

تاریخ دریافت: ۲۲ خرداد ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۵ مهر ۱۴۰۲ صفحات ۸۶ الی ۱۲۴

شناسایی و تحلیل پیشران‌های موثر بر توسعه‌ی تولید پراکنده‌ی انرژی در بستر بلاک چین با تکنیک مارکوس

محمدجعفر حدادپور جهرمی

دانشجو دکترا مدیریت صنعتی-تولید و عملیات، دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه یزد

m.hadadpoor@stu.yazd.ac.ir , m.hadadpoor@yahoo.com

داود عندلیب اردکانی *

دانشیار، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری - بخش مدیریت صنعتی، andalib@yazd.ac.ir

محمدحسن ملکی

دانشیار مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه قم، mh.maleki@qom.ac.ir

علیرضا ناصر صدرآبادی

دانشیار، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری - بخش مدیریت صنعتی، alireza_naser@yazd.ac.ir

چکیده: فناوری‌های انقلاب صنعتی استعدادهایی همچون تغییر اساسی نحوه عملکرد سیستم اقتصادی، ایجاد فرصت‌های متعدد اشتغال‌زایی و درآمدزایی را دارا هستند. پژوهش حاضر با توجه به اهمیت موضوع انرژی و ظهور فناوری‌های جدید در عصر انقلاب صنعتی چهارم، به بررسی و شناسایی پیشران‌های موثر در توسعه استفاده از روش تولیدپراکنده برق در بستر فناوری بلاک چین پرداخته است. بررسی و شناسایی پیشران‌های موجود با استفاده از تحلیل‌های کتاب‌سنجی و با کمک پایگاه اسکوپوس و تحلیل هم‌رخدادی کلمات کلیدی به انجام رسیده است. ابتدا ۲۲ پیشران شناسایی شده و پس از بررسی نظرات خبرگان و تکنیک دلفی فازی تعداد ۱۲ پیشران موثرتر شناخته شده‌اند. در نهایت با استفاده از تکنیک سازشی مارکوس رتبه‌بندی به انجام رسیده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که پیشران درآمدزایی با روش تولید پراکنده برق در محیطی امن مانند بلاک چین از اولویت بالایی برخوردار بود که قابلیت جذب سرمایه‌گذاران را فراهم می‌آورد.

کلیدواژه: انقلاب صنعتی چهارم- بلاک چین - تولید پراکنده - مارکوس - آینده پژوهی

* نویسنده مسئول

۱. مقدمه :

افزایش استفاده از فناوری اطلاعات، ارتباطات، بیوتکنولوژی و نانوتکنولوژی، پیشرفت‌های حیرت‌انگیزی را بوجود آورده و تغییرات اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و فردی بسیاری را به همراه داشته است. از این تغییرات و پیشرفت‌ها هیچ کشوری مصون نمانده و نحوه‌ی زندگی، کار و ارتباطات آنها تحت تاثیر قرار گرفته است (Alaloul, Liew, Zawawi, & Kennedy, ۲۰۲۰). تغییرات اخیر که قابلیت بالابردن سطح درآمد جهانی و بهبود کیفیت زندگی بشر را دارد، توسط تحولات فناوری، هوش مصنوعی و انقلاب دیجیتال در قالب انقلاب صنعتی چهارم پشتیبانی می‌گردد (Dadios et al., ۲۰۱۸). انقلاب صنعتی چهارم خواهان واکنش یکپارچه و فراگیر با توجه به دربرگرفتن تمامی ذی‌نفعان می‌باشد. در آینده، مناطق و جوامعی که به طور مثبت با تأثیر فناوری چهارمین انقلاب صنعتی همراهی نمایند، شرایط اقتصادی و اجتماعی بهتری خواهند داشت (Schäfer, ۲۰۱۸). نوآوری فناوری در انقلاب صنعتی چهارم^۱ بعنوان معجزه‌ای در سویی‌ی عرضه با دستاوردهای بلند مدت در بهره‌وری و همچنین تولید همراه است و مرزهای میان دنیای فیزیکی، دیجیتالی و بیولوژیکی محو و از بین خواهد رفت (Xu, David, & Kim, ۲۰۱۸). در این دگرگونی و تحول، تلفیقی از پیشرفت‌های هوش مصنوعی^۲، رباتیک، اینترنت اشیا^۳، چاپ سه بعدی، مهندسی ژنتیک، محاسبات کوانتومی و سایر فناوری‌ها فراهم می‌آید. در ادامه‌ی این روند نیز، ارتباط نزدیکتر، سریعتر و بی‌واسطه‌ی تجهیزات و دستگاه‌های هوشمند را میتوان شروعی برای ورود به انقلاب صنعتی پنجم^۴ که همکاری انسان و ماشین با تاکید بر رفاه سهامدارانی همچون شرکت‌ها، کارکنان و مشتریان می‌باشد را درک نمود. کاربرد فناوری‌های دیجیتال مبتنی بر اینترنت، در تولید و تجارت کالا و ارائه خدمات، در حال تبدیل شدن به بخش مهمی از جهان است که فرصت‌ها و چالش‌های بسیاری با خود دارد و برای کشورهای در حال توسعه از اهمیت بالایی برخوردار است. الگوهای کسب و کار، صنعت و نظام اقتصادی، به مفهوم

^۱ Fourth industrial revolution

^۲ Artificial Intelligence(AI)

^۳ Internet of thing(IOT)

^۴ Fifth industrial revolution

تعیین‌کننده مناسبات زندگی اقتصادی و تولیدی انسان، به صورت بنیادین تحت تاثیر فناوری‌های دیجیتال متحول می‌گردد که نتیجه آن استقرار و فراگیری اقتصاد دیجیتالی با جهت‌گیری رشد اقتصادی پایدار است که محور اصلی سیاست‌گذاری در اقتصادهای توسعه یافته خواهد بود. گسترش اقتصاد و بازار مالی مبتنی بر پلتفرم‌های دیجیتالی و فناوری اطلاعات برای ایجاد یا تطبیق، بازاریابی یا مصرف کالاها و خدمات اشاره دارد. اقتصاد دیجیتال می‌تواند باعث تقویت رقابت در تمامی بخش‌ها، ایجاد فرصت‌های جدید برای کسب و کار و کارآفرینی شده و همچنین ابزارهای جدیدی را برای دسترسی به بازارهای خارج از کشور همراه با توسعه پایدار فراهم آورد. یکی از فناوری‌های نوین تاثیرگذار در اقتصاد دیجیتال که در آینده بیشتر از آن خواهیم شنید و می‌تواند زیرساخت مالی جهانی را بهینه نموده و با استفاده از سیستم‌های کارآمدتری نسبت به حال، به توسعه پایدار دست یابد، بلاک چین می‌باشد. بلاک چین پس از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به عنوان متحول‌کننده‌ترین فناوری اخیر و در رتبه دوم قرار دارد.

بلاک چین تقریباً در بخش‌های بسیاری از تولید گرفته تا کشاورزی، بیمه، بانکداری و بسیاری موارد دیگر کاربرد دارد. همچنین بلاک چین در صنعت خدمات مالی، تجارت بین‌الملل، مالیات، مدیریت زنجیره تامین، عملیات تجاری و حاکمیت (دولت) مورد توجه قرار گرفته است (Kimani et al., ۲۰۲۰). بلاک چین در انتقال پول، قراردادهای هوشمند، اینترنت اشیا، امنیت هویت شخصی، مراقبت‌های بهداشتی، لجستیک، توکن‌های غیر قابل تعویض^۱، دولت و رسانه‌ها، برنامه‌های کاربردی بسیاری دارد. این فناوری پتانسیل تغییر اساسی نحوه عملکرد جهان تجارت، سیستم اقتصادی و همچنین ایجاد فرصت‌های متعددی برای شکوفایی مشاغل جدید و توسعه مشاغل موجود در مشاغل سنتی را نیز داراست (Li, He, & Haiquan, ۲۰۲۱). تراکنش‌های مالی در آینده‌ای که با پیشرفت‌ها، تغییرات شتابنده و غیرقابل پیش‌بینی همراه است می‌تواند از بستر فرصت‌ها و تهدیدات بلاک چین که از امنیت و ثبات بیشتری برخوردار است، استفاده بسیار نماید. یکی از حوزه‌هایی که تحت تاثیر فناوری‌های دیجیتال و بازارهای مالی نوین می‌توان توسعه داد و متحول نمود و در حال حاضر نیز با دغدغه و نگرانی

^۱ Non fungible Token(NFT)

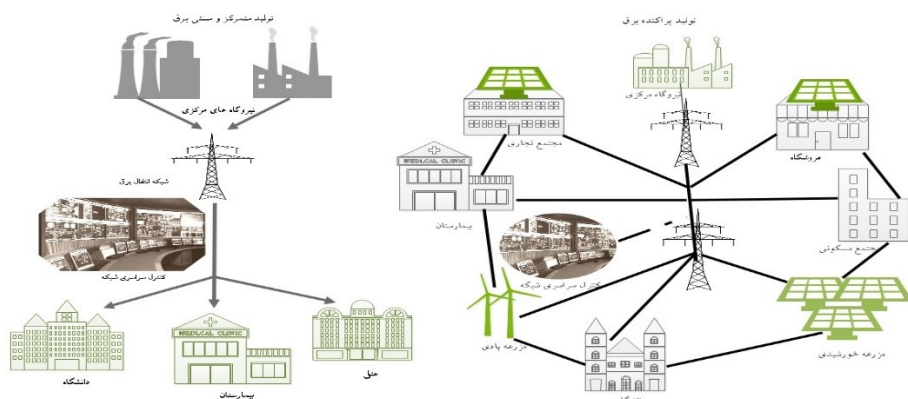
مربوط به آن مواجه هستیم، انرژی الکتریکی است که در دو شکل متمرکز و پراکنده تولید می‌شود. در بازار انرژی که تولید کننده ی محدود و مصرف کننده های بسیار وجود دارد، بازار تولید انرژی رقابتی نیست، ولی میتوان با استفاده از روش تولید پراکنده و قابلیت های فناورانه بلاک چین در تبادلات مالی و فراهم آوردن زمینه سرمایه گذاری در افزایش ظرفیت برق تولیدی اثرگذاری نمود. با استفاده از مولدهای پراکنده میتوان با جلوگیری از هدررفت انرژی ناشی از شبکه توزیع و استفاده حداکثری از انرژی تولید شده برای رسیدن به انتشار صفر کربن تا سال ۲۰۵۰ امیدوار بود (Osman et al., ۲۰۲۳). حوزه ی انرژی در حیات اقتصاد صنعتی جوامع، نقش زیربنایی را ایفا می‌کند و امنیت ملی و پایداری نظام‌های حکومتی تا حد زیادی در گرو دسترسی به منابع آن است. البته تحقق این هدف نیز با نگاهی آینده پژوهانه میتواند در تلاشی سیستماتیک برای بررسی درازمدت آینده ی علم، فناوری، اقتصاد، محیط و جامعه در شناسایی پدیده های نوظهور و حوزه های زیربنایی تحقیقات استراتژیک بیشترین منافع اقتصادی و اجتماعی در این مسیر پیشرفت نمود (محمدرضاء محمدحسن، & حسین). در آینده، فناوری‌های دیجیتال، سیستم‌های بخش انرژی را در سرتاسر دنیا متصل تر، هوشمندتر، قابل اطمینان تر و پایدارتر خواهند کرد. تولید پراکنده ی انرژی می‌تواند بعنوان مزیتی رقابتی آینده ی جوامع و کشورها باشد که بایستی متغیرها و پیشران های نحوه ی توسعه ی این روش تولید انرژی را بررسی نمود. بنا نمودن اقتصاد دیجیتالی و سرمایه گذاری در بستر بلاک چین با توجه به جدید بودن و ناشناسی در حوزه ی انرژی، نیاز به شناسایی متغیرهای کلیدی و موثر در این صنعت برای تصمیم گیری و تصمیم سازی در اجرای پروژه ها دارد. هدف اصلی در این تحقیق شناسایی و تحلیل عوامل موثر بر پراکنده سازی تولید انرژی مورد نیاز در کنار جذب سرمایه در بستر فناوری های انقلاب صنعتی چهارم جهت افزایش توان ظرفیت تولیدی است تا بتوان پاسخگوی مصرف کننده های موجود و جدید بود. این تحقیق با معرفی قابلیت های بلاک چین بعنوان یکی از موثرترین فناوری های صنعت ۴.۰ که مزایای بالقوه و قابل توجه مانند ناشناس بودن، صداقت، تمرکززدایی و شفافیت دارد و میتواند در آینده و همچنین در صنعت ۵.۰ رشد بالایی داشته شروع می‌شود و پس از شناسایی مولفه ها و پیشران های موثر در جهت کاربردی نمودن و فراگیر شدن این فناوری در حوزه تولید پراکنده انرژی با تکنیک

دلفی فازی بررسی می‌گردد و سپس مولفه‌های منتخب با استفاده از روش مارکوس اولویت بندی می‌گردد.

