



# انقلاب سبز با هوش مصنوعی برای مقابله با تغییرات اقلیمی

## ثریا رستمی

پژوهشگر، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو

## سارا جوکار

پژوهشگر پاره‌وقت، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو

## چکیده

باور به قدرت تحول‌آفرین هوش مصنوعی و فناوری‌های دیجیتال، می‌تواند زیربنایی برای مقابله با تغییرات اقلیمی و پیشبرد پایداری محیط زیست به شمار رود. در دنیای امروز، با افزایش تقاضای جهانی انرژی، این فناوری‌ها به‌عنوان ابزارهای اساسی، نقشی کلیدی در مدیریت هوشمند منابع انرژی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی ایفا می‌کنند. این پژوهش با هدف بررسی کاربردهای نوآورانه هوش مصنوعی و فناوری‌های مرتبط در حوزه انرژی و توسعه پایدار، تلاش می‌کند تا افق‌های تازه‌ای برای بهره‌برداری از این فناوری‌ها در کاهش انتشار کربن و بهینه‌سازی مصرف انرژی، خصوصاً تجدیدپذیرها، در کشور ترسیم کند. در این راستا، این پژوهش بر فناوری‌های نوآورانه‌ای چون هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، واقعیت مجازی و افزوده، رایانش ابری، تحلیل کلان‌داده، بلاک‌چین و سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند با رویکرد کاربرد در حوزه انرژی تجدیدپذیر متمرکز است که با بهینه‌سازی مصرف انرژی و مدیریت هوشمند شبکه‌های تجدیدپذیر، کاهش هزینه‌ها و چالش‌های اجرایی در تسریع گذار به منابع انرژی پایدار را در بر دارند. همچنین معرفی استارت‌آپ‌های پیشرو و چشم‌انداز آینده انرژی‌های تجدیدپذیر و مسیرهای نوآورانه با هدف بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید انرژی جهانی و مقابله با تغییرات اقلیمی از دیگر مباحث این مقاله است. به نظر می‌رسد لازم است همکاری‌های بین‌المللی و سرمایه‌گذاری در این حوزه‌ها به‌عنوان عوامل کلیدی موفقیت در مقابله با تغییرات اقلیمی مدنظر قرار گیرند.

**واژگان کلیدی:** فناوری‌های نوظهور، هوش مصنوعی، پایداری زیست‌محیطی، انرژی‌های تجدیدپذیر.

## مقدمه

تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از جدی ترین چالش های جهانی، ضرورت بازنگری اساسی در استفاده از منابع انرژی را آشکار ساخته است. باهدف جلوگیری از افزایش دمای کره زمین در حدود ۱/۵ درجه سانتی گراد، جامعه بین المللی باید گذار سریع به سمت انرژی های تجدیدپذیر را در اولویت قرار دهد. دستیابی به این هدف تا سال ۲۰۵۰ نیازمند افزایش سهم برق در انرژی نهایی مصرفی به ۵۱ درصد و برقی سازی هوشمند در بخش هایی مانند حمل و نقل، گرمایش، سرمایش و صنعت است (Arina, 2023). دبیرکل سازمان ملل، آنتونیو گوترش، تأکید دارد که تبدیل انرژی های تجدیدپذیر به کالایی عمومی و در دسترس همگان، گامی ضروری برای دستیابی به پایداری زیست محیطی است (United Nations, 2022).

در این میان، شرکت های پیشرو همچون زیمنس گمسا و گلدویند چین، با هدف گذاری بلندمدت برای کاهش انتشار کربن، استفاده از اقتصاد دایره ای و افزایش قابلیت بازیافت محصولات، نمونه هایی از تعهد بخش خصوصی به پایداری زیست محیطی هستند (Liu et al., 2021). در همین راستا، «سیستم تجارت انتشار گازهای گلخانه ای اتحادیه اروپا»<sup>۱</sup>، با تعیین سقف انتشار و ارائه مجوزهای لازم، انگیزه های اقتصادی مناسب را برای صنایع و نیروگاه ها جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه ای فراهم می کند و ابزاری مؤثر برای دستیابی به اهداف کربن زدایی به شمار می آید (Meadows et al., 2019).

با این حال، افزایش تقاضای جهانی انرژی که انتظار می رود تا سال ۲۰۵۰ حدود ۵۰ درصد افزایش یابد، چالشی جدی برای زیرساخت های انرژی کنونی است (شکل ۱). این افزایش عمدتاً ناشی از توسعه صنعتی و رشد جمعیتی در اقتصادهای نوظهور است و کشورهای غیر عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی<sup>۲</sup> به دلیل توسعه زیرساخت ها و مراکز شهری، بیشترین سهم از این افزایش را خواهند داشت (EIA, 2021). بدون بهره گیری از ابزارهای دیجیتالی برای بهینه سازی تولید و توزیع انرژی، پاسخگویی به این تقاضا به ایجاد فشار بر زیرساخت ها منجر خواهد شد.

