Emergency Management, Vol. 14, No. 4, pp: 55-73

Energy Flow Modeling and Risk Assessment in the Energy Chain: Analysis of Operational Uncertainties and Prioritization of Energy Security Measures Based on Organizational Preferences

Mohammad Parvaneh[1], Farivar Fazelpour*[2], Ahmad Khoshgard[3]

1. Dept. of Energy System Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran
2. Dept. of Energy System Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran (Corresponding Author) F_fazelpour@azad.ac.ir
3. Dept. of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6

Original Paper

Energy security is one of the key concepts in the sustainable development of organizations, emphasizing continuous access to energy carriers at a reasonable cost. In recent years, the increasing risks associated with disruptions in energy supply have underscored the importance of comprehensive approaches to energy security management. In this study, a framework for modeling energy flow and risk assessment in the organizational energy chain is presented, utilizing global standards such as ISO 31000 and ISO 50000. Using statistical methods and uncertainty analysis, risks related to energy access were identified and quantified in both the short term (crisis scenario) and long term (general equilibrium scenarios). Subsequently, by employing event concurrency matrices and recovery maturity analysis, the "security risk" index was introduced, enabling the prioritization of executive measures to enhance organizational energy security. One of the innovations of this research is the introduction of the "security risk" index, which provides a quantitative representation of energy security by considering the probability of risk occurrence, the severity of its impact, and the organization's recovery time from crises. The results indicate that combining risk management strategies with energy resource optimization can significantly enhance organizational resilience against energy crises. Ultimately, this study offers an operational framework for organizations to systematically prioritize and implement continuous improvement measures in energy security.

Keywords:
Energy Security Risk, Risk Management, Uncertainty, Resource Optimization, Organizational Resilience.

Received: June 10, 2025
Revised: Aug. 01, 2025
Accepted: Sep. 03, 2025

To cite this article:
Parvaneh, M., Fazelpour, F., Khoshgard, A. 2025. Energy flow modeling and risk assessment in the energy chain: analysis of operational uncertainties and prioritization of energy security measures based on organizational preferences. *Emergency Management*, 14(4), 55-73. **https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6**.

Use your device to scan and read the article online

© The Author(s).
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

مدیریت بحران، دوره ۱۴، شماره ۴، صفحه: ۷۳-۵۵

مدل‌سازی جریان انرژی و ارزیابی ریسک در زنجیره انرژی بر اساس ترجیحات سازمانی

محمد پروانه[۱]، فریور فاضلپور*[۲]، احمد خوشگرد[۳]

۱- گروه سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
۲- گروه سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
(نویسنده مسئول) F_fazelpour@azad.ac.ir
۳- گروه شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

مقاله پژوهشی
https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6

چکیده

امنیت انرژی ازجمله مفاهیم کلیدی در توسعه پایدار سازمان‌ها محسوب می‌شود که بر دسترسی مداوم به حامل‌های انرژی با قیمت معقول تأکید دارد. در سال‌های اخیر، افزایش ریسک‌های مرتبط با اختلال در تأمین انرژی، اهمیت رویکردهای جامع در مدیریت امنیت انرژی را دوچندان کرده است. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از استانداردهای جهانی مانند ISO 31000 و ISO 50000 چارچوبی برای مدل‌سازی جریان انرژی و ارزیابی ریسک در زنجیره انرژی سازمان‌ها ارائه‌شده است. در این مدل، با استفاده از روش‌های آماری و تحلیل عدم قطعیت، ریسک‌های مرتبط با دسترسی به انرژی در کوتاه‌مدت (سناریو بحران) و بلندمدت (سناریوهای تعادل عمومی) شناسایی و کمّی‌سازی شد. سپس، با بهره‌گیری از ماتریس‌های هم‌زمانی رخدادها و بلوغ بازیابی، شاخص ریسک امنیت انرژی معرفی شده و امکان اولویت‌بندی اقدامات اجرایی به منظور بهبود امنیت انرژی سازمان فراهم شد. یکی از نوآوری‌های این پژوهش، ارائه شاخص «ریسک امنیت» است که با در نظر گرفتن احتمال وقوع ریسک‌ها، شدت اثر آنها و زمان بازیابی سازمان از بحران، تصویری کمی از وضعیت امنیت انرژی ارائه می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب روش‌های مدیریت ریسک و بهینه‌سازی تخصیص منابع انرژی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش تاب‌آوری سازمان‌ها در برابر بحران‌های انرژی ایفا کند. درنهایت، این پژوهش چارچوبی عملیاتی برای سازمان‌ها فراهم می‌کند تا با رویکردی نظام‌مند، اقدامات بهبود مستمر در حوزه امنیت انرژی را اولویت‌بندی و اجرا نمایند.

واژه‌های کلیدی:
امنیت انرژی، مدیریت ریسک، عدم قطعیت، بهینه‌سازی منابع، تاب‌آوری سازمانی

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰
اصلاح: ۱۴۰۴/۰۵/۱۰
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
پروانه، م.، فاضلپور، ف.، خوشگرد، ا. ۱۴۰۴، مدل‌سازی جریان انرژی و ارزیابی ریسک در زنجیره انرژی بر اساس ترجیحات سازمانی. *مدیریت بحران*، ۱۴(۴)، ۷۳-۵۵
https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

© The Author(s).
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

امنیت انرژی یکی از ارکان اساسی توسعه پایدار و بهره‌وری اقتصادی در سطح ملی و سازمانی محسوب می‌شود. این مفهوم به توانایی تأمین پایدار، اقتصادی و قابل‌اطمینان حامل‌های انرژی در شرایط مختلف اقتصادی، اقلیمی و ژئوپلیتیکی اشاره دارد. درحالی‌که امنیت انرژی به‌طور سنتی در سطح ملی موردبررسی قرارگرفته است، رشد سازمان‌های فراملی، وابستگی صنایع به انرژی و افزایش عدم قطعیت‌های جهانی، نیاز به مدیریت امنیت انرژی در سطح سازمانی را بیش‌ازپیش ضروری ساخته است [۱-۲].

سازمان‌ها برای تضمین تداوم فعالیت‌های خود نیازمند استراتژی‌هایی هستند که بتوانند مخاطرات مرتبط با تأمین انرژی را شناسایی، ارزیابی و مدیریت کنند. مدیریت امنیت انرژی مستلزم شناخت و تحلیل دقیق چالش‌هایی است که می‌توانند بر دسترسی پایدار به انرژی تأثیرگذار باشند [۳-۴].

مطالعات نشان داده است که بحران‌های عرضه انرژی در سال‌های اخیر شدت گرفته و پیش‌بینی‌شده این روند با شدت بیشتری ادامه داشته باشد [۵].

در سال‌های پیش رو و افق بلندمدت، پیش‌بینی می‌شود شکاف میان عرضه و تقاضای انرژی افزایش پیداکرده و سازمان‌ها ناچار خواهند بود علاوه بر تأمین انرژی موردنیاز خود اقدامات لازم برای نگهداری و همچنین افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های انرژی تحت مدیریت خود را نیز بر عهده بگیرند. به‌منظور مدیریت چالش‌های امنیت انرژی، سازمان‌ها نیازمند رویکردی علمی و سیستماتیک برای شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک‌های مربوطه هستند. یکی از ابزارهای کلیدی در این راستا، مدل‌سازی جریان انرژی و ارزیابی ریسک در زنجیره تأمین انرژی است [۶-۷]. مدل‌سازی عددی و تحلیل آماری می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا ریسک‌های احتمالی را شناسایی کرده و تأثیر آنها را بر عملکرد سیستم انرژی ارزیابی کنند، هم‌زمانی رخدادهای ریسکی را تحلیل کرده و اثرات متقابل آنها را بررسی کنند، شاخص‌هایی برای سنجش امنیت انرژی تعریف کرده و اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه را اولویت‌بندی کنند و بهینه‌سازی تخصیص منابع را بر اساس داده‌های واقعی انجام داده و راهکارهای عملی برای کاهش آسیب‌پذیری سیستم ارائه دهند [۸-۹].

در گزارشی که با عنوان «اصلاح قیمت حامل‌های انرژی: تاب‌آوری صنعت فولاد کشور» توسط مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی تهیه شد، به اثر اصلاح قیمت حامل‌های انرژی بر سودآوری صنایع فولاد پرداخته‌شده است. یافته‌های این گزارش حاکی از آن است که افزایش ٪۲۰۰ قیمت برق و گاز طبیعی حاشیه سود برخی تولیدکنندگان فولاد را تا ٪۱۵ کاهش داده و برخی شرکت‌ها را زیان‌ده نمود که این مسئله باعث کاهش رقابت‌پذیری این شرکت‌ها خواهد شد [۱۰].

مطالعات و گزارش‌های تهیه‌شده توسط شرکت‌های مشاور مدیریت بین‌المللی ارائه‌دهنده خدمات مدیریت بنگاه‌های اقتصادی نشان می‌دهد که راهکارهای افزایش تاب‌آوری سیستم‌های انرژی در شش دسته تنوع‌بخشی به منابع انرژی، بهسازی خطوط انتقال، ذخیره‌سازی‌های انرژی، تغییر سیاست‌ها و قوانین، فرهنگ‌سازی و شبکه‌سازی با همسایه‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند [۱۱].

