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 Power Plant
11th Year/ No. 37- Special Issue on Pumped Storage Power Plants/ June 2024

چشم‌انداز سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و روندهای آن

دکتر سید حسین سجادی‌فر *[۱]
امیر شاملویی[۲]

چکیده

در سال‌های اخیر گرمایش کره‌ی زمین جدی‌تر از سال‌های قبل شده و مباحث مربوط به تغییر اقلیم اهمیت بیشتری پیدا کرده است. پیامدهای این گرمایش در کنار رشد جمعیت، باعث شده است تا راهکارهای متفاوتی برای توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر و دست یافتن به توسعه‌ی پایدار مطرح شود. در همین راستا، نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای نیز معرفی شده‌اند. این نیروگاه‌ها می‌توانند انرژی را در زمان پایین بودن تقاضا ذخیره کنند و هنگام افزایش تقاضا، آن را آزاد کنند. در سال‌های اخیر، این نیروگاه‌ها، توسعه‌ی زیادی پیدا کرده‌اند و روند سرمایه‌گذاری برای ساخت آنها در سال‌های آینده نیز صعودی است. با توجه به اهداف اقلیمی مطرح شده در آخرین کنفرانس‌های تغییرات آب و هوایی و تلاش برای پایین آوردن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، توسعه این نوع نیروگاه‌ها که برق را با انتشار کربن کم تولید می‌کنند، اهمیت زیادی دارد.

واژه‌های کلیدی

نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای، سرمایه‌گذاری، برق‌آبی، PHS

[۱]*استادیار، مدرس مدعو دانشگاه امیر کبیر، H.sajadifar@gmail.com.
[۲]پژوهشگر اقتصادی، موسسه عالی آموزش وپژوهش مدیریت و برنامه ریزی.

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

مقدمه

امروزه، سیاره‌ی زمین با مشکلات اقلیمی، آلودگی، جنگل‌زدایی، بیابان شدن و برخی چالش‌های دیگر روبرو است. انتظار می‌رود با افزایش جمعیت جهان و رسیدن آن به ۱۰ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰، این مسائل، تشدید شود. (نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای به مثابه‌ی توانمندکنندگان در گذار به اقتصاد چرخشی در بخش انرژی، ۲۰۲۰[1]).

این موضوع، پیامدهای زیادی روی زندگی ساکنان کره‌ی زمین می‌گذارد. در واقع، سه دلیل اصلی تغییر اقلیم و تغییر دمای کره‌ی زمین، عبارت است از: سوزاندن سوخت‌های فسیلی، از بین رفتن جنگل‌ها و دامداری. این سه مورد، مقادیر زیادی گازهای گلخانه‌ای به جو زمین، اضافه می‌کنند که نتیجه آن تشدید اثر گلخانه‌ای و گرم‌تر شدن کره‌ی زمین است (وبسایت اقدامات اقلیمی کمیسیون اروپا[2]).

همین موضوع باعث شده است تا تلاش‌هایی برای دست یافتن به توافق در مورد تغییر اقلیم و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت گیرد. به همین دلیل، اهدافی برای کنترل کردن این میزان انتشار، در نظر گرفته شده است. در کنفرانس تغییر اقلیم سازمان ملل متحد که در پاریس برگزار شد، تصمیم گرفته شد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به نحوی باشد تا افزایش دمای کره زمین زیر ۲ درجه سانتیگراد باقی بماند و تلاش‌ها برای محدود کردن افزایش دما به ۱.۵ درجه سانتیگراد ادامه پیدا کند. علاوه بر این، در آخرین کنفرانسی که در امارات متحده عربی برگزار گردید، سوخت‌های فسیلی مقصر و دلیل اصلی تغییر اقلیم عنوان شد و بیش از ۱۰۰ کشور موافقت کردند که ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر را تا سال ۲۰۳۰ سه برابر کنند و نرخ جهانی کارآیی انرژی نیز تا همان سال دو برابر شود. (مجمع جهانی اقتصاد[3]، ۲۰۲۳) همین مساله اهمیت تمرکز بر انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه‌ی آنها را در کشورهای مختلف، بیش از پیش کرده است که از آن جمله می‌توان به انرژی خورشیدی، بادی، برق‌آبی و مواردی دیگر از این قبیل اشاره کرد.

در حالی که تغییر اقلیم بزرگترین تهدید پیش روی سیاره‌ی زمین محسوب می‌شود و پیشرفت ما در زمینه‌ی رسیدن به اهداف انتشار صفر تا سال ۲۰۵۰ کمتر از میزان مورد نیاز بوده است، رنسانسی در حوزه نیروی برقی-آبی پایدار به چشم می‌خورد. با این حال، توسعه‌ی بیشتر ظرفیت برق‌آبی پایدار برای حمایت از گذار دنیا به انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری است. (چشم‌انداز برق‌آبی دنیا در سال ۲۰۲۳[4])

در همین راستا نیز برخی فناوری‌ها شکل گرفته است. نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای[5] یکی از چنین مواردی است. تاریخچه‌ی استفاده از این فناوری به سال ۱۹۰۷ در کشور سوئیس برمی‌گردد. با این حال، این فناوری به شکل امروزی آن، بین دهه‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ در ایالات متحده و ژاپن محبوب شد تا نوسانات تقاضای برق را در کنار نیروگاه‌های هسته‌ای پاسخ دهد (آنتال، ۲۰۰۴[6]).

از آن زمان تاکنون و به خصوص در سال‌های اخیر، استفاده از نیروگاه‌های برق‌آبی بیشتر شده و ظرفیت آنها افزایش یافته است. این منبع انرژی تجدیدپذیر با توجه به تغییرات اقلیمی و نتایج کنفرانس اخیر در امارات، راه خوبی برای کاستن از سوخت‌های فسیلی به شمار می‌رود.

آشنایی با نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای

نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای نوعی ذخیره‌سازی انرژی برق‌آبی است. این سیستم‌ها از توربین‌های برق‌آبی برای تولید برق استفاده می‌کنند. در این نوع نیروگاه، دو مخزن آب در ارتفاعات مختلف قرار می‌گیرد تا از طریق حرکت آب تخلیه‌شده به پایین و گذر از توربین، برق تولید شود. علاوه بر این، برای پمپ‌کردن آب به مخزن بالاتر انرژی مصرف می‌شود.

اصل اساسی عملیات نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای بسیار ساده و هوشمندانه است. این نیروگاه‌ها برای ذخیره‌ی انرژی و تولید الکتریسیته‌ی برق‌آبی از طریق توربین‌ها مورد استفاده

[1] Pumped-Storage Hydropower Plants as Enablers for Transition to Circular Economy in Energy Sector, 2020

[2] https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en

[3] World Economic Forum

[4] World Hydropower Outlook, 2023

[5] Pumped Storage Hydropower

[6] Antal, 2004

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

قرار می‌گیرند. همچنین، اگر در شبکه، برق اضافی وجود داشته باشد، نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای به حالت پمپاژ تبدیل می‌شود که در آن یک موتور الکتریکی توربین‌های پمپ را به‌حرکت در می‌آورد و آب را از مخزن[1] پایین به مخزن بالا پمپاژ می‌کند. اگر تقاضای برق، در شبکه افزایش یابد، آب از مخزن بالا، به پایین رها می‌شود. آب باعث چرخش توربین‌ها می‌شود و ژنراتورها به کار می‌افتند. در نتیجه، در عرض چند ثانیه، برق تولید می‌شود و سپس به شبکه‌ی برق منتقل می‌شود. نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای از نظر اقتصادی و محیط زیستی جزو بهترین شکل‌های ذخیره‌سازی انرژی است. پیش‌بینی می‌شود این نوع نیروگاه‌ها رشد قابل توجهی در سال‌های آینده داشته باشند.

