بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها:
بررسی فناوری‌های نوین
از سیستم‌های هوشمند تا انرژی‌های تجدیدپذیر

حلیمه نامداری
کارشناسی ارشد عمران-ژئوتکنیک، دانشگاه صنعتی شاهرود،
عضو سازمان نظام مهندسی ساختمان استان هرمزگان

۱- چکیده

با پیشرفت فناوری‌های نوین، مسیرهای تازه‌ای برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و دستیابی به اهداف پایداری در بخش‌های مختلف فراهم شده است. این مقاله به بررسی کاربرد این فناوری‌ها در دو بخش کلیدی، یعنی ساختمان و صنعت می‌پردازد. در حوزه ساختمان، استفاده از سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی، حسگرهای پیشرفته، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و اتصال منابع تجدیدپذیر مانند پنل‌های خورشیدی و خودروهای برقی، نقش مهمی در کنترل مصرف و افزایش بهره‌وری ایفا می‌کنند. این سیستم‌ها با امکان پاسخ‌گویی هوشمند به بار و مدیریت انرژی در مقیاس‌های کوچک مانند نانوگریدها، مصرف انرژی را دقیق‌تر و کارآمدتر می‌سازند. در بخش صنعت نیز فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا صنعتی، تحلیل بلادرنگ داده‌ها، سیستم‌های هوشمند پایش و کنترل، و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، ابزارهایی کارآمد برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش تلفات هستند. همچنین بهره‌گیری از بازیافت حرارت اتلافی و تولید هیدروژن سبز از طریق الکترولیز از دیگر راهکارهای نوین برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی به شمار می‌آیند. ترکیب این فناوری‌ها با زیرساخت‌های دیجیتال، گامی مهم به‌سوی صنایع هوشمند، کم‌کربن و پایدار محسوب می‌شود.

۲- مقدمه

کمبود منابع طبیعی یکی از بزرگترین چالش‌های قرن بیست‌ویکم است که از تعامل پیچیده عوامل طبیعی و انسانی ناشی می‌شود. تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌ها، بلایای طبیعی و کاهش ظرفیت تجدیدپذیری منابع، دسترسی به منابع حیاتی مانند آب شیرین، خاک حاصل‌خیز، جنگل‌ها و انرژی‌های فسیلی را محدود کرده است. همچنین، فعالیت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی، بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع، آلودگی‌های زیست‌محیطی و رشد سریع جمعیت این بحران را تشدید کرده‌اند[۱].

> با پیشرفت فناوری‌های نوین، مسیرهای تازه‌ای برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و دستیابی به اهداف پایداری در بخش‌های مختلف فراهم شده است.

در بخش کشاورزی، فشار به منابع خاکی و آبی منجر به کاهش بهره‌وری، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و وابستگی بیشتر به کودهای شیمیایی شده است. انتشار گاز اکسید نیتروژن، که از کاربرد کودهای نیتروژنه و سوزاندن بقایای گیاهی ناشی می‌شود، نقش قابل توجهی در تغییرات اقلیمی دارد[۲]. از منظر اقتصادی، کمبود منابع منجر به افزایش هزینه‌های تولید و کاهش رشد اقتصادی در بسیاری از مناطق جهان شده است[۳].

در این شرایط، کاهش مصرف انرژی به‌عنوان یک راهبرد کلیدی برای مقابله با بحران منابع، اهمیت پیدا کرده است. افزایش قیمت جهانی انرژی و نگرانی‌های زیست‌محیطی، دولت‌ها را به اتخاذ سیاست‌هایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر سوق داده است. این اقدامات نه‌تنها به صرفه‌جویی اقتصادی منجر می‌شوند، بلکه در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و فشار بر منابع محدود مؤثر هستند.

پژوهش‌ها بر راهکارهایی همچون توسعه فناوری‌های پایدار، کشاورزی دقیق، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و تصفیه و بازیافت آب تأکید دارند[۴,۵]. ارتقای آگاهی عمومی، تقویت قوانین زیست‌محیطی و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه نیز از ابزارهای کلیدی برای مقابله با بحران منابع به‌شمار می‌روند. در نهایت، مقابله با بحران منابع نیازمند رویکردی جامع و همکاری‌های بین‌المللی است که بتواند نیازهای جمعیت در حال رشد را تأمین کرده و منابع را برای نسل‌های آینده حفظ نماید.

