



Developing an Innovative Approach to Identifying Weak Signals in Energy Security: Text Mining and Probabilistic Topic Modeling of Scientific Documents

Abouzar Seifi Kalestan

Department of Emerging Domains, National Defense University, Tehran, Iran (Corresponding Author).

Email: abouzar.seifi.k@sndu.ac.ir

Amir Eshaghi Chaleshtari

PhD Candidate in Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

Abstract

Today, human quality of life depends heavily on a stable and reliable energy supply, making energy security an increasingly important issue. In this context, businesses and government institutions concerned with energy security are increasingly examining emerging issues and signals that may influence their future policies and help them adapt to rapidly changing conditions. Accordingly, this study aimed to identify potential signals of the future, particularly weak signals of emerging developments in the energy security domain. Methodologically, this developmental-applied study developed a novel four-stage approach that integrates advanced text-mining techniques and probabilistic topic modeling, comprising web mining, text mining, signal discovery, and visualization, to identify weak signals of the future in the energy security sector. By analyzing scientific articles published between 2020 and 2024 using the proposed approach, the findings indicate that policies concerning the integration of blockchain technology and renewable energy sources into policymaking processes represent some of the most significant weak signals. This finding highlights growing interest in high-capacity and decentralized energy production, storage, optimization, and financial systems. Furthermore, evidence suggests that the concept of the circular economy is gaining increasing policy attention, creating conditions for a transition toward a prosumer society, in which consumers also participate in energy production. By illuminating both established and emerging drivers that may shape the future of the energy sector, this study provides useful insights into potential trajectories for the sector.

Keywords: Energy Policy; Energy Security; Weak Signals; Text Mining; Latent Dirichlet Allocation





فصلنامه مطالعات بین‌رشته‌ای دانش راهبردی

سال شانزدهم، شماره یکم (پیاپی ۶۲)، بهار ۱۴۰۵، صص. ۱۶۱-۱۹۶
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸

مقاله پژوهشی

توسعه یک رویکرد نوآورانه شناسایی نشانه‌های ضعیف در حوزه امنیت انرژی؛ متن‌کاوی و مدل‌سازی موضوعی احتمالی در اسناد علمی

ابوذر سیفی گلستان

گروه عرصه‌های نوپدید، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

Email: abouzar.seifi.k@sndu.ac.ir

امیر اسحق‌ی چالشتی

دانشجوی دکترای مهندسی صنایع، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده

امروزه کیفیت زندگی انسان به تأمین پایدار و قابل اعتماد انرژی بستگی دارد و امنیت انرژی به موضوع مهمی بدل شده است. در این راستا، کسب‌وکارها و نهادهای دولتی مرتبط با امنیت انرژی به‌طور فزاینده‌ای به بررسی مسائل و نشانه‌های جدیدی می‌پردازند که ممکن است بر سیاست‌های آینده آن‌ها تأثیر بگذارد و به آن‌ها کمک کند تا با شرایط به‌سرعت در حال تغییر سازگار شوند. بنابراین هدف این پژوهش شناسایی نشانه‌های بالقوه آینده، یا همان نشانه‌های ضعیف آینده، است. این مطالعه از حیث روش‌شناسی یک پژوهش توسعه‌ای-کاربردی است و یک رویکرد جدید ۴ مرحله‌ای با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته متن‌کاوی (استخراج متن) و مدل‌سازی موضوعی احتمالی شامل وب‌کاوی، متن‌کاوی، اکتشاف نشانه‌ها و مصورسازی را به‌منظور اکتشاف نشانه‌های ضعیف آینده در بخش امنیت انرژی توسعه داده است. با تحلیل مقالات علمی منتشر شده از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴ توسط رویکرد پیشنهادی، نتایج نشان می‌دهد که سیاست‌های مرتبط با ادغام فناوری بلاک‌چین و منابع انرژی تجدیدپذیر در فرایند سیاست‌گذاری، از مهم‌ترین نشانه‌های ضعیف هستند. این امر بر افزایش علاقه به تولید، ذخیره‌سازی، بهینه‌سازی و سیستم‌های مالی انرژی با ظرفیت بالا و غیرمتمرکز تأکید می‌کند. علاوه بر این، نشانه‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد ایده اقتصاد چرخشی در حال کسب محبوبیت سیاسی است و این موضوع شرایط را برای تغییر به سمت یک جامعه توصیف‌کننده (تولیدکننده-مصرف‌کننده) فراهم می‌کند. این مطالعه با روشن کردن محرک‌های شناخته‌شده و نوظهور که می‌توانند بر آینده بخش انرژی تأثیر بگذارند، اطلاعات مفیدی درباره مسیرهای ممکن این بخش ارائه می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: سیاست انرژی، امنیت انرژی، نشانه ضعیف، استخراج متن، تخصیص پنهان دیریکله.

دانشگاه عالی دفاع ملی ♦ پژوهشکده مطالعات راهبردی و امنیت ملی / فصلنامه مطالعات بین‌رشته‌ای دانش راهبردی



<https://smsnds.sndu.ac.ir/> E-ISSN: 2980-8413



صحت مطالب بر عهده نویسنده مقاله است و بیانگر دیدگاه دانشگاه عالی دفاع ملی نیست.



مقدمه

یرگین (۱۹۸۸) نخستین بار تعریف امنیت انرژی را در دوران بحران‌های نفتی دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ مطرح کرد، زمانی که تحریم‌های بین‌المللی نفت، تأمین نفت قابل‌دسترس و مطمئن از منطقه «خلیج فارس»^۱ را مختل کرد. مفهوم امنیت انرژی یک مفهوم چندبُعدی است که شامل جنبه‌های اقتصادی، سیاسی، ژئوپلیتیکی، نهادی، قانونی و مقرراتی یک کشور یا منطقه می‌شود (لی و چانگ، ۲۰۱۹). بُعد اقتصادی امنیت انرژی به تأثیر وابستگی به واردات در بازارهای انرژی ناپایدار، تنوع منابع انرژی اولیه، استفاده از منابع داخلی و جریان مداوم انرژی می‌پردازد. بعد ژئوپلیتیک بررسی می‌کند که چگونه روابط بین‌الملل بر اتحادها، همکاری‌ها یا اقدامات مستقل برای تأمین امنیت انرژی تأثیر می‌گذارند. علاوه بر این، چهارچوب‌های نهادی، قانونی و مقرراتی مرتبط با امنیت انرژی در سطوح محلی، منطقه‌ای و جهانی نیز از عوامل مهمی هستند که باید در نظر گرفته شوند (تقی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۱)؛ بنابراین، پیش‌بینی نشانه‌های ضعیف به‌صورت معتبر و قابل‌اعتماد برای آینده امنیت انرژی هم ضروری و هم چالش‌برانگیز است. هدف از شناسایی نشانه‌های ضعیف در این حوزه، افزایش درک ذی‌نفعان و توانایی آن‌ها برای واکنش به تغییرات مداوم در بخش امنیت انرژی است. این نیاز باعث شده است که تصمیم‌گیرندگان به جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات درباره رقبای خود بپردازند تا برای رویدادها و تغییرات آینده آماده شوند. بسیاری از پژوهشگران بر شناسایی این نشانه‌ها و پیش‌بینی رویدادهای آینده تمرکز کرده‌اند.

افزایش داده‌های متنی آنلاین، پژوهشگران را به استفاده گسترده از این داده‌ها برای شناسایی نشانه‌های ضعیف ترغیب کرده است، هرچند که درک و پردازش زبان هنوز چالش‌هایی را به‌همراه دارد. برای استخراج بیش‌ها از متون، تکنیک‌های مختلفی مانند تحلیل چندکلمه‌ای استفاده می‌شود (بارس و همکاران، ۲۰۲۰). هرچند که هنوز بسیاری از این فرایندها به تخصص انسانی نیاز دارند، بااین‌حال، بسیاری از مطالعات هنوز از روش‌های مبتنی بر تخصص انسانی استفاده می‌کنند (تورلشتر و وندن پو، ۲۰۱۳).



پیشرفت‌های اخیر در قدرت پردازش و پردازش زبان طبیعی امکان استخراج بینش‌ها از داده‌های متنی در صنایع مختلف، از جمله شناسایی نشانه‌های ضعیف را فراهم کرده است. تکنیک‌های یادگیری عمیق، مانند شبکه‌های عصبی بازگشتی و شبکه‌های عصبی کانولوشن در زمینه پردازش زبان طبیعی پیشرفت‌های قابل توجهی داشته‌اند (یونگ و همکاران، ۲۰۱۸). شبکه‌های عصبی بازگشتی به مدل‌سازی وابستگی‌های زبانی و توالی‌ها می‌پردازند، در حالی که شبکه‌های عصبی کانولوشن در درک معنا و استخراج نشانه‌های معنایی در جملات بهتر عمل می‌کنند (کوانا و همکاران، ۲۰۲۲). تحقیقات اخیر نشان‌دهنده کاربردهای وسیع این دو رویکرد است. به عنوان مثال، یک رویکرد ترکیبی که شبکه‌های عصبی بازگشتی و شبکه‌های عصبی کانولوشن را در دسته‌بندی متون چندبرچسبی ترکیب می‌کند (لی و همکاران، ۲۰۱۸). در زمینه تولید متن، ترکیب شبکه‌های مولد متخاصم، شبکه‌های عصبی بازگشتی و یادگیری تقویتی به بهبود قابلیت تعمیم مدل کمک کرده است (چاتورودی و همکاران، ۲۰۱۶). پیشرفت‌های حاصل در تکنیک‌های پردازش زبان طبیعی، مانند «جاسازی کلمات»^۱، به شناسایی شباهت‌های کلمات و پیش‌بینی کلمات براساس زمینه معنایی کمک شایانی کرده است (دی‌ینگ و همکاران، ۲۰۲۰). یک روش دیگر، مدل‌های موضوعی جاسازی شده است که مدل‌های موضوعی معمولی را با جاسازی کلمات ترکیب می‌کند. با این حال، این روش‌ها بیشتر با داده‌های برچسب‌گذاری شده عملکرد بهتری دارند تا داده‌های بدون برچسب. استفاده از تکنیک‌های پردازش زبان طبیعی مبتنی بر یادگیری عمیق تضمینی برای خودکارسازی کامل این فرایند نیست، زیرا داده‌های متنی برای شناسایی نشانه‌های ضعیف معمولاً بدون برچسب هستند (عبادی، اوگر و گاتیر، ۲۰۲۲).

تکنیک‌های سنتی مدل‌سازی موضوعی، مانند LDA، توانایی خودکارسازی کامل را نشان داشته و پژوهشگران را به استفاده از این روش ترغیب کرده‌اند. LDA یک روش یادگیری ماشین بدون نظارت است که موضوعات را بدون نیاز به کمک انسان شناسایی می‌کند. چندین مطالعه از LDA برای شناسایی نشانه‌های ضعیف استفاده کرده‌اند که برخی از آن‌ها بر روی

LDA دینامیک تمرکز کرده‌اند تا نشانه‌های ضعیف را در طول زمان پیگیری کنند (کافمن، ۱۹۹۷). هدف این است که کلماتی که می‌توانند نشانه‌های ضعیف باشند و اطلاعات مهمی را در خود داشته باشند، شناسایی کنند.