جغرافیای نیروگاه‌های برق‌آبی و تلمبه ذخیره‌ای عملیاتی در دنیا

در شکل شماره ۱، نیروگاه‌های برق‌آبی عملیاتی در دنیا در سال ۲۰۲۳ ترسیم شده‌اند. همان طور که مشخص است، شرق آسیا با ۴۰۴.۷ گیگاوات بالاترین ظرفیت عملیاتی را دارد و پس از آن نیز اروپا با ۱۹۶.۷ گیگاوات قرار گرفته است. آفریقا نیز کمترین ظرفیت نیروگاه برق‌آبی عملیاتی را دارد. این در حالی است که بیشترین ظرفیت نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای عملیاتی در دنیا نیز متعلق به شرق آسیا با ۷۴.۹ گیگاوات است و پس از آن اروپا و آمریکای شمالی قرار گرفته‌اند. نکته جالب این است که از نظر نیروگاه‌های عادی برق‌آبی تفاوت چندانی بین آمریکای شمالی با آمریکای جنوبی و مرکزی وجود ندارد اما از نظر نیروگاه تلمبه‌ای ذخیره‌ای اختلاف میان آن‌ها چشمگیر است. کمترین میزان ظرفیت نیروگاه عملیاتی تلمبه ذخیره‌ای در میان مناطق مختلف، مربوط به آمریکای جنوبی و مرکزی با یک گیگاوات است.

اهمیت نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای

نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، نقش مهمی در چشم‌انداز تأمین مطمئن برق آمریکا ایفا کرده‌اند. اولین نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در ایالات متحده، تقریبا ۱۰۰ سال پیش ساخته شد. این نیروگاه با قابلیت پمپاژ خود، مزایایی برای جذب تولید برق در زمان‌های غیر اوج مصرف و تولید مازاد برق به‌همراه دارد و دارایی مهمی از نظر یکپارچه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر محسوب می‌شود. (گزارش تلمبه ذخیره‌ای ۲۰۲۱[2])

طبق داده‌های گزارش بازار برق‌آبی ایالات متحده، در سال ۲۰۲۲، نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای بخش بزرگی از ظرفیت توان را تشکیل داده و سهم بزرگی از ظرفیت ذخیره انرژی نیز به آن اختصاص دارد. در شکل ۲ می‌توان ظرفیت ذخیره انرژی و ظرفیت توان را برحسب فن‌آوری‌های مختلف مشاهده کرد. نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای یک فن‌آوری‌اثبات شده، مقرون به صرفه، کارآمد و از لحاظ عملیاتی انعطاف‌پذیر است. طبق آخرین آمار موجود، ۴۳ پروژه‌ی فعال تلمبه ذخیره‌ای در ایالات متحده وجود دارند که ظرفیت ذخیره‌سازی ۲۲,۸۷۸ مگاواتی فراهم می‌کنند. ظرفیت واحدها در این پروژه‌ها از ۴.۲ تا ۴۶۲ مگاوات متغیر است. در سطح جهانی، ۲۷۰ نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای وجود دارد که مجموع ظرفیت تولید آن‌ها به ۱۶۱,۰۰۰ مگاوات می‌رسد. این فن‌آوری‌ذخیره‌سازی، به‌طور گسترده‌ای برای ذخیره و بازتوزیع برق از دوره‌های عرضه مازاد به دوره‌های تقاضای اوج و برای ارائه خدمات اطمینان‌بخش در شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

امروزه، در ایالات متحده، ۶۷ پروژه‌ی جدید تلمبه ذخیره‌ای در ۲۱ ایالت به چشم می‌خورد که بیش از ۵۰ گیگاوات ذخیره‌سازی جدید را نشان می‌دهند. بسیاری از این پروژه‌ها تأثیرات زیست‌محیطی کمی دارند. پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای موجود، به عنوان مکمل خوبی برای انرژی بادی و خورشیدی مطرح هستند و به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مقابله با تغییرات اقلیمی به شبکه افزوده می‌شوند.

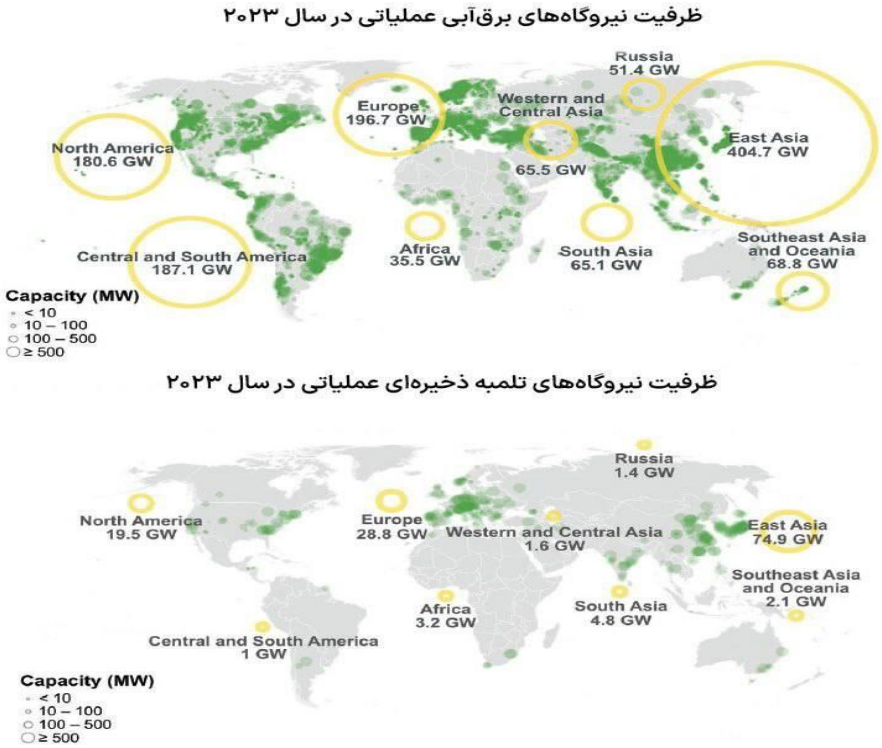
تعداد نیروگاه‌های برق‌آبی متعارف ایالات متحده به ۲۲۵۲ واحد می‌رسد که ظرفیت آن ۸۰.۵۸ گیگاوات است. این نیروگاه‌ها ۲۸.۷ درصد از برق تولید شده با استفاده از منابع تجدیدپذیر و ۶.۲ درصد کل تولید برق را در سال ۲۰۲۲ تشکیل می‌دادند. از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ ظرفیت برق‌آبی

