



فصلنامه مدیریت مهندسی و تحول دیجیتال



Original Research Article



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

Yousef Karami

^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 ۲۰۲۴

Date Accepted: ۲۶ May ۲۰۲۴

Date published: ۱۰ July ۲۰۲۴

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.karami^{۹۶}@gmail.com

How to cite this article:

Karami, Y. (۲۰۲۴). An overview of the challenges and solutions of integrating renewable energy sources. *Journal of Engineering Management and Digital Transformation*, ۷(۲), ۶۷-۷۹



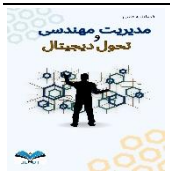
©۲۰۲۳ The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution-NonCommercial ۴,۰ International (CC BY-NC), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

Publisher: Chatre Andisheh International Publishing Institute



مدیریت مهندسی و تحول دیجیتال

Homepage: <https://Jonarbset.ir>



مقاله پژوهشی

مروری بر چالش‌ها و راه‌حل‌های ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر

یوسف کرمی^۱

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

چکیده

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،
راه‌حل‌ها.

این مطالعه مروری بر ارتباط متقابل چالش‌ها و فناوری‌های ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت ارائه می‌کند. پتانسیل راه‌حل فناوری‌های مختلف می‌تواند علاوه بر تمرکز بر گزینه‌های مقرون به صرفه، به اولویت بندی فناوری‌ها کمک کند. طبقه بندی توسعه یافته در این مقاله به مشخص کردن بهتر نیاز به فناوری‌های خاص کمک می‌کند و شفافیت فرآیند پیچیده ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت را افزایش می‌دهد، و طیف وسیعی از راه‌حل‌ها را برای این چالش‌ها مرور می‌کند. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه در سیستم تولید برق تفاوت‌ها و چالش‌های مختلفی را ایجاد کرده است. با این وجود، چالش‌ها و راه‌حل‌های تکنولوژیک هنوز به ندرت در ادبیات مورد بحث قرار می‌گیرند. این مقاله که به روش توصیفی تحلیلی و با استفاده از منابع کتابخانه‌ای تأکید می‌کند که ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت، به سوی آینده انرژی پایدار است. همانطور که ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر روز به روز تکامل می‌یابد و چشم‌انداز انرژی را تغییر می‌دهد، این مقاله به عنوان راهنمای درک پیچیدگی‌های این گذار حیاتی عمل می‌کند.

ایمیل نویسنده مسئول

yosef.karami96@gmail.com

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

ناشر: موسسه انتشارات بین‌المللی چتر اندیشه



Creative Commons: CC BY ۴.۰

مقدمه

در دهه‌های گذشته، رشد بی‌سابقه‌ای در دو فناوری به‌ویژه - فتوولتائیک خورشیدی (PV^1) 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^2) در جنبه‌های مختلف با فناوری‌های تولید مرسوم متفاوت است. این ویژگی‌ها چالش‌هایی را در سیستم‌های قدرت موجود ایجاد می‌کند. 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 چالش‌ها را می‌توان با فناوری‌های راه حل‌های 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 پتانسیل‌های محدود منابع انرژی تجدیدپذیر قابل توزیع، مانند انرژی زیستی، انرژی آبی و انرژی زمین‌گرمایی، بیشتر کشورها بر گسترش منابع انرژی تجدیدپذیر متنوع تمرکز می‌کنند. منابع انرژی تجدیدپذیر متنوع مانند خورشید و باد، جایگزینی قانع‌کننده برای سوخت‌های 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 انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی و بادی به دلیل در دسترس بودن، مقیاس پذیری و پتانسیل اجرای گسترده آن‌ها برجسته است. با این حال، ماهیت متناوب و متغیر منابع خورشیدی و بادی چالش‌های منحصر به فردی را برای سیستم‌های قدرت ایجاد می‌کند. برخلاف نیروگاه‌های معمولی که می‌توانند توان خروجی ثابتی را ارائه دهند، پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی بر اساس شرایط آب و هوایی برق تولید می‌کنند. این تناوب می‌تواند منجر به نوسانات در تامین برق شود و چالش‌هایی را برای پایداری و قابلیت اطمینان شبکه ایجاد کند. ادغام تولید برق مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر متغیر نیازمند یک تغییر الگو در بهره‌برداری و مدیریت سیستم قدرت است. اینجاست که مفهوم انعطاف پذیری سیستم قدرت مطرح می‌شود. انعطاف پذیری به توانایی سیستم قدرت برای انطباق سریع با تغییرات عرضه و تقاضای برق اشاره دارد. یک سیستم قدرت انعطاف پذیر می‌تواند به طور یکپارچه نوسانات در تولید انرژی‌های 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 آینده‌ای که تحت سلطه انرژی‌های تجدیدپذیر متنوع است، ضروری است (حمیدالله ذهب و همکاران، ۲۰۲۳). انتقال به آینده انرژی پایدار مستلزم ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت است. انرژی‌های تجدیدپذیر، مانند خورشید و باد، منابع انرژی پاک و فراوانی را ارائه می‌دهند. با این حال، ادغام آنها به دلیل ویژگی‌های ذاتی آنها، مانند متناوب بودن و تغییرپذیری، چندين چالش را به همراه

