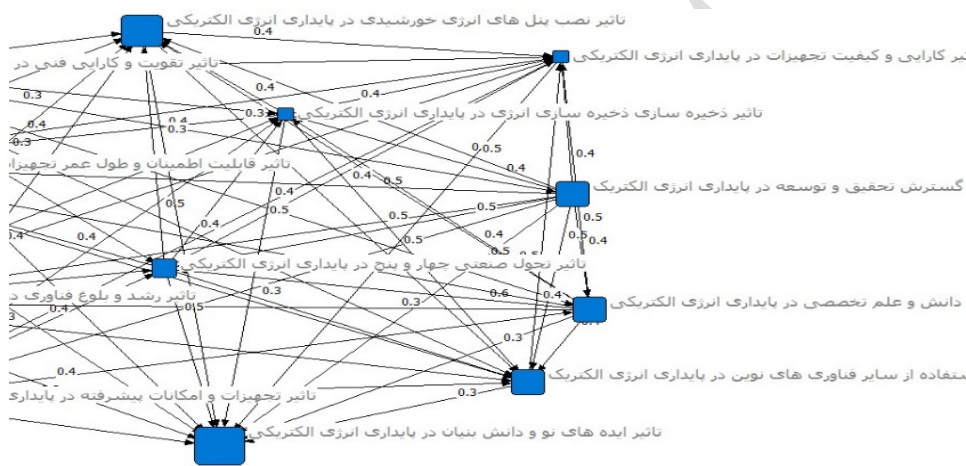
شکل ۲. نقشه شناختی فازی جنبه اجتماعی پایداری و همترازی انرژی الکتریکی

ج- نقشه شناختی جنبه محیطی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در صنعت؛ شبکه مربوط به جنبه محیطی با در نظر گرفتن ۱۰ شاخص به عنوان گره‌ها و ارتباط گره‌ها که به صورت یال‌های گراف در نظر گرفته شده و نقشه شناختی فازی جنبه محیطی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در صنعت در شکل شماره ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نقشه شناختی فازي جنبه محيطي پايداري و همترازی انرژی الکتریکی

د- نقشه شناختی فازي جنبه فناوری و زیرساخت در پايداري و همترازی انرژی الکتریکی
تجدیدپذیر در صنعت؛ شبکه مربوط به جنبه فناوری و زیرساختی با در نظر گرفتن ۱۲ شاخص به عنوان گره‌ها و ارتباط گره‌ها که به صورت یال‌های گراف در نظر گرفته شده و نقشه شناختی فازي جنبه فناوری و زیرساختی در پايداري و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در صنعت در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. نقشه شناختی فازي جنبه فناوری و زیرساختی پايداري و همترازی انرژی الکتریکی

در ادامه تحلیل نقشه‌های شناختی فازي مرتبط با چهار جنبه اقتصادی، اجتماعی، محیطی و فناوری بیان گردیده است. مقدار مرکزیت هر گره یا شاخص نشان دهنده اهمیت آن شاخص در شبکه مورد بررسی می‌باشد اگر اختلاف درجه خروجی در مقایسه با مقدار درجه ورودی مثبت باشد، نشان دهنده فرستنده یا تأثیرگذار (محرک) بودن گره در شبکه مورد بررسی می‌باشد، در صورتی که اختلاف درجه خروجی در مقایسه با مقدار درجه ورودی منفی باشد، نشان دهنده گیرنده یا تأثیرپذیر (پاسخ) بودن گره در شبکه می‌باشد، همچنین با توجه به محاسبات انجام شده، شاخص های تأثیرگذار و تأثیرپذیر و بدون تأثیر در جدول ها و اشکال ذیل مشخص شده است.

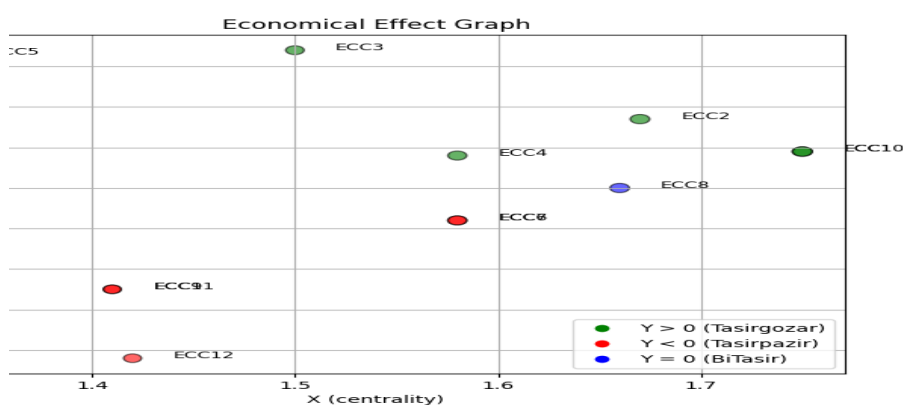
جدول ۷. مقادیر مربوط به شاخص های اقتصادی طبق نقشه شناختی فازي

مفهوم / شاخص اقتصادی	نماد شاخص	مرکزیت	تفاضل	وضعیت اثر شاخص اقتصادی	رتبه شاخص اقتصادی
قیمت انرژی الکتریکی	ECC_1	۱/۷۵	۰/۰۹	تأثیر گذار (محرك)	۱
تقاضای انرژی الکتریکی	ECC_2	۱/۶۷	۰/۱۷	تأثیر گذار (محرك)	۲
درآمد و سودآوری صنایع	ECC_3	۱/۵۰	۰/۳۴	تأثیر گذار (محرك)	۴
صادرات انرژی الکتریکی	ECC_4	۱/۵۸	۰/۰۸	تأثیر گذار (محرك)	۳
مشارکت مالی نهاد مردمی در تولید انرژی الکتریکی	ECC_5	۱/۳۳	۰/۳۳	تأثیر گذار (محرك)	۶
یارانه دولتی در تولید انرژی الکتریکی	ECC_6	۱/۵۸	-۰/۰۸	تأثیر پذیر (پاسخ)	۳
بهره وری صنایع با انرژی الکتریکی	ECC_7	۱/۵۸	-۰/۰۸	تأثیر پذیر (پاسخ)	۳
سرمایه در گردش صنایع در انرژی الکتریکی	ECC_8	۱/۶۷	۰	بی تأثیر (معمولی)	۲
دسترسی به منابع انرژی الکتریکی	ECC_9	۱/۴۲	-۰/۲۵	تأثیر پذیر (پاسخ)	۵
خودکفایی در تولید انرژی الکتریکی	ECC_{10}	۱/۷۵	۰/۰۹	تأثیر گذار (محرك)	۱
استقرار زنجیره تولید انرژی الکتریکی	ECC_{11}	۱/۴۲	-۰/۲۵	تأثیر پذیر (پاسخ)	۵
عرضه انرژی الکتریکی در بورس	ECC_{12}	۱/۴۲	-۰/۴۲	تأثیر پذیر (پاسخ)	۵

