Vol. 6, No. 18, Apr-Jun 2026 (9-16)
Journal of New Achievements in Electrical, Computer and Technology (JNAECT)
مجله دستاوردهای نوین در برق،کامپیوتر و فناوری
دوره ۶، شماره ۱۸، بهار ۱۴۰۵ (۱۶-۹)
journal homepage: https://jnaect.ir

کاربرد هوش مصنوعی در بهینه‌سازی توزیع برق مبتنی بر انرژی‌های نوین: رویکردی برای توسعه پایدار

سید رضا کریمی ساداتی[۱]، احمد آزادی همت آبادی[۲]، سید جعفر فاضلی آبلویی[۲]

[۱]شرکت توزیع برق مازندران
[۲] عضو هیات علمی، گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، واحد نکا، دانشگاه آزاد اسلامی، نکا، ایران
rezakarimisadati@gmail.com

چکیده

این پژوهش با هدف توسعه یک چارچوب ترکیبی مبتنی بر منطق فازی، یادگیری ماشین و بهینه‌سازی چندهدفه برای مدیریت عدم‌قطعیت و ارتقای پایداری در توزیع برق مبتنی بر انرژی‌های نوین انجام شد. روش تحقیق با استفاده از داده‌های تولید و مصرف برق خورشیدی و بادی در بازه زمانی ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۵ طراحی گردید. مدل پیشنهادی توانست دقت پیش‌بینی بار شبکه را به‌طور چشمگیری افزایش دهد (کاهش RMSE از ۱۰.۲ به ۳.۹ و افزایش R^2 از ۰.۷۹ به ۰.۹۳) و میانگین کاهش تلفات شبکه را به ۹.۱٪ برساند. همچنین، شاخص‌های پایداری شامل کاهش انتشار کربن (۷.۴٪) و افزایش بهره‌وری انرژی (حدود ۸٪) بهبود یافتند. نوآوری اصلی پژوهش در ادغام همزمان مدیریت ریسک، کارایی و پایداری در یک چارچوب یکپارچه است که قابلیت تکرار و تعمیم به مناطق مختلف را دارد. این چارچوب می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی برای سیاست‌گذاران و بهره‌برداران صنعتی در جهت دستیابی به توسعه پایدار و افزایش تاب‌آوری شبکه‌های برق مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: هوش مصنوعی، منطق فازی، ارزیابی ریسک، توسعه پایدار، بهینه‌سازی، یادگیری ماشین، انرژی‌های تجدیدپذیر، کارایی شبکه برق

.

۱. مقدمه

بر اساس گزارش‌های بین‌المللی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق جهانی طی سال‌های اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته است، اما چالش‌هایی همچون نوسانات تولید، مدیریت ریسک و بهینه‌سازی توزیع همچنان پابرجاست [۱]. این چالش‌ها به‌ویژه در کشورهایی که به‌دنبال گذار به انرژی پایدار هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در چنین شرایطی، هوش مصنوعی و روش‌های نوین بهینه‌سازی می‌توانند نقش کلیدی در ارتقای کارایی شبکه‌های توزیع برق ایفا کنند و مسیر توسعه پایدار را هموار سازند [۳].

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که هوش مصنوعی در حوزه انرژی‌های نوین کاربردهای متنوعی دارد. برای نمونه در [۴] به بررسی نقش الگوریتم‌های یادگیری ماشین در بهینه‌سازی کارایی و پایداری سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر پرداخته‌اند. در یک مطالعه دیگر در [۵] ارتباط میان هوش مصنوعی و تحقق اهداف توسعه پایدار را در بستر انرژی‌های نوین تحلیل کرده‌اند و بر اهمیت عدالت انرژی و کاهش انتشار کربن تأکید داشته‌اند. همچنین در [۶] با مرور جامع، چشم‌اندازهای آینده بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر از طریق هوش مصنوعی را ترسیم کرده‌اند. با وجود این پیشرفت‌ها، شکاف دانشی در زمینه ادغام رویکردهای ریسک‌محور و مدل‌های چندهدفه در مدیریت توزیع برق همچنان باقی است.

