



Volume 6, Issue 3, 2025

Investigating the Impact of Artificial Intelligence on the Efficiency of Renewable Energy Systems in Iran

Hossein Aliabadi*¹

1. PhD student, Entrepreneurship Department, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran. (Corresponding Author) Email: hosseinaliabadi13@gmail.com

ARTICLE INFORMATION

Type of Article:

Original Research

Pages: 56-68

Corresponding Author's Info

Email:

hosseinaliabadi13@gmail.com

Keywords:

Artificial Intelligence, System Efficiency, Renewable Energy, Energy, Machine Learning.

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI), as an emerging and general-purpose technology, has the potential to create fundamental transformations in the global economy and energy systems. The purpose of this study is to investigate the impact of artificial intelligence on the efficiency of renewable energy systems in Iran. The research method is descriptive-analytical and based on a systematic review of the literature and previous studies. The findings indicate that AI, utilizing techniques such as deep learning, reinforcement learning, and big data analytics, plays an effective role in energy production forecasting, equipment layout optimization, intelligent storage management, and maintenance cost reduction in solar, wind, hydro, geothermal, and biomass energy systems. Furthermore, the integration of AI with technologies such as the Internet of Things (IoT) and blockchain enables the creation of smart and transparent energy networks. The research results indicate that Iran, despite having abundant natural resources, needs to develop data infrastructure, invest in research and development, train specialized workforce, and develop smart grids to optimally exploit these capacities. This study contributes to understanding how AI can serve as a catalyst for Iran's energy transition. Finally, the future of AI in energy management outlines a clear path for transitioning to more sustainable consumption and reducing dependence on fossil fuels.



This is an open access article under the CC BY license.

© 2025 The Authors.

How to Cite This Article: Aliabadi, H. (2025). Investigating the Impact of Artificial Intelligence on the Efficiency of Renewable Energy Systems in Iran. (e 215334). Management, Economics and Entrepreneurship Studies, 6(3): 56-68. doi: 10.22034/jmek.2025.500830.1167



دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴

بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر کارایی سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران

حسین علی‌آبادی^{*۱}

۱. دانشجوی دکتری گروه کارآفرینی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران. hosseinaliabadi13@gmail.com

چکیده

هوش مصنوعی (AI) به‌عنوان یک فناوری نوظهور و عمومی، توانایی ایجاد تحولات بنیادین در اقتصاد جهانی و سیستم‌های انرژی را دارد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر کارایی سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران است. روش تحقیق حاضر توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر مرور نظام‌مند ادبیات و مطالعات پیشین است. یافته‌ها نشان می‌دهند که هوش مصنوعی با بهره‌گیری از تکنیک‌هایی نظیر یادگیری عمیق، یادگیری تقویتی و تحلیل داده‌های کلان، نقش مؤثری در پیش‌بینی تولید انرژی، بهینه‌سازی چیدمان تجهیزات، مدیریت هوشمند ذخیره‌سازی و کاهش هزینه‌های نگهداری در سیستم‌های انرژی خورشیدی، بادی، برق‌آبی، زمین‌گرمایی و زیست‌توده ایفا می‌کند. همچنین ادغام هوش مصنوعی با فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا و بلاک‌چین، امکان ایجاد شبکه‌های هوشمند و شفاف انرژی را فراهم می‌آورد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که ایران با وجود منابع طبیعی فراوان، برای بهره‌برداری بهینه از این ظرفیت‌ها نیازمند توسعه زیرساخت‌های داده‌ای، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، تربیت نیروی متخصص و توسعه شبکه‌های هوشمند است. در نهایت، آینده هوش مصنوعی در مدیریت انرژی، مسیری روشن برای گذار به مصرف پایدارتر و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی ترسیم می‌کند.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

صفحات: ۶۸-۵۶

اطلاعات نویسنده مسئول

ایمیل:

hosseinaliabadi13@gmail.com

سابقه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

واژگان کلیدی:

هوش مصنوعی، کارایی سیستم، انرژی‌های

تجدیدپذیر، انرژی، یادگیری ماشین.



۱- مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در علم داده و هوش مصنوعی و همچنین توسعه منابع انرژی پاک و پایدار، فرصت‌های زیادی را برای محققان انرژی ایجاد کرده است تا مطالعات خود را در این حوزه انجام دهند. تکنیک‌های هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشینی (ML) برای چندین سال در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر (RES) استفاده شده‌اند و شدت و دامنه آن‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است. از آنجایی که هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی کاربردهای گسترده‌ای دارند، ممکن است انتخاب و پیاده‌سازی روش‌های مناسب برای تحقیقات آینده دشوار باشد (شعاعی و همکاران، ۱۴۰۲).

هوش مصنوعی با تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیندها، ابزاری کلیدی برای تسریع گذار از انرژی‌های فسیلی به منابع پاک مانند باد و خورشید است و آینده‌ای پایدارتر را میسر می‌سازد. در دنیای امروز، استفاده از فناوری‌های پیشرفته به‌ویژه هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری کارآمد در حل چالش‌های پیچیده، به اولویتی اساسی تبدیل شده است. یکی از حوزه‌هایی که هوش مصنوعی می‌تواند تحولات چشمگیری در آن ایجاد کند، مدیریت انرژی و به‌ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر است. منابعی مانند باد و خورشید که ذاتاً وابسته به شرایط محیطی و متغیر هستند، نیازمند پیش‌بینی‌ها و مدیریت دقیقی‌اند که از طریق الگوریتم‌های هوش مصنوعی میسر می‌شود.

همه کشورهای در حال توسعه برای رشد به انرژی متکی هستند، با این حال منابع انرژی سنتی در آلودگی شهری نقش دارند. در نتیجه، تیم مدیریت فناوری نوآورانه، سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را برای کمک به شهرها در کاهش آلودگی توصیه می‌کند و برای ایجاد فرصت‌های استراتژیک و کشف راه‌های نوآورانه در جوامع بزرگ و بالا بردن استانداردهای زندگی در چنین شهرهایی بدون به خطر انداختن محیط زیست، مدیریت انرژی بسیار مهم است. محققان در حال بررسی راه‌هایی برای به حداکثر رساندن انرژی‌های تجدیدپذیر هستند

و استفاده از منابع انرژی و افزایش عملکرد خدمات، به حداکثر رساندن استفاده و بهره‌وری از انرژی، مستلزم مدیریت و برنامه‌ریزی درست انرژی است (راثوره و همکاران، ۱۴۰۱).

هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی مفاهیم نسبتاً جدیدی در انرژی هستند که می‌توانند ابزارهای امیدوارکننده‌ای برای راه‌اندازی سیستم‌ها و پیش‌بینی آینده جهت افزایش اثربخشی سیستم‌ها باشند (کانبولت و همکاران، ۱۴۰۱). هوش مصنوعی با تجزیه و تحلیل داده‌های کلان، می‌تواند الگوهای دقیق‌تری را از تولید و مصرف انرژی ارائه دهد و در عین حال، کارآمدی سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی، مانند باتری‌ها، را بهبود بخشد. این فناوری با بهره‌گیری از یادگیری ماشین و داده‌های محیطی، ظرفیت بالایی در کاهش اتلاف انرژی و بهینه‌سازی زیرساخت‌ها دارد. علاوه بر این، ترکیب آن با فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا (IoT) و بلاک‌چین، امکان ایجاد شبکه‌های هوشمند و شفاف انرژی را فراهم می‌آورد (احمد و همکاران، ۲۰۲۱؛ میلکانویت و نییر، ۲۰۲۲).

با این حال، استفاده از هوش مصنوعی در این حوزه نیازمند زیرساخت‌های مناسب، حمایت‌های پژوهشی و سرمایه‌گذاری کلان است. ایران به‌عنوان کشوری که منابع طبیعی فراوانی دارد و با چالش‌هایی همچون آلودگی هوا و مصرف بالای انرژی مواجه است، می‌تواند از این فناوری به‌عنوان راهکاری اساسی برای بهبود بهره‌وری انرژی، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و توسعه پایدار بهره‌برداری کند. توسعه فناوری بومی و تربیت نیروی متخصص، گام‌های کلیدی برای بهره‌برداری از این ظرفیت‌ها هستند. آینده هوش مصنوعی در مدیریت انرژی، مسیری روشن برای گذار به مصرف پایدارتر و کاهش هزینه‌ها را ترسیم می‌کند؛ مسیری که مستلزم برنامه‌ریزی دقیق، همکاری بین‌المللی و تلاش‌های مستمر در سطح ملی است.

با توجه به موارد ذکرشده، هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر کارایی سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر

سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر از منابع طبیعی مثل نور خورشید، باد، آب و انرژی زمین‌گرمایی به وجود می‌آیند و با هدف کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی محدود و کاهش آلاینده‌گی در حال توسعه هستند. بهبود کارایی این سیستم‌ها برای استخراج انرژی بیشتر و در عین حال به حداقل رساندن ضایعات بسیار مهم است. طرح‌های هیبریدی که ترکیبی از منابع انرژی بادی، خورشیدی، هیدروژن و غیره هستند، می‌توانند به تنوع و انعطاف‌پذیری بیشتر در تولید برق منجر شوند (شعاعی و همکاران، ۱۴۰۲).

در حوزه مطالعات داخلی، راثوره و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که مدیریت انرژی و برنامه‌ریزی صحیح آن مستلزم تصمیم‌گیری بهینه تحت شرایط مختلف است و الگوریتم‌های هوش مصنوعی امکان برنامه‌ریزی انرژی مؤثر در شهرهای هوشمند را فراهم می‌کنند. کانبولت و همکاران (۱۴۰۱) نیز بیان کردند که هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی مفاهیم نسبتاً جدیدی در انرژی هستند که می‌توانند ابزارهای امیدوارکننده‌ای برای راه‌اندازی سیستم‌ها و پیش‌بینی آینده جهت افزایش اثربخشی باشند.

در مطالعات بین‌المللی، احمد و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که هوش مصنوعی می‌تواند زنجیره تأمین انرژی را بهینه کند، بهره‌وری انرژی را بهبود بخشد و از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، یادگیری ماشین و فناوری اتوماسیون به ارسال هوشمند دست یابد. میلکانویت و نییر (۲۰۲۲) نیز چالش‌های ناشی از نوسان قیمت انرژی، اختلالات عرضه و تغییرات نظارتی را بررسی کردند. چن و وی (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای مروری، ادغام هوش مصنوعی با سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را مورد بررسی قرار دادند. غازی بشاو و همکاران (۲۰۲۴) کاربردهای هوش مصنوعی در ادغام سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را مرور کردند. ژو و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر هوش مصنوعی بر آسیب‌پذیری انرژی جهانی را بررسی کردند و دریافتند که هوش مصنوعی ممکن است با بهبود توزیع انرژی و بهینه‌سازی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، آسیب‌پذیری انرژی را کاهش دهد. مرصاد و همکاران (۲۰۲۴) نیز مروری بر کاربردهای هوش مصنوعی در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر انجام دادند. گوپتا و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر هوش مصنوعی بر

در ایران است. این پژوهش درصدد است تا با مرور نظام‌مند ادبیات و مطالعات پیشین، نقش فناوری‌های هوش مصنوعی را در بهبود عملکرد، پیش‌بینی تولید، بهینه‌سازی ذخیره‌سازی و مدیریت هوشمند سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر تبیین کند و راهکارهایی برای بهره‌برداری بهینه از این ظرفیت‌ها در ایران ارائه دهد.

۲. چارچوب نظری و پیشینه تحقیق

هوش مصنوعی (AI) شامل فناوری‌های پیشرفته‌ای است که ماشین‌ها را قادر می‌سازد تا هوش انسانی را شبیه‌سازی کنند و از داده‌ها یاد بگیرند و تصمیم‌گیری کنند. هوش مصنوعی به انواع روش‌های مبتنی بر داده اشاره دارد که می‌تواند طیف گسترده‌ای از مسائل مرتبط با انرژی را حل کند. این روش‌ها ماشین را قادر می‌سازد که مانند یک انسان فکر کند، از اشتباهات درس بگیرد و خود را بهبود بخشد (کانبولت و همکاران، ۱۴۰۱). با پیشرفت فناوری‌های یادگیری ماشینی و سیستم‌های مبتنی بر داده، مدیریت و کنترل منابع انرژی نسبت به گذشته ساده‌تر و کاربردی‌تر شده است (شعاعی و همکاران، ۱۴۰۲).

