نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال یازدهم/ شماره سی و هفتم- ویژه نامه‌ی نیروگاههای تلمبه ذخیره‌ای/ بهار ۱۴۰۳

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric PowerPlant
11th Year/ No. 37- Special Issue on Pumped Storage Power Plants/ June 2024

تحلیل روند و بررسی موضوعی انتشارات علمی در حوزه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای

امیر حاتم خانی*[۱]
محمد ابراهیم رئیسی[۲]

چکیده

این مقاله به بررسی روند انتشارات علمی در حوزه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در مطالعات و انتشارات سال‌های اخیر می‌پردازد. هدف اصلی این مطالعه، تحلیل و ارزیابی رشد علمی و موضوعات پژوهشی مرتبط با این فناوری به منظور شناسایی روندها و الگوهای تحقیقاتی موجود است. ابتدا، با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط، تعداد مقالات منتشر شده در این حوزه، در هر سال، استخراج و تحلیل شد. سپس، توزیع موضوعی مقالات با توجه به حوزه‌های علمی مرتبط شناسایی و بررسی گردید. همچنین، مجلات علمی معتبر و تأثیرگذار در این زمینه، شناسایی و ارائه شدند. نتایج به‌دست‌آمده، نشان می‌دهد که تعداد انتشارات علمی بین‌المللی در حوزه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای به طور پیوسته افزایش یافته و این مقالات، عمدتاً در مجلات با ضریب تأثیر بالا منتشر شده‌اند، اما انتشارات به زبان فارسی، روند کاهشی داشته است. حوزه‌های علمی مرتبط با این مقالات، شامل مهندسی برق، مهندسی انرژی و علوم محیط زیست می‌باشند. این مطالعه، نشان می‌دهد که موضوعات اصلی پژوهش‌ها در این زمینه، شامل بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، تحلیل اقتصادی و ارزیابی زیست‌محیطی این فناوری است. این تحقیق، اطلاعات ارزشمندی را در مورد روندها و الگوهای پژوهشی در حوزه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای ارائه می‌دهد و می‌تواند به عنوان منبعی مفید برای پژوهشگران، سیاست‌گذاران و صنعت‌گران در جهت توسعه و بهبود این فناوری مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی

نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، روند انتشارات، الگوهای پژوهشی، ضریب تأثیر

[۱]* دانش‌آموخته‌ی دکتری مهندسی عمران-مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیطزیست ، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. آدرس پست الکترونیک: a_hatamkhani@sbu.ac.ir
[۲] مدیر بخش بررسی‌های اقتصادی، شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس. تهران، ایران

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

مقدمه

نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌های ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی، نقش مهمی در مدیریت و پایداری شبکه‌های برق ایفا می‌کنند. این نیروگاه‌ها، با بهره‌گیری از تکنولوژی پمپاژ آب به مخازن بالا در زمان‌های کم‌باری و آزادسازی آن در زمان‌های پرباری، امکان ذخیره‌سازی انرژی و استفاده‌ی بهینه از منابع تجدیدپذیر را فراهم می‌آورند. با توجه به اهمیت روزافزون انرژی‌های تجدیدپذیر و نیاز به مدیریت بهینه‌ی شبکه برق، تحقیقاتی جامع در زمینه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای ضروری به نظر می‌رسد.

این تحقیق، با هدف بررسی جامع و تحلیل روند انتشارات علمی مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای انجام شده است. هدف این تحقیق، تحلیل کمّی مقالات منتشر شده برای بررسی تعداد مقالات مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و تحلیل روند تغییرات آن‌ها، در طول زمان است. همچنین، حوزه‌های علمی مرتبط که بیشترین تعداد مقالات در زمینه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در آن‌ها منتشر گردیده و ارزیابی مجلات علمی که بیشترین تعداد مقالات مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را منتشر کرده‌اند و تحلیل ضریب تأثیر آن‌ها نیز در این تحقیق، مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت، موضوعات اصلی مقالات از طریق تحلیل محتوای آن‌ها برای شناسایی موضوعات اصلی مورد بحث و پژوهش‌های جاری در زمینه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در این تحقیق مورد بررسی قرار است.

برای دستیابی به اهداف تحقیق، مراحل مختلفی دنبال شده است. در ابتدا، دو پایگاه داده معتبر الزویر[1] و اشپرینگر[2] به عنوان منابع اصلی جمع‌آوری اطلاعات، انتخاب شده است.این دو پایگاه داده، گستردگی و پوشش جامع مقالات علمی در حوزه‌های مختلف را دارند. سپس، جستجوی مقالات، با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ انجام شده است. پس از آن، اطلاعات مربوط به تعداد مقالات منتشر شده، حوزه‌های علمی، مجلات و موضوعات اصلی مقالات از نتایج جستجو استخراج شده‌اند. در مرحله‌ی بعد، تحلیل کمّی و کیفی داده‌های جمع‌آوری شده انجام شده است تا روندهای اصلی در انتشار مقالات، حوزه‌های علمی مرتبط، مجلات با بیشترین تعداد مقالات و موضوعات اصلی مورد بحث، شناسایی شوند. در نهایت، نمودارهای مربوط به تعداد مقالات منتشر شده در هر سال، توزیع مقالات در حوزه‌های علمی مختلف، مجلات برتر و تحلیل موضوعات اصلی مقالات ترسیم شده و نتایج، گزارش شده است. این تحقیق با استفاده از روش‌های تحلیل داده و نمودارهای بصری، به ارائه‌ی تصویری جامع از وضعیت فعلی و روندهای آتی در حوزه پژوهش‌های مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای پرداخته و اطلاعات ارزشمندی برای پژوهشگران، سیاست‌گذاران و صنعت‌گران فراهم می‌آورد.

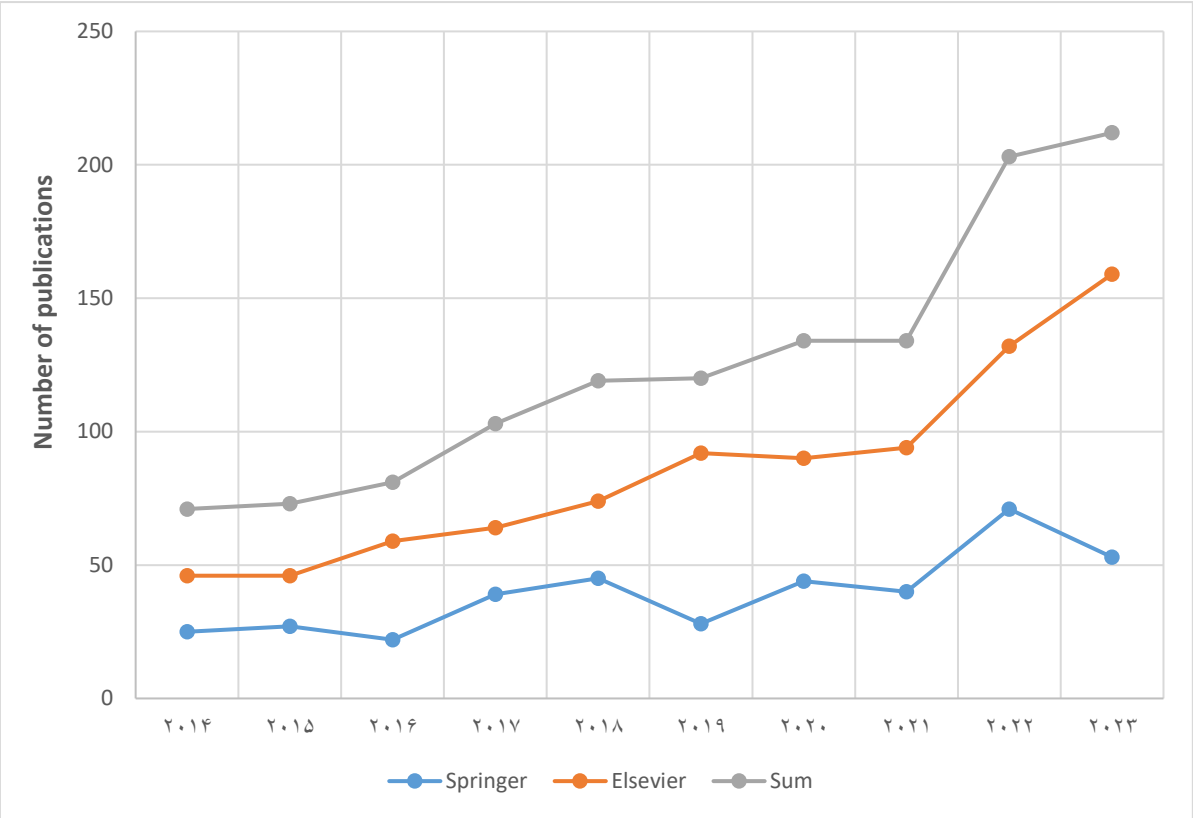
مروری بر نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای در انتشارات اخیر

نمودار ارائه شده در شکل (۱)، تعداد مقالات منتشر شده با موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را در دو پایگاه داده اشپرینگر و الزویر از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد. در پایگاه" اشپرینگر"، تعداد مقالات به طور کلی ثابت بوده و تنها در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ افزایش ناگهانی داشته و سپس در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است. در مقابل، "الزویر" روند افزایشی پیوسته و یکنواختی در تعداد مقالات منتشر شده، داشته و در سال‌های اخیر سرعت افزایش بیشتر شده است. مجموع مقالات در هر دو پایگاه داده نیز، به طور پیوسته افزایش یافته و از سال ۲۰۱۸ به بعد شیب افزایشی بیشتری داشته که نشان‌دهنده‌ی افزایش توجه به موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای است. به طور کلی، این نمودار، نشان‌دهنده‌ی اهمیت رو به رشد این حوزه در مطالعات علمی و تحقیقاتی و افزایش توجه پژوهشگران به موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در سال‌های اخیر است.