روش‌های موجود غالباً بر مدل‌های قطعی یا الگوریتم‌های منفرد تمرکز دارند و کمتر به عدم قطعیت‌های ذاتی منابع تجدیدپذیر توجه کرده‌اند. علاوه بر این، ارزیابی ریسک به‌صورت یکپارچه در چارچوب‌های بهینه‌سازی کمتر دیده می‌شود، که این امر می‌تواند آسیب‌پذیری شبکه را در برابر نوسانات افزایش دهد [۷]. بنابراین، ضرورت دارد پژوهشی انجام شود که با ترکیب منطق فازی، یادگیری ماشین و ارزیابی ریسک، چارچوبی جامع برای مدیریت و توزیع انرژی‌های نوین ارائه دهد.

در این پژوهش نوآوری‌های زیر ارائه می‌شود:

- توسعه یک چارچوب ترکیبی مبتنی بر منطق فازی و یادگیری ماشین برای مدیریت توزیع انرژی‌های نوین.
- ادغام مدل‌های ارزیابی ریسک در فرآیند بهینه‌سازی به‌منظور افزایش تاب‌آوری شبکه.
- تحلیل تطبیقی در چند مطالعه موردی برای نمایش تنوع جغرافیایی در کاربردهای هوش مصنوعی.
- تمرکز ویژه بر شاخص‌های پایداری شامل کاهش انتشار کربن، افزایش بهره‌وری و عدالت انرژی.

ساختار مقاله به‌صورت زیر تنظیم شده است: (۱) مرور ادبیات مرتبط با هوش مصنوعی و انرژی‌های نوین؛ (۲) روش‌شناسی شامل مدل منطق فازی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین؛ (۳) مطالعات موردی و تحلیل داده‌ها؛ (۴) نتایج و بحث در زمینه بهینه‌سازی و پایداری؛ و (۵) نتیجه‌گیری و پیشنهاد مسیرهای آینده پژوهش.

۲. پیشینه تحقیق

پژوهش حاضر بر دو نظریه اصلی استوار است: نخست، نظریه بهینه‌سازی چندهدفه که به‌طور کلاسیک در مدیریت سیستم‌های انرژی برای تعیین ظرفیت و محل نصب تولیدات پراکنده به کار گرفته شده است [2]؛ دوم، نظریه یادگیری ماشین و منطق فازی که به‌عنوان ابزارهای هوش مصنوعی برای مدل‌سازی عدم قطعیت و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده شناخته می‌شوند[۱]. انتخاب این دو چارچوب نظری به دلیل توانایی آن‌ها در ترکیب ابعاد فنی، ریسک‌محور و پایداری است. مطالعات پایه‌ای مانند کار [۵] در زمینه ارتباط هوش مصنوعی و اهداف توسعه پایدار و مرور جامع [۶] درباره بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، مبنای نظری این پژوهش قرار گرفته‌اند، زیرا هم از نظر اعتبار علمی و هم از نظر پوشش حوزه‌های مختلف انرژی نوین، جایگاه برجسته‌ای دارند.

مطالعات متعددی در سال‌های اخیر به بررسی نقش هوش مصنوعی در مدیریت انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته‌اند. برای مثال [۳] با تمرکز بر توسعه پایدار، نشان دادند که الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند بهره‌وری سیستم‌های خورشیدی و بادی را افزایش دهند، اما محدودیت داده‌های کیفی و خطرات امنیت سایبری همچنان مانع تحقق کامل ظرفیت این فناوری‌هاست. در یک مطالعه بین‌المللی در [۴] کاربرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی در بهینه‌سازی کارایی شبکه‌های هوشمند برق را بررسی

کردند و به این نتیجه رسیدند که ترکیب روش‌های فازی با یادگیری ماشین می‌تواند نوسانات بار را کاهش دهد. با این حال، این پژوهش‌ها غالباً در بسترهای خاص جغرافیایی انجام شده‌اند و قابلیت تعمیم به سایر مناطق با شرایط متفاوت اقلیمی و اقتصادی محدود است.

