Vol. ۷, No. ۲, ۲۰۲٤, PP: ٦۷-۷۹

Journal of Engineering Management and Digital Transformation

Homepage: https://Jonarbset.ir

Original Research Article

An overview of the challenges and solutions of integrating renewable energy sources

Yousef Karami [۱]

۱- Master of Science in Power Engineering, Zagros University of Kermanshah, Kermanshah, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Date Received: ۱۲ October ۲۰۲۳

Date Revised: ۳۰ January ۲۰۲٤

Date Accepted: ۲٦ May ۲۰۲٤

Date published: ۱۰ July ۲۰۲٤

Keywords

Renewable energy,
Renewable energy sources,
Resource integration,
Challenges,
Solutions.

ABSTRACT

This study provides an overview of the interrelationship of challenges and technologies for integrating renewable energy sources into power systems. The potential of different technological solutions can help prioritize technologies, in addition to focusing on cost-effective options. The taxonomy developed in this paper helps to better specify the need for specific technologies and increases the transparency of the complex process of integrating renewable energy sources into power systems, and reviews a wide range of solutions to these challenges. The contribution of renewable energies, especially in the power generation system, has created different differences and challenges. However, the challenges and technological solutions are still rarely discussed in the literature. This paper, which is written in a descriptive-analytical manner and uses library resources, emphasizes that the integration of renewable energies into power systems is a path towards a sustainable energy future. As the integration of renewable energy evolves day by day and changes the energy landscape, this article serves as a guide to understanding the complexities of this critical transition.

Corresponding Author Email:
yosef.karami۹٦@gmail.com

How to cite this article:
Karami, Y. (۲۰۲٤). An overview of the challenges and solutions of integrating renewable energy sources. *Journal of Engineering Management and Digital Transformation*, ۷(۲), ٦۷-۷۹

©۲۰۲۳ The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution-NonCommercial ٤,۰ International (CC BY-NC), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s)and the source.

Publisher: Chatre Andisheh International Publishing Institute

دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، صفحه: ۶۷ تا ۷۹

مدیریت مهندسی و تحول دیجیتال

Homepage: https://Jonarbset.ir

مقاله پژوهشی

OPEN ACCESS

مروری بر چالش‌ها و راه‌حل های ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر

یوسف کرمی [۱]

۱- کارشناسی ارشد برق قدرت، دانشگاه زاگرس کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

اطلاعات مقاله

سابقه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰

واژه‌های کلیدی

انرژی تجدیدپذیر،

منابع انرژی تجدیدپذیر،

ادغام منابع،

چالش‌ها،

راه‌حل ها.

چکیده

این مطالعه مروری بر ارتباط متقابل چالش‌ها و فناوری‌های ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت ارائه می‌کند. پتانسیل راه‌حل فناوری‌های مختلف می‌تواند علاوه بر تمرکز بر گزینه‌های مقرون به صرفه، به اولویت بندی فناوری ها کمک کند. طبقه بندی توسعه یافته در این مقاله به مشخص کردن بهتر نیاز به فناوری های خاص کمک می‌کند و شفافیت فرآیند پیچیده ادغام منابع انرژی تجدید پذیر در سیستم های قدرت را افزایش می‌دهد، و طیف وسیعی از راه حل‌ها را برای این چالش ها مرور می‌کند. سهم انرژی های تجدیدپذیر به ویژه در سیستم تولید برق تفاوت ها و چالش های مختلفی را ایجاد کرده است. با این وجود، چالش‌ها و راه‌حل های تکنولوژیک هنوز به ندرت در ادبیات مورد بحث قرار می‌گیرند. این مقاله که به روش توصیفی تحلیلی و با استفاده از منابع کتابخانه ای تأکید می‌کند که ادغام انرژی های تجدیدپذیر در سیستم های قدرت، به سوی آینده انرژی پایدار است. همانطور که ادغام انرژی های تجدیدپذیر روز به روز تکامل می یابد و چشم انداز انرژی را تغییر می دهد، این مقاله به عنوان راهنمای درک پیچیدگی های این گذار حیاتی عمل می کند.

ایمیل نویسنده مسئول

yosef.karami۹٦@gmail.com

استناد به این مقاله: کرمی، یوسف (۱۴۰۳). مروری بر چالش‌ها و راه‌حل های ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر. *مدیریت مهندسی و تحول دیجیتال*، ۷ (۲)، ۶۷-۷۹.

ناشر: موسسه انتشارات بین المللی چتر اندیشه

Creative Commons: CC BY ٤,٠

مقدمه

در دهه‌های گذشته، رشد بی‌سابقه‌ای در دو فناوری به‌ویژه - فتوولتائیک خورشیدی (PV[۱]) و نیروی باد - با سهم جهانی به ترتیب ۴ و ۷ درصد در ظرفیت نصب شده و میانگین افزایش سالانه ۲۷ و ۱۳ درصد نسبت به ۵ سال گذشته شاهد هستیم. این انرژی‌های تجدیدپذیر متنوع (VRE[۲]) در جنبه‌های مختلف با فناوری‌های تولید مرسوم متفاوت است. این ویژگی ها چالش هایی را در سیستم های قدرت موجود ایجاد می کند. در این زمینه، چالش‌ها به‌عنوان دلایلی تعریف می‌شوند که بر ویژگی‌های عملکرد یک سیستم قدرت متصل به هم تأثیر می‌گذارند. نمونه‌هایی از این چالش‌ها عبارتند از ظرفیت شبکه انتقال از دست رفته یا کفایت تولید ناکافی، که مورد دوم به توانایی یک مجموعه تولید موجود در ارتباط است. این چالش ها را می توان با فناوری های راه حل های مختلف برطرف کرد. نمونه‌هایی از فناوری‌های راه‌حل مرتبط با چالش‌های ذکر شده قبلی شامل گسترش شبکه انتقال و همچنین دستگاه‌های ذخیره‌سازی توزیع‌شده یا متمرکز است (سیمون[۳] و همکاران، ۲۰۲۰).