۲. مبانی نظری پژوهش

حیات اقتصاد صنعتی جوامع به نقش زیربنائی انرژی بعنوان منبع کلیدی رشد اقتصادی وابسته است و هرگاه انرژی به مقدار کافی و به موقع در دسترس باشد توسعه اقتصادی نیز میسر خواهد بود. مدیریت نمودن انرژی به عنوان راهی برای بهبود عملکرد انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای در سازمان‌ها در دستور کار جهانی قرار گرفته و نسل جدیدی از فناوری‌های حوزه انرژی در قالب تجدیدپذیرها در دهه ۲۰۳۰ ظهور می‌کند. تا سال ۲۰۵۰، انرژی‌های تجدیدپذیر یک سوم انرژی اولیه جهان و همچنین نیازهای افزایشی انرژی را تامین می‌کنند. برنامه‌ریزی و آینده‌نگری در حوزه انرژی به عنوان راهی برای بهبود عملکرد انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای در سازمان‌ها در دستور کار جهانی قرار گرفته است تا فرصت‌هایی برای بهبود بهره‌وری انرژی ارائه گردد. جهت‌گیری آینده‌نه تنها برای صاحبان کسب و کار و مدیرانی که می‌خواهند شرکت‌هایشان بقا و توسعه پیدا کنند بسیار مهم است، بلکه می‌تواند برای فرصت‌طلبان، به ویژه کسانی که مایل به ایجاد سرمایه‌گذاری‌های نوآورانه و پیشرو هستند، سودمند باشد، بنابراین جای آن دارد که به آینده‌نگاهی دقیق‌تر و هدفمند داشت (Hajizadeh & Valliere, ۲۰۲۲). امنیت تامین انرژی در سطح ملی یکی از اساسی‌ترین رسالت‌های هر دولت است. انرژی مورد نیاز معمولاً در نیروگاه که مجموعه‌ای از تأسیسات صنعتی است تولید می‌شود. نیروگاه‌ها بسته به نوع تکنولوژی به کار رفته در آن‌ها و منابع انرژی در دسترس، متفاوت هستند. در حال حاضر نیروگاه‌ها بر اساس ظرفیت به دو بخش مقیاس کوچک و مقیاس بزرگ تقسیم می‌شوند. نیروگاه‌های مقیاس بزرگ در قالب تولید متمرکز و نیروگاه‌های مقیاس کوچک در قالب تولید پراکنده فعالیت دارند. تولید متمرکز در نیروگاه‌هایی با مقیاس‌های بزرگ انرژی مورد نیاز و برنامه‌ریزی شده را تولید می‌نمایند و معمولاً تأسیسات نیروگاهی دور از مصرف‌کنندگان نهایی قرار دارند. در این شبکه، الکتریسیته تولید شده از طریق شبکه سراسری برق به مصرف‌کنندگان نهایی منتقل می‌شود. بدلیل بزرگ شدن منابع تولید در شیوه تولید مرکزی، قابلیت‌های کنترل و بهینه‌سازی

به حداقل می‌رسید و با دور شدن این منابع از مصرف کننده در کنار اتلاف حداکثری انرژی ناشی از انتقال، امکان بازیابی انرژی‌های دیگر نیز مقدور نمی‌شد. تولید پراکنده یکی از انواع روش‌هایی است که در حوزه انرژی می‌تواند خدمات موثری ارائه نماید. تولید پراکنده ممکن است به یک ساختار واحد مانند یک خانه یا یک کسب و کار خدمت کند، یا ممکن است بخشی از یک ریزشبکه (شبکه کوچکتر که به سیستم تحویل برق بزرگتر نیز متصل است) مانند یک تاسیسات صنعتی بزرگ، یک پایگاه نظامی، یا یک محوطه کالج بزرگ باشد. تولید پراکنده^۱ به تولید انرژی برق مورد نیاز در محل مصرف اطلاق می‌شود که این مفهوم در مقابل مفهوم سابق تولید برق بصورت تولید مرکزی در حجم زیاد و انتقال و توزیع انرژی توزیعی با محل‌های مصرف با فواصل فیزیکی و الکتریکی دور که باعث اتلاف زیاد انرژی (بازدهی پایین) و قابلیت اطمینان پایین می‌شد، بکار می‌رود. در روش تولید پراکنده، تولید کنندگان و مصرف کنندگان برق می‌توانند در قالب شبکه‌ای با یکدیگر تبادل برق نمایند و برق مورد نیاز خود را تامین نمایند و همچنین برق مازاد تولید خود را در اختیار شبکه سراسری قرار دهند تا سیستم دیسپاچینگ مرکزی در کنار برق تولید توسط نیروگاه‌های سراسری برق تولیدی و موجود در شبکه مدیریت شود. تفاوت روش تولید متمرکز و پراکنده در شکل ۱ نشان داده شده است.

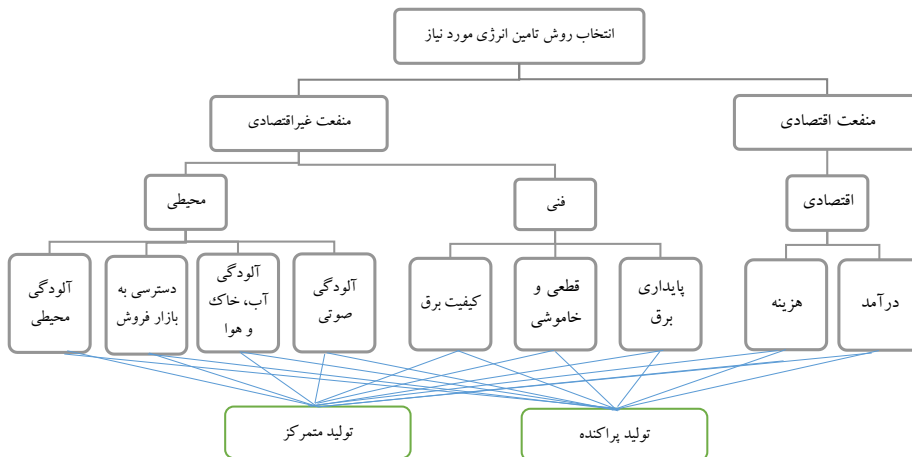


شکل ۱- تولید متمرکز و پراکنده برق

^۱ Distributed Generation (DG)

در انتخاب روش تولید انرژی با توجه به توانمندی‌های موجود در هر نقطه جغرافیایی، متغیرهایی جهت تصمیم‌گیری برای هر دو روش متمرکز و پراکنده در قالب اهمیت منافع اقتصادی و غیر اقتصادی وجود دارد که میتوان آن‌ها را در قالب شکل ۲ دسته بندی نمود تا بتوان بر اساس آنها بتوان تصمیم‌گیری و روش بهتر را انتخاب نمود.

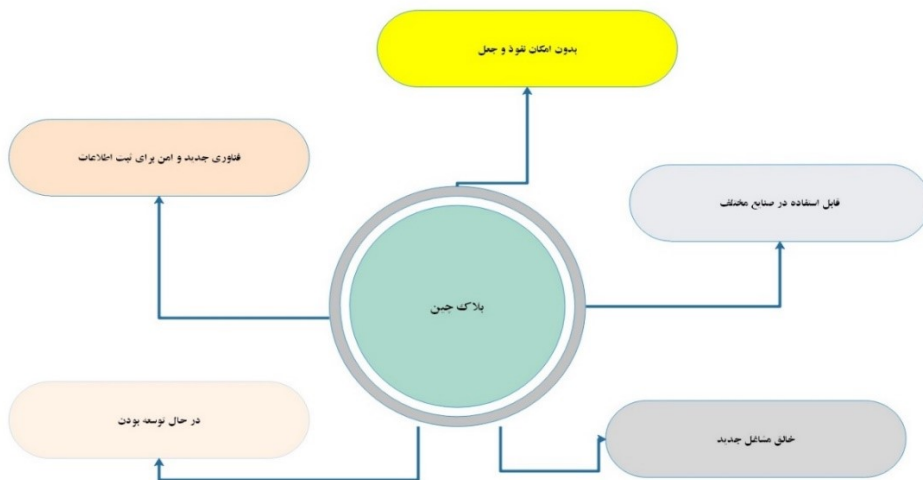
در کنار تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش تامین انرژی مورد نیاز بر مبنای شاخص‌ها و معیارهای جمع‌آوری شده، توجه به توانایی‌ها و فناوری‌های انقلاب صنعتی ۴ و هوشمندسازی تولید پراکنده برق نیز حایز اهمیت است. چرا که به وسیله‌ی فناوری‌های نوین و تکنولوژی دیجیتال می‌توان قابلیت‌های انرژی را افزایش داد. با دیجیتالی‌سازی نمودن انرژی، بهره‌وری انرژی افزایش یافته و فناوری‌های جدید و نوینی در صنعت برق ارائه می‌گردد. این فرآیند منجر به اتوماسیون شدن و تجزیه و تحلیل بهتر داده‌های و منجر به کاهش مصرف انرژی، تسهیل پاسخگویی هوشمند به افزایش تقاضا، ادغام منابع تجدیدپذیر متغیر و منابع انرژی توزیع شده و همچنین فراهم آوردن گزینه‌های نوآورانه تامین مالی در افزایش ظرفیت تولید برق می‌شود. فناوری اینترنت اشیا یکی از فناوری‌هایی است که می‌تواند در راستای این هدف کمک بسیاری نماید و همچنین به ما این امکان را می‌دهد که با کمک اتصال



شکل ۲. مدل تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش تامین برق مورد نیاز