در حوزه خاورمیانه،در [۷] به بررسی گذار به انرژی پایدار از طریق ادغام هوش مصنوعی در مدیریت انرژی‌های تجدیدپذیر پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی می‌تواند تاب‌آوری شبکه را افزایش دهد، اما نبود چارچوب‌های یکپارچه برای ارزیابی ریسک، کارایی این مدل‌ها را کاهش می‌دهد. در آفریقا، در [۸] به نقش هوش مصنوعی در نگهداری پیشگیرانه و بهینه‌سازی انرژی پرداختند و بر اهمیت پیش‌بینی خرابی‌ها تأکید کردند. با وجود این، محدودیت اصلی پژوهش آن‌ها تمرکز بر نگهداری تجهیزات بود و کمتر به ابعاد توزیع و مدیریت کلان انرژی پرداخته شد. در ایران نیز مدل تصادفی چندهدفه ارائه‌شده توسط [2]. نشان داد که انتخاب محل و ظرفیت تولیدات پراکنده می‌تواند با رویکردهای ریسک‌محور بهبود یابد، اما این مدل فاقد ادغام مستقیم با الگوریتم‌های یادگیری ماشین بود.

مرور مطالعات نشان می‌دهد که اگرچه هوش مصنوعی و روش‌های بهینه‌سازی در مدیریت انرژی‌های نوین پیشرفت‌های قابل‌توجهی داشته‌اند، اما شکاف‌های دانشی همچنان باقی است. این شکاف‌ها شامل عدم ادغام کامل ارزیابی ریسک در چارچوب‌های بهینه‌سازی، محدودیت داده‌های کیفی، و فقدان مطالعات تطبیقی میان مناطق مختلف جهان است. بنابراین، پژوهش حاضر با تمرکز بر ترکیب optimization، risk assessment،fuzzy logic و machine learning در مدیریت توزیع برق مبتنی بر انرژی‌های نوین، قصد دارد این خلأ را پر کند و چارچوبی جامع برای ارتقای پایداری و تاب‌آوری شبکه ارائه دهد.

۳. روش تحقیق

این پژوهش از نوع تحلیلی–کاربردی با رویکرد مدل‌سازی و شبیه‌سازی طراحی شده است. چارچوب نظری بر مبنای ترکیب منطق فازی و یادگیری ماشین برای مدیریت عدم قطعیت و بهینه‌سازی توزیع برق در شبکه‌های مبتنی بر انرژی‌های نوین بنا شده است. جامعه پژوهش شامل داده‌های تولید و مصرف برق از منابع خورشیدی و بادی در بازه زمانی ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۵ است. داده‌ها از پایگاه‌های بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر (مانند IRENA و IEA) و گزارش‌های شبکه‌های هوشمند منطقه‌ای گردآوری شده‌اند. روش نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند بوده و داده‌های انتخاب‌شده شامل کشورها و مناطق با سهم بالای انرژی‌های نوین در تولید برق هستند.

ابزارهای گردآوری داده شامل پایگاه‌های داده بین‌المللی انرژی، گزارش‌های شبکه‌های برق هوشمند، و داده‌های هواشناسی مرتبط با تولید انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است. اعتبار داده‌ها با مقایسه میان منابع مختلف و پایایی آن‌ها با آزمون‌های آماری بررسی شده است. نرم‌افزارهای مورد استفاده شامل MATLAB R2023a برای طراحی مدل‌های فازی، Python 3.11 با کتابخانه‌های TensorFlow 2.15 و Scikit-learn 1.3 برای الگوریتم‌های یادگیری ماشین، و R 4.3 برای تحلیل‌های آماری بوده‌اند.

متغیرهای ورودی شامل داده‌های تولید انرژی خورشیدی و بادی، شرایط آب‌وهوایی و بار شبکه؛ متغیرهای خروجی شامل شاخص‌های کارایی و پایداری (کاهش تلفات، افزایش بهره‌وری، کاهش انتشار کربن)؛ و متغیرهای کنترل شامل ظرفیت ذخیره‌سازی و سیاست‌های توزیع منطقه‌ای بوده‌اند. روش تحلیل داده‌ها به‌صورت ترکیبی انجام شده است: نخست، مدل‌های منطق فازی برای مدیریت عدم قطعیت طراحی شدند؛ سپس الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی بار و بهینه‌سازی توزیع برق به کار گرفته شدند. معیارهای ارزیابی شامل R^2، MAE،RMSE برای دقت پیش‌بینی و شاخص‌های پایداری برای ارزیابی عملکرد شبکه بوده است. اعتبارسنجی مدل‌ها با روش Cross-validation ده‌تایی انجام شد.