[1] Reservoir

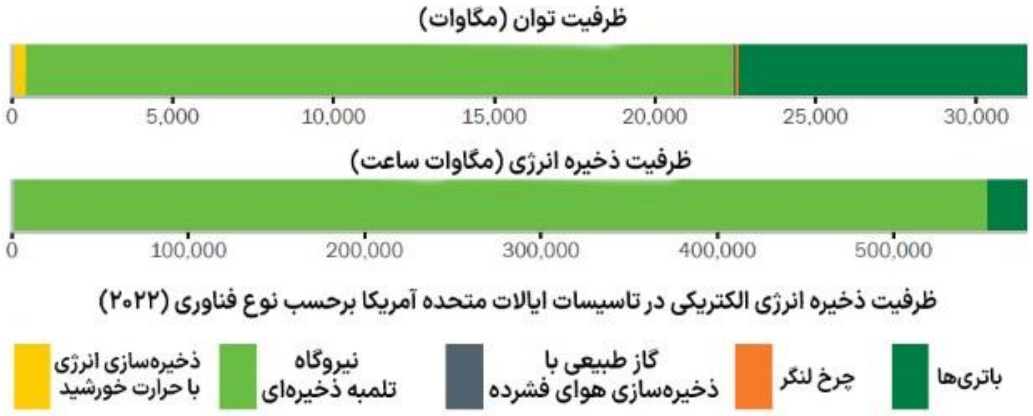
[2] Pumped-Storage-Report-NHA, 2021

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

شکل (۱): ظرفیت نیروگاه‌های برق‌آبی و تلمبه ذخیره‌ای عملیاتی در سال ۲۰۲۳



شکل (۲): ظرفیت ذخیره انرژی الکتریکی در تاسیسات ایالات متحده در سال ۲۰۲۲، منبع: اداره اطلاعات انرژی (EIA)



[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

ایالات متحده ۲.۱ گیگاوات افزایش یافته است. (گزارش بازار برقاب ایالات متحده، نسخه ۲۰۲۳[1]).

عوامل پیشران رشد نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و آینده‌ی آن

یکی از عوامل رشد سرمایه‌گذاری در چنین نیروگاه‌هایی، افزایش تقاضا برای انرژی پایدار در ترکیب تولید برق است. در واقع، افزایش سهم انرژی پایدار در ترکیب تولید برق عامل اصلی محرک رشد بازار توربین‌های ذخیره‌سازی تلمبه‌ای هیدروالکتریکی است. منابع تولید انرژی معمولی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی، عمدتاً باعث انتشار کربن می‌شوند. با توجه به این‌که ذی‌نفعان صنعت تولید برق به دنبال فرصت‌هایی برای کاهش ردپای کربن هستند، تمرکزشان بر افزایش سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در ترکیب تولید برق جهانی قرار گرفته است.

در سال‌های اخیر از منابع انرژی تجدیدپذیر، به ویژه خورشیدی، بادی، آبی و زیست‌توده بیشتر برای تولید برق استفاده شده است. همچنین، نگرانی‌های فزاینده در مورد افزایش انتشار کربن و تلاش‌ها برای کاهش آن، منجر به نیاز به افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ترکیب تولید برق شده است. در نتیجه، تقاضا برای منابع انرژی تجدیدپذیر پایدار مانند باد، خورشید، آب، زیست‌توده و دیگر منابع تجدیدپذیر بالاتر رفته است.

علاوه بر این، تقاضای انرژی جهانی به دلیل شهرنشینی گسترده و رشد سریع جمعیت در سراسر جهان به طور قابل توجهی افزایش یافته است. بیشتر انرژی تولید شده در سراسر جهان از سوخت‌های فسیلی به دست می‌آید که باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای زیان‌آور می‌شود. آژانس بین‌المللی انرژی[2] پیش‌بینی می‌کند که تقاضای جهانی برای برق تا سال ۲۰۴۰ سالانه ۲.۱٪ رشد کند و سهم برق در مصرف نهایی انرژی از ۱۹٪ در سال ۲۰۱۸ به ۲۴٪ در سال ۲۰۴۰ افزایش یابد. رشد جمعیت جهانی، که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ به ۸.۵ میلیارد و تا سال ۲۰۵۰ به ۹.۷ میلیارد برسد، تقاضا برای برق را بیشتر افزایش می‌دهد و نیاز به زیرساخت‌های جدید را ضروری می‌کند. به عنوان مثال، انتظار می‌رود تقاضای برق در هند تا سال ۲۰۴۷ به ۵۱۴۴ تراوات ساعت برسد که نشان‌دهنده‌ی نیاز فزاینده به توربین‌های ذخیره‌سازی تلمبه‌ای برق‌آبی است. (گزارش بازار توربین‌های ذخیره‌سازی برق‌آبی در سال ۲۰۳۰[3])

افزایش سهم تولید برق نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در دنیا

در آینده‌ی نزدیک، سهم انرژی‌های بادی و خورشیدی به ۷۰ درصد از تولید برق خواهد رسید، در حالی که ظرفیت تولید نیروگاه‌های زغال‌سنگ، نفت و گاز باید با نرخ ۱۰۰ گیگاوات در سال کاهش یابد. در این فرآیند، فن‌آوری‌های قابل جایگزینی با کربن پایین باید نقش محافظان شبکه‌ی برق را بر عهده بگیرند. این فن‌آوری‌های جدید هم باید مانند نیروگاه‌های زغال‌سنگ، نفت و گاز تضمین کنند که تولید برق برای مصرف‌کنندگان قابل اعتماد، بادوام و مقرون به‌صرفه باقی بماند.

برق‌آبی نه تنها در حال حاضر، منبع اصلی برق با کربن پایین است (گزارش ویژه بازار برق‌آبی اداره اطلاعات انرژی، ۲۰۲۱[4])، بلکه در صدد است تا به تأمین‌کننده‌ی اصلی انعطاف‌پذیری شبکه تبدیل شود و ستون فقرات سیستم‌های برق قابل اعتماد، ایمن و غیر کربنی باشد. پیش‌بینی‌های انتشار کربن صفر که توسط آژانس بین‌المللی انرژی منتشر شده، نشان می‌دهد که در یک اقتصاد بدون کربن، نیروگاه‌های برق‌آبی تبدیل به منابع عمده‌ی تأمین برق خواهند شد و بیش از ۴۰ درصد تولید برق سالانه (تقریباً ۲۲,۷۰۰ تراوات‌ساعت) از آن را تا سال ۲۰۵۰ تأمین می‌کنند.

هم آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر[5] و هم آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهند که مقدار قابل‌توجهی از ظرفیت نیروگاه‌های برق‌آبی سبز و جدید نیاز است تا برق پایدار و کم مصرف کربن به عنوان پشتیبانی برای انرژی‌های

[1] U.S. Hydropower Market Report 2023 Edition
[2] International Energy Agency (IEA)
[3] Pumped Hydroelectric Storage Turbines Market Report 2030
[4] Hydropower Special Market Report, 2021
[5] International Renewable Energy Agency (IRENA)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

بادی و خورشیدی عمل کند. گزارش آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد که برای رسیدن به یک اقتصاد با کربن صفر تا سال ۲۰۵۰، به بیش از ۱،۳۰۰ گیگاوات ظرفیت اضافی برق‌آبی نیاز داریم. نتایج مشابهی در سناریوی مسیر ۱.۵ درجه سلسیوس توسط آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه شده است که بر اساس آن، ظرفیت نیروگاه‌های برق‌آبی، باید دو برابر شود و به ظرفیت نصب شده‌ی کلی بیش از ۲،۹۰۰ گیگاوات برسد. از این تعداد تقریباً ۴۲۰ گیگاوات نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای خواهد بود. این تغییرات، نیازمند برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری جامع در توسعه و به‌روزرسانی نیروگاه‌های برق‌آبی است تا این بخش بتواند به نقش حیاتی خود در چشم‌انداز انرژی آینده دست یابد.