[1] Elsevier

[2] Springer

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

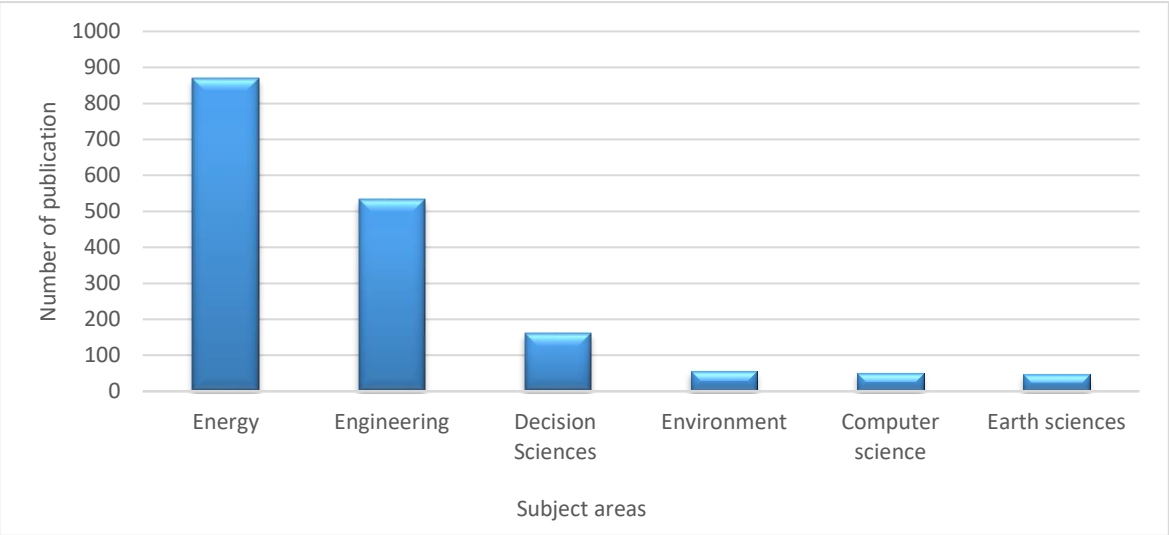


شکل (۱): تعداد انتشارات با موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را در دو پایگاه

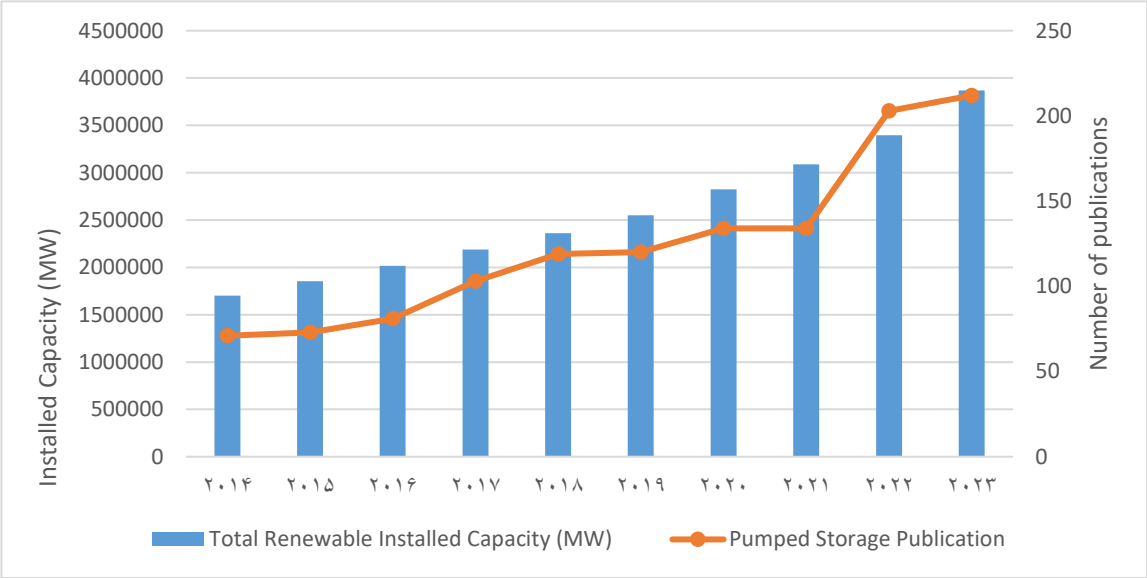
شکل (۲)، تعداد مقالات منتشر شده با موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را در حوزه‌های مختلف علمی نشان می‌دهد. بیشترین تعداد مقالات در حوزه‌ی انرژی، با حدود ۹۰۰ مقاله منتشر شده است. پس از آن، حوزه‌ی مهندسی، با حدود ۵۰۰ مقاله قرار دارد. حوزه‌ی علوم تصمیم‌گیری نیز تعداد قابل توجهی مقاله (حدود ۱۰۰ مقاله) دارد. سایر حوزه‌ها، شامل محیط زیست، علوم کامپیوتر، و علوم زمین هر کدام تعداد کمتری مقاله دارند، که همگی کمتر از ۱۰۰ مقاله را شامل می‌شوند. این نمودار، نشان می‌دهد که پژوهش‌های مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای بیشتر در حوزه‌های انرژی و مهندسی متمرکز شده‌اند و توجه کمتری به این موضوع در سایر حوزه‌ها معطوف شده است.

شکل (۳)، تغییرات ظرفیت نصب انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیا (به مگاوات) و تعداد انتشارات در زمینه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد. از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳، ظرفیت نصب شده‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر به طور پیوسته افزایش یافته است. در سال ۲۰۱۴، ظرفیت نصب شده حدود ۱,۵۰۰,۰۰۰ مگاوات بود و تا سال ۲۰۲۳ به حدود ۴,۰۰۰,۰۰۰ مگاوات رسیده است. این رشد نمایی نشان‌دهنده‌ی افزایش سرمایه‌گذاری و توجه جهانی به توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر است. از طرفی تعداد انتشارات در زمینه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای تعداد مقالات نیز در طول این سال‌ها افزایش یافته است. از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷، تعداد مقالات منتشر شده، روند صعودی ملایمی داشته است. از سال ۲۰۱۸ به بعد، رشد

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]



شکل (۲): تعداد انتشارات با موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را در حوزه‌های مختلف علمی مختلف



شکل (۳): تغییرات ظرفیت نصب انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیا و تعداد انتشارات در زمینه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای

قابل توجهی در تعداد مقالات مشاهده می‌شود، به ویژه در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ که افزایش چشمگیری داشته است و روند افزایش آن بیشتر از توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است.