جدول شماره ۷ شاخص های اقتصادی را به همراه نماد شاخص و مقادیر مرکزیت، تفاضل، وضعیت اثر و رتبه شاخص ها را نشان می دهد به طوری که شاخص های قیمت انرژی الکتریکی، تقاضای انرژی الکتریکی، سرمایه در گردش صنایع در انرژی الکتریکی و خودکفایی در تولید انرژی الکتریکی به عنوان شاخص های بااهمیت بالا شناسایی شده اند.

در ادامه به منظور نمایش دقیق و واضح تر شاخص ها با استفاده از مصورسازی پایتون، شکل شماره ۵ وضعیت تأثیر شاخص های اقتصادی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی را نمایش می دهد. شاخص های قیمت انرژی الکتریکی، تقاضای انرژی الکتریکی، درآمد و سودآوری صنایع، صادرات انرژی الکتریکی، مشارکت مالی نهاد مردمی در تولید انرژی الکتریکی، خودکفایی در تولید انرژی الکتریکی به عنوان شاخص های تأثیر گذار اقتصادی

می باشند. شاخص های یارانه دولتی در تولید انرژی الکتریکی، بهره وری صنایع با انرژی الکتریکی، دسترسی به منابع انرژی الکتریکی، استقرار زنجیره تولید انرژی الکتریکی، عرضه انرژی الکتریکی در بورس به عنوان شاخص های تاثیرپذیر اقتصادی شناسایی شده اند.



شکل ۵. وضعیت تاثیر شاخص های اقتصادی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی

جدول شماره ۸ شاخص های اجتماعی را به همراه نماد شاخص و مقادیر مرکزیت، تفاضل، وضعیت اثر و رتبه شاخص ها را نشان می دهد به طوری که شاخص های صرفه جویی در مصرف انرژی، خوداتکایی و خودیاری در صنعت، به عنوان شاخص های بااهمیت بالا شناسایی شده اند.

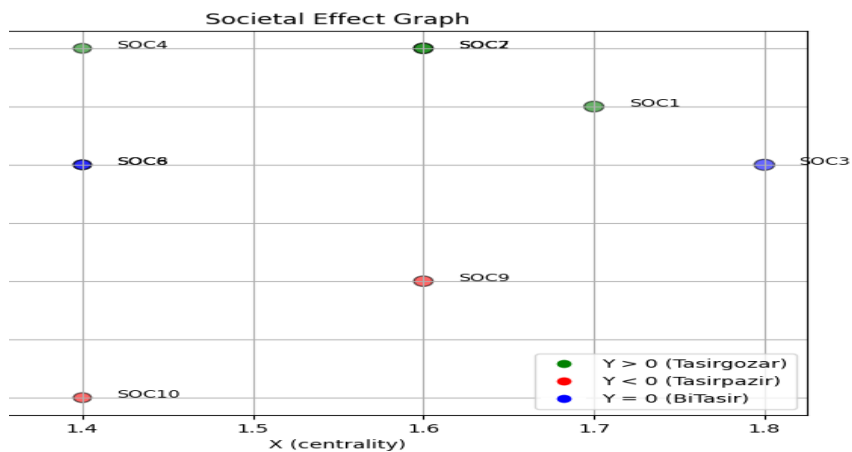
جدول ۸. مقادیر مربوط به شاخص های اجتماعی طبق نقشه شناختی فازی

رتبه شاخص اجتماعی	وضعیت اثر شاخص اجتماعی	تفاضل	مرکزیت	نماد شاخص	مفهوم / شاخص اجتماعی
۲	تاثیرگذار (محرك)	۰/۱	۱/۷۰	SOC_1	صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی در صنعت

۳	تاثیرگذار (محرک)	۰/۲	۱/۶۰	SOC_7	آموزش و فرهنگ سازی در صنایع و پایداری
۱	بی تاثیر (معمولی)	۰	۱/۸۰	SOC_3	خودانکایی و خودیاری در صنعت و پایداری
۴	تاثیرگذار (محرک)	۰/۲	۱/۴۰	SOC_4	توجه به سلامت و رفاه کارکنان صنعت
۵	تاثیرپذیر (پاسخ)	-۰/۱	۱/۳۰	SOC_5	اشتغال در صنایع و پایداری انرژی الکتریکی
۴	بی تاثیر (معمولی)	۰	۱/۴۰	SOC_6	حمایت رسانه و تبلیغات در پایداری
۳	تاثیرگذار (محرک)	۰/۲	۱/۶۰	SOC_7	ثبات سیاسی و حکمرانی در پایداری
۴	بی تاثیر (معمولی)	۰	۱/۴۰	SOC_8	تصمیمات صنفی صنایع و پایداری
۳	تاثیرپذیر (پاسخ)	-۰/۲	۱/۶۰	SOC_9	گسترش هوش مصنوعی در پایداری
۴	تاثیرپذیر (پاسخ)	-۰/۴	۱/۴۰	SOC_{10}	قوانین توسعه انرژی پاک در پایداری

در ادامه به منظور نمایش دقیق و واضح تر شاخص ها با استفاده از مصورسازی پایتون، شکل شماره ۶ وضعیت تاثیر شاخص های اجتماعی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی را نمایش می دهد.

شاخص های صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی در صنعت، آموزش و فرهنگ سازی در صنایع و پایداری، توجه به سلامت و رفاه کارکنان صنعت، ثبات سیاسی و حکمرانی در پایداری به عنوان شاخص های تاثیرگذار اجتماعی شناسایی شده اند و شاخص های اشتغال در صنایع و پایداری انرژی الکتریکی، گسترش هوش مصنوعی در پایداری و قوانین توسعه انرژی پاک در پایداری به عنوان شاخص های تاثیرپذیر تعیین شده است.