در دنیای امروز، بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر به یکی از اولویت‌های اصلی در صنایع و ساختمان‌ها تبدیل شده است. فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های مدیریت

هوشمند ساختمان، پنل‌های خورشیدی پیشرفته، مزارع بادی شناور، و ذخیره‌سازی انرژی با باتری‌های حالت جامد به کاهش وابستگی به منابع فسیلی کمک می‌کنند. همچنین، استفاده از انرژی زیستی، هیدروژن سبز و هوش مصنوعی در شبکه‌های هوشمند انرژی به بهینه‌سازی مصرف و کاهش هدررفت انرژی کمک می‌کند[۴]. در صنعت ساختمان، استفاده از مواد عایق حرارتی و سیستم‌های روشنایی LED[۱] به کاهش اتلاف انرژی و هزینه‌ها کمک می‌کند. این نوآوری‌ها می‌توانند نقش مهمی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست ایفا کنند.

۳- فناوری‌های نوین در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها

۳-۱ - سیستم‌های مدیریت هوشمند ساختمان (BMS[۲])

در سال ۲۰۲۴، تحولات نوآورانه در انرژی‌های تجدیدپذیر با هدف ایجاد سیستمی پایدار و کم‌کربن در حال شکل‌گیری است. پنل‌های خورشیدی پروسکایت با بازدهی بالا و هزینه کمتر، به تجاری‌سازی نزدیک شده‌اند. مزارع بادی شناور به‌دلیل قابلیت استقرار در آب‌های عمیق، راه‌حلی نوآورانه برای بهره‌برداری از انرژی باد ارائه می‌دهند. هیدروژن سبز به‌عنوان منبع پاک انرژی برای صنایع و حمل‌ونقل اهمیت یافته است. همچنین، باتری‌های حالت جامد و جریانی برای ذخیره‌سازی انرژی و تثبیت شبکه‌ها کاربرد دارند. هوش مصنوعی در مدیریت شبکه‌های هوشمند انرژی به بهینه‌سازی مصرف و توزیع کمک می‌کند. انرژی زیستی پایدار نیز از سوخت‌های زیستی مبتنی بر جلبک و زیست توده به‌عنوان گزینه‌ای سازگار با محیط زیست در حال رشد است. این نوآوری‌ها به کاهش اثرات کربنی و مقابله با تغییرات اقلیمی کمک می‌کنند[۶].

۳-۲- مواد و مصالح نوین ساختمانی

۳-۲-۱- نقش مواد عایق حرارتی و سیستم‌های روشنایی LED در کاهش اتلاف انرژی

استفاده از عایق‌های حرارتی در ساختمان‌ها به کاهش انتقال حرارت و حفظ دمای داخلی کمک می‌کند، که منجر به کاهش نیاز به سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها می‌شود. مواد مختلف مانند فوم‌های پلیمری و پشم سنگ به‌طور خاص برای شرایط آب و هوایی مختلف به‌کار می‌روند. در حوزه روشنایی، لامپ‌های LED به دلیل بهره‌وری نوری بالا، طول عمر زیاد و تولید گرمای کم، مصرف انرژی را کاهش داده و انتشار CO_2 را محدود می‌کنند. در صنعت گلخانه‌ها، تنظیم طیف نوری LEDها به بهبود رشد گیاهان کمک می‌کند. این فناوری‌ها در مجموع موجب بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی در صنایع مختلف می‌شوند[۷و۸].

> پژوهش‌ها بر راهکارهایی همچون توسعه فناوری‌های پایدار، کشاورزی دقیق، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و تصفیه و بازیافت آب تأکید دارند.

۳-۲-۲- محصولات فتوولتائیک و تأثیر آن‌ها بر تأمین انرژی برای ساختمان‌ها

ادغام سیستم‌های تولید فتوولتائیک (PV[۳]) و وسایل نقلیه الکتریکی (EV[۴]) در سیستم‌های مدیریت انرژی خانگی (EMS[۵]) یک رویکرد پیشرفته برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش پایداری شبکه‌های برق است. این سیستم به‌طور همزمان تولید انرژی از پنل‌های خورشیدی (PV) و ذخیره‌سازی و تزریق انرژی از باتری‌های EV به شبکه را مدیریت می‌کند. با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، این سیستم قادر است انرژی تولید شده توسط سیستم‌های PV را در ساعات کم‌باری به شبکه تزریق کرده و در ساعات پیک مصرف، از انرژی ذخیره‌شده در باتری‌های EV برای تأمین بار مصرفی استفاده کند. این فرایند موجب کاهش هزینه‌های انرژی، کاهش وابستگی به منابع انرژی فسیلی، و همگام‌سازی دقیق مصرف انرژی خانگی با تولید انرژی تجدیدپذیر می‌شود. در این مدل، بار مصرفی خانه با توجه به تعرفه‌های زمان‌محور (TOU[۶]) و نوسانات تولید انرژی خورشیدی و مصرف خانگی بهینه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که ترکیب سیستم‌های PV و EV باعث کاهش قابل‌توجه هزینه‌های انرژی، کاهش اوج مصرف، و بهبود پایداری شبکه برق می‌شود[۹].

> کمبود منابع طبیعی یکی از بزرگترین چالش‌های قرن بیست‌ویکم است.