فناوری های نوین و هوش مصنوعی<sup>۳</sup> به عنوان راه حلی مؤثر در مدیریت و بهینه سازی منابع انرژی، نقش برجسته ای در تسریع گذار به سمت انرژی های پایدار دارند. هوش مصنوعی با تحلیل داده های گسترده و پیش بینی دقیق تقاضا و عرضه انرژی، به کاهش هدررفت منابع، بهبود بهره وری شبکه های برق و ادغام مؤثر منابع تجدیدپذیر کمک می کند. برای نمونه، سیستم های مدیریت منابع انرژی توزیع شده<sup>۴</sup> با استفاده از هوش مصنوعی، پایداری شبکه و یکپارچگی منابع انرژی خورشیدی و بادی را تضمین کرده و از قطعی های گسترده جلوگیری می کنند. همچنین، الگوریتم های یادگیری ماشین با پیش بینی دقیق تغییرات تقاضای انرژی، از فشار بر زیرساخت های شبکه جلوگیری کرده و هزینه های عملیاتی را کاهش می دهند. هوش مصنوعی همچنین نقش مهمی در کاهش انتشار کربن ایفا می کند. سیستم های هوشمند با تحلیل داده های لحظه ای و تاریخی، ناکارآمدی ها را شناسایی کرده و راهکارهایی برای کاهش انتشار پیشنهاد می دهند. علاوه بر فناوری های پیشرفته، قوانین زیست محیطی سخت گیرانه تری نیز برای مقابله با تغییرات اقلیمی در حال اجرا هستند. به عنوان مثال، در اروپا، تا سال ۲۰۳۰ باید ۴۰ درصد انرژی مورد نیاز از منابع پایدار تأمین شود (European Union, 2023). برای دستیابی به این هدف، ابزارهایی مانند حسگرهای مبتنی بر اینترنت اشیا<sup>۵</sup> و فناوری بلاک چین برای پایش انتشار کربن ضروری است. پیش بینی می شود تا سال ۲۰۵۰، منابع تجدیدپذیری مانند باد و خورشید نیمی از برق جهان را تولید کنند (Levitskiy, 2024). اما برای اطمینان از کارایی و قابلیت اطمینان این منابع، راه حل هایی مانند پیش بینی تقاضای مبتنی بر هوش مصنوعی و شبکه های هوشمند مجهز به اینترنت اشیا ضروری خواهد بود. در نهایت، رقابت در بازارهای انرژی شرکت ها را به سمت نوآوری سوق داده است. شرکت هایی

<sup>1</sup> EU Emissions Trading System

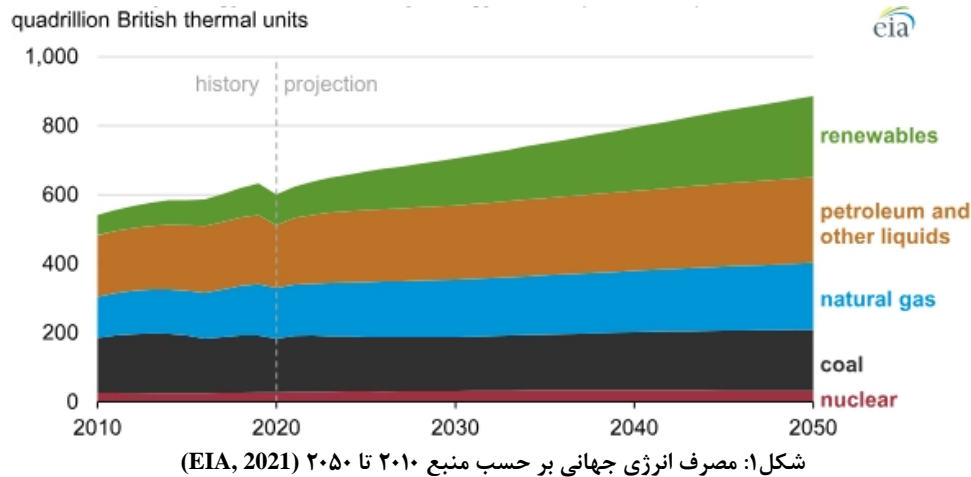
<sup>2</sup> Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

<sup>3</sup> Artificial intelligence (AI)

<sup>4</sup> Distributed Energy Resource Management Systems (DERMS)

<sup>5</sup> Internet of Things (IoT)

که از فناوری‌های دیجیتال بهره‌برداری کرده‌اند، کاهش قابل توجه ۲۰ تا ۳۰ درصدی در هزینه‌ها و افزایش سرعت ارائه خدمات گزارش کرده‌اند (Booth, 2020). این در حالی است که شرکت‌های سنتی ممکن است سهم بازار خود را به رقبا واگذار کنند. در ادامه مقاله، تلاش می‌شود مرور موثری بر برخی فناوری‌های نوظهور و شناخت آثار این پیشرفت‌ها در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر برای استقرار موفق‌تر این سیستم‌ها و یکپارچه‌سازی آن‌ها با هدف افزایش راندمان، کنترل چالش‌ها و در نهایت کاهش انتشار کربن و مقابله با تغییرات اقلیمی صورت گیرد.



### بررسی فناوری‌های نوظهور و آثار راهبردی آن‌ها

در سال‌های اخیر، تحولات استراتژیک در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر بر محورهای کلیدی همچون هوش مصنوعی، ذخیره‌سازی انرژی، اقتصاد پایدار، بازار برق هوشمند، حمل‌ونقل پاک و سیستم‌های هیبرید متمرکز بوده است. این روند با هدف بهبود بهره‌وری و پایداری انرژی در سال‌های آینده نیز ادامه خواهد یافت. هوش مصنوعی از طریق بهینه‌سازی و پیش‌بینی مصرف انرژی و بازار برق هوشمند با ایجاد شبکه‌های قابل پیش‌بینی و کنترل، نقش مهمی در مدیریت عرضه و تقاضا ایفا می‌کند (Bishaw, 2024). از سوی دیگر، افزایش تقاضای جهانی برای کربن‌زدایی منجر به گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد و خورشید شده است. با این حال، این منابع به دلیل وابستگی به شرایط آب‌وهوایی و ناپایداری ذاتی، با چالش‌هایی مواجه هستند که ضرورت توسعه فناوری‌های هیبریدی، پلتفرم‌های پیش‌بینی وضعیت جوی و راهکارهای ذخیره‌سازی و انتقال انرژی را دوچندان می‌کند (Arina, 2023). علاوه بر این، استفاده از حسگرهای اینترنت اشیا و فناوری بلاکچین برای پایش انتشار کربن و ارتقای شفافیت در معاملات انرژی، اهمیت فزاینده‌ای یافته است.

فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تقویت استقلال انرژی و صرفه‌جویی اقتصادی بلندمدت، کشورها را در کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش اثرات کربنی یاری می‌دهند. افزون بر این، تنوع‌بخشی به منابع انرژی باعث کاهش ریسک‌های ژئوپلیتیکی نیز می‌شود (Bishaw, 2024). با این حال، چالش‌هایی نظیر هزینه‌های اولیه بالا و نیاز به زیرساخت‌های مدرن و نوسان‌پذیری به‌ویژه در حوزه انرژی‌های خورشیدی و بادی که به شرایط جوی وابسته هستند و نیازمند سیستم‌های ذخیره‌سازی کارآمد می‌باشند، همچنان موانعی در مسیر توسعه آن‌ها به شمار می‌روند. با پیشرفت‌های جدید، این چالش‌ها قابل کنترل می‌شوند و از بروز اختلالات در شبکه‌های انرژی جلوگیری می‌کنند (Rinku and Singh, 2023).

در ادامه به بررسی فناوری‌های نوظهوری پرداخته می‌شود که به بهینه‌سازی و مدیریت انرژی‌های تجدیدپذیر کمک می‌کنند؛ فناوری‌هایی همچون هوش مصنوعی، تحلیل کلان‌داده‌ها<sup>۶</sup>، اینترنت اشیاء، رایانش ابری<sup>۷</sup>، دوقلوهای دیجیتال<sup>۸</sup>، بلاک‌چین<sup>۹</sup>، رباتیک و پهپادها. همچنین بررسی رویکردهای نوآورانه در حوزه‌های شبکه‌های هوشمند برق و انرژی، تولیدات افزایشی<sup>۱۰</sup>، واقعیت افزوده و مجازی<sup>۱۱</sup> و فناوری‌های ارتباطی<sup>۱۲</sup> نیز از دیگر مباحث مورد توجه خواهند بود. در این میان تعدادی از شرکت‌های پیشرو و استارت‌آپ‌های نوآور معرفی می‌شوند که با استفاده از راهکارهای فناورانه، فرآیند گذار به منابع انرژی پاک را تسهیل می‌کنند. نقشه حرارتی<sup>۱۳</sup> توزیع جهانی استارت‌آپ‌ها، حاکی از این امر است که در کشورهای اروپای غربی مانند آلمان، فرانسه و انگلستان، تراکم بالایی از استارت‌آپ‌های انرژی‌های تجدیدپذیر نوآور دیده می‌شود که اروپا را به یکی از پیشروترین مناطق در این حوزه تبدیل کرده است. آمریکای شمالی نیز با تمرکز در ایالات متحده و کانادا و آسیا با حضور چین، هند و کشورهای جنوب شرقی آسیا، از دیگر مراکز مهم فعالیت استارت‌آپی در این صنعت هستند. اگرچه تمرکز اصلی در مناطق توسعه‌یافته است، اما توزیع جهانی استارت‌آپ‌ها نشان‌دهنده رشد گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان و افزایش تلاش‌ها برای یافتن راه‌حل‌های محلی در سایر مناطق است. این پراکندگی جهانی، بیانگر اهمیت بالای این حوزه و رشد پویای آن به‌ویژه در مناطقی است که زیرساخت‌های مناسب، سیاست‌گذاری‌های کارآمد و سرمایه‌گذاری‌های هدفمند برای توسعه فناوری‌های نوآورانه در انرژی‌های تجدیدپذیر دارند (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه حرارتی توزیع جهانی استارت‌آپ‌های انرژی تجدیدپذیر (startus, 2024)

## هوش مصنوعی و کلان داده‌ها

هوش مصنوعی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر کاربردهای گسترده‌ای دارد. نمونه‌ای از این کاربردها شامل پیش‌بینی تولید و مصرف انرژی، متعادل‌سازی عرضه و تقاضا، یکپارچه‌سازی شبکه، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه و پیشگیرانه، پیاده‌سازی طرح‌های نیروگاهی و ارزیابی و بهینه‌سازی آن‌ها پیش از احداث واقعی است که به نحو چشمگیری با تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی‌های کامپیوتری به کاهش هزینه‌های تولید و توزیع و افزایش پایداری شبکه کمک می‌کند. شبکه انرژی به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین زیرساخت‌ها نیازمند