فراتر از برق امروزی، برق تجدیدپذیر می‌تواند برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی در بخش‌های دیگر، مانند گرمایش و حمل‌ونقل نیز استفاده شود. با توجه به پتانسیل های محدود منابع انرژی تجدیدپذیر قابل توزیع، مانند انرژی زیستی، انرژی آبی و انرژی زمین گرمایی، بیشتر کشورها بر گسترش منابع انرژی تجدیدپذیر متنوع تمرکز می کنند. منابع انرژی تجدیدپذیر متنوع مانند خورشید و باد، جایگزینی قانع کننده برای سوخت های فسیلی معمولی هستند. فراوانی ذاتی، سازگاری با محیط زیست، و پتانسیل تولید انرژی غیرمتمرکز، آنها را به عنوان سنگ بنای گذار جهانی انرژی قرار داده است. همزمان، با پیشرفت‌های تکنولوژیکی و کاهش هزینه‌ها، منابع انرژی تجدیدپذیر متنوع به عنوان یک ستون حیاتی برای آینده انرژی پایدار ظاهر شده است. در میان اشکال مختلف انرژی های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی و بادی به دلیل در دسترس بودن، مقیاس پذیری و پتانسیل اجرای گسترده آن ها برجسته است. با این حال، ماهیت متناوب و متغیر منابع خورشیدی و بادی چالش های منحصر به فردی را برای سیستم های قدرت ایجاد می کند. برخلاف نیروگاه های معمولی که می توانند توان خروجی ثابتی را ارائه دهند، پنل های خورشیدی و توربین های بادی بر اساس شرایط آب و هوایی برق تولید می کنند. این تناوب می تواند منجر به نوسانات در تامین برق شود و چالش هایی را برای پایداری و قابلیت اطمینان شبکه ایجاد کند. ادغام تولید برق مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر متغیر نیازمند یک تغییر الگو در بهره برداری و مدیریت سیستم قدرت است. اینجاست که مفهوم انعطاف پذیری سیستم قدرت مطرح می شود. انعطاف پذیری به توانایی سیستم قدرت برای انطباق سریع با تغییرات عرضه و تقاضای برق اشاره دارد. یک سیستم قدرت انعطاف پذیر می تواند به طور یکپارچه نوسانات در تولید انرژی های تجدیدپذیر را تطبیق دهد، عدم تعادل انرژی را مدیریت کند و پایداری شبکه را حفظ کند. این قابلیت پویا برای اطمینان از انتقال آرام به آینده ای که تحت سلطه انرژی های تجدیدپذیر متنوع است، ضروری است (حمیدالله ذهب و همکاران، ۲۰۲۳). انتقال به آینده انرژی پایدار مستلزم ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت است. انرژی های تجدیدپذیر، مانند خورشید و باد، منابع انرژی پاک و فراوانی را ارائه می دهند. با این حال، ادغام آنها به دلیل ویژگی های ذاتی آنها، مانند متناوب بودن و تغییرپذیری، چندین چالش را به همراه

---

۱ Photovoltaics
۲ Variable renewable
۳ Simon

دارد. هدف این مقاله بررسی چالش‌های مرتبط با ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت و ارائه راه‌حل‌ها و استراتژی‌هایی برای مقابله با آنها است.

با پرداختن به این چالش‌ها، سیستم‌های قدرت می‌توانند از مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر بهره ببرند و در عین حال پایداری، قابلیت اطمینان و کارایی شبکه را تضمین کنند. با درک و پرداختن به این چالش‌ها، سیستم‌های قدرت می‌توانند به طور موثر منابع انرژی تجدیدپذیر را ادغام کنند، به چشم‌انداز انرژی پایدارتر کمک کنند و منبع تغذیه قابل اعتماد و انعطاف‌پذیر را برای نسل‌های آینده تضمین کنند. ادغام مقادیر زیادی از انرژی های تجدیدپذیر در سیستم های قدرت نیز نگرانی هایی را در مورد مدیریت و کنترل شبکه ایجاد می کند(هانا مارتینز[۱]، ۲۰۲۳).

افزایش تمرکز جهانی بر پایداری و نیاز به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای منجر به افزایش قابل توجهی در ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر (RES[۲]) در سیستم های قدرت سنتی شده است. انرژی‌های تجدیدپذیر که از منابعی مانند خورشید، باد، آبی و زمین گرمایی به دست می‌آیند، جایگزینی پاک‌تر و پایدارتر برای تولید برق مبتنی بر سوخت‌های فسیلی معمولی است. با این حال، ادغام این منابع انرژی متناوب و متغیر در شبکه های برق موجود چندین چالش را به همراه دارد. این مقاله به بررسی چالش ها و راه حل های مرتبط با ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت می پردازد. لذا میتوان گفت که نیروگاه‌های سنتی برق پایدار و ثابتی را ارائه می‌دهند، اما یکی از نگران‌کننده‌ترین نقاط ضعف این است که به میزان قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند. ادغام انرژی های تجدیدپذیر به عنوان یک راه حل امیدوارکننده در تلاش برای انرژی پایدار ظاهر شده است، مشروط بر اینکه منابع بتوانند در زیرساخت های شبکه موجود ادغام شوند. اما ادغام انرژی های تجدیدپذیر چیست و چگونه کار می کند؟