شکل ۶. وضعیت تاثیر شاخص های اجتماعی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی

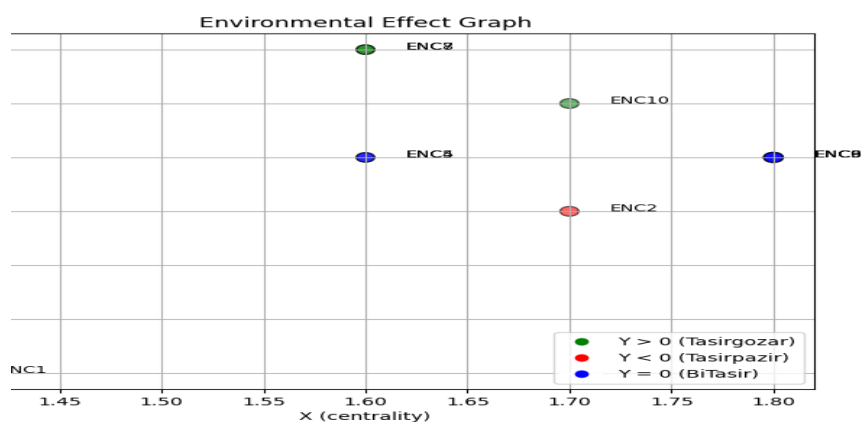
جدول شماره ۹ شاخص های محیطی را به همراه نماد شاخص و مقادیر مرکزیت، تفاضل، وضعیت اثر و رتبه شاخص ها را نشان می دهد به طوری که شاخص های کاهش مصرف سوخت فسیلی، حمایت از کاهش انتشار دی اکسید کربن، محافظت از محیط زیست، کمبود آب و منابع، تغییرات اقلیمی به عنوان شاخص های بااهمیت بالا شناسایی شده اند. در ادامه به منظور نمایش دقیق و واضح تر شاخص ها با استفاده از مصورسازی پایتون، شکل شماره ۷ وضعیت تاثیر شاخص های محیطی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی را نمایش می دهد.

جدول ۹. مقادیر مربوط به شاخص های محیطی طبق نقشه شناختی فازی

رتبه شاخص محیطی	وضعیت اثر شاخص محیطی	تفاضل	مرکزیت	نماد شاخص	مفهوم/شاخص محیطی
۴	تاثیرپذیر (پاسخ)	-۰/۴۰	۱/۴۰	ENC _۱	مقررات محیط زیستی و پایداری
۲	تاثیرپذیر (پاسخ)	-۰/۱۰	۱/۷۰	ENC _۲	حمایت از کاهش انتشار دی اکسید کربن صنایع و پایداری
۱	بی تاثیر (معمولی)	۰	۱/۸۰	ENC _۳	کاهش مصرف سوخت فسیلی در صنعت و پایداری

۳	بی تاثیر (معمولی)	۰	۱/۶۰	ENC_f	پتانسیل و ظرفیت تولید انرژی تجدید پذیر و پایداری
۳	بی تاثیر (معمولی)	۰	۱/۶۰	ENC_d	مشارکت در تعهدات بین المللی و پایداری انرژی الکتریکی
۱	بی تاثیر (معمولی)	۰	۱/۸۰	ENC_p	محافظت از محیط زیست در پایداری
۳	تاثیر گذار (محرک)	۰/۲	۱/۶۰	ENC_v	کاهش آلودگی هوا در پایداری
۳	تاثیر گذار (محرک)	۰/۲	۱/۶۰	ENC_a	مزیت جغرافیایی تولید انرژی تجدید پذیر و پایداری
۱	بی تاثیر (معمولی)	۰	۱/۸۰	ENC_n	کمبود آب و منابع مرتبط در پایداری
۲	تاثیر گذار (محرک)	۰/۱۰	۱/۷۰	ENC_{10}	تغییرات اقلیمی در پایداری

در حوزه محیطی شاخص های کاهش آلودگی هوا در پایداری، مزیت جغرافیایی تولید انرژی تجدید پذیر و پایداری و تغییرات اقلیمی در پایداری به عنوان شاخص های تاثیر گذار معرفی شده اند در حالی که شاخص های مقررات محیط زیستی و پایداری و حمایت از کاهش انتشار دی اکسید کربن صنایع و پایداری به عنوان شاخص های تاثیر پذیر محیطی تعیین شده اند. وضعیت شاخص های محیطی در شکل شماره ۷ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۷. وضعیت تاثیر شاخص های محیطی در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی

جدول شماره ۱۰ شاخص های فناوری را به همراه نماد شاخص و مقادیر مرکزیت، تفاضل، وضعیت اثر و رتبه شاخص ها را نشان می دهد به طوری که شاخص های ایده های نو و دانش بنیان، نصب پنل های انرژی خورشیدی در پایداری انرژی، رشد و بلوغ فناوری

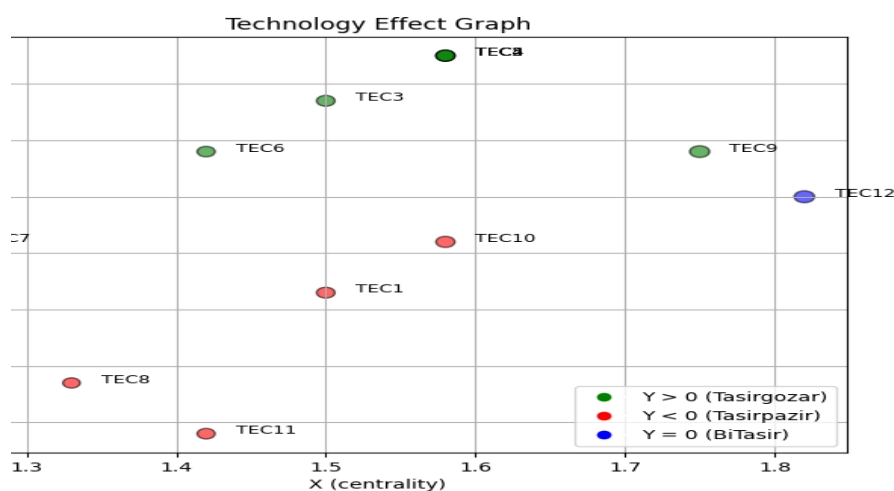
در پایداری انرژی الکتریکی، گسترش تحقیق و توسعه در پایداری انرژی الکتریکی، دانش و علم تخصصی در پایداری انرژی الکتریکی به عنوان شاخص های بااهمیت بالا شناسایی شده اند.