اینترنتی پایدار، داده‌های موقعیت‌های مختلف را از یک دستگاه دیجیتال کنترل یا دریافت کنیم. با استفاده از فناوری‌های موجود اینترنت اشیا، خانه‌های هوشمند، شهر هوشمند، ماشین‌های خودران، کشاورزی هوشمند و شبکه انرژی هوشمند ایجاد گردیده است (Tyagi, Dananjayan, Agarwal, & Thariq Ahmed, ۲۰۲۳). تحولات تکنولوژیکی اخیر بعنوان یکی از عوامل محرک رشد اینترنت اشیا جهانی در بازار انرژی می‌باشد. در زمینه انرژی و بهره‌وری انرژی، اینترنت اشیا و فناوری‌ها می‌تواند بهره‌وری را افزایش داده و مزایای قابل توجهی در صرفه‌جویی زمان و هزینه ارائه نماید. این فن‌آوری‌ها همچنین فرصت‌های جدیدی را برای ظهور گزینه‌های تأمین مالی نوآورانه ایجاد می‌کنند. در سطح تولید انرژی، حسگرهای شبکه هوشمند می‌توانند با نظارت بهتر بر شبکه انرژی، عملیات و عملکرد شهری را بهبود بخشند، به طوری که منابع با دقت بیشتری تخصیص داده شوند و به نیازهای واقعی نزدیکتر شوند و از اتلاف انرژی جلوگیری شود. در شبکه هوشمند انرژی با اتصال به اینترنت اشیا توانایی تشخیص تغییرات در عرضه تقاضای برق و واکنش به موقع به آن می‌تواند بهره‌وری انرژی را بهبود بخشد. این ترکیب استفاده از منابع انرژی پایدار و تجدیدپذیر و راه‌حل‌ها و دستگاه‌های مدیریت انرژی را در این زمینه فراتر از اندازه‌گیری قرار داده است. اینترنت اشیا با ایجاد یک فرآیند پیشرفته در برنامه‌ریزی و مدیریت انرژی، به مدیران اجازه می‌دهد تا کنترل کامل داده‌های انرژی را از ابتدا در دست بگیرند و فرآیند را به طور قابل توجهی بهینه کنند. انرژی هوشمند مستلزم استفاده کارآمد از انرژی از طریق طراحی بهبودیافته، فناوری‌های راندمان بالا و حفاظت، همراه با استفاده از منابع تجدیدپذیر پاک برای ایجاد برق، گرما و سوخت‌های حمل و نقل است. در اینچنین محیطی برای افزایش اعتبار، امنیت و مدیریت ریسک فناوری مانند بلاک چین بسیار مفید می‌باشد که می‌تواند کارایی و کنترل بیشتری را بر منابع انرژی مصرف‌کنندگان ارائه دهد. بلاکچین با کاهش خطر سرمایه‌گذاری و اطمینان از شفافیت، یکپارچگی و قابلیت ردیابی معاملات فنی و تجاری و گزارش دهی، می‌تواند بهره‌وری انرژی، تجدیدپذیر و ادغام آنها را در سیستم‌های انرژی ترویج کند. در حوزه انرژی داده‌های متنوع و مختلفی شامل قیمت‌های بازار،

هزینه های نهایی، انطباق با قوانین انرژی و قیمت سوخت در دفتر کل غیرمتمرکز ثبت می شود. کسب و کارهای انرژی در سراسر جهان در حال حاضر استفاده از فناوری بلاک چین در سیستم های تجارت انرژی در مقیاس بزرگ، تجارت انرژی هم‌تا به هم‌تا، تامین مالی پروژه، ردیابی زنجیره تامین و مدیریت دارایی را در میان دیگر کاربردها آغاز کرده‌اند. با این فناوری، فرصت بیشتری برای افزایش هوشمندی، کارآمدی، شفاف‌تر و ایمن‌تر کردن حوزه انرژی در بلندمدت فراهم می آید. بلاک چین مزایای ملموسی همچون عدم امکان نفوذ و جعل، در حال توسعه بودن، خالق مشاغل جدید بودن، قابلیت بسط در صنایع مختلف در خود دارد که در شکل ۳ نشان داده شده است و برای رسیدن به هدف توسعه و فراگیر شدن بلاک چین بایستی زمینه هایی فراهم آورد تا کاربران بیشتری بتوانند در این حوزه وارد شده و علاوه بر استفاده از این حوزه ها بتوانند موجب ارتقا و بهبود سیستم ها نیز بشوند.



شکل ۳. مزایای بلاک چین

۳. پیشینه ی پژوهش

صنعت ۴.۰ توسط فناوری های نوظهور و پایه ای مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، رباتیک و بلاک چین هدایت می شود. در این میان بلاکچین با اعتمادسازی، انتقال ارزش و ذخیره داده ها، فرآیندها را خودکار و هرگونه فعالیت دستی را حذف می کند. این فناوری به یک ستون اساسی در صنعت ۴.۰ تبدیل شده است. بلاک چین یک دفتر کل توزیع شده و تغییرناپذیر با لیست های رو به رشدی از رکوردها (بلوک ها) است که به طور ایمن از طریق هش های رمزنگاری به هم مرتبط شده اند و فرآیند ثبت تراکنش ها و ردیابی دارایی ها را در یک شبکه تجاری از طریق اتصال پیوندهایی به نام زنجیره تسهیل می کند (Gorkhali, Li, & Shrestha, ۲۰۲۰). بلاک چین برای انتقال امن مواردی مانند پول، دارایی، قراردادها و غیره بدون نیاز به واسطه شخص ثالث مانند بانک یا دولت استفاده می شود. هدف بلاک چین این است که اجازه می دهد اطلاعات دیجیتال ثبت و توزیع شود، اما ویرایش نشود و همچنین قابلیت ایجاد تغییرات عمده در سراسر مشاغل جهانی را داراست. بلاک چین به صرفه جویی در هزینه ها، بهبود کارایی و شفافیت کمک می کند و با کارآمدتر و سودآورتر کردن شرکت ها، کسب و کار جهانی را بهبود می بخشد. با این فناوری می توانیم بوروکراسی های موجود را کاهش و امنیت، کارایی و شفافیت را افزایش دهیم. بلاک چین، مجموعه زنجیره ای از بلوک ها است که متناسب با نوع بلاک چین حاوی اطلاعاتی در مورد فرستنده، گیرنده و اطلاعاتی که باید منتقل شود، می باشند. این فناوری گرچه برای انجام تراکنش های دیجیتال مانند بانکداری وارد بازار شده است، اما امروزه در صنایع و حوزه های مختلفی ورود نموده و محققان بسیاری در این زمینه فعالیت های داشته اند که در جدول شماره ۳ ارائه گردیده است.

منظور و نوروژی (۱۳۹۸) در مقاله ای با عنوان "کاربردهای فناوری بلاک چین در کسب و کارهای صنعت انرژی: فرصت ها و چالش ها" به مطالعه و بررسی کاربرد این فناوری در حوزه انرژی پرداخته است. در این مقاله به مرور مفاهیم بلاک چین و ابعاد آن و همچنین معیارهای موجود پرداخته شده است. در این مقاله بیان می گردد که فناوری بلاک چین با فراهم آوردن شرایط مبادله همتا به همتا در محیطی شفاف و امن میتوان به ثبات و تعادل مطلوب تر در بخش انرژی دست یافت. حسنجانی و همکارانشان (۲۰۲۱) در مقاله ای با عنوان "فناوری بلاک چین در آینده شبکه انرژی هوشمند: مرور ساختارمند جامع" به بررسی کاربرد بلاک چین با در نظر گرفتن تمام مزایا و معایب در ساختار شبکه

هوشمند مانند قراردادهای هوشمند، مدیریت غیرمتمرکز انرژی، تجارت انرژی، تراکنش‌های مالی و غیره می‌پردازد. استفاده از دستگاه‌ها، فناوری‌های جدید، منابع انرژی تجدیدپذیر و وسایل نقلیه الکتریکی نیاز به مدیریت غیرمتمرکز انرژی را افزایش می‌دهد و تراکنش‌های داده‌ها، یعنی تراکنش‌های امن و اقتصادی از طریق شبکه‌های غیرمتمرکز تحقق می‌یابند. در این مقاله ادبیات مقایسه‌ای به منظور شناسایی کاربردهای احتمالی بلاک چین در شبکه هوشمند ارائه می‌گردد. فناوری بلاک چین به عنوان یک گزینه امیدوارکننده برای افزایش سهم انرژی تجدیدپذیر تأیید گردیده است. در مقاله‌ی "کاربرد بلاک چین در شبکه هوشمند-چارچوب و مرور" مصلح و همکارانشان (۲۰۱۹) بیان می‌کنند که افزایش تقاضای انرژی الکتریکی، رشد انرژی‌های تجدیدپذیر در قالب تولید پراکنده و غیره از چالش‌های سیستم‌های قدرت مدرن با هدف حفظ ثبات و قابلیت اطمینان در سیستم می‌باشد. برای رفع این چالش‌ها بلاک چین با ویژگی‌هایی همچون منحصر به فرد بودن و ماهیت غیر متمرکز می‌تواند گزینه‌ی مناسبی باشد. چشم‌اندازها، مزایا، رویکردها و چالش‌های فنی استفاده از فناوری بلاک چین در شبکه هوشمند در این مقاله بررسی شده و چارچوب‌هایی کاربردی مبتنی بر شبکه بلاک چین ارائه می‌شود. آدریبوله (۲۰۲۰) مقاله‌ای با عنوان "فناوری بلاک چین برای شبکه‌های هوشمند: مدل مفهومی غیرمتمرکز NIST" از قابلیت متحول کردن شبکه هوشمند توسط بلاک چین ارایه نموده است. در این مقاله، موسسه‌ی ملی استانداردها و تکنولوژی، حوزه‌های شبکه هوشمند را با توجه به سه ویژگی حیاتی بلاک چین: تمرکززدایی، اعتماد و انگیزه تحلیل می‌کند. نتایج این مقاله باید به توسعه دهندگان و محققان شبکه هوشمند در قالب تولید متمرکز و پراکنده کمک میکند تا یک مرجع مفهومی از کاربرد کلی فناوری بلاک چین در حوزه‌های شبکه هوشمند و زیر دامنه‌ها به دست آورند. ژیان چاو (۲۰۲۰) مقاله‌ای با عنوان "چگونه می‌توان رقابت منابع انرژی پراکنده در چین را با فناوری بلاک چین بهبود بخشید" و بیان ویژگی‌های دفتر کل توزیع شده و اجرای خودکار قراردادهای هوشمند در زمینه انرژی پراکنده ارایه نموده است. ادغام منابع انرژی توزیع شده در چین با فناوری بلاک چین ممکن است الگوی موجود را که در آن تولید، حمل و نقل، توزیع و فروش انرژی متمرکز است، بشکند. ژیان چاو ابتدا وضعیت فعلی منابع انرژی توزیع شده در چین و فناوری بلاک چین را خلاصه نموده و سپس از مدل پنج نیروی مایکل پورتر برای تجزیه و تحلیل رقابت پذیری منابع انرژی توزیع شده استفاده کرده است. بر اساس تجزیه و تحلیل رقابت پذیری، مدل SWOT

برای تجزیه و تحلیل مدل توسعه مشترک "فناوری بلاک چین + منابع انرژی توزیع شده"، امکان استفاده از فناوری بلاک چین با توانایی رقابت پذیری برای سیستم های منابع انرژی توزیع شده آشکار می شود. در سال ۲۰۲۲ ژین در مقاله ی "مطالعات بنیادی منابع انرژی توزیع شده هوشمند همراه با بلاک چین انرژی" با بکارگرفتن متدولوژی گسترده کاربرد عمده منابع انرژی توزیع شده هوشمند را از نظر تولید، مصرف، تراکنش و زمان بندی انرژی مورد مطالعه قرار داد. در اینجا یک مدل عمومی برای بررسی یک سیستم پراکنده هوشمند استفاده می شود. الگوریتم رایانه داده های مختلفی را جمع آوری می کند که برای یادگیری عمیق و تصمیم گیری هوش مصنوعی کاربرد دارد. نویسندگان نتایج مهم و بهترین راه حل ها را برای پاسخگویی به تقاضای برق، ارائه یک مزیت اقتصادی و رد پای کربن کم برای مصرف کنندگان نشان می دهند. علاوه بر این، چندین گزینه شبکه بلاک چین مورد بحث قرار گرفته است. EBC و DER ترکیبی ایده آل با مزایای مدیریت اکسرژی از طریق به اصطلاح فناوری توان هوشمند هستند. این فناوری به تفصیل مورد بحث قرار می گیرد و شامل سخت افزار، نرم افزار ویژه و مجموعه وسیعی از هوش رایانه ای است. جبارپور (۱۴۰۲) در مقاله ی "طراحی و پیاده سازی پلتفرم بومی مبادله انرژی همتا به همتای مبتنی بر بلاکچین" توجه به انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده در سال های اخیر به دلیل رشد تقاضای انرژی و آلودگی های زیست محیطی را مدنظر قرار داده است. در ادامه بیان شده است که در ساختار جدید شبکه انرژی، مصرف کنندگان می توانند با استفاده از تکنولوژی های تولید پراکنده نقش تولید کننده هم داشته باشند. در کنار تولید انرژی نیاز به بستر و ساختاری امن، شفاف، سریع و مقیاس پذیر برای تبادلات انرژی به شدت احساس می شود که این امر در فناوری بلاکچین وجود دارد. با این که پلتفرم های مبتنی بر بلاکچین زیادی در کشورهای مختلف در حوزه انرژی ارائه شده است، اما در ایران چنین پلتفرمی وجود ندارد. در این مقاله طراحی و پیاده سازی پایلوت پلتفرم بومی مبادله انرژی همتا به همتای مبتنی بر بلاکچین با در نظر گرفتن شرایط خاص شبکه برق ایران صورت پذیرفته است. پایلوت پلتفرم پیشنهادی در قالب ۴ عنصر اصلی شامل قرارداد هوشمند، رابط کاربری، پلتفرم بلاکچین، پایگاه داده بلاکچینی و غیر بلاکچینی پیاده سازی شده و با استفاده از سناریوهای مختلف مورد ارزیابی و آزمون قرار گرفته است. نکته ای که در این مقاله وجود داشت این است که فقط طراحی معماری با توجه به قابلیت های موجود در بلاک چین می باشد، مدنظر قرار گرفته است و به موضوع تولید پراکنده و بلاک چین و اینکه چه عواملی میتواند موجب