مبانی نظری

منابع انرژی های تجدیدپذیر

سوخت‌های فسیلی (نفت، گاز و زغال‌سنگ) از زمان انقلاب صنعتی بر ترکیب انرژی غالب بوده‌اند و در حال حاضر ۸۴.۳ درصد از عرضه اولیه انرژی جهانی و ۷۲.۸ درصد از تولید برق جهانی را تشکیل می‌دهند. سوخت‌های فسیلی چگالی انرژی بالایی دارند و برای کاربردهای متعدد مناسب هستند، اما هزینه‌های خارجی بالایی در رابطه با انتشار CO_2 ، آلودگی محلی و سمیت انسانی دارند. برای داشتن چشم‌اندازی از مقیاس این چالش، آژانس بین‌المللی انرژی تخمین می‌زند که تا سال ۲۰۳۰ باید سالانه ۷۴۰ میلیارد دلار در فناوری‌های انرژی پاک در سناریوی توسعه پایدار در مقایسه با ۴۸۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری در سال ۲۰۱۸ سرمایه‌گذاری شود (IEA ۲۰۲۰b). فن‌آوری‌های انرژی آینده باید به سه هدف سیاست انرژی یعنی پایداری، در دسترس بودن و مقرون به صرفه بودن، که گاهی با یکدیگر مبادله می‌شوند، توجه کنند. در دسترس بودن به این معنی است که منابع انرژی باید فراوان، امن و به طور گسترده در دسترس باشند. در مقابل سوخت‌های فسیلی یا اورانیوم، منابع انرژی تجدیدپذیر جریان سالانه انرژی را فراهم می‌کنند که در سرتاسر جهان در دسترس است و پتانسیل انرژی آن از نیازهای انرژی فعلی و آینده جهانی بیشتر است. در نهایت، مقرون به صرفه بودن مستلزم آن است که فناوری‌هایی که از این منابع بهره‌برداری می‌کنند، نسبت به

---

[۱] Hana Martins
[۲] Renewable Energy Sources

ارزشی که ارائه می‌کنند و در مقایسه با گزینه‌های جایگزین، هزینه معقولی داشته باشند. هزینه های باد و خورشید در دهه گذشته به طور چشمگیری کاهش یافته است (وارتیاینن و همکاران، ۲۰۲۰).

برای درک بیشتر مزایا و چالش ها نحوه عملکرد یکپارچه انرژی های تجدیدپذیر بایستی گفت که اهداف یکپارچه سازی انرژی های تجدیدپذیر، تنوع بخشیدن به منابع تولید انرژی برای کاهش اتکا به سوخت های فسیلی و افزایش انعطاف پذیری سیستم قدرت است. با این حال، مسائل مربوط به سازگاری و در دسترس بودن ایجاد می شود. خواه منبع انرژی تجدیدپذیر باشد یا نه، برق وارد شده به شبکه باید همیشه برابر با مقدار خروجی باشد. در غیر این صورت ممکن است قطع برق رخ دهد. منابع انرژی تجدیدپذیر مانند آب و زمین گرمایی می توانند به طور مداوم انرژی تولید کنند تا نیازهای برق پایه را برآورده کنند، اما این منابع در همه جا در دسترس یا قابل دوام نیستند. باد و خورشید در بسیاری از مکان ها گزینه های مناسبی هستند اما در طول روز و سال به طور قابل توجهی متفاوت هستند. در حال حاضر، شبکه‌های برق برای تولید، انتقال و توزیع برق از نیروگاه‌ها به مصرف‌کنندگان نهایی به یک جریان ثابت انرژی وابسته هستند. در نهایت، یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر به فناوری‌های هوشمند برای بهینه‌سازی توزیع انرژی و افزایش کارایی مدیریت شبکه بستگی دارد.

پیشینه پژوهش

مطالعات انجام گرفته در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. مطالعات انجام گرفته

ردیف	نام و نام خانوادگی	سال	عنوان	روش	نتیجه گیری
۱	بنیامین کروپوسکی	۲۰۱۷	ادغام سطوح بالای انرژی های تجدیدپذیر متغیر در سیستم های قدرت الکتریکی	این مقاله چالش‌های ادغام سطوح فوق‌العاده VRE در سیستم قدرت الکتریکی را بررسی می‌کند، طیف وسیعی از راه‌حل‌ها را برای این چالش‌ها مرور می‌کند، و توصیفی از چندین نمونه از سیستم‌های VRE فوق‌العاده بالا را که امروزه در حال کار هستند، ارائه می‌کند.	از آنجایی که انرژی‌های تجدیدپذیر متنوع (VRE) مانند باد و خورشید در سیستم‌های قدرت الکتریکی ادغام می‌شوند، چالش‌های فنی از نیاز به حفظ تعادل بین بار و تولید در همه مقیاس‌های زمانی ناشی می‌شوند.
۲	اردیوانشه و همکاران	۲۰۲۱	بررسی انتقادی ادغام منابع انرژی تجدید پذیر با فناوری های مختلف	این مطالعه تحقیقات خاصی را بر روی راه‌حل‌ها و چالش‌های فن‌آوری مختلف، به‌ویژه در حوزه سیستم قدرت انجام داد. نتایج بررسی راه‌حل و چالش‌های تکنولوژیکی مرتبط مهم‌ترین بخش‌هایی هستند که در آینده توسعه خواهند یافت. دسته بندی های توسعه	نتایج بررسی راه‌حل و چالش‌های تکنولوژیکی مرتبط مهم‌ترین بخش‌هایی هستند که در آینده توسعه خواهند یافت. توسعه راه حل های مختلف فناوری تجدیدپذیر می تواند به حل چالش های RE کمک کند. انتظار می رود پتانسیل راه حل های تکنولوژیکی توسعه یافته بتواند به آنها کمک کند و آنها را به ویژه