طبق داده‌های آژانس بین‌المللی انرژی، در سال ۲۰۲۱، ۱۷،۴۳۷تراوات ساعت از تولید برق دنیا از سوی نیروگاه‌های حرارتی به دست می‌آید، ۲،۷۷۶ تراوات ساعت حاصل از نیروگاه‌های هسته‌ای است و ۴،۳۲۷ تراوات ساعت از برق دنیا هم توسط منابع برق‌آبی تولید می‌شود. اگر قرار باشد سناریوی انتشار صفر در سال ۲۰۵۰ برآورده شود، سهم نیروگاه‌های احتراقی باید به ۱،۴۰۲ تراوات ساعت کاهش یابد، سهم نیروگاه‌های هسته‌ای به ۵،۸۱۰ تراوات ساعت برسد و سهم نیروگاه‌های برق‌آبی هم، به ۸،۲۵۱ تراوات ساعت افزایش پیدا کند. در واقع به این ترتیب، نیروگاه‌های برق‌آبی، بزرگترین منبع تولید برق توزیعی[1] در جهان در سال ۲۰۵۰ خواهند شد (چشم‌انداز برق‌آبی دنیا در سال ۲۰۲۳[2]).

شرایط فعلی نیروگاه‌های برق‌آبی

با وجود تلاش‌های چشمگیر جهانی، برای حرکت به سمت ترکیب انرژی پایدارتر از سوی هر دو بخش عمومی و خصوصی، تحلیل‌ها نشان می‌دهند که توسعه نیروگاه‌های برق‌آبی به اندازه کافی سریع پیش نمی‌رود تا اهداف جهانی را تحقق بخشد. بر اساس پیش‌بینی‌های کربن صفر آژانس بین‌المللی انرژی، نیروی برق‌آبی باید به طور متوسط با سرعت حدود ۴۶ گیگاوات در سال رشد کند، که معادل ظرفیت ترکیبی نروژ و مکزیک است، اما نرخ توسعه‌ی فعلی بسیار کمتر از این میزان است. بین سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱، برق‌آبی با نرخ متوسط ۲۲ گیگاوات رشد کرد که نیمی از نرخ مورد نیاز است. علاوه بر این، چنین سرعتی پایین‌تر از دوره پنج‌ساله قبلی (2011-2016) است که شاهد افزایش ظرفیت سالانه حدود ۳۴ گیگاوات بودیم.

با این حال، بخش نیروگاه‌های برق‌آبی نشان داده است که می‌تواند با سرعت مورد نیاز حرکت کند. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۲، حدود ۴۷ گیگاوات ظرفیت نصب شده به بهره‌برداری رسید و سال بعد ۳۸ گیگاوات اضافه شد. ریسک‌ها زیاد و پیامدها غیرقابل بازگشت هستند. اگر این روند بهبود نیابد، شاهد کمبود حدود ۷۰۰ گیگاوات برق قابل جایگزینی کم کربن در دهه‌های آینده خواهیم بود که به معنای وابستگی به زغال‌سنگ و گاز است. انتشار کربن مربوطه می‌تواند از ۱،۱۰۰ میلیون تن تا ۱،۸۰۰ میلیون تن در سال باشد، که قابل مقایسه با مجموع انتشار سالانه کنونی سه اقتصاد بزرگ مانند آلمان، فرانسه و ایتالیا است.

آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، یک مجموعه تحلیل‌های منطقه‌ای در مسیر ۱.۵ درجه سانتیگراد ارائه می‌دهد. این تحلیل‌ها نشان می‌دهند که اکثر این توسعه‌ها در آسیا، با نیاز به بیش از ۵۷۰ گیگاوات ظرفیت اضافی برق‌آبی رخ خواهد داد. خاورمیانه و آمریکای لاتین نیز نقش مهمی ایفا خواهند کرد و هر کدام بیش از ۲۰۰ گیگاوات پروژه‌های جدید برق‌آبی را به شبکه اضافه خواهند کرد.

برای دستیابی به این اهداف، نیازمند سیاست‌های حمایتی، سرمایه‌گذاری‌های کلان و نوآوری‌های تکنولوژیکی هستیم تا اطمینان حاصل شود که توسعه نیروگاه‌های برق‌آبی با سرعت لازم پیش می‌رود.

پتانسیل نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای

نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای پتانسیل فراوانی برای ذخیره‌سازی انرژی دارند و یک فن‌آوری‌اثبات شده و بالغ هستند. در مقایسه با دیگر اشکال ذخیره‌سازی انرژی، نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای می‌تواند مقرون به صرفه‌تر باشد، به ویژه وقتی پای ذخیره‌سازی با ظرفیت بسیار بزرگ در میان باشد. این فن‌آوری دارای کارآیی رقابتی است و طول عمر

[1] Dispatchable

[2] World Hydropower Outlook, 2023

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

زیادی می‌کند که آن را برای ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت و بلندمدت ایده‌آل می‌سازد (چشم‌انداز برق‌آبی دنیا در سال ۲۰۲۳).

پتانسیل نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در سراسر جهان رو به افزایش است و می‌تواند در مناطقی که پتانسیل نیروگاه‌های برق‌آبی متعارف کم است نیز توسعه یابد. دانشگاه ملی استرالیا در سال ۲۰۲۱ اولین اطلس محل‌های نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای را منتشر کرد. این نهاد در این اطلس ، بیش از نیم میلیون سایت بالقوه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای و ۲۳ میلیون گیگاوات‌ساعت ظرفیت ذخیره‌سازی را شناسایی کرد (تقریباً معادل کل مصرف برق سالانه جهان). مطالعه‌ی دیگری که روی پتانسیل نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای برای ذخیره‌سازی فصلی متمرکز شده، شامل منحنی‌های هزینه و اطلاعات بسیار ارزشمند برای برنامه‌ریزی کنندگان حوزه انرژی بود. تخمین زده می‌شود که ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی جهان (با هزینه زیر ۵۰ دلار به ازای هر مگاوات‌ساعت) ۱۷.۳ میلیون گیگاوات‌ساعت باشد که حدود ۶۸ درصد مصرف برق جهانی در سال ۲۰۲۱ را تشکیل می‌دهد.

علاوه بر این، آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر[1] تخمین می‌زند که تنها در ایالات متحده، پتانسیل ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی ۲۳۰۰ گیگاوات به مدت ۱۰ ساعت از نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای وجود دارد. در چین، دولت اهداف بلندمدتی برای توسعه‌ی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای تعیین کرده و برنامه‌هایی برای راه‌اندازی بیش از ۶۲ گیگاوات ذخیره‌سازی تلمبه‌ای تا سال ۲۰۲۵ و ۱۲۰ گیگاوات تا سال ۲۰۳۰ دارد. اهداف حتی بلندپروازانه‌تری هم توسط شرکت پاورچاینا[2] اعلام شده که برنامه‌ای برای شروع ساخت بیش از ۲۰۰ پروژه نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای با ظرفیت ۲۷۰ گیگاوات تا دهه ۲۰۳۰ مطرح کرده است. در هند، دولت، اخیراً تأکید کرده که پتانسیل نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای نسبتاً استفاده نشده، باقی‌مانده و پتانسیل بازنگری شده‌ی آن ۱۰۳ گیگاوات است. تنها ۴.۷ گیگاوات نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در حال حاضر در هند عملیاتی است (چشم‌انداز برق‌آبی دنیا در سال ۲۰۲۳).