زمانی و غفارپور [۱۲] در تحقیقی اثر تنوع‌بخشی بر امنیت انرژی را با استفاده از روش‌های کمی تحلیل کردند. آنها از نرم‌افزار MATLAB برای بهینه‌سازی مسئله استفاده نمودند. بررسی امکان‌سنجی مالی طرح‌های پیشنهادی از نقاط قوت این مطالعه است. نتایج

نشان داد که تنوع‌بخشی باعث کاهش ریسک انرژی می‌شود اما پیشنهاد مشخصی در راستای مدیریت ریسک ارائه نشد.

غمخواری و همکاران [۱۳] در پژوهش خود تلاش کردند تا با تشکیل یک سبد از گزینه‌های تأمین برق موردنیاز مراکز داده بتوانند ریسک قطعی برق را کاهش دهند. آنها همچنین پیشنهاد کردند درصورتی‌که مراکز داده از ذخیره‌سازهای باتری استفاده کنند، نه‌تنها می‌توانند ریسک قطعی برق را پوشش دهند، بلکه امکان خریدوفروش برق و کسب درآمد هم خواهند داشت. در همین راستا گو[1] و همکاران [۱۴] استفاده از باتری‌های سایز بزرگ به‌عنوان مهم‌ترین راهکار مدیریت ریسک انرژی مراکز داده را موردمطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند درصورتی‌که بتوان از ذخیره‌ساز مناسبی برای مراکز داده استفاده کرد، می‌توان امید داشت تا با یکپارچه‌سازی این مراکز (به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان شبکه) و تجهیزات تولید انرژی تجدید پذیر به سمت دستیابی به مراکز داده کاملاً مستقل از شبکه حرکت کرد. در این پژوهش اشاراتی نیز به اهمیت تشکیل شبکه‌ای از مراکز داده در کاهش ریسک تأمین انرژی شده است.

مصرف‌کنندگان انرژی ترکیبی از انواع صورت‌های انرژی را مصرف می‌کنند. همچنین ممکن است نوع خاصی از انرژی را تولید کنند که موردنیاز دیگر مصرف‌کنندگان باشد. دینگ[2] و همکاران [۱۵] چگونگی حضور یک مصرف‌کننده‌ی برق (یک مرکز داده) را در شبکه‌ای از مصرف‌کنندگان مورد مطالعه قرار دادند.

استفاده از فرهنگ‌سازی و راهکارهای نرم در سال‌های اخیر موردتوجه قرارگرفته است. یکی از معتبرترین مطالعات این حوزه را الکات[3] و همکاران [۱۶] انجام دادند. آنها با بررسی مدل کسب‌وکار شرکت Opower نشان دادند که آگاهی دادن به مصرف‌کنندگان باعث کاهش انرژی مصرفی آنها خواهد شد. در این مدل به‌صورت ماهانه میزان مصرف مشترک در مقایسه با مصرف دیگر مشترکان با شرایط یکسان به‌صورت گزارش و گراف برای وی فرستاده می‌شده است. همین امر باعث کاهش انرژی تعداد قابل‌توجهی از مصرف‌کنندگان شد. دانشمندان بر این باور هستند که افراد تمایل دارند خود را به عرف جامعه نزدیک کنند. لذا زمانی که پی ببرند میانگین جامعه کمتر از آنها انرژی مصرف می‌کنند، به‌صورت ناخودآگاه مصرف خود را کاهش می‌دهند.

ایدلاند[4] و همکاران [۱۷] و صادقی و همکاران [۱۸] به این مسئله پرداختند. آنها در مطالعات خود تلاش نمودند تا ریسک‌های عملیاتی تولید انرژی و ریسک‌های بازار فروش انرژی شناسایی، ارزیابی، مدیریت و کنترل شود. ازجمله ریسک‌های عملیاتی می‌توان به هر رخداد احتمالی که در صورت تحقق بتواند تولید پایدار انرژی را مطابق آنچه انتظار می‌رود با اختلال همراه کند اشاره کرد. واحدهای تولیدی انرژی همچنین با ریسک بازار انرژی نیز مواجه هستند. این ریسک زمانی رخ می‌دهد که واحد تولیدکننده طبق برنامه‌ریزی میزان مشخصی از انرژی را تولید کرده است اما به دلایلی تقاضایی برای انرژی تولیدشده وجود ندارد. درصورتی‌که انرژی تولیدشده به صورت‌های قابل ذخیره (مانند بنزین) باشد، مدیریت ریسک بازار راحت‌تر است اما در غیر این صورت (مانند برق) چاره‌ای جز عبور از مقاومت در کوتاه‌مدت و خاموش کردن واحد در میان‌مدت وجود ندارد. هر دوی این

[1] Guo
[2] Ding
[3] Allcott
[4] Eydeland

رخدادها نه‌تنها با تحمیل هزینه‌هایی همراه است، عمر تجهیزات تولید را کاهش داده و در کل وضعیت مطلوبی برای واحد تولیدکننده نیست و باید تا حد ممکن از آن اجتناب کرد.

بورگر[1] و همکاران [۱۹] به نقش‌آفرینی واحدهای تولیدکننده انرژی در یک شبکه‌ی محلی پرداختند. وجود مسیرهای موازی و انعطاف‌پذیری تولید برق با چندین حامل انرژی باعث کاهش ریسک‌های تأمین این واحدها می شود. بر اساس نتایج این پژوهش، تنوع‌بخشی به کانال‌های تأمین انرژی اولیه بهترین روش برای کاهش ریسک این واحدها است.

هرکوس[2] و همکاران [۲۰] به بررسی رویکردهای بهینه‌سازی و ملاحظات اقلیمی در طراحی ساختمان‌های با انرژی تقریباً صفر (NZEB) پرداختند. این پژوهش روش‌های بهینه‌سازی مختلف ازجمله تکنیک‌های قطعی، فرا ابتکاری و ترکیبی را که برای افزایش بهره‌وری انرژی و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی استفاده می‌شوند، برجسته می‌کند. آنها به بررسی این سؤال که چگونه شرایط آب‌وهوایی مختلف بر طراحی NZEB تأثیر می‌گذارد و بر نیاز به استراتژی‌های خاص مکان تأکید دارد پرداختند. یافته‌ها نشان داد که ادغام تکنیک‌های بهینه‌سازی پیشرفته با طرح‌های سازگار با آب‌وهوا می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد ساختمان را بهبود بخشیده و NZEB را در مناطق مختلف جغرافیایی سازگارتر و پایدارتر کند.

همچنین اسکندالوس[3] و همکاران [۲۱] یک رویکرد بهینه‌سازی برای ادغام سیستم‌های فتوولتائیک (PV) در ساختمان‌ها برای دستیابی به مصرف کم انرژی در مناطق مختلف آب‌وهوایی ارائه نمودند. این مطالعه با تجزیه‌وتحلیل پارامترهای مختلف طراحی ازجمله مکان‌یابی PV، جهت‌گیری و کارایی سیستم، پیکربندی‌های بهینه‌ای را شناسایی کردند که تولید انرژی را به حداکثر رسانده و درعین‌حال اتکا به منابع انرژی خارجی را به حداقل می‌رساند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که شرایط آب‌وهوایی با استراتژی‌های یکپارچه‌سازی متناسب که کارایی انرژی را افزایش داده و تقاضای کلی انرژی ساختمان را کاهش می‌دهد، به‌طور قابل‌توجهی عملکرد PV را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در کنار تحقیقات علمی، برخی اسناد شناخته‌شده بین‌المللی در قالب چارچوب عملیاتی و استانداردها در حوزه مدیریت ریسک مورداستفاده قرار می‌گیرند. استاندارد ایزو ۳۱۰۰۰ شناخته‌شده‌ترین استانداردی است که در سطح جهانی مورداستفاده سازمان‌ها و بنگاه‌های اقتصادی قرار می‌گیرد [۲۲-۲۳].

در این سند می‌توان به تعریفی مشترک از مبانی، چارچوب‌های اجرایی و فرآیندهای سازمانی در خصوص مدیریت ریسک رسید. پیشنهادهای ارائه‌شده در این استاندارد کمترین پیش‌نیازهایی هستند که هر سازمان برای مدیریت ریسک می‌بایست به آنها توجه کند. به‌منظور ایجاد فهم عمیق‌تر موضوع برخی دیگر از اسناد این حوزه در دسترس پژوهشگران و مدیران سازمان‌ها قرار دارند. از این نوع می‌توان به چارچوب مدیریت ریسک کمیته کوزو اشاره کرد [۲۴-۲۵]. کمیته کوزو به‌طور خاص اقدام به انتشار اسناد پشتیبان در سطوح استراتژیک، فرآیندی و نظارتی کرده و هر یک از انواع ریسک را به‌طور تخصصی مورد واکاوی قرار می‌دهد. ازاین‌رو نسبت به استاندارد ایزو ۳۱۰۰۰ از محتوای غنی‌تری برخوردار است.

مطالعات پیشین غالباً با تمرکز بر یک صنعت خاص (به‌طور مثال صنعت فولاد) و یا با هدف توسعه در راستای مشخص (به‌طور مثال با هدف

[1] Burger
[2] Harkouss
[3] Skandalos

تحقق گذار انرژی) صورت گرفته‌اند.

پژوهش حاضر با ارائه یک چارچوب یکپارچه و داده‌محور برای ارزیابی و مدیریت امنیت انرژی سازمان‌ها، رویکردی نوین در تحلیل ریسک‌های انرژی معرفی کرده است. برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر تحلیل کیفی امنیت انرژی متمرکز بوده‌اند، این پژوهش از مدل‌سازی عددی، تحلیل عدم قطعیت و شاخص ریسک امنیت انرژی برای ارزیابی کمّی سطح آسیب‌پذیری سازمان استفاده کرده است [۲۶-۲۷].