				یافته در این مطالعه برای کمک به تعیین نیازهای خاص و افزایش شفافیت فرآیند یکپارچه سازی انرژی های تجدیدپذیر در آینده استفاده می شود.	انرژی مقرون به صرفه در اولویت قرار دهد. علاوه بر این، راه حل های فناوری که به صورت گروهی شناسایی می شوند، می توانند به کاهش چالش های خاص کمک کنند.
۳	حمیدالله ذهب و همکاران	۲۰۲۳	ارزیابی انعطاف پذیری شبکه بهینه برای ادغام تولید برق مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر	این مطالعه به انعطاف‌پذیری سیستم قدرت، با تمرکز جدی بر روی ادغام تولید برق تجدیدپذیر متغیر در شبکه‌های برق می‌پردازد. دو سناریو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سناریوی پایه یک شبکه قدیمی، ظرفیت تولید ناکافی، قطعی مکرر، و تولید اندک انرژی تجدیدپذیر (۱.۹٪)، همراه با کاهش قابل توجه (۷۱.۲۳٪) بار را نشان داد.	این یافته‌ها چارچوبی قابل تکرار برای پرداختن به چالش‌های مشابه در ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سطح جهانی و حمایت از گذار به انرژی پایدار و قابل اعتماد ارائه می‌دهند.
۴	هانا مارتینز	۲۰۲۳	ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت: چالش ها و راه حل ها	این مقاله چالش های کلیدی مرتبط با ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر را بررسی می کند و راه حل ها و استراتژی هایی برای غلبه بر آنها ارائه می دهد.	این مقاله بر نیاز به تلاش‌های مشترک میان ذینفعان، پیشرفت‌های تکنولوژیکی و چارچوب‌های نظارتی حمایتی برای غلبه بر این چالش‌ها تاکید می‌کند. ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت به دلیل افزایش تقاضا برای انرژی پاک و پایدار در سال های اخیر به یک موضوع مبرم تبدیل شده است. منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی، بادی، آبی و زیست توده مزایای زیادی نسبت به سوخت‌های فسیلی سنتی دارند، از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر و عرضه تقریباً نامحدود. با این حال، ماهیت متناوب و متغیر آنها چالش های مهمی را برای اپراتورها و برنامه ریزان سیستم قدرت ایجاد می کند.
۵	اندرسون میترهوفر	۲۰۲۳	مروری بر مدل‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر	این مقاله بر اساس یک مرور متون سیستماتیک است که یک نمای کلی	این یک زمینه اخیر مورد علاقه است، زیرا ۶۰٪ از مقالات در پنج سال گذشته منتشر

	یونگ و همکاران		متغیر: مکمل و وابستگی مکانی – زمانی	جامع از مطالعاتی را ارائه می‌کند که روش‌ها و روش‌های کاربردی را برای پرداختن به وابستگی و مکمل بررسی می‌کنند.	شده است، مجموعه ای از روش هایی که برای پرداختن به این موضوع به کار گرفته شده اند، از روش های آماری مرسوم گرفته تا هوش مصنوعی. تکنیک copulas به عنوان یک رویکرد مهم برای مدل‌سازی وابستگی متقابل انرژی‌های تجدیدپذیر به نظر می‌رسد. در مقالاتی که دقت روش های بکار گرفته شده و تلاش های محاسباتی را مقایسه می کنند، شکافی وجود دارد.
۶	ایوان ساربو و همکاران	۲۰۲۲	ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای با دمای پایین	این مقاله مروری پیچیده و جامع از ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر (RES) به ویژه انرژی های خورشیدی، زمین گرمایی، و هیدرولیک و پمپ های حرارتی (HPs) و بهبود پمپاژ آب در سیستم های گرمایش منطقه ای (DHS) با تمرکز بر روی کم ارائه می کند.	با یکپارچه سازی سیستم های HP (WSHP)منبع آب در همکاری با کلکتورهای خورشیدی حرارتی و فتوولتائیک (PV) و کاهش دمای تامین از ۱۱۰ درجه سانتی گراد به ۳۰ درجه سانتی گراد در DHS، که رادیاتورهای آب را برای مصرف کنندگان در منطقه ای از این منطقه تامین می کند.
۷	وایت مایر	۲۰۱۵	ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت آینده: نقش ذخیره سازی	با استفاده از سری داده‌های تولید انرژی انرژی خورشیدی و بادی طولانی‌مدت، ما یک رویکرد مدل‌سازی را برای بررسی تأثیر اندازه و کارایی ذخیره‌سازی در مسیر به سمت یک سناریوی ۱۰۰٪ RES ارائه می‌کنیم	نتایج نشان داد که اگر انرژی باقیمانده توسط نیروگاه‌های انعطاف‌پذیر کافی تأمین شود، می‌توان تا ۵۰ درصد از نیاز کلی برق را با ترکیبی بهینه از منابع بادی و خورشیدی بدون تجهیزات محدودکننده و ذخیره‌سازی تأمین کرد. یافته‌های ما بیشتر نشان می‌دهد که نصب دستگاه‌های ذخیره‌سازی کوچک، اما بسیار کارآمد در حال حاضر برای یکپارچه‌سازی RES بسیار مفید است، در حالی که دستگاه‌های ذخیره‌سازی فصلی تنها زمانی مورد نیاز هستند که بیش از ۸۰ درصد تقاضای برق را بتوان با انرژی باد و خورشید تامین کرد. نتایج ما نشان می‌دهد که مصالحه بین نصب ظرفیت‌های تولید اضافی و ظرفیت‌های ذخیره‌سازی مورد نیاز است.