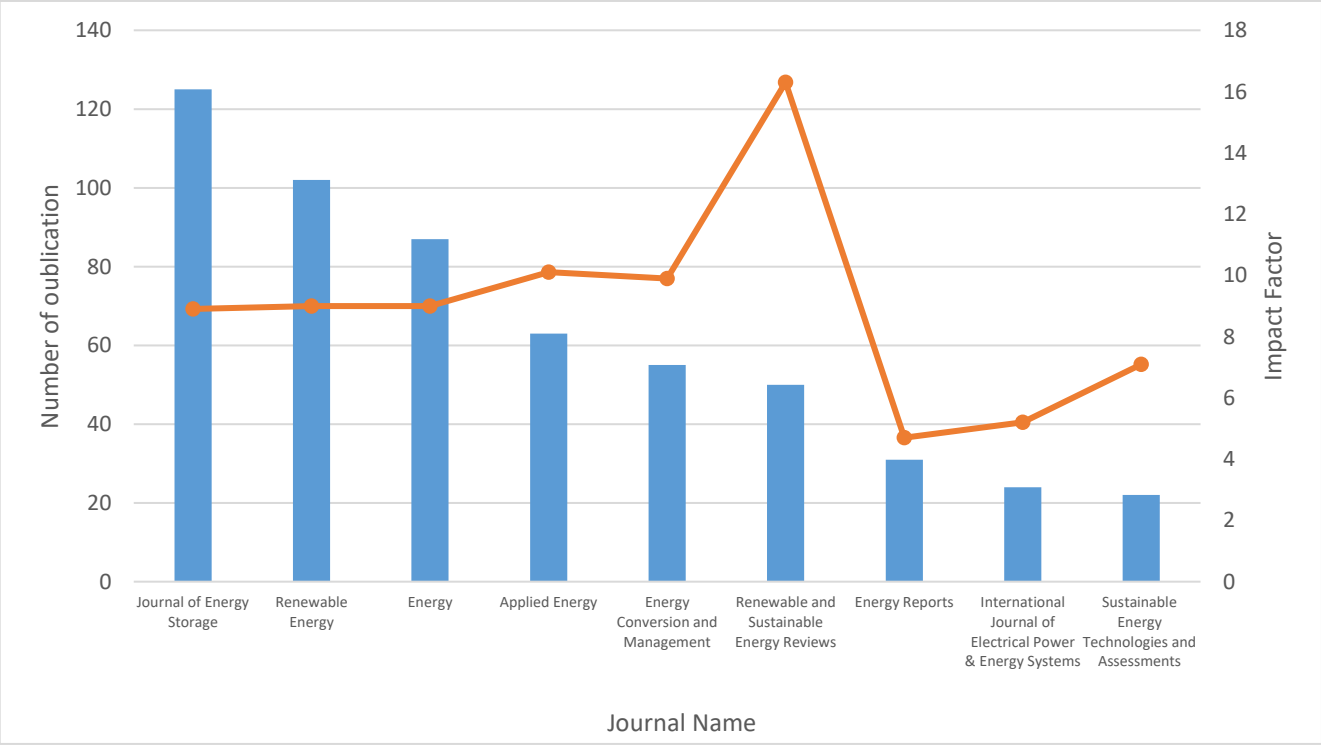
بنابراین با افزایش ظرفیت نصب انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیا، توجه پژوهشگران به نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای نیز افزایش یافته است. این همزمانی، نشان‌دهنده اهمیت نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در حمایت و پشتیبانی از توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر است. افزایش تعداد مقالات منتشر شده در زمینه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای نشان می‌دهد که این حوزه، به عنوان یک موضوع مهم و پرکاربرد در جامعه علمی شناخته شده و پژوهشگران زیادی به بررسی و توسعه‌ی آن می‌پردازند. افزایش ظرفیت نصب انرژی‌های تجدیدپذیر نیز، نشان‌دهنده‌ی تعهد جهانی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حرکت به سمت منابع انرژی پایدار و دوستدار محیط زیست است. این تحلیل نشان می‌دهد که نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، نقش مهمی در پایداری و

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

افزایش کارایی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ایفا می‌کنند و تحقیقات در این زمینه، همچنان به شدت ادامه دارد.

شکل (۴)، تعداد مقالات منتشر شده در مجلات مختلف با موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و ضریب تأثیر هر مجله را نشان می‌دهد. بیشتر مقالات در مجلات حوزه‌ی انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر منتشر شده‌اند. تعداد زیادی از مقالات مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در حوزه‌ی انرژی منتشر شده‌اند. به عنوان مثال، مجله ذخیره انرژی[1]، انرژی تجدیدپذیر[2]، و انرژی[3] جزء مجلات با تعداد بالای مقالات هستند. این نشان می‌دهد که موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای به عنوان یک بخش مهم در حوزه‌ی انرژی شناخته شده و پژوهشگران به طور گسترده‌ای در این زمینه فعالیت می‌کنند. مجلاتی مانند انرژی تجدیدپذیر و بررسی انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار[4]، نقش برجسته‌ای در انتشار مقالات دارند. این موضوع نشان‌دهنده‌ی توجه خاص به انرژی‌های تجدیدپذیر و اهمیت نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، در این زمینه است. این نوع مجلات، به دلیل توجه به پایداری و کاهش اثرات زیست‌محیطی، محتوای علمی مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر را به صورت گسترده‌ای پوشش می‌دهند.

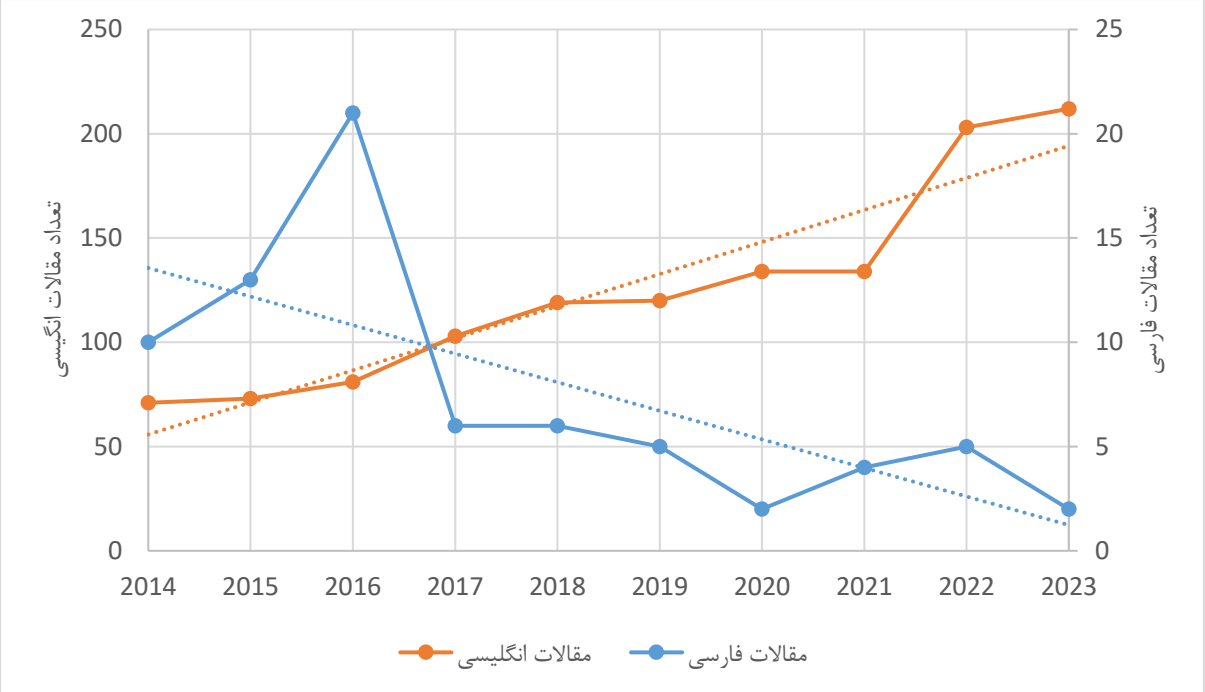
بسیاری از مقالات، در مجلات با ضریب تأثیر بالا، منتشر شده‌اند. به عنوان مثال بررسی انرژی های تجدیدپذیر و پایدار با ضریب تأثیر حدود ۱۶، نشان‌دهنده‌ی کیفیت و اهمیت مقالات منتشر شده در این مجله است. مجلات دیگر مانند انرژی کاربردی[5] نیز دارای ضریب تأثیر بسیار بالایی هستند که حاکی از کیفیت بالای مقالات و اعتبار علمی این مجلات است. به طور کلی انتشار مقالات در مجلات معتبر حوزه‌ی انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر، نشان‌دهنده‌ی اهمیت و کیفیت بالای پژوهش‌های انجام شده در زمینه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای است و تمرکز بر مجلات با ضریب تأثیر بالا، نشان می‌دهد که پژوهشگران در تلاشند تا یافته‌های خود را در مجلات با بالاترین استانداردهای علمی منتشر کنند. به طور کلی، شکل (۴)، نشان‌دهنده‌ی رشد و



شکل (۴): تعداد مقالات منتشر شده در مجلات مختلف با موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و ضریب تاثیر هر مجله

[1] Journal of Energy Storage
[2] Renewable Energy
[3] Energy
[4] Renewable and Sustainable Energy Reviews
[5] Applied Energy

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]



شکل (۵): تعداد و روند مقالات مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را به دو زبان فارسی و انگلیسی

توجه بالای جامعه‌ی علمی به موضوع نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در حوزه‌ی انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر است.

برای مقایسه، نمودار ارائه شده در شکل (۵)، تعداد مقالات مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را به دو زبان فارسی و انگلیسی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد. برای این منظور، از دو پایگاه داده‌ی سیویلیکا (برای مقالات همایشی) و پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (مقالات نشریه‌ای) استفاده شد. در سال ۲۰۱۵، تعداد مقالات فارسی به اوج خود رسید و حدود ۲۰ مقاله منتشر شده است. پس از این سال، تعداد مقالات فارسی به شدت کاهش یافته و در سال ۲۰۲۳ به ۲ مقاله رسیده است. در حالی که تعداد مقالات انگلیسی، همواره در سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است که نشان دهنده‌ی رشد پیوسته در این حوزه است. کاهش شدید تعداد مقالات فارسی پس از سال ۲۰۱۵، ممکن است ناشی از تغییرات در اولویت‌های تحقیقاتی، کاهش منابع پژوهشی، یا دیگر عوامل مرتبط باشد.

در ادامه، به بررسی برخی از مهمترین موضوعات زمینه هایی که در سال‌های اخیر در انتشارات علمی مورد بررسی قرار گرفته است، پرداخته می شود. با اینکه جنبه‌های فنی مانند بهینه‌سازی بهره‌برداری و طراحی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در بسیاری از مطالعات به طور گسترده بررسی شده است، تمرکز ما بر روی بررسی ابعاد محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی این سیستم‌ها قرار گرفته است. این دیدگاه بطور وسیع‌تر به تعامل پیچیده‌ی بین این سیستم‌ها و محیط پیرامون آنها توجه دارد و نه تنها به بهره‌وری و مهندسی آن‌ها، بلکه به تأثیرات آن‌ها بر اکوسیستم‌ها، جوامع و اقتصادها نیز می‌پردازد. با پرداختن به این حوزه‌های اغلب نادیده گرفته شده، ما در پی ارائه درکی جامع‌تر از نقش و پتانسیل ذخیره‌سازی تلمبه در پیشبرد راه‌حل‌های انرژی پایدار هستیم.