این پژوهش یک رویکرد نوین برای خودکارسازی فرایند شناسایی نشانه‌های ضعیف ارائه می‌دهد که با فیلتر کردن موضوعات و کلیدواژه‌ها توسط LDA، نشانه‌های ضعیف را استخراج کند. سامانه پیشنهادی به‌طور کامل خودکار است و بدون نیاز به کمک متخصصان انسانی عمل می‌کند. برای اعتبارسنجی قابلیت آن در شناسایی نشانه‌های ضعیف، از یک مجموعه داده امنیت انرژی استفاده شده است.

۱. پیشینه پژوهش

روش‌های سنتی شناسایی نشانه‌های ضعیف دارای معایبی هستند، ازجمله: شاخص‌های تک‌عاملی، حجم زیادی از کاردستی (به‌ویژه در پیش‌پردازش)، سوگیری ناشی از نظرات کارشناسان، ناتوانی در نظارت بر الگوهای متغیر در طول زمان و عدم مقیاس‌پذیری برای مجموعه داده‌های بزرگ. همچنین، روش‌های استخراج کلیدواژه مبتنی بر فراوانی اغلب نتایج نادرستی تولید می‌کنند که نیاز به پردازش مجدد زیادی دارند (پارک، چو و هئو، ۲۰۲۱). افزایش نمایی در حجم اطلاعات موجود در عصر داده‌های کلان، چالش‌هایی را برای محققین ایجاد می‌کند که باید از میان منابع مختلف عبور کنند. به همین دلیل، بسیاری از پژوهشگران به روش‌های داده‌کاوی متون، مانند بازیابی اطلاعات، روی آورده‌اند که عمدتاً بر منابع آنلاین مانند شبکه‌های اجتماعی و مقالات علمی تمرکز دارند (ژائو، تانگ و هه، ۲۰۲۳).

اگرچه برخی از پژوهشگران جمع‌آوری داده‌ها را به‌طور خودکار انجام داده‌اند، اما فیلتر کردن کلیدواژه‌ها هنوز به‌شدت به ورودی دستی کارشناسان وابسته است. درحالی‌که برخی مطالعات از تکنیک‌های داده‌کاوی مبتنی بر کلیدواژه استفاده می‌کنند، دیگران مراحل دستی را به‌کار می‌برند (تورلشتر و وندن پو، ۲۰۱۳).

تعداد محدود مطالعات در این زمینه نشان می‌دهد که تلاش‌ها برای خودکارسازی کامل



شناسایی نشانه‌های ضعیف هنوز در مراحل اولیه خود قرار دارد (ژائو، تانگ و سان، ۲۰۲۳). گوتشه (۲۰۱۸) و آل اکروچی و همکاران (۲۰۲۱) یک فرایند خودکار برای شناسایی و پیش‌بینی نشانه‌های ضعیف معرفی کردند که از تحلیل سری‌های زمانی، داده‌کاوی زمانی و مدل‌سازی موضوعات پویا استفاده می‌کنند. مشابه ایده خودکارسازی کامل، این پژوهش یک موضوع را به‌عنوان نشانه ضعیف در نظر می‌گیرد و از فیلترکردن گسترده موضوعات و اصطلاحات برای بهبود نتایج شناسایی نشانه‌های ضعیف استفاده می‌کند.

مطالعات پیشین محقق (سیفی کلستان و پدرام، ۲۰۲۰) (سیفی کلستان و همکاران، ۲۰۲۲) (سیفی کلستان و پورصادق، ۲۰۲۳) در حوزه روش‌شناسی و مبانی شناسایی نشانه‌های ضعیف در مقالات منتشر شده به‌منظور بررسی پیشینه مفصل ادبیات و روش‌شناسی این حوزه می‌تواند مورد مطالعه و استناد قرار گیرد.

در ادامه مبانی نظری پژوهش به شکل زیر سازمان‌دهی شده است: زیربخش اول و دوم به بررسی مفهوم نشانه‌های ضعیف در ادبیات آینده‌پژوهی و مفهوم «تخصیص پنهان دیریکله»^۱ (LDA) می‌پردازد و در ادامه روش خودکار پیشنهادی برای شناسایی نشانه‌های هشدار اولیه در بخش ۳ توصیف شده است. به‌منظور اعتبارسنجی رویکرد پیشنهادی، مطالعه موردی شناسایی نشانه‌های اولیه در سیاست‌گذاری امنیت انرژی توضیح داده می‌شود و بخش ۴ نتایج مطالعه را ارائه می‌دهد. در نهایت، بخش ۵ شامل افکار پایانی است.

۲. مفهوم نشانه‌های ضعیف

نشانه‌های ضعیف، به گفته ایگور آنسوف (هولوپاینین و تویوونین، ۲۰۱۲)، تغییرات کوچک و نشانه‌های مبهمی هستند که به تدریج در طول زمان ظاهر می‌شوند و ممکن است بر آینده یک موضوع خاص تأثیر بگذارند. با شناسایی این نشانه‌ها، سازمان‌ها می‌توانند به سرعت فرصت‌ها و تهدیدها را شناسایی نموده و به این ترتیب، استراتژی‌های مناسب برای تحقیق، توسعه و نوآوری را شکل دهند (لی و خی و هوانگ، ۲۰۲۲) این نشانه‌ها تغییرات زمانی را

نمایان می‌کنند و حاوی اطلاعات استراتژیک حیاتی هستند که کسب‌وکارها و سازمان‌ها باید آن‌ها را شناسایی کنند تا بتوانند در رقابت پیشرو باشند (عدیل و عبدالهادی، ۲۰۲۱). آنسوف می‌گوید که نشانه‌های ضعیف به‌طور ظریف پدیدار می‌شوند و در مقایسه با مفاهیم اصلی کم‌تر شایع هستند، اما اغلب نوآوری یا تازگی را به‌همراه دارند که می‌تواند بازار را شگفت‌زده کند (هولوپاینن و تووونن، ۲۰۱۲). این ایده در تحقیقات بعدی بیشتر توسعه یافته است. به گفته کافمن (کافمن، ۱۹۹۷)، نشانه‌های ضعیف عبارت‌اند از: مفاهیم یا روندهایی که بر محیط کسب‌وکار تأثیر می‌گذارند؛ جدید یا غیرمنتظره از دیدگاه دریافت‌کننده هستند؛ دشوار برای تمایز از سایر نشانه‌ها بوده؛ به‌طور بالقوه فرصت‌ها یا تهدیدهایی را به وجود می‌آورند؛ اغلب توسط کارشناسان نادیده گرفته می‌شوند؛ زمان می‌برد تا به بلوغ برسند و فرصت‌هایی برای یادگیری و رشد فراهم می‌کنند. هیلتونن (۲۰۰۸) برای سازمان‌دهی نشانه‌های ضعیف، ایده «نشانه‌های آینده» را معرفی کرد که دارای سه بُعد است: نشانه، مسئله و تفسیر. مسئله نشان‌دهنده دامنه پدیده‌های مرتبط است، تفسیر درک دریافت‌کننده را نشان می‌دهد و خود نشانه به کمیت و قابل مشاهده بودن آن اشاره دارد. یک نشانه در فضای سه‌بعدی به‌عنوان ضعیف طبقه‌بندی می‌شود؛ اگر مقادیر آن در تمام ابعاد پایین باشد و به‌عنوان قوی اگر مقادیر آن بالا باشد. ممکن است نشانه‌های ضعیف به نشانه‌های قوی تبدیل شوند که به‌نوبه خود می‌توانند به روندهای کلان یا روندهای جدید تبدیل شوند (پارک و لی و چانگ، ۲۰۱۸).

۳. تخصیص پنهان دیریکله

مدل تخصیص پنهان دیریکله (LDA) که یک مدل احتمالاتی است و فرایند تولید مستندات در یک مجموعه داده را توضیح می‌دهد، به‌طور مکرر در زمینه شناسایی نشانه‌های ضعیف استفاده می‌شود تا اطلاعات پنهانی که ممکن است به این نشانه‌ها مرتبط باشد را بازیابی کند (آل اکروچی و همکاران، ۲۰۲۱). این روش بدون نیاز به مداخله انسانی می‌تواند به‌طور خودکار موضوعات معنایی را از مجموعه‌ای از مستندات متنی استخراج کند (کوبانا و همکاران، ۲۰۲۲). برای روشن کردن ایده اصلی LDA، اصطلاحات زیر تعریف می‌شوند (آل



اکروچی و همکاران، ۲۰۲۱): LDA از یک مجموعه مستندات به‌عنوان ورودی و دو پارامتر، α و β ، برای تولید یک مدل احتمالاتی استفاده می‌کند که توزیع کلمات در میان موضوعات و ارتباط بین موضوعات و مستندات را نشان می‌دهد.

یک «کلمه» نمایانگر یک عنصر از واژگان است که با اعداد ۱ تا V ایندکس شده است. یک «سند» یک دنباله از N کلمه است که به‌صورت $W=(w_1, w_2, \dots, w_N)$ نمایش داده می‌شود، جایی که w_n نمایانگر کلمه n ام در این دنباله است.

یک «مجموعه اسناد» یک مجموعه از M سند است که به‌صورت $D=(W_1, W_2, \dots, W_M)$ نمایش داده می‌شود، جایی که W_m نمایانگر m امین سند در این مجموعه است. همان‌طور که در کار چوهان و شاه [23] توضیح داده شده است، LDA شامل مراحل مولد احتمالاتی برای هر سند W در یک مجموعه متنی D با تعداد مشخصی از موضوعات (k) است که فرایند زیر را دنبال می‌کند:

۱. انتخاب: $Z \sim \text{Dir}(\alpha)$

۲. برای هر یک از N کلمات w_n :

۱-۲. انتخاب یک موضوع: $Z_n \sim \text{Multinomial}(\theta)$

۲-۲. انتخاب یک کلمه: w_n از $P(w_n | Z_n, \beta)$

در نهایت، احتمال کلی مدل به‌صورت رابطه (۱)، بیان می‌شود:

$$p\left((w, z, \theta, \phi | \alpha, \beta) = \prod_{z=1}^k p(\phi_z | \beta) \prod_{d \in D} P(\theta_d | \alpha) \right) \prod_{j=1}^d p(w_{dj} | \phi_{z_{dj}}) p(z_{dj} | \theta_d) \quad (1)$$

جایی که $w=\{w_{dj}\}_{d,j}$ نمایانگر مجموعه‌ای از توزیع‌های موضوعی به ازای هر سند است، $Z=\{Z_{dj}\}_{d,j}$ نشان‌دهنده موضوع اختصاص‌یافته به هر کلمه است و $W=\{w_{dj}\}_{d,j}$ نمایانگر مجموعه‌ای از کلمات است. مجموعه‌ای از توزیع‌های واژه‌ای منحصر به هر موضوع نیز با p_z نشان داده می‌شود. توزیع‌های دیریکله با هایپرپارامترهای α و β نمایش داده می‌شوند. تعیین تعداد ایدئال موضوعات که با نماد k نمایش داده می‌شود، یک چالش مهم

در هنگام استفاده از LDA برای مدل‌سازی موضوعات است. یکی از روش‌های ساده برای انتخاب k این است که مدل LDA را با مقادیر مختلف k اجرا نموده و مقداری که بالاترین شاخص «انسجام موضوعی»^۱ را تولید می‌کند، انتخاب کرد. تحلیل‌های مشابه از ایده انسجام موضوعی معنایی برای ارزیابی این‌که آیا تعداد انتخاب‌شده موضوعات به‌طور موفقیت‌آمیزی کلمات مرتبط را به‌طور منطقی خوشه‌بندی می‌کند، استفاده کرده‌اند (تسای و همکاران، ۲۰۱۹). فرمول (۲)، می‌تواند برای محاسبه این مقدار استفاده شود.

$$c_t = \frac{\sum_{i=1}^m k \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^j \log \frac{D(t, w_i w_j) + 1}{D(t, w_i)}}{|k|} \quad (2)$$

C_t مقدار شاخص انسجام موضوعی است، K تعداد موضوعات، m فراوانی رایج‌ترین کلمه در موضوع t است، $D(t, w_i, w_j)$ تعداد اسناد مرتبط با موضوع t است که به‌طور هم‌زمان کلمات w_i, w_j را شامل می‌شوند و $D(t, w_i)$ تعداد اسنادی است که کلمه w_i را در موضوع t شامل می‌شود.