۳-۳- فناوری‌های نوین در صنعت و تولید:

۳-۳-۱- اتوماسیون صنعتی و اینترنت اشیا (IoT):

در انقلاب صنعتی چهارم، فناوری‌های اینترنت اشیا نقش کلیدی در بهینه‌سازی فرایندهای تولید در کارخانه‌های هوشمند دارند. کاربردهای اصلی IoT[۷] شامل نگهداری پیش‌بینانه، بهینه‌سازی مصرف انرژی، بهبود ایمنی محیط کار و بهینه‌سازی زنجیره تأمین است. پیاده‌سازی این فناوری‌ها همراه با AI[۸] و رباتیک کارایی و بهره‌وری را افزایش می‌دهد، اما نیازمند سرمایه‌گذاری در زیرساخت و توجه به امنیت سایبری است[۱۰].

تحقیقات در کشورهای MENA[۹] نشان می‌دهد نوآوری فناوری تأثیر مثبت و اقتصاد سایه تأثیر منفی بر کارایی انرژی دارد. تحول ساختاری از کشاورزی به صنعت و خدمات نیز تأثیر مثبتی داشته است. کشورهای MENA برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار (SDGs[۱۰])، از جمله انرژی پاک، رشد اقتصادی و اشتغال شایسته، به سیاست‌های جامع و پذیرش فناوری‌های نوین نیاز دارند[۱۱].

۳-۳-۲- حسگرها و سیستم‌های نظارت

در دنیای امروزی، بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع تولیدی مانند فولاد، سیمان و پتروشیمی که مصرف بالایی دارند، بسیار مهم است. به‌ویژه با توجه به رشد مصرف انرژی و تقاضا برای سوخت‌های فسیلی، کاهش مصرف انرژی

و گـازهـای گـلـخـانـه‌ای ضروری شـده اسـت. یکی از چالش‌ها، پیچیدگی سیستم‌های تولیدی و کمبود سیستم‌های نظارتی پیـشـرفـتـه بـرای جـمـع‌آوری و تحلیل داده‌هـای انرژی است. برای حل این مشکل، استفاده از فناوری‌های دیجیتال مانند (IoT) و (AI) ضروری اسـت، کـه امـکـان جـمـع‌آوری و تحلیل آنـی داده‌هـا و بهینه‌سازی مصرف انرژی را فـراهـم می‌کنند. فرایند بهبود عملکرد انرژی شامل سه مرحله اصلی نظارت، ارزیابی و بهینه‌سازی است. ابتدا با استفاده از سیستم‌های مبتنی بر IoT مصرف انرژی به‌طور دقیق نظارت می‌شود، سپس نقاط بحرانی شناسایی و ارزیابی می‌شود، و در نهایت با مدل‌ها و الگوریتم‌های هوشمند مصرف انرژی بهینه می‌شود. این روش‌ها به کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه‌ها، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش بهره‌وری کمک می‌کنند و به تولید پایدار در صنایع مختلف منجر می‌شوند[۱۲و۱۳].

> در انقلاب صنعتی چهارم، فـنـاوری‌هـای اینترنت اشـیـاء نقش کلیدی در بهینه‌سازی فرایندهای تولید در کـارخـانـه‌هـای هوشمنددارند.

۳-۳-۳- فناوری‌های بازیافت حرارت

گرمای هدر رفته صنعتی به انرژی از فرایندهای تولیدی اطلاق می‌شود که به‌طور مؤثر استفاده نمی‌شود و در نهایت به هدر می‌رود یا به محیط زیست منتقل می‌شود. فناوری‌های بازیابی حرارت ضایعاتی (WHR[11]) به صنایع کمک می‌کنند تا این انرژی هدر رفته را بازیابی کرده و بهره‌وری انرژی خود را افزایش دهند، در حالی که انتشار آلاینده‌ها و مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهند. این فناوری‌ها به سه دسته حرارت ضایعاتی با دماهای بالا، متوسط و پایین تقسیم می‌شوند که نیازمند سیـسـتـم‌هـای مـتـفـاوت بـرای بـازیـابـی هستند. بـه‌کـارگـیری این فناوری‌ها نه‌تنها هزینه‌ها را کـاهـش مـی‌دهـد، بلکه به اهـداف پایداری و حفظ محیط زیـسـت نـیـز کـمـک مـی‌کـنـد. بازیابی حرارت ضایعاتی موجب کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، کاهش آلاینده‌ها، و بهبود کیفیت هوا می‌شود و در نهایت به ایجاد صنایع سبز و پایدار می‌انجامد[۱۴].

> در عصر حاضر، فناوری‌های نوین به‌طور چشمگیری در مسیر کاهش مصرف انرژی و مدیریت پایدار منابع طبیعی قرار دارند.