جدول (۱): پتانسیل و ظرفیت نصب نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای به تفکیک مناطق

منطقه	ظرفیت نصب ۲۰۲۲ (گیگاوات)
شرق آسیا و اقیانوس آرام	۴۶۴
جنوب و مرکز آسیا	۱۵۷
آفریقا	۳۷
آمریکای شمالی و مرکزی	۱۸۴
آمریکای جنوبی	۱۷۹
اروپا	۲۰۲

منبع: آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر[3]

برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در چشم‌اندازی که انرژی‌های تجدیدپذیر در آن غالب باشند، توصیه‌های سیاستی زیر توسط «مجمع بین‌المللی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای[4]» توصیه شده است:

- برنامه‌ریزی جامع: سیاست‌گذاران باید نیازهای بلندمدت برق پاک را با در نظر گرفتن نیازهای ذخیره‌سازی پیش‌بینی کنند تا از یکپارچه‌سازی سهم بالایی از انرژی‌های تجدیدپذیر متغیر در ترکیب انرژی حمایت کنند.
- شناسایی سایت‌ها: نقشه‌برداری سیستماتیک و ارزیابی سایت‌های موجود و بالقوه نیروگاه‌های برق‌آبی مناسب برای نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای مورد نیاز است تا موجب هدایت توسعه پایدار زیرساخت‌ها شده و نسبت به تصمیمات در خصوص سیاست انرژی آگاهی‌بخش باشد.
- چارچوب‌های مالی: سیاست‌گذاران باید ساز و کارهای سیاست مالی محکمی ایجاد کنند که موجب تشویق نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای شده و قابلیت کسب درآمد بلندمدت را امکان‌پذیر سازد. بازارهای برق باید به ثبات شبکه فراهم شده توسط نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای پاداش دهند. نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای باید در ابتکارات تأمین مالی سبز نیز لحاظ شود.

[1] National Renewable Energy Laboratory (NREL)
[2] PowerChina
[3] National Renewable Energy Laboratory (NREL)
[4] International Forum on Pumped Storage Hydropower (IFPSH)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

– ارزیابی پایداری: ارزیابی‌های پایداری دقیقی که از ابزارهای ارزیابی بین‌المللی به رسمیت شناخته شده استفاده می‌کنند باید در فرآیندهای توسعه ادغام شوند.

مقایسه فن‌آوری‌های ذخیره‌سازی برق

یکی از عواملی که باعث می‌شود دولت‌ها یا شرکت‌ها به سوی سرمایه‌گذاری در یک گزینه متمایل شوند، میزان عملکرد و کارنامه‌ی بهتر یا مزایای آن در مقایسه با سایر گزینه‌های موجود است.

کار گروه قابلیت‌ها، هزینه‌ها و نوآوری مجمع بین‌المللی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای، تجزیه و تحلیل تطبیقی از فن‌آوری‌های مختلف ذخیره‌سازی و ارزیابی دقیقی از قابلیت‌های نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای را تهیه کرده است. جدول ۲ این تحلیل تطبیقی را خلاصه می‌کند و ویژگی‌های منحصر به فرد نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای را در مقایسه با سایر فن‌آوری‌های ذخیره‌سازی موجود نشان می‌دهد. هنگامی که به هزینه‌های سرمایه‌ای برای طول عمر طولانی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای نگاه می‌کنیم، نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در مقایسه با سایر فن‌آوری‌هایی که ممکن است نیاز به جایگزینی داشته باشند، به صرفه‌ترین انتخاب ذخیره‌سازی انرژی در بلندمدت است. (توصیه‌هایی برای سرمایه‌گذاری فوری در نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای برای حمایت از گذار به انرژی پاک، ۲۰۲۱[1]).

چالش‌های پیش روی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای

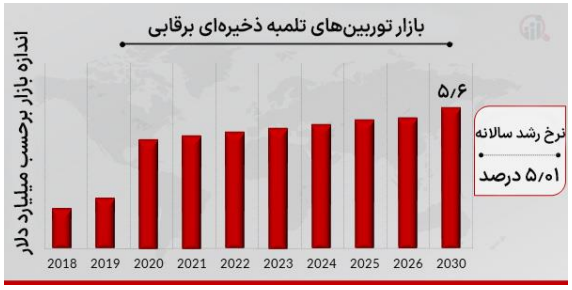
توسعه‌ی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای با چالش‌هایی هم روبرو است. این چالش‌ها در دو دسته‌ی سرمایه‌گذاری و سایر چالش‌ها قابل دسته‌بندی است.

چالش‌های سرمایه‌گذاری در توربین‌های تلمبه ذخیره‌ای

چشم‌انداز بازار توربین‌های تلمبه ذخیره‌ای برق‌آبی تا سال ۲۰۳۰ صعودی است و به نظر می‌رسد تا آن زمان به ۵.۶ میلیارد دلار برسد. این بازار ظاهراً در بازه‌ی زمانی ۲۰۲۳ تا ۲۰۳۰ سالانه ۵ درصد رشد می‌کند.

با وجود آن‌چه گفته شد، تولید برق‌آبی با چالش‌هایی روبرو است. این چالش‌ها شامل نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالا و هزینه‌های عملیاتی سنگین است. هزینه‌های مورد اول، شامل هزینه‌های مرتبط با سازه‌های بزرگ است. در مورد نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای هیبریدی با باد نیز هزینه‌ی توربین‌های بادی و لجستیک پیچیده و نصب برج‌های توربین‌ها، چالش به شمار می‌آیند. هزینه‌های دیگری هم مانند ساخت سازه‌های مختلف و نصب تا اتصال آنها به شبکه، رشد بازار را محدود می‌کند. به علاوه، هزینه نگهداری و هزینه‌ی عملیاتی مربوط به تولید انرژی برق‌آبی ۱.۵ تا ۲ درصد از هزینه سرمایه‌گذاری سالانه را به خود اختصاص می‌دهد. این موضوع، در کنار موارد بالا، باعث می‌شود تا تقاضا برای این نوع توربین‌ها با مشکلاتی روبرو باشد و رشد تقاضای آن محدودتر شود.

شکل (۳): بازار توربین‌های تلمبه ذخیره‌ای برقابی



منبع: مارکت ریسرچ فیوچر[2]

بازار پمپ -توربین‌های برق‌آبی بر اساس نوع (توربین‌های پلتون و فرانسیس[3]) و کاربرد (سیستم‌های حلقه بسته و حلقه باز[4]) تقسیم‌بندی می‌شود. انتظار می‌رود بخش توربین پلتون سهم بیشتری در بازار داشته باشد. (گزارش بازار توربین‌های ذخیره‌سازی برق‌آبی در سال ۲۰۳۰)

[1] Pump it up: Recommendations for urgent investment in pumped storage hydropower to back the clean energy transition International Forum on Pumped Storage Hydropower Policy and Market Frameworks Working Group: Global Paper. (2021).

[2] Marketresearchfuture

[3] Pelton and Francis Turbines

[4] Closed Loop and Open Loop

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

با این همه، ارزش بازار جهانی ذخیره‌سازی برق‌آبی تلمبه شده در طول زمان افزایش یافته است. شکل ۴ ارزش این بازار جهانی را از سال ۲۰۲۳ تا پیش‌بینی آن برای سال ۲۰۳۰ به تصویر کشیده است. مطابق با آمار موجود، به نظر می‌رسد ارزش این بازار در سال ۲۰۳۰ از یک میلیارد دلار عبور کند.