<sup>6</sup> Big data

<sup>7</sup> Cloud Computing

<sup>8</sup> Digital Twins

<sup>9</sup> Blockchain

<sup>10</sup> Additive Manufacturing

<sup>11</sup> Augmented Reality and Virtual Reality

<sup>12</sup> Connectivity Technologies

<sup>13</sup> Heat Map

تصمیم‌گیری‌های آنی است که این امر با کمک کلان‌داده‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی امکان‌پذیر شده است. علاوه بر این، هوش مصنوعی در مدیریت هوشمند ذخیره‌سازی و توزیع انرژی، با بهینه‌سازی عملکرد باتری‌ها و پیش‌بینی نیازهای آنی، نقش مؤثری ایفا می‌کند (Hamdan et al., 2024). همچنین، تحلیل کلان‌داده و پیش‌بینی هواشناسی، پیش‌بینی تولید و بهره‌وری مزارع بادی و خورشیدی را افزایش داده و ناپایداری شبکه را، خصوصاً در ساعات اوج مصرف، کاهش می‌دهد. شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های زیادی در حوزه هوش مصنوعی و کلان‌داده‌ها در بخش تامین انرژی کشورهای پیشرو مشغول به فعالیت و نوآوری هستند. به عنوان مثال، لایکوات<sup>۱۴</sup>، استارت‌آپی آلمانی، با راهکار نرم‌افزاری «اوپتیوایز»، امکان تجزیه و تحلیل پارامترهای انرژی و بهینه‌سازی مصرف و انتشار کربن‌دی‌اکسید را با استفاده از یادگیری ماشین فراهم می‌سازد و همچنین دارای قابلیت پیش‌بینی آب‌وهوا است. این نرم‌افزار به مصرف‌کنندگان اجازه می‌دهد تا الگوهای مصرف آنی را مشاهده کنند. علاوه بر این، تولیدکنندگان برق را قادر می‌سازد تا فناوری‌های مختلف را هیبریدی نموده و با توجه به اندازه بار، سیستم تولید و تقاضای انرژی را بهینه سازند. همچنین، این فناوری با ارتقای سیستم‌های مدیریت خانه‌های هوشمند و ذخیره‌سازی باتری، عملکرد بهتری در مصرف و ذخیره انرژی ارائه می‌دهد.

### رباتیک پیشرفته<sup>۱۵</sup>

فناوری‌های رباتیک می‌توانند نقش سازنده‌ای در رفع موانع و حل چالش‌های تولید برق تجدیدپذیر و در نتیجه مقابله با تغییرات اقلیمی ایفا کنند. به عنوان مثال، در پنل‌های خورشیدی جهت‌گیری پنل‌ها برای به حداکثر رساندن تبدیل انرژی، در راستای پرتوهای خورشید به صورت خودکار صورت می‌گیرد. مکانیزاسیون و اتوماسیون تجهیزات، فرآیندهای تعمیر و نگهداری را تسریع می‌کند و درعین حال نیاز به نیروی انسانی را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، پهپادهای مجهز به تصویربرداری اولتراسونیک نیز به شناسایی سریع آسیب‌های خارجی و داخلی توربین‌های بادی و ایجاد دوقلوهای دیجیتال کمک می‌کنند (Mitchell et al., 2022).

دو استارت‌آپ هندی، گرین‌لیپ رباتیکز<sup>۱۶</sup> و هکابات<sup>۱۷</sup>، به طور مجزا، ربات‌های تمیزکننده‌ای برای پنل‌های خورشیدی طراحی کرده‌اند که بدون نیاز به آب و با استفاده از پارچه میکروفیبر و هوش مصنوعی، توانایی عبور از شکاف‌های میان پنل‌ها و نظارت از راه دور را ممکن می‌سازند. این فناوری‌ها به افزایش بهره‌وری انرژی خورشیدی و کاهش نیاز به نیروی انسانی کمک می‌کنند. همچنین، سوپرایروژن<sup>۱۸</sup>، استارت‌آپی فرانسوی، بر تشخیص دیجیتالی عیوب پره‌های توربین بادی تمرکز دارد و با ابزارهای نرم‌افزاری خود (شرلوک و ولتا) و به کارگیری ابزارهای مبتنی بر پهپاد و هوش مصنوعی به شناسایی عیوب و آسیب‌های رعد و برق در پره‌ها می‌پردازد. ابزار نرم‌افزاری کلاریتی، عیوب ساختاری داخل پره را تشخیص می‌دهد. این ابزارها، امکان عیب‌یابی دقیق را فراهم می‌آورند و در نتیجه زمان خرابی توربین بادی را کاهش و راندمان آن را افزایش می‌دهند. این فناوری با ارائه راه‌حل‌های مدیریتی و با کمترین نیاز به نیروی انسانی، به بهره‌برداری بهینه از مزارع توربین‌های بادی در مقیاس کاربردی کمک می‌کند.

### ساخت افزایشی یا چاپ سه بعدی

فناوری چاپ سه بعدی در صنعت انرژی تجدیدپذیر با تولید محلی اجزاء، مشکلاتی چون زمان طولانی زنجیره تأمین، هزینه بالای تولید و اثرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. این فناوری به ساخت سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک سفارشی و پره‌های بهینه‌شده در توربین‌های بادی کمک کرده و بهره‌وری مواد و سرعت تولید را افزایش می‌دهد (Hunde and Woldeyohannes, 2023). لیپ‌فتوولتائیکز<sup>۱۹</sup> یک استارت‌آپ آمریکایی است که با بهره‌گیری از فناوری ساخت افزایشی، سلول‌های خورشیدی سیلیکونی کریستالی تولید می‌کند. این روش نتیجه‌ای مشابه سلول‌های معمولی دارد، اما هزینه کمتری را به همراه دارد زیرا از یک لایه چاپ‌شده از سیلیکون تک‌بلوری به جای ویفرهای سیلیکونی سنتی استفاده می‌کند. با استفاده از یک زنجیره تأمین داخلی و ایمن، این فناوری به کاهش

<sup>14</sup> Likewatt

<sup>15</sup> Advanced Robotics

<sup>16</sup> Greenleap Robotics

<sup>17</sup> HekaBot

<sup>18</sup> SupAirVision

<sup>19</sup> Leap Photovoltaics

هزینه‌های تولید انرژی خورشیدی کمک می‌کند و همچنین از استانداردهای صنعتی برای ارزیابی طول عمر و کارایی سلول‌های خود پیروی می‌کند. همین امر به افزایش پایداری در حوزه تولید سلول‌های خورشیدی می‌انجامد.