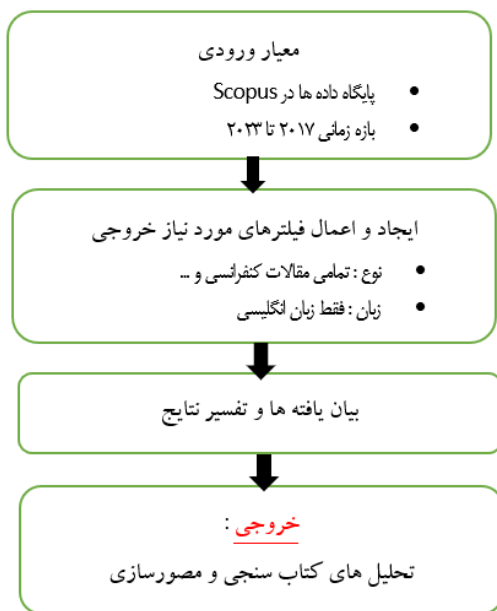
توسعه و فراگیر شدن تولید انرژی با تکنولوژی پراکنده و معاملات آن در بستر بلاک چین باشد پرداخته نشده است. خالد المطیری و همکاران (۲۰۲۲) مقاله‌ای با عنوان "چالش‌های کاربرد فناوری بلاک چین در مدیریت زنجیره تامین انرژی‌های تجدیدپذیر" و اینکه فناوری‌های جدید بلاک چین می‌تواند با بهبود عملیات زنجیره‌ای و لجستیکی در زمینه‌هایی همچون اعتمادسازی، ایجاد شفافیت و پاسخگویی، اشتراک‌گذاری اطلاعات، مبادلات مالی و یکپارچه‌سازی زنجیره تامین که می‌تواند به زنجیره‌های تامین انرژی پایدار با نگاهی به کشور ایران کمک کند، ارایه نموده است. در این تحقیق شناسایی معیارها و چالش‌های کاربرد بلاک چین در زنجیره‌های تامین انرژی‌های تجدیدپذیر متمرکز شده و همچنین چالش‌های شناسایی شده را از نظر ظرفیت آنها برای ایجاد اختلال در فرآیند رتبه‌بندی نموده است. در این مطالعه، چالش‌های موجود با روش‌های ترکیبی توسعه یافته با ادغام مفهوم اعداد خاکستری در تجزیه و تحلیل نسبت ارزیابی وزن گام به گام خاکستری، ارزیابی خاکستری بر اساس فاصله از راه حل متوسط ارزیابی و رتبه‌بندی شده اند و تایید رتبه‌بندی‌های به دست آمده نیز همبستگی بالایی را نشان داده است. از میان همه‌ی چالش‌های موجود، «هزینه سرمایه‌گذاری بالا» بعنوان مهم‌ترین چالش برای کاربرد بلاک چین در زنجیره‌های تامین انرژی پایدار عنوان شده است. نکته‌ی قابل تامل در مقاله این است که یکی از قابلیت‌های بلاک چین سرمایه‌گذاری جمعی و تشویق به مشارکت در سرمایه‌گذاری است که می‌تواند با استفاده از آن موضوع هزینه‌ی سرمایه‌گذاری بالا را قابل درک نمود. با مرور ادبیات و پیشینه تحقیق از مقالات فوق و دیگر مقالات، عوامل موثر در توسعه تولید پراکنده انرژی شناسایی گردید و همچنین مشخص شد که در این زمینه و توسعه آیمده‌ی آن، پژوهشی انجام نشده است بنابراین، در این پژوهش به این موضوع پرداخته شده است. در ادامه نیز مقالات مورد بررسی در پیشینه پژوهش و مرور منابع مختلف در جدول ۱ به منظور مقایسه‌ی بهتر ارایه شده است همچنین پس از مرور منابع در این بخش خلاء‌های موجود و موجبات زمینه‌های تحقیق در حوزه‌ی فناوری بلاک چین و انرژی بدست آمده است.

جدول ۱. پیشینه پژوهش مقاله

عنوان مقاله	نویسنده	روش تحقیق	نتایج
کاربردهای فناوری بلاک چین در کسب و کارهای صنعت انرژی: فرصت‌ها و چالش‌ها	منظور و نوروزی	مروری و مطالعه‌ی تطبیقی	فرصت‌ها و چالش‌های حوزه انرژی و نیازمندی‌های بخش انرژی در همراهی و بهره‌ای از فناوری بلاک چین پرداخته
فناوری بلاک چین در آینده شبکه انرژی هوشمند: مرور ساختارمند جامع	حسنخانی و همکاران	مروری و مطالعه‌ی تطبیقی	در این مقاله ادبیاتی مقایسه‌ای به منظور شناسایی کاربردهای احتمالی بلاک چین در شبکه هوشمند انرژی ارائه شده تا نقاط قوت و ضعف احصا گردد.
کاربرد بلاک چین در شبکه هوشمند-چارچوب و مرور	مصلح و همکارانشان	مقاله مروری	در این تحقیق چشم‌اندازها، مزایا، رویکردها و چالش‌های فنی استفاده از فناوری بلاک چین در شبکه هوشمند را بررسی نموده است.
فناوری بلاک چین برای شبکه‌های هوشمند: مدل مفهومی غیرمتمرکز NIST	آدریوبله و دیگران	تحلیلی و مروری	در این تحقیق مدلی استاندارد در حوزه‌های شبکه هوشمند با توجه به ویژگی‌های تمرکززدایی، اعتماد و انگیزه بلاک چین تحلیل شده است.
چگونه می‌توان رقابت منابع انرژی پراکنده در چین را با فناوری بلاک چین بهبود بخشید	ژیان چاو و دیگران	استفاده از مدل SWOT برای تجزیه و تحلیل فناوری بلاک چین	در این مقاله بیان می‌شود که فناوری بلاک چین می‌تواند رقابت پذیری منابع انرژی پراکنده را افزایش دهد.
مطالعات بنیادی منابع انرژی توزیع شده هوشمند همراه با بلاک چین انرژی	ژین	مطالعه تطبیقی	بررسی تفصیلی فناوری بلاک چین و انرژی
طراحی و پیاده‌سازی پلتفرم بومی مبادله انرژی هم‌تا به هم‌تای مبتنی بر بلاک‌چین	جبارپور و صغیری	طراحی و پیاده‌سازی پایلوت پلتفرم بومی	بررسی امکان ادغام سامانه‌های مبتنی بر اتریوم، به واسطه طراحی ماژولار دارای قابلیت توسعه‌پذیری فناوری بلاک چین
چالش‌های کاربرد فناوری بلاک چین در مدیریت زنجیره تامین انرژی‌های تجدیدپذیر	خالد المطیری و همکاران	ارزیابی و رتبه‌بندی و استفاده از تکنیک SWARA و EDAS	شناسایی چالش‌های موجود در کاربرد بلاک چین در زنجیره‌های تامین انرژی‌های تجدیدپذیر

۴. روش‌شناسی و متدولوژی پژوهش

ابتدا ادبیات مربوط به حوزه انرژی هوشمند منتشر شده از سال ۲۰۱۷ تا ژانویه ۲۰۲۳ در پایگاه داده مجموعه Scopus جهت کتاب‌سنجی و بررسی عینی، کمی و آماری با استفاده از نرم‌افزار Vos Viewer به منظور تحلیل هم‌تالیفی که نشان می‌دهد چه کشورها و نویسندگان با یکدیگر بیشترین همکاری را داشته‌اند و تحلیل هم‌آیندی که پرکاربردترین واژگان و روندهای پژوهشی را نشان می‌دهد، استخراج شد. مراحل این نرم‌افزار مانند آنچه در شکل ۴ نشان داده شده است بوده و در این نرم‌افزار معیارهای ورودی و خروجی جهت بازیابی داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. ابتدا پایگاه داده Scopus به مترله ورودی، برای بازیابی داده‌ها با توجه به اطمینان در پژوهش‌های این مرجع انتخاب و در نظر گرفته شد.



شکل ۴. مراحل پژوهش و تحلیل کتاب‌سنجی

مرحله بعد از تحلیل هم‌آیندی واژگان با استفاده از روش Vos Viewer، شناسایی و تحلیل پیشران‌های اثرگذار در انرژی هوشمند بر بستر فناوری بلاک چین که از اهداف پژوهش در این مقاله مدنظر قرار گرفت. برای رسیدن به این هدف از تکنیک دلفی فازی و مارکوس^۱ که از روش‌های کمی هستند برای تجزیه و تحلیل استفاده شده است. با توجه به ماهیت کمی فنون مورد استفاده پژوهش، تحقیق حاضر دارای روش‌شناسی کمی است. همچنین به دلیل مزیت یافته‌های پژوهش برای صنعت انرژی، پژوهش از جهت‌گیری کاربردی نیز برخوردار است. جهت گردآوری داده‌ها از دو ابزار مطالعه پیشینه و پرسشنامه استفاده شده است. پیشران‌های پژوهش از بررسی مقالات مرتبط در حوزه انرژی، تولیدپراکنده انرژی، انقلاب صنعتی چهارم، بلاک چین و کلیدواژه‌هایی در این زمینه بدست آمد. در ادامه برای تحلیل داده‌های مطالعه، دو پرسشنامه خبره‌سنجی و اولویت‌سنجی میان خبرگان توزیع شد. پرسشنامه‌های خبره‌سنجی با تکنیک دلفی فازی و پرسشنامه‌های اولویت‌سنجی با تکنیک مارکوس از تکنیک‌های جدید حوزه تصمیم‌گیری مورد بررسی قرار گرفت. به علت اینکه محتویات پرسشنامه از مرور پیشینه مقالات معتبر احصا شد، هر دو پرسشنامه خبره‌سنجی و اولویت‌سنجی از روایی مطلوب برخوردار بودند. همچنین به علت انتخاب حجم مطلوب (۶ نفر) و غربال پیشران‌های پژوهش و کاهش قابل توجه آن‌ها، پرسشنامه اولویت‌سنجی حائز پایایی بود. خبرگان پژوهش حاضر، از اساتید دانشگاهی با رتبه استادیاری و همچنین دارندگان مقالات مرتبط و فعالین در حوزه بلاک چین انتخاب گردیدند. روش نمونه‌گیری نیز با توجه به ماهیت خبره‌محور، قضاوتی بوده و افراد بر مبنای تخصص در حوزه‌های مدنظر گزینش شده‌اند. حجم نمونه در این مطالعه برابر ۶ نفر بود که برای فنون خبره‌محور دارای ماهیت قضاوتی عدد مناسبی است. در مرحله اول، پیشران‌های کلیدی اثرگذار بر آینده توسعه انرژی با تمرکز بر فناوری بلاک چین از طریق مرور پیشینه بدست آمد. در مرحله بعدی این پیشران‌ها با جمع‌آوری نظرات خبرگان و بکارگیری روش دلفی فازی در طی مراحل که در شکل ۵ نشان داده شده است، غربال شده و در پایان درجه اولویت و اهمیت هر یک از پیشران‌های پژوهش با استفاده از روش مارکوس مشخص شد. الگوریتم اجرای دلفی فازی برای غربالگری شامل مراحل زیر است:

^۱ Measurement Alternative and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS)

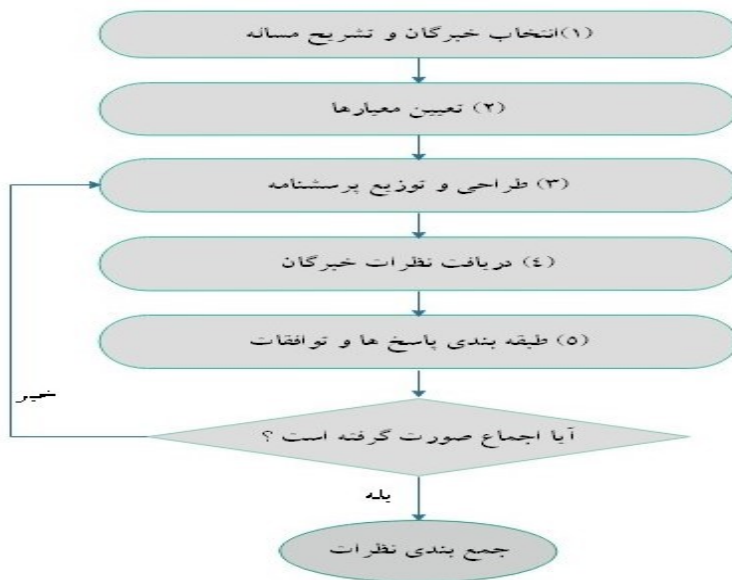
۱. شناسایی طیف مطلوب برای فازی‌سازی عبارات کلامی؛

۲. تجمیع فازی مقادیر فازی شده؛

۳. فازی‌زدایی مقادیر؛

۴. انتخاب شدت آستانه و غربال عوامل و شاخص‌ها.

مرحله ۱. گردآوری و فازی‌سازی نظرات خبرگان: در الگوریتم تکنیک دلفی فازی برای غربالگری، نخست باید یک طیف فازی مناسب برای فازی‌سازی عبارات زبانی خبرگان توسعه یابد. بدین منظور می‌توان از طیف‌های فازی رایج استفاده کرد. در این مطالعه از طیف لیکرت پنج درجه استفاده شده که در جدول ۲ آمده است.



شکل ۵. مراحل تکنیک دلفی فازی

جدول ۲. طیف فازی روش دلفی

متغیر کلامی	مقدار فازی	عدد فازی مثلثی
خیلی کم	۱	(۰, ۰, ۰/۲۵)
کم	۲	(۰, ۰/۲۵, ۰/۵)
متوسط	۳	(۰/۷۵, ۰/۵, ۰/۲۵)
زیاد	۴	(۰/۵, ۰/۷۵, ۱)
خیلی زیاد	۵	(۰/۷۵, ۱, ۱)

مرحله ۲. تجمیع فازی مقادیر فازی شده: بعد از انتخاب طیف فازی مطلوب، دیدگاه‌های خبرگان گردآوری و فازی‌سازی می‌شود. چندین رویه برای تجمیع فازی دیدگاه‌های خبرگان ارائه شده است. اگر نظر هر خبره به عنوان اعداد فازی مثلثی (l, m, u) نمایش داده شود، مطلوب‌ترین روش، محاسبه میانگین فازی دیدگاه‌های خبرگان است:

$$F_{AVE} = \frac{\sum l}{n}, \frac{\sum m}{n}, \frac{\sum u}{n} \quad \text{رابطه ۱}$$

به جای استفاده از میانگین فازی، فنون دیگری نیز برای تجمیع نظرات خبرگان استفاده می‌شود. در برخی منابع، میانگین هندسی به جای میانگین حسابی ساده بکار گرفته شده است.

$$G = \sqrt[n]{a_1 * a_2 * a_3 * \dots * a_n} \quad \text{رابطه ۲}$$

مرحله ۳. فازی‌زدایی مقادیر: پس از جمع‌بندی فازی دیدگاه‌های خبرگان، بایستی مقادیر از آن جدا شود. در فنون متعددی که با رویکرد فازی انجام می‌شود، پژوهشگر نهایتاً مقادیر فازی نهایی را به یک عدد قابل فهم تبدیل می‌کند. معمولاً جمع اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای را می‌توان با یک مقدار معین نشان داد که مناسب‌ترین

شاخص، میانگین است. این عمل به عنوان فازی‌سازی شناخته می‌شود. یکی از فنون ساده برای فازی‌زدایی، میانگین اعداد فازی مثلثی است:

$$\text{رابطه ۳} \quad \text{if } \tilde{F} = (l, m, u) \text{ then } F = \frac{l + 4m + u}{6}$$

مرحله ۴. بعد از انتخاب روش مطلوب و فازی‌زدایی ارزش‌ها، یک حد آستانه باید محاسبه شود. این حد معمولاً بر مبنای نظر پژوهشگر در مطالعات مختلف متمایز است. در صورتی که ارزش قطعی فازی‌زدایی نظرات خبرگان تجمیع شده بالاتر از حد آستانه باشد، عامل مورد نظر در تحلیل باقی می‌ماند. در غیر این صورت عامل مورد نظر حذف می‌شود.

در این مطالعه رتبه‌بندی پیشران‌های موثر روی آینده انرژی با تمرکز بر فناوری بلاک‌چین، از تکنیک تصمیم‌گیری مارکوس استفاده می‌شود. روش MARCOS برای اولین بار در سال ۲۰۱۹ استفاده شد. این روش در مطالعات متعددی از جمله در انتخاب روش‌های حمل و نقل میانی بین کشورها، برای به حداقل رساندن خطرات در حمل و نقل، در انتخاب تجهیزات بالا بر برای خدمات در انبارها، برای انتخاب نیروی انسانی برای شرکت‌های حمل و نقل و برای انتخاب هزینه در ساخت و ساز مورد استفاده قرار گرفته است. مارکوس یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره بر مبنای رابطه‌ی بین گزینه‌ها و مقادیر مرجع (ایده آل و غیر ایده آل) است که برای اولین بار در سال ۲۰۲۰ پیشنهاد شد. این روش بر اساس روابط تعریف شده تابع بهره مربوط به هر گزینه محاسبه شده و رتبه بندی‌سازشی بر اساس رابطه هر گزینه با گزینه ایده آل و غیر ایده آل صورت گرفته و اولویت بندی‌ها بر اساس تابع بهره ارائه می‌شود. تا کنون، هیچ مطالعه‌ای در مورد استفاده از تکنیک MARCOS برای اولویت بندی پیشران‌های بلاک‌چین وجود نداشته است. این اولین مطالعه و بکارگیری تکنیک در این موضوع است. مراحل اجرای تصمیم‌گیری چند معیاره بر اساس روش MARCOS به شرح زیر است:

مرحله ۱: ساخت ماتریس اولیه بر اساس معادله زیر:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

که در آن m تعداد گزینه‌ها است. n تعداد معیارها است. X_{mn} مقدار n معیار بر حسب m است.

مرحله ۲: ساخت یک ماتریس اولیه که با افزودن یک راه حل ایده آل (AI) و جواب مخالف به راه حل ایده آل (AAI) توسعه می‌یابد.

$$X = \begin{matrix} AAI \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \\ AI \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{aa1} & \dots & x_{aan} \\ x_{11} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \\ x_{ai1} & \dots & x_{ain} \end{bmatrix}$$

جایی که:

$$AAI = \min (x_{ij}); i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

ملاک j هر چه بزرگتر باشد بهتر است.

$$AAI = \max (x_{ij}); i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

ملاک j هر چه کوچکتر باشد بهتر است.

$$AI = \max (x_{ij}); i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

ملاک j هر چه بزرگتر باشد بهتر است.

$$AI = \min (x_{ij}); i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

ملاک j هر چه کوچکتر باشد بهتر است.

مرحله ۳: محاسبه مقادیر نرمال شده با توجه به معادلات زیر:

$$= \begin{aligned} & \text{زهرچه کوچکتر باشد بهتر است} \\ & u_{ij} = \frac{x_{AI}}{x_{ij}} \\ & \text{زهرچه بزرگتر باشد بهتر است} \\ & u_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{AI}} \end{aligned}$$

مرحله ۴: با استفاده از معادله زیر مقادیر نرمالیزه وزنی محاسبه می‌شود که در آن W وزن معیار است.

$$C_{ij} = u_{ij} \cdot W_j$$

مرحله ۵: با معادلات زیر ضرایب K_i^+ و K_i^- را محاسبه نمایید:

$$k_i^- = \frac{S_i}{S_{AAI}}$$

$$k_i^+ = \frac{S_i}{S_{AI}}$$

که در آن S_i ، S_{AAI} و S_{AI} به ترتیب از جمع مقادیر C_{ij} و X_{ai} و X_{aai} بدست می‌آید. با مقادیر $i=1,2,\dots,m$ مرحله ۶: توابع $f(K_i^-)$ و $f(K_i^+)$ را از فرمول‌های زیر محاسبه نمایید:

$$f(k_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-}$$

$$f(k_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-}$$

مرحله ۷: تابع $f(K_i)$ با توجه به معادله زیر محاسبه و گزینه‌ها را بر اساس بیشترین مقدار که بهترین راه حل است رتبه بندی نمایید.

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 - f(k_i^+) + 1 - f(k_i^-)} + \frac{K_i^+}{f(k_i^+) + f(k_i^-)}$$

۵. یافته‌های پژوهش:

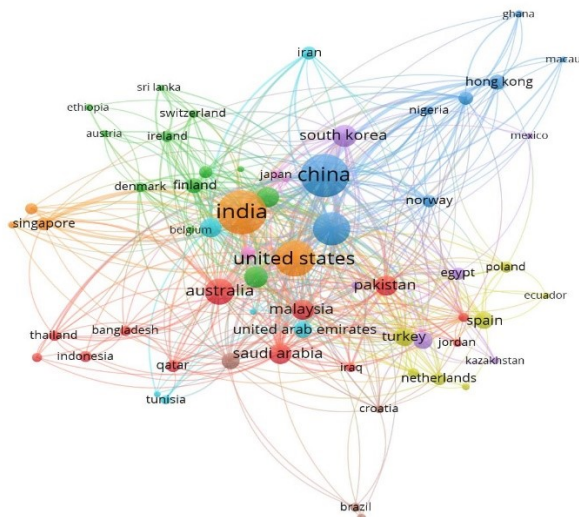
به منظور جست و جو و نشان دادن ساختار گرافیکی از نرم افزار VOS Viewer در میان کلمات «انقلاب صنعتی»، «انرژی» و «بلاک چین» به عنوان کلیدواژه برای یافتن نزدیک‌ترین مقالات منطبق در پایگاه Scopus که تعداد ۱۲۰۸ مقاله بود بدست آمد. طبق منابع Scopus Digital Transformation، تعداد قابل توجهی از

انتشارات تحقیقاتی نویسنده، سال انتشار، مجله، زبان، کلمات کلیدی، عنوان، چکیده، تعداد استنادها، وابستگی و نوع سند به فرمت CSV برای مقالاتی که معیارها را برآورده می‌کردند صادر شدند. تعدادی از فعال‌ترین کشورها، تعداد مقالات و تعداد استنادها در حوزه انرژی و فناوری‌های انقلاب صنعتی ۴ در جدول ۳ و تعدادی از پرکاربردترین واژگان نیز در جدول ۴ آورده شده است.