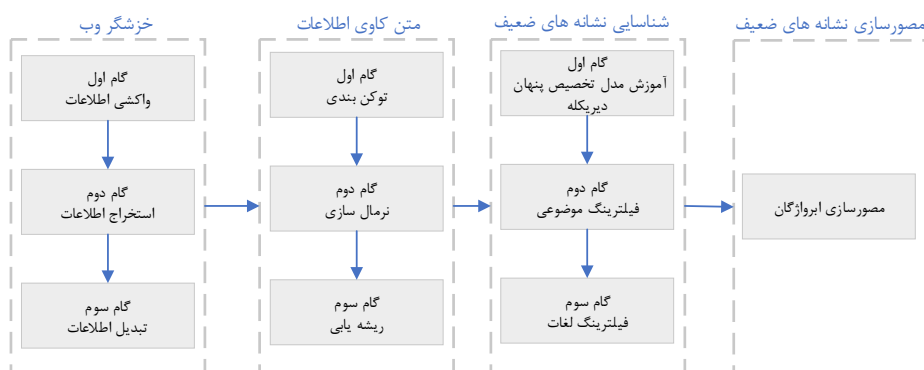
۴. روش‌شناسی پژوهش

شکل (۱)، چهارچوب رویکرد پیشنهادی در این پژوهش را برای توسعه مدل شناسایی نشانه‌های ضعیف متن کاوی و مدل‌سازی موضوعی احتمالی در اسناد علمی را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به نوآوری پژوهش در توسعه یک رویکرد نوآورانه در شناسایی نشانه‌های ضعیف پیش از ورود به فاز تجزیه و تحلیل، مدل تخصیص پنهان دیریکله تشریح و کارکرد آن در توسعه مدل تبیین می‌شود.

در مرحله اول این مطالعه که بر روی مقالات علمی درباره امنیت انرژی متمرکز است، داده‌های متنی در یک دوره زمانی از پیش تعیین‌شده جمع‌آوری می‌شوند. اطلاعات جمع‌آوری‌شده به‌عنوان ورودی برای شناسایی نشانه‌های ضعیف استفاده می‌شود. چندین



تکنیک پیش‌پردازش در مرحله تحلیل که اولین بخش از رویکرد پیشنهادی است، بر روی داده‌ها اعمال می‌شود. فیلتر کردن یک مرحله حیاتی بعدی است که به دنبال یافتن موضوعات ممکن حاوی نشانه‌های ضعیف است. این شامل شناسایی موضوعات با استفاده از الگوریتم مدل‌سازی موضوع LDA و سپس کاهش تعداد موضوعات با اعمال توابع فیلتر است. سپس، برای جداسازی علائم هشداردهنده ممکن، تکنیک فیلتر دیگری استفاده می‌شود. در مرحله آخر، ابر کلمات 1 به عنوان یک مرحله اختیاری جهت نمایش نشانه‌های ضعیفی که شناسایی شده‌اند را پیشنهاد می‌شود.



شکل ۱: دیاگرام رویکرد پیشنهادی جهت شناسایی نشانه‌های ضعیف در حوزه امنیت انرژی

۵. تجزیه و تحلیل و فرایند توسعه و بررسی مدل

در این گام فرایند ضمن توسعه و بررسی گام به گام مدل و گام‌های جمع‌آوری داده‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل و بررسی مدل، ابزارهای استفاده شده، مدل‌سازی و فیلترینگ و خروجی‌های به دست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی ارائه و در نهایت جمع‌بندی می‌شود.

۵-۱. جمع‌آوری داده‌ها

در این مطالعه از کلیدواژه‌های مرتبط با امنیت انرژی برای جست‌وجوی مقالات علمی در

پایگاه داده ساینس دایرکت استفاده شد. ساینس دایرکت که یک پایگاه داده انتشارات علمی از انتشارات الزویر است، یکی از معروف‌ترین موتورهای جست‌وجوی علمی به شمار می‌رود و به‌ویژه برای ترکیب شواهد در زمینهٔ مرورهای سیستماتیک مفید است. این پایگاه به‌عنوان یک ابزار جست‌وجوی اصلی برای تحقیقات علمی شناخته می‌شود (گوسن باور و هادادی، ۲۰۲۰). کلیدواژه‌های استفاده‌شده در جست‌وجو شامل اصطلاحاتی مانند «امنیت انرژی» و «سیاست انرژی» بود. پس از محدود کردن جست‌وجو به سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۴، ۳۹۱۸ سند استخراج شد.

۲-۵. ابزارهای متن کاوی

یک مرحله حیاتی در آماده‌سازی داده‌ها، فرایند پیش‌پردازش است که شامل پاک‌سازی و فرمت‌دهی داده‌ها برای برآورده کردن نیازهای خاص است. این فرایند با حذف «نشانه‌گذاری»^۱ از متن هدف آغاز می‌شود. پس از آن، «کلمات توقف»^۲ حذف می‌شوند و مراحل «ریشه‌یابی»^۳ و «بن‌واژه‌یابی»^۴ انجام می‌گیرد. این مراحل به بهبود دقت نتایج و تفسیر بهتر اطلاعات از داده‌های متنی خام کمک می‌کنند. همچنین برای گسترش واژگان، «دو-گرام‌ها»^۵ از مجموعه داده‌ها ایجاد می‌شوند. این کار به الگوریتم‌های مدل‌سازی موضوع کمک می‌کند تا عبارات چندکلمه‌ای را شناسایی کنند که ممکن است حاوی نشانه‌های ضعیف مفید باشند.

برای ایجاد یک ماتریس ویژگی، این مطالعه از روش فراوانی واژه-معکوس فراوانی سند (TF-IDF)^۶ استفاده می‌کند. TF-IDF یک معیار عددی است که اهمیت کلیدواژه‌ها را در اسناد خاص مشخص می‌کند و به شناسایی و طبقه‌بندی آن‌ها کمک می‌کند. این روش از دو بخش اصلی تشکیل شده است: فراوانی واژه (TF) و فراوانی معکوس سند (IDF). در این روش،

1. Punctuations

2. Stop Words

3. Stemming

4. Lemmatization

5. 2 - Grams

6. Term frequency inverse document frequency



IDF به واژه‌هایی که به‌طور مکرر در اسناد ظاهر می‌شوند، وزن کمتری می‌دهد و به واژه‌هایی که کم‌تر ظاهر می‌شوند، وزن بیشتری اختصاص می‌دهد. از سوی دیگر، TF فراوانی یک واژه را در یک سند محاسبه می‌کند. به این ترتیب، IDF نشان‌دهنده نادر بودن یک واژه در میان اسناد است و TF نشان می‌دهد که یک واژه چقدر در یک سند خاص تکرار شده است (کایسر و آلی، ۲۰۱۸).

۳-۵. مدل‌سازی موضوعات

با تمرکز بر مدل‌سازی موضوعات برای یافتن بهترین مدل موضوع، مدل LDA را با مقادیر مختلفی برای تعداد موضوعات (k) آموزش داده و از ارزیابی شاخص انسجام موضوعی به‌عنوان معیار انتخاب استفاده شد. با توجه به این‌که انتخاب بهترین پارامتر برای مدل‌سازی موضوعات بسیار مهم است (میلروث و گروتکه، ۲۰۱۸) (سید و اسپرویت، ۲۰۱۸) در این پژوهش دامنه‌ای از مقادیر (k) بین ۲ تا ۲۵ را بررسی شد. پس از آموزش مدل LDA بر روی مجموعه داده‌ها با استفاده از مقداری (k) که بالاترین مقدار شاخص انسجام موضوعی را دارد، موضوعات مستخرج از مدل را برای مراحل فیلتر کردن در نظر گرفته می‌شود.

روش پیشنهادی به‌طور خاص بر شناسایی موضوعات غیرمعمول که ممکن است به نشانه‌های ضعیف اشاره کنند، تأکید دارد. تاکتیکی که معمولاً در شناسایی نشانه‌های ضعیف به‌کار می‌رود. برخلاف مطالعات مبتنی بر کلیدواژه، مدل‌های موضوعی بر معنای متن تمرکز دارند نه بر واژه‌های خاص. در این مقاله استفاده رایج مدل‌های موضوعی در شناسایی نشانه‌های ضعیف متفاوت است، زیرا فرض نمی‌کند که همه موضوعات به‌طور اجتناب‌ناپذیری با نشانه‌های ضعیف مرتبط هستند. ما بر این باوریم که قدرت موضوع تعیین‌کننده اهمیت واژه‌های به‌کاررفته در آن است. به همین دلیل، روش پیشنهادی ابتدا موضوعاتی که حاوی نشانه‌های ضعیف نیستند را حذف کرده و سپس فیلترهای اضافی را برای جداسازی هرگونه نشانه ضعیف ممکن اعمال می‌کند.

۴-۵. فیلتر کردن موضوعات

در معادله (۳)، معیار شباهت کسینوسی برای محاسبه میزان شباهت بین هر موضوع استفاده می‌شود. در این رابطه، فاصله کسینوسی بین یک موضوع (t) و یک موضوع دیگر (ti) محاسبه می‌شود. پس از آن، «تابع نزدیکی مرکزی»^۱ با استفاده از این نتایج به دست می‌آید.

$$cc(t) = \frac{1}{\sum_i d(t, t_i)} \quad (3)$$

معادلات ۴ الی ۶ برای ارزیابی تابع وزن W(t) استفاده می‌شود؛ به عبارت دیگر به هر موضوع یک مقدار اختصاص داده می‌شود و اهمیت هر موضوع در تابع W(t) منعکس می‌شود.

$$I(t) = \frac{TF(t)}{D} \quad (4)$$

$$TF(t) = \frac{1 + \log(\text{word count})}{\log(\text{word count})} \quad (5)$$

$$w(t) = \frac{I(t)}{(\sum_i k I(K))} \quad (6)$$

در این متن، از (TF) برای تعیین فراوانی نسبی موضوع (t) در مجموعه متون (D) استفاده شده است که با I(t) نمایش داده می‌شود. معادله (۷)، نحوه محاسبه تابع واریانس معکوس (V(t)) را با بررسی پراکندگی اسناد برای هر موضوع نشان می‌دهد.