## واقعیت افزوده<sup>۲۰</sup> و واقعیت مجازی<sup>۲۱</sup>

فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی به حل چالش‌هایی مانند کمبود نیروی متخصص، مدیریت زیرساخت‌ها و بهینه‌سازی هزینه‌ها در صنعت انرژی تجدیدپذیر کمک می‌کنند. این فناوری‌ها با افزودن مدل‌های مجازی به محیط واقعی، دقت طراحی زیرساخت‌ها را افزایش و اشتباهات را کاهش می‌دهند و حرکت به سمت انرژی پایدار و کاهش هزینه‌ها را تسریع می‌کنند (Cyrino et al, 2023). در این زمینه، استارت‌آپ آلمانی اسپین‌لرنینگ<sup>۲۲</sup> راهکارهای آموزشی مبتنی بر واقعیت مجازی، افزوده و هوش مصنوعی ارائه می‌دهد. این پلتفرم محیط‌های آموزشی ایمنی ایجاد می‌کند که کارکنان می‌توانند در آن‌ها به تمرین شناسایی خطرات و رفع مشکلات بپردازند. همچنین، با استفاده از فرمت‌های سه‌بعدی و منابع گسترده، دقت طراحی زیرساخت‌ها افزایش یافته و خطاها کاهش می‌یابد. این روش، ضمن تقویت مهارت‌ها و بهبود فرآیندهای کاری، هزینه‌های نگهداری را با داده‌های لحظه‌ای و دستورالعمل‌های تصویری کاهش داده و به تسریع گذار به انرژی پایدار کمک می‌کند.

## فناوری‌های ارتباطی

فناوری‌های ارتباطی مانند نسل پنجم، فیبر نوری و رادیوی فرکانس بالا، نقش مهمی در بهبود پایش و اتوماسیون شبکه‌های برق در صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا می‌کنند و به اپراتورها امکان کنترل و مدیریت کارآمدتر شبکه‌ها را می‌دهند. نسل پنجم با کاهش تأخیر، برای مدیریت لحظه‌ای و انجام وظایف پیچیده مانند حفاظت دیفرانسیل خط که در یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری است، مناسب است. همچنین، فیبر نوری داده‌ها را به طور سریع و قابل اعتماد منتقل می‌کند. از سوی دیگر، فناوری‌های جریان مستقیم ولتاژ بالا<sup>۲۳</sup> و دسترسی به شبکه‌های دریایی، زیرساخت‌های مقاوم‌تر و کارآمدتری برای انتقال انرژی پاک فراهم می‌سازند (Ogundipe et al., 2024). شرکت بریتانیایی آی‌ام‌ست<sup>۲۴</sup> با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تحلیل‌های پیشرفته، به بهینه‌سازی تولید، ذخیره‌سازی، انتقال و مصرف انرژی خورشیدی کمک کرده و از تصمیم‌گیری هوشمند مدیران انرژی با نظارت هوشمند و نگهداری پیشگیرانه، بررسی حسگرها و مدیریت داده‌های پهنای پستی‌بانی می‌کند. راهکارهای این شرکت، امکان ادغام و تحلیل لحظه‌ای داده‌ها را فراهم می‌آورد و از تصمیم‌گیری مؤثر مدیران انرژی پشتیبانی می‌کند.

## رایانش ابری

رایانش ابری امکانات پیشرفته‌ای برای مدیریت داده‌ها در صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر فراهم می‌کند. راه‌حل‌هایی مانند ارائه زیرساخت، پلتفرم و نرم‌افزار به‌عنوان سرویس<sup>۲۵</sup> به شرکت‌های انرژی این امکان را می‌دهند که از قابلیت‌هایی مانند پایش بلادرنگ، تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌شده و موارد دیگر، بدون نیاز به تجهیزات فناوری اطلاعات، بهره‌مند شوند. دوقلوهای دیجیتال مبتنی بر ابر داده نیز مدلسازی، نظارت و بهینه‌سازی نیروگاه‌هایی چون برق‌آبی، مزارع بادی و پنل‌های خورشیدی را تسهیل کرده و با قابل تحلیل کردن رفتار نیروگاه و زمان‌های بهینه تعمیرات و نگهداری، زمان خاموشی را کاهش می‌دهند (Zhao et al., 2024). استارت‌آپ آمریکایی رنوو<sup>۲۶</sup> با نرم‌افزار ابری «رنوو پلاس» به یکپارچه‌سازی داده‌های نگهداری و پایش آنی مزارع بادی و خورشیدی می‌پردازد و با استفاده از علم داده و هوش مصنوعی، راهکارهای منحصر به فرد و یکتایی را با توجه به شرایط خاص نیروگاه برای بهره‌برداری بهینه از انرژی ارائه می‌دهد.