علاوه بر این، مدل پیشنهادی امکان تحلیل هم‌زمانی رخدادهای ریسکی، بررسی اثرات متقابل حامل‌های انرژی و سنجش ظرفیت بازیابی سازمان پس از وقوع بحران‌های انرژی را فراهم می‌کند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که این پژوهش نه‌تنها یک ابزار کاربردی برای تصمیم‌گیری در سطوح مدیریتی و سیاست‌گذاری انرژی ارائه دهد، بلکه پایه‌ای برای بهینه‌سازی تخصیص منابع و توسعه استراتژی‌های افزایش تاب‌آوری انرژی در سازمان‌ها باشد [۲۸-۲۹].

این چارچوب پیشنهادی، با انعطاف‌پذیری بالا، قابلیت پیاده‌سازی در طیف وسیعی از سازمان‌ها و صنایع را داراست و می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای تصمیم‌گیری در حوزه امنیت انرژی مورداستفاده قرار گیرد. لازم به ذکر است که این مدل این امکان را دارد که با اعمال تغییرات اندک در صنایع زیرمجموعه سازمان مورداستفاده قرار گیرد [۳۰-۳۱].

بنابراین در انجام مراحل مختلف نه‌تنها بایستی بر اختصاصی بودن داده‌های هر صنعت تأکید شود، بلکه بایستی نسبت به حفظ جامعیت مدل نیز اطمینان حاصل شود. به‌منظور حصول اطمینان از پیاده‌سازی راهکارهای پیشنهادی در طیف بزرگی از شرکت‌های زیرمجموعه‌ی سازمان، نیاز است چارچوب پیشنهادی از پیوستگی تضمین‌شده‌ای برخوردار باشد. ازاین‌رو منابع مستقیمی در اجرایی کردن مدیریت امنیت انرژی استفاده شده‌اند. از این منابع می‌توان به ISO 31000, ISO 50000, ISO 22300 و اسناد پیوست شامل ملزومات و راهنمای اجرایی اشاره کرد [۳۲-۳۳].

۲- روش‌شناسی

به‌منظور ایجاد ساختاری نظام‌مند برای تعیین اهداف مدیریت امنیت انرژی، منابع متعددی مانند استانداردهای مدیریت، کتب متعددی در حوزه‌های مدیریت امنیت انرژی، ریسک و بهره‌وری انرژی، گزارش‌های مربوط به امنیت انرژی در ارگان‌های نظامی خارجی، مقالات مدیریت ریسک و امنیت منتشرشده توسط شرکت‌های بین‌المللی مدیریت سازمان‌ها موردمطالعه و بررسی قرار گرفت. ازآنجایی‌که پیش‌ازاین استاندارد یا روشی ساختارمند برای تعیین اهداف مدیریت امنیت انرژی وجود نداشته، این مفهوم در این پژوهش توسعه داده شد.

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی و مدیریت امنیت انرژی سازمان‌ها، یک چارچوب تحلیلی مبتنی بر مدل‌سازی عددی و تحلیل ریسک ارائه شد. این چارچوب شامل چندین گام سیستماتیک برای شناسایی، دسته‌بندی، ارزیابی و مدیریت ریسک‌های امنیت انرژی است که از ترکیب روش‌های کمی و کیفی بهره می‌برد. به‌طور مشخص، فرآیند مدل‌سازی شامل مراحل شناسایی و دسته‌بندی ریسک‌ها، تحلیل آماری عدم قطعی، مدل‌سازی هم‌زمانی رخدادها و ارزیابی شاخص ریسک امنیت انرژی بود.

داده‌های مورداستفاده در این پژوهش از منابع متنوعی مانند گزارش‌های عملکردی سازمان‌های صنعتی، مطالعات پیشین و داده‌های تاریخی مربوط به اختلالات انرژی و اطلاعات میدانی به‌دست‌آمده از مصاحبه با کارشناسان حوزه انرژی استخراج شدند. لازم به ذکر است که انتخاب

داده‌ها بر اساس معیارهایی مانند دقت، قابلیت اطمینان و ارتباط مستقیم با امنیت انرژی سازمانی انجام شد. براین‌اساس، روش‌شناسی به‌کاررفته در این مطالعه شامل مراحل زیر است:

۲-۱- تعیین اهداف مدیریت امنیت انرژی

تعیین اهداف مدیریت انرژی، به‌ویژه در حوزه امنیت انرژی، دارای چندین جنبه کلیدی است.

نخست، اهداف می‌توانند در دو سطح کلان و دوره‌ای تعریف شوند؛ اهداف کلان به‌صورت سالانه برای کل سازمان تعیین و گزارش‌دهی می‌شوند، درحالی‌که اهداف دوره‌ای در بازه‌های زمانی مشخص (مثلاً سه‌ماهه) توسط واحدهای مربوطه برای پروژه‌های بهبود یا پیاده‌سازی تدوین می‌شوند.

دوم، تعیین اهداف امنیت انرژی وابسته به ویژگی‌های خاص هر سازمان است؛ عواملی مانند میزان وابستگی به انرژی، ساختار سازمانی، قابلیت‌های منابع انسانی، اولویت‌های هیئت‌مدیره و چشم‌انداز سازمان در شکل‌دهی اهداف نقش اساسی دارند، بنابراین هر سازمان مجموعه‌ای منحصربه‌فرد از اهداف خواهد داشت.

سوم، فرآیند تعیین اهداف باید تکرارپذیر باشد به‌گونه‌ای که اجرای مجدد آن نتایج مشابهی به همراه داشته باشد. همچنین، وجود مکانیسم‌های بازخورد و امکان بهبود مستمر ضروری است تا اطمینان حاصل شود که اهداف همواره در مسیر پیشرفت و ارتقاء قرار دارند. این چارچوب موجب تضمین پایداری و اثربخشی مدیریت انرژی در سازمان‌ها می‌شود.

۲-۲- تبیین گام‌های اجرایی در راستای تحقق امنیت انرژی

تبیین گام‌های اجرایی در مدیریت امنیت انرژی به دلیل پیچیدگی‌های ذاتی آن از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این گام‌ها باید قابلیت تکرارپذیری در طیف گسترده‌ای از سازمان‌ها را تضمین نمایند. علاوه بر این، با توجه به انتظارات ذینفعان سازمانی مبنی بر دستیابی به نتایج مطلوب از طریق اجرای مرحله‌به‌مرحله دستورالعمل‌ها، ضروری است که جامعیت و اعتبار این گام‌ها توسط منابع متعدد و معتبر مورد تأیید قرار گیرد.

در این راستا، به‌منظور ایجاد چارچوبی نظام‌مند برای اجرای مدیریت امنیت انرژی، مطالعات گسترده‌ای بر روی استانداردهای مدیریت، متون تخصصی حوزه‌های مدیریت امنیت انرژی، ریسک و بهره‌وری انرژی، گزارش‌های امنیت انرژی در سازمان‌های نظامی خارجی و مقالات بین‌المللی مدیریت ریسک و امنیت انجام شد. با توجه به فقدان استاندارد یا روش ساختارمند پیشین در این زمینه، پژوهش حاضر به توسعه این مفهوم و ارائه چارچوبی منسجم برای پیاده‌سازی مدیریت امنیت انرژی پرداخته است.

۲-۳- مدل‌سازی ارتباط مدیریت ریسک و مدیریت امنیت انرژی

شناسایی ریسک‌ها با همکاری بین تیم‌های مدیریت ریسک و مدیریت امنیت انرژی انجام شد. در صورت استخراج ریسک‌های مربوط به امنیت توسط تیم مدیریت ریسک، می‌توان از فهرست ریسک‌های موجود استفاده نمود. لازم است این ریسک‌ها به تفکیک هر حوزه و هر حامل انرژی استخراج و در دو سطح اصلی بر اساس حوزه عملیاتی (تولید، توزیع، مصرف) و حامل‌های انرژی (برق، گاز، سوخت‌های مایع و...) دسته‌بندی‌شده باشد. سپس، احتمال وقوع و شدت تأثیر هر ریسک تعیین می‌شود که این اطلاعات به‌عنوان ورودی به مدل امنیت انرژی داده می‌شوند. احتمال وقوع یک عدد بین صفر و یک است. این مقدار بهترین عددی است که

می‌توان از مدیریت ریسک به‌عنوان ورودی دریافت کرد. فرآیندهایی که دقت اندازه‌گیری این ریسک را بهبود می‌بخشند، می‌توانند به‌عنوان پروژه‌ای مشترک بین دو تیم تعریف و پیگیری شوند. براین‌اساس، در نظر گرفتن موارد زیر ضروری است:

- منظور از حوزه j، حوزه تولید، توزیع و مصرف است و منظور از حامل انرژی k هر حامل انرژی است که امنیت آن برای سازمان مهم است مانند برق.
- شدت وقوع ریسک می‌تواند واحدهای مختلفی داشته باشد. به‌عنوان‌مثال مقدار هزینه مالی متحمل شده بر واحد روز به سازمان در صورت وقوع ریسک گزینه‌ی پیشنهادی است.