همچنین بررسی داده‌های بازیابی شده برای شناسایی کشورهای فعال مرتبط با موضوع مقاله در تحلیل هم‌تالیفی شکل ۶ و بررسی واژگان کلیدی در تحلیل هم‌آیندی واژگان در ادامه در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۳. پراستنادترین کشورها

ردیف	نام کشور	تعداد مقاله	تعداد استناد	قدرت کلی پیوند
۱	هند	۲۳۹	۵۲۹۷	۲۳۱
۲	چین	۲۲۸	۶۱۸۷	۱۸۹
۳	ایالات متحده	۱۵۸	۷۷۴۸	۱۷۳
۴	انگلستان	۱۳۶	۵۹۷۶	۲۱۴
۵	استرالیا	۸۵	۳۳۸۲	۱۱۳
۶	کره جنوبی	۶۳	۱۹۲۰	۷۳
۷	ایتالیا	۵۷	۱۶۹۳	۴۵
۸	عربستان	۴۹	۱۳۱۰	۸۳
۹	آلمان	۴۸	۱۱۱۲	۴۰
۱۰	مالزی	۴۸	۸۲۶	۷۸



شکل ۶. هم تالیفی کشورها

در ادامه جدول شماره ۳ پرکاربردترین واژگان و تکرار آنها و در نهایت پیوند میان این واژگان در شکل ۷ نشان داده شده است که در روند تحقیق بسیار موثر می باشد.

جدول ۴. پرکاربردترین واژه ها

ردیف	واژگان	تکرار	قدرت کلی پیوند
۱	بلاک چین	۹۱۶	۶۳۳۳
۲	اینترنت اشیا	۲۵۷	۲۳۷۷
۳	انقلاب صنعتی ۴	۱۴۷	۱۳۰۰
۴	امنیت شبکه	۹۵	۹۴۴
۵	هوش مصنوعی	۱۰۰	۸۲۸
۶	شبکه انتقال برق	۵۴	۶۲۳
۷	بازار انرژی	۵۰	۵۱۸
۸	شبکه انرژی هوشمند	۳۸	۴۶۱
۹	قرارداد هوشمند	۶۱	۴۱۳
۱۰	شهر هوشمند	۴۴	۴۰۰

جدول ۵. پیشران‌های شناسایی شده

ردیف	پیشران	مرجع پیشران‌ها
۱	ایجاد و توسعه چارچوب‌های نظارتی و قانونی بلاک چین در تولید پراکنده انرژی	(Mylrea & Gourisetti, ۲۰۱۷), (Ahl, Yarime, Tanaka, & Sagawa, ۲۰۱۹), (Yeoh, ۲۰۱۷)
۲	ملاحظات امنیتی ساختار بلاک چین در تولید پراکنده انرژی	(Dorri, Luo, Kanhere, Jurdak, & Dong, ۲۰۱۹), (Shuaib, Abdella, Sallabi, & Abdel-Hafez, ۲۰۱۸)
۳	قابلیت ساختاری بلاک چین در کاهش اتلاف انرژی در روش تولید پراکنده	(Dehghani et al., ۲۰۲۰), (Kumar et al., ۲۰۲۰)
۴	تاثیر بلاک چین در کارآمدتر کردن مصرف انرژی در روش تولید پراکنده انرژی	(Mathew et al., ۲۰۲۲), (Amini, ۲۰۲۰)
۵	تاثیر بلاک چین در کارآمدتر شدن توزیع در روش تولید پراکنده انرژی	(Hou, Wang, & Luo, ۲۰۲۰), (Kumar, ۲۰۱۸)
۶	توسعه کشورهای هوشمند در شبکه انرژی با روش تولید پراکنده مبتنی بر قابلیت بلاک چین	(D'Oriano et al., ۲۰۱۸)
۷	توسعه روش تولید پراکنده انرژی مبتنی بر چالش‌ها و فرصت‌های موجود بلاک چین	(Ahl et al., ۲۰۱۹)
۸	توسعه روش تولید پراکنده انرژی با توجه به توسعه بلاک چین در صنایع دیگر	(Che et al., ۲۰۱۹)
۹	سازماندهی نمودن منابع انرژی در تولید پراکنده انرژی با استفاده از بلاک چین	(Ahl et al., ۲۰۱۹), (Pieroni, Scarpato, Di Nunzio, Fallucchi, & Raso, ۲۰۱۸)
۱۰	احراز هویت انرژی و اعتبارسنجی در روش تولید پراکنده انرژی با استفاده از بلاک چین	(Yap, Chin, & Klemeš, ۲۰۲۳)
۱۱	ایجاد ریزشبکه‌هایی هوشمند از مولدهای پراکنده با استفاده از بلاک چین	(Khorasany, Azuatalam, Glasgow, Liebman, & Razzaghi, ۲۰۲۰; Mylrea & Gourisetti, ۲۰۱۷)
۱۲	قابلیت‌های بلاک چین در ساده‌سازی و صرفه‌جویی هزینه‌ها در روش تولید پراکنده انرژی	(Kumar, ۲۰۱۸)
۱۳	قابلیت‌های مالی بلاک چین در پذیرش این فناوری توسط سرمایه‌گذاران خرد و کلان	(Valdivia & Balcell, ۲۰۲۲)

(Wang, Feng, & Xiong, ۲۰۲۲)	حمایت دولت و وضعیت حکمرانی از بلاک چین در توسعه روش تولید پراکنده انرژی	۱۴
(Valdivia & Balcell, ۲۰۲۲)	تشویق به سرمایه گذاری در روش تولید پراکنده با استفاده از بلاک چین	۱۵
(Schindler, ۲۰۱۷)	تاثیر فین تک ها در توسعه روش تولید پراکنده	۱۶
(Belaïd, Al-Sarihi, & Al-Mestneer, ۲۰۲۳)	استانداردهای حوزه جهانی انرژی و تولید پراکنده در کاربرد بلاک چین	۱۷
(Belaïd et al., ۲۰۲۳; YAN, HUANG, & HONG, ۲۰۱۸)	قابلیت بلاک چین در سازگاری با محیط زیست در روش تولید پراکنده	۱۸
(Xu et al., ۲۰۱۸)	شفافیت مالی و اقتصادی در روش تولید پراکنده با همراهی بلاک چین	۱۹
(Woo et al., ۲۰۲۱)	وضع قوانین و مقررات بازار دیجیتال در روش تولید پراکنده برق با کاربرد بلاک چین	۲۰
(Shuaib et al., ۲۰۱۸)	درآمدزایی در روش تولید پراکنده برق با کاربرد بلاک چین	۲۱
(Zhu, Song, Lim, Wang, & Zhao, ۲۰۲۰)	امکان تولید اوراق بهادار مبتنی بر بلاک چین در بازار انرژی با روش تولید پراکنده برق	۲۲
(Küfeoglu, Liu, Anaya, & Pollitt, ۲۰۱۹),(Pieroni et al., ۲۰۱۸)	تحول در ایجاد مدل های کسب و کار جدید در حوزه شبکه انرژی مبتنی بر بلاک چین	۲۳
(Giulietti, Le Coq, Willems, & Anaya, ۲۰۱۹),(Hou et al., ۲۰۲۰)	کاربرد بلاک چین و سرمایه گذاری تجمعی در توسعه روش تولید پراکنده	۲۴
(Zhao et al., ۲۰۱۹)	کاربرد بلاک چین در توسعه استارت‌آپ های مالی انرژی در روش تولید پراکنده	۲۵
(Mylrea & Gourisetti, ۲۰۱۷),(YAN et al., ۲۰۱۸)	کاربرد بلاک چین در مدیریت هزینه های موجود در روش تولید پراکنده	۲۶

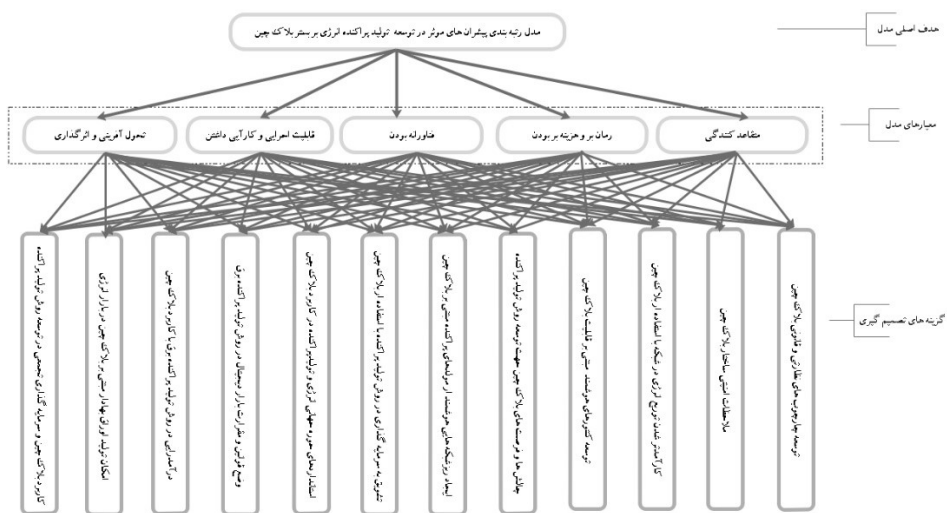
۲۶ پیشران استخراج شده از مرور پیشینه و مطالعه مقالات با خبرگان با تکنیک دلفی فازی غربال شدند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به کثرت عوامل بسیار حساس هستند. در این بخش ۱۴ پیشران از محاسبات حذف شده و ۱۲ پیشران برای تحلیل نهایی انتخاب شدند. پیشران‌هایی که دارای عدد دیفازی بیشتر از ۰/۷ بودند برای رتبه‌بندی نهایی با روش مارکوس گزینش شدند. در این مطالعه ۱۲ پیشران دارای عدد دیفازی بالاتر از ۰/۷ بودند. عدد ۰/۷ حد آستانه برای ارزیابی و غربال پیشران‌ها در نظر گرفته شد. معمولاً حد آستانه در مطالعات عددی بین ۰/۵ تا ۰/۷ است که در این پژوهش عدد ۰/۷ به عنوان حد آستانه در نظر گرفته شد. لیست پیشران‌های نهایی و دیفازی شده در جدول ۶. به همراه حرف انگلیسی G جهت تسهیل و اختصار در ارایه پیشران‌ها جداول نشان داده شده است.

جدول ۶. خروجی دلفی فازی

عدد دیفازی	میانگین نظرات خبرگان			پیشران‌های پژوهش
	حد بالا	میانه	حد پایین	
۰/۸۷	۱/۰۰	۰/۸۹	۰/۶۴	ایجاد و توسعه چارچوب‌های نظارتی و قانونی بلاک چین در تولید پراکنده انرژی (G۱)
۰/۷۶	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۵۱	ملاحظات امنیتی ساختار بلاک چین در تولید پراکنده انرژی (G۲)
۰/۷۲	۰/۹۴	۰/۷۳	۰/۴۷	تاثیر بلاک چین در کارآمدتر شدن توزیع در روش تولید پراکنده انرژی (G۳)
۰/۸۳	۱/۰۰	۰/۸۴	۰/۵۹	توسعه کنتورهای هوشمند در شبکه انرژی با روش تولید پراکنده مبتنی بر قابلیت بلاک چین (G۴)
۰/۷۶	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۵۱	توسعه روش تولید پراکنده انرژی مبتنی بر چالش‌ها و فرصت‌های موجود بلاک چین (G۵)

۰/۷۶	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۵۱	ایجاد ریزشکه هایی هوشمند از مولدهای پراکنده با استفاده از بلاک چین (G۶)
۰/۷۹	۱/۰۰	۰/۷۹	۰/۵۴	تشویق به سرمایه گذاری در روش تولید پراکنده با استفاده از بلاک چین (G۷)
۰/۸۰	۰/۹۴	۰/۸۲	۰/۵۶	استانداردهای حوزه جهانی انرژی و تولید پراکنده در کاربرد بلاک چین (G۸)
۰/۹۶	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷۵	وضع قوانین و مقرارت بازار دیجیتال در روش تولید پراکنده برق با کاربرد بلاک چین (G۹)
۰/۷۶	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۵۱	درآمدزایی در روش تولید پراکنده برق با کاربرد بلاک چین (G۱۰)
۰/۷۲	۰/۹۴	۰/۷۳	۰/۴۷	امکان تولید اوراق بهادار مبتنی بر بلاک چین در بازار انرژی با روش تولید پراکنده برق (G۱۱)
۰/۷۶	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۵۱	کاربرد بلاک چین و سرمایه گذاری تجمعی در توسعه روش تولید پراکنده (G۱۲)

در ادامه پیشران‌های پژوهش که بعد از دیفازی شدن انتخاب گردیدند جهت رتبه بندی با تکنیک مارکوس مورد بررسی و تحلیل قرار می گیرند. معیارها و گزینه هایی که بایستی در این مدل بررسی شوند در شکل ۸ در قالب مدل رتبه بندی پیشران های موثر در توسعه روش تولید پراکنده بر بستر بلاک چین ارایه شده است.