<sup>20</sup> Augmented Reality

<sup>21</sup> Virtual Reality

<sup>22</sup> Spin Learning

<sup>23</sup> High-Voltage Direct Current (HVDC)

<sup>24</sup> i-EM SAT

<sup>25</sup> Infrastructure as a service (IaaS), platform as a service (PaaS), and software as a service (SaaS)

<sup>26</sup> Renovus

## اینترنت اشیا

اینترنت اشیا کاربردهای گسترده‌ای در توسعه پایداری زیست‌محیطی و بهینه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. حسگرهای اینترنت اشیا در شبکه‌های هوشمند، امکان نظارت بلادرنگ بر توزیع انرژی و حفظ تعادل بین عرضه و تقاضا را فراهم می‌کنند. برای مثال، توربین‌های بادی مجهز به اینترنت اشیا داده‌های عملکردی را برای پیش‌بینی نقایص سیستم ارائه می‌دهند و فرآیندهای نگهداری را بهینه می‌سازند. همچنین، سیستم‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر اینترنت اشیا با پایش عملکرد باتری‌ها و تنظیم میزان تخلیه بر اساس تقاضا، بهره‌وری و کارایی ذخیره انرژی را بهبود می‌بخشند (Hamdan et al., 2024).

استارت‌آپ اینرمن<sup>۲۷</sup>، مستقر در هند، با ارائه راه‌حل‌های مبتنی بر اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی را بهینه می‌کند. محصول اصلی این شرکت، «اتی‌سول»<sup>۲۸</sup>، امکان نظارت و کنترل بلادرنگ نیروگاه‌های خورشیدی را از طریق پلتفرم ابری فراهم می‌کند. ویژگی‌هایی نظیر داشبوردهای قابل تنظیم، کنترل بلادرنگ توان و گزارش‌دهی خودکار از طریق اپلیکیشن‌های وب و موبایل، از امکانات برجسته این محصولات به شمار می‌روند.

## شبکه‌های هوشمند برق و انرژی

شبکه‌های هوشمند برق و انرژی بر اساس قابلیت‌های تحلیل و پردازش اطلاعات و مدیریت هوشمند منابع و ذخایر انرژی توسعه پیدا می‌کنند. این شبکه‌ها قادر هستند با جمع‌آوری و پردازش حجم بزرگی از اطلاعات منابع انرژی، بحران‌های کمبود انرژی و ساعت‌های پیک مصرف را با راه‌حل‌های جایگزینی و ذخیره‌سازی انرژی، مدیریت کنند. به طور مثال، «پاوروال»<sup>۲۹</sup> شرکت تسلا و «رسو»<sup>۳۰</sup> از آل‌جی‌کم<sup>۳۱</sup>، امکان ذخیره انرژی مازاد تولیدشده از منابع تجدیدپذیر برای استفاده در زمان‌های دیگر را فراهم می‌کنند و تأمین انرژی مداوم و پایدار را تضمین می‌نمایند. شبکه‌های هوشمند نیز با بهینه‌سازی توزیع انرژی، تنظیمات بلادرنگ و کاهش اتلاف انرژی، بهره‌وری شبکه را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، سیستم‌های مدیریت انرژی<sup>۳۲</sup> با بهبود الگوهای مصرف انرژی و افزایش پایداری شبکه، به بهره‌برداری بهینه از منابع کمک می‌کنند. (Darwish et al., 2024).

## بلاک چین

استارت‌آپ‌های انرژی از فناوری بلاک‌چین برای پیشبرد تراکنش‌های قابل‌اعتماد و بهبود شفافیت و امنیت در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌کنند. ساختار نفوذناپذیر و غیرمتمرکز بلاک‌چین، خطر بروز تقلب را کاهش داده و امنیت شبکه را در برابر حملات متمرکز تقویت می‌کند. قراردادهای هوشمند به تجارت برق همتا به همتا<sup>۳۳</sup> و انتقال انرژی کمک کرده و اجرای خودکار توافقات انرژی را با کاهش هزینه‌های اداری امکان‌پذیر می‌سازند. علاوه بر این، بلاک‌چین برای رمزگذاری داده‌های شبکه و نظارت بر عملیات به‌کار می‌رود که همین امر، شبکه را در برابر تهدیدات سایبری مقاوم‌تر می‌سازد. ارائه‌دهندگان انرژی‌های تجدیدپذیر نیز از بلاک‌چین برای ردیابی عناصر شبکه و فراهم‌کردن دسترسی آسان تنظیم‌کنندگان به داده‌ها برای انطباق با مقررات بهره می‌برند (Vionis and Kotsilieris, 2023). این راهکارها به مدیریت معاملات انرژی و تشویق به تولید انرژی تجدیدپذیر کمک می‌کنند.

سیتیگرید<sup>۳۴</sup>، استارت‌آپ بریتانیایی، تجارت انرژی همتا به همتا را از طریق زنجیره بلوکی اس<sup>۳۵</sup>، تسهیل می‌کند و با استفاده از قراردادهای هوشمند و هوش مصنوعی، برق مازاد را به بازار آزاد عرضه می‌کند و بدین ترتیب درآمد تولیدکنندگان را افزایش و هزینه‌ها را برای مصرف‌کنندگان کاهش می‌دهد. گرین لایف انرژی<sup>۳۶</sup> نیز کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر را به کمک فناوری بلاک‌چین ارتقا می‌دهد.