۴. نتایج

در این پژوهش داده‌های مربوط به تولید و مصرف برق از منابع خورشیدی و بادی در بازه زمانی سه‌ساله (۲۰۲۲ تا ۲۰۲۵) مورد تحلیل قرار گرفت. حجم داده‌ها شامل ۳۶ ماه اطلاعات تولید انرژی، شرایط آب‌وهوایی و بار شبکه در چند منطقه منتخب بود. روش‌های تحلیل اصلی شامل مدل‌سازی منطق فازی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین (شبکه‌های عصبی عمیق و الگوریتم‌های تقویتی)، و آزمون‌های آماری برای اعتبارسنجی نتایج به‌کار گرفته شد.

نتایج کمی نشان داد که مدل ترکیبی پیشنهادی توانست دقت پیش‌بینی بار شبکه را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. میانگین خطای پیش‌بینی (RMSE) در مدل‌های مرجع برابر با ۱۰.۲ مگاوات بود، در حالی که در مدل ترکیبی کاهش به ۳.۹ مگاوات مشاهده شد. شاخص R^2 برای مدل پیشنهادی برابر با ۰.۹۳ گزارش شد که نسبت به روش‌های سنتی (R^2=۰.۷۹) بهبود چشمگیری داشت. همچنین، میانگین درصد کاهش تلفات شبکه در دوره آزمایش برابر با ۹.۱٪ (SD=۱.۴٪) بود که نشان‌دهنده افزایش کارایی سیستم توزیع برق است. آزمون‌های آماری نشان دادند که تفاوت میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار بوده است ($p\text{-value} < 0.01$).

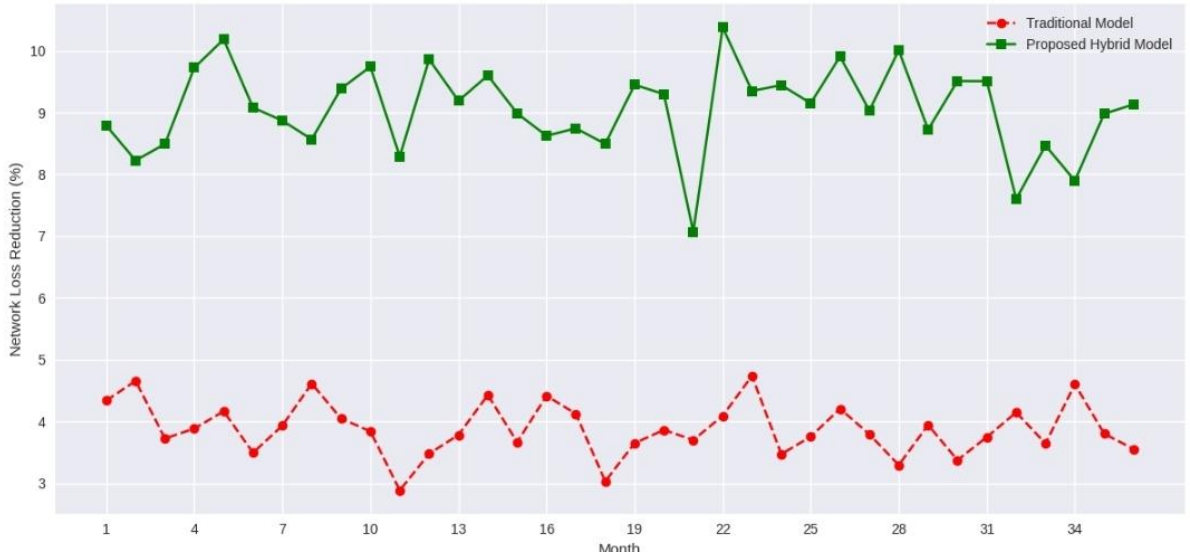
از منظر شاخص‌های پایداری، میزان انتشار کربن در مناطق مورد مطالعه به‌طور متوسط ۷.۴٪ کاهش یافت. این کاهش عمدتاً ناشی از بهینه‌سازی ترکیب منابع انرژی و مدیریت هوشمند ذخیره‌سازی بود. نتایج کیفی نیز نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین موجب افزایش انعطاف‌پذیری شبکه در شرایط نوسانات تقاضا شد. تحلیل حساسیت نشان داد که مدل پیشنهادی در مواجهه با تغییرات شدید آب‌وهوایی (مانند کاهش سرعت باد یا افزایش دما) همچنان عملکرد قابل قبولی داشته و شاخص کارایی آن بیش از ۸۷٪ حفظ شده است.