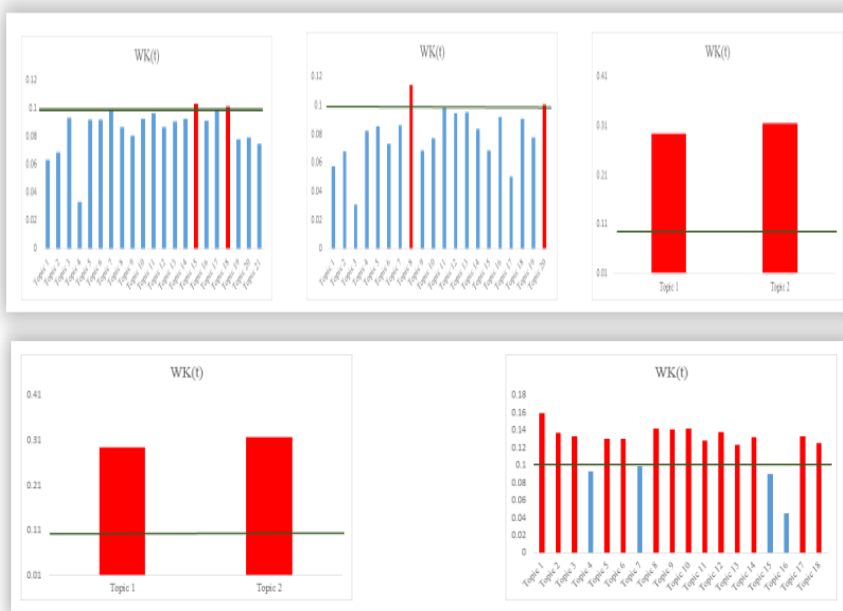
$$W(t) = \frac{1}{Var(t)} \quad (7)$$

در این مقاله، با هدف کاهش هم‌پوشانی بین موضوعات، امیدواریم که تابع W(K) که در معادله (۸) تعریف شده است، به حداقل برسد و در نتیجه تابع V(t) نیز بهبود یابد. این کار به شناسایی بهتر نشانه‌های ضعیف کمک خواهد کرد.



$$WK(t) = \frac{W(T) + CC(T)}{1 + e^{-V(i)}} \quad (۸)$$

نتایج مربوط به اسناد جمع‌آوری شده در شکل (۲)، نمایش داده شده‌اند. موضوعات فیلترشده که با مقادیر WK در بازه یک تا دهمین درصد مشخص شده‌اند، در نتایج جدول (۱)، نشان داده شده‌اند. براساس نتایج فیلتر کردن، هر دو موضوع مستخرج از مدل LDA به‌عنوان نشانه قوی در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ شناسایی شده است. در ادامه، کلیدواژه موجود در موضوعات فیلترشده برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۴ نیز بررسی می‌شوند.



شکل ۲: نتایج فیلتر موضوعات. (الف) موضوعات فیلتر داده‌های ۲۰۲۰؛ (ب) فیلتر موضوعات مربوط به داده‌های ۲۰۲۱؛ (ج) فیلتر کردن موضوعات داده‌های ۲۰۲۲؛ (د) فیلتر کردن موضوعات مربوط به داده‌های ۲۰۲۴؛ (ه) فیلتر کردن موضوعات مربوط به داده‌های ۲۰۲۳.

جدول ۱: نتایج فیلتر کردن موضوعات

سال	2020	2021	2022	2023	2024
موضوعات سبک‌سال ضعیف	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$			
	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$			
موضوعات سبک‌سال قوی	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$			
	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$	$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$			

۵-۵. فیلتر کردن عبارات

در ادامه رویکرد پیشنهادی، به روند فیلتر کردن اصطلاحات پس از تمرکز بر روی موضوعات منتخب پرداخته شده تا نشانه‌های ضعیف ممکن شناسایی شوند. جمع‌آوری کلیدواژه‌های مرتبط با هر موضوع فیلترشده، اولین گام در این فرایند است. کلمات موجود در هر موضوع براساس احتمالشان با استفاده از مدل تخصیص پنهان دیریکله (LDA) رتبه‌بندی می‌شوند. معادله ۹ برای فیلتر این اصطلاحات به کار می‌رود تا همه نشانه‌های ضعیف ممکن را استخراج کند. این فرمول بررسی می‌کند که اسناد مربوط به هر موضوع چقدر به‌طور مکرر ظاهر می‌شوند و همچنین تعداد کل اسناد برای هر موضوع در مجموعه داده‌ها چقدر است.

$$PW(w) = \frac{NF(w)}{e^{-\varphi(w)} \log(\varphi(w))} \quad (9)$$

درحالی‌که $cp(w)$ نشان‌دهنده احتمال عضویت کلیدواژه w در موضوع t است که توسط مدل LDA تعیین شده است، $NF(w)$ در معادله فوق نمایانگر فراوانی نرمال شده کلیدواژه w در موضوع t است. برای تعیین تابع «هشدار بالقوه» (PW)، ما به فراوانی اسناد برای کلمات خاص در یک موضوع نگاه کرده و با حدود آستانه ۰/۰۰۱ الی ۰/۰۱، نشانه‌های ضعیف ممکن را شناسایی می‌کنیم. جدول (۲)، خلاصه‌ای از یافته‌ها را ارائه می‌دهد.



جدول ۲: نشانه‌های ضعیف مستخرج از مجموعه اسناد مرتبط با امنیت انرژی

نشانه‌های ضعیف	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۴
	انعطاف‌پذیری	ژئواستراتژی، تجدیدپذیر	قوی، اقتصادی
۱	پایدار	پیشرو، قوی	پایدار
	پایداری	قابلیت اطمینان، فروشنده	چرخشی
	تطبیقی، مصنوعی	تحلیلی، تطبیقی	تحلیلی، نظارتی
۲	الگوریتم، بهینه	بیزی، بهینه‌سازی	مصنوعی
	جایگزین، بهینه‌سازی	تجزیه و تحلیل	مدل‌سازی
	بیوتکنولوژیک، سوخت زیستی، زیستی	بیودیزل	زراعت جنگلی، چوب
۳	محصول، نیشکر		
	بیوجار، بیوگاز، مالت	سوخت زیستی	انرژی زیستی
	بیواتانول، زیست توده، سورگوم	زیست توده	زیست توده
	کربن، آب‌وهوا، سوخت، گلخانه	کربن، کربن‌زدایی	کربن، کربن‌زدایی
۴		محیط زیست، گلخانه‌ای	
	زغال سنگ، دیزل، سبز	آب‌وهوا، کربن‌زدایی، جهانی	آب‌وهوا، جنگل‌زدایی، هسته‌ای
	پاک، محیط زیست، جهانی‌سازی	زغال سنگ، محیط زیست، سبز	اقلیم‌شناسی
	بلاک چین، قیمت‌گذاری، ارزش‌گذاری	بلاک چین، بیوت	بلاک چین، تأمین مالی
۵	امنیت سایبری، اقتصادی	امنیت سایبری، مالی	دیجیتالی شدن، قیمت‌گذاری
	دیجیتالی شدن، اکو مدرن	بین دیجیتال، فین‌تک	تکنولوژیکی

نشانه‌های ضعیف	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۴
	زلزله، آب	دریایی، ژئوپلیتیکی	فراساحلی
۶	شناور	هسته‌ای	آب
	اقیانوس	آب	هسته‌ای
	برق، شبکه، توربین	هیدروژن، توزیع شده	لیتیوم، الکتریکی شدن، هیدروژن
۷	فتولتائیک، هیدروژن	انتشار، تنوع	فوتوالکتروکاتالیست، ریزشبکه
	خورشیدی، برق‌آبی	قابلیت ارسال، ترموشیمیایی	خورشیدی، زمین گرمایی

۵-۶. «نتایج و بحث»^۱

۵-۶-۱. تفسیر نشانه‌های ضعیف

این مطالعه به بررسی روش‌هایی می‌پردازد که شناسایی، تفسیر و نمایش نشانه‌های ضعیف می‌تواند به بهبود فرایندهای برنامه‌ریزی استراتژیک و تصمیم‌گیری‌های سیاسی کمک کند. هدف اصلی این مقاله این است که ذی‌نفعان را تشویق کند تا به گزینه‌های بیشتری برای آینده فکر کنند، نه این‌که فقط پیش‌بینی‌هایی درباره آینده ارائه دهند. با پرداختن به تأثیرات احتمالی این نشانه‌ها، سازمان‌ها می‌توانند تاب‌آوری، سازگاری و توانایی نوآوری خود را افزایش دهند. در ادامه، نشانه‌های ضعیف بالقوه‌ای که شناسایی شده‌اند، توضیح داده می‌شوند.

❖ مجموعه اول از نشانه‌های ضعیف

بررسی اسناد مربوط به سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که برخی نشانه‌های ضعیف، عباراتی مانند «تاب‌آوری»، «پایداری»، «قابلیت اطمینان»، «جغرافیای سیاسی» و

۱. لازم به توضیح است برابر منطق و اصول نگارش مقالات علمی بدیهی است که بخش نتیجه‌گیری به نتایج پژوهش اختصاص دارد و اساساً ارجاع دهی به مقالات دیگران بی‌معناست. لکن ارجاع دهی در این زیربخش در این مقاله با روال معمول این تفاوت را دارد که به معنای پارافریز یا اقتباس یا ارجاع به معنای ارجاع دهی مرسوم نیست. بلکه هدف از ارجاع، ارجاع به اسنادی است که در این پژوهش طی فرایند ۴ مرحله‌ای حاوی نشانه‌های ضعیف تشخیص داده شده‌اند. شناسایی و اکتشاف نشانه‌های ضعیفی در دل این اسناد به وضعیت‌های بالقوه آینده دلالت دارند و بر اساس متن کاوی و فرآیند طراحی شده در فرایند کشف شده‌اند.



«جغرافیای استراتژیک» نشان‌دهنده ارتباط فزاینده‌ای بین پایداری و امنیت انرژی هستند. کشورها و سازمان‌های فراملی در ارزیابی امنیت انرژی خود به عواملی مانند سیاست‌های قیمت‌گذاری انرژی، شرایط اقتصادی، وابستگی به سوخت، دسترسی به منابع تجدیدپذیر و روابط بین‌الملل توجه کرده‌اند. به همین دلیل، پایداری و امنیت انرژی به موضوعات مهمی در سیاست‌گذاری تبدیل شده‌اند که به مسائلی کلی‌تر مانند انرژی، توسعه مالی و مسائل زیست‌محیطی مرتبط هستند. علاوه بر این، تحلیل عبارات نشانه‌های ضعیفی مانند «اقتصاد چرخشی» و «توصیف کننده» در اسناد جمع‌آوری شده نشان می‌دهد که مفهوم اقتصاد چرخشی در سطح جهانی در حال کسب حمایت سیاسی است و فضایی مناسب برای انتقال به یک جامعه توصیف کننده ایجاد می‌کند. هدف اقتصاد چرخشی این است که الگوهای خطی تولید و مصرف را به «سیستمی بازگشتی» تبدیل کند که ورودی منابع، زباله، انتشار گازها و نشت انرژی را به حداقل می‌رساند. اصل «بستن حلقه‌ها» به عنوان یکی از اصول اقتصاد چرخشی به توسعه منابع انرژی جدید کمک می‌کند که به طور قابل توجهی امنیت انرژی را بهبود می‌بخشد. یکی از استراتژی‌ها، بازیابی انرژی از طریق سوزاندن زباله‌های جامد شهری به منظور تولید گرما و برق از مواد زاید است. همچنین می‌توان زباله‌های ارگانیک از زباله‌های شهری، بیومس جلبکی (زیست توده) و باقی‌مانده‌های صنایع جنگل‌داری و کشاورزی را به سوخت‌های جامد تبدیل کرد. برق می‌تواند از واکنش‌های سلول سوختی با استفاده از زیرساخت‌های بیومس مانند زباله‌های غذایی و فضولات دامی تولید شود (چین و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر این، سوخت‌های زیستی نسل دوم مانند بیوگاز، بیودیزل، بیواتانول می‌توانند از زباله‌های ارگانیک و محصولات جانبی تولید شوند. بیوگاز می‌تواند به عنوان یک محصول جانبی از تولید غذا یا تجزیه زباله‌های ارگانیک جمع‌آوری شود. روغن‌های زباله‌ای می‌توانند برای تولید بیودیزل استفاده شوند و باقیمانده‌های محصولات غذایی صنعتی و زباله‌های غذایی مبتنی بر غلات می‌توانند برای تولید بیواتانول به کار روند. بیومس جلبکی نیز می‌تواند برای تولید بیواتانول نسل سوء استفاده شود.