<sup>27</sup> EnerMAN

<sup>28</sup> ETi-SOL

<sup>29</sup> Powerwall

<sup>30</sup> RESU

<sup>31</sup> LG Chem

<sup>32</sup> Energy Mnagement System (EMS)

<sup>33</sup> Peer-to-Peer (P2P) Electricity Trading

<sup>34</sup> Sitigrid

<sup>35</sup> S-Chain

<sup>36</sup> Green Life Energy

این پلتفرم امکان کلاهبرداری را کاهش و ایمنی را افزایش می‌دهد و همچنین ماهیت معاملات را تأیید می‌کند. همچنین، رزونانس<sup>۳۷</sup>، استارت‌آپی آلمانی است که تجارت هوشمند انرژی را با ابزارهای نرم‌افزاری خودکار آرفلو<sup>۳۸</sup> و آرمایند<sup>۳۹</sup> امکان‌پذیر می‌سازد. این ابزارها داده‌ها را به‌طور آنی یکپارچه کرده و تصمیمات الگوریتمی مستقلی اتخاذ می‌کنند.

### چالش‌ها و فرصت‌های دیجیتالی‌سازی در حوزه انرژی

دیجیتالی‌سازی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین اطلاعاتی و هوش مصنوعی در حوزه انرژی یکی از پیشرفت‌های کلیدی برای مدیریت منابع و کاهش اثرات زیست‌محیطی است. با این حال، این روند با چالش‌های متعددی همراه است که به توجه ویژه و برنامه‌ریزی دقیق نیاز دارد. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، مدیریت پیچیدگی‌های ناشی از ترکیب فناوری‌های نوین با زیرساخت‌های قدیمی انرژی است. ورود فناوری‌های جدید، مانند هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تقاضای انرژی یا تحلیل داده‌های هواشناسی به منظور بهینه‌سازی تولید انرژی خورشیدی و بادی، به سیستم‌هایی نیاز دارد که بتوانند این داده‌ها را به‌صورت لحظه‌ای جمع‌آوری، پردازش و تحلیل کنند. این رویکردها نه تنها باعث کاهش هزینه‌ها می‌شوند، بلکه به مدیریت بهتر منابع و کاهش هدررفت انرژی نیز کمک می‌کنند.

همچنین هزینه‌های بالای اولیه برای پیاده‌سازی فناوری‌های نوین، یکی از موانع اساسی به‌ویژه در کشورها یا سازمان‌هایی با منابع محدود است. اجرای پروژه‌های پایلوت و استفاده از حمایت‌های مالی دولتی و خصوصی می‌تواند ریسک‌های مرتبط با این چالش را کاهش دهد. از سوی دیگر، افزایش وابستگی زیرساخت‌های انرژی به شبکه‌های هوشمند، خطرات امنیت سایبری را نیز تشدید کرده است. به همین دلیل، استفاده از سیستم‌های امنیتی پیشرفته مبتنی بر هوش مصنوعی و ایجاد همکاری‌های بین‌المللی برای مقابله با این تهدیدات، امری ضروری به نظر می‌رسد.

یکی دیگر از موانع کلیدی، مقاومت سازمان‌ها در برابر تغییرات دیجیتالی است. نگرانی از پیچیدگی‌های اجرایی یا آشنایی ناکافی با فناوری‌های جدید، پذیرش این تغییرات را دشوار می‌کند. ایجاد فرهنگ دیجیتال‌محور، برگزاری کارگاه‌های آموزشی و جلب حمایت مدیران ارشد، از جمله اقدامات مؤثری هستند که می‌توانند این مقاومت را کاهش دهند و روند تحول را تسریع بخشند.

علاوه بر این، فناوری‌های نوین دیجیتالی و هوش مصنوعی نقشی تعیین‌کننده در مقابله با تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند. این فناوری‌ها با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود مدیریت منابع انرژی، به تحقق اهداف پایداری محیط‌زیست کمک می‌کنند. به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند مصرف انرژی در صنایع و ساختمان‌ها را بهینه کنند؛ که نتیجه آن کاهش تقاضای انرژی و ردپای کربن است. همچنین، فناوری‌های پیشرفته امکان تحلیل دقیق‌تر داده‌های محیطی را فراهم کرده و به سیاست‌گذاری مؤثرتری در مقابله با تغییرات اقلیمی منجر می‌شوند.

در نهایت، موفقیت در دیجیتالی‌سازی حوزه انرژی مستلزم دستیابی به تعادلی میان نوآوری و تداوم فعالیت‌های جاری است. ادغام تدریجی فناوری‌های نوین، همراه با سرمایه‌گذاری هدفمند و همکاری با متخصصان، می‌تواند زیرساخت‌های انرژی را به سوی پایداری سوق دهد. این تحولات، علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، راهکاری جامع برای مقابله با تغییرات اقلیمی و تحقق توسعه پایدار ارائه می‌دهند. دیجیتالی‌سازی و به کارگیری فناوری‌های نوین نه تنها مسیری برای حل چالش‌های انرژی است، بلکه فرصتی برای تقویت همکاری‌های جهانی در راستای اهداف مشترک زیست‌محیطی و اقتصادی فراهم می‌کند. تحقیقات آتی می‌توانند با تمرکز بر توسعه فناوری‌های نوآورانه و کاهش موانع موجود، نقشی کلیدی در تسریع این تحول ایفا کرده و جهان را به سوی آینده‌ای پایدارتر هدایت کنند.