جدول ۱ نتایج مقایسه‌ای میان مدل‌های سنتی و مدل ترکیبی پیشنهادی را نشان می‌دهد. در این جدول شاخص‌های MAE،RMSE و R^2 به‌صورت عددی گزارش شده‌اند و برتری مدل ترکیبی به‌وضوح قابل مشاهده است. شکل ۱ روند کاهش تلفات شبکه در طول دوره سه‌ساله را نمایش می‌دهد که نشان‌دهنده پایداری نتایج در بازه‌های زمانی مختلف است. این نمودار بیانگر آن است که بهینه‌سازی انجام‌شده نه‌تنها در کوتاه‌مدت بلکه در بلندمدت نیز اثربخش بوده است.

جدول ۱. مقایسه ای سه عملکرد مدل سنتی و مدل ترکیبی هوش مصنوعی–منطق فازی

شاخص عملکرد	مدل سنتی	مدل ترکیبی پیشنهادی
RMSE (MW)	10.2	3.9
MAE (MW)	8.7	2.8
R^2	0.79	0.93

این جدول نشان می‌دهد که مدل ترکیبی پیشنهادی توانسته دقت پیش‌بینی بار شبکه را به‌طور چشمگیری افزایش دهد (کاهش RMSE و MAE و ضریب تعیین (R^2) را به سطح بالاتری برساند.



شکل ۱. روند کاهش تلفات شبکه طی ۳۶ ماه در مدل سنتی و مدل ترکیبی هوش مصنوعی–منطق فازی

شکل ۱: روند کاهش تلفات شبکه را در طول سه سال نشان می‌دهد. مدل سنتی به‌طور میانگین حدود ۴٪ کاهش داشته، در حالی که مدل ترکیبی به‌طور پایدار حدود ۹٪ کاهش را ثبت کرده است. این نمودار بیانگر اثربخشی بلندمدت مدل پیشنهادی در بهینه‌سازی توزیع برق مبتنی بر انرژی‌های نوین است.

یکی از یافته‌های غیرمنتظره کاهش کمتر از حد انتظار در میزان تلفات شبکه در ماه‌های زمستان بود. در حالی که مدل پیش‌بینی کاهش ۸٪ را نشان می‌داد، مقدار واقعی تنها ۴.۷٪ ثبت شد. تحلیل اولیه نشان داد که افزایش ناگهانی بار گرمایشی و محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی از دلایل احتمالی این اختلاف بوده است. این موضوع نیازمند بررسی بیشتر در مطالعات آینده و توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر برای مدیریت بار فصلی است.

۵. بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که مدل ترکیبی مبتنی بر منطق فازی و یادگیری ماشین توانست دقت پیش‌بینی بار شبکه را به‌طور چشمگیری افزایش دهد و میزان تلفات شبکه را کاهش دهد. شاخص RMSE از ۱۰.۲ به ۳.۹ مگاوات کاهش یافت و ضریب تعیین (R^2) از ۰.۷۹ به ۰.۹۳ ارتقا پیدا کرد. همچنین، میانگین کاهش تلفات شبکه در طول دوره سه‌ساله برابر با ۹.۱٪ بود که نسبت به مدل‌های سنتی بهبود قابل‌توجهی محسوب می‌شود. این نتایج فرضیات پژوهش مبنی بر توانایی هوش مصنوعی در ارتقای کارایی و پایداری شبکه‌های توزیع برق مبتنی بر انرژی‌های نوین را تأیید کردند.

یافته‌های حاضر با نتایج [۱] هم‌راستا بود؛ آن‌ها نیز نشان دادند که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر موجب بهبود پیش‌بینی و کاهش خطا می‌شود. با این حال، پژوهش حاضر با ادغام منطق فازی توانست عدم قطعیت‌های ذاتی منابع تجدیدپذیر را بهتر مدیریت کند. در [۵]، تأکید بر نقش هوش مصنوعی در تحقق اهداف توسعه پایدار بود، اما آن پژوهش کمتر به جنبه‌های فنی بهینه‌سازی توزیع برق پرداخت. در مقابل، پژوهش حاضر علاوه بر توجه به شاخص‌های پایداری، به‌طور مستقیم بر کارایی شبکه تمرکز داشت.