در سیستم‌های انرژی، مفهوم «کند کردن حلقه‌ها» به عنوان یکی دیگر از اصول اقتصاد

چرخشی به طولانی کردن عمر ماشین‌آلات تولید انرژی و ذخیره و دوباره استفاده از انرژی اضافی اشاره دارد. به عنوان مثال، هیدروژن می‌تواند از برق اضافی تولید شده توسط یک مزرعه بادی تولید و برای استفاده بعدی ذخیره شود. همچنین می‌توان از آب خنک‌کننده‌ای که توسط فرایندهای صنعتی گرم شده است، برای گرم کردن گلخانه‌ها استفاده کرد (منجرز و همکاران، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، «باریک کردن حلقه‌ها» به عنوان اصل دیگر اقتصاد چرخشی در سیستم‌های انرژی بر کاهش تقاضا با افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش مصرف انرژی تمرکز دارد. برخی از نمونه‌ها شامل کمپین‌های آگاهی‌بخشی، برچسب‌گذاری و ایجاد استانداردهای بهره‌وری برای لوازم خانگی هستند. راه‌حل‌های دیجیتال، مانند کتورهای هوشمند، نیز می‌توانند به افراد کمک کنند تا رفتار خود را تغییر دهند و مصرف انرژی خود را کاهش دهند؛ بنابراین، راه‌حل‌های مبتنی بر اقتصاد چرخشی علاوه بر کاهش تقاضای انرژی، امنیت انرژی را نیز بهبود می‌بخشند (برنداستورم و سایدانی، ۲۰۲۲).

❖ مجموعه دوم از نشانه‌های ضعیف

مجموعه اسناد سال ۲۰۲۰ شامل چندین نشانه ضعیف از جمله عبارات «الگوریتم»، «تطبیق‌پذیر»، «مصنوعی» و «بهینه‌سازی». این نشانه‌ها نشان می‌دهند که ممکن است از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی تطبیقی برای کنترل بهینه عرضه و تقاضای انرژی استفاده شود. در مجموعه اسناد سال ۲۰۲۱، نشانه‌های ضعیفی مانند «تحلیلی»، «بیزی»، «تنظیم» و «بهینه‌سازی» وجود دارد که به تلاش‌ها برای تأمین و توزیع پایدار انرژی از طریق مکانیسم‌های کنترل و پیش‌بینی اشاره دارند. این مکانیسم‌ها می‌توانند به تغییرات ناگهانی واکنش نشان دهند و مدیریت ریسک مبتنی بر داده را ممکن می‌سازند (شن و همکاران، ۲۰۲۱). این عبارات نشان‌دهنده استفاده از تکنیک‌های تحلیلی مبتنی بر رویکرد بیزی برای توزیع، کنترل و پیش‌بینی در مدیریت عرضه و تقاضای انرژی هستند. در مجموعه اسناد سال ۲۰۲۴، عبارات «تحلیلی»، «مصنوعی»، «مدل‌سازی» و «نظارت» دیده می‌شود. این عبارات به افزایش استفاده از مدل‌های تحلیلی مبتنی بر داده، استراتژی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و ادغام اینترنت اشیا برای وظایفی مانند مدل‌سازی، نظارت، کنترل و پیش‌بینی در امنیت پایدار



انرژی اشاره دارند. به‌طورکلی، این نشانه‌ها به یک حرکت به سمت استفاده از استراتژی‌های کنترل هوشمند و سازگار در راستای دستیابی به امنیت انرژی بلندمدت اشاره می‌کنند (سزپانیوک، ۲۰۲۲).

❖ مجموعه سوم از نشانه‌های ضعیف

مجموعه اسناد سال ۲۰۲۰ شامل نشانه‌های ضعیفی مانند «سوخت زیستی»، «یومس»، «بیوگاز» و «محصولات زیستی» است. با توجه به کاهش ذخایر نفت و تمرکز آن‌ها در مناطق سیاسی ناپایدار، این عبارات نشان می‌دهند که سوخت‌های زیستی می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی به کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و بهبود امنیت انرژی کمک کنند (سزپانیوک، ۲۰۲۲). سوخت‌های زیستی در بسیاری از کاربردها به‌عنوان جایگزینی مناسب برای سوخت‌های فسیلی مطرح هستند و به‌دلیل تجدیدپذیری و کاهش دی‌اکسید کربن، مزایای زیست‌محیطی قابل‌توجهی دارند. استفاده از گیاهان زراعی یا زباله‌های ارگانیک به‌عنوان مواد اولیه، امکان تولید محلی سوخت‌های زیستی را فراهم می‌آورد و نیاز به حمل‌ونقل سوخت به مسافت‌های طولانی را کاهش می‌دهد که این امر به بهبود امنیت انرژی و محیط‌زیست کمک می‌کند. سوخت‌های زیستی به لحاظ زیست‌محیطی سازگار هستند و پتانسیل بالایی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای دارند، درحالی‌که سوخت‌های فسیلی معمولی این‌گونه نیستند. همچنین، سوخت‌های زیستی به‌دلیل قابلیت ذخیره‌سازی در حالت مایع، با دیگر منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی، بادی و آبی متفاوت هستند (لانجکار و همکاران، ۲۰۲۳).

علاوه بر این، مجموعه اسناد سال ۲۰۲۰ نشانه‌های مهمی مانند «نیشکر» و «ذرت» را شناسایی می‌کند که نشان می‌دهد در میان سوخت‌های زیستی، بیواتانول تولید شده از باقیمانده‌های زراعی به‌دلیل پتانسیل بالای تولید، دسترسی به زیرساخت‌ها، دانش فنی و رویکرد اقتصادی و زیست‌محیطی مناسب برای توسعه، برجسته است. پیشرفت‌ها در تکنیک‌های زراعی، پرورش گیاه و تولید بذر، به طرز چشمگیری عملکرد محصولات زراعی را افزایش داده و گیاهانی مانند نیشکر و ذرت را به‌عنوان مواد اولیه امیدوارکننده برای سوخت‌های زیستی معرفی کرده است (کرگیبوزان، ۲۰۲۲).

طبق مطالعات اخیر، علاقه به روش‌های نوآورانه‌ای مانند مهندسی متابولیک، ویرایش ژنوم و پیش‌پردازش‌های بیولوژیکی و مایع یونی برای بهبود توسعه محصولات سوخت زیستی پایدار در حال افزایش است (رائو و همکاران، ۲۰۱۹).

علاوه بر این، تحولات جدیدی مانند «کشاورزی تلفیقی» و «چوب» در مجموعه اسناد سال ۲۰۲۴ به بیوماس جنگلی به‌عنوان یک منبع انرژی عملی و پایدار برای تولید گرما، برق و سوخت‌های زیستی اشاره دارند. بیوماس چوبی از منابع مختلفی مانند بیوماس جنگلی (چوب‌ها، شاخه‌ها و باقی‌مانده‌های چوب‌بری)، زباله‌های چوبی از صنعت چوب (مانند زباله‌های کارخانه‌های چوب) و همچنین چوب‌های بازیافتی (مانند مبلمان قدیمی) به دست می‌آید. با این‌که این منابع کاربردهای گسترده‌ای دارند، کمبود آن‌ها باعث می‌شود که در مقایسه با منابع انرژی جایگزین کم‌تر رقابتی باشند (کیم و لی و هوانگ، ۲۰۲۲). وضعیت فعلی بازار نشان می‌دهد که استفاده گسترده از بیوماس جنگلی در بخش انرژی به‌شدت تحت تأثیر هزینه‌های پردازش و در دسترس بودن منابع قرار دارد. با این حال، پیشرفت‌های فناوری و همچنین عوامل اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و زیست‌محیطی مختلف، به‌همراه نیاز روزافزون به منابع سوخت جامد قابل اعتماد و محصولات مرتبط مانند گاز و سوخت‌های مایع، بر رقابت‌پذیری این منبع انرژی تجدیدپذیر تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، در برخی کشورهای اسکاندیناوی، منابع مالی ناشی از عوارض زیست‌محیطی بر سوخت‌های فسیلی یا مشوق‌های بیوانرژی، به تقویت استفاده از چوب به‌عنوان منبع انرژی و سوخت‌های تجدیدپذیر از منابع جنگلی کمک کرده است (برمن و همکاران، ۲۰۲۴).

❖ مجموعه چهارم از نشانه‌های ضعیف

مجموعه داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۴ نشان‌دهنده چندین نشانه ضعیف است، از جمله عبارات «کاهش کربن»، «محیط زیست»، «جهانی»، «پاک»، «اقلیم» و «گازهای گلخانه‌ای». این عبارات نشان می‌دهند که تسلط در بخش انرژی‌های سبز نه تنها به حفظ ثبات انرژی کمک می‌کند، بلکه مزایای زیادی نیز به‌همراه دارد، از جمله تشویق رقابت در کسب‌وکارها و بهبود رفاه عمومی. با توجه به محدودیت عرضه سوخت‌های فسیلی داخلی،



تهدید فزاینده گرمایش جهانی و ناپایداری در دسترسی به انرژی هسته‌ای، انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان یک عامل استراتژیک در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و پاسخ به چالش‌های اقلیمی و امنیت انرژی قرار می‌گیرند؛ بنابراین، اهمیت انرژی‌های سبز در دستیابی به امنیت انرژی و نقش حیاتی آن در شکل‌دهی به ادراکات جهانی و موقعیت‌یابی باید مورد بررسی قرار گیرد (کانزler و همکاران، ۲۰۲۱).

باین‌حال، پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر به تنهایی کافی نیست تا به طور کامل جایگزین سوخت‌های فسیلی شود. تعادل بین کاهش کربن و امنیت انرژی دو چالش بزرگ است، به ویژه برای کشورهایی که به شدت به سوخت‌های فسیلی وارداتی وابسته‌اند. برای پیشرفت صنایع حیاتی مانند کشاورزی، بازرگانی، ارتباطات، آموزش، بهداشت و درمان و حمل و نقل، دسترسی مداوم به انرژی ضروری است. فقدان انرژی می‌تواند به توسعه اقتصادی و انسانی آسیب بزند و جمعیت‌های کشورهای در حال توسعه نیز به طور نامتناسبی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار دارند. باین‌حال، برای تضمین تأمین پایدار انرژی، هنوز هم به منابع کربن‌دار وابستگی وجود دارد.