¹ Photovoltaics² Variable renewable³ 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 انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت نیز نگرانی‌هایی را در مورد مدیریت و کنترل شبکه ایجاد می‌کند (هانا مارتینز^۱، ۲۰۲۳).

افزایش تمرکز جهانی بر پایداری و نیاز به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به افزایش قابل توجهی در ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر (RES^۲) در سیستم‌های 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 شبکه‌های برق موجود چندین چالش را به همراه دارد. این مقاله به بررسی چالش‌ها و راه‌حل‌های مرتبط با ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت می‌پردازد. 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 انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان یک راه حل امیدوارکننده در تلاش برای انرژی پایدار ظاهر شده است، مشروط بر اینکه منابع بتوانند در زیرساخت‌های شبکه موجود ادغام شوند. اما ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر چیست و چگونه کار می‌کند؟

مبانی نظری

منابع انرژی‌های 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 CO₂، 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 (وارتیاپنن و همکاران، ۲۰۲۰).

برای درک بیشتر مزایا و چالش‌ها نحوه عملکرد یکپارچه انرژی‌های تجدیدپذیر بایستی گفت که اهداف یکپارچه سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، تنوع بخشیدن به منابع تولید انرژی برای کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و افزایش انعطاف پذیری سیستم قدرت است. با این حال، مسائل مربوط به سازگاری و در دسترس بودن ایجاد می‌شود. 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 می‌توانند 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 مکان‌ها گزینه‌های 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 انرژی‌های تجدیدپذیر متغیر در سیستم‌های 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 تجدیدپذیر با فناوری‌های 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 بندی‌های توسعه	نتایج بررسی راه‌حل و چالش‌های تکنولوژیکی مرتبط مهم‌ترین بخش‌هایی هستند که در آینده توسعه خواهند یافت. توسعه خواهند یافت. نتایج بررسی راه‌حل و چالش‌های تکنولوژیکی مرتبط مهم‌ترین بخش‌هایی هستند که در آینده توسعه خواهند یافت. دسته بندی‌های توسعه