محیط زیست و پایداری

شکل (۶)، تعداد انتشارات مرتبط با ملاحظات زیست محیطی و پایداری که در زمینه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای هستند را از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد. تعداد انتشارها از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ به طور کلی روند افزایشی داشته است. به ویژه، از سال ۲۰۱۸ به بعد تعداد انتشارات به طور چشمگیری افزایش یافته که می‌تواند به دلیل آگاهی بیشتر جهانی درباره تغییرات اقلیمی و نیاز به استفاده از

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

انرژی‌های تجدیدپذیر باشد. در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ نیز تعداد انتشارات به اوج خود رسیده و در سال ۲۰۲۳ به بیشترین میزان خود رسیده است. این روند، نشان‌دهنده‌ی اهمیت روزافزون ملاحظات زیست‌محیطی و پایداری در توسعه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای است.

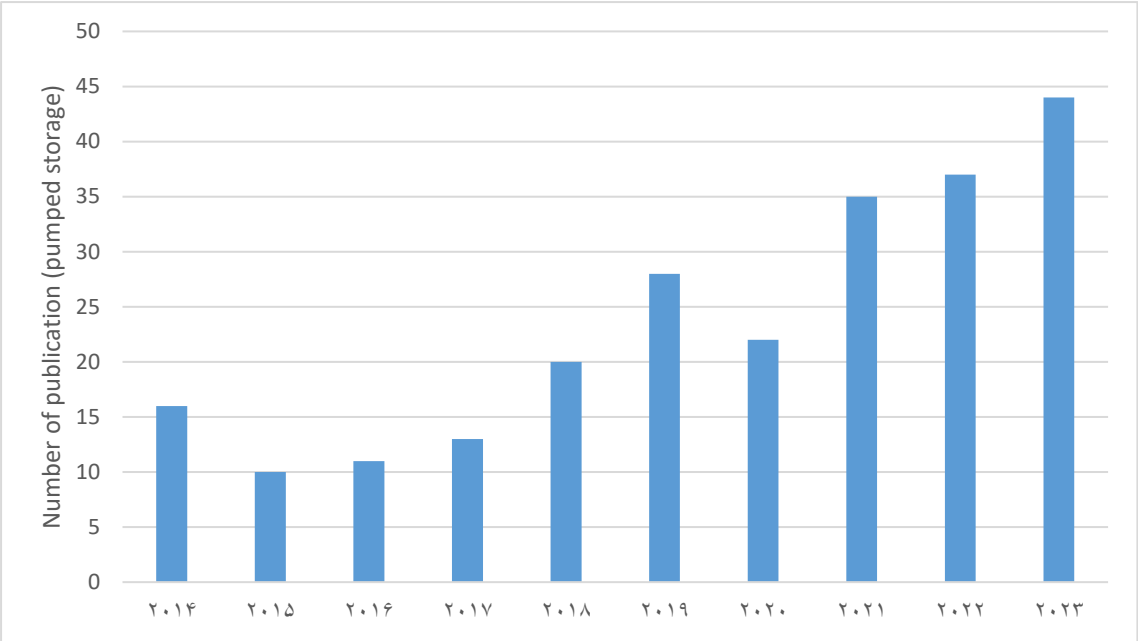
یکی از عوامل محرک برای استفاده از نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، به‌طوری که توسط مطالعات مورد بررسی توصیف شده است، ویژگی‌های پایداری (انرژی پاک و عمر طولانی) آن‌ها است:. توسعه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای از استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر حمایت می‌کند و به‌طور مستقیم وابستگی به انرژی‌های غیرقابل تجدید مانند نیروی زغال سنگ که هنوز هم استفاده می‌شود را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، جایگزینی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای که با منبع تجدیدپذیر تقویت شده باشند، می‌تواند به طور قابل توجهی انتشارات گازهایی مانند گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق، کربن مونوکسید و دیگر آلاینده‌های گازی گلخانه‌ای از تولید برق ناپاک را کاهش دهد (مینگ[1] و همکاران). احتمالاً دی‌اکسید کربن (CO_2) بیشترین نقش را در گازهای گلخانه‌ای دارد که باعث گرمایش جهانی و اثر گلخانه‌ای می‌شود. بنابراین، استفاده از نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و کاهش CO_2 به‌معنای دستیابی به توسعه‌ی اقتصادی کم‌کربن است که همچنین با انجام توافق پاریس درباره تغییرات آب و هوایی فراهم می‌آید (فن[2] و همکاران). عمر تخمین زده شده برای نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای بین ۴۰ تا ۸۰ سال است (انکه و وانگ[3] ۲۰۱۶)، در حالی‌که برخی مطالعات این عمر را تا ۱۰۰ سال نیز ارائه داده‌اند که این به‌معنی اعتبار بالا است که برای سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذارانی که به دنبال فرصت‌های تجاری هستند، بسیار جذاب است.

نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای به طور معمول نیاز به دو مخزن دارد و مطالعات مورد بررسی نشان داده‌اند که یک سد موجود، معدن زغال سنگ متروکه یا یک دریاچه می‌تواند به عنوان مخزن بالا یا پایین استفاده شود (چن[4] و همکاران ۲۰۱۶). این موضوع، به دلیل کاهش تضادهای استفاده از زمین و نیاز به پاک‌سازی گیاهان، که به نوبه خود زمان و هزینه ساخت را نیز کاهش می‌دهد (سواکول[5] ۲۰۱۱)، می‌تواند از نظر زیست‌محیطی مفید باشدهمچنین مطالعات مورد بررسی، اهمیت طبیعت جغرافیایی و منابع آب را به عنوان عوامل مهم محرک توصیف کردند. یک طبیعت جغرافیایی مطلوب اختلاف ارتفاع و شیب فنی مورد نیاز بین دو مخزن تلمبه ذخیره‌ای را فراهم می‌کند. در غیر این صورت، توسعه‌ی مصنوعی اختلاف ارتفاع و شیب مورد نیاز منجر به افزایش هزینه ساخت می‌شود. منابع آب در نزدیکی رودخانه‌ها یا جریان‌ها برای پر کردن اولیه یک مخزن یا تکمیل آب از دست رفته به دلیل تبخیر یا نشتی مفید هستند. از سوی دیگر، استفاده از تانکرهای آب برای حمل و نقل ممکن است از نظر زیست‌محیطی یا اقتصادی، قابلیت انجام نداشته باشد. چالش‌های تهیه زمین و ساختگاه مناسب، مانند نوع کاربری زمین، پاک‌سازی گیاهان و مالکیت زمین، از جمله پیچیدگی‌های زیست‌محیطی توسعه‌ی تلمبه ذخیره‌ای هستند. نباید هیچ مداخله‌ای در زمین‌های محافظت‌شده یا جنگل‌ها، سیستم‌های رودخانه، ناحیه‌های شهری یا روستایی یا کشاورزی متراکم، پارک‌های ملی یا مناطق با ارزش تاریخی یا فرهنگی وجود داشته باشد. نقض این رهنمودها معمولاً از نظر زیست‌محیطی و اجتماعی توصیه نمی‌شود؛ در غیر این صورت، این کار، توسعه‌ی پروژه را پیچیده می‌کند (بلیکرز[6] و همکاران ۲۰۱۴).

مطالعات نشان دادند که از دست دادن تنوع زیستی مرتبط با توسعه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای به عنوان یک مانع محیط‌زیستی برجسته برای توسعه آنها است (کاپیلا[7] و همکاران ۲۰۱۶). مطالعات، اثرات محیطی بر پرندگان و ماهیگیری و تغییرات دما و فرسایش خاک را نقل می‌کنند.

[1] Ming
[2] Fan
[3] Aneke and Wang
[4] Chen
[5] Sovacool
[6] Blakers
[7] Capilla

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]



شکل (۶): تعداد انتشارات در زمینه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای با ملاحظات زیست محیطی و پایداری

به عنوان مثال، یک فعال محیط‌زیستی علیه پروژه‌ی رودخانه هادسون در ایالات متحده، ساخت این پروژه را بر اساس ادعاهایی که تهدیدی برای کسب و کار ماهیگیری می‌نموده بود، مسدود کرد (یانگ و جکسون[1] ۲۰۱۱). به طور مشابه، یک مطالعه در ترکیه یک محل ساخت نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را به خاطر حساسیت به از دست دادن تنوع زیستی برجسته کرد و خواستار اطمینان از حفاظت از محیط‌های حیاتی، گونه‌های تهدید شده و مناطق تخمگذاری شد (کوکوکالی[2] ۲۰۱۴).