۸	سایمول اسلام، ناروتام کومار روی	۲۰۲۳	ادغام انرژی های تجدیدپذیر در سیستم های قدرت از طریق تکنیک های هوشمند: رویه های پیاده سازی، ویژگی های کلیدی و ارزیابی عملکرد	این مقاله ۸۹ کار تحقیقاتی از تکنیک‌های هوشمند مختلف را که در RESها و سیستم‌های ذخیره انرژی (ESSs) ادغام شده‌اند، تجزیه و تحلیل می‌کند. تکنیک‌های هوشمند با توجه به منابع در نظر گرفته شده، مانند PV، باد، بیوگاز، و انرژی آبی طبقه‌بندی می‌شوند تا بینش معناداری را در زمینه تحقیقاتی خاص نشان دهند.	تجزیه و تحلیل اطلاعات کافی در مورد هر تکنیک در نظر گرفته شده ارائه می دهد که روش های اجرایی، ویژگی های کلیدی و دقت را ارائه می دهد. دقت هر روش با ادغام معیارهای امکان‌سنجی مختلف مانند ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین خطای مطلق (RMAE) و ریشه میانگین درصد خطا (RMPE) تعیین می‌شود. ادغام هوشمند در ESS بر امکان افزایش پشتیبان ذخیره سازی برای سیستم های توزیع برق متصل به RES تأکید می کند. تحلیل مروری نمایانگر دیدگاه فعلی و پتانسیل ترکیب روش‌های هوشمند در سیستم‌های قدرت است و بینش قابل توجهی را در زمینه تحقیقات نشان می‌دهد.

ذخیره انرژی برای یکپارچه سازی انرژی های تجدید پذیر

ذخیره انرژی نقش مهمی در یکپارچه سازی منابع انرژی تجدیدپذیر ایفا می کند. از آنجایی که تولید انرژی های تجدیدپذیر متغیر است، سیستم های ذخیره انرژی وسیله ای برای ذخیره انرژی اضافی برای استفاده بعدی فراهم می کنند. فن‌آوری‌های باتری، ذخیره‌سازی هیدرولیکی پمپ شده و سایر فناوری‌های ذخیره‌سازی نوظهور راه‌حل‌هایی برای ذخیره‌سازی انرژی در مقیاس شبکه ارائه می‌دهند. این سیستم‌های ذخیره‌سازی انعطاف‌پذیری شبکه را افزایش می‌دهند و مدیریت بهتر تولید و تقاضای انرژی تجدیدپذیر را ممکن می‌سازند. علاوه بر این، سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی توزیع‌شده، مانند باتری‌های خانگی، می‌توانند از تولید انرژی تجدیدپذیر محلی پشتیبانی کرده و در هنگام قطع برق، برق پشتیبان را تامین کنند. پیشرفت در فن آوری های ذخیره سازی و کاهش هزینه آنها برای یکپارچه سازی موفقیت آمیز انرژی های تجدید پذیر در سیستم های قدرت بسیار مهم است (اردیوانسیاه[۱] و همکاران، ۲۰۲۱). منابع خورشیدی و بادی اغلب در مناطق دورافتاده و دور از مراکز جمعیتی که انرژی مورد نیاز است قرار دارند. این امر مستلزم توسعه یک زیرساخت انتقال گسترده برای انتقال برق تولید شده از این مکان‌های دور به مناطق شهری است.

ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت چالش هایی را ایجاد می کند، اما می توان از طریق راه حل های مختلف به آن پرداخت. تناوب و تنوع را می توان از طریق سیستم های ذخیره انرژی و مدل های پیش بینی بهبود یافته مدیریت کرد. پایداری و انعطاف شبکه را می توان از طریق تکنیک های پیشرفته مدیریت شبکه و استقرار منابع انعطاف پذیر به دست آورد.

[۱] Erdiwansyah

ارتقاء و گسترش زیرساخت های شبکه برای تطبیق جریان انرژی تجدیدپذیر ضروری است. چارچوب‌های نظارتی حمایتی، تنظیمات طراحی بازار و یکپارچگی فرامرزی می‌توانند ادغام را تسهیل کنند (کروپوسکی[۱]، ۲۰۱۷). در نهایت، پذیرش عمومی و مشارکت جامعه نقش مهمی در تضمین ادغام موفقیت آمیز دارد. با اجرای این راه حل ها، انتقال به یک سیستم برق مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر امکان پذیرتر و پایدارتر می شود. با پرداختن به این چالش‌ها و استفاده از راه‌حل‌ها، کشورها می‌توانند به سمت آینده انرژی پایدارتر، ایمن‌تر و انعطاف‌پذیرتر حرکت کنند. ادغام انرژی های تجدیدپذیر گامی مهم در دستیابی به اهداف جهانی آب و هوا و پرورش جهانی سبزتر و پایدارتر است.