شکل ۸. مدل رتبه بندی پیشران‌های موثر در توسعه روش تولید پراکنده

جهت شروع فرآیند پیشران‌ها را با معیارها و شاخص‌هایی مانند تحول آفرینی و اثرگذاری (S۱)، قابلیت اجرایی و کارایی داشتن (S۲)، فناوریانه بودن (S۳)، زمان بر و هزینه بر بودن (S۴) و متقاعدکنندگی جهت پیاده‌سازی و اجرای بلاک چین در حوزه انرژی (S۵) را در قالب پرسشنامه‌هایی در اختیار ۶ نفر از خبرگان قرار دادیم که نظرات خود را ابرای نمایند. نتایج نهایی نظرات خبرگان در جدول ۷.۱۷.ارایه شده است.

جدول ۷. نتایج نهایی نظرات خبرگان

نتایج نهایی	S۱	S۲	S۳	S۴	S۵
G۱	۴/۶۷	۴/۸۳	۴/۱۷	۴/۸۳	۴/۱۷
G۲	۴/۱۷	۳/۸۳	۴/۱۷	۴/۱۷	۴/۵۰
G۳	۴/۱۷	۳/۸۳	۳/۱۷	۴/۱۷	۳/۸۳
G۴	۳/۸۳	۳/۸۳	۳/۱۷	۳/۸۳	۲/۸۳

۳/۱۷	۴/۱۷	۳/۸۳	۳/۱۷	۴/۵۰	G ^۵
۳/۱۷	۳/۸۳	۳/۸۳	۳/۱۷	۴/۱۷	G ^۶
۳/۸۳	۴/۸۳	۳/۱۷	۴/۱۷	۳/۸۳	G ^۷
۴/۶۷	۴/۱۷	۳/۱۷	۴/۱۷	۳/۸۳	G ^۸
۳/۸۳	۳/۶۷	۴/۱۷	۲/۸۳	۳/۱۷	G ^۹
۴/۸۳	۳/۵۰	۴/۶۷	۴/۸۳	۳/۶۷	G ^{۱۰}
۳/۱۷	۳/۸۳	۳/۸۳	۳/۶۷	۳/۸۳	G ^{۱۱}
۴/۸۳	۴/۶۷	۴/۶۷	۴/۶۷	۴/۸۳	G ^{۱۲}

پس از نهایی سازی نتایج نظرات خبرگان، آنها را با تعیین ایده آل (AI) و ضد ایده آل (AAI) مانند آنچه در جدول شماره ۸ آمده است، نرمال سازی می نماییم. و سپس با استفاده از نظرات خبرگان، اوزان هر یک از شاخص‌ها محاسبه و مانند جدول ۹ ارایه می نماییم.

جدول ۸. نرمال سازی داده‌ها

s ^۵	s ^۴	s ^۳	s ^۲	s ^۱	نرمال سازی
۰/۵۸۶۲	۰/۷۲۴۱	۰/۶۷۸۶	۰/۵۸۶۲	۰/۶۵۵۲	AAI
۰/۸۶۲۱	۰/۷۲۴۱	۰/۸۹۲۹	۱	۰/۹۶۵۵	G ^۱
۰/۹۳۱	۰/۸۴	۰/۸۹۲۹	۰/۷۹۳۱	۰/۸۶۲۱	G ^۲
۰/۷۹۳۱	۰/۸۴	۰/۶۷۸۶	۰/۷۹۳۱	۰/۸۶۲۱	G ^۳
۰/۵۸۶۲	۰/۹۱۳	۰/۶۷۸۶	۰/۷۹۳۱	۰/۷۹۳۱	G ^۴
۰/۶۵۵۲	۰/۸۴	۰/۸۲۱۴	۰/۶۵۵۲	۰/۹۳۱	G ^۵

۰/۶۵۵۲	۰/۹۱۳	۰/۸۲۱۴	۰/۶۵۵۲	۰/۸۶۲۱	G ^۶
۰/۷۹۳۱	۰/۷۲۴۱	۰/۶۷۸۶	۰/۸۶۲۱	۰/۷۹۳۱	G ^۷
۰/۹۶۵۵	۰/۸۴	۰/۶۷۸۶	۰/۸۶۲۱	۰/۷۹۳۱	G ^۸
۰/۷۹۳۱	۰/۹۵۴۵	۰/۸۹۲۹	۰/۵۸۶۲	۰/۶۵۵۲	G ^۹
۱	۱	۱	۱	۰/۷۵۸۶	G ^{۱۰}
۰/۶۵۵۲	۰/۹۱۳	۰/۸۲۱۴	۰/۷۵۸۶	۰/۷۹۳۱	G ^{۱۱}
۱	۰/۷۵	۱	۰/۹۶۵۵	۱	G ^{۱۲}
۱	۱	۱	۱	۱	AI

جدول ۹. اوزان محاسبه شده شاخص‌ها

۰/۱۶۶۶۶۷	۰/۲۱۶۶۶۷	۰/۲۳۳۳۳۳	۰/۲	۰/۱۸۳۳۳۳	← W
s ^۵	s ^۴	s ^۳	s ^۲	s ^۱	وزن دار کردن
۰/۰۹۷۷	۰/۱۵۶۹	۰/۱۵۸۳	۰/۱۱۷۲	۰/۱۲۰۱	AAI
۰/۱۴۳۷	۰/۱۵۶۹	۰/۲۰۸۳	۰/۲	۰/۱۷۷	G ^۱
۰/۱۵۵۲	۰/۱۸۲	۰/۲۰۸۳	۰/۱۵۸۶	۰/۱۵۸	G ^۲
۰/۱۳۲۲	۰/۱۸۲	۰/۱۵۸۳	۰/۱۵۸۶	۰/۱۵۸	G ^۳
۰/۰۹۷۷	۰/۱۹۷۸	۰/۱۵۸۳	۰/۱۵۸۶	۰/۱۴۵۴	G ^۴
۰/۱۰۹۲	۰/۱۸۲	۰/۱۹۱۷	۰/۱۳۱	۰/۱۷۰۷	G ^۵

۰/۱۰۹۲	۰/۱۹۷۸	۰/۱۹۱۷	۰/۱۳۱	۰/۱۵۸	G ^۶
۰/۱۳۲۲	۰/۱۵۶۹	۰/۱۵۸۳	۰/۱۷۲۴	۰/۱۴۵۴	G ^۷
۰/۱۶۰۹	۰/۱۸۲	۰/۱۵۸۳	۰/۱۷۲۴	۰/۱۴۵۴	G ^۸
۰/۱۳۲۲	۰/۲۰۶۸	۰/۲۰۸۳	۰/۱۱۷۲	۰/۱۲۰۱	G ^۹
۰/۱۶۶۷	۰/۲۱۶۷	۰/۲۳۳۳	۰/۲	۰/۱۳۹۱	G ^{۱۰}
۰/۱۰۹۲	۰/۱۹۷۸	۰/۱۹۱۷	۰/۱۵۱۷	۰/۱۴۵۴	G ^{۱۱}
۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۲۵	۰/۲۳۳۳	۰/۱۹۳۱	۰/۱۸۳۳	G ^{۱۲}
۰/۱۶۶۷	۰/۲۱۶۷	۰/۲۳۳۳	۰/۲	۰/۱۸۳۳	AI

پس از وزن دهی داده‌ها، درجه مطلوبیت گزینه و عملکرد آنها محاسبه شده و در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰. مطلوبیت گزینه‌ها و عملکرد

F(k)	F(K+)	F(k-)	K+	K-	Si	s
					۰/۶۵۰۳	AAI
۰/۷۰۵۲۱۴	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۸۸۵۹	۱/۳۶	۰/۸۸۵۹	G ^۱
۰/۶۸۶۳۱۱	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۸۶۲۲	۱/۳۳	۰/۸۶۲۲	G ^۲
۰/۶۲۸۲۱	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۷۸۹۲	۱/۲۱	۰/۷۸۹۲	G ^۳
۰/۶۰۳۲۹۴	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۷۵۷۹	۱/۱۷	۰/۷۵۷۹	G ^۴
۰/۶۲۴۵۵	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۷۸۴۶	۱/۲۱	۰/۷۸۴۶	G ^۵

۰/۶۲۷۰۸۳	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۷۸۷۸	۱/۲۱	۰/۷۸۷۸	G ₆
۰/۶۰۹۱۴۲	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۷۶۵۲	۱/۱۸	۰/۷۶۵۲	G ₇
۰/۶۵۱۹۹۹	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۸۱۹۱	۱/۲۶	۰/۸۱۹۱	G ₈
۰/۶۲۴۶۳۴	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۷۸۴۷	۱/۲۱	۰/۷۸۴۷	G ₉
۰/۷۶۰۷۹۸	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۹۵۵۷	۱/۴۷	۰/۹۵۵۷	G ₁₀
۰/۶۳۳۴۸۸	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۷۹۵۸	۱/۲۲	۰/۷۹۵۸	G ₁₁
۰/۷۴۷۴۱۷	۰/۶۰۶	۰/۳۹۴	۰/۹۳۸۹	۱/۴۴	۰/۹۳۸۹	G ₁₂
۱						AI

پس از تعیین درجه مطلوبیت گزینه‌ها، در نهایت رتبه و اولویت پیشران‌های اثرگذار در توسعه‌ی بلاک چین در تولید پراکنده‌ی برق با استفاده از تکنیک مارکوس در جدول ۱۱ ارائه گردیده است.

جدول شماره ۱۱. عملکرد و رتبه بندی داده‌ها

رتبه بندی	عملکرد گزینه‌ها	گزینه‌ها	اختصار
۱	۰/۷۶	درآمدزایی در روش تولید پراکنده برق با استفاده از بلاک چین	G ₁₀
۲	۰/۷۵	سرمایه‌گذاری تجمعی با کاربرد بلاک چین جهت توسعه روش تولید پراکنده برق	G ₁₂
۳	۰/۷۱	توسعه چارچوب‌های نظارتی و قانونی بلاک چین جهت توسعه روش تولید پراکنده	G ₁
۴	۰/۶۹	ملاحظات امنیتی ساختار بلاک چین در تولید پراکنده انرژی	G ₂

۵	۰/۶۵	استانداردهای موجود حوزه انرژی و تولید پراکنده در کاربرد بلاک چین	G۸
۶	۰/۶۳	اوراق بهادار در بستر بلاک چین جهت توسعه تولید پراکنده برق	G۱۱
۷	۰/۶۳	کاربرد بلاک چین جهت کارآمدتر شدن توزیع انرژی با روش تولید پراکنده برق	G۳
۸	۰/۶۳	ایجاد ریز شبکه های هوشمند از مولدهای پراکنده در بستر بلاک چین	G۶
۹	۰/۶۲	وضع قوانین و مقررات بازار دیجیتال انرژی در بستر بلاک چین	G۹
۱۰	۰/۶۲	توسعه روش تولید پراکنده مبتنی بر فرصت ها و چالش های بلاک چین	G۵
۱۱	۰/۶۱	تشویق به سرمایه گذاری در تولید پراکنده برق در بستر بلاک چین	G۷
۱۲	۰/۶۰	توسعه کنتورهای هوشمند در شبکه انرژی با روش تولید پراکنده برق	G۴

پیشران هایی که پس از اولویت بندی و نتیجه گیری در این تحقیق می توانند در توسعه روش تولید پراکنده انرژی با استفاده از فناوری بلاک چین موثر باشند در شکل ۹ ارایه شده است.