جدول ۱۰. مقادیر مربوط به شاخص های فناوری و زیرساخت طبق نقشه شناختی فازی

مفهوم / شاخص فناوری و زیرساختی	نماد شاخص	مرکزیت	تفاضل	وضعیت اثر شاخص فناوری و زیرساختی	رتبه شاخص فناوری و زیرساختی
تقویت و کارایی فنی در پایداری انرژی الکتریک	TEC_1	۱/۵	-۰/۱۷	تاثیرپذیر (پاسخ)	۴
گسترش تحقیق و توسعه در پایداری انرژی الکتریک	TEC_2	۱/۵۸	۰/۲۵	تاثیرگذار (محرک)	۳
تجهیزات و امکانات پیشرفته در پایداری انرژی الکتریکی	TEC_3	۱/۵	۰/۱۷	تاثیرگذار (محرک)	۴
دانش و علم تخصصی در پایداری انرژی الکتریکی	TEC_4	۱/۵۸	۰/۲۵	تاثیرگذار (محرک)	۳
رشد و بلوغ فناوری در پایداری انرژی الکتریکی	TEC_5	۱/۵۸	۰/۲۵	تاثیرگذار (محرک)	۳
تحول صنعتی چهار و پنج در پایداری انرژی الکتریکی	TEC_6	۱/۴۲	۰/۰۸	تاثیرگذار (محرک)	۵
ذخیره سازی انرژی در پایداری انرژی الکتریکی	TEC_7	۱/۲۵	-۰/۰۸	تاثیرپذیر (پاسخ)	۷
قابلیت اطمینان و طول عمر تجهیزات در پایداری انرژی الکتریکی	TEC_8	۱/۳۳	-۰/۳۳	تاثیرپذیر (پاسخ)	۶
نصب پنل های انرژی خورشیدی در پایداری انرژی الکتریکی	TEC_9	۱/۷۵	۰/۰۸	تاثیرگذار (محرک)	۲
استفاده از سایر فناوری های نوین در پایداری انرژی الکتریک	TEC_{10}	۱/۵۸	-۰/۰۸	تاثیرپذیر (پاسخ)	۳
کارایی و کیفیت تجهیزات در پایداری انرژی الکتریکی	TEC_{11}	۱/۴۲	-۰/۴۲	تاثیرپذیر (پاسخ)	۵

۱	بی تاثیر (معمولی)	۰	۱/۸۳	$TEC_{۱۳}$	ایده های نو و دانش بنیان در پایداری انرژی الکتریکی
---	-------------------	---	------	------------	--

همچنین به منظور نمایش دقیق و واضح تر شاخص ها با استفاده از مصورسازی پایتون، شکل شماره ۸ وضعیت تاثیر شاخص های فناوری در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی را نمایش می دهد. در نهایت در حوزه فناوری و زیرساختی نیز شاخص های گسترش تحقیق و توسعه در پایداری انرژی الکتریکی، تجهیزات و امکانات پیشرفته در پایداری انرژی الکتریکی، دانش و علم تخصصی در پایداری انرژی الکتریکی، رشد و بلوغ فناوری در پایداری انرژی الکتریکی، تحول صنعتی چهار و پنج در پایداری انرژی الکتریکی، نصب پنل های انرژی خورشیدی در پایداری انرژی الکتریکی به عنوان شاخص های تاثیرگذار شناسایی شدند در حالی که شاخص های تقویت و کارایی فنی در پایداری انرژی الکتریکی، ذخیره سازی انرژی در پایداری انرژی الکتریکی، قابلیت اطمینان و طول عمر تجهیزات در پایداری انرژی الکتریکی، استفاده از سایر فناوری های نوین در پایداری انرژی الکتریکی، کارایی و کیفیت تجهیزات در پایداری انرژی الکتریکی به عنوان شاخص های تاثیر پذیر شناخته شده اند.