چالش ها و راه حل ها

راه حل انرژی پایدار برای تضمین کیفیت زندگی و امنیت انرژی حیاتی است سیاست انرژی جهان امروز بر کاهش انتشار کربن با حذف وابستگی به سوخت‌های فسیلی تمرکز دارد. کشورهای در حال توسعه آسیایی می توانند رشد اقتصادی خود را با اتخاذ سیاست های انرژی موثر برای استفاده از منابع تجدیدپذیر تقویت کنند با این حال، کشورهای آسیایی از نظر جغرافیایی در یک مرکز بزرگ برای استفاده از انرژی طبیعی قرار دارند که باعث می‌شود کشورها کمتر به واردات فسیل‌هایی مانند نفت، زغال سنگ و گاز از سایر کشورها وابسته باشند. سیاست انرژی این کشورها باید از مزایای اجتماعی-اقتصادی پیروی کند که به معنای کاهش فقر و برابری درآمد با حداقل آلودگی محیطی است (چن و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده مناسب از منابع تجدیدپذیر امکان پذیری محیط هایی با صنعتی شدن، شهرنشینی و رشد اقتصادی سریع را تضمین می کند.

چندین کار تحقیقاتی اخیراً منتشر شده بر جنبه‌های مهم ادغام سیستم ذخیره‌سازی باد، PVو سیستم ذخیره سازی انرژی (ESS)در سیستم‌های قدرت تاکید دارند. در کومار (۲۰۲۲)، یک رویکرد کنترلی برای ردیابی نقطه حداکثر توان (MPPT) یک سیستم هیبریدی باد PV-پیشنهاد شده است. سیستم هیبریدی ۲ مگاواتی در پلت فرم MATLAB/Simulink با در نظر گرفتن پارامترهای قابل توجهی مانند نسبت سرعت نوک، سرعت باد و گشتاور بهینه شبیه سازی شده است. یک مطالعه موردی برای ادغام هیبریدی-PV دیزل-باتری بر اساس الگوریتم بهینه سازی کایوت در ساری و همکاران نشان داده شده است که هدف آن حفظ اندازه بهینه اجزا، حداقل اتلاف حداقل انرژی و کاهش هزینه عملیات است. یک سیستم متمرکز خورشیدی (۱۳۸ مگاوات) و انرژی باد (۱۴۶ مگاوات) در سزر[۲] و همکاران (۲۰۱۹) پیشنهاد شده است که در آن انرژی باد به عنوان پشتیبان در هنگام تابش ناکافی خورشید عمل می کند. راندمان انرژی برای عملکرد ترکیبی دو منبع انرژی ۶۱.۳٪ است. سلیمان و همکاران (۲۰۲۱)، یک رویکرد کنترل هوشمند مبتنی بر کنترل مبتنی بر منطق فازی و حالت لغزش بالا برای سیستم یکپارچه PV، باد، جزر و مد و ESS ارائه شده است. امکان سنجی فنی-اقتصادی و زیست محیطی با استفاده از نرم افزار HOMER Proبرای یک سیستم انرژی خورشیدیPV ، باد و انرژی مبتنی بر سلول سوختی تعیین می شود(البادی[۳] و همکاران، ۲۰۲۰).

---

۱ Kroposki
۲ Sezer
۳ Al-Badi

در دسترس بودن تابش خورشیدی و سرعت باد بسته به محیط متفاوت است. سلول خورشیدی یک خروجی برق dc تولید می کند که باید به ac تبدیل شود (فررو برمخو[۱] و همکاران، ۲۰۱۹). پاسخ اینرسی و پایداری فرکانس نگرانی های اساسی ادغام سلول خورشیدی و باد در شبکه برق است. انرژی آبی سال‌هاست که در کشورهای مختلف که به جزر و مد آب وابسته هستند و هیچ گاز گلخانه‌ای منتشر نمی‌کنند، به طور قابل اعتمادی استفاده می‌شود. بیوگاز یکی دیگر از منابع حیاتی RES است که زیست توده های مختلف مانند تخلیه طیور و فضولات گاو را برای تولید بیوگاز ترکیب می کند (پرز-ناوارو[۲] و همکاران، ۲۰۱۰). انتظار می رود که منابع تجدیدپذیر بتواند جایگزین منابع انرژی متعارف شود. استفاده مناسب و تکنیک های مناسب برای هر منبع تجدیدپذیر برای به دست آوردن حداکثر انرژی برای برآوردن تقاضای بار ضروری است. باز هم، تولید برق مبتنی بر انرژی های تجدید پذیر به دلیل عدم قطعیت در تابش خورشیدی، سرعت باد و غیره دچار تناوب می شود. تناوب بودن سیستم تجدیدپذیر را برای حفظ تقاضای بار مناسب برای مصرف کنندگان محدود می کند، که قابلیت اطمینان سیستم را مختل می کند.

لذا ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت چالش هایی را ایجاد می کند، اما می توان از طریق راه حل های مختلف به آن پرداخت. از جمله این چالش ها عبارتند از:

متناوب بودن و تغییرپذیری: یکی از چالش های اولیه، ماهیت متناوب و متغیر منابع انرژی تجدیدپذیر است. تولید انرژی خورشیدی و بادی به شرایط آب و هوایی بستگی دارد که منجر به نوسانات تولید انرژی می شود. این تنوع می تواند بر پایداری و قابلیت اطمینان سیستم های قدرت تأثیر بگذارد.