### منابع

- Arina, A. (2023). Innovation landscape for smart electrification: Decarbonising end-use sectors with renewable power.
- Bishaw, F. G. (2024, April). Review Artificial Intelligence Applications in Renewable Energy Systems Integration. *Journal of Electrical Systems*, 20, 566–582. doi:10.52783/jes.2983

<sup>37</sup> Resonanz

<sup>38</sup> rFlow

<sup>39</sup> rMind



- Booth, A. (2020, September 3). *Digital transformation in energy: Achieving escape velocity*. Retrieved from McKinsey & Company: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/digital-transformation-in-energy-achieving-escape-velocity>
- Cyrino, G. F., Neto, J. O., Lima, D. A., Cardoso, A., Lamounier, E. A., Lima, G. F., . . . Queiroz, L. F. (2023, June). Optimizing HVDC Maintenance and Training through Virtual and Augmented Reality: A Methodology Proposal. 1–4. doi:10.23919/CISTI58278.2023.10212041
- Darwish, A. S., Abbas, M. K., Al-Salim, W. L., & Al-Tameemi, M. R. (2024, June). Artificial Intelligence for Sustainable Energy Transition: Optimising Renewable Energy Integration and Management. *ARID International Journal for Science and Technology*, 55–79. doi:10.36772/arid.aijst.2024.7134
- EIA. (2021). *International Energy Outlook*. U.S. Energy Information Administration.
- European Union. (2023). *Renewable energy targets*. Retrieved from energy.ec.europa: [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en)
- Hamdan, A., Ibekwe, K. I., Ilojiana, V. I., Sonko, S., & Etukudoh, E. A. (2024, January). AI in renewable energy: A review of predictive maintenance and energy optimization. *International Journal of Science and Research Archive*, 11, 718–729. doi:10.1051/e3sconf/202454013009
- Hunde, B. R., & Woldeyohannes, A. D. (2023, May). 3D printing and solar cell fabrication methods: A review of challenges, opportunities, and future prospects. *Results in Optics*, 11, 100385. doi:10.1016/j.rio.2023.100385
- Levitskiy, M. (2024, May 10). *Digital Transformation: Shaping the Future of the Energy Industry*. Retrieved from tech-stack: <https://tech-stack.com/blog/digital-transformation-in-the-energy-industry/>
- Liu, X., Ji, Q., & Yu, J. (2021, November). Sustainable development goals and firm carbon emissions: Evidence from a quasi-natural experiment in China. *Energy Economics*, 103, 105627. doi:10.1016/j.eneco.2021.105627
- Meadows, D., Vis, P., & Zapfel, P. (2019, October). The EU Emissions Trading System. 66–94. doi:https://doi.org/10.4324/9789276082569-4
- Mitchell, D., Blanche, J., Harper, S., Lim, T., Gupta, R., Zaki, O., . . . Flynn, D. (2022, May). A review: Challenges and opportunities for artificial intelligence and robotics in the offshore wind sector. *Energy and AI*, 8, 100146. doi:10.1016/j.egyai.2022.100146
- Ogundipe, O. B., Okwandu, A. C., & Abdulwaheed, S. A. (2024, July). Recent advances in solar photovoltaic technologies: Efficiency, materials, and applications. *GSC Advanced Research and Reviews*, 20, 159–175. doi:10.30574/gscarr.2024.20.1.0259
- Rinku, & Singh, G. (2023, May). ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SUSTAINABLE ENERGY INDUSTRY: STATUS QUO, CHALLENGES, AND OPPORTUNITIES. *EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR)*, 234–237. doi:10.36713/epra13323
- startus. (2024, 7). *Global Startup Heat Map covers 5152 Renewable Energy Startups & Scaleups*. ( StartUs Insights Discovery Platform) Retrieved 11 2, 2024, from <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-renewable-energy-trends-2022/>
- United Nations . (2022, 5 18). *António Guterres: Time to Jump-Start the Renewable Energy Transition*. (United Nations, Climate change) Retrieved 11 1, 2024, from <https://unfccc.int/news/antonio-guterres-time-to-jump-start-the-renewable-energy-transition>
- Vionis, P., & Kotsilieris, T. (2023, December). The Potential of Blockchain Technology and Smart Contracts in the Energy Sector: A Review. *Applied Sciences*, 14, 253. doi:10.3390/app14010253
- Zhao, J., Huang, S., Cai, Q., Zeng, F., & Cai, Y. (2024, March). Research on Distributed Renewable Energy Power Measurement and Operation Control Based on Cloud-Edge Collaboration. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 11. doi:10.4108/ew.5520



## **A Review of Green Revolution Approaches Using Artificial Intelligence to Combat Climate Change**

**Soraya Rostami**

Researcher, Renewable Energy Group, Niroo Research Institute

**Sara Jokar**

Part-time Researcher, Renewable Energy Group, Niroo Research Institute

### **Abstract**

The belief in the transformative power of artificial intelligence (AI) and digital technologies can serve as a foundation for combating climate change and advancing environmental sustainability. In today's world, with the rising global demand for energy, these technologies play a pivotal role as essential tools for intelligent energy resource management and reducing reliance on fossil fuels. This study aims to explore innovative applications of AI and related technologies in the energy sector and sustainable development, outlining new horizons for leveraging these technologies to reduce carbon emissions and optimize energy consumption, particularly in renewable energy systems. The research focuses on cutting-edge technologies such as AI, the Internet of Things (IoT), virtual and augmented reality, cloud computing, big data analytics, blockchain, and intelligent energy management systems. These technologies facilitate energy optimization and smart management of renewable energy networks, addressing cost reduction and operational challenges to accelerate the transition to sustainable energy sources. Additionally, the study highlights leading startups, the future outlook of renewable energy, and innovative pathways to enhance the share of renewables in global energy production, contributing to climate change mitigation. International collaboration and investments in these domains are identified as key success factors in the fight against climate change.

**Keywords:** Emerging Technologies, Artificial Intelligence, Environmental sustainability, Renewable Energy.