شکل ۸. وضعیت تاثیر شاخص های فناوری و زیرساخت در پایداری و همترازی انرژی الکتریکی

۵. بحث و نتیجه گیری

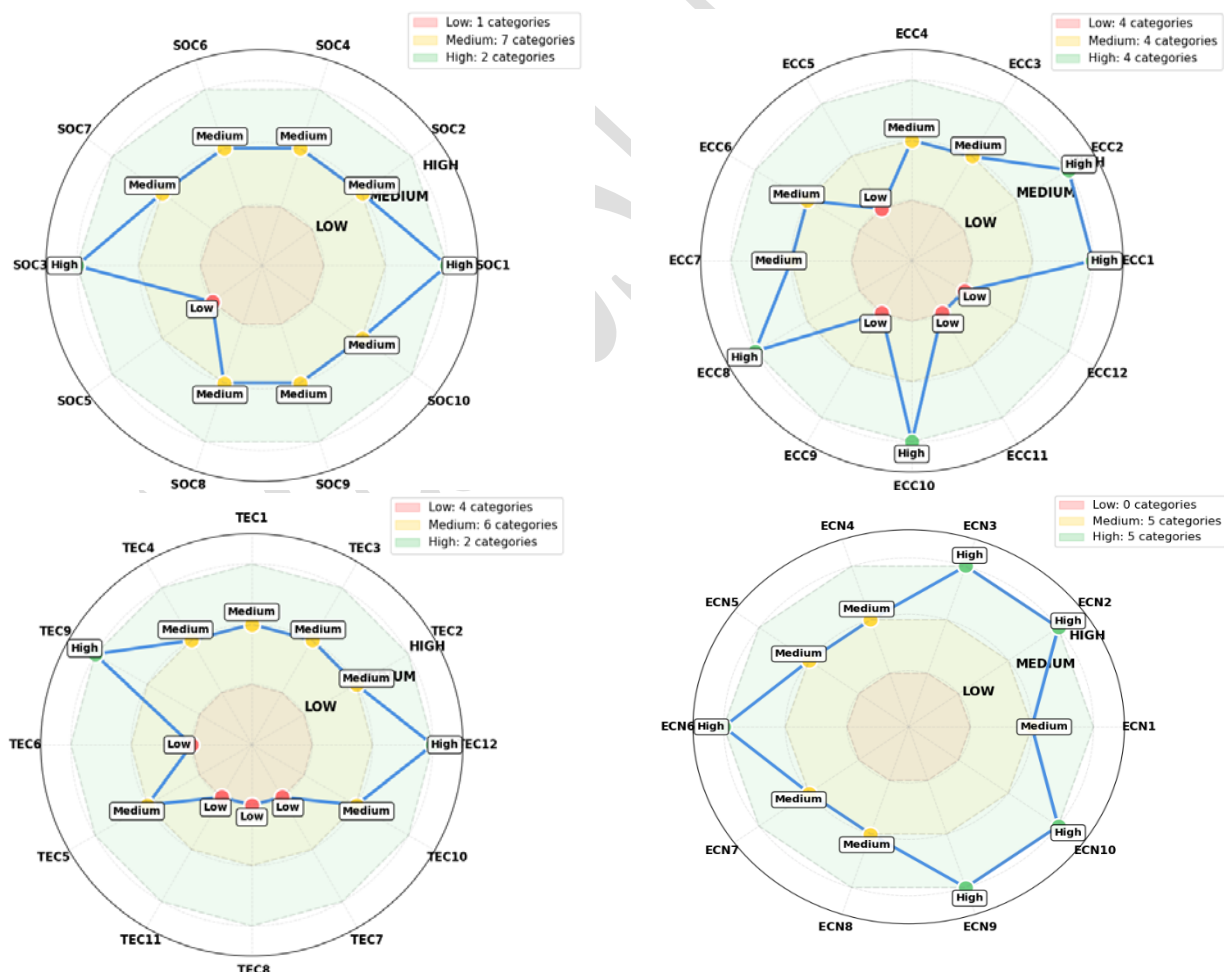
تعداد ۴۴ شاخص در چهار حوزه چند بعدی همترازی و پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گرفتند و با توجه به محاسبات انجام شده، نمودار تحلیل تاثیر شاخص های چارچوب پایداری و همترازی انرژی الکتریکی در صنعت براساس سه وضعیت تاثیرگذار، تاثیرپذیر و بی تاثیر دسته شدند. با توجه به اینکه شاخص های احصا شده طبق نظر خبرگان و براساس پرسشنامه چهار بعدی اقتصادی، اجتماعی، محیطی و فناوری در رتبه های یکم تا هفتم قرار گرفته اند، میزان اهمیت شاخص های رتبه یکم و دوم دارای اهمیت بیشتر و شاخص های دارای رتبه سوم و چهارم دارای اهمیت متوسط و شاخص های که در رتبه پنجم، ششم و هفتم قرار گرفته دارای اهمیت کمتر می باشند. به طور جامع تر و با در نظر گرفتن همه جنبه های موثر در پایداری انرژی الکتریکی، تعداد ۱۳ شاخص دارای اهمیت بیشتری هستند که این شاخص ها در مدل چارچوب همترازی و پایداری انرژی الکتریکی تجدید پذیر مورد استناد قرار می گیرند.

الف- با عنایت به رتبه بندی شاخص های اقتصادی شاخص های ECC_1 ، ECC_2 ، ECC_8 و ECC_{10} دارای اهمیت بیشتری می باشند. شاخص های ECC_3 ، ECC_4 ، ECC_6 ، ECC_7 ، ECC_9 ، ECC_{12} دارای اهمیت کمتری می باشند.

ب- براساس رتبه بندی انجام شده شاخص های اجتماعی SOC_1 ، SOC_3 دارای اهمیت بیشتر می باشند. در ادامه شاخص های SOC_2 ، SOC_4 ، SOC_6 ، SOC_7 ، SOC_8 ، SOC_9 ، SOC_{10} دارای اهمیت متوسط و شاخص SOC_5 دارای اهمیت کمتری می باشد.

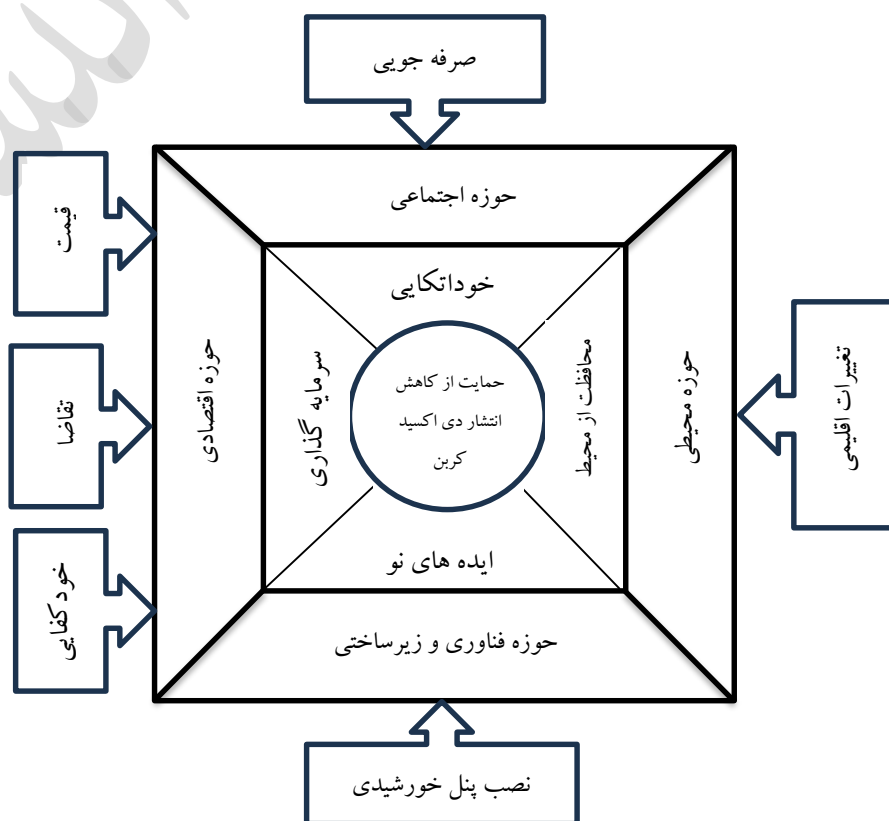
ج- همچنین شاخص های محیطی ECN_2 ، ECN_3 ، ECN_6 ، ECN_9 ، ECN_{10} دارای اهمیت بیشتر می باشند. شاخص های ECN_1 ، ECN_4 ، ECN_5 ، ECN_7 ، ECN_8 دارای اهمیت متوسط می باشند.