سازگاری با شبکه: شبکه های برق سنتی برای تولید برق متمرکز و قابل توزیع طراحی شده اند. یکپارچه سازی منابع تجدیدپذیر نیازمند تغییراتی در زیرساخت شبکه برای تطبیق جریان برق دو طرفه، مدیریت نوسانات ولتاژ و اطمینان از پایداری شبکه است.

ذخیره انرژی: فقدان راه حل های ذخیره انرژی کارآمد مانعی در استفاده کامل از پتانسیل انرژی های تجدیدپذیر بوده است. توسعه سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی مقرون‌به‌صرفه و مقیاس‌پذیر برای ذخیره انرژی مازاد در دوره‌های تولید بالا و آزادسازی آن در دوره‌های تولید پایین بسیار مهم است.

چالش‌های انتقال و توزیع: بسیاری از منابع انرژی تجدیدپذیر در مناطق دورافتاده قرار دارند، که توسعه شبکه‌های انتقال و توزیع قوی را برای انتقال توان تولید شده به مراکز تقاضا ضروری می‌سازد. زیرساخت ناکافی می تواند منجر به تلفات انتقال و تراکم شبکه شود.

قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری شبکه: تنوع ذاتی منابع انرژی تجدیدپذیر می تواند چالش هایی را برای حفظ قابلیت اطمینان شبکه ایجاد کند. تدابیر کافی باید برای اطمینان از یک منبع تغذیه قابل اعتماد حتی در دوره‌های تولید انرژی تجدیدپذیر کم اجرا شود.

---

[۱] Ferrero Bermejo
[۲] Perez-Navarro

برای این چالش ها راه حل هایی در نظر گرفته شده است از جمله:

مدیریت شبکه پیشرفته: پیاده سازی فناوری های پیشرفته مدیریت شبکه، مانند شبکه های هوشمند، می تواند انعطاف پذیری سیستم های قدرت را افزایش دهد. شبکه‌های هوشمند نظارت، کنترل و بهینه‌سازی در زمان واقعی را امکان‌پذیر می‌کنند و امکان یکپارچه‌سازی بهتر منابع انرژی تجدیدپذیر را فراهم می‌کنند.

فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی: پیشرفت‌ها در فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی، از جمله باتری‌ها، ذخیره‌سازی هیدرولیکی پمپ شده و ذخیره‌سازی حرارتی، نقش مهمی در کاهش متناوب انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا می‌کنند. این فناوری ها می توانند انرژی اضافی را در زمان تولید زیاد ذخیره کنند و در صورت نیاز آن را آزاد کنند.

پیش بینی و تجزیه و تحلیل پیش بینی: تکنیک های پیش بینی پیشرفته و تجزیه و تحلیل پیش بینی به اپراتورهای شبکه کمک می کند تا نوسانات در تولید انرژی تجدیدپذیر را پیش بینی کنند. پیش‌بینی‌های دقیق، مدیریت بهتر شبکه را ممکن می‌سازد و ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر را در سیستم قدرت موجود تسهیل می‌کند.

سیستم های انرژی ترکیبی: ادغام منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر در سیستم های هیبریدی می تواند قابلیت اطمینان کلی سیستم را افزایش دهد. برای مثال، ترکیب خورشید و باد، می‌تواند خروجی توان پایدارتر و قابل اعتمادتری را ارائه دهد.

سرمایه گذاری در زیرساخت های شبکه: دولت ها و شرکت های آب و برق باید در ارتقا و گسترش زیرساخت های انتقال و توزیع برای اتصال پروژه های انرژی تجدیدپذیر به شبکه سرمایه گذاری کنند. این شامل توسعه خطوط انتقال جدید و اتصالات شبکه است.

بحث و نتیجه گیری

ادغام انرژی های تجدیدپذیر شامل ترکیب منابع انرژی تجدیدپذیر در شبکه های برق موجود است. این منابع در صورت ادغام مناسب می توانند انرژی کافی برای آینده ای سبز فراهم کنند. منابع انرژی تجدیدپذیر با سوخت های فسیلی بسیار متفاوت است. افزودن منابع تجدیدپذیر به شبکه برق موجود مزایا و موانع زیادی دارد. متأسفانه، به سادگی اتصال و انتقال برق از طریق زیرساخت نیست. تامین سهم قابل توجهی از تقاضای برق از منابع انرژی تجدیدپذیر در حال حاضر از نظر اقتصادی برای بسیاری از کشورها امکان پذیر است. با کاهش قیمت نهاده ها، به ویژه برای منابع انرژی تجدیدپذیر متنوع (VRE) مانند باد و خورشید، انرژی های تجدیدپذیر به بخشی ضروری از برنامه ها و استراتژی های ملی انرژی تبدیل شده اند. اما از آنجایی که این منابع سهم فزاینده ای از تامین انرژی ملی را فراهم می کنند، چالش هایی را نیز برای برنامه ریزان مسئول قابلیت اطمینان، کفایت و پایداری سیستم های قدرت ایجاد می کنند.