مطالعه‌ای در نپال هم هشدار داد که پروژه‌های برق‌آبی جریانی ممکن است به دلیل اختلال در اکولوژی رودخانه، تهدیدی برای مهاجرت ماهی‌ها ایجاد کند (سوهاردیمان و کارکی[3] ۲۰۱۹). برخی از مطالعات هم هشدار دادند که نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای ممکن است بر روی زیستگاه‌های پرندگان تأثیر داشته باشد (لو[4] و همکاران ۲۰۲۰) و مشکلات فرسایش خاک ناشی از آن در مطالعه دیگری گزارش شده است (لو[5] و همکاران ۲۰۲۰). یکی از مطالعات نیز به این نکته اشاره کرد که ایجاد مخازن یا دریاچه‌های بزرگ ممکن است با افزایش دمای پایین‌تر و کاهش دمای بالاتر، اقلیم محلی را تغییر دهد؛ بنابراین، منطقه خنک‌تر خواهد شد (گاجیک[6] و همکاران ۲۰۱۹).

موضوعات اقتصادی-اجتماعی

شکل (۷)، نشان‌دهنده تعداد انتشارات مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای با رویکردهای اقتصادی، اجتماعی و اقتصادی-اجتماعی از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ است. انتشارات با رویکرد اقتصادی-اجتماعی از سال ۲۰۱۸ شروع شده و در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ افزایش چشمگیری داشته‌اند و در سال ۲۰۲۳ به بالاترین میزان خود رسیده‌اند. انتشارات با رویکرد اقتصادی در بیشتر سال‌ها بیشترین تعداد را داشته و در سال ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ به اوج خود رسیده‌اند. انتشارات با رویکرد اجتماعی از سال ۲۰۱۸ به بعد روند افزایشی داشته و در سال ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ به بالاترین تعداد خود رسیده‌اند اما به طور کلی توجه کمتری به آنها شده است. این روندهای افزایشی نشان‌دهنده توجه بیشتر به مسائل پایداری، تغییرات اقلیمی، و نیاز به تحلیل‌های جامع‌تر اقتصادی و اجتماعی در توسعه و بهره‌برداری از

[1] Yang and Jackson
[2] Kucukali
[3] Suhardiman and Karki
[4] Lu
[5] Lu
[6] Gajic

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

نیروگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی است. این توجه بیشتر به دلایل مختلفی صورت گرفته است. نیاز به توسعه‌ی پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی پروژه‌های انرژی، افزایش آگاهی و مشارکت جوامع محلی، سیاست‌ها و مقررات دولتی و ضرورت برنامه‌ریزی مالی دقیق‌تر و کاهش هزینه‌ها از جمله این دلایل هستند. علاوه بر این، پیشرفت‌های فناوری و افزایش دسترسی به داده‌های دقیق‌تر نیز امکان انجام تحلیل‌های جامع‌تر را فراهم کرده است. این عوامل باعث شده‌اند که تحلیل‌های اقتصادی و اجتماعی در سال‌های اخیر اهمیت بیشتری پیدا کنند.

اقتصادی

مطالعات مورد بررسی نشان می‌دهند که نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای یک منبع قوی برای تولید درآمد است (موراج و اندرسون[1] ۲۰۱۴). در این فرایند، نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای از انرژی الکتریکی ارزان در ساعات کم‌بار شبکه برق استفاده می‌کند تا آب را به سمت بالا حمل کند. این آب در ساعات اوج به سمت پایین فرستاده می‌شود تا برق تولید شود و به نرخ‌های بالاتری فروخته شود. این روش تجارت در فرصت‌های اختلاف قیمت انرژی، سهامداران انرژی را به‌طور قوی جلب می‌کند. در گذر زمان با پیشرفت تکنولوژی، قیمت برق از منابع تجدیدپذیر به شدت کاهش یافته است و این منابع به عنوان ارزان‌ترین گزینه در مقایسه با سوخت‌های فسیلی شناخته می‌شوند (رام[2] و همکاران ۲۰۱۸). این وضعیت برای تکنولوژی تلمبه ذخیره‌ای هم درست است، با این حال هزینه‌های سرمایه‌گذاری هنوز به طور کلی بالاتر هستند (که معمولاً به مکان خاص وابسته است). با این حال علاوه بر ارائه‌ی برق ارزان، هزینه‌های ارزان بهره‌برداری و نگهداری، آن را برای استفاده تجاری بلندمدت جذاب می‌کند.

یکی از مهمترین مسائل که در مطالعات بررسی شده، هزینه‌های سرمایه‌ای، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، دوره‌ی بازگشت سرمایه و سایر پارامترهای اقتصادی را به عنوان موانع مالی پیچیده برای پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای مطرح کردند. سرمایه‌گذاری اولیه‌ی پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای معمولاً به طور خاص به هر محل مربوط می‌شود، و برخی مطالعات اعلام کرده‌اند که این هزینه از ۶۰۰ تا ۳۰۰۰ یورو بر هر کیلووات متغیر است (علی[3] و همکاران ۲۰۲۱). این هزینه شامل زمین، ساخت جاده، هزینه‌های توسعه (مطالعه پروژه و مدیریت، که ۷–۱۰٪ از هزینه‌های اولیه را شامل می‌شود)، تجهیزات، اتاق‌های کنترل، تجهیزات الکترومکانیکی ثانویه، اتصال به شبکه و کابل‌کشی داخلی و هزینه اولیه ترانسفورماتور است (عبدالطیف[4] و همکاران ۲۰۱۸). مطالعات مختلف اشاره کردند که هزینه اضافی احتمالاً باید برای تأمین مالی همه هزینه‌های سرمایه‌ای صرف شود. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری ممکن است شامل هزینه‌های نگهداری تأسیسات و پمپ‌کردن آب به مخزن بالایی باشد. با این حال، این هزینه، ممکن است بسته به زمانی که برق از شبکه برای اجرای ماشین پمپ‌کن برداشته می‌شود، متغیر باشد (ابدون[5] و همکاران ۲۰۱۷). دستمزد و حقوق کارگران، مهندسان و تیم مدیریت نیز از جمله هزینه‌های بهره‌برداری هستند. هزینه‌های دیگری نیز برای جبران کسب‌وکارهایی مانند کشاورزی و ماهیگیری در مناطق پایین‌دست، لازم است (لی[6] و همکاران ۲۰۲۲).

دسته ای دیگر از مطالعات، شامل بخش سیاستهای دستوری انرژی توسط دولت، ابهامات قوانین بازار و کمبود نیروی متخصص بود. نیروی متخصص، از جمله مهندسین، متخصصان انرژی و سیاست و دارندگان مدارک فنی، برای ساخت نیروگاه‌های برقی بسیار حیاتی هستند. با این حال، در دسترس بودن نیروی متخصص به طور اساسی به سیستم‌های آموزشی کشور بستگی دارد. به دلیل اقتصاد بسته و بعضاً ناکارآمد، کشورهای در حال توسعه به طور عمده از تخصص‌های محلی که می‌توانند مطالعات آمادگی

[1] Murage and Anderson
[2] Ram
[3] Ali
[4] Abdellatif
[5] Abdon
[6] Li

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

اجرا را انجام دهند و یا در ساخت پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای کمک کنند محروم هستند و جذب نیروی کار خارجی، دستمزد بالا و مزایای اضافی موجب افزایش هزینه‌های کل پروژه می‌شود (وو[1] و همکاران ۲۰۱۹). آزادسازی بازارهای برق سرعت گسترش پروژه‌های انرژی را تسریع می‌کند و عدم انجام آن تأثیرات منفی دارد. عدم وجود قوانین بازار یا نامعلوم بودن آن، یکی از دلایل اصلی کمبود سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر از جمله تلمبه ذخیره‌ای است (گاجیک و همکاران ۲۰۱۹).

ساخت یک پروژه‌ی جدید تلمبه ذخیره‌ای از دسترسی به منابع مالی، بخش دولتی، سرمایه‌گذاران بخش خصوصی یا چندین منبع تأمین مالی دیگر وابسته است و یک امر چالش برانگیز و پیچیده است (راگنر و تروجا[2] ۲۰۱۸). تنها تعداد کمی از سازمان‌ها یا سرمایه‌گذاران خصوصی موافقند تا به دلایلی مانند ابهامات مربوط به زمان مجوزدهی یا دوره‌ی بازپرداخت طولانی، پروژه‌های طولانی مدت از این نوع را تأمین مالی کنند که در حال حاضر، بیشتر نیروگاه‌های برق-آبی در حال اجرا تحت مالکیت بخش دولتی تأمین مالی می‌شوند.