۴- جمع‌بندی

درعصرحاضر، فناوری‌های نوین به‌طورچشمگیری در مسیر کاهش مصرف انرژی و مدیریت پایدار منابع طبیعی قرار دارند. سیستم‌های مدیریت هوشمند ساختمان (BMS) بـا ارائـه راهـکـارهـایـی بـرای کـنترل بهینه مصرف انرژی در فضاهای مسکونی و تجاری، به کاهش هزینـه‌ها و کاهش اتلاف انرژی کـمـک می‌کنند. همچنین، استفاده از پنل‌های خورشیدی پروسکایت و مزارع بـادی شـنـاور بـه‌عـنـوان منابع انرژی تجدیدپذیر، به تأمین انرژی پایدار و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک می‌کند.

علاوه‌براین، ترکیب فناوری‌هایی نظیر سیستم‌های تولید فتوولتائیک (PV) و وسایل نقلیه الکتریکی (EV) در سیستم‌های مـدیریـت انرژی خانگی به‌خوبی نشان‌دهنده توانمندی این فناوری‌ها در کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی است.

همچنین، به‌کارگیری فناوری‌های هوش مصنوعی و اینترنت اشیا (IoT) در نظارت بر مصرف انرژی و بهینه‌سازی فرایندها موجب افزایش بهره‌وری صنایع می‌شود. این فناوری‌ها با ارائه داده‌های دقیق و تحلیل‌های پیشرفته، نقش حیاتی در مدیریت بهینه مصرف انرژی ایفا می‌کنند.

در نهایت، توجه به این فناوری‌ها و سرمایه‌گذاری در آن‌ها، نه‌تنها به کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها می‌انجامد، بلکه به اهداف توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست نیز کمک خواهد کـرد. تحقق این مهم نیازمند تلاش مستمر و همکاری‌های بین‌المللی در زمینه توسعه و پیـاده‌سـازی این فناوری‌ها است.

۵- پی‌نوشت

۱- دیود ساطع‌کننده نور
۲- سیستم مدیریت ساختمان
۳- سیستم‌های فتوولتائیک
۴- وسایل نقلیه الکتریکی
۵- سیستم مدیریت انرژی
۶- تعرفه‌های زمان‌محور
۷- اینترنت اشیا
۸- هوش مصنوعی
۹- خاورمیانه و شمال آفریقا
۱۰- اهداف توسعه پایدار
۱۱- گرمای هدررفته

۶- مراجع

[1] Zakari, A. and I. Khan (2022). "Boosting economic growth through energy in Africa: the role of Chinese investment and institutional quality." Journal of Chinese Economic and Business Studies 20(1): 1-21.

[2] Deng, S. X. (2022). "Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Agriculture in Canada: A Comparative Analysis." Office of Audit and Evaluation.

[3] Blokhin, A., 2023. The 5 countries that produce the most carbon dioxide (CO2). https://www.investopedia.com/articles/investing/092915/5-countriesproduce-most-carbon-dioxide-co2.asp

[4] Liu, H., Mansoor, M., Al-Faryan, M.A.S., Khan, I., Wasif, M., 2022c. Impact of governance and globalization on natural resources volatility: The role of financial development in the Middle East North Africa countries. Resour. Policy 78, 102881. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102881

[5] Freedman, B., 2018. Chapter 12: Resources and Sustainable Development. In: Environmental Science:a Canadian perspective. https://ecampusontario.pressbooks.pub/environmentalscience/chapter/ chapter-12-resources-and-sustainable-development/.

[6] https://smartenergy.com/innovations-in-renewable-energy-whats-new-in-2024.

[7] Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. Building and environment, 40(3), 353-366.

[8] Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49, 139-147.

[9] Jing, T., & Zhao, Y. (2024). Optimizing energy consumption in smart buildings: A model for efficient energy management and renewable integration. Energy and Buildings, 323, 114754.

[10] Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. Internet of Things and Cyber-Physical Systems, 3, 192-204.

[11] Chen, M., Sinha, A., Hu, K., & Shah, M. I. (2021). Impact of technological innovation on energy efficiency in industry 4.0 era: Moderation of shadow economy in sustainable development. Technological Forecasting and Social Change, 164, 120521.

[12] Cai, W., Wang, L., Li, L., Xie, J., Jia, S., Zhang, X., ... & Lai, K. H. (2022). A review on methods of energy performance improvement towards sustainable manufacturing from perspectives of energy monitoring, evaluation, optimization and benchmarking. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 159, 112227.

[13] Bian, S., Li, C., Fu, Y., Ren, Y., Wu, T., Li, G. P., & Li, B. (2021). Machine learning-based real-time monitoring system for smart connected worker to improve energy efficiency. Journal of Manufacturing Systems, 61, 66-76.

[14] Jouhara, H., Khordehgah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., & Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. Thermal science and engineering progress, 6, 268-289.