لذا با توجه به مطالب مطروحه میتوان نتیجه گرفت که ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت گامی حیاتی برای دستیابی به آینده انرژی پایدار است. در حالی که چالش‌ها وجود دارد، پیشرفت‌های تکنولوژیکی در حال انجام، همراه با برنامه‌ریزی استراتژیک و سرمایه‌گذاری، به تدریج بر این موانع غلبه می‌کنند. دگرگونی سیستم‌های قدرت برای گنجاندن انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها به نفع محیط‌زیست است، بلکه به افزایش امنیت انرژی و انعطاف‌پذیری نیز کمک می‌کند. با ادامه گذار جهان به سمت

انرژی پاک‌تر، پرداختن به چالش‌های یکپارچه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر همچنان یک تمرکز کلیدی برای صنعت انرژی باقی خواهد ماند.

تحقیقات آتی می تواند بهبود روشهای جمع آوری داده ها و کیفیت داده ها را در اولویت قرار دهد. کاوش و ادغام تکنیک های مدل سازی پیشرفته، از جمله یادگیری ماشینی و هوش مصنوعی؛ انجام تجزیه و تحلیل حساسیت جامع؛ کاوش عمیق در توسعه و اجرای سیاست های انرژی که ادغام VRE را تسهیل می کند. نظارت و تجزیه و تحلیل فناوری های نوظهور مرتبط با تولید انرژی تجدیدپذیر، ذخیره سازی انرژی و مدیریت شبکه؛ ایجاد مشارکت بین سازمان های دولتی، تامین کنندگان انرژی، موسسات دانشگاهی و سازمان های بین المللی؛ و استراتژی‌هایی را برای افزایش انعطاف‌پذیری زیرساخت‌های انرژی افغانستان در برابر رویدادهای شدید آب و هوایی و سایر اختلالات بررسی کنید. با توجه به توسعه سریع این موضوع و تعداد مقالاتی که در سال های اخیر منتشر شده است، مرور ادبیات ابزاری ضروری برای کمک به محققان در این زمینه است.

منابع

Agora Energiewende. ۲۰۱۷. *Future cost of onshore wind. Recent auction results, long-term outlook and implications for upcoming German auctions*. Rep. ۱۱۲/۰۵-A-۲۰۱۷/EN, Agora Energiewende, Berlin.

Al-Badi A., Al Wahaibi A., Ahshan R., Malik A. Techno-economic feasibility of a solar-wind-fuel cell energy system in duqm, oman Energies, ۱۵ (۱۵) (۲۰۲۲), p. ۵۳۷۹

Benjamin Kroposki (۲۰۱۷) Integrating high levels of variable renewable energy into electric power systems, Journals & Magazines, Journal of Modern Power Syste, Volume: ۵ Issue: ٦

Erdiwansyah Erdiwansyah, Mahidin A. Taleb, Husni Husin, Nasaruddin Syafie (۲۰۲۱) A critical review of the integration of renewable energy sources with various technologies, Protection and Control of Modern Power Systems ٦(۱):۳

Erdiwansyah, Mahidin, H. Husin, Nasaruddin and M. Zaki, et al. "A critical review of the integration of renewable energy sources with various technologies." *Prot Control Mod* ٦ (۲۰۲۱): ۱-۱۸.

Ferrero Bermejo J., Gomez Fernandez J.F., Olivencia Polo F., Crespo Marquez A.A review of the use of artificial neural network models for energy and reliability prediction. a study of the solar PV, hydraulic and wind energy sources Appl. Sci., ۹ (۹) (۲۰۱۹), p. ۱۸٤٤

Hameedullah Zaheb, Hameedullah Zaheb, Mikaeel Ahmadi, Nisar Ahmad Rahmany, Mir Sayed Shah Danish, Habibullah Fedayi andAtsushi Yona(۲۰۲۳) Optimal Grid Flexibility Assessment for Integration of Variable Renewable-Based Electricity Generation, *Sustainability* ۲۰۲۳, *15*(۲۰), ۱۵۰۳۲

Hana Martins(۲۰۲۳) Integration of Renewable Energy Sources in Power Systems: Challenges and Solutions, Journal of Electrical & Electronic Systems, Mini Review - (۲۰۲۳) Volume ۱۲, Issue ۱

Kroposki, Benjamin. "Integrating high levels of variable renewable energy into electric power systems." *J Mod Power Syst Clean Energy* ۵ (۲۰۱۷): ۸۳۱-۸۳۷.

Sayemul Islam, Naruttam Kumar Roy(۲۰۲۳) Renewables integration into power systems through intelligent techniques: Implementation procedures, key features, and performance evaluation, Energy Reports Volume ۹, December ۲۰۲۳, Pages ٦۰٦۳-٦۰۸۷

Sezer N., Biçer Y., Koç M. Design and analysis of an integrated concentrated solar and wind energy system with storageInt. J. Energy Res., ٤۳ (۸) (۲۰۱۹), pp. ۳۲٦۳-۳۲۸۳

Simon R. Sinsel, Rhea L. Riemke, Volker H. Hoffmann (۲۰۲۰)Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources—a review, Renewable Energy Volume ۱٤٥, January ۲۰۲۰, Pages ۲۲۷۱-۲۲۸٥

Stefan Weitemeyer, David Kleinhans, Thomas Vogt, Carsten Agert(۲۰۱٥) Integration of Renewable Energy Sources in future power systems: The role of storage, Renewable Energy Volume ۷٥, March ۲۰۱٥, Pages ۱٤-۲۰

Xiangchengzhen M., Yilmaz S. Renewable energy cooperation in Northeast Asia: Incentives, mechanisms and challenges Energy Strategy Rev., ۲۹ (۲۰۲۰), Article ۱۰۰٤٦۸