استراتژی‌های کاهش کربن که به حفظ منابع طبیعی و تضمین نیازهای نسل‌های آینده می‌پردازند، پایداری زیست‌محیطی را به یک جزء کلیدی تبدیل می‌کنند. اقدامات و سیاست‌های کاهش کربن که به کاهش انتشار کربن و ایجاد یک محیط جهانی بدون کربن می‌پردازند، امنیت انرژی را تقویت کرده و منابع طبیعی را حفظ می‌کنند و تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی را کاهش می‌دهند. با انتقال به انرژی‌های تجدیدپذیر، کشورها می‌توانند امنیت انرژی خود را با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی محدود و ناپایدار از نظر ژئوپلیتیکی بهبود بخشند؛ بنابراین، زمانی که پایداری زیست‌محیطی در استراتژی‌های کاهش کربن گنجانده می‌شود، می‌تواند منافع بلندمدتی برای محیط‌زیست و امنیت انرژی به همراه داشته باشد (لانجکار و همکاران، ۲۰۲۳).

♦ مجموعه پنجم از نشانه‌های ضعیف

مفاهیم پایداری که سیاست‌های امنیت انرژی را پشتیبانی می‌کنند، با عبارات «بلاک‌چین»،

«دیجیتال»، «قیمت‌گذاری» و «ارزش‌گذاری» در مجموعه اسناد بررسی شده مرتبط هستند. براساس این مفاهیم، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در سطح توزیع می‌تواند یک جایگزین عملی برای امنیت انرژی باشد، زیرا تولید و مصرف محلی انرژی می‌تواند به‌طور قابل توجهی نیاز به به‌روزرسانی‌های پرهزینه شبکه را کاهش دهد. یکی از اصلی‌ترین مشکلات در این زمینه، نبود مشوق‌ها برای مصرف‌کنندگان انرژی است. در حال حاضر، نرخ‌هایی که مصرف‌کنندگان برای انرژی پرداخت می‌کنند، بیشتر از مقداری است که برای تأمین انرژی اضافی به شبکه دریافت می‌کنند. این ناهماهنگی منجر به توقف برخی از طرح‌های تعرفه ورودی شده و ضرورت ایجاد بازارهای انرژی محور توصیف کننده را برجسته می‌کند.

تجارت انرژی غیرمتمرکز یک راه‌حل کلیدی در این زمینه است، زیرا این امکان را برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان انرژی (توصیف کننده‌ها) فراهم می‌کند تا انرژی اضافی خود را به مشتریانی که به دنبال گزینه‌های انرژی خارج از شبکه هستند، به قیمت‌های رقابتی بفروشند. این ساختار نه تنها به توصیف کننده‌ها برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولید و ذخیره‌سازی انرژی تشویق می‌کند، بلکه با ارائه آزادی انتخاب از میان تأمین‌کنندگان مختلف انرژی براساس قیمت و منبع، به افزایش قابلیت دسترسی و شفافیت انرژی کمک می‌کند (گاوسو و همکاران، ۲۰۲۲).

ساختار غیرمتمرکز این بازارها و تعداد زیاد شرکت‌کنندگان، مدیریت و اجرای آن‌ها را با استفاده از سیستم‌های متمرکز سنتی دشوارتر می‌کند. به همین دلیل، نیاز فوری به تکنیک‌های مدیریت و کنترل توزیع شده وجود دارد. فناوری بلاک‌چین به دلیل ماهیت توزیع شده و غیرمتمرکز خود، به‌ویژه برای این کاربرد مناسب است. این فناوری با داشتن پلتفرم قوی قراردادهای هوشمند، امکان انجام معاملات خودکار براساس معیارهای از پیش تعیین شده را فراهم می‌آورد. در نتیجه، مصرف‌کنندگان انرژی می‌توانند انرژی را به‌صورت محلی و با قیمت‌های دلخواه خود مبادله کنند. این پلتفرم با استفاده از بلاک‌چین برای ثبت معاملات و تاریخچه تجارت، نیازهای توزیع، شفافیت و اعتبار را برای معاملات خودکار در بازارهای انرژی منطقه‌ای برآورده می‌کند (حصان و همکاران، ۲۰۲۲).



علاوه بر این، مفهوم جدید «فین‌تک»^۱ می‌تواند رفتار مصرف‌کنندگان را در زمینه سرمایه‌گذاری، پس‌انداز و مصرف به‌طور چشمگیری تغییر دهد که این امر می‌تواند بر قوانین مربوط به تولید و مصرف انرژی تأثیر بگذارد. فین‌تک به راه‌حل‌های مالی نوآورانه اشاره دارد. یکی از نمونه‌های بارز فین‌تک در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، ارز دیجیتال NRGcoin است (ونگ و سو، ۲۰۲۰). این ارز براساس یک اصل خاص کار می‌کند: به ازای هر کیلووات ساعت انرژی تجدیدپذیر که یک تو مصرف کننده به شبکه تزریق می‌کند، کنترلر هوشمند خانه او یک NRGcoin تولید می‌کند. سپس تو مصرف کننده می‌تواند این سکه‌ها را در بازار ارز NRGcoin معامله کند. از طرف دیگر، زمانی که مشتریان از انرژی تجدیدپذیر شبکه استفاده می‌کنند، به‌طور خودکار با NRGcoin شارژ می‌شوند و نه با پول نقد. استفاده از یک کیلووات ساعت انرژی تجدیدپذیر از شبکه هزینه یک NRGcoin دارد، صرف‌نظر از قیمت خرده‌فروشی فعلی برق. فین‌تک همچنین برای بهبود سیاست‌های امنیت انرژی مورد استفاده قرار گرفته است و «تأمین مالی جمعی»^۲ یکی از مثال‌ها است. درحالی‌که سرمایه‌گذاران خصوصی همچنان نقش حیاتی در تأمین مالی فناوری‌های نوظهور انرژی ایفا می‌کنند، ظهور پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر در پلتفرم‌های تأمین مالی جمعی اهمیت روزافزون آن‌ها را در چشم‌انداز تأمین مالی نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، یکی از پروژه‌ها به دنبال ارتقا سیستم‌های انرژی بام موجود از سیستم‌های خورشیدی سنتی به سیستم‌های هیبریدی است که انرژی بادی را نیز شامل می‌شود و ظرفیت کلی را افزایش می‌دهد و دسترسی به انرژی را حتی در دوره‌های کم‌نور تضمین می‌کند (راهاراجا و همکاران، ۲۰۲۲).

♦ مجموعه ششم از نشانه‌های ضعیف

عباراتی مانند «زلزله»، «اقیانوس»، «آب»، «هسته‌ای» و «ساحلی» در مجموعه اسناد بررسی شده وجود دارند که به پیچیدگی انرژی هسته‌ای به‌عنوان یک موضوع بحث‌برانگیز برای عموم و تصمیم‌گیرندگان اشاره دارند. درحالی‌که انرژی هسته‌ای به‌طور معمول به‌عنوان یک راه‌حل

1. FinTech
2. Crowdfunding

بالقوه برای خطرات ناشی از تغییرات اقلیمی در نظر گرفته می‌شود (منیه و آچئامپونگ، ۲۰۲۴)؛ اما ادراکات عمومی درباره خطرات مرتبط با نیروگاه‌های هسته‌ای تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد، به‌ویژه نزدیکی این نیروگاه‌ها به فعالیت‌های لرزه‌ای و مکان‌های ساحلی. درحالی‌که برخی از محققان از انرژی هسته‌ای به‌عنوان یک راهکار عملی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای حمایت می‌کنند، منتقدان بر این باورند که این ارزیابی‌ها معمولاً خطرات احتمالی حوادث و چالش‌های مربوط به دفع زباله‌های رادیواکتیو را نادیده می‌گیرند. سازمان‌های بین‌المللی مانند سازمان ملل به این نگرانی‌ها پاسخ داده و از کشورها خواسته‌اند تا اقداماتی پیشگیرانه برای کاهش، آماده‌سازی و سازگاری با تأثیرات فعالیت‌های لرزه‌ای، تغییرات اقلیمی، ضعف حکمرانی، تنش‌های ژئوپلیتیکی و خطای انسانی انجام دهند. برای حفظ تمامیت و ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای، لازم است که مقررات سخت‌گیرانه‌ای وضع شود. گفت‌وگوی باز درباره سیاست‌ها و راهکارهایی که امکان تبادل شفاف و فنی اطلاعات با جوامع محلی در مورد زلزله‌های کوچک و تأثیرات آن‌ها بر ایمنی نیروگاه‌ها را فراهم می‌آورد، برای کاهش نگرانی‌های عمومی ضروری است. با توجه به اهمیت فزاینده نقش نیروگاه‌های هسته‌ای در سازگاری با تغییرات اقلیمی، کنترل ادراکات عمومی نسبت به این نیروگاه‌ها بسیار حیاتی است. یکی از راه‌های افزایش حمایت عمومی از انرژی هسته‌ای و تشویق به توسعه پایدار آن، اجرای سیاست‌ها و فناوری‌های مناسب برای مدیریت زلزله‌های کوچک و حفظ خطوط ارتباطی با جامعه به‌منظور کاهش نگرانی‌های آن‌ها است (بیان و همکاران، ۲۰۲۱).

❖ مجموعه هفتم از نشانه‌های ضعیف

برای حفظ ثبات در برابر عدم قطعیت‌ها، مانند بارهای بحرانی و تنش‌های ژئوپلیتیکی بین کشورهای تولیدکننده انرژی، مجموعه اسناد مورد بررسی به واژه‌های ضعیف مانند «انتشار»، «دسترس‌پذیری» و «توزیع‌شده» اشاره دارد و بر اهمیت یک شبکه انرژی دسترس‌پذیر، به‌ویژه شبکه برق، تأکید می‌کند. واژه‌های «خورشیدی»، «فوتوولتائیک»، «لیتیوم»، «فتوکاتالیست»، «میکروگرید» و «زمین‌گرمایی» به پتانسیل این فناوری‌ها برای بهبود دسترس‌پذیری، به‌ویژه



در مکان‌های دورافتاده، اشاره دارند. باین‌حال، برای حفظ ثبات شبکه، انتقال از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر نیازمند بهبود مدیریت تقاضا و ذخیره‌سازی انرژی است (آندروود، هیل و لمی‌چانه، ۲۰۲۰). انرژی خورشیدی به‌عنوان فراوان‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر، به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک راه‌حل امیدوارکننده برای مشکلات آلودگی محیط‌زیست و کاهش منابع سوخت‌های فسیلی شناخته می‌شود؛ اما از آنجایی که نور خورشید ناپایدار و دارای چگالی انرژی پایینی است، ذخیره‌سازی مؤثر و تحویل براساس تقاضا برای استفاده مداوم از آن ضروری است. ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در دستگاه‌های الکتروشیمیایی مانند باتری‌های لیتیومی معقول به نظر می‌رسد. در حال حاضر، اصلی‌ترین روش استفاده از سلول‌های فوتوولتائیک برای تبدیل انرژی خورشیدی به برق است که سپس در دستگاه‌هایی مانند باتری‌های لیتیومی ذخیره می‌شود. تلاش‌های اولیه بر ادغام مستقیم سلول‌های فوتوولتائیک با خازن‌ها یا باتری‌ها تمرکز کرده است تا تبدیل و ذخیره‌سازی را در یک دستگاه واحد ترکیب کند. باتری‌های لیتیوم-گوگرد که به‌طور نظری ظرفیت خاصی سه تا پنج برابر بیشتر از باتری‌های لیتیوم-یونی معمولی دارند، با افزودن فتوکاتالیست‌ها به‌طور بیشتری ادغام شده‌اند [47].