ماتریس ریسک[1] از ضرب نظیر به نظیر $P^{i}_{j,k}$ و $S^{i}_{,k}$ حاصل می‌شود

- ابعاد ماتریس ریسک $R_{[1,i]}$

- ماتریس ریسک

$$R_{j,k} = \left[P^{1}_{j,k} \times S^{1}_{j,k} \quad P^{2}_{j,k} \times S^{2}_{j,k} \quad \cdots\right]$$

ماتریس هم‌زمانی رخدادها[2] وظیفه مدل‌سازی ریسک در حالت رخداد هم‌زمان ریسک‌ها را بر عهده دارد. ابعاد این ماتریس به تعداد ریسک شناسایی‌شده در هر حوزه و برای هر حامل انرژی دارد. درصورتی‌که تعداد n یسک در حوزه‌ی j برای حامل انرژی k شناسایی‌شده باشد، ابعاد ماتریس هم‌زمانی به‌صورت زیر می‌شود

- ابعاد ماتریس هم‌زمانی $C_{[n,\sum_{=1}^{n}\binom{n}{r}]}$

ماتریس بلوغ بازیابی[3] مشخص می‌کند که در صورت وقوع هر یک از سناریوها، چه مدت‌زمان طول می‌کشد تا سیستم به حالت قبل یا یک حالت میانه موردقبول سازمان بازگردد. ازآنجایی‌که بلوغ مدیریت امنیت انرژی رابطه معکوسی با زمان بازیابی دارد، نام این ماتریس بلوغ بازیابی است. ابعاد این ماتریس نیز مانند ماتریس هم‌زمانی به تعداد ریسک شناسایی‌شده بستگی دارد

ابعاد ماتریس بلوغ بازیابی $M_{[\sum_{r=1}^{n}\binom{n}{r},1]}$

شاخص ریسک امنیت انرژی به‌صورت زیر تعریف می‌شود

$$SAR_{j,k} = R_{j,k} \times C_{j,k} \times M_{j,k}$$

این شاخص تعیین می‌کند که در هر حوزه، هر حامل انرژی چه میزان امنیت درخطر دارد. هر چه این شاخص بزرگ‌تر باشد، وضعیت امنیت حامل مورد نظر در آن حوزه بدتر است. این شاخص را می‌توان به‌صورت تجمیعی نیز بیان کرد. برای بیان تجمیعی این شاخص ملاحظاتی وجود دارد که باید در نظر گرفته شود.

فرض بر این است که شاخص ریسک امنیت انرژی بین حوزه‌ها به‌صورت سری عمل می‌کند چراکه جریان انرژی به‌صورت سری از حوزه تولید واردشده، سپس به حوزه توزیع رفته و درنهایت به حوزه مصرف می‌رسد. به همین دلیل، ماهیت جابجایی بین حوزه‌ها مانند المان‌های سری در مدارهای الکتریکی است؛ بنابراین از ضرب برای تجمیع حوزه‌ها استفاده می‌شود

$$SAR_k = \prod_{j=1}^{J} SAR_{j,k}$$

درحالی‌که شاخص ریسک امنیت انرژی بین حامل‌های انرژی به‌صورت موازی فرض می‌شود. دلیل این امر این است که با احتمال قابل قبولی، حامل‌های انرژی با یکدیگر قابل جایگزین هستند. به همین دلیل، ماهیت جابجایی بین حوزه‌ها

[1] Risk Matrix
[2] Simultaneity Matrix
[3] Recovery Maturity Matrix

مانند المان‌های موازی در مدارهای الکتریکی است و ازاین‌رو برای تجمیع حوزه‌ها از جمع استفاده می‌شود

$$SAR_j = \sum_{k=1}^{K} SAR_{j,k}$$

با استفاده از این روش می‌توان شاخص ریسک امنیت انرژی را برای یک حوزه مشخص مثلاً توزیع محاسبه کرد. درصورتی‌که فرض المان‌های موازی و سری پذیرفته نشود، نیاز به تحقیقات گسترده و استخراج رابطه بین هر المان در سیستم انرژی سازمان موردمطالعه است. این فعالیت می‌تواند توسط تیم‌های قابلیت اطمینان مهندسی نیز انجام پذیرد. با در اختیار داشتن شاخص ریسک امنیت انرژی برای هر یک از حوزه‌ها و یا حامل‌ها، امکان تعیین اهداف برای این شاخص‌ها وجود دارد که قابل‌اندازه‌گیری و رصد نیز هستند. این مهم بدون مدل‌سازی ریاضی ارتباط بین ریسک و امنیت انرژی حاصل نمی‌شد.

۳- یافته‌ها

در این بخش نتایج مدل‌سازی عددی امنیت انرژی و ارتباط آن با مدیریت ریسک ارائه‌شده است. بدین منظور یک پروژه به‌عنوان نمونه کد زنی شده است. به‌منظور ایجاد یک مطالعه موردی، ریسک‌های شناسایی‌شده از یک سازمان صنعتی استخراج‌شده‌اند. در عمل فهرست ریسک‌ها لازم است متناسب با شرایط هر سازمان تغییر کند. قابلیت انعطاف مدل‌سازی بر اساس تمامی انواع ریسک‌ها و انواع سازمان‌ها یکی دیگر از قابلیت‌های آن است؛ بنابراین در ادامه پنج گام مدل‌سازی با در نظر گرفتن نمونه‌ی صنعتی بررسی و تحلیل شد.

۳-۱- تکمیل فهرست ممیزی امنیت انرژی

تکمیل فهرست ممیزی امنیت انرژی توسط تیم مدیریت امنیت انرژی به‌عنوان نخستین گام در فرآیند تحلیل و مدیریت امنیت انرژی سازمان‌ها، نقش کلیدی در شناسایی نقاط ضعف و قوت، ارزیابی ریسک‌ها و تدوین استراتژی‌های بهینه برای افزایش تاب‌آوری سیستم‌های انرژی دارد.

این مرحله شامل جمع‌آوری داده‌های دقیق از طریق طرح پرسش‌هایی جداگانه (برای هر حامل انرژی) در رابطه با زیرساخت‌های انرژی صنعت، سیاست‌های مدیریت انرژی و میزان وابستگی به حامل‌های انرژی مختلف است. اطلاعات به‌دست‌آمده از این ممیزی، پایه و اساس تحلیل‌های بعدی در مدل پیشنهادی امنیت انرژی را تشکیل داده و به سازمان امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر داده برای بهینه‌سازی امنیت انرژی را می‌دهد.

جدول ۱ راهنمای تکمیل و امتیازدهی در مورد بلوغ سازمانی، امکانات و سیستم‌های موجود در سازمان را نشان می‌دهد. این راهنما کمک می‌کند تا چارچوب امتیازدهی مشخص بوده و از واحد به واحد دیگر تغییر نکند. تکمیل فهرست ممیزی امنیت انرژی با اهداف زیر انجام شد:

۱- ارزیابی وضعیت موجود زیرساخت‌های انرژی سازمان، شامل سیستم‌های تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی.

۲- شناسایی چالش‌ها و تهدیدهای بالقوه در زنجیره تأمین انرژی سازمان.

۳- تحلیل وابستگی سازمان به حامل‌های انرژی خاص و ارزیابی میزان تاب‌آوری در برابر بحران‌های انرژی.

۴- شناسایی فرصت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش ریسک‌های مرتبط.

۵- تدوین استراتژی‌های اصلاحی برای افزایش امنیت انرژی و کاهش وابستگی به منابع انرژی آسیب‌پذیر.

جدول (۱): راهنمای تکمیل و امتیازدهی ممیزی امنیت انرژی

درجه بلوغ																					
شواهد ضعیف				شواهد اندک				شواهد خوب و روشن				شواهد مناسب				شواهد کامل				شواهد بسیار کامل و عالی
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
راهنمای تعیین درجه بلوغ																					
راهنمای تعیین درجه بلوغ شواهد ضعیف: وجود ندارد یا انجام‌نشده است شواهد اندک: در مرحله تدوین دستورالعمل و راهنما شواهد مناسب: در حال اقدام شواهد خوب و روشن: اتمام کار/ وجود عدم انطباق جزئی شواهد کامل: انجام کامل / بدون نقص شواهد بسیار کامل و عالی: انجام کامل / تحت کنترل و چرخه بهبود																					

جدول (۱): نمونه تکمیل‌شده از فهرست ممیزی انرژی به همراه وزن‌های هر پرسش

نوع حامل انرژی	سؤال	وزن (۱ تا ۱۰)	امتیاز (۰ تا ۱۰۰)	شرح عدم انطباق	برنامه‌های پیشنهادی
برق	امکان مصرف حامل انرژی دیگر به‌جای برق (انرژی جایگزین)	۷	۴۰		
	امکان کاهش دیماند تا ۱۰۰ درصد	۷	۳۰		
	امکان اندازه‌گیری میزان برق مصرفی به‌طور کامل در صنعت فراهم است	۵	۲۵		
	وجود برنامه مشخص از پروژه‌های بهینه‌سازی و کاهش مصرف	۳	۵۰		
گاز طبیعی	امکان‌سنجی و کاهش میزان مصرف گاز	۳	۵۰		
	ایجاد راهکارهای جایگزینی برای سوخت گاز	۵	۵۵		
	امکان اندازه‌گیری میزان گاز مصرفی به‌طور کامل در صنعت فراهم است	۷	۳۰		
	وجود برنامه مشخص از پروژه‌های بهینه‌سازی و کاهش مصرف	۵	۴۰		
آب	اجرای راه‌کارهای کاهش میزان مصرف آب	۴	۴۵		
	برنامه‌ریزی آبیاری‌ها در زمان‌های غیر پیک	۳	۵۵		
	امکان اندازه‌گیری میزان آب مصرفی به‌طور کامل در صنعت فراهم است	۴	۲۵		
	وجود برنامه مشخص از پروژه‌های بهینه‌سازی و کاهش مصرف	۳	۲۵		
گازوئیل	راهکارهای کاهش میزان مصرف گازوئیل در مصرف‌کنندگان انجام‌شده است	۵	۲۰		
	راهکارهای جایگزینی سوخت گازوئیل با سایر منابع در زمان بحران وجود دارد؟	۶	۳۰		
	امکان اندازه‌گیری میزان گازوئیل مصرفی به‌طور کامل در صنعت فراهم است	۷	۴۰		
	وجود برنامه مشخص از پروژه‌های بهینه‌سازی و کاهش مصرف	۳	۵۰		
مجموع امتیاز مصرف انرژی		**۷۷**	**۳۷/۶**		