اجتماعی

پروژه‌های توسعه‌ای تلمبه ذخیره‌ای معمولاً در طول ساخت و بهره‌برداری، فرصت‌های شغلی زیادی، به ویژه برای جمعیت محلی، ایجاد می‌کنند. این امر، جامعه محلی را جذب می‌کند، با این حال، مخالفت‌ها به دلیل عوامل اجتماعی یا سیاسی مختلف در یک پروژه‌ی توسعه‌ای رایج است. بنابراین توسعه‌ی روستایی اهمیت اجتماعی بسیاری دارد که این موضوع در مطالعات مورد بررسی، گزارش شده است (بندیک و سباتاری[3] ۲۰۱۷). مطالعات مورد بررسی علاوه بر این برجسته کردند که موضوع فرصت‌های تجاری از پروژه‌های هیدرو، بیشتر در کشورهای در حال توسعه، به عنوان یک عامل مهم محرک اجتماعی مطرح شده است. این فرصت‌های تجاری، شامل افزایش گردشگری (زیرا بیشتر افراد ممکن است به دلایل آموزشی و تفریحی به سایت‌های پروژه برای بازدید بیشتری مراجعه کنند)، صید و یا پرورش ماهی و اجاره‌ی ملک در نزدیکی سایت‌های پروژه است. علاوه بر این، پیمانکاران محلی نیز ممکن است در فاز ساخت، مواد و سایر خدمات لازم را فراهم کنند. انواع مختلفی از رونق اقتصادی به جز فرصت‌های شغلی و تجاری همراه با پروژه‌های توسعه تلمبه ذخیره‌ای در مناطق روستایی همراه هستند، زیرا موقعیت تلمبه ذخیره‌ای معمولاً در مناطق دورافتاده است که از امکانات ابتدایی مانند جاده و زیرساخت، مدارس و بیمارستان‌ها خالی هستند. بنابراین، توسعه تلمبه ذخیره‌ای به صورت متقابل بهبود جاده‌ها و سایر زیرساخت‌ها و امکانات تفریحی را به همراه دارد، و تقسیم درآمد و پرداخت مالیات‌های محلی نشانگرهای اقتصادی مثبتی برای توسعه روستایی هستند.

مخالفت عمومی از دیگر موارد مطرح شده در ادبیات در مسائل اجتماعی بود. مطالعات مربوطه به پذیرش عمومی، کمبود آگاهی، تأثیر بر کسب‌وکار، اجبار به جابجایی، شکایات از زمان ساخت و مسائل مربوط به اسکان پراکنده، از جمله مسائل دیگر بحث شدند. اختلاف نظر عمومی و اختلاف در پروژه‌های توسعه‌ی تلمبه ذخیره‌ای به نسبت متداول است. عموم ممکن است نسبت به ساخت تلمبه ذخیره‌ای اعتراض کنند و نظراتی همچون اینکه آب ساکن بوی بدی دارد، موجب شیوع بیماری‌های ناشی از پشه‌ها و حشرات می‌شود و خطر شکستن در زمان زلزله وجود دارد، داشته باشند. مطالعه‌ی دیگری (مورتی[4] و همکاران ۲۰۱۹) ادعا کرد که این اعتراضات اغلب به دلیل عدم آگاهی از مزایای اکولوژیکی و مالی پروژه‌هاست. مطالعه‌ی دیگری (لوکاترلی[5] و همکاران ۲۰۱۷) بیان کرد که عموم در مناطق روستایی از زمان تکمیل طولانی پروژه (در برخی موارد ۱۰ سال یا بیشتر) بی‌خبر هستند و از این رو اعتراض می‌کنند. مشکلات برای

[1] Wu
[2] Rogner and Troja
[3] Benedek and Cebotari
[4] Moorthy
[5] Locatelli

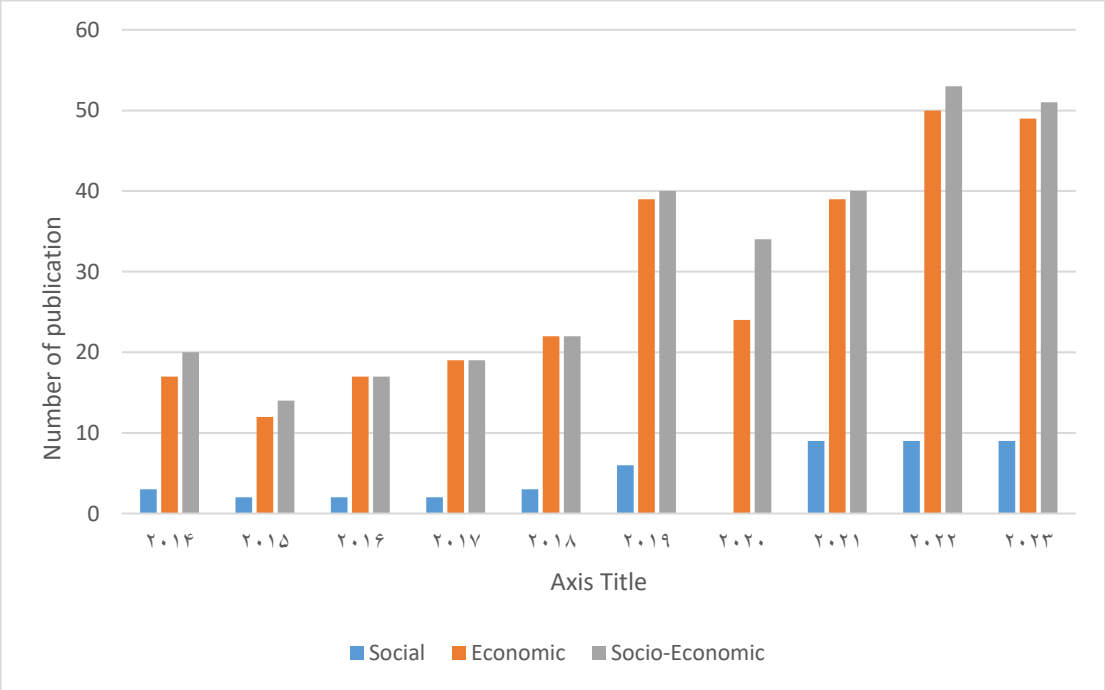
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

ماهیگیری و سایر مزایای مربوط به مردم محلی ساکن پایین‌دست نیز دلایل محتملی برای اختلاف عمومی در پروژه‌های آبی است. این امر باعث می‌شود که تأیید و ساخت این پروژه‌ها چالش برانگیز و زمان‌بر باشد.

مطالعات مورد بررسی بر عدم وجود چارچوب‌های قانونی، کمبود تصمیم‌گیری و عدم هماهنگی بین نهادهای مشارکت‌کننده، به عنوان موانع بالقوه برای سیستم‌های تلمبه ذخیره‌ای تأکید کردند. کمبود برنامه‌ریزی یکپارچه و تصمیم‌گیری علاوه بر هدر رفت منابع اجتماعی، باعث تشدید مشکلات در توسعه پروژه‌های هیدرو می‌شود،(قیمیره و کیم[1] ۲۰۱۸).

ادغام نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای با منابع انرژی تجدید پذیر

شکل (۸) تعداد انتشارات مرتبط با ادغام پروژه‌ی تلمبه ذخیره‌ای با منابع انرژی تجدیدپذیر باد و خورشید را از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد. انتشارات مرتبط ادغام تلمبه ذخیره‌ای با انرژی بادی و خورشیدی، هر دو روند افزایشی داشته‌اند. انتشارات مرتبط با انرژی بادی از سال ۲۰۱۶ به بعد افزایش قابل توجهی نشان داده و در سال ۲۰۲۳ به بالاترین تعداد خود رسیده‌اند. انتشارات مرتبط با انرژی خورشیدی نیز از سال ۲۰۱۸ به بعد روند افزایشی داشته و در سال ۲۰۲۳ به اوج خود رسیده‌اند. همچنین، تعداد کلی انتشارها که نشان‌دهنده‌ی مجموع این دو نوع انرژی است، از سال ۲۰۱۸ به بعد به طور چشمگیری افزایش یافته است. این روندهای افزایشی نشان‌دهنده توجه بیشتر به ادغام تلمبه‌ذخیره‌ای با منابع انرژی تجدیدپذیر از جمله باد و خورشید به منظور افزایش بهره‌وری و پایداری انرژی است. توجه بیشتر به ادغام ذخیره‌سازی پمپی با منابع انرژی تجدیدپذیر به دلیل نگرانی‌های مربوط به تغییرات اقلیمی و نیاز به کاهش انتشار کربن افزایش یافته است (گوا و لی[2] ۲۰۲۳). این ادغام، به مدیریت نوسانات تولید انرژی تجدیدپذیر، پایداری شبکه‌ی برق، کاهش هزینه‌های تولید برق، و بهره‌وری انرژی کمک می‌کند. همچنین، حمایت‌های دولتی، سیاست‌گذاری‌های زیست محیطی، و پیشرفت‌های فناوری نیز نقش مهمی در تشویق تحقیقات و توسعه‌ی این



شکل (۷): انتشارت نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای با رویکرد اقتصادی و اجتماعی

[1] Ghimire and Kim

[2] Gua and Li

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

حوزه دارند. این عوامل موجب افزایش تعداد انتشارات مرتبط با این موضوع در سال‌های اخیر شده است.

منابع انرژی تجدیدپذیر، با وجود مزایای زیست‌محیطی‌شان، به طور ذاتی درجات مختلفی از ناپایداری را نشان می‌دهند. این ویژگی، چالش‌هایی را برای تولید پایدار برق و پایداری شبکه برق ایجاد می‌کند که هر دو برای تضمین تأمین برق بدون وقفه برای مصرف‌کنندگان نهایی بسیار حیاتی هستند. به عنوان مثال، انرژی خورشیدی معمولاً کمتر از انرژی بادی ناپایدار است (پردهان و گوسه[1] ۲۰۲۳). تولید برق از پنل‌های خورشیدی بر اساس زمان، روز و شرایط آب و هوایی با دقت مناسبی قابل پیش‌بینی است، در حالی که تولید انرژی بادی به دلیل عوامل هواشناسی مانند سرعت و جهت باد دچار نوسانات قابل توجهی می‌شود. این نوسانات بر میزان انرژی پاک تولید شده تأثیر می‌گذارند و به نوبه‌ی خود پایداری شبکه برق را تحت تأثیر قرار می‌دهند (یانگ و یانگ[2] ۲۰۱۹).