				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 و همکاران	۲۰۲۳	ارزیابی انعطاف پذیری شبکه بهینه برای ادغام تولید برق مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر	این مطالعه به انعطاف پذیری سیستم قدرت، با تمرکز جدی بر روی ادغام تولید برق تجدیدپذیر متغیر در شبکه های برق می پردازد. 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 یافته ها چارچوبی قابل تکرار برای پرداختن به چالش های مشابه در ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سطح جهانی و حمایت از گذار به انرژی پایدار و قابل اعتماد ارائه می دهند.
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 تلاش های مشترک میان ذینفعان، پیشرفت های تکنولوژیکی و چارچوب های نظارتی حمایتی برای غلبه بر این چالش ها تاکید می کند. 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 سوخت های فسیلی سنتی دارند، از جمله انتشار گازهای گلخانه ای 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 مدل سازی انرژی های 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، مجموعه‌ای از روش‌هایی که برای پرداختن به این موضوع به کار گرفته شده اند، از روش‌های 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 روش‌های بکار گرفته شده و تلاش‌های محاسباتی را مقایسه می‌کنند، 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 انرژی‌های خورشیدی، زمین گرمایی، و هیدرولیک و پمپ‌های حرارتی (HPs) و بهبود پمپاژ آب در سیستم‌های گرمایش منطقه‌ای (DHS) با تمرکز بر روی کم‌ارائه می‌کند.	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 می‌کند.
۷	وایت مایر	۲۰۱۵	ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم های قدرت آینده: نقش ذخیره سازی	با استفاده از سری داده‌های تولید انرژی تجدیدپذیر 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 می‌دهد که روش های اجرایی، ویژگی های کلیدی و دقت را ارائه می‌دهد. 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 می‌کند. 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 می‌کند. از آنجایی که تولید انرژی های تجدیدپذیر متغیر است، سیستم های ذخیره انرژی وسیله ای برای ذخیره انرژی اضافی برای استفاده بعدی فراهم می‌کنند. فن‌آوری‌های باتری، ذخیره‌سازی هیدرولیکی پمپ شده و سایر فناوری‌های ذخیره‌سازی نوظهور راه‌حلی 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 تأمین کنند. پیشرفت در فن‌آوری 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 می‌کند، اما می‌توان از طریق راه حل های مختلف به آن پرداخت. تناوب و تنوع را می‌توان از طریق سیستم های ذخیره انرژی و مدل های پیش بینی بهبود یافته مدیریت کرد. پایداری و انعطاف شبکه را می‌توان 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. چارچوب های نظارتی حمایتی، تنظیمات طراحی بازار و یکپارچگی فرامرزی می توانند 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 چالش ها و استفاده از راه حل ها، کشورها می توانند به سمت آینده انرژی پایدارتر، ایمن تر و انعطاف پذیرتر 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 سوخت های 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 می شود کشورها کمتر به واردات فسیل هایی 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 محیطی هایی با صنعتی شدن، شهرنشینی و رشد اقتصادی سریع را تضمین می کند.

چندین کار تحقیقاتی اخیراً منتشر شده بر جنبه های مهم ادغام سیستم ذخیره سازی باد، PV و سیستم ذخیره سازی انرژی (ESS) در سیستم های 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 کاپوت 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 Pro برای یک سیستم انرژی خورشیدی PV، 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 می‌کند که باید به ac تبدیل شود (فررو برمخو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). پاسخ اینرسی و پایداری فرکانس نگرانی‌های 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 توده‌های مختلف مانند تخلیه طیور و فضولات گاو را برای تولید بیوگاز ترکیب می‌کند (پرز-ناوارو^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). انتظار می‌رود که منابع تجدیدپذیر بتواند جایگزین منابع انرژی متعارف شود. استفاده مناسب و تکنیک‌های مناسب برای هر منبع تجدیدپذیر برای به دست آوردن حداکثر انرژی برای برآوردن تقاضای بار ضروری است. باز هم، تولید برق مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل عدم قطعیت در تابش خورشیدی، سرعت باد و غیره دچار تناوب می‌شود. تناوب بودن سیستم تجدیدپذیر را برای حفظ تقاضای بار مناسب برای مصرف‌کنندگان محدود می‌کند، که قابلیت اطمینان سیستم را مختل می‌کند.

لذا ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت چالش‌هایی را ایجاد می‌کند، اما می‌توان از طریق راه‌حل‌های مختلف به آن پرداخت. از جمله این چالش‌ها عبارتند از:

متناوب بودن و تغییرپذیری: یکی از چالش‌های 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 می‌شود. این تنوع می‌تواند بر پایداری و قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت تأثیر بگذارد.

سازگاری با شبکه: شبکه‌های برق سنتی برای تولید برق متمرکز و قابل توزیع طراحی شده‌اند. 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 راه‌حل‌های ذخیره انرژی کارآمد مانعی در استفاده کامل از پتانسیل انرژی‌های 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 می‌تواند منجر به تلفات انتقال و تراکم شبکه شود.

قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری شبکه: تنوع ذاتی منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند چالش‌هایی 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 چالش‌ها راه‌حل‌هایی در نظر گرفته شده است از جمله:

مدیریت شبکه پیشرفته: پیاده‌سازی فناوری‌های پیشرفته مدیریت شبکه، مانند شبکه‌های هوشمند، می‌تواند انعطاف‌پذیری سیستم‌های 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 فناوری‌ها می‌توانند انرژی اضافی را در زمان تولید زیاد ذخیره کنند و در صورت نیاز آن را آزاد کنند.

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

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

سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های شبکه: دولت‌ها و شرکت‌های آب و برق باید در ارتقا و گسترش زیرساخت‌های انتقال و توزیع برای اتصال پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر به شبکه سرمایه‌گذاری کنند. این شامل توسعه خطوط انتقال جدید و اتصالات شبکه است.

بحث و نتیجه‌گیری

ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر شامل ترکیب منابع انرژی تجدیدپذیر در شبکه‌های برق موجود است. این منابع در صورت ادغام مناسب می‌توانند انرژی کافی برای آینده‌ای سبز فراهم کنند. منابع انرژی تجدیدپذیر با سوخت‌های 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 امکان‌پذیر است. با کاهش قیمت نهاده‌ها، به ویژه برای منابع انرژی تجدیدپذیر متنوع (VRE) مانند باد و خورشید، انرژی‌های تجدیدپذیر به بخشی ضروری از برنامه‌ها و استراتژی‌های ملی انرژی تبدیل شده‌اند. اما از آنجایی که این منابع سهم فزاینده‌ای از تامین انرژی ملی را فراهم می‌کنند، چالش‌هایی را نیز برای برنامه‌ریزان مسئول قابلیت اطمینان، کفایت و پایداری سیستم‌های قدرت ایجاد می‌کنند.

لذا با توجه به مطالب مطرح‌شده می‌توان نتیجه گرفت که ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم‌های 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 ادامه‌گذار جهان به سمت

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

تحقیقات آتی می‌تواند بهبود روشهای جمع‌آوری داده‌ها و کیفیت داده‌ها را در اولویت قرار دهد. کاوش و ادغام تکنیک‌های مدل‌سازی پیشرفته، از جمله یادگیری ماشینی و هوش مصنوعی؛ انجام تجزیه و تحلیل حساسیت جامع؛ کاوش عمیق در توسعه و اجرای سیاست‌های انرژی که ادغام VRE را تسهیل می‌کند. نظارت و تجزیه و تحلیل فناوری‌های نوظهور مرتبط با تولید انرژی تجدیدپذیر، ذخیره‌سازی انرژی و مدیریت شبکه؛ ایجاد مشارکت بین سازمان‌های دولتی، تامین‌کنندگان انرژی، موسسات دانشگاهی و سازمان‌های بین‌المللی؛ 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 سال‌های 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: ۶
- 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* ۶(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* ۶ (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. ۱۸۴۴
- Hameedullah Zaheb, Hameedullah Zaheb, Mikael Ahmadi^{Nisar} Ahmad Rahmany^{Mir} Sayed Shah Danish, Habibullah Fedayi and Atsushi 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 ۶۰۶۳-۶۰۸۷
- Sezer N., Biçer Y., Koç M. Design and analysis of an integrated concentrated solar and wind energy system with storage *Int. J. Energy Res.*, ۴۳ (۸) (۲۰۱۹), pp. ۳۲۶۳-۳۲۸۳

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 ۱۴۵, January ۲۰۲۰, Pages ۲۲۷۱-۲۲۸۵

Stefan Weitemeyer, David Kleinhans, Thomas Vogt, Carsten Agert (۲۰۱۵) Integration of Renewable Energy Sources in future power systems: The role of storage, *Renewable Energy* Volume ۷۵, March ۲۰۱۵, Pages ۱۴-۲۰

Xiangchengzhen M., Yilmaz S. Renewable energy cooperation in Northeast Asia: Incentives, mechanisms and challenges *Energy Strategy Rev.*, ۲۹ (۲۰۲۰), Article ۱۰۰۴۶۸