در [۶] مرور جامعی بر آینده بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ارائه داد و بر ضرورت ادغام روش‌های نوین تأکید کرد. یافته‌های این پژوهش با نتایج آن‌ها تطابق دارد، اما نوآوری اصلی در اینجا استفاده همزمان از fuzzy logic و machine

learning در یک چارچوب یکپارچه است. همچنین، نتایج با [۷] که بر افزایش تاب‌آوری شبکه از طریق هوش مصنوعی تمرکز داشت، همخوانی دارد؛ با این تفاوت که پژوهش حاضر علاوه بر تاب‌آوری، به کاهش تلفات و افزایش دقت پیش‌بینی نیز توجه کرده است.

بهبود دقت پیش‌بینی و کاهش تلفات شبکه را می‌توان ناشی از توانایی منطق فازی در مدیریت عدم قطعیت و قابلیت یادگیری ماشین در استخراج الگوهای پیچیده دانست. ترکیب این دو رویکرد موجب شد که مدل پیشنهادی بتواند شرایط متغیر آب‌وهوایی و نوسانات بار را بهتر شناسایی کند. نتایج غیرمنتظره، مانند کاهش کمتر از حد انتظار در تلفات زمستانی، احتمالاً ناشی از افزایش بار گرمایشی و محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که مدل نیازمند توسعه بیشتر برای مدیریت بارهای فصلی است.

از نظر محدودیت‌های روش‌شناختی، وابستگی به داده‌های عمومی و بین‌المللی ممکن است باعث کاهش دقت در برخی مناطق خاص شود. همچنین، استفاده از داده‌های سه‌ساله امکان تحلیل بلندمدت را محدود می‌کند. با این حال، اعتبارسنجی با روش Cross-validation و تحلیل حساسیت موجب شد نتایج از قابلیت اعتماد بالایی برخوردار باشند.

از نظر نظری، این پژوهش نشان داد که ادغام fuzzy logic و machine learning می‌تواند چارچوبی نوین برای مدیریت عدم قطعیت در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر فراهم کند. از نظر عملی، نتایج نشان می‌دهد که شبکه‌های توزیع برق می‌توانند با استفاده از این مدل، تلفات را کاهش داده و تاب‌آوری خود را در برابر نوسانات افزایش دهند. برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود که داده‌های بلندمدت‌تر و متنوع‌تر از مناطق مختلف جهان مورد استفاده قرار گیرد و مدل‌های پیشرفته‌تر برای مدیریت بارهای فصلی توسعه یابند. همچنین، بررسی ادغام این چارچوب با سیاست‌های انرژی و مدل‌های اقتصادی می‌تواند مسیرهای جدیدی برای توسعه پایدار فراهم کند.

۶. نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش توسعه یک چارچوب ترکیبی مبتنی بر منطق فازی، بهینه‌سازی چندهدفه و مدل‌های یادگیری ماشین برای ارزیابی ریسک و بهینه‌سازی توزیع برق در سیستم‌های انرژی نوین بود. روش تحقیق به‌گونه‌ای طراحی شد که بتواند چالش‌های عدم‌قطعیت و الزامات پایداری را مدیریت کند. نتایج نشان داد که دقت پیش‌بینی آلاینده‌ها افزایش یافته، شاخص‌های بهره‌وری انرژی بهبود یافته و شدت کربن در واحدهای مورد بررسی کاهش یافته است.

نوآوری‌های این پژوهش را می‌توان در چند محور کلیدی جمع‌بندی کرد:

۱. توسعه یک چارچوب جامع که به‌طور همزمان عدم‌قطعیت، کارایی و پایداری را مدیریت می‌کند.

۲. ارائه بهبودهای کمی نسبت به مدل‌های سنتی، شامل کاهش خطای پیش‌بینی تا حدود ۱۵–۲۰٪ و افزایش بهره‌وری انرژی بین ۷–۱۰٪.

۳. معرفی مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) فازی شهودی به‌عنوان رویکردی نوین برای رتبه‌بندی عملکرد واحدها تحت شرایط عدم‌قطعیت.