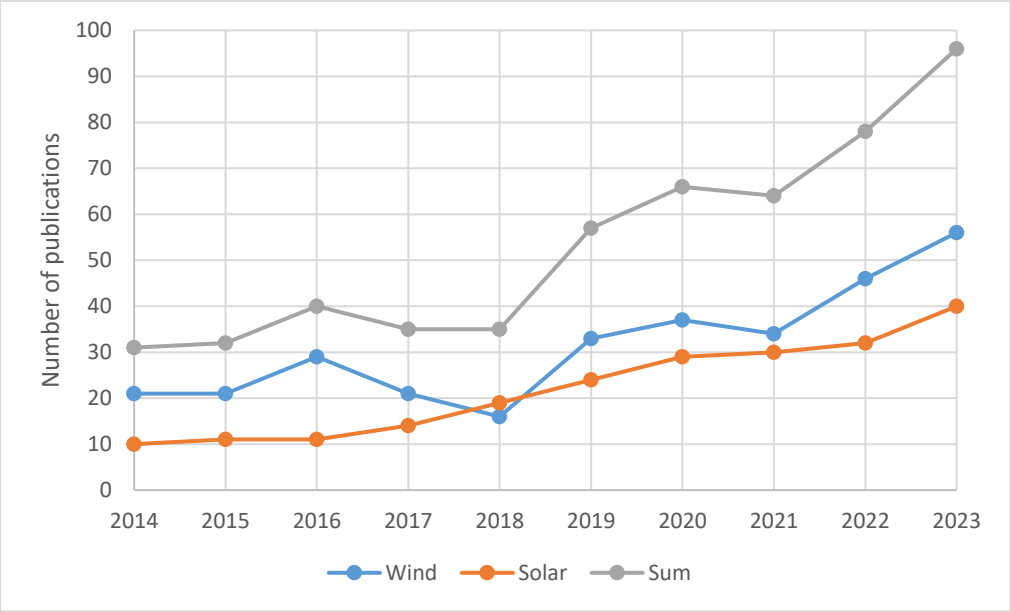
تضمین پایداری شبکه، نیازمند مدیریت مؤثر این نوسانات است. یک رویکرد، یکپارچه‌سازی سیستم‌های ذخیره انرژی، مانند تلمبه ذخیره‌ای یا باتری‌ها است که می‌توانند انرژی اضافی را زمانی که تولید بیش از تقاضا است، ذخیره کرده و در مواقعی که تولید کمتر از تقاضا است، آزاد کند. علاوه بر این، تقویت زیرساخت‌های شبکه و اجرای تکنیک‌های پیش‌بینی پیشرفته، می‌تواند به کاهش تأثیرات ناپایداری کمک کند و تأمین برق پایدار و قابل اعتمادتری از منابع تجدیدپذیر را تضمین کند. برای مقابله با چالش‌های ناشی از ناپایداری منابع انرژی تجدیدپذیر، ذخیره‌سازی انبوه انرژی به عنوان راهکاری مؤثر شناسایی شده است که می‌تواند به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش تخریب محیط زیست کمک کند (سلیم[3] و همکاران ۲۰۱۹). با استفاده از ذخیره‌سازی انرژی، می‌توان ناپایداری منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد، خورشید، موج، جزر و مد، زیست‌توده و پسماندهای شهری را مدیریت کرده و ظرفیت آنها را برای ارائه برق مداوم در ظرفیت‌های اسمی‌شان بهبود بخشید (جاود[4] و همکاران ۲۰۲۰).

انرژی بادی، به ویژه به تغییرات هواشناسی بسیار حساس است، به طوری که سرعت باد در مقیاس‌های ساعتی، روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه متغیر است (علم[5] و همکاران ۲۰۱۴). در شبکه‌های جزیره‌ای منزوی که محدودیت‌های فنی اعمال می‌شود و اندازه سیستم‌ها محدود است، گزینه ذخیره‌سازی انرژی به عنوان مؤثرترین راه برای افزایش کارایی انرژی بادی در نظر گرفته می‌شود (محمود[6] و همکاران ۲۰۱۴). این امر ضرورت استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی را که قادر به جبران نوسانات و تضمین تولید برق قابل اعتماد هستند، برجسته می‌سازد. ادغام سیستم‌های تلمبه ذخیره‌ای با منابع انرژی تجدیدپذیر متغیر، مانند خورشید، باد و زیست‌توده، نه تنها توانایی آنها را برای ارائه خروجی پایدارتر برق افزایش می‌دهد بلکه به پایداری کلی شبکه برق نیز کمک می‌کند (هی[7] و همکاران ۲۰۲۱). این سیستم‌های یکپارچه، مزایای تولید انرژی تجدیدپذیر را با مزایای ذخیره‌سازی و پایداری شبکه‌ای تلمبه ذخیره‌ای ترکیب می‌کنند. ماهیت تصادفی منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشید، باد و آب به اهمیت سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی به ویژه سیستم‌های تلمبه خیره‌ای برای دستیابی به اهداف توافق‌نامه پاریس مبنی بر کربن‌زدایی در بخش انرژی تا سال ۲۰۶۰ و محدود کردن افزایش دمای جهانی به ۱.۷۵ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ تاکید دارد (کاردناس[8] و همکاران ۲۰۲۱).

در سیستم‌های انرژی خورشیدی-تلمبه ذخیره‌ای، انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی پمپ‌هایی استفاده می‌شود که در دوره‌های غیر پیک، آب را از مخزن پایین به مخزن بالا

[1] Pradhan and Ghose
[2] Yang and Yang
[3] Salim
[4] Javed
[5] Alam
[6] Mahmoud
[7] He
[8] Cárdenas

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]



شکل (۸): انتشارات مرتبط با ادغام پروژه‌ی تلمبه ذخیره‌ای با منابع انرژی تجدیدپذیر بادی و خورشیدی

انتقال می‌دهند (دانه کار[1] و یوسفی[2] ۲۰۲۲). به همین ترتیب، سیستم‌های بادی-تلمبه ذخیره‌ای از توربین‌های بادی برای تأمین انرژی پمپاژ استفاده می‌کنند. سیستم‌های زیست‌توده‌ای نیز از زباله‌های آلی یا احتراق زیست‌توده برای تولید انرژی مورد نیاز برای پمپاژ استفاده می‌کنند. این سیستم‌های یکپارچه می‌توانند به طور قابل توجهی انتشار گازهای گلخانه‌ای و وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهند و در عین حال منبع برق قابل اعتماد و پایداری فراهم کنند. یکی از چالش‌های کلیدی در ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر با سیستم‌های تلمبه ذخیره‌ای، مدیریت ناپایداری و تغییرات متغیر تولید برق تجدیدپذیر است. برای حل این مسئله، می‌توان از تکنیک‌های پیشرفته کنترل و بهینه‌سازی همراه با سیستم‌های مدیریت انرژی استفاده کرد تا بهره‌وری بهره‌برداری را تضمین کرده و هدر رفت انرژی را به حداقل برساند.

نتیجه‌گیری

این مطالعه، به بررسی جامع و تحلیل روند انتشارات علمی مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در دو پایگاه داده الزویر و اشپرینگر طی یک دوره ۱۰ ساله (۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳) پرداخته است. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که تعداد مقالات منتشر شده در این زمینه به طور پیوسته افزایش یافته است که بیانگر توجه روزافزون جامعه علمی به این فناوری به عنوان یک راه‌حل کارآمد برای ذخیره‌سازی انرژی و مدیریت پیک مصرف برق می‌باشد. همچنین، شناسایی حوزه‌های علمی مرتبط نشان می‌دهد که پژوهش‌های مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای عمدتاً در حوزه‌های مهندسی برق، مهندسی انرژی و علوم محیط زیست متمرکز هستند که نشان‌دهنده اهمیت چندبعدی و بین‌رشته‌ای این فناوری است.

بررسی مجلات علمی نشان می‌دهد که تعدادی از مجلات معتبر علمی به طور مداوم به انتشار مقالات مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای پرداخته‌اند و ضریب تأثیر بالای این مجلات، نشان از کیفیت و اهمیت بالای پژوهش‌های انجام شده در این حوزه دارد. علاوه بر این، تحلیل محتوای مقالات منتشر شده نشان می‌دهد که موضوعات اصلی مورد بحث شامل بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، تحلیل اقتصادی و ارزیابی زیست‌محیطی این فناوری است که بر ضرورت توسعه و بهبود مستمر این نیروگاه‌ها تأکید دارد.

[1] Danehkar

[2] Yousefi

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

در مجموع، این تحقیق اطلاعات ارزشمندی را در مورد وضعیت فعلی و روندهای آتی پژوهش‌های مرتبط با نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای ارائه می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک منبع مفید برای پژوهشگران، سیاست‌گذاران و صنعت‌گران در جهت توسعه و بهبود این فناوری استفاده شود. با توجه به افزایش نیاز به راه‌حل‌های پایدار و کارآمد برای مدیریت انرژی، انتظار می‌رود که پژوهش‌ها در این حوزه همچنان در آینده نیز ادامه یابد و نقش مهمی در انتقال به سیستم‌های انرژی پایدار ایفا کند.