میکروگریدها که به‌عنوان یک نشانه نوظهور دیگر، به‌دلیل کارایی، قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری خود در حال افزایش محبوبیت هستند، می‌توانند با استفاده از یک توپولوژی هیبریدی که از منابع و بارهای AC و DC پشتیبانی می‌کند، کار کنند [48].

واژه «زمین‌گرمایی» به انرژی حرارتی تولید و ذخیره‌شده در زمین اشاره دارد. دماهای مختلف در هسته و سطح زمین باعث می‌شود که انرژی حرارتی به‌طور مداوم جریان یابد. منابع زمین‌گرمایی می‌توانند به‌طور سودآور برای استفاده در گرمایش منطقه‌ای و کشاورزی یا تولید برق در مناطق با جریان حرارتی بالا استخراج شوند. این سیستم‌ها معمولاً در محیط‌های زمین‌شناسی با فرایندهای تکتونیکی فعال یافت می‌شوند و می‌توانند به دو دسته مایع‌محور و بخارمحور تقسیم شوند. نوع اول شامل مایعات با دماهای متوسط تا بالا است (بدرالدین‌نژاد، ۲۰۲۳).

نشانه‌های ضعیف مانند «هیدروژن»، «نیروگاه آبی» و «هیدروترمال» که به همراه «توربین» آمده‌اند، به استراتژی‌های مختلف تبدیل انرژی اشاره دارند که از منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان حامل‌های انرژی سبز بدون کربن استفاده می‌کنند که ممکن است در توربین‌های گاز دسترس‌پذیر باشند. به‌ویژه، واژه‌های «هیدروژن»، «نیروگاه آبی» و «هیدروترمال» به تاکتیک‌هایی برای کاهش کربن در توربین‌های گاز قبل از احتراق اشاره دارند. هیدروژن به عنوان سوخت، راهی مناسب برای جلوگیری از انتشار دی‌اکسید کربن توسط توربین‌های گاز به شمار می‌آید. محصولات جانبی اصلی احتراق هیدروژن، آب و در صورت استفاده از هوا به عنوان اکسیدان، مقدار کمی NOx هستند. تولید هیدروژن با استفاده از انرژی تجدیدپذیر اضافی، انتقال آن از طریق لوله‌ها، ذخیره‌سازی و استفاده از آن در زمان نیاز امکان‌پذیر است. این ویژگی که منجر به تولید گرما در گازهای خروجی می‌شود، به‌طور مستقیم بر عملکرد توربین‌های گاز تأثیر می‌گذارد (له و همکاران، ۲۰۲۲).

واژه «ترموشیمیایی» همچنین به فرایند گازی‌سازی اشاره دارد که یک فرایند خشی کربن برای تولید هیدروژن از بیومس است. از آنجایی که گیاهان در طول رشد خود دی‌اکسید کربن را جذب می‌کنند، این راهبرد انتشار گازهای گلخانه‌ای خالص را کاهش می‌دهد. هم فرایندهای ترموشیمیایی و هم بیوشیمیایی می‌توانند برای تولید هیدروژن از بیومس استفاده شوند، اما روش‌های ترموشیمیایی مزایای واضحی دارند، به‌ویژه برای مواد لیگنوسلولزی که نمی‌توانند به‌طور بیوشیمیایی پردازش شوند (رولو، کاستا و بیتو، ۲۰۲۳).

۲-۶-۵. تفسیر نشانه‌های قوی

واژه‌هایی مانند «توسعه اقتصادی»، «انرژی»، «پویا»، «تجدیدپذیر» و «امنیت» در مجموعه اسناد سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ به‌طور بارزی اشاره شده و نشان می‌دهد که سیاست‌های حال حاضر گسترش اقتصادی می‌تواند منجر به افزایش انتشار کربن شود. به همین دلیل، کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه در تعهدات ملی خود به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید دارند. این کشورها، در حال توسعه و اجرای سیاست‌هایی هستند که به کاهش انتشار گازها



کمک می‌کند بدون این‌که بر رشد اقتصادی تأثیر منفی بگذارد. این سیاست‌ها شامل مالیات بر انرژی، مالیات کربن، تعیین سقف برای انتشار گازها، برنامه‌های تجارت انتشار و حذف یارانه‌ها می‌شود. این سیستم‌ها راهنمایی برای کاهش انتشار گازها بدون آسیب به پیشرفت اقتصادی ارائه می‌دهند (کرگیبوزان، ۲۰۲۲).

علاوه بر این، فاصله جغرافیایی بین مراکز اصلی تولید و مصرف انرژی، کشورهای واردکننده و صادرکننده انرژی را در برابر خطرات مربوط به ثبات بازار انرژی آسیب‌پذیرتر می‌کند. اختلالات احتمالی در تأمین انرژی که ناشی از خرابکاری، جنگ، ناآرامی‌های سیاسی، شرایط آب‌وهوا شدید، حوادث، نقص‌های فناوری یا بحران‌های مالی هستند، این خطرات را افزایش می‌دهند. این عدم تعادل در بازار و ناهماهنگی جغرافیایی، هر دو دسته از کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه را وادار به اجرای تدابیر امنیت انرژی می‌کند.

ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر در مرکز این سیاست‌ها قرار دارد و این سیاست‌ها به دلیل افزایش آگاهی عمومی از مسائل زیست‌محیطی و نگرانی‌ها درباره امنیت انرژی شکل گرفته‌اند. با جایگزینی منابع انرژی تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی، می‌توان وابستگی به واردات انرژی و در نتیجه وابستگی به کشورهای صادرکننده را کاهش داد (مولاخنیف و همکاران، ۲۰۲۴).

۶. نتیجه‌گیری

تلفیق فناوری، رشد منابع توزیع شده و توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر پایدار همگی به تحول سریع امنیت انرژی و کاهش عدم قطعیت‌ها در امنیت انرژی کمک می‌کنند. به همین دلیل، ایجاد برنامه‌هایی برای مدیریت این عدم قطعیت‌ها با شناسایی نشانه‌های ضعیف به طور فزاینده‌ای محبوب شده است. این مطالعه یک روش جدید برای شناسایی خودکار نشانه‌های ضعیف با استفاده از مدل (LDA) ارائه داد.

در این مقاله دو تابع فیلترینگ پیشنهاد شد. تابع اول که «تابع ضعیف»^۱ نامیده شد،

موضوعات تولیدشده توسط LDA را با استفاده از سه معیار فیلتر می‌کند: انسجام که اهمیت موضوع را اندازه‌گیری می‌کند، نزدیکی مرکزی که نزدیکی و شباهت موضوعات را ارزیابی می‌کند و شاخص واریانس معکوس که تکامل موضوعات را در مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده در نظر می‌گیرد. با ترکیب این معیارها با اعمال آستانه‌های درصدی و تابع لجستیک، تنها برای موضوعاتی که مقدار این تابع بین $0/01$ تا $0/1$ قرار دارند، انتخاب می‌شوند.

تابع دوم که «هشدار بالقوه»^۱ نامیده می‌شود، فیلترینگ بیشتری بر روی کلیدواژه‌های استخراج شده از موضوعات فیلترشده قبلی انجام می‌دهد. پس از اعمال این مرحله، تنها کلیدواژه‌هایی که مقدار هشدار بالقوه آن‌ها بین $0/001$ تا $0/01$ قرار دارند، به عنوان نشانه‌های ضعیف در نظر گرفته می‌شوند.

با این حال، این مطالعه دارای برخی محدودیت‌ها است. داده‌های متنی محدود به مستندات علمی هستند و بنابراین نمایانگر علایق تحقیقاتی در حوزه امنیت انرژی به جای روندهای بازار هستند. تحقیقات آینده باید تلاش کنند تا مسائل واقعی صنعت را با استفاده از اطلاعات مستخرج از وبسایت‌های خبری تخصصی صنعت انرژی در برگیرند. همچنین، مقایسه نتایج از منابع داده‌های مختلف، مانند گزارش‌ها، وبسایت‌های خبری تخصصی، بسیار مهم است. جمع‌آوری مجموعه بزرگ‌تری از نمونه‌های نشانه ضعیف که از داده‌های گذشته استخراج شده‌اند، می‌تواند به بهبود نتایج کمک کند و آستانه‌های مناسب برای تحلیل و پیش‌بینی عمیق‌تر را تعیین کند؛ اما مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش در این بندها به‌طور خلاصه جمع‌بندی و ارائه می‌شود:

این مطالعه یک رویکرد ترکیبی جدید را معرفی می‌کند که از مدل‌سازی موضوعی احتمالاتی و متن کاوی برای تحلیل مستندات علمی بتواند نشانه‌های ضعیف را شناسایی کند.

این روش به‌منظور بهبود شناسایی نشانه‌های ضعیف مرتبط با امنیت انرژی در فرایندهای



سیاست‌گذاری، یک راهکار مؤثر برای تحلیل داده‌های متنی ارائه می‌دهد. در پایان توجه به این مهم به‌عنوان زمینه مطالعات آتی حیاتی است که تأکید کنیم مطالعات شناسایی نشانه‌های ضعیف بدون توجه به بستر مطالعات نظریه سیستم‌ها امری ناقص و بی‌ریشه است. توسعه روش‌ها، ابزارها و البته رویکردهای شناسایی نشانه‌های ضعیف اساساً با هدف توسعه سیستم‌های هشدار بهنگام معنا پیدا می‌کند. در پژوهش‌های پیشین محقق (سیفی کلستان و همکاران، ۲۰۲۲) زمینه‌های توسعه سیستم‌های اجتماعی-فنی به‌عنوان یک بستر مناسب برای این مهم مورد مطالعه قرار گرفته است. لکن به جهت توصیه برای مطالعات آینده توجه به این بعد از پژوهش‌ها در این حوزه از مطالعات آینده‌پژوهی لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