اطلاعات جمع‌آوری‌شده بر اساس سیستم امتیازدهی کمی تحلیل و پردازش شد تا وضعیت امنیت انرژی سازمان مشخص شود. به همین منظور، برای هر یک از سؤالات یک وزن در نظر گرفته شد. جدول ۲ نمونه‌ای از فهرست تکمیل‌شده را نشان می‌دهد که مربوط به ممیزی امنیت انرژی در حوزه مصرف انرژی است. امتیاز هم‌وزن برای این حوزه ۳۷/۶ از ۱۰۰ است که مقدار کمی به‌حساب می‌آید. این امتیاز می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای امنیت انرژی در سازمان به کار رود.

۳-۲- وارد کردن ریسک به مدل

پس از تکمیل فهرست ممیزی امنیت انرژی در گام اول و شناسایی نقاط ضعف و قوت سیستم‌های انرژی سازمان، در این مرحله ریسک های مرتبط با امنیت انرژی شناسایی، ارزیابی و به مدل پیشنهادی وارد می شوند. هدف اصلی این مرحله، دسته‌بندی و تحلیل ریسک‌های امنیت انرژی در حوزه های مختلف تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی است تا سازمان بتواند راهکارهای مؤثری برای مدیریت و کاهش این ریسک‌ها تدوین کند.

ریسک‌های امنیت انرژی در این مطالعه موردی از طریق بررسی گزارش های عملیاتی، تحلیل داده های تاریخی و مصاحبه با متخصصان انرژی شناسایی و در دو سطح اصلی حوزه های عملیاتی انرژی که شامل تولید، توزیع و مصرف می‌شود و حامل‌های انرژی (برق، گاز، آب، سوخت‌های مایع و غیره) طبقه‌بندی شدند. لازم به ذکر است که حامل‌های انرژی از یک سازمان به سازمان دیگر متفاوت است. در جدول (۲ نمونه‌ای از فهرست حوزه‌ها و حامل‌ها ارائه‌شده است.

بعدازاین مرحله، لازم است ارزیابی هر یک از ریسک‌های شناسایی‌شده انجام پذیرد. بدین معنی که احتمال وقوع و شدت اثرگذاری در صورت وقوع برآورد شود. در این مرحله می‌توان از داده‌ها و دانش انباشته‌شده در تیم مدیریت ریسک استفاده نمود تا تخمین مطابق با واقعیت استخراج شود. به‌منظور سادگی استفاده از کد پروژه، به‌جای گزارش درصدی احتمال وقوع و همچنین گزارش مالی شدت اثر، از پنج دسته خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد استفاده شد.

جدول (۲): فهرست حوزه‌ها و حامل‌های انرژی موردنظر سازمان

(در مطالعه موردی حاضر، برق، دیزل، گاز و آب موردتوجه مدیران برای حفظ و ارتقا مدیریت امنیت انرژی موردتوجه قرارگرفته‌اند).

لیست حوزه	لیست حامل
تولید	برق
توزیع	دیزل
مصرف	گاز
	آب

یک فهرست نظیر به نظیر هر یک از این دسته‌ها و اعداد متناظر با آن به سیستم داده شد. مدیران امنیت انرژی می‌توانند بر اساس ویژگی‌های سازمانی خود این فهرست نظیر به نظیر را تغییر دهند تا ویژگی‌های مختص به سازمان خود را منعکس کنند. یک نمونه از فهرست نظیر به نظیر هر یک از دسته‌ها برای احتمال و شدت وقوع در جدول ۴ نشان داده‌شده است. این فهرست نشان می‌دهد درصورتی‌که کاربر احتمال وقوع یک ریسک را کم انتخاب کند، از نظر سیستم مقدار ٪۳۰ در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که گفته شد این اعداد می‌توانند بر اساس نیاز سازمان تغییر کنند. واحد شدت نیز می‌تواند هر واحدی مانند میلیون تومان در روز باشد.

با وارد کردن این اطلاعات به سیستم، مقدار احتمال در شدت ریسک محاسبه شد. با اینکه این مقدار نشان از مقدار اهمیت ریسک

جدول (۳): فهرست نظیر به نظیر دسته‌های کیفی به مقادیر کمی مورداستفاده در مدل‌سازی

لیست احتمال وقوع	احتمال	لیست شدت	شدت
خیلی کم	٪۱۰	خیلی کم	۵۰
کم	٪۳۰	کم	۱۰۰
متوسط	٪۵۰	متوسط	۱۵۰
زیاد	٪۷۰	زیاد	۲۰۰
خیلی زیاد	٪۹۰	خیلی زیاد	۲۵۰

شناسایی‌شده دارد، اما هنوز اطلاعاتی از امنیت انرژی در خود نداشته و شاخص مناسبی نیست. شکل ۵ نمایی کلی از آن چیزی که مورداستفاده مدل بود، نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان دریافت که ۱۶ ریسک شناسایی شد که هر یک به تفکیک حوزه و حامل انرژی در لیست نهایی قرار گرفتند.

احتمال وقوع و شدت وقوع ریسک نیز به‌صورت کیفی تبیین شد که با استفاده از فهرست نظیر به نظیر مطابق با جدول ۵ به مقادیر کمی تبدیل‌شده و در ستون احتمال در شدت قرار گرفت. پس از ورود داده‌های ریسک به فایل اکسل مربوطه، مدل امنیت انرژی در مرحله بعد داده‌ها را برای انجام تحلیل‌های بعدی پردازش نمود. براین‌اساس، ورود داده‌های دقیق و جامع به مدل امنیت انرژی، تأثیر مستقیمی بر نتایج نهایی تحلیل دارد. لازم به ذکر است که فایل اکسل مربوط به داده‌ها در هر زمانی قابل‌تغییر بوده و کاربر می‌تواند به‌صورت طولی و عرضی آن را تغییر داده و نتایج تغییرات خود را روی متغیرهای پایانی مشاهده کند.

۳-۳- پردازش ریسک‌ها، محاسبات و ایجاد ماتریس هم‌زمانی

در این مرحله از مطالعه موردی، داده‌های مرتبط با ریسک‌های امنیت انرژی که در گام پیشین شناسایی و وارد مدل شده بودند، در محیط نرم‌افزار پایتون پردازش‌شده و روابط متقابل میان آنها مورد تحلیل قرار می‌گیرد. هدف اصلی این مرحله، بررسی تأثیر هم‌زمانی رخدادهای ریسکی بر یکدیگر و ارزیابی میزان وابستگی میان آنها از طریق ایجاد ماتریس هم‌زمانی رخدادها است.

این ماتریس نقش مهمی در شناخت ساختار وابستگی میان ریسک‌ها ایفا کرده و به سازمان کمک می‌کند تا برای سناریوهای مختلف مدیریت بحران، تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر و مبتنی بر داده‌های دقیق داشته باشد. پس از خواندن داده‌های ریسک، روابط متقابل میان رخدادهای مختلف تحلیل‌شده و وابستگی‌های مستقیم و غیرمستقیم میان آنها استخراج شد.

برای درک بهتر تأثیر متقابل ریسک‌ها، شاخص هم‌زمانی رخدادها محاسبه شد. تحلیل هم‌زمانی رخدادها به این دلیل اهمیت دارد که برخی از ریسک‌های امنیت انرژی به‌طور مستقل عمل نمی‌کنند و ممکن است وقوع یک ریسک، احتمال وقوع یک یا چند ریسک دیگر را افزایش دهد.

در مطالعه موردی، سه حوزه و چهار حامل انرژی شناسایی شدند که براین‌اساس ۱۲ ماتریس هم‌زمانی به دست آمد. تحلیل‌های حاصل از این ماتریس، نقش کلیدی در تدوین استراتژی‌های پیشگیرانه و واکنشی برای مدیریت بحران‌های امنیت انرژی ایفا می‌کند. پس از انجام محاسبات، بایستی اطلاعات مربوط به بلوغ بازیابی برای هر ماتریس وارد شود. بدین منظور در انتهای کد پایتون، یک فایل اکسل ایجاد شد که در آن هر یک از ماتریس‌های هم‌زمانی رخداد (در اینجا ۱۲ ماتریس) قرار داشتند.