جدول (۲): مقایسه فن‌آوری‌های ذخیره برق مختلف برای ۱۰۰/۱۰۰۰ مگاوات و مدت ۱۰ ساعت

منبع: گزارش‌های IFPSH WG.3

نوع ذخیره‌سازی انرژی		نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای	ذخیره باتری لی-یون (LFP)	ذخیره با باتری اسید سرب	ذخیره با باتری وانادیوم RF	هوای فشرده شده CAES	هیدروژن دوطرفه با سلول‌های سوختی
		۱۰۰۰ مگاوات/ ۱۰ ساعت	۱۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت	۱۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت	۱۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت	۱۰۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت	۱۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت
قابلیت‌های فنی	سطح آمادگی فنی (TRL)	۹	۹	۹	۷	۷	۶
	اینرسی برای ثبات شبکه	مکانیکی	ترکیبی	ترکیبی	ترکیبی	فنی	بدون مرجع
	کنترل توان واکنشی	بله	بله	بله	بله	بله	بله
	قابلیت شروع سیاه	بله	بله	بله	بله	بله	بله
متریک‌های عملکرد	کارآیی دوسویه	۸۰٪	۸۶٪	۷۹٪	۶۸٪	۵۲٪	۳۵٪
	زمان پاسخ از ایستایی تا تولید کامل / بار (s)	۶۵...۱۲۰/۸۰...۳۶۰	۱...۴	۱...۴	۱...۴	۶۰۰/۲۴۰	<۱
	تعداد چرخه‌های ذخیره	۱۳۸۷۰	۲۰۰۰	۷۳۹	۵۲۰۱	۱۰۴۰۳	۱۰۴۰۳
	طول عمر تقویمی (سال)	۴۰	۱۰	۱۲	۱۵	۳۰	۳۰
هزینه‌های ۲۰۲۰	مخارج سرمایه‌ای نیرو (دلار/ کیلووات)	۲۲۰۲	۳۵۶۵	۳۵۵۸	۳۹۹۴	۱۰۸۹	۳.۱۱۷
	مخارج سرمایه‌ای انرژی (دلار/ کیلووات)	۲۲۰	۳۵۶	۳۵۶	۳۹۹	۱۰۹	۳۱۲
	هزینه ثابت تعمیر و نگهداری (دلار/ کیلووات/سال)	۳۰	۸.۸۲	۱۲.۰۴	۱۱.۳	۸.۷۴	۲۸.۵
	مخارج سرمایه‌ای فعال (دلار/ کیلووات بر مبنای طول عمر ۸۰ ساله PSH و نرخ تنزیل ۶ درصدی)	۲۹۱۰	۱۰۵۷۰	۱۱۷۲۰	۱۶۱۷۰	۳۱۱۰	۸۸۹۰
هزینه‌های برآوردی ۲۰۳۰	مخارج سرمایه‌ای نیرو (دلار/ کیلووات)	۲۲۰۲	۲۴۷۱	۳۰۵۰	۳۱۸۷	۱۰۸۹	۱.۶۱۲
	مخارج سرمایه‌ای انرژی (دلار/ کیلووات)	۲۲۰	۲۴۷	۳۰۵	۳۱۹	۱۰۹	۱۶۱
	هزینه ثابت تعمیر و نگهداری (دلار/ کیلووات/سال)	۳۰	۷.۲۳	۹.۸۷	۹.۲۶	۸.۷۴	۲۸.۵

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

نوع ذخیره‌سازی انرژی	نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای	ذخیره باتری لی-یون (LFP)	ذخیره با باتری اسید سرب	ذخیره با باتری وانادیوم RF	هوای فشرده شده CAES	هیدروژن دوطرفه با سلول‌های سوختی
	۱۰۰۰ مگاوات/ ۱۰ ساعت	۱۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت	۱۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت	۱۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت	۱۰۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت	۱۰۰ مگاوات/۱۰ ساعت
مخارج سرمایه‌ای فعال (دلار/ کیلووات بر مبنای طول عمر ۸۰ ساله PSH و نرخ تنزیل ۶ درصدی)	۲۹۱۰	۸۱۳۰	۹۰۵۰	۹۴۵۰	۳۱۱۰	۴۶۰۰

شکل (۴): ارزش بازار جهانی ذخیره‌سازی برق‌آبی تلمبه شده

منبع: استتیستا[1]

سایر چالش‌های پیش روی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای

از دیگر چالش‌های مهم پیش روی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای، می‌توان به معضلاتی مانند تعیین مکان نیروگاه‌ها اشاره کرد. در گذشته، تقریباً تمام پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای در حال بهره‌برداری، نیازمند ساخت حداقل یک سد در طول رودخانه‌های اصلی بودند که اکولوژی سیستم رودخانه را تغییر می‌داد. اکثر صاحبان پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای موجود تلاش کرده‌اند این تأثیرات را از طریق اقدامات پس از ساخت، مانند بهبود زیستگاه یا ارائه اقدامات خاص پروژه جبران کنند.

یک چالش مهم دیگر که توسعه‌دهندگان پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای با آن مواجه هستند، مقررات مربوط به زمانبندی برای انجام پروژه‌های جدید است. به عنوان مثال در ایالات متحده آمریکا بر اساس بخش ۱۰(a) قانون فدرال، هر پروژه تلمبه ذخیره‌ای غیرفدرال باید مجوز کمیسیون مقررات انرژی فدرال و همچنین چندین مجوز ایالتی یا فدرال دیگر را دریافت کند. دریافت مجوز یک پروژه‌ی جدید برای ساخت ممکن است سه تا پنج سال یا بیشتر طول بکشد. به‌علاوه، پروژه‌های بی‌ضرر محیط‌زیستی که برای پشتیبانی از گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر انجام می‌شوند، ممکن است نیازمند شش تا ده سال یا بیشتر برای ساخت باشند. تعداد کمی از مؤسسات مالی مایل به تأمین مالی این نوع پروژه‌های بلندمدت هستند. صنعت نیروی برق‌آبی همچنان با کمیسیون مقررات انرژی فدرال[2] همکاری نزدیک دارد تا فرآیند صدور مجوز را برای آن دسته از پروژه‌هایی که دارای محدودیت‌های محیط زیستی حداقلی هستند، ساده‌تر کند. (چالش‌ها و فرصت‌های توسعه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای جدید، ۲۰۱۷)[3]

مختصری از آمارهای انرژی برق‌آبی در سال ۲۰۲۲ و روند گسترش نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در دنیا

در سال ۲۰۲۲ بیش از ۳۴ گیگاوات ظرفیت جدید در سراسر جهان به بهره‌برداری رسید که شامل بیش از ۱۰ گیگاوات ذخیره‌سازی تلمبه‌ای می‌شود. این اولین بار از سال ۲۰۱۶

[1] Statista
[2] Federal Energy Regulatory Commission (FREC)
[3] Challenges and Opportunities For New Pumped Storage Development A White Paper Developed by NHA's Pumped Storage Development Council, 2017

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

است که بیش از ۳۰ گیگاوات ظرفیت جدید به شبکه افزوده شده است. ممکن است مقایسه مستقیم سال به سال به دلیل اندازه بزرگ پروژه‌های آن سال گمراه‌کننده باشد. با این حال، این موضوع، نشانه مثبتی است که نشان می‌دهد دولت‌ها، صنعت و ذینفعان گسترده‌تر به نقش اساسی نیروگاه برق‌آبی در شبکه‌های برقی آینده پی برده‌اند.