د- شاخص های فناوری و زیرساختی TEC^۹, TEC^{۱۲} دارای اهمیت بیشتر می باشند. شاخص های TEC^۱, TEC^۲, TEC^۳, TEC^۴, TEC^۵, TEC^{۱۰} دارای اهمیت متوسط می باشند و شاخص های TEC^۶, TEC^۷, TEC^۸, TEC^{۱۱} دارای اهمیت کمتری می باشند، به طوری که در شکل شماره ۹ نشان داده شده است اهمیت شاخص های اقتصادی، اجتماعی، محیطی و شاخص های فناوری و زیر ساخت در چارچوب همترازی و پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر مشخص می باشد.



شکل ۹. اهمیت شاخص ها در چارچوب پایداری و همترازی انرژی الکتریکی

با بررسی و تحلیل شاخص‌های رتبه‌بندی شده، مطابق شکل شماره ۱۰ مشخص می‌گردد، شاخص‌های تاثیرگذار به عنوان موتور پیشران در ایجاد همترازی و پایداری عمل می‌نمایند، تمرکز بر شاخصه‌هایی مانند قیمت انرژی الکتریکی، تقاضای انرژی الکتریکی، خودکفایی در تولید انرژی الکتریکی، صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی در صنعت، نصب پنل های انرژی خورشیدی در پایداری انرژی الکتریکی و تغییرات اقلیمی بر اساس نقشه شناختی فازی به عنوان موارد تاثیرگذار در ایجاد چارچوب همترازی و پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر می‌باشد. بدیهی است شاخصه‌های تاثیرگذار نقش اصلی در ارایه راهکارها به منظور رسیدن به همترازی و پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در بخش صنعتی برعهده دارند، این راهکارها در سطح اول به شاخص‌های تاثیرگذار معطوف می‌باشند. نتایج این مطالعه پاسخ‌های مربوط به سوالات تحقیق را به طور شفاف و کاملی بیان نموده و با دسته‌بندی تاثیر و اهمیت شاخص‌ها با استفاده از روش نقشه شناختی فازی جایگاه آنها را در چارچوب همترازی و پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر مشخص نموده است.



شکل ۱۰. چارچوب پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر (ESIT-SU)

همچنین شایان ذکر است در سطح دوم چارچوب، شاخص‌های سرمایه در گردش صنایع در انرژی الکتریکی، خوداتکایی و خودیاری در صنعت و پایداری، کاهش مصرف سوخت فسیلی در صنعت و پایداری، محافظت از محیط زیست در پایداری، کمبود آب و منابع مرتبط در پایداری و ایده‌های نو و دانش بنیان در پایداری انرژی الکتریکی به عنوان شاخصه‌های معمولی یا بی‌تاثیر هستند به طوری که اثرات تاثیرپذیر گذاری و تاثیرپذیری آنها یکسان می‌باشد، فلذا به عنوان شاخصه‌های دوسویه مورد توجه قرار می‌گیرند که نقش متعادل کننده در این چارچوب را خواهند داشت.

در پایان در سطح سوم چارچوب، شاخص حمایت از کاهش انتشار دی اکسید کربن صنایع و پایداری به عنوان شاخص تاثیرپذیر مورد توجه قرار می‌گیرد که می‌تواند مفاهیم اصلی مانند کربن زدایی، مالیات کربن را نیز پوشش دهد. این چارچوب مسیر را برای تدوین راهکارهای پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در بخش صنعتی هموار می‌سازد، با در نظر گرفتن لایه‌های شناسایی شده در چارچوب مذکور، امعان نظر در خصوص راهکارهای ایجاد محرک‌های پایداری و همترازی فراهم می‌گردد، تمرکز بر سطح دوم باعث حفظ پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر می‌گردد و با در اهتمام بر سطح سوم چارچوب، تداوم پایداری و همترازی انرژی الکتریکی تجدیدپذیر امکان‌پذیر می‌گردد.

یافته‌های این پژوهش همسویی با نظرات داشته و شاخص صرفه جویی و الگوی مصرف با مطالعات انجام شده توسط شاهوردی و همکاران همراستا و منطبق می‌باشد. نتایج این پژوهش نظرات علیپور و همکاران را تایید می‌نماید که بیان داشتند استفاده گسترده از انرژی خورشیدی نویدبخش، ویژگی جدایی‌ناپذیر دولت‌ها در راستای تلاش‌های جهانی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در آینده و کاهش مسیر مصرف سوخت‌های فسیلی است. تدوین چارچوب همراستا با کاهش انتشار دی اکسید کربن در محیط زیست می‌باشد و بر

پایداری و همترازی انرژی الکتریکی در بخش صنعتی تاکید دارد، همچنین مطالعه علیپور و همکاران با هدف شناسایی، توصیف و تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر پستل^۱ که پویایی فتوولتائیک خورشیدی را در یک محیط نامشخص شکل می‌دهند، انجام شد. برای این منظور، از روش نگاشت شناختی فازی برای مورد ایران استفاده شد تا بررسی شود که چگونه عوامل درگیر به صورت پویا تعامل دارند، به طور جمعی در سیستم رفتار می‌کنند که عوامل اقتصادی مانند قیمت، تقاضا، درآمد صادرات نفتی، سرمایه گذاری خارجی نیز در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه علیپور و همکاران بر پایه نقشه شناختی فازی بوده است به طوری که عواملی مانند قیمت نفت، کاهش قیمت جهانی تجهیزات را عوامل تاثیر گذار (محرک) معرفی شده بود.

خروجی های مطالعات کیفی بر پایه نقشه شناختی فازی با ترسیم شبکه ارتباطی در حوزه های اقتصادی، اجتماعی، محیطی، زیرساخت و فناوری با آموزه های بیان شده و نتایج حاصل از پژوهش های کیفی با متد نقشه های شناختی فازی که توسط محققانی مانند علیپور و همکاران انجام شده است، مطابقت کامل دارد. مطالعاتی با استفاده از روش هایی مانند دیمتل نیز انجام گرفته است اما به سبب ماهیت روش دیمتل برای شناسایی ساختار و عوامل یا معیارها در حالت ایستا به کار گرفته شده است، در حالی که نقشه شناختی فازی بیشتر به عنوان پویاسازی ساختار شاخص ها یا مفاهیم به کار گرفته شده است. همچنین هدف این تحقیق رسیدن به مقادیر وزنی شاخص ها نمی باشد بلکه مقایسه جایگاه و تعیین اولویت شاخص ها در راستای ارایه چارچوب چند بعدی پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در بخش صنعتی غایت اصلی بوده است. همچنین به دلیل پیچیدگی در ابعاد مساله و نظرات متنوع خبرگان استفاده از روش نقشه شناختی فازی به روش های مشابه مانند دیمتل ارجحیت یافته است.