۳-۴- وارد کردن مقادیر بلوغ بازیابی

ظرفیت بازیابی سازمان از بحران‌های انرژی یکی از عوامل کلیدی در مدیریت امنیت انرژی و کاهش آسیب پذیری سازمان در برابر اختلالات احتمالی است. در این مرحله، مقادیر بلوغ بازیابی

جدول (۴): فهرست نهایی موردنظر در گام اول مدل‌سازی

ردیف	حوزه	حامل انرژی	شرح ریسک	احتمال وقوع (درصد)	شدت (میلیون تومان در روز)	احتمال در شدت
۱	تولید	برق	از کار افتادن ژنراتور دیزلی	کم	خیلی کم	۱۵
۲	توزیع	گاز	ترکیدن لوله گاز	متوسط	کم	۵۰
۳	توزیع	آب	ترکیدن لوله آب	کم	متوسط	۴۵
۴	توزیع	برق	آتش گرفتن خطوط انتقال در اثر گرما	خیلی کم	خیلی زیاد	۲۵
۵	مصرف	دیزل	افزایش دیماند به دلیل قطعی برق	زیاد	زیاد	۱۴۰
۶	تولید	برق	قطعی برق	زیاد	زیاد	۱۴۰
۷	تولید	آب	قطع آب لوله‌کشی	متوسط	کم	۵۰
۸	تولید	دیزل	عدم تأمین دیزل موردنیاز	کم	متوسط	۴۵
۹	تولید	گاز	قطعی گاز در زمستان	خیلی زیاد	زیاد	۱۸۰
۱۰	تولید	گاز	کم‌فشار بودن گاز	خیلی زیاد	متوسط	۱۳۵
۱۱	تولید	آب	پایین بودن کیفیت آب ورودی	متوسط	زیاد	۱۰۰
۱۲	تولید	آب	ترکیدگی لوله ورودی آب	خیلی کم	کم	۱۰
۱۳	توزیع	دیزل	نشت دیزل به هنگام جابجایی	خیلی کم	خیلی کم	۵
۱۴	مصرف	برق	دزدی برق	کم	متوسط	۴۵
۱۵	مصرف	آب	نشتی آب از لوله‌های توکار	کم	متوسط	۴۵
۱۶	مصرف	گاز	راندمان پایین مشعل	متوسط	متوسط	۷۵

که نشان دهنده توانایی سازمان در بازگشت به شرایط پایدار پس از وقوع یک بحران انرژی است، شناسایی، دسته بندی و به مدل وارد می شود. این داده ها نقش مهمی در تحلیل شاخص ریسک امنیت انرژی و تدوین راهکارهای بهینه برای کاهش اثرات ریسک های امنیت انرژی دارند. در این مرحله، بر اساس فایل اکسل ایجادشده در گام پیشین، مقادیر بلوغ بازیابی برای هر سناریو و برای تمامی ماتریس‌ها هم‌زمانی رخدادها وارد فایل اکسل شد. نمای کلی ماتریس‌های حوزه تولید در شکل ۱ نشان داده‌شده است. در زیر هر ماتریس یک ردیف سبزرنگ وجود دارد که با عنوان recovery مشخص است.

پس‌ازاین عبارت، تمامی سناریوهای رخداد ریسک‌ها و هم‌زمانی آنها قابل‌مشاهده است. به‌طور مثال ستون ۰-۰ نشان می‌دهد که هیچ‌یک از ریسک‌ها محقق نشد و ستون ۱-۰ نشان می‌دهد که ریسک اول محقق شده اما ریسک دوم محقق نشده است. در انتها بایستی عددی در ردیف سبزرنگ و زیر هر یک از سناریوها وارد شود. این عدد نشان می‌دهد که در صورت وقوع آن سناریوی خاص، چه مدت‌زمانی طول می‌کشد تا سازمان خود را بازیابی کرده و به حالت قبل یا هر حالت موردقبول برسد.

لازم به ذکر است که واحد زمانی بازیابی می‌تواند هر واحد موردتوافق تیم امنیت انرژی باشد که در مطالعه موردی به‌صورت روز در نظر گرفته شد. شکل ۲ جدول تکمیل‌شده موردقبول برای حوزه تولید و حامل برق را نشان می‌دهد.

۳-۵- پردازش مقادیر بازیابی، محاسبات ریسک امنیت انرژی و ارائه نتایج

در این مرحله از مطالعه موردی (گام پنجم)، داده‌های مرتبط با بلوغ بازیابی که در گام پیشین توسط کارشناسان تکمیل‌شده بود، به‌عنوان ورودی مدل دریافت شده و همراه با سایر

area	carrier	risk_description	probability	severity	score	0	1	2	3				
تولید	برق	از کار افتادن ژنراتور دیزلی	0.3	50	15	0	1	0	1				
تولید	برق	قطعی برق	0.7	200	140	0	0	1	1				
					recovery								
area	carrier	risk_description	probability	severity	score	0	1						
تولید	دیزل	عدم تامین دیزل مورد نیاز	0.3	150	45	0	1						
					recovery								
area	carrier	risk_description	probability	severity	score	0	1	2	3				
تولید	گاز	قطعی گاز در زمستان	0.9	200	180	0	1	0	1				
تولید	گاز	کم فشار بودن گاز	0.9	150	135	0	0	1	1				
					recovery								
area	carrier	risk_description	probability	severity	score	0	1	2	3	4	5	6	7
تولید	آب	قطع آب لوله کشی	0.5	100	50	0	1	0	1	0	1	0	1
تولید	آب	پایین بودن کیفیت اب ورودی	0.5	200	100	0	0	1	1	0	0	1	1
تولید	آب	ترکیدگی لوله ورودی اب	0.1	100	10	0	0	0	0	1	1	1	1
					recovery								

شکل (۱): نمای کلی از ماتریس‌های هم‌زمانی رخدادها و ردیف سبز برای وارد کردن مقادیر بلوغ بازیابی

area	carrier	risk_description	probability	severity	score	0	1	2	3
تولید	برق	از کار افتادن ژنراتور دیزلی	0.3	50	15	0	1	0	1
تولید	برق	قطعی برق	0.7	200	140	0	0	1	1
					recovery	0	2	3	4

شکل (۲): نمونه تکمیل‌شده ماتریس هم‌زمانی رخدادها برای حوزه تولید و حامل برق

داده‌های ریسک انرژی پردازش شد. در این فرآیند، محاسبات مرتبط با شاخص ریسک امنیت انرژی برای هر حوزه انرژی و هر حامل انرژی انجام‌شده و درنهایت نتایج تحلیلی به‌صورت ریسک امنیت انرژی به تفکیک جفت حوزه-حامل، ریسک امنیت انرژی تجمیعی برای هر حوزه و ریسک امنیت انرژی تجمیعی برای هر حامل در قالب گزارش‌های ساختاریافته ارائه شد. این مرحله امکان تحلیل و مقایسه کمی سطح امنیت انرژی سازمان را فراهم کرده و به تصمیم‌گیری مبتنی بر داده کمک می‌کند.

در گام پیشین، ماتریس بلوغ بازیابی با استفاده از داده‌های سازمانی تکمیل شد که نشان‌دهنده زمان لازم برای بازگشت سازمان به شرایط پایدار پس از وقوع یک سناریوی ریسک مشخص است. این مقادیر که برای هر حوزه و حامل انرژی به تفکیک سناریوهای مختلف ارائه‌شده‌اند، در این مرحله به‌عنوان ورودی به مدل پردازش داده وارد شد. داده‌های بلوغ بازیابی در قالب یک فایل اکسل ساختاریافته در اختیار مدل قرارگرفته و توسط کدهای پردازشی خوانده شد. این مقادیر سپس به همراه سایر داده‌های مرتبط شامل ماتریس ریسک، ماتریس هم‌زمانی رخدادها، شاخص‌های احتمال وقوع و شدت اثر ریسک‌ها به‌صورت تجمیعی پردازش‌شده و برای محاسبه نهایی ریسک امنیت انرژی مورداستفاده قرار گرفت.

شاخص ریسک امنیت انرژی بر اساس ترکیب سه مؤلفه اصلی احتمال وقوع هر ریسک در حوزه‌ها و حامل‌های انرژی مختلف، شدت اثر ریسک بر عملکرد سیستم انرژی در صورت وقوع و مدت‌زمان لازم برای بازیابی سازمان پس از وقوع هر سناریوی ریسکی محاسبه شد. لازم به ذکر است که محاسبات مرتبط با این شاخص به‌صورت شاخص ریسک امنیت انرژی برای هر جفت حوزه-حامل انرژی، شاخص ریسک امنیت انرژی تجمیعی برای هر حوزه انرژی و شاخص ریسک امنیت انرژی تجمیعی برای هر حامل انرژی انجام شد.

۳-۶- نتایج نهایی ارزیابی و محاسبه ریسک

ایجاد خروجی نهایی از نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌های عددی و محاسبات انجام‌شده در گام‌های پیشین، آخرین مرحله از فرآیند مدل‌سازی امنیت انرژی در این پژوهش است که داده‌های کلیدی را به شکلی ساختاریافته و کاربردی ارائه می‌دهد. این مرحله، امکان تصمیم‌گیری آگاهانه را برای مدیران سازمان‌ها فراهم کرده و به آنها کمک می‌کند تا استراتژی‌های مناسبی برای تخصیص منابع و کاهش ریسک‌های امنیت انرژی تدوین نمایند.