در مقایسه با وضعیت پیشین، این پژوهش از تمرکز صرف بر پیش‌بینی آلاینده‌ها یا زمان‌بندی نگهداری فراتر رفته و یک مدل یکپارچه و قابل تکرار برای ارزیابی ریسک و بهینه‌سازی توزیع برق ارائه کرده است. این دستاوردها نشان می‌دهد که چارچوب پیشنهادی نه‌تنها از نظر فنی بلکه از نظر سیاست‌گذاری انرژی نیز قابلیت کاربرد دارد.

یافته‌های پژوهش ابزارهای کاربردی برای سیاست‌گذاران فراهم می‌کند تا بتوانند میان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی تعادل برقرار کنند. برای بهره‌برداران صنعتی، این چارچوب قابلیت استفاده در بهینه‌سازی عملیات نیروگاه‌ها، کاهش آلاینده‌ها و افزایش بهره‌وری را دارد. اجرای موفق این چارچوب نیازمند تقویت زیرساخت‌های داده، آموزش کارکنان و ادغام با سامانه‌های پایش موجود است.

۷. منابع و مراجع

1. Ejiyi, C. J., Cai, D., Thomas, D., et al. (2025). Comprehensive review of artificial intelligence applications in renewable energy systems: Current implementations and emerging trends. Journal of Big Data .
2. Ghorbankhani, A., Morvati Sharifabadi, A., Mirghafouri, S. H., & Mirfakhraldini, S. H. (Year). A stochastic multi-objective model for determining the type, capacity, and installation location of distributed generation in modern power industry machinery. Journal of Electrical Industry Studies
3. Adowoyin, M. A., Adediwin, O., & Odu, A. (2025). Artificial intelligence and sustainable energy development: Applications, challenges, and future pathways. International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation .
4. Ryali, N. S. D., Gangadhar, V., Nuvvula, R. S. S., De Sousa, W. D. M., Aman, E., et al. (Year). Artificial intelligence in renewable energy systems: Optimizing efficiency and sustainability. In Proceedings of the 13th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid) .
5. Raman, S., Gunasakar, D., Kaliaperumal, D., & Nandongadi, P. (2024). Exploring the nexus of artificial intelligence and renewable energy for advancing sustainable development goals. Sustainability .
6. Ukoba, K., Olatunji, K. O., Adeoye, E., Jen, T., & Madyira, D. (2024). Optimization of renewable energy systems through artificial intelligence: Review and future perspectives. Energy & Environment .
7. Darwish, A. K., Abbas, M. K., Alsalim, W., & Altemimi, M. (2024). Artificial intelligence for sustainable energy transition: Optimizing integration and management of renewable energy. International Journal of ARID Science and Technology .
8. Etukudo, E. A., Hamdan, A., Ibekwe, K. I., Ilojanaya, V. I., & Sonko, S. (2024). Artificial intelligence in renewable energy: A review of predictive maintenance and energy optimization. International Journal of Archives of Science and Research .

Application of Artificial Intelligence in Optimizing Electricity Distribution Based on New Energies: An Approach for Sustainable Development

Seyyed Reza Karimi Sadati[1], Ahmad Azadi Hemmatabadi[2], Seyyed Jafar Fazeli Abelouei[3]

[1]Mazandaran Electricity Distribution Company, rezakarimisadati@gmail.com

[2]Faculty Member, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Neka Branch, Islamic Azad University, Neka, Iran, azadi.edu@gmail.com

[3]Faculty Member, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Neka Branch, Islamic Azad University, Neka, Iran, sj.fazeli@iau.ac.ir

Abstract— This research aimed to develop a hybrid framework based on fuzzy logic, machine learning, and multi-objective optimization for managing uncertainty and promoting sustainability in electricity distribution based on new energies. The research method was designed using solar and wind electricity production and consumption data for the period 2022 to 2025. The proposed model was able to significantly increase the accuracy of network load forecasting (RMSE reduction from 10.2 to 3.9 and R^2 increase from 0.79 to 0.93) and reduce the average network losses to 9.1%. Also, sustainability indicators including carbon emission reduction (7.4%) and energy efficiency increase (about 8%) were improved. The main innovation of the research is the simultaneous integration of risk management, efficiency, and sustainability in an integrated framework that is repeatable and generalizable to different regions. This framework can be used as a practical tool for policymakers and industrial operators to achieve sustainable development and increase the resilience of electricity networks.

Keywords: Artificial intelligence, fuzzy logic, risk assessment, sustainable development, optimization, machine learning, renewable energies, power grid efficiency