۵.۱ جمع بندی

با بهره گیری از مقالات منتشر شده مفاهیم و شاخص ها در چهاربعد اقتصادی، اجتماعی، محیطی و فناوری شناسایی گردید و با اخذ نظرات خبرگان در خصوص لزوم قرارگیری شاخص در پرسشنامه، شاخص های کلیدی مؤثر بر همترازی و پایداری انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در بخش صنعت شناسایی گردیدند. همچنین روابط علی و میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری میان این شاخص ها با روش نقشه شناختی فازی براساس نظرات

^۱ PESTEL

خبرگان و با نرم افزار تعیین گردید، مقادیر مربوط به مرکزیت و تفاضل ایبعاد اقتصادی، اجتماعی، محیطی و فناوری در جداول ۷ الی ۱۰ درج شده است. با بررسی نتایج بدست آمده از محاسبات مربوط به شبکه شاخص‌ها، شاخص‌های تاثیرگذار (محرک)، شاخص تاثیرپذیر (پاسخ) و شاخص‌های عادی (بی اثر) در نظام توسعه انرژی تجدیدپذیر تعیین شدند و به صورت مصورسازی شده نشان داده شد. اولویت شاخص‌ها و نقش هر یک از این شاخص‌ها در چارچوب همترازی چندبعدی پیشنهادی براساس امتیاز مرکزیت و ترتیب شاخص در هر بعد شناسایی گردیده است.

۵.۲. پیشنهادات کاربردی

پیشنهادات کاربردی و راهکارهای عملیاتی برونداد اصلی پژوهش مساله محور می‌باشند. در این بخش پیشنهادات کاربردی به صورت اجرایی و عملیاتی معرفی می‌گردند. استقرار سامانه‌های پایش و کنترل مصرف هوشمند در بخش‌های صنعتی، زمان بندی هوشمند در جهت افزایش خودکفایی انرژی در بخش صنعتی، هوشمند سازی سامانه مصرف و کنترل از راه دور با استفاده از اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال، استقرار نظام یکپارچه مدیریت انرژی در واحد صنعتی برپایه خودیاری توسط کارکنان و ترویج الگوی صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی، توسعه مدل‌های سرمایه گذاری مردم نهاد در جهت راه اندازی مزارع تولید انرژی تجدیدپذیر در کنار صنایع پایه و اصلی، ایجاد شرکت‌های سهامی عام عرضه کننده انرژی تجدید پذیر به بخش صنعتی، ترویج مدل‌های مشارکتی کارخانه‌های کوچک و متوسط در راه اندازی نیروگاه‌های ترکیبی مقیاس کوچک و روش‌های تبدیلی بین ذی نفعان، تدوین استراتژی‌های ذخیره سازی انرژی الکتریکی، به کارگیری مدل‌های تحلیل و پیش بینی قیمت، تقاضا و مقدار تولید انرژی براساس یادگیری ماشین و یادگیری تقویتی و تحلیل شبکه‌های هوشمند مربوط به توزیع انرژی الکتریکی می‌باشد.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله هیچ گونه تعارض منافع ندارند.

ORCID

Ali Alam 

<https://orcid.org/0009-0008-6947-979X>

^۱ FCMapper

Mahsa Pishdar  *

Mohammad Reza Fathi 

Amir Doudabi nejhad 

<https://orcid.org/0000-0003-4517-8796>

<https://orcid.org/0000-0002-7973-9814>

<https://orcid.org/0009-0007-6117-6818>

* Corresponding Author: mahsa.pishdar@ut.ac.ir

منابع

۱. Abban, O. J., Hongxing, Y., Nuta, A. C., Dankyi, A. B., Ofori, C., & Cobbinah, J. (۲۰۲۲). Renewable energy, economic growth, and CO₂ emissions contained Comovement in african oil-producing countries: A wavelet based analysis. *Energy Strategy Rev.* ۴۴, ۱۰۰۹۷۷. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100977>
۲. Alavi, B., Tavana, M. and Mina, H. (۲۰۲۱). A Dynamic Decision Support System for Sustainable Supplier Selection in Circular Economy. *Sustainable Production and Consumption*, ۲۷, ۹۰۵-۹۲۰.
۳. Alipour M, Hafezi R, Papageorgiou E, Hafezi M., Alipour M. (۲۰۱۹). Characteristics and scenarios of solar energy development in Iran: fuzzy cognitive map-based approach. *Renew Sustain Energy*, ۱۱۶. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109410>.
۴. Borrero-Domínguez, C., & Escobar-Rodríguez, T. (۲۰۲۳). Decision support systems in crowdfunding: A fuzzy cognitive maps (FCM) approach, *Decision Support Systems*, ۱۷۳, ۱۱۴۰۰۰, <https://doi.org/10.1016/j.dss.2023.114000>.
۵. Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (۲۰۲۱). Industry ۵.۰: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. *European Commission*. [https://doi.org/10.2760/48103](https://doi.org/10.2۷۶۰/۴۸۱۰۳)
۶. Chien, F. (۲۰۲۲). How renewable energy and non-renewable energy affect environmental excellence in N-۱۱ economies? *Renew. Energy*, ۱۹۶, ۵۲۶-۵۳۴. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.0۷.۰۱۳>
۷. Dolge, K., Gravelins, A., Vicmane, L.K., Blumberg, A., & Blumberg, D. (۲۰۲۴). What drives energy storage deployment in local energy transitions? Stakeholders' perspective, *Smart Energy*, ۱۵, ۱۰۰۱۴۶. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2024.100146>.
۸. Fang, J., Gozgor, G., Mahalik, M. K., Mallick, H., & Padhan, H. (۲۰۲۲). Does urbanisation induce renewable energy consumption in emerging economies? The role of education in energy switching policies. *Energy Econ.* ۱۱۱, ۱۰۶۰۸۱. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106081>
۹. Farghali, M., Osman, A. I., Mohamed, I. M., Chen, Z., Chen, L., Ihara, I., et al. (۲۰۲۳). Strategies to save energy in the context of the energy crisis: A review. *Environ. Chem. Lett.* ۲۱, ۲۰۰۳-۲۰۳۹. <https://doi.org/10.1007/s10311-0۲۳-۰۱۵۹۱-۵>.
- Franciskus A.A. (۲۰۲۵) Smart Grids and AI Innovations for Efficient Energy Distribution and Consumption, ۲۰۲۵ *Global Conference in Emerging Technology (GINOTECH)*, DOI: 10.1109/GINOTECH۶۳۴۶۰.۲۰۲۵.۱۱۰۷۶۷۹۹
۱۰. Ghasemi, A., Soroush, A., & Hosseini, Z. (۲۰۲۳). Application of artificial intelligence in energy management of Iran's industrial sector. *International Journal of Energy Research*, ۴۷(۲), ۹۸۲-۹۹۵. <https://doi.org/10.1002/er.۸۰۰۱>
۱۱. Glykas, M.: Fuzzy Cognitive Maps-Theories, Methodologies, Tools and Applications. Springer, Berlin (۲۰۱۰)