References

- Adil, B., Abdelhadi, F. (2021). *A framework for weak signal detection in competitive intelligence using semantic clustering algorithms*. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 12, 555-565.
- Barman, A., Dutta, S., Bera, A., Saha, P., Roy, J., Roy Choudhury, M., Bera, M., Das, S. (2024). *Synergizing sustainability: a critical review on harnessing agroforestry for biomass, carbon sequestration, and water-food-energy nexus*. Energy, Ecology and Environment. 9, 579-613.
- Bian, Q., Han, Z., Veuthey, J., Ma, B. (2021). *Risk perceptions of nuclear energy, climate change, and earthquake: How are they correlated and differentiated by ideologies?*. Climate Risk Management. 32, 100297.
- Brandstrom, J., Saidani, M. (2022). *Comparison between circularity metrics and lea: A case study on circular economy strategies*. Journal of Cleaner Production. 371, 133537.
- Cergibozan, R. (2022). *Renewable energy sources as a solution for energy security risk: Empirical evidence from oecd countries*. Renewable Energy. 183, 617-626.
- Chaturvedi, I., Ong, Y.S., Tsang, I.W., Welsch, R.E., Cambria, E. (2016). *Learning word dependencies in text by means of a deep recurrent belief network*. Knowledge-Based Systems. 108, 144-154. doi:https://doi.org/10.1016/j.knosys.2016.07.019. new Avenues in Knowledge Bases for Natural Language Processing.
- Chauhan, U., Shah, A. (2021). *Topic modeling using latent dirichlet allocation: A survey*. ACM Computing Surveys (CSUR). 54, 1-35.
- Coffman, B. (1997). *Weak signal research, part i: Introduction*. Journal of Transition Management. 2, 4.
- Dieng, A.B., Ruiz, F.J.R., Blei, D.M. (2020). *Topic Modeling in Embedding Spaces*. Transactions of the Association for Computational Linguistics. 8, 439-453.
- Ebadi, A., Auger, A., Gauthier, Y., (2022). *Detecting emerging technologies and their evolution using deep learning and weak signal analysis*. Journal of Informetrics. 16, 101344.
- El Akrouchi, M., Benbrahim, H., Kassou, I. (2021). *End-to-end Ida-based automatic weak signal detection in web news*. Knowledge-Based Systems. 212, 106650.
- Gawusu, S., Zhang, X., Jamatutu, S.A., Ahmed, A., Amadu, A.A., Djam Miensah, E. (2022). *The dynamics of green supply chain management within the framework of renewable energy*. International Journal of Energy Research. 46, 684-711.
- Griol-Barres, I., Milla, S., Cebrian, A., Fan, H., Millet, J. (2020). *Detecting weak signals of the future: A system implementation based on text mining and natural language processing*. Sustainability. 12, 7848.
- Gusenbauer, M., Haddaway, N.R. (2020). *Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? evaluating retrieval qualities of google scholar, pubmed, and 26 other resources*. Research synthesis methods. 11, 181-217.



- Gutsche, T. (2018). *Automatic weak signal detection and forecasting*. Master's thesis. University of Twente.
- Hasan, M.K., Alkhalifah, A., Islam, S., Babiker, N.B., Habib, A.A., Aman, A.H.M., Hossain, M.A. (2022). *Blockchain technology on smart grid, energy trading, and big data: security issues, challenges, and recommendations*. Wireless Communications and Mobile Computing. 2022, 9065768.
- Hiltunen, E. (2008). *The future sign and its three dimensions*. Futures 40, 247-260.
- Holopainen, M., Toivonen, M. (2012). *Weak signals: Ansoff today*. Futures, 44, 198-205.
- Jain, A., Sarsaiya, S., Awasthi, M.K., Singh, R., Rajput, R., Mishra, U.C., Chen, J., Shi, J. (2022). *Bioenergy and bio-products from bio-waste and its associated modern circular economy: Current research trends, challenges, and future outlooks*. Fuel. 307, 121859.
- Kanzler, M., Bohm, C., Domin, T., Freese, D. (2021). *Energy balance and greenhouse gas emissions in an agroforestry system-a case study from eastern germany*. Agroecology and Sustainable Food Systems. 45, 868-891.
- Kiehadrouinezhad, M., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Rosen, M.A., Gupta, V.K., Peng, W., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M. (2023). *The role of energy security and resilience in the sustainability of green microgrids: Paving the way to sustainable and clean production*. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 60, 103485.
- Kim, J., Hwang, S., Lee, S.M. (2022). *Metabolic engineering for the utilization of carbohydrate portions of lignocellulosic biomass*. Metabolic Engineering. 71, 2-12.
- Kwabena Patrick, M., Felix Adekoya, A., Abra Mighty, A., Edward, B.Y. (2022). *Capsule networks - a survey*. Journal of Computer and Information Sciences. 34, 1295-1310.
- Lanjekar, P.R., Panwar, N.L., Agrawal, C. (2023). *A comprehensive review on hydrogen production through thermochemical conversion of biomass for energy security*. Bioresource Technology Reports. 21, 101293.
- Le, M.T., Nhieu, N.L., Pham, T.D.T., (2022). *Direct-use geothermal energy location multi-criteria planning for on-site energy security in emergencies: a case study of malaysia*. Sustainability. 14, 15132.
- Li, X., Xie, Q., Huang, L. (2022). *Identifying the development trends of emerging technologies using patent analysis and web news data mining: The case of perovskite solar cell technology*. IEEE Transactions on Engineering Management. 69, 2603-2618.
- Li, Y., Chang, Y. (2019). *Road transport electrification and energy security in the association of southeast asian nations: Quantitative analysis and policy implications*. Energy Policy. 129, 805-815.
- Li, Y., Pan, Q., Wang, S., Yang, T., Cambria, E. (2018). *A generative model for category text generation*. Information Sciences. 450, 301-15.
- Mangers, J., Minoufekar, M., Plapper, P., Kolla, S. (2021). *An innovative strategy*

- allowing a holistic system change towards circular economy within supply-chains. *Energies*. 14, 4375.
- Menyeh, B.O., Acheampong, T. (2024). *Crowdfunding renewable energy investments: Investor perceptions and decision- making factors in an emerging market*. *Energy Research & Social Science*. 114, 103602.
- Miihlroth, C., Grottke, M. (2018). *A systematic literature review of mining weak signals and trends for corporate foresight*. *Journal of Business Economics*. 88, 643-687.
- Moulakhnif, K., Ousaleh, H.A., Sair, S., Bouhaj, Y., El Majd, A., Ghazoui, M., Faik, A., El Bouari, A. (2024). *Renewable approaches to building heat: exploring cutting-edge innovations in thermochemical energy storage for building heating*. *Energy and Buildings*. 318, 114421.
- Osman, P., Hayward, J.A., Penesis, I., Marsh, P., Herner, M.A., Griffin, D., Sayeef, S., Nader, J.R., Cossu, R., Grinham, A., et al. (2021). *Dispatchability, energy security, and reduced capital cost in tidal-wind and tidal-solar energy farms*. *Energies*. 14, 8504.
- Paravantis, J.A., Kontoulis, N. (2020). *Energy security and renewable energy: a geopolitical perspective*, in: *Renewable energy-resources, challenges and applications*. Intech Open.
- Park, C., Cho, S., Heo, W. (2021). *Study on the future sign detection in areas of academic interest related to the digitalization of the energy industry*. *Journal of Cleaner Production*. 313, 127801.
- Park, L.W., Lee, S., Chang, H. (2018). *A sustainable home energy prosumer-chain methodology with energy tags over the blockchain*. *Sustainability*. 10, 658.
- Qaiser, S., Ali, R. (2018). *Text mining: use of tf-idf to examine the relevance of words to documents*. *International Journal of Computer Applications*. 181, 25-29.
- Rahardja, U., Devana, V.T., Santoso, N.P.L., Oganda, F.P., Hardini, M. (2022). *Cybersecurity for fintech on renewable energy from acd countries*, in: 10th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), IEEE. 1-6.
- Rao, P.S., Vinutha, K.S., Kumar, G.A., Chiranjeevi, T., Uma, A., Lal, P., Prakasham, R., Singh, H., Rao, R.S., Chopra, S., et al. (2019). *Sorghum: A State of the Art and Future Perspectives*, 58, 399-424.
- Rolo, I., Costa, V.A., Brito, F.P., (2023). *Hydrogen-based energy systems: Current technology development status, oppor- tunities and challenges*. *Energies*. 17, 180.
- Seifi Kalestan, A., poursadeq, N., Keramatzadeh, M. and Ahmadian, M. (2022). *A critical review on Approaches Methods and Principles of Socio-Technical Systems Design*. *Quarterly Journal of Interdisciplinary Studies on Strategic Knowledge*, 12 (49 Winter 2022), 27-7. [In Persian]
- Seifi Kalestan, A. and Pedram, A. (2020). *Weak Signals concept in Futures Studies*. *Defensive Future Studies*, 5(17), 39-61.
- Seifi Kalestan, A. and Poursadegh, N. (2023). *Conceptual System of Technology Weak*



- Signals Detection*. Journal of Iran Futures Studies, doi: 10.30479/jfs.2023.18708.1478
- Seifi Kalestan, A., Ashtiyani, M., & Poursadegh, N. (2022). *Exploration of Weak Signals methodology and conceptual position in Futures Studies and Emerging Technologies literature: A Comparative Qualitative Study*. Futures Studies Of The Islamic Revolution, 3(3), 11-48.
- Shen, S., Yu, C., Zhang, K., N i, J., Ci, S. (2021). *Adaptive and dynamic security in ai-empowered 6g: From an energy efficiency perspective*. IEEE Communications Standards Magazine. 5, 80-88.
- Syed, S., Spruit, M. (2018). *Selecting priors for latent dirichlet allocation*. IEEE 12th International Conference on Semantic Computing (ICSC). 194-202.
- Szczepaniuk, H., Szczepaniuk, E.K. (2022). *Application s of artificial intelligence algorithms in the energy sector*. Energies. 16, 347.
- Taghizadeh-Hesary, F., Chang, Y., Yoshino, N., Morgan, P.J. (2021). *Energy insecurity, renewable energy and economic growth*. The Singapore Economic Review (SER). 66(02), 313-22.
- Thorleuchter, D., Van den Poe, D. (2013). *Weak signal identification with semantic web mining*. Expert Systems with Applications. 40, 4978-4985.
- Tsai, C.Y., Paniagua, G., Chen, Y.J., Lo, C.C., Yao, L. (2019). *Personalized tour recommender through geotagged photo mining and lstm neural networks*. 23rd International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2019). 292.
- Uddin, R., Raza Khan, H., Arfeen, A., Shirazi, M.A., Rashid, A., Shahbaz Khan, U. (2021). *Energy storage for energy security and reliability through renewable energy technologies: a new paradigm for energy policies in turkey and pakistan*. Sustainability. 13, 2823.
- Underwood, G., Hill, D., Lamichhane, S. (2020). *Earthquakes, blockades and energy crises: A conceptual framework for energy systems resilience applied to nepal*. Energy Research & Social Science. 69, 101609.
- Wang, Q., Su, M., 2020. *Integrating blockchain technology into the energy sector- from theory of blockchain to research and application of energy blockchain*. Computer Science Review. 37, 100275.
- Yergin, D. (1988). *Energy security in the 1990s*. Foreign Aff. 67, 110.
- Young, T., Hazarika, D., Poria, S., Cambria, E. (2018). *Recent trends in deep learning based natural language processing* [review article]. IEEE Computational Intelligence Magazine. 13, 55-75.
- Zhao, D., Tang, Z., Sun, F., (2023b). *Research on the weak demand signal identification model of innovative product based on domain ontology construction*. Kybernetes. 53(12). 5883-904.
- Zhao, D., Tang, Z., He, D., (2023a). *A systematic literature review of weak signal identification and evolution for corporate foresight*. Kybernetes. 53(10). 3160-88

COPYRIGHTS

2026 by the authors. Published by The National Defense University. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>