کاربردهای هوش مصنوعی در سیستم‌های انرژی شامل تجزیه و تحلیل داده‌ها، مدل‌سازی، الگوریتم‌های بهینه‌سازی و مکانیسم‌های کنترلی برای افزایش عملکرد، قابلیت اطمینان و پایداری است. ادغام این فناوری در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، بهینه‌سازی عملیات، بهبود دقت پیش‌بینی و امکان مدیریت شبکه برای کارایی بیشتر را فراهم می‌سازد. تکنیک‌های پیشرفته هوش مصنوعی از الگوریتم‌های پیچیده برای بهبود تصمیم‌گیری، بهینه‌سازی و انطباق در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر استفاده می‌کنند. دیپ لرنینگ زیرمجموعه‌ای از یادگیری ماشینی است که از شبکه‌های عصبی با لایه‌های متعدد برای پردازش حجم وسیعی از داده‌ها استفاده می‌کند و در انرژی خورشیدی، تصاویر ماهواره‌ای یا داده‌های حسگر را تجزیه و تحلیل می‌کند. یادگیری تقویتی نیز باعث می‌شود سیستم‌ها از طریق آزمون و خطا بتوانند تصمیم‌گیری مستقل انجام دهند و اقدامات مختلف را بهینه‌سازی کنند (شعاعی و همکاران، ۱۴۰۲).

انرژی‌های تجدیدپذیر (GSR 2024) منتشر شده توسط REN21، گزارش‌های اداره اطلاعات انرژی آمریکا (EIA) و اسناد نشست پارلمان COP29 بهره گرفته شده است.

در انتخاب منابع و مطالعات پیشین، معیارهای مشخصی رعایت شده است. نخست، مطالعاتی انتخاب شدند که به‌طور مستقیم به بررسی نقش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر پرداخته بودند. دوم، منابعی در نظر گرفته شدند که در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ منتشر شده باشند تا از به‌روز بودن اطلاعات اطمینان حاصل شود. سوم، هم مطالعات نظری و مروری و هم مطالعات تجربی و کاربردی در حوزه‌های مختلف انرژی تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، بادی، برق‌آبی، زمین‌گرمایی، زیست‌توده، جزر و مد، امواج و پیل‌های سوختی مورد بررسی قرار گرفتند. چهارم، مقالات منتشر شده در مجلات معتبر با ضریب تأثیر بالا و همچنین مقالات ارائه‌شده در کنفرانس‌های بین‌المللی و ملی معتبر در اولویت بودند.

تحلیل داده‌ها در این پژوهش بر اساس چارچوب مفهومی مشخصی انجام شده است. این چارچوب شامل چهار بُعد اصلی است:

- نخست، بُعد فناوری که به بررسی تکنیک‌های هوش مصنوعی شامل یادگیری عمیق، یادگیری تقویتی، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و تحلیل داده‌های کلان در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر می‌پردازد.
- دوم، بُعد کاربردی که نقش هوش مصنوعی را در پیش‌بینی تولید انرژی، بهینه‌سازی چیدمان تجهیزات، مدیریت هوشمند ذخیره‌سازی، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه و مدیریت شبکه‌های هوشمند بررسی می‌کند.
- سوم، بُعد اقتصادی-اجتماعی که پیامدهای پذیرش هوش مصنوعی بر اشتغال، دسترسی به انرژی و مقرون‌به‌صرفه بودن آن را تحلیل می‌کند.
- چهارم، بُعد چالش‌ها و موانع که شامل هزینه‌های اولیه، امنیت داده‌ها، تهدیدات سایبری، فقدان مقررات و نیاز به زیرساخت‌های مناسب است.

در این پژوهش از تحلیل محتوای کیفی برای بررسی و دسته‌بندی مطالعات پیشین استفاده شده است. همچنین از

سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را بررسی کردند و دینگ و همکاران (۲۰۲۴) رابطه بین هوش مصنوعی و فقر انرژی را در سطح جهانی مورد تحلیل قرار دادند.

در مطالعات کاربردی، خانم محمدی و همکاران یک چارچوب داده‌محور با استفاده از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی چرخه ترکیبی انرژی زمین‌گرمایی پیشنهاد کردند و دریافتند که شبکه‌های عصبی مصنوعی بهترین تطابق آماری را دارند. ژانگ و همکاران یک سیستم خارج از شبکه را بر اساس ترکیب انرژی باد، سلول‌های سوختی و ذخیره هیدروژن بهینه کردند. فریثا بانو و همکاران مدل‌های یادگیری عمیق را برای بهینه‌سازی سیستم‌های ذخیره انرژی توسعه دادند و کوتاه و همکاران یک روش شبکه عصبی مبتنی بر تأخیر زمانی (TDNN) را برای پیش‌بینی ویژگی‌های سیستم انرژی هیبریدی معرفی کردند. بناپارت و یوسف (۲۰۲۴) نیز نشان دادند که اندازه بازار جهانی هوش مصنوعی در سال ۲۰۲۲ به ۲۸/۱۲۹ میلیارد دلار رسید و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۲ از ۷/۲ تریلیون دلار فراتر رود.

۳. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی است. این پژوهش با رویکرد مرور نظام‌مند ادبیات انجام شده و در آن تلاش شده است تا با بررسی جامع و ساختارمند مطالعات پیشین، گزارش‌های بین‌المللی و منابع علمی معتبر، تأثیر هوش مصنوعی بر کارایی سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران تبیین شود.

داده‌های مورد نیاز این پژوهش از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و مرور اسنادی جمع‌آوری شده است. در این راستا، از پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر داخلی و خارجی شامل Scopus، Web of Science، ScienceDirect، IEEE Xplore و همچنین پایگاه‌های اطلاعاتی داخلی مانند Civilica و SID استفاده شده است. کلیدواژه‌های مورد جستجو شامل «هوش مصنوعی»، «یادگیری ماشین»، «یادگیری عمیق»، «انرژی‌های تجدیدپذیر»، «کارایی سیستم»، «انرژی خورشیدی»، «انرژی بادی»، «ذخیره‌سازی انرژی»، «شبکه هوشمند» و معادل‌های انگلیسی آن‌ها بوده است. همچنین از گزارش‌های بین‌المللی معتبر مانند گزارش وضعیت جهانی

سیستم‌های هوشمند آینده‌ها و پنل‌های خورشیدی را در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز با تغییر زاویه خورشید به‌گونه‌ای می‌چرخانند که تابش بر سطحشان عمود باشد. همچنین در بهینه‌سازی مدیریت مصرف و ذخیره انرژی در باتری‌ها، یک پلتفرم هوش مصنوعی تمام اطلاعات موردنیاز خود را از منابع مختلف دریافت کرده و تجزیه و تحلیل می‌نماید و بر اساس این اطلاعات، زمان بهینه برای ذخیره انرژی، میزان ذخیره‌شده و بهترین زمان مصرف آن را تعیین می‌کند.

بر اساس آخرین گزارش اداره اطلاعات انرژی آمریکا (EIA)، انرژی‌های تجدیدپذیر در آوریل ۲۰۲۴، ۳۱ درصد از برق تولیدی آمریکا را تأمین کردند. ترکیب انرژی خورشیدی در مقیاس صنعتی و خانگی در چهار ماه اول سال ۲۰۲۴ نسبت به سال ۲۰۲۳، ۲۵/۴ درصد افزایش یافته است. سهم انرژی خورشیدی از کل تولید برق آمریکا در ماه آوریل به بالاترین میزان خود یعنی ۸/۴ درصد رسید. تولید برق توسط کل مجموعه منابع تجدیدپذیر در سه ماهه اول سال ۲۰۲۴ نسبت به مدت مشابه سال قبل ۶/۳ درصد رشد داشته و ۲۶/۲ درصد از کل تولید برق را تأمین کرده است. تنها در ماه آوریل، تولید برق توسط انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به آوریل ۲۰۲۳، ۱۳/۵ درصد افزایش یافت. برای اولین بار، منابع انرژی تجدیدپذیر توانستند بیش از ۳۰ درصد از برق ماهانه کشور را تأمین کنند. تنها ترکیب باد و خورشید تقریباً یک‌چهارم (۲۳/۴۵ درصد) از کل تولید برق کشور را در ماه آوریل به خود اختصاص داد.

۲- نقش هوش مصنوعی در انرژی باد

انرژی باد، یک منبع سوخت پاک محسوب می‌شود و هر نیروگاه بادی جهت تولید الکتریسیته به‌طورمعمول حدود ۴۰ تا ۱۰۰ توربین بادی دارد. برآوردهای کارشناسان حاکی از آن است که می‌توان ۵۰ درصد انرژی موردنیاز جهان را از باد تأمین نمود. دانشمندان به کمک فناوری هوش مصنوعی، تولید انرژی الکتریسیته از انرژی باد را بهینه کرده‌اند. این بهینه‌سازی از طریق طراحی چیدمان مزارع بادی، بهینه‌سازی توان خروجی توربین‌ها و پیش‌بینی خرابی توربین‌ها صورت می‌گیرد. در طراحی چیدمان مزارع بادی، هوش مصنوعی نحوه چیدمان توربین‌های بادی را طوری طراحی می‌کند تا کمترین توربینی در سایه‌ی باد دیگری قرار بگیرد. در بهینه‌سازی توان خروجی،

تحلیل تطبیقی برای مقایسه رویکردهای مختلف هوش مصنوعی در انواع سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر بهره گرفته شده است. داده‌های آماری ارائه‌شده در گزارش‌های بین‌المللی مانند EIA و REN21 نیز به‌صورت توصیفی و تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، جدول محصولات و خدمات کاربردی هوش مصنوعی در صنعت انرژی شامل ۹ محصول و خدمت از شرکت‌های مختلف بین‌المللی نیز به‌عنوان نمونه‌های عینی کاربرد هوش مصنوعی در انرژی‌های تجدیدپذیر تحلیل شده است.

این پژوهش به‌دلیل ماهیت مروری خود، فاقد داده‌های میدانی و تجربی مستقیم از صنعت انرژی ایران است. همچنین دسترسی محدود به برخی داده‌های فنی و عملیاتی نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر در ایران، از دیگر محدودیت‌های این پژوهش محسوب می‌شود. با این حال، تلاش شده است با بهره‌گیری از منابع متعدد و معتبر داخلی و خارجی، تصویری جامع و دقیق از وضعیت موجود و چشم‌انداز آینده ارائه شود.

۴. یافته‌ها

یافته‌های پژوهش حاضر بر اساس مرور نظام‌مند ادبیات و تحلیل منابع معتبر داخلی و خارجی، در قالب محورهای اصلی زیر ارائه می‌شود:

۱- نقش هوش مصنوعی در انرژی خورشیدی

یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر، خورشید است. در هر ثانیه، هر مترمربع زمین حدود ۱۳۶۷ ژول انرژی از خورشید دریافت می‌کند که مقدار قابل‌توجهی می‌باشد. هوش مصنوعی به کمک فناوری‌هایی چون داده‌کاوی، در بهینه‌سازی چیدمان صفحات سلول‌های خورشیدی و آینده‌های متمرکز، تجزیه و تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی الگوی مصرف برق یک منطقه یا میزان توان تولیدی یک مزرعه خورشیدی مفید واقع می‌شود.

در زمینه پیش‌بینی میزان تولید انرژی برق، هوش مصنوعی از طریق دنبال کردن الگوهای مصرف پیشین و پردازش داده‌هایی که در هر لحظه از منابع مختلف مانند گزارش‌های هواشناسی یا میزان گردوخاک نشسته بر روی صفحات خورشیدی به دست می‌آید، میزان برق تولیدشده را پیش‌بینی می‌نماید. در بهینه‌سازی چیدمان صفحات خورشیدی،

ضمن آزاد کردن زمان و انرژی منابع انسانی می‌تواند به صورت دائمی و در هر لحظه انجام شود.

در بخش انرژی جزر و مد، هوش مصنوعی مسیر، سرعت و مدل بهینه چرخش هواگردهای زیرآبی را تعیین می‌کند و میزان برق تولیدی را پیش‌بینی می‌نماید. با حرکت دادن هواگردها به سمتی که جزر و مد بیشتری وجود دارد، می‌توان علاوه بر افزایش تولید برق، کمترین میزان خرابی در پره‌ها را منجر شد. در بخش انرژی امواج، محققین به کمک هوش مصنوعی، ارتفاع موج تولیدشده در هر شناور، دامنه شار انرژی و انرژی تولیدشده در سیستم‌های ساحلی را طبقه‌بندی، مقایسه و پیش‌بینی می‌کنند که داده‌های حاصل منجر به مدیریت بهتر تولید و ذخیره انرژی امواج می‌گردد.

در بخش پیل‌های سوختی، شبکه‌های عصبی مصنوعی توانایی شناسایی، کشف ارتباط بین الگوها و مدل‌سازی عملکرد سلول‌های سوختی را دارند. الگوریتم‌های یادگیری ماشینی در بخش‌های مختلفی از تولید انرژی توسط پیل‌های سوختی مانند ارزیابی، مدل‌سازی، بهبود عملکرد و پیش‌بینی تخریب آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۵- بهینه‌سازی ذخیره‌سازی و مدیریت شبکه

هوش مصنوعی با استفاده از الگوریتم‌ها و تکنیک‌های پیشرفته، به بهینه‌سازی کارایی، کاهش هزینه‌ها و افزایش طول عمر سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی کمک می‌کند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی عواملی مثل پیش‌بینی آب‌وهوا، الگوهای تقاضا و داده‌های تاریخی را برای تنظیم دقیق عملکرد سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر در نظر می‌گیرند و با تنظیم پارامترها در زمان واقعی، خروجی انرژی را به حداکثر و هزینه‌ها را به حداقل می‌رسانند.

هوش مصنوعی در مدیریت شبکه‌های هوشمند نیز نقشی کلیدی دارد و با تحلیل لحظه‌ای داده‌ها، مدیریت عرضه و تقاضای انرژی را بهینه کرده و پایداری شبکه را تضمین می‌کند. با پیش‌بینی نوسانات در تولید و مصرف انرژی، شبکه‌های انرژی و سیستم‌های ذخیره‌سازی را مدیریت می‌کند تا عرضه و تقاضا متعادل شود. الگوریتم‌های هوش مصنوعی با تحلیل الگوهای مصرف انرژی، می‌توانند به‌طور خودکار مصرف را در زمان اوج کاهش دهند و آن را با میزان تولید انرژی

پره‌های توربین‌های بادی در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز با توجه به جهت و سرعت وزش باد به صورت هوشمند تنظیم می‌شوند. همچنین پلن‌فرم‌های هوش مصنوعی خرابی توربین‌ها را با توجه به شرایط موجود پیش‌بینی می‌کنند و با استفاده از فناوری بینایی ماشین و تصاویر گرفته‌شده توسط پهپادها، محل، شدت و نوع عیب پره‌ها را تشخیص می‌دهند. تولید برق بادی در آوریل ۲۰۲۴، ۱۰/۷ درصد بالاتر از مقدار تولید شده در آوریل ۲۰۲۳ بوده است.

۳- نقش هوش مصنوعی در برق‌آبی و زمین‌گرمایی

در بخش برق‌آبی، هوش مصنوعی در پیش‌بینی تراز آب پشت سدها و کشف خرابی در سدها کاربرد دارد. حجم آب پشت سدها با توجه به شرایط محیطی دائماً در حال تغییر است و از جمله موارد اثرگذار در حجم آب می‌توان به میزان بارندگی، تابش انرژی خورشید، دمای هوا و حجم آب ورودی از رودها اشاره کرد. مدل‌های هوش مصنوعی حجم آب پشت سدها را پیش‌بینی و در صورت لزوم، فرمان هشدار را صادر می‌کنند. همچنین به کمک پهپادها و فناوری بینایی ماشین، بخش‌های مختلف سدها عکس‌برداری و پس از تجزیه و تحلیل، محل و نوع خرابی مشخص می‌شود. تولید برق آبی در سه ماهه اول سال ۲۰۲۴ نسبت به سال گذشته ۵/۵ درصد افزایش یافته است.

در بخش انرژی زمین‌گرمایی، محققین به کمک فناوری هوش مصنوعی و تکنیک‌های یادگیری ماشین برای تجزیه و تحلیل تصاویر سنجش‌ازدور، محل مناسب برای حفر چاه و احداث نیروگاه زمین‌گرمایی را مشخص می‌کنند. در این فرآیند، معیارهایی چون ویژگی‌های سطح زمین، تصاویر هوایی از چشمه‌های آب گرم و کوه‌های آتش‌فشان برای سیستم هوش مصنوعی تعریف می‌شود و سیستم می‌تواند بهترین محل را بر اساس معیارها مشخص کند.

۴- نقش هوش مصنوعی در زیست‌توده، جزر و مد، امواج و پیل‌های سوختی

در بخش زیست‌توده‌ها، هوش مصنوعی در اندازه‌گیری میزان غلظت زیست‌توده‌ها و تشخیص کیفیت ذرات مواد اولیه به کمک فناوری بینایی ماشین کاربرد دارد. خودکارسازی فرآیند اندازه‌گیری غلظت زیست‌توده‌ها به کمک هوش مصنوعی،

و مقرون به صرفه بودن انرژی تأثیر بگذارد و بر بخش‌های اقتصادی و توسعه منطقه‌ای مؤثر واقع شود. استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر مبتنی بر هوش مصنوعی، علاوه بر پیشرفت فناوری، نیازمند درک و پذیرش عمومی است و قابلیت اطمینان، ایمنی و پیامدهای اخلاقی هوش مصنوعی نقش مهمی در پذیرش جامعه ایفا می‌کند.

۸- تأثیرات تغییرات اقلیمی و نقش هوش مصنوعی در ایران
ایران با مشکلاتی مانند خشکسالی‌های طولانی، سیلاب‌های شدید و گرمایش جهانی روبه‌رو است و استفاده از فناوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی می‌تواند در پیش‌بینی و مدیریت این بحران‌ها کمک کند. در پیش‌نویس نتایج نشست پارلمان COP29، مواردی مانند استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای کاهش گازهای گلخانه‌ای، طراحی زیرساخت‌های دیجیتال مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی و ترویج شمول دیجیتال برای کشورهای در حال توسعه مورد تأکید قرار گرفته است. هوش مصنوعی می‌تواند در شبیه‌سازی مدل‌های اقلیمی و پیش‌بینی اثرات تغییرات اقلیمی نقش بسیار مؤثری ایفا کند و داده‌های بزرگ و مدل‌های پیش‌بینی می‌توانند به تصمیم‌گیری‌های اقلیمی کمک کرده و ایران را قادر سازند تا برنامه‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی را به‌طور مؤثرتر طراحی کند.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی (AI) در صنعت انرژی به مجموعه‌ای از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های پیشرفته اطلاق می‌شود که برای بهینه‌سازی تولید، توزیع و مصرف انرژی به کار می‌روند. هدف اصلی هوش مصنوعی در این حوزه افزایش بهره‌وری، کاهش هدررفت انرژی، کاهش هزینه‌ها و تسهیل استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر است. با تحلیل داده‌های بزرگ و پیش‌بینی الگوهای مصرف و تولید، هوش مصنوعی می‌تواند شبکه‌های برق را هوشمندتر، سیستم‌های انرژی را پایدارتر و محیط زیست را پاک‌تر کند.

هوش مصنوعی چندین مزیت مانند بهبود کارایی، قابلیت اطمینان افزایش‌یافته، مقیاس‌پذیری و پایداری را ارائه می‌دهد. هوش مصنوعی با ایجاد راه‌حل‌های نوآورانه، نقش مهمی در بهبود بهره‌وری و مدیریت انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا می‌کند. این فناوری به مدیریت تولید و مصرف انرژی در یک محیط

هماهنگ کنند. هوش مصنوعی توزیع انرژی‌های تجدیدپذیر را بر اساس الگوهای مصرف بهینه‌سازی می‌کند و فشار روی شبکه را در دوره‌های اوج مصرف کاهش می‌دهد.

۶- هوش مصنوعی برای پیش‌بینی انرژی و جمع‌آوری داده‌ها
یک چالش همیشگی با منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد و خورشید، غیرقابل اعتماد بودن آن‌هاست. با روش جدید داده‌کاوی مبتنی بر تحقیقات جوی با هوش مصنوعی می‌توان به گزارش‌های هواشناسی با دقت و جزئیات بالاتری دسترسی داشت. هوش مصنوعی ترکیبی از داده‌های گزارش‌های ماهواره‌ای محلی، ایستگاه‌های هواشناسی و مزارع بادی در مناطق مجاور را فراهم می‌کند. هوش مصنوعی فرآیند جمع‌آوری داده‌ها در لحظه از منابع مختلف تجدیدپذیر مثل پنل‌های خورشیدی، توربین بادی و نیروگاه‌های برق را آسان می‌سازد. این فناوری با وجود سنسورها و دستگاه‌های اینترنت اشیا داده‌های پیوسته درباره تولید انرژی، شرایط آب‌وهوایی و عملکرد سیستم انرژی تجدیدپذیر را جمع‌آوری می‌کند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی داده‌های جمع‌آوری شده را در جهت پیش‌بینی خطاها در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند و با شناسایی الگوها، نیازهای سیستم به تعمیر را پیش‌بینی می‌کنند.

۷- چالش‌ها و پیامدهای اجتماعی-اقتصادی

یافته‌ها نشان می‌دهند که چالش‌های اصلی شامل هزینه‌های اولیه بالا، امنیت داده‌ها، تهدیدات سایبری و فقدان مقررات است. ترکیب فناوری‌های هوش مصنوعی و انرژی‌های تجدیدپذیر با وجود پتانسیل‌های بالای خود، با چالش‌هایی همچون کمبود داده‌های دقیق و معتبر، پیچیدگی در یکپارچه‌سازی با سیستم‌های موجود، نبود نیروی انسانی متخصص، مسائل قانونی و مقرراتی، امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها، آسیب‌پذیری در برابر تغییرات محیطی و چالش‌های اجتماعی و فرهنگی مواجه است.

از سوی دیگر، پذیرش گسترده هوش مصنوعی در سیستم انرژی تجدیدپذیر می‌تواند پیامدهای اجتماعی و اقتصادی چندوجهی از جمله ایجاد فرصت‌های شغلی جدید، تغییر نقش‌های شغلی موجود و نیازمند بازآموزی نیروی کار را به همراه داشته باشد. همچنین این فناوری می‌تواند بر دسترسی

محقق سازد؛ بلکه این فرآیند نیازمند ارتقای زیرساخت‌های فنی در صنایع مختلف است. با بهره‌گیری از ظرفیت‌های هوش مصنوعی، می‌توان این زیرساخت‌ها را به سطحی رساند که امکان مدیریت بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر و صرفه‌جویی در مصرف انرژی فراهم شود. هوش مصنوعی که به داده‌های کلان (بیگ دیتا) متصل است، با ترکیب آن با داده‌های محلی و الگوریتم‌های خودساخته، قادر است الگوهای مؤثر در مدیریت انرژی را شناسایی و اجرایی کند. پیش‌نیاز افزایش استفاده از هوش مصنوعی در سیستم انرژی، دیجیتالی شدن بخش انرژی و بهره‌گیری از داده‌های ارزشمندی است که در این صنعت وجود دارد اما هنوز مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

به‌طور کلی پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف سوخت با استفاده از هوش مصنوعی در سطح جهانی تأثیرات مثبتی در کاهش مصرف سوخت و افزایش کارایی انرژی داشته‌اند. این پروژه‌ها نه‌تنها به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری منجر شده‌اند، بلکه گامی مؤثر در جهت کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و پیشبرد اهداف پایداری به شمار می‌آیند. بهینه‌سازی مسیرهای هوایی، خودروهای خودران و بهینه‌سازی رانندگی، بهینه‌سازی مصرف سوخت در کشتی‌رانی، خودروهای متصل، صنعت پتروشیمی، شبکه‌های برق هوشمند و کشاورزی دقیق برخی از این پروژه‌ها و نوآوری‌های مرتبط است.

آینده هوش مصنوعی در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر امیدوارکننده است. پیشرفت در الگوریتم‌های هوش مصنوعی، تکنیک‌های یادگیری ماشین و قدرت محاسباتی می‌تواند به مدل‌های پیش‌بینی پیچیده‌تر، اتوماسیون پیشرفته‌تر و استقلال بیشتر سیستم منجر شود. علاوه بر این، نوآوری‌ها در ذخیره‌سازی انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی و مدیریت شبکه می‌تواند کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را متحول کند و منجر به همکاری‌های بیشتری در این زمینه شود.

پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی مواجه است که باید مورد توجه قرار گیرند. نخست، هوش مصنوعی به‌طور کلی یک علم نوپا است که هنوز در بسیاری از حوزه‌ها در حال تکامل و جهانی شدن است. در برخی زمینه‌ها، همچون صنایعی که داده‌های کاملی در اختیار داریم، هوش مصنوعی به سرعت در حال

متغیر و زمینه بازار کمک می‌کند و راه‌حلی است که باید در سطح اقتصاد خرد، برای کاهش خطر تغییرپذیری منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، با انجام تجزیه و تحلیل، پیش‌بینی، شناسایی الگوها، کاهش هزینه ذخیره‌سازی و اتصال بهتر بین شبکه‌ها و کاربران یکپارچه شود؛ بنابراین باعث ثبات، قابلیت اطمینان و اطمینان از شبکه می‌شود. بخش‌هایی که بیش از همه تحت تأثیر این فناوری قرار دارند، تجارت برق، شبکه‌بندی هوشمند، گرما و حمل‌ونقل هستند.

استفاده روزافزون از منابع انرژی تجدیدپذیر تغییر قابل‌توجهی را در بخش انرژی ایجاد کرده است. این تحول همچنین با ادغام فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی و اتوماسیون انجام شده است. جهان به‌طور فزاینده‌ای به منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی و برق‌آبی روی می‌آورد، زیرا آن‌ها پاک‌تر و پایدارتر هستند. اما ادغام این منابع در شبکه‌های انرژی ساده نیست و اینجاست که هوش مصنوعی و اتوماسیون وارد می‌شوند. بخش انرژی‌های تجدیدپذیر یک نیروی اقتصادی رو به رشد و یک استراتژی مؤثر برای بهبود پایداری زیست‌محیطی است. هوش مصنوعی در حوزه‌های کلیدی این صنعت ادغام شده و قابلیت تجزیه و تحلیل داده‌ها را افزایش می‌دهد. ماهیت متغیر آب‌وهوا چالش‌های ذاتی ایجاد می‌کند که تأمین‌کنندگان را مجبور می‌کند برای برآوردن نیازهای مصرف‌کنندگان به منابع انرژی سنتی تکیه کنند. بنابراین، یک پلت‌فرم پیش‌بینی انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند داده‌های موردنیاز ارائه‌دهندگان انرژی را برای واکنش به نوسان‌هایی که می‌تواند بر عملکرد تأثیر منفی بگذارد و بر اساس آن برنامه‌ریزی کند، ارائه دهد.

هوش مصنوعی می‌تواند به پیش‌بینی تراکم شبکه انرژی کمک کند و توصیه‌هایی در مورد چگونگی صرفه‌جویی در انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه دهد. هوش مصنوعی همچنین می‌تواند به اختراع انواع پهبادهای مفید برای بازرسی و تعمیر توربین‌های بادی کمک کند. به این ترتیب تعداد کمی از توربین‌های بادی یا آبی از کار می‌افتند و هدف صرفه‌جویی در انرژی محقق می‌شود.

با این حال، هوش مصنوعی به‌تنهایی نمی‌تواند گذار از انرژی‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر را به‌طور خودکار

نیاز به توسعه زیرساخت‌های داده‌ای در چندین سطح وجود دارد.

دوم، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (R&D) و حمایت از پروژه‌های پژوهشی مشترک بین دانشگاه‌ها و صنعت انرژی توصیه می‌شود. با سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، آموزش نیروی انسانی متخصص و ایجاد زیرساخت‌های مناسب، می‌توان چالش‌های موجود را کاهش داد و به بهره‌برداری بهینه از این فناوری‌ها رسید.

سوم، آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی متخصص در حوزه هوش مصنوعی و انرژی‌های تجدیدپذیر و بازآموزی یا ارتقای مهارت نیروی کار موجود ضروری است. پذیرش گسترده هوش مصنوعی می‌تواند به تغییر نقش‌های شغلی موجود منجر گردد و نیازمند بازآموزی یا ارتقای مهارت نیروی کار باشد.

چهارم، توسعه شبکه‌های هوشمند و ارتقاء همکاری‌های بین‌المللی در استفاده از فناوری‌های دیجیتال سبز پیشنهاد می‌شود. در پیش‌نویس نتایج نشست پارلمان COP29، مواردی مانند استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای کاهش گازهای گلخانه‌ای، طراحی زیرساخت‌های دیجیتال مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی و ترویج شمول دیجیتال برای کشورهای در حال توسعه مورد تأکید قرار گرفته است.

پنجم، توسعه سامانه‌های پیش‌بینی وضعیت آب‌وهوایی مبتنی بر هوش مصنوعی و بهبود همکاری بین بخش‌های دولتی و خصوصی در چندین سطح مورد تأکید است. هوش مصنوعی می‌تواند در شبیه‌سازی مدل‌های اقلیمی و پیش‌بینی اثرات تغییرات اقلیمی نقش بسیار مؤثری ایفا کند و داده‌های بزرگ و مدل‌های پیش‌بینی می‌توانند به تصمیم‌گیری‌های اقلیمی کمک کرده و ایران را قادر سازند تا برنامه‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی را به‌طور مؤثرتر طراحی کنند.

ششم، پیاده‌سازی هوش مصنوعی در سیستم‌های انرژی باید با رعایت استانداردهای اخلاقی و اجتماعی همسو باشد. علاوه بر این، هوش مصنوعی مدیریت حجم وسیعی از داده‌های حساس سیستم‌های انرژی را بر عهده دارد و حفاظت از داده‌ها برای اطمینان از رعایت حریم خصوصی و اقدامات امنیتی سایبری بسیار مهم است.

پیشرفت است، اما در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌دلیل دسترسی نداشتن به داده‌های گسترده و کامل مشابه دیگر صنایع، این فرآیند به زمان بیشتری نیاز دارد. هنوز زود است که بخواهیم به‌طور کامل هوش مصنوعی را با انرژی‌های تجدیدپذیر ترکیب کنیم.

دوم، ترکیب فناوری‌های هوش مصنوعی و انرژی‌های تجدیدپذیر با وجود پتانسیل‌های بالای خود، با چالش‌های متعددی مواجه است. این چالش‌ها شامل موانع فنی، اقتصادی، قانونی و اجتماعی همچون کمبود داده‌های دقیق و معتبر، چالش‌های مرتبط با پیش‌بینی تولید انرژی، هزینه‌های بالا و نیاز به سرمایه‌گذاری، پیچیدگی در یکپارچه‌سازی با سیستم‌های موجود، نبود نیروی انسانی متخصص، مسائل قانونی و مقرراتی، امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها، آسیب‌پذیری در برابر تغییرات محیطی و چالش‌های اجتماعی و فرهنگی هستند.

سوم، ادغام بی‌وقفه هوش مصنوعی در زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر باعث ایجاد چالش‌های فنی می‌شود. اطمینان از قابلیت همکاری بین سیستم‌ها و تجهیزات متنوع، ارتقاء سیستم‌های قدیمی‌تر برای یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی و مدیریت مسائل سازگاری برای یکپارچه‌سازی موفقیت‌آمیز این سیستم‌ها حیاتی است. چهارم، استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر مبتنی بر هوش مصنوعی، علاوه بر پیشرفت فناوری، نیازمند درک و پذیرش عمومی است. قابلیت اطمینان، ایمنی و پیامدهای اخلاقی هوش مصنوعی در انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی در پذیرش جامعه ایفا می‌کند. پنجم، این پژوهش به‌دلیل ماهیت مروری خود، فاقد داده‌های میدانی و تجربی مستقیم از صنعت انرژی ایران است و دسترسی محدود به برخی داده‌های فنی و عملیاتی نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر در ایران، از دیگر محدودیت‌ها محسوب می‌شود.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، پیشنهادات زیر برای مطالعات و اقدامات آینده ارائه می‌شود:

نخست، توسعه زیرساخت‌های داده‌ای و ایجاد پایگاه‌های داده جامع و یکپارچه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری است. برای بهره‌برداری بهتر از فناوری هوش مصنوعی و استفاده بهینه از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی،

شعاعی، سید محمدمهدی؛ و همکاران (۱۴۰۲). بررسی تکنیک‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر. *مطالعات انرژی‌های تجدیدپذیر*. نصرآبادیان، علیرضا؛ و ترکزاده، محمدعلی (۱۴۰۲). *استفاده از هوش مصنوعی در انرژی تجدیدپذیر*. هفدهمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در علوم برق، کامپیوتر و مهندسی پزشکی، شیروان، ایران.

<https://civilica.com/doc/1904145>

Ahmad, M., et al. (2021). Optimization of energy supply chain using artificial intelligence, machine learning and big data analytics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Ampofo, E., & Mabfam, F. (2021). Energy poverty and its multidimensional aspects. *Energy Policy*.

Bonaparte, Y. (2024). Artificial intelligence in finance: Valuations and opportunities. *Finance Research Letters*, 60, 104851.

<https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104851>
Canbulat, H., et al. (2022). Artificial intelligence and machine learning in energy systems: A review. *Energy Reports*.

Casillas, C. E., & Kamen, R. I. (2010). The energy poverty paradox. *Energy for Sustainable Development*.

Chen, X., & Wei, H. (2021). Integration of artificial intelligence with renewable energy systems: A review. *Renewable Energy*, 167, 607–624.

<https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102811>
Churchill, S. A., et al. (2022). Energy poverty and environmental degradation. *Energy Economics*.

Ding, T., Li, H., Liu, L., & Feng, K. (2024). An inquiry into the nexus between artificial intelligence and energy poverty in the light of global evidence. *Energy*

هفتم، انجام مطالعات تجربی و میدانی با استفاده از داده‌های واقعی نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر در ایران برای ارزیابی دقیق‌تر عملکرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی پیشنهاد می‌شود. همچنین بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر شاخص آسیب‌پذیری انرژی (EVI) در شرایط مختلف اقتصادی، اجتماعی و تکنولوژیکی ایران ضروری به نظر می‌رسد.

در نهایت، برای غلبه بر چالش‌های موجود، همکاری میان صنایع، دولت‌ها و ارائه‌دهندگان فناوری ضروری است تا آینده‌ای پایدار و کارآمد در حوزه انرژی تضمین شود. هوش مصنوعی، به دلیل انعطاف‌پذیری و قابلیت‌های بی‌پایان خود، در تمامی حوزه‌ها می‌تواند به انسان کمک کند و نتیجه این همکاری هوشمند، دستیابی به خروجی‌هایی با بالاترین کیفیت و کمترین اتلاف منابع خواهد بود.

ملاحظات اخلاقی: کلیه اصول اخلاق در پژوهش، همچنین امانت‌داری علمی در استفاده از منابع، استنادها و ارجاعات موردتوجه قرار گرفته و رعایت شده است.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند که تدوین و انتشار این مقاله فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

سهم نویسندگان: نگارش و تدوین مقاله به‌صورت مشترک و با مشارکت برابر تمامی نویسندگان انجام شده است.

تشکر و قدردانی: بدین‌وسیله از تمامی افرادی که در تهیه و تکمیل این مقاله همکاری و مساعدت داشته‌اند، قدردانی می‌شود.

تأمین اعتبار پژوهش: این پژوهش بدون دریافت هرگونه حمایت یا تأمین مالی انجام شده است.

فهرست منابع

حبیبی، ملیحه (۱۴۰۱). هوش مصنوعی و نقش مؤثر و با اهمیت آن در صنعت انرژی. دومین کنفرانس بین‌المللی معماری و شهرسازی: طراحی پایدار و فراگیر برای همگان، شیراز.

<https://civilica.com/doc/1629116>

- An approach-based study. *Energy Conversion and Management*, 310, 118207.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118207>
- Mikalonyte, R., & Kneer, D. (2022). Energy price fluctuations and supply disruptions. *Energy Economics*.
- Mohammadi, M., et al. (2023). A data-driven framework using artificial intelligence for optimization of a geothermal combined cycle. *Applied Thermal Engineering*.
- Rathore, P., et al. (2021). Energy management and planning in smart cities using artificial intelligence. *Sustainable Cities and Society*.
- Rao, N., et al. (2022). Energy poverty and quality of life in developing countries. *Energy Research & Social Science*.
- Shahbaaz, M., et al. (2023). Energy security and energy poverty. *Energy Policy*.
- Sinha, A., et al. (2023). Global energy inequality and sustainable development. *Energy*.
- Stojilovska, A. (2023). Energy poverty, social justice and environmental sustainability. *Energy Research & Social Science*.
- Vandyke, M., et al. (2023). Energy poverty and environmental policy. *Journal of Environmental Management*.
- Wang, S., et al. (2022). Optimization of an off-grid hybrid system based on wind, fuel cell and hydrogen storage. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Zhu, Q., & Lin, B. (2023). Global energy inequality: Trends and challenges. *Energy Economics*.
- Economics*, 136, 107748.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107748>
- Doung, H., et al. (2024). Energy vulnerability index and technological innovation. *Energy Policy*.
- Drago, C., & Gato, M. (2023). Measuring energy vulnerability: A composite indicator approach. *Energy Reports*.
- Fritha, B., et al. (2023). Deep learning models for energy storage systems optimization in renewable energy systems. *Applied Energy*.
- Ghazi Bishaw, F., Ishak, M. K., & Atyia, T. H. (2024). Artificial intelligence applications in renewable energy systems integration: A review. *Journal of Electrical Systems*, 20(3), 566–582.
<https://doi.org/10.52783/jes.2983>
- Gupta, P., Kumar, S., Singh, Y. B., Singh, P., Sharma, S. K., & Rathore, N. K. (2022). The impact of artificial intelligence on renewable energy systems. *NeuroQuantology*, 20(16), 5012–5029.
<https://doi.org/10.48047/NQ.2022.20.16.NQ880509>
- Hailemariam, E., et al. (2021). Energy access and sustainable development. *Energy Research & Social Science*.
- Konteh, A. M., et al. (2022). Time-delay neural network for hybrid energy system prediction. *Energy*.
- Lee, C. C., et al. (2023). Energy poverty and economic development. *Energy Economics*.
- Love, B., et al. (2023). Energy poverty and climate change: A global perspective. *Environmental Science & Policy*.
- Mersad, S., Noorollahi, Y., Hajinezhad, A., & Moosavian, S. F. (2024). A review of the applications of artificial intelligence in renewable energy systems:

Zhu, Q., Sun, C., Xu, C., & Geng, Q. (2024). The impact of artificial intelligence on global energy vulnerability. *Energy and AI*, 20, 100472. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2024.11.021>