۱۲. Govindan, K., Pereira, I.P.C., Ferreira, F.A.F., Pereira, L.F., Meidute-Kavaliauskien, I., &BCorreia, R.J.C. (۲۰۲۰). A fuzzy cognitive mapping-system dynamics approach to energy change impacts on the sustainability of small and medium-sized enterprises. *J Clean Prod*, ۲۵۶, ۱۲۰۱۵۴. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120154>
۱۳. Hirani ,H., Dudabinejad ,A., & Shabiri ,S.M. (۲۰۲۳), Planning the development of thermal power plants in Iran in the Seventh Development Plan, based on gas fuel limitations, *Journal of Planning and Development Research*, Year ۴, No. ۱ (۱۳th issue, Spring ۲۰۲۳) , ۱۷۹-۲۱۷. (In Persian)
۱۴. Jahangarde, A., banouei, A., barkhordari, S., Amadeh, H., DoudabiNejad, A. (۲۰۲۰). Comparing the economic effects of applying a carbon emission tax and an energy price tax in the Iranian economy: A computable general equilibrium approach, *Iranian Energy Economics Research Journal*, ۸(۳۰), Spring ۲۰۲۰, ۶۱-۹۲ (In Persian)
۱۵. Modirzadeh, S.A., Khazaei, A., GhasemiKafrudi, E., Sobhani, Z., Kashefi, K., Moradi, M.A., & Moradzadeh, M. (۲۰۲۴). Potentials of greenhouse gas emission reduction through energy efficiency improvement in Iran's petrochemical sector. *Energy*, ۳۱۱, ۱۳۳۲۹۷, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133297>
۱۶. Nikas A, et al. (۲۰۲۰). Barriers to and consequences of a solar-based energy transition in Greece. *Environ Innov Soc Transit*, ۳۵, ۲۸۳-۹۹. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.12.004>
۱۷. Jabari, L., Salem, A.A., Zamani, & Farzanegan, M.R. (۲۰۲۴). Economic sanctions and energy efficiency: Evidence from Iranian industrial sub-sectors. *Energy Economics*, ۱۳۹, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107920>.
۱۸. Pérez, Y.F., Corona, C.C., & Estrada, A.F. (۲۰۱۹), Fuzzy Cognitive Maps for Evaluating Software Usability. In *Uncertainty Management with Fuzzy Rough Sets* (pp. ۱۴۱-۱۵۵). Springer, Cham
۱۹. Ranjbar, F., Rafiei, A., & Khorshidi, M. (۲۰۲۲). Leveraging artificial intelligence for optimizing energy efficiency strategies in Iranian industries. *Journal of Cleaner Production*, ۳۲۴, ۱۲۹۱۲۳. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.129123>.
۲۰. Salim,K,T, Hamid,H,E, & Ehsan,B,K,B (۲۰۲۴) Analyzing the Drivers of the Smart Sustainable Circular Supply Chain Using the Combined Methods of DEMATEL and Adversarial Interpretative Structural Modeling, *Industrial Management Studies*, ۲۲(۷۳), ۲۴۱-۲۸۵ [jims.atu.ac.ir](https://doi.org/10.22004/jims.2024.779450)
۲۱. <https://DOI:10.22004/jims.2024.779450>, ۲۸۹۹
۲۲. Salmeron, J.L., Mansouri, T., Moghadam, M.R.S., & Mardani, A. (۲۰۱۹), Learning fuzzy cognitive maps with modified asexual reproduction optimization algorithm. *Knowledge-Based Systems*, ۱۶۳, ۷۲۳-۷۳۵
۲۳. Sayan Das, & Sudipta D. (۲۰۲۴). Multi-criteria decision-making for techno-economic and environmentally sustainable decentralized hybrid

- power and green hydrogen cogeneration system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 114130, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114130>
۲۴. Serkan, E., Fikret O, Serhat Y., Hasan D. (۲۰۲۴). A novel fuzzy decision-making methodology for ranking energy storage investments in emerging economies, *Decision Analytics Journal*, ۱۰۰۳۴۵, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100345>
۲۵. Shahverdi, N., Saffari, A., & Amiri, B. (۲۰۲۵). A systematic review of artificial intelligence and machine learning in energy sustainability: Research topics and trends, *Energy Reports*, ۱۳, ۵۵۵۱–۵۵۷۸, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.05.021>
۲۶. Solangi, Y.A., Tan, Q., Mirjat, N.H., & Ali, S. (۲۰۱۹). Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. *J Clean Prod*, ۲۳۶:۱۱۷۶۵۵.
۲۷. Sharma, A., Tselykh, A., Podoplelova, E., & Tselykh, A. (۲۰۲۲). Knowledge-oriented methodologies for causal inference relations using fuzzy cognitive maps: A systematic review. *Computers & Industrial Engineering*, ۱۷۱, ۱۰۸۵۰۰.
۲۸. Ujwary-Gil, & Florek-Paszkowska, A. (۲۰۲۵). Introduction to the Innovability Index: Beyond the fusion of innovation and sustainability. *Management and Innovation (JEMI)*, ۲۱(۲)
۲۹. Williams, O., & Temitayo, M.F. (۲۰۲۵). Machine learning-based predictive modelling of renewable energy adoption in developing countries. *Energy Reports*, ۱۴, ۶۶–۸۴, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.05.066>
۳۰. Yanchun, P., & Hashemizadeh, A. (۲۰۲۳). Circular economy-based assessment framework for enhancing sustainability in renewable energy development with life cycle considerations. *Environmental Impact Assessment Review*, ۱۰۳, ۱۰۷۲۸۹, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107289>