شکل ۹. رتبه‌بندی پیشران‌های موثر در توسعه روش تولید پراکنده

۶. بحث و نتیجه‌گیری

از مطالعات صورت گرفته این نتیجه بدست می‌آید که تکنولوژی بلاک چین، مسیری ایمن و کارآمد جهت بازارهای سرمایه، امور مالی تجارت، معاملات هم‌تا به هم‌تا و مدیریت زنجیره تامین را فراهم آورد. بسیاری از مشاغل فناوری بلاک چین را در برخی ظرفیت‌ها به کار گرفته‌اند و بسیاری نیز قصد دارند در آینده روی بلاک چین سرمایه‌گذاری کنند و این حوزه در حال توسعه است. در مرحله اول این مقاله، شناسایی و اولویت‌بندی پیشران‌های کلیدی اثرگذار در توسعه روش تولید پراکنده انرژی با تمرکز بر قابلیت‌های فناوری بلاک چین است مد نظر قرار گرفت. تولید پراکنده انرژی و توسعه مولدهای مقیاس کوچک علاوه بر افزایش توان ظرفیت تولید انرژی کشور می‌تواند در توسعه مشاغل جدید و فراهم آوردن زمینه اشتغال را میسر نماید. این مشاغل در زمینه‌های مربوط به تولید انرژی، نگهداری و به‌روز رسانی تجهیزات، برنامه‌های توسعه‌ای حوزه فناوری بلاک چین می‌باشد. به منظور بدست آوردن دانش فنی و تسلط به این حوزه، پیشران‌های پژوهش از طریق مرور پیشینه‌های موجود در حوزه انرژی، تولید پراکنده، انرژی هوشمند و بلاک چین استخراج شد. به علت تعداد زیاد پیشران‌های تحقیق (۲۷ پیشران)، از روش دلفی فازی برای غربال پیشران‌های پژوهش استفاده شد. در

بین پیشران‌های پژوهش ۱۵ پیشران به علت اینکه عدد دیفازی مربوط به آن‌ها کمتر از حد آستانه (۷/۷) بود از محاسبات و تحلیل نهایی کنار گذاشته شدند. ۱۲ پیشران باقیمانده با بکارگیری تکنیک رتبه بندی مارکوس مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص نهایی و عملکرد مطلوب گزینه توسط تکنیک مارکوس که با نماد (FK) نمایش داده می‌شود، استخراج گردید و نتیجه‌ای که بدست آمد، پیشران‌های توسعه تولید پراکنده انرژی در بستر بلاک چین را اولویت بندی نمود. در این تحقیق نکته قابل توجه بدست آمد که اگر تولید پراکنده انرژی بتواند درآمذزایی داشته باشد و با مشارکت حداکثر مردم در کنار ایجاد قوانین و مقررات دولتی چه در حوزه ساختار و چه در حوزه حمایتی همراه گردد با جهشی عظیم در تولید و رفع نیازهای انرژی همراه می‌گردد. بنابراین می‌توان با رویکرد آینده‌پژوهی، سناریوی مطلوب برای حوزه توسعه روش تولید پراکنده به منظور تامین برق مورد نیاز با تمرکز بر فناوری بلاک چین برنامه ریزی نمود.

۷. منابع :

Ahl, A., Yarime, M., Tanaka, K., & Sagawa, D. (۲۰۱۹). Review of blockchain-based distributed energy: Implications for institutional development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۱۰۷, ۲۰۰-۲۱۱.

Alaloul, W. S., Liew, M., Zawawi, N. A. W. A., & Kennedy, I. B. (۲۰۲۰). Industrial Revolution ۴.۰ in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain shams engineering journal*, ۱۱(۱), ۲۲۵-۲۳۰.

Amini, M. H. (۲۰۲۰). Decentralized operation of interdependent power and energy networks: blockchain and security *Blockchain-Based Smart Grids* (pp. ۶۱-۷۳): Elsevier.

Belaïd, F., Al-Sarihi, A., & Al-Mestneer, R. (۲۰۲۳). Balancing climate mitigation and energy security goals amid converging global energy crises: The role of green investments. *Renewable Energy*, ۲۰۵, ۵۳۴-۵۴۲.

Che, Z., Wang, Y., Zhao, J., Qiang, Y., Ma, Y., & Liu, J. (۲۰۱۹). A distributed energy trading authentication mechanism based on a consortium blockchain. *Energies*, ۱۲(۱۵), ۲۸۷۸.

D'Oriano, L., Mastandrea, G., Rana, G., Raveduto, G., Croce, V., Verber, M., & Bertoincini, M. (۲۰۱۸). *Decentralized blockchain flexibility system for Smart Grids: Requirements engineering and use cases*. Paper presented at the ۲۰۱۸ International IEEE Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE).

Dadios, E. P., Culaba, A. B., Albert, J. R. G., Paqueo, V. B., Orbeta, A. C., Serafica, R. B., . . . Bairan, J. C. A. C. (۲۰۱۸). *Preparing the Philippines for the fourth industrial revolution: A scoping study*. Retrieved from

Dehghani, M., Ghiasi, M., Niknam, T., Kavousi-Fard, A., Shasadeghi, M., Ghadimi, N., & Taghizadeh-Hesary, F. (۲۰۲۰). Blockchain-based securing of data exchange in a power transmission system considering congestion management and social welfare. *Sustainability*, ۱۳(۱), .۹۰

Dorri, A., Luo, F., Kanhere, S. S., Jurdak, R., & Dong, Z. Y. (۲۰۱۹). SPB: A secure private blockchain-based solution for distributed energy trading. *IEEE Communications Magazine*, ۵۷(۷), .۱۲۶-۱۲۰

Giulietti, M., Le Coq, C., Willems, B., & Anaya, K. (۲۰۱۹). *Smart consumers in the internet of energy: Flexibility markets and services from distributed energy resources*: Centre on Regulation in Europe asbl (CERRE).

Gorkhali, A., Li, L., & Shrestha, A. (۲۰۲۰). Blockchain: A literature review. *Journal of Management Analytics*, ۷(۳), .۳۴۳-۳۲۱

Hajizadeh, A., & Valliere, D. (۲۰۲۲). Entrepreneurial foresight: Discovery of future opportunities. *Futures*, ۱۳۵, .۱۰۲۸۷۶

Hou, J., Wang, C., & Luo, S. (۲۰۲۰). How to improve the competitiveness of distributed energy resources in China with blockchain technology. *Technological Forecasting and Social Change*, ۱۵۱, .۱۱۹۷۴۴

Khorasany, M., Azuatalam, D., Glasgow, R., Liebman, A., & Razzaghi, R. (۲۰۲۰). Transactive energy market for energy management in microgrids: The monash microgrid case study. *Energies*, ۱۳(۸), .۲۰۱۰

Kimani, D., Adams, K., Attah-Boakye, R., Ullah, S., Frecknall-Hughes, J., & Kim, J. (۲۰۲۰). Blockchain, business and the fourth industrial revolution: Whence, whither, wherefore and how? *Technological Forecasting and Social Change*, ۱۶۱, .۱۲۰۲۵۴

Küfeoglu, S., Liu, G., Anaya, K., & Pollitt, M. (۲۰۱۹). Digitalisation and new business models in energy sector.

Kumar, N. M. (۲۰۱۸). Blockchain: Enabling wide range of services in distributed energy system. *Beni-Suef University journal of basic and applied sciences*, ۷(۴), .۷۰۴-۷۰۱

Kumar, N. M., Chand, A. A., Malvoni, M., Prasad, K. A., Mamun, K. A., Islam, F., & Chopra, S. S. (۲۰۲۰). Distributed energy resources and the application of AI, IoT, and blockchain in smart grids. *Energies*, ۱۳(۲۱), .۵۷۳۹

Li, W., He, M., & Haiquan, S. (۲۰۲۱). *An overview of blockchain technology: applications, challenges and future trends*. Paper presented at the ۲۰۲۱ IEEE ۱۱th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC) ۲۰۲۱ IEEE ۱۱th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC).

Mathew, R., Mehbodniya, A., Ambalgi, A. P., Murali, M., Sahay, K. B., & Babu, D. V. (۲۰۲۲). In a virtual power plant, a blockchain-based decentralized power management solution for home distributed generation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, ۴۹, .۱۰۱۷۳۱

Mylrea, M., & Gourisetti, S. N. G. (۲۰۱۷). *Blockchain for smart grid resilience: Exchanging distributed energy at speed, scale and security*. Paper presented at the ۲۰۱۷ Resilience Week (RWS).

Osman, A. I., Chen, L., Yang, M., Msigwa, G., Farghali, M., Fawzy, S., . . . Yap, P.-S. (۲۰۲۳). Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. *Environmental Chemistry Letters*, ۲۱(۲), .۷۶۴-۷۴۱

Pironi, A., Scarpato, N., Di Nunzio, L., Fallucchi, F., & Raso, M. (۲۰۱۸). Smarter city: smart energy grid based on blockchain technology. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, ۸(۱), .۳۰۶-۲۹۸

Schäfer, M. (۲۰۱۸). The fourth industrial revolution: How the EU can lead it. *European View*, ۱۷(۱), .۱۲-۵

Schindler, J. W. (۲۰۱۷). FinTech and financial innovation: Drivers and depth.

Shuaib, K., Abdella, J. A., Sallabi, F., & Abdel-Hafez, M. (۲۰۱۸). *Using blockchains to secure distributed energy exchange*. Paper presented at the ۲۰۱۸th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT).

Tyagi, A. K., Dananjayan, S., Agarwal, D., & Thariq Ahmed, H. F. (۲۰۲۳). Blockchain—Internet of Things Applications: Opportunities and Challenges for Industry, Society and Society. *Sensors*, ۲۳(۲), .۹۴۷

Valdivia, A. D., & Balcells, M. P. (۲۰۲۲). Connecting the grids: A review of blockchain governance in distributed energy transitions. *Energy Research & Social Science*, ۸۴, .۱۰۲۳۸۳

Wang, H.-r., Feng, T.-t., & Xiong, W. (۲۰۲۲). How can the dynamic game be integrated into blockchain-based distributed energy resources multi-agent transactions for decision-making? *Energy*, ۲۵۴, .۱۲۴۳۱۸

Woo, J., Fatima, R., Kibert, C. J., Newman, R. E., Tian, Y., & Srinivasan, R. S. (۲۰۲۱). Applying blockchain technology for building energy performance measurement, reporting, and verification (MRV) and the carbon credit market: A review of the literature. *Building and Environment*, ۲۰۵, .۱۰۸۱۹۹

Xu, M., David, J. M., & Kim, S. H. (۲۰۱۸). The fourth industrial revolution: Opportunities and challenges. *International journal of financial research*, ۹(۲), .۹۵-۹۰

YAN, H., HUANG, B., & HONG, B. (۲۰۱۸). Distributed energy transaction pattern and block chain based architecture design. *DEStech Transactions on Environment, Energy and Earth Sciences*, .۲

Yap, K. Y., Chin, H. H., & Klemeš, J. J. (۲۰۲۳). Blockchain technology for distributed generation: A review of current development, challenges and future prospect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۱۷۵, .۱۱۳۱۷۰

Yeoh, P. (۲۰۱۷). Regulatory issues in blockchain technology. *Journal of Financial Regulation and Compliance*.

Zhao, Y., Peng, K., Xu, B., Liu, Y., Xiong, W., & Han, Y. (۲۰۱۹). Applied engineering programs of energy blockchain in US. *Energy Procedia*, ۱۵۸, .۲۷۹۳-۲۷۸۷

Zhu, S., Song, M., Lim, M. K., Wang, J., & Zhao, J. (۲۰۲۰). The development of energy blockchain and its implications for China's energy sector. *Resources Policy*, ۶۶, .۱۰۱۵۹۵