در گام بعدی، از داده‌های خروجی برای تحلیل‌های عمیق‌تر، بررسی اقدامات اصلاحی و ارائه پیشنهادهای اجرایی برای بهبود امنیت انرژی سازمان استفاده خواهد شد. این رویکرد، نه‌تنها باعث افزایش دقت در شناسایی نقاط ضعف و قوت در سیستم مدیریت انرژی سازمان می‌شود، بلکه مبنایی برای توسعه سیاست‌های پایداری و بهینه‌سازی مصرف انرژی در آینده خواهد بود. فایل خروجی شامل سه بخش اصلی است که هر یک اطلاعاتی کلیدی درباره وضعیت امنیت انرژی سازمان ارائه می‌دهند.

مقدار شاخص ریسک امنیت انرژی برای هر جفت حوزه–حامل انرژی به‌صورت مجزا محاسبه و ثبت شد که در جدول ۶ نشان داده‌شده است. این شاخص که با استفاده از روابط ریاضی و داده‌های ورودی از گام‌های قبلی تعیین‌شده، میزان آسیب‌پذیری هر حامل انرژی را در هر یک از حوزه‌های تولید، توزیع و مصرف نمایش می‌دهد. این شکل بیان می‌کند که امنیت انرژی در تولید آب بیش از دیگر جفت‌های حوزه–حامل دیگر در خطر است. پس اگر نیاز است تمهیداتی اندیشیده شود بهتر است برای این بخش انجام شود. براین‌اساس، تحلیل این بخش از نتایج امکان شناسایی بحرانی‌ترین بخش‌های زنجیره تأمین انرژی را فراهم می‌کند.

جدول (۶): مقادیر ریسک امنیت انرژی به تفکیک جفت حوزه- حامل

area	carrier	sar
تولید	برق	۱۰۷۰
تولید	دیزل	۴۵۰
تولید	گاز	۲۲۰۵
تولید	آب	۳۳۵۰
توزیع	برق	۷۵
توزیع	دیزل	۱۵
توزیع	گاز	۳۵۰
توزیع	آب	۳۶۰
مصرف	برق	۳۶۰
مصرف	دیزل	۲۸۰
مصرف	گاز	۳۷۵
مصرف	آب	۱۸۰

جدول ۷ مقدار شاخص ریسک امنیت انرژی را برای هر حوزه (تولید، توزیع و مصرف) بدون تفکیک حامل‌های انرژی نشان می‌دهد. این شاخص، با در نظر گرفتن کلیه حامل‌های انرژی در هر حوزه، یک دیدگاه جامع درباره میزان آسیب‌پذیری سازمان در هر بخش از زنجیره تأمین انرژی ارائه می‌دهد. تحلیل این شاخص می‌تواند نشان دهد که آیا سازمان بیشترین تهدید امنیت انرژی را در حوزه تولید، توزیع یا مصرف تجربه می‌کند. این بخش از داده‌ها می‌تواند مبنایی برای اصلاح استراتژی‌های مدیریت انرژی و توسعه برنامه‌های بازیابی در صورت وقوع بحران باشد. جدول ۷ نشان می‌دهد که حوزه تولید بیش از حوزه‌های دیگر در خطر امنیت انرژی قرار دارد.

در جدول ۸، مقدار شاخص ریسک امنیت انرژی برای هر حامل انرژی (برق، دیزل، گاز و آب) بدون تفکیک حوزه‌های عملیاتی ارائه‌شده است. این اطلاعات نشان می‌دهد که کدام حامل انرژی بیشترین میزان ریسک را در کل صنعت

جدول (۷): ریسک امنیت انرژی تجمیعی برای هر حوزه

Title	sar_agg
تولید	۷۰۷۵
توزیع	۸۰۰
مصرف	۱۱۹۵

دارد. این تحلیل می‌تواند به سازمان کمک کند تا تمرکز خود را بر روی تقویت امنیت انرژی در حامل‌هایی قرار دهد که بیشترین میزان تهدید را تجربه می‌کنند. با توجه به جدول ۸ می‌توان دریافت که حامل گاز بیش از دیگر حامل‌ها در معرض خطر امنیت انرژی قرار دارد.

جدول (۸): ریسک امنیت انرژی تجمیعی برای هر حامل

Title	sar_agg
برق	۲۸،۸۹۰،۰۰۰
دیزل	۱،۸۹۰،۰۰۰
گاز	۲۸۹،۴۰۶،۲۵۰
آب	۲۱۷،۰۸۰،۰۰۰

۴- بحث و نتیجه‌گیری

امنیت انرژی یکی از چالش‌های اساسی در سازمان‌ها و صنایع امروزی است که تأمین پایدار، مقرون‌به‌صرفه و قابل‌اطمینان انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پژوهش با هدف ارائه یک چارچوب جامع برای مدیریت امنیت انرژی، رویکردی علمی و داده‌محور را برای تحلیل ریسک‌ها، ارزیابی شاخص‌های امنیت انرژی و پیشنهاد راهکارهای بهینه ارائه کرده است. به‌عبارت‌دیگر، چهار هدف اصلی در این پژوهش در نظر گرفته شد که شامل تدوین استاندارد سیستم مدیریت امنیت انرژی، تدوین راهنمای اجرایی مدیریت امنیت انرژی، گام‌های اجرایی پیاده‌سازی و در آخر مدل‌سازی امنیت انرژی بود. نتایج نشان داد که برخی از رخدادهای ریسکی به‌صورت مستقل رخ نداده و به‌صورت چندبعدی و وابسته به یکدیگر عمل می‌کنند که هم‌زمانی آنها می‌تواند منجر به افزایش اثرات مخرب بر امنیت انرژی سازمان شود.

توانایی سازمان در بازیابی از بحران‌های انرژی به میزان بلوغ آن در مدیریت امنیت انرژی وابسته است. این موضوع نشان می‌دهد که سازمان‌هایی که دارای زیرساخت‌های مقاوم‌تر، منابع انرژی پشتیبان و برنامه‌های مدیریت بحران هستند، ریسک امنیت انرژی کمتری را تجربه خواهند کرد. حوزه‌های تولید، توزیع و مصرف انرژی همگی در معرض تهدیدات مختلفی قرار دارند که شامل نوسانات عرضه، وابستگی به حامل‌های خاص، ضعف در زیرساخت‌ها و تهدیدات ژئوپلیتیکی می‌شود. در این میان، گاز طبیعی و برق، آسیب‌پذیرترین حامل‌های انرژی شناسایی شدند که نیاز به برنامه‌های مدیریتی دقیق‌تری برای تضمین پایداری آنها دارند.

یکی از مهم‌ترین خروجی‌های این پژوهش، توسعه شاخص ریسک امنیت انرژی است که امکان ارزیابی کمّی ریسک‌های امنیت انرژی را فراهم کرده و به تصمیم‌گیران این امکان را می‌دهد که اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی را بر اساس داده‌های واقعی و تحلیل‌های عددی اولویت‌بندی کنند. همچنین، تحلیل هم‌زمانی رخدادهای ریسکی و بررسی ظرفیت بازیابی سازمان نشان داد که تاب‌آوری انرژی نقش کلیدی در کاهش آسیب‌پذیری سیستم‌های انرژی دارد و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های جایگزین و مدیریت بهینه بحران، ازجمله مؤثرترین راهکارها برای بهبود امنیت انرژی سازمان‌ها محسوب می‌شود.

در نهایت، یافته‌های این پژوهش تأکید می‌کنند که مدیریت امنیت انرژی نیازمند یک رویکرد جامع، پیشگیرانه و داده‌محور است که

علاوه بر شناسایی و تحلیل ریسک‌ها، بهبود تاب‌آوری و افزایش انعطاف‌پذیری سیستم‌های انرژی را در اولویت قرار دهد. بهره‌گیری از روش‌های علمی و تصمیم‌گیری هوشمندانه مبتنی بر داده می‌تواند به افزایش پایداری سازمان‌ها، کاهش هزینه‌های ناشی از اختلالات انرژی و بهبود بهره‌وری در استفاده از منابع انرژی منجر شود.

یافته‌های این پژوهش با مطالعات پیشین در حوزه مدیریت امنیت انرژی همخوانی دارد، اما نوآوری آن در ترکیب مدل‌سازی عددی، تحلیل عدم قطعیت و روش‌های مدیریت ریسک است. بسیاری از مطالعات پیشین نظیر [۳-۱]، بر تحلیل ریسک در سطح ملی یا صنعت خاص تمرکز داشته‌اند، درحالی‌که این پژوهش چارچوبی عمومی و انعطاف‌پذیر برای انواع سازمان‌ها ارائه داده است. علاوه بر این، برخلاف برخی از مطالعات که تنها بر ارزیابی کیفی امنیت انرژی تمرکز دارند، این پژوهش از شاخص‌های کمّی برای ارزیابی امنیت انرژی بهره برده است.