مراجع

1. Abdellatif, D., AbdelHady, R., Ibrahim, A. M., & El-Zahab, E. A. (2018). Conditions for economic competitiveness of pumped storage hydroelectric power plants in Egypt. *Renewables: Wind, Water, and Solar*, *5*, 1-14.
2. Abdon, A., Zhang, X., Parra, D., Patel, M. K., Bauer, C., & Worlitschek, J. (2017). Techno-economic and environmental assessment of stationary electricity storage technologies for different time scales. *Energy*, *139*, 1173-1187.
3. Alam, M. M., Rehman, S., Al-Hadhrami, L. M., & Meyer, J. P. (2014). Extraction of the inherent nature of wind speed using wavelets and FFT. *Energy for Sustainable Development*, *22*, 34-47.
4. Ali, S., Stewart, R. A., & Sahin, O. (2021). Drivers and barriers to the deployment of pumped hydro energy storage applications: Systematic literature review. Cleaner Engineering and Technology, 5, 100281.
5. Aneke, M., & Wang, M. (2016). Energy storage technologies and real life applications–A state of the art review. *Applied Energy*, *179*, 350-377..
6. Blakers, A., Lu, B., & Stocks, M. (2017). 100% renewable electricity in Australia. *Energy*, *133*, 471-482.
7. Capilla, J. J., Carrión, J. A., & Alameda-Hernandez, E. (2016). Optimal site selection for upper reservoirs in pump-back systems, using geographical information systems and multicriteria analysis. Renewable Energy, 86, 429-440.
8. Cárdenas, B., Swinfen-Styles, L., Rouse, J., Hoskin, A., Xu, W., & Garvey, S. D. (2021). Energy storage capacity vs. renewable penetration: A study for the UK. *Renewable energy*, *171*, 849-867.
9. Cebotari, S., & Benedek, J. Renewable Energy Project as a Source of Innovation in Rural Communities: Lessons from the Periphery, Sustainability. 9 (2017) 509.
10. Chen, H., Xu, Y., Liu, C., He, F., & Hu, S. (2022). Storing energy in China—An overview. *Storing energy*, 771-791
11. Danehkar, S., & Yousefi, H. (2022). A comprehensive overview on water-based energy storage systems for solar applications. *Energy Reports*, *8*, 8777-8797.
12. Deane, J. P., Gallachóir, B. Ó., & McKeogh, E. J. (2010). Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(4), 1293-1302..
13. Fan, J., Xie, H., Chen, J., Jiang, D., Li, C., Tiedeu, W. N., & Ambre, J. (2020). Preliminary feasibility analysis of a hybrid pumped-hydro energy storage system using abandoned coal mine goafs. *Applied Energy*, *258*, 114007
14. Gajic, A., Stevanovic, V., & Pejovic, S. (2019). Pumped-hydro storages are balancing electric energy production of wind and solar reducing average costs and pollution. International Journal of Fluid Machinery and Systems, 12(1), 47-55.
15. Ghimire, L. P., & Kim, Y. (2018). An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP. *Renewable energy*, *129*, 446-456.
16. Guo, W., & Li, J. (2023). Stability and multi-frequency dynamic characteristics of nonlinear grid-connected pumped storage-wind power interconnection system. *Nonlinear Dynamics*, *111*(22), 20929-20958.
17. He, W., King, M., Luo, X., Dooner, M., Li, D., & Wang, J. (2021). Technologies and economics of electric energy storages in power systems: Review and perspective. *Advances in Applied Energy*, *4*, 100060.
18. Rogner, M., & Troja, N. (2018). The world's water battery: Pumped hydropower storage and the clean energy transition. IHA: London, UK.
19. Javed, M. S., Ma, T., Jurasz, J., & Amin, M. Y. (2020). Solar and wind power generation systems with pumped hydro storage: Review and future perspectives. Renewable Energy, 148, 176-192.
20. Kucukali, S. (2014). Finding the most suitable existing hydropower reservoirs for the development of pumped-storage schemes: An integrated approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *37*, 502-508.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

21. Li, Songrui, Yitang Hu, and Lihui Zhang. "Coupling coordination relationship of pumped storage power station and eco-environment system." Journal of Energy Storage 52 (2022): 105029.
22. Locatelli, G., Mariani, G., Sainati, T., & Greco, M. (2017). Corruption in public projects and megaprojects: There is an elephant in the room!. International journal of project management, 35(3), 252-268.
23. Lu, B., Stocks, M., Blakers, A., & Anderson, K. (2018). Geographic information system algorith ms to locate prospective sites for pumped hydro energy storage. *Applied energy*, *222*, 300-312.
24. Lu, Z., Gao, Y., & Zhao, W. (2020). A TODIM-based approach for environmental impact assess ment of pumped hydro energy storage plant. *Jou rnal of Cleaner Production*, *248*, 119265.
25. Mahmoud, M., Ramadan, M., Olabi, A. G., Pullen, K., & Naher, S. (2020). A review of mechanical energy storage systems combined with wind and solar applications. Energy Conversion and Management, 210, 112670.
26. Ming, Z., Junjie, F., Song, X., Zhijie, W., Xiaoli, Z., & Yuejin, W. (2013). Development of China's pumped storage plant and related policy analysis. *Energy Policy*, *61*, 104-113.
27. Moorthy, K., Patwa, N., & Gupta, Y. (2019). Breaking barriers in deployment of renewable energy. *Heliyon*, *5*(1).
28. Murage, M. W., & Anderson, C. L. (2014). Contribution of pumped hydro storage to integration of wind power in Kenya: An optimal control approach. Renewable energy, 63, 698-707.
29. Pradhan, S., & Ghose, D. (2023). An integrated approach to rank prospective sites for wind-powered Pumped Storage Hydroelectric plants to meet rising demand in the Indian subcontinent. Journal of Energy Storage, 72, 108474.
30. Ram, M., Child, M., Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Lohrmann, A., & Breyer, C. (2018). A comparative analysis of electricity generation costs from renewable, fossil fuel and nuclear sources in G20 countries for the period 2015-2030. *Journal of cleaner production*, *199*, 687-704.
31. Rogner, M., & Troja, N. (2018). The world's wa ter battery: Pumped hydropower storage and the clean energy transition. *IHA: London, UK*.
32. Salim, H. K., Stewart, R. A., Sahin, O., & Dudley, M. (2019). Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: A systematic literature review. Journal of cleaner production, 211, 537-554.
33. Sovacool, B. K., Dhakal, S., Gippner, O., & Bam bawale, M. J. (2011). Halting hydro: A review o f the socio-technical barriers to hydroelectric po wer plants in Nepal. *Energy*, *36*(5), 3468-3476.
34. Suhardiman, D., & Karki, E. (2019). Spatial poli tics and local alliances shaping Nepal hydropow er. *World Development*, *122*, 525-536.
35. Wu, Y., Zhang, T., Xu, C., Zhang, X., Ke, Y., Chu, H., & Xu, R. (2019). Location selection of seawater pumped hydro storage station in China based on multi-attribute decision making. *Renewable energy*, *139*, 410-425.
36. Yang, C. J., & Jackson, R. B. (2011). Opportunities and barriers to pumped-hydro energy storage in the United States. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1), 839-844.
37. Yang, W., & Yang, J. (2019). Advantage of variable-speed pumped storage plants for mitigating wind power variations: Integrated modelling and performance assessment. Applied Energy, 237, 720-732.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال یازدهم/ شماره سی و هفتم- ویژه نامه‌ی نیروگاههای تلمبه ذخیره‌ای/ بهار ۱۴۰۳

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric PowerPlant
11th Year/ No. 37- Special Issue on Pumped Storage Power Plants/ June 2024

Trend analysis and review of scientific publications in the field of pumped hydro storage

Amir Hatamkhani[1*]
Mohammad Ebrahim Raesi[2]

Abstract

This article examines the trend of scientific publications in the field of pumped storage publications of recent years. The main purpose of this study is to analyze and evaluate scientific research topics related to this technology to identify existing research trends and patterns. First, by using related keywords, the number of articles in this field in each year was analyzed. Then, the subject distribution of the articles was identified according to the related scientific fields. Also, influential scientific journals were presented. The obtained results show that the number of international scientific publications about pumped storage plants has increased steadily and these articles have been published mainly in journals with a high impact factor, but the publications in Persian language have been decreasing. Scientific fields related to these articles include electrical engineering, energy engineering, and environmental sciences. This study shows that the main topics of research in this field include optimizing the performance of pump storage plants, economic analysis and environmental evaluation of this technology. This research provides valuable information about research trends and patterns in the field of pumped storage plants and can be used as a useful resource for researchers, policymakers and industrialists to develop and improve this technology.

Keywords

Pump hydro storage, Publication trends, Research patterns, Impact factor

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2025-07-17]

[1*] PhD graduate in civil engineering-engineering - water resources management, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.. E-mail address: a_hatamkhani@sbu.ac.ir
[2] Head of Economics Analysis Section, Mahab Ghodss consulting Engineering Co.

Received: 2024/07/13 Accepted: 2024/07/20