نیروگاه‌های برق‌آبی در این سال حدود ۴,۴۰۰ تراوات‌ساعت برق تولید کردند که بیش از ۱۵ درصد برق جهان را تشکیل می‌دهد.

در شرق آسیا و به طور کلی در سطح جهان، چین همچنان پیشتاز این حوزه است و در سال ۲۰۲۲ نزدیک به ۲۴ گیگاوات ظرفیت جدید بهره‌برداری کرده است. این ظرفیت جدید چین شامل بیش از ۸ گیگاوات ذخیره‌سازی تلمبه‌ای بوده که نشان‌دهنده اهداف بزرگ این کشور برای تلمبه ذخیره‌ای است. بر اساس اهداف اعلامی چینی‌ها، این اعداد و ارقام تا دهه‌ی ۲۰۳۰ می‌تواند به تا ۲۷۰ گیگاوات ظرفیت برسد. در دیگر منطقه‌ی شرق آسیا، کشور لائوس با بیش از ۱ گیگاوات ظرفیت جدید، تنها کشوری بود که ظرفیت جدید قابل توجهی را اضافه کرد. توسعه‌ی نیروگاه‌های ذخیره‌سازی تلمبه‌ای با سرعت ادامه دارد. به عنوان مثال، استرالیا اهدافی برای راه‌اندازی بزرگترین تأسیسات ذخیره‌سازی تلمبه‌ای در ایالت کوئینزلند دارد و کارهای دیگری نیز در فیلیپین و تایلند در دست انجام هستند.

علاوه بر مناطق بالا، در مرکز و جنوب آسیا نزدیک به ۲ گیگاوات ظرفیت جدید انجام شده است. از جمله پروژه‌های بزرگ در این منطقه، می‌توان به پروژه‌ی ۲۷۰ مگاواتی کاروت پاکستان و پروژه ۱۸۰ مگاواتی باجولی هولی هند اشاره کرد. بسیاری از پروژه‌های بزرگ نیز در حال تکمیل هستند و قرار است در سال‌های ۲۰۲۴ تا ۲۰۲۵ به بهره‌برداری برسند. دولت هند، در اقدام دیگری خط مشی خود را در مورد پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای منتشر کرده که نشان از این دارد که هند به اهمیت نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در ارائه خدمات شبکه پی برده است.

آخرین روندها در استفاده از نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای

در برخی از کشورها استفاده از نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای در حال افزایش است. از جمله این کشورها در دنیا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- **فرانسه**

دولت فرانسه اخیراً یک مشاوره‌ی گسترده برای حمایت از پروژه‌های سیستم‌های تلمبه ذخیره‌ای انجام داده است. در نوامبر ۲۰۲۲، یکی از توربین‌های پلتون نیروگاه برق‌آبی گرندمزون[1] تعویض شد، که این توربین سومین توربین از میان چهار توربینی بود که باید تعویض شوند. توربین‌های جدید به‌روزرسانی شده‌اند و قدرت تولیدی آن‌ها از ۱۵۶ مگاوات به ۱۷۰ مگاوات افزایش یافته است، که به موجب آن حدود ۹ درصد ظرفیت تولید برق بیشتری فراهم می‌شود.

این اقدام‌ها نشان می‌دهد که دولت فرانسه، با سرمایه‌گذاری و به‌روزرسانی فن‌آوری‌ها، به دنبال افزایش کارآیی و ظرفیت نیروگاه‌های برق‌آبی خود است تا به اهداف انرژی تجدیدپذیر و کاهش انتشار کربن دست یابد. این افزایش ظرفیت، می‌تواند به تأمین برق پایدارتر و حمایت از شبکه برق ملی در مواجهه با نوسانات تقاضا کمک کند.

- **لهستان**

در مارس ۲۰۲۳، دولت لهستان قانونی جدید برای تسهیل توسعه‌ی پروژه‌های سیستم‌های تلمبه ذخیره‌ای معرفی کرد. این قانون جدید اجازه می‌دهد تا پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای در تصمیمات متعدد مربوط به مجوزهای مختلف، یکپارچه شوند و همچنین نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای را به عنوان یک سرمایه‌گذاری «هدف عمومی» معرفی می‌کند. با حمایت فرآیند جدید مجوزدهی در لهستان، شرکت خدمات برق لهستان[2] و صندوق ملی حفاظت از محیط زیست و مدیریت آب در حال همکاری برای ساخت یک پروژه به ارزش ۱.۱۴ میلیارد دلار آمریکا با ظرفیت ۷۵۰ مگاوات در نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای ملوتی[3] هستند تا به پایداری و اطمینان شبکه ملی کمک کنند.

- **بریتانیا**

[1] Grand'Maison
[2] Polska Grupa Energetyczna (PGE)
[3] Mloty

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

در آگوست ۲۰۲۲، دولت بریتانیا با انجام مشاوره عمومی در مورد ذخیره‌سازی انرژی بلندمدت در مقیاس بزرگ، به این نتیجه رسید که این فن‌آوری«نقشی مهم» ایفا می‌کند اما با موانع قابل توجهی در استقرار تحت چارچوب بازار فعلی روبرو است. دولت اعلام کرد که تا سال ۲۰۲۴ سیاست‌هایی را برای تسهیل سرمایه‌گذاری در این زمینه توسعه می‌دهد تا ذخیره‌سازی انرژی بلند مدت کافی را تضمین کند.

پروژه‌ای برای توسعه نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای با افزایش ۶۰۰ مگاوات ظرفیت در سال ۲۰۲۲ توسط شرکت درکس[1] ارائه شد. ظرفیت جدید نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در صورت تأیید، به ۱,۰۴۰ مگاوات خواهد رسید.

شرکت اس‌اس‌ای[2] یک تأمین مالی ۱۰۰ میلیون پوندی برای پروژه نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای کوآر گلس[3] ارائه کرده است که نیاز به سرمایه‌گذاری بیش از ۱.۵ میلیارد پوند دارد. این پروژه که از دولت اسکاتلند مجوز برنامه‌ریزی دریافت کرده است، قادر است ۳۰ گیگاووات‌ساعت انرژی (حدود ۱,۵۰۰ مگاوات) تولید کند.

شرکت گیلکس انرژی[4] برنامه‌های خود برای پروژه نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای ارابا[5] با ظرفیت ۹۰۰ مگاوات در اسکاتلند و با ۳۳ گیگاوات‌ساعت ظرفیت ذخیره‌سازی را معرفی کرده است.

- **کانادا**

نیروگاه‌های برق‌آبی حدود ۶۱ درصد از تولید برق سالانه کل کشور کانادا را تأمین کرده و بیش از نیمی از ظرفیت تولید کل کشور را تشکیل می‌دهند. بودجه ۲۰۲۳ کانادا، اعتبار مالیاتی سرمایه‌گذاری برق پاک را معرفی کرد، که یک اعتبار مالیاتی بازپرداختی ۱۵ درصدی برای سرمایه‌گذاری‌های واجد شرایط در سیستم‌های تولید برق بدون انتشار از جمله نیروگاه‌های برق‌آبی و نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای است. پروژه‌های جدید و بازسازی پروژه‌های موجود همگی مشمول این طرح می‌شوند.

در نیروگاه کیاسک[6] در منیتوبا (۶۹۵ مگاوات)، آخرین دو واحد از هفت واحد مولد به بهره‌برداری رسیدند و نیروگاه برق‌آبی رومین ۴[7] (۲۴۵ مگاوات) در کبک به پایان رسید و آخرین واحد آن به شبکه پیوست، تا سیستم چهار نیروگاهی مجموعه‌ای با ظرفیت تولید ۱,۵۵۰ مگاوات را تکمیل کند.

پروژه کامپلین هادسن پاور اکسپرس[8] یک پروژه کابلی زیرآبی و زیرزمینی با ولتاژ بالا است که ۱۰.۴ تراوات‌ساعت برق‌آبی را از کبک به شهر نیویورک منتقل خواهد کرد و انتظار می‌رود در سال ۲۰۲۶ به بهره‌برداری برسد.

- **مراکش**

یک نیروگاه برق‌آبی ۳۵۰ مگاواتی دیگر در مراکش ساخته خواهد شد. نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای عبدالمومن[9] (۳۵۰ مگاوات) توسط دفتر ملی برق و آب شرب[10] با همکاری شرکت‌های وینچی کانستراکشن[11] و آندریتز هیدروپاور[12] توسعه یافت و در سال ۲۰۲۳ به بهره‌برداری رسید.

- **تونس**

شرکت برق و گاز تونس[13] برای ساخت یک نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای با ظرفیت ۶۰۰-۴۰۰ مگاوات که تاریخ بهره‌برداری آن سال ۲۰۲۹ است، برنامه‌ریزی کرده است. مطالعات جامع بر روی جنبه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، زیست‌محیطی، اجتماعی و اتصال به شبکه برق پیش از توسعه پروژه انجام می‌شود. هزینه‌ی مطالعات توسط آژانس توسعه فرانسه، بانک سرمایه‌گذاری اروپا و بانک توسعه آلمان تأمین می‌شود.

- **هند**

همان طور که قبل‌تر اشاره شد، دولت هند «دستورالعمل‌های ترویج توسعه پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای» را منتشر کرده است. این دستورالعمل‌ها ارزش نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای را در ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر متغیر در شبکه برق به رسمیت

---

[1] Drax
[2] SSE
[3] Coire Glas
[4] Gilkes Energy
[5] Earba
[6] Keeyask
[7] Romaine 4
[8] Champlain Hudson Power Express
[9] Abdelmoumen
[10] Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEE)
[11] Vinci Construction
[12] Andritz Hydro
[13] Tunisian Company of Electricity and Gas (STEG)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

می‌شناسد. با انتظار ایفای نقش کلیدی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای در پایداری شبکه، تأمین تقاضای اوج مصرف و منافع اقتصادی، دولت دستورالعمل‌های ویژه‌ای را برای ترویج توسعه آن تدوین کرده است.

در حال حاضر، نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای به طور کافی پولی‌سازی نشده و به طور ناعادلانه مشمول مالیات می‌شود. این دستورالعمل‌ها توصیه‌هایی را برای بازار، سیاست و توسعه ایمن ارائه می‌دهند تا توسعه‌ی پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای را ترویج کنند:

- پولی‌سازی خدمات جانبی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای برای تأمین اقدامات بحرانی بازار برق
- پرداخت مالیات کالا و خدمات دولتی یا معافیت زمین مورد نیاز برای نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای خارج از رودخانه و عدم مواجهه با حق بیمه پیش‌پرداخت برای تخصیص پروژه
- شناسایی و توسعه‌ی ایمن معادن تخلیه شده برای سایت‌های بالقوه و استفاده از تأمین مالی اقلیمی مشروط برای پشتیبانی از توسعه‌ی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای

برآورد شده است که هند تا سال ۲۰۳۲ حداقل ۱۸.۸ گیگاوات نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای برای پشتیبانی از ادغام انرژی بادی و خورشیدی نیاز دارد و پتانسیل بسیار بالاتری برای این رقم نیز وجود دارد. همچنین، اداره‌ی کل برق این کشور، اخیراً برآوردهای خود را بازنگری کرده و نشان می‌دهد که تنها پتانسیل تلمبه ذخیره‌ای داخل رودخانه در هند ۱۰۳ گیگاوات است، در حالی که سایت‌های بالقوه بسیاری برای ذخیره‌سازی تلمبه‌ای خارج از رودخانه نیز موجود است.

- **استرالیا**

استرالیا با ذخیره‌سازی انرژی که نقش حیاتی در پیشبرد آینده‌ی انرژی تجدیدپذیر در این کشور ایفا می‌کند، همچنان انرژی پاک را ترویج می‌کند و ظرفیت زغال سنگ را کاهش می‌دهد. مقامات کوئینزلند، ۱۳ میلیون دلار استرالیایی دیگر در بودجه‌ی ایالتی اختصاص داده‌اند تا مطالعات فنی کلیدی را برای تصمیم‌گیری نهایی در مورد پیشرفت پروژه ۱ گیگاوات/۲۴ گیگاوات ساعت تلمبه ذخیره‌ای بورومبا[1] نزدیک جیمپی در جنوب شرق این ایالت تسریع کند.

کرانه‌های میانی کوئینزلند قرار است ۵ گیگاوات ظرفیت ذخیره‌سازی را فراهم کنند که برای تأمین نیمی از کل نیازهای انرژی کوئینزلند کافی است. مرحله‌ی اول پروژه که به عنوان بخشی از بزرگ‌ترین طرح ذخیره‌سازی انرژی برق‌آبی در جهان شناخته می‌شود، در سپتامبر ۲۰۲۲ اعلام شد و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۲ تکمیل شود و مرحله‌ی نهایی آن تا سال ۲۰۳۵ به بهره‌برداری برسد.

- **چین**

در سال ۲۰۲۲، چین، بیش از ۱۵ گیگاوات به ظرفیت برق‌آبی متعارف خود افزود و همچنین ۸.۷ گیگاوات نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای اضافه کرد. علاوه بر این، اداره‌ی ملی انرژی برنامه‌های میان‌مدت و بلندمدت خود را از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۵ برای توسعه‌ی نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای منتشر کرد که ظرفیت نصب شده نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای را حداقل به ۶۲ گیگاوات در سال ۲۰۲۵ و حدود ۱۲۰ گیگاوات در سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد داد (در مقایسه با ۴۴.۷ گیگاوات فعلی).

ایستگاه برق‌آبی ۱۶ گیگاواتی بایهتان[2] که اکنون بزرگ‌ترین پروژه برق‌آبی جهان از نظر ظرفیت نصب شده است، در دسامبر ۲۰۲۲ به بهره‌برداری کامل رسید. در نهایت، شرکت یالونگ هیدروپاور[3] در حال ساخت یک پارک خورشیدی ۱ گیگاواتی به نام ایستگاه نیروگاه فتوولتائیک کلا[4] است که به تأسیسات برق‌آبی ۳ گیگاواتی لیانگه‌کو[5] در رودخانه یالونگ در جنوب غربی چین متصل خواهد شد. پس از تکمیل، این مجموعه‌ی جدید ترکیبی خورشیدی-برق‌آبی، بزرگ‌ترین نیروگاه از این نوع در جهان خواهد بود. بخش برق‌آبی این پروژه، دارای ظرفیت قابل تنظیم تا ۶.۵۶ میلیارد متر مکعب آب است.

- **فیلیپین**

[1] Borumba
[2] Baihetan
[3] Yalong Hydropower
[4] Kela Photovoltaic Power Station
[5] Lianghekou

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

توسعه‌دهنده‌ی زیرساخت فیلیپینی پرایم اینفرا[1] در مرحله‌ی پیش‌توسعه، پروژه‌ی ۵۰۰ مگاواتی