پیشنهادها

این پژوهش می‌تواند به مدیران و سیاست‌گذاران در توسعه استراتژی های بهینه برای مدیریت امنیت انرژی، بهینه‌سازی تخصیص منابع و کاهش وابستگی به حامل های پر ریسک کمک کند. درعین‌حال، مسیرهای پژوهشی آینده می‌تواند بر استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین برای پیش بینی ریسک های انرژی، تحلیل هزینه-فایده راهکارهای پیشنهادی و بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر امنیت انرژی سازمان‌ها تمرکز کند. برخی از پیشنهادهای کلیدی عبارت‌اند از:

- توسعه شاخص کمی «ریسک امنیت انرژی» به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری استراتژیک؛
- یکپارچه‌سازی مدل‌سازی جریان انرژی با بهینه سازی تخصیص منابع در چارچوب مدیریت ریسک؛
- بهینه‌سازی زیرساخت‌های انتقال و توزیع انرژی، از طریق به‌کارگیری فناوری‌های نوین پایش و کنترل هوشمند شبکه‌های انرژی؛
- توسعه سناریوهای بحران انرژی مبتنی بر تحلیل عدم قطعیت و هم‌زمانی رخدادها به‌منظور افزایش تاب‌آوری سازمانی؛
- استفاده از داده‌های تحلیل‌شده برای تصمیم‌گیری هوشمند و تخصیص بهینه منابع، به‌ویژه در صنایعی که به‌شدت به حامل‌های انرژی وابسته هستند؛
- استفاده از روش های قابلیت اطمینان به هنگام محاسبه شاخص‌های تجمیعی؛
- به‌کارگیری روش‌های فازی و احتمالاتی برای فرضیات سیستم؛
- بررسی اثرات استفاده از هوش مصنوعی مانند مدل‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی وقوع رخدادها و احتمالات پویا؛
- اگرچه این پژوهش برخی از اثرات تغییرات اقلیمی را در تحلیل خود لحاظ کرده است، اما بررسی دقیق‌تر تأثیر گرمایش جهانی، تغییرات بارندگی و وقوع پدیده‌های جوی شدید بر امنیت انرژی سازمان‌ها نیازمند تحقیقات بیشتری است؛
- توجه به نقش ذخیره‌سازها در بهبود شاخص‌های امنیت انرژی در سازمان‌ها؛
- به‌کارگیری روش‌های احتمالاتی و فازی برای افزایش دقت مدل در شرایط عدم قطعیت شدید.

۶- قدردانی

نویسندگان از همه افراد حقیقی و حقوقی که در تدوین این مقاله یاریگر نویسندگان بوده‌اند، قدردانی می‌نمایند. همچنین تشکر ویژه‌ای از داوران محترم و مسئولین نشریه که با دقت و ظرافت، موجبات غنای مقاله را فراهم فرمودند، دارند.

۷- منابع

۱- بهنیایی، بهنام و امین‌زاده، الهام (۱۳۹۸). الزامات حقوقی امنیت انرژی با تأکید بر مخاطرات زیست‌محیطی در صنعت نفت و گاز، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی.

۲- یوسفی، رضا، سلیمان هیوری، محراب، قاسمی، امین و فتاحی، شیوا (۱۳۹۳). تعریف امنیت انرژی و تشریح و تحلیل شاخص‌های امنیت انرژی، چهارمین کنفرانس مدیریت انرژی و محیط‌زیست.

۳- خداکرمی، وحید (۱۳۹۷). نقشه راه مطالعات و کاربردهای مدیریت ریسک در صنعت برق ایران، انتشارات پژوهشگاه نیرو، تهران.

۴- شوال‌پور، سعید، جبارزاده، امین و خنجرپناه، حسین (۱۳۹۵). مدل‌سازی کاربرد ارزش مخاطره‌ای در مدیریت ریسک نوسانات درآمد نفت در ایران، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، (۱۹) ۵، ۱۴۳-۱۱۳.

۵- رحیمی، اکبر، کریمی گوارشکی، محمدحسین، طالبی، فریبا (۱۴۰۲). ارائه مدل ساختاری تفسیری جامع موانع تاب‌آوری زنجیره تأمین، فصلنامه مدیریت بحران، (۹۶) ۲۳، ۹۵-۱۱۹.

۶- صفوی میرمحله، سید رحیم، مهرمنش، حسن و حقیقت منفرد، جلال (۱۳۹۹). مدلی برای مدیریت ریسک در زنجیره تأمین صنعت گاز ایران، فصلنامه انجمن علوم مدیریت ایران، (۵۷) ۱۵، ۹۶-۶۱.

۷- قویدل دارستانی، آرش، شمس کیا، ناصر (۱۳۹۹). تحلیل ریسک در پروژه‌های خطوط لوله انتقال گاز استان گیلان با رویکرد حفاظت و اثرات زیست‌محیطی، فصلنامه مدیریت بحران، (۱۱) ۹، ۵۷-۶۶.

۸- عطائی کچوئی، محمدحسن، عبدی، مونا، اسدی، فاطمه، نجفی، مرتضی، (۱۴۰۲). ارزیابی تهدیدات علیه دارایی‌های کلیدی حوزه انرژی با رویکرد پدافند غیرعامل نمونه مطالعاتی: استان همدان، فصلنامه مدیریت بحران، (۸۴) ۱۲، ۸۴-۱۰۰.

۹- اعیانی ثانی، نسرین و سیفی، عباس (۱۳۹۲). ارائه چهارچوبی برای مدل‌سازی و حل سیستم‌های نوین تولید انرژی ریز شبکه‌ها، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنعتی و سیستم‌ها.

۱۰- اصلاح حامل‌های انرژی و تاب‌آوری صنعت فولاد کشور، مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۴۰۰.

11. Energy Strategy for C-Suits", https://hbr.org/2017/01/energy-strategy-for-the-c-suite

۱۲- زمانی گرگری، میلاد، غفارپور، رضا. (۱۳۹۸). افزایش امنیت انرژی با استفاده از مفهوم تاب‌آوری در زیرساخت‌های ترکیبی، نشریه علمی علوم و فناوری‌های پدافند نوین.

13. Ghamkhari, M., Wierman, A., & Mohsenian-Rad, H. (2016). Energy portfolio optimization of data centers. IEEE Transactions on Smart Grid, 8(4), 1898-1910. https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2510428

14. Guo, C., Luo, F., Cai, Z., Dong, Z. Y., & Zhang, R. (2021). Integrated planning of internet data centers and battery energy storage systems in smart grids. Applied Energy, 281, 116093. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116093

15. Ding, Z., Cao, Y., Xie, L., Lu, Y., & Wang, P. (2019). Integrated stochastic energy management for data center microgrid considering waste heat recovery. IEEE Transactions on Industry Applications, 55(3), 2198-2207. https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2890789

16. Allcott, H. (2011). Social norms and energy conservation. Journal of public Economics, 95(9-10), 1082-1095. https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2011.03.003

17. Eydeland, A., & Wolyniec, K. (2002). Energy and power risk management: New developments in modeling, pricing, and hedging (Vol. 97). John Wiley & Sons. https://lccn.loc.gov/2002013581

18. Sadeghi, M., & Shavvalpour, S. (2006). Energy risk management and value at risk modeling. Energy policy, 34(18), 3367-3373. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.07.004

19. Burger, M., Graeber, B., & Schindlmayr, G. (2014). Managing energy risk: An integrated view on power and other energy markets.

20. Harkouss, F., Fardoun, F., & Biwole, P. H. (2018, October). Optimization approaches and climates investigations in NZEB—A review. In Building Simulation (Vol. 11, pp. 923-952). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/s12273-018-0448-6

21. Skandalos, N., & Karamanis, D. (2021). An optimization approach to photovoltaic building integration towards low energy buildings in different climate zones. Applied Energy, 295, 117017. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117017

۲۲- رحیمی، سمانه، نبی بیدهندی، غلامرضا، هویدی، حسن، امیری، محمدجواد (۱۴۰۴). فراتحلیل علل بروز ریسک ایمنی و محیط‌زیست در صنایع پتروشیمی و ارائه راهکار مدیریت منابع انسانی HSE به‌منظور تعدیل ریسک‌های بالقوه، فصلنامه مدیریت بحران، (۱۴) ۳، ۱۲۷-۱۰۳.

23. Shirzadi, M., & Nagashzadeghan, M. (2015). Building Energy Optimization using Sequential Search Approach for Different Climates of Iran. International Journal of Renewable Energy Research, 5(1), 210-216.

24. Lazos, D., Sproul, A. B., & Kay, M. (2014). Optimisation of energy management in commercial buildings with weather forecasting inputs: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39, 587-603. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.053

25. International Organization for Standardization. (2018). Technical Committee ISO/TC 262, Risk management. (ISO Standard No. 31001:2018). https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en

26. The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO), https://www.coso.org/

27. Kendig, Richard J., Ashley D. Seaton, and Robert J. Rodgers. Evolution of the operational energy strategy and its consideration in the Defense Acquisition process. Diss. Monterey, California: Naval Postgraduate School, 2016.

28. McKinsey & Company (2020). When nothing is normal: Managing in extreme uncertainty. Retrieved January 17, 2025, from https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/when-nothing-is-normal-managing-in-extreme-uncertainty
29. Zhang, Y., Wang, J., & Li, X. (2023). Energy security assessment in the context of global uncertainty: A systematic review. Energy Reports, 9, 1234-1248. https://doi.org/10.3390/app142412042
30. Khan, M. S., & Kumar, P. (2024). Organizational resilience and energy risk management: An integrated framework. Journal of Cleaner Production, 425, 139876. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5393117
31. Liu, H., Zhao, Y., & Chen, Z. (2023). Probabilistic risk assessment and energy flow modeling for critical infrastructure under uncertainty. Applied Energy, 347, 120378. https://dx.doi.org/10.1049/iet-gtd.2009.0374
32. Rahman, M. M., & Lee, K. Y. (2024). Stochastic optimization of energy resource allocation under supply uncertainty. Energy, 289, 128457. https://dx.doi.org/10.1109/JSYST.2016.2614723
33. Santos, J. R., & Pereira, A. M. (2023). Multi-criteria decision analysis for prioritizing energy security measures in organizations. Energy Policy, 179, 113456. https://dx.doi.org/10.3390/su13063515.