



تأثیر هوش مصنوعی در رشته مهندسی برق

فاطمه عنبریان

مقاله مروری

چکیده

هوش مصنوعی در سال‌های اخیر به یکی از فناوری‌های اثرگذار بر تحول صنعت برق و مهندسی برق تبدیل شده است. افزایش پیچیدگی شبکه‌های قدرت، رشد منابع انرژی تجدیدپذیر، توسعه تجهیزات هوشمند و ضرورت بهره‌برداری بهینه، استفاده از روش‌های داده‌محور و الگوریتم‌های هوشمند را ضروری کرده است. این مقاله با تکیه بر پروژه حاضر، کاربردها و تأثیرات هوش مصنوعی را در تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، شبکه‌های هوشمند، پیش‌بینی بار، تشخیص خطا، کیفیت توان، نگهداری پیش‌بینانه، مدیریت ریزش‌ها، ذخیره انرژی و امنیت سایبری بررسی می‌کند. نتایج مرور مطالب نشان می‌دهد که هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های گسترده، شناسایی الگوهای پیچیده و پشتیبانی از تصمیم‌گیری می‌تواند موجب افزایش قابلیت اطمینان، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، بهبود کیفیت توان و افزایش بهره‌وری شود. در کنار این مزایا، کیفیت و دسترس‌پذیری داده‌ها، هزینه‌های اولیه، امنیت سایبری، تفسیرپذیری مدل‌ها و نیاز به نیروی متخصص از مهم‌ترین چالش‌های پیاده‌سازی هستند. بر این اساس، توسعه هوش مصنوعی تبیین‌پذیر، ایجاد چارچوب‌های امنیتی چندلایه و آموزش هم‌زمان سرمایه انسانی و فناوری، برای توسعه ایمن و پایدار این حوزه پیشنهاد می‌شود. [۱۱، ۶]

واژگان کلیدی: هوش مصنوعی، مهندسی برق، شبکه هوشمند، یادگیری ماشین، سیستم قدرت، تشخیص خطا،

نگهداری پیش‌بینانه

مقدمه ۱.

رشد تقاضای انرژی الکتریکی و پیچیده‌تر شدن ساختار شبکه‌های قدرت، استفاده از فناوری‌های نوین را به یک ضرورت تبدیل کرده است. در شبکه‌های مدرن، منابع تولید پراکنده، انرژی‌های تجدیدپذیر، تجهیزات اندازه‌گیری پیشرفته و مصرف‌کنندگان فعال حجم زیادی از داده تولید می‌کنند. هوش مصنوعی با استفاده از یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی، منطق فازی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، امکان تحلیل این داده‌ها و تصمیم‌گیری هوشمند را فراهم می‌کند. پروژه مبنا نیز هوش مصنوعی را در حوزه‌هایی مانند سیستم‌های قدرت، شبکه‌های هوشمند، کنترل، اتوماسیون صنعتی و الکترونیک قدرت مؤثر می‌داند.

اهمیت این فناوری فقط به حل مسائل پیچیده ریاضی محدود نیست؛ بلکه از تولید تا انتقال و توزیع برق و حتی مرحله مصرف، کاربردهای متنوعی دارد. پیش‌بینی بار، تشخیص و مکان‌یابی خطا، ارزیابی پایداری، نگهداری پیش‌بینانه و مدیریت انرژی از جمله مهم‌ترین نمونه‌ها هستند.



بیان مسئله و هدف پژوهش ۲.

سیستم‌های قدرت سنتی با افزایش تقاضا، نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر و تغییر الگوهای مصرف، با محدودیت‌های بیشتری روبه‌رو شده‌اند. مسئله اصلی این مقاله بررسی این موضوع است که هوش مصنوعی چگونه می‌تواند در طراحی، کنترل، تولید، انتقال، توزیع و نگهداری سیستم‌های الکتریکی نقش ایفا کند و چه مزایا و محدودیت‌هایی در مسیر استفاده از آن وجود دارد. هدف اصلی پروژه، بررسی نقش هوش مصنوعی در تحول مهندسی برق و شناسایی کاربردهای آن در طراحی، کنترل، تولید، بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌های الکتریکی عنوان شده است. روش این مقاله مروری است و بر پایه محتوای پروژه، ادبیات و منابع ذکر شده در همان پروژه تنظیم شده است. بنابراین، مقاله حاضر بازآرایی علمی و فشرده محتوای پروژه در قالب مقاله است، نه ادعای انجام یک آزمایش مستقل.

کاربردهای هوش مصنوعی در مهندسی برق ۳.

تولید انرژی الکتریکی [1, 2, 4, 10-3]

در بخش تولید، هوش مصنوعی برای پیش‌بینی بار، بهینه‌سازی بهره‌برداری واحدهای نیروگاهی و نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات کاربرد دارد. مدل‌های یادگیری می‌توانند با استفاده از داده‌های گذشته و لحظه‌ای، رفتار مصرف و تولید را پیش‌بینی کرده و به بهره‌برداری اقتصادی‌تر و پایدارتر کمک کنند. همچنین در منابع تجدیدپذیر، پیش‌بینی تولید خورشیدی و بادی و مدیریت عدم قطعیت این منابع از کاربردهای مهم هوش مصنوعی است. [4, 5, 7]

انتقال انرژی الکتریکی [3, 9, 11, 20-3]

شبکه انتقال به دلیل گستردگی جغرافیایی و حساسیت بالا، به پایش مستمر و واکنش سریع نیاز دارد. هوش مصنوعی می‌تواند برای تشخیص و مکان‌یابی خطا، پایش وضعیت تجهیزات، بهینه‌سازی پخش بار و ارزیابی پایداری استفاده شود. تلفیق مدل‌های و اینترنت اشیا، مسیر ایجاد شبکه‌های انتقال هوشمندتر و (PMU) واحدهای اندازه‌گیری فازوری، SCADA یادگیری ماشین با پایداری را فراهم می‌کند.

توزیع و شبکه‌های هوشمند [3, 6, 9, 30-3]

شبکه‌های توزیع با تغییرات مداوم بار، منابع تولید پراکنده و تنوع مصرف‌کنندگان مواجه‌اند. هوش مصنوعی با تحلیل بلادرنگ داده‌ها می‌تواند تصمیم‌گیری، پایش، کنترل و بهره‌برداری را بهبود دهد. در شبکه‌های هوشمند نیز پیش‌بینی مصرف و تولید، شناسایی ناهنجاری، تنظیم خودکار ولتاژ و فرکانس و بهینه‌سازی استفاده از انرژی خورشیدی و بادی از کاربردهای مهم هستند.

تشخیص خطا و بازبازی شبکه [10, 12, 40-3]

خطاهای الکتریکی در صورت تشخیص دیر هنگام می‌توانند باعث خاموشی و خسارت اقتصادی شوند. الگوریتم‌های یادگیری با تحلیل داده‌های حسگرها و تجهیزات اندازه‌گیری می‌توانند شناسایی و RNN و CNN ماشین و یادگیری عمیق مانند



طبقه‌بندی خطا را سریع‌تر کنند. در پروژه، مطالعاتی نیز گزارش شده‌اند که استفاده از مدل‌های هوشمند را برای ایجاد شبکه‌های خودترمیم و کاهش زمان بازیابی مناسب می‌دانند.

کیفیت توان [11, 6] ۳-۵

کیفیت توان به پارامترهایی مانند ولتاژ و جریان و عملکرد صحیح تجهیزات مربوط است. افزایش منابع تجدیدپذیر می‌تواند نوسان، هارمونیک و ناپایداری فرکانس ایجاد کند. روش‌های هوش مصنوعی برای تشخیص، طبقه‌بندی، پیش‌بینی و کاهش CNN-GRU اغتشاشات کیفیت توان به کار گرفته شده‌اند. پروژه نمونه‌هایی از شبکه‌های عصبی کانولوشنی و مدل‌های ترکیبی را مطرح می‌کند و بر قابلیت آن‌ها در تحلیل سیگنال‌های پیچیده و نویزی تأکید دارد. [۱۱, ۶]

نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات [7, 5, 4] ۳-۶

یکی از مهم‌ترین اثرات هوش مصنوعی در نگهداری تجهیزات الکتریکی، حرکت از تعمیرات صرفاً واکنشی به سمت نگهداری پیش‌بینانه است. حسگرها می‌توانند پارامترهایی مانند دما، لرزش و مصرف انرژی را به صورت مستمر جمع‌آوری کنند و الگوریتم‌های هوشمند با تحلیل روند این داده‌ها، احتمال خرابی را پیش از وقوع شناسایی کنند. این رویکرد می‌تواند زمان خرابی، هزینه تعمیرات و اختلال شبکه را کاهش دهد.

مدیریت مصرف، ریزشک و ذخیره انرژی [11, 6, 3] ۳-۷

هوش مصنوعی می‌تواند الگوی مصرف هر مشترک را تحلیل و پیشنهادهای متناسب برای بهینه‌سازی مصرف ارائه کند. در ریزشک‌ها نیز به دلیل تفاوت تولید در زمان‌های مختلف، تعداد زیاد منابع و ضرورت جلوگیری از هدررفت انرژی، الگوریتم‌های هوشمند می‌توانند مدیریت تولید و مصرف را دقیق‌تر کنند. همچنین مدیریت ذخیره‌سازهای انرژی و استفاده بهینه از انرژی است. AI ذخیره‌شده، یکی از زمینه‌های مهم کاربرد

امنیت سایبری و جلوگیری از سرقت برق [6, 5, 2] ۳-۸

شبکه‌های برق به عنوان زیرساخت حیاتی، در برابر تهدیدهای سایبری و تخلفات فیزیکی آسیب‌پذیر هستند. هوش مصنوعی می‌تواند با شناسایی الگوهای غیرعادی در داده‌های مصرف، به تشخیص تقلب و سرقت برق کمک کند و در بخش امنیت سایبری نیز برای شناسایی تهدیدها و ارائه هشدار سریع به کار رود. همچنین سامانه‌های امنیتی هوشمند و فنس مجازی می‌توانند برای افزایش امنیت مراکز تولید و توزیع انرژی استفاده شوند.

دوقلوهای دیجیتال و اکتشاف منابع انرژی [6, 2] ۳-۹

دوقلوهای دیجیتال نمایش‌های دیجیتالی از تجهیزات، شبکه‌ها و فرایندها هستند و می‌توانند برای شناسایی مشکلات، نگهداری و بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گیرند. ترکیب دوقلوهای دیجیتال با هوش مصنوعی و یادگیری ماشین امکان تحلیل و ارائه راهکارهای دقیق‌تر را فراهم می‌کند. همچنین در اکتشاف منابع انرژی، تحلیل تصاویر، داده‌های حسگرها و سایر اطلاعات می‌تواند به انتخاب محل مناسب برای حفاری یا احداث نیروگاه‌های خورشیدی و بادی کمک کند.



مزایای به‌کارگیری هوش مصنوعی ۴۰

- افزایش سرعت و دقت تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری.
- بهبود قابلیت اطمینان و پایداری سیستم‌های قدرت.
- پیش‌بینی خرابی و کاهش زمان ازکارافتادگی تجهیزات.
- بهینه‌سازی تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی.
- کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری.
- کمک به ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر و مدیریت ریزشکها.
- بهبود تشخیص خطا، کیفیت توان و تاب‌آوری شبکه. [۱۱، ۶]

این مزایا در جمع‌بندی پروژه نیز مورد تأکید قرار گرفته و هوش مصنوعی به عنوان یکی از ستون‌های تحول دیجیتال صنعت برق معرفی شده است.

چالش‌ها و محدودیت‌ها ۵۰

با وجود مزایای گسترده، پیاده‌سازی هوش مصنوعی در مهندسی برق بدون چالش نیست. کیفیت پایین یا ناکافی داده‌ها می‌تواند دقت مدل را کاهش دهد؛ بسیاری از شبکه‌ها هنوز زیرساخت لازم برای جمع‌آوری و تحلیل داده را ندارند؛ هزینه اولیه اجرای سامانه‌های هوشمند می‌تواند بالا باشد؛ و طراحی و بهره‌برداری از مدل‌ها به متخصصانی در حوزه برق، نرم‌افزار و داده نیاز دارد.

از سوی دیگر، تفسیرپذیری مدل‌های هوش مصنوعی، امنیت سایبری و اطمینان از عملکرد آن‌ها در شرایط بحرانی اهمیت ویژه‌ای دارد. پروژه نیز بر ضرورت ایجاد چارچوب‌های ایمن، شفاف و قابل اعتماد برای زیرساخت حیاتی برق تأکید می‌کند.

آینده هوش مصنوعی در مهندسی برق ۶۰

با توسعه اینترنت اشیا، شهرهای هوشمند، خودروهای الکتریکی، منابع تجدیدپذیر و تجهیزات اندازه‌گیری پیشرفته، نیاز به سامانه‌هایی که بتوانند در لحظه تحلیل و تصمیم‌گیری کنند بیشتر خواهد شد. پروژه پیش‌بینی می‌کند که هوش مصنوعی به بخش جدایی‌ناپذیر صنعت برق تبدیل شود و در تمام سطوح تولید، توزیع و مصرف حضور پررنگ‌تری پیدا کند. در چنین شرایطی، مهندسان برق علاوه بر دانش تخصصی برق، به مهارت‌هایی در تحلیل داده، یادگیری ماشین، برنامه‌نویسی و کار با سامانه‌های هوشمند نیاز خواهند داشت. بنابراین آینده این رشته بیشتر به سمت همکاری میان مهندسی برق، علوم کامپیوتر و تحلیل داده حرکت می‌کند.



پیشنهادهای ۷.

بر اساس بخش پیشنهادات پروژه، سه محور اصلی برای توسعه ایمن و قابل اعتماد هوش مصنوعی در صنعت برق عبارت‌اند از : نخست، ایجاد چارچوب امنیتی چندلایه و دفاع در عمق؛ دوم، توسعه هوش مصنوعی تبیین‌پذیر برای افزایش اعتماد مهندسان و اپراتورها؛ و سوم، توسعه هم‌زمان فناوری و سرمایه انسانی از طریق آموزش مستمر و حفظ توانایی کنترل دستی در شرایط اضطراری.

همچنین پیشنهاد می‌شود پروژه‌های هوش مصنوعی صنعت برق به‌صورت مرحله‌ای و با توجه به کیفیت داده، زیرساخت ارتباطی، امنیت سایبری و امکان ارزیابی عملکرد اجرا شوند.

نتیجه‌گیری ۸.

مرور مطالب نشان می‌دهد هوش مصنوعی تأثیری مستقیم و گسترده بر رشته مهندسی برق دارد و کاربرد آن از مرحله طراحی و کنترل تا تولید، انتقال، توزیع و نگهداری تجهیزات امتداد یافته است. این فناوری با تحلیل داده‌های گسترده و شناسایی الگوهای پیچیده می‌تواند پیش‌بینی بار، تشخیص خطا، مدیریت شبکه، بهینه‌سازی مصرف و نگهداری تجهیزات را بهبود دهد. در بخش توزیع نیز هوش مصنوعی با پشتیبانی از شبکه‌های هوشمند و ادغام منابع تجدیدپذیر، زمینه افزایش انعطاف‌پذیری و پایداری را فراهم می‌کند.

در مجموع، هوش مصنوعی را می‌توان یکی از فناوری‌های کلیدی آینده مهندسی برق دانست؛ با این حال، بهره‌گیری موفق از آن نیازمند داده باکیفیت، زیرساخت مناسب، امنیت سایبری، مدل‌های قابل توضیح و نیروی انسانی آموزش‌دیده است. بنابراین مسیر آینده نه حذف نقش مهندس برق، بلکه ارتقای توانایی او برای تحلیل، طراحی، کنترل و تصمیم‌گیری در سامانه‌های پیچیده و هوشمند خواهد بود.

مراجع

- [۱] آذری، حسن؛ میرابی، وحیدرضا؛ غلامزاده، داریوش (۱۴۰۴). ارائه مدل برند کارفرمایی مبتنی بر هوش مصنوعی در صنعت برق ایران.
- [۲] حیدری، علی (۱۴۰۵). هوش مصنوعی در صنعت برق قدرت: از بهینه‌سازی تا چالش‌های امنیتی حیاتی [۲].
- [۳] دهکردی، بهروز؛ موحدنژاد، مهدی؛ شریفی (۱۴۰۳). مروری جامع بر روش‌های داده‌محور در شبکه‌های هوشمند برق [۳].
- [۴] رحیمی، فائزه؛ بهرامی، فروزان (۱۴۰۴). تأثیر استفاده از هوش مصنوعی در توسعه مهندسی برق [۴].
- [۵] ستاری، سیاوش (۱۴۰۵). رویکرد هوش مصنوعی در صنعت برق [۵].
- [۶] سیفال‌الدین، امیرعلی؛ قلیزاده، محمدحسین؛ الهربی شیرازی، محمدعلی (۱۴۰۵). تحلیل یکپارچه کاربردهای پیشرفته هوش مصنوعی در سیستم‌های انرژی مدرن.
- [۷] قادری، اصغر؛ الشاری، غلامحسین (۱۴۰۱). بررسی کارایی هوش مصنوعی در حوزه مهندسی برق [۷].
- [۸] کریمی‌راد (۱۴۰۳). کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی برق [۸].
- [۹] موسوی آنچه‌پلی، سیدسعید؛ معدنکار، روزین (۱۴۰۱). بررسی نقش هوش مصنوعی در تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی.
- [10] Almasoudi, F. M. (2023). Enhancing power grid resilience through real-time fault detection and remediation using advanced hybrid machine learning models. Sustainability, 15(10), 8348.
- [11] Bose, B. K. (2017). Artificial intelligence techniques in smart grid and renewable energy systems—Some example applications. Proceedings of the IEEE, 105(11), 2262–2273.
- [12] Sun, L. et al. (2023). High performance platform to detect faults in the Smart Grid by Artificial Intelligence inference. IEEE Transactions on Smart Grid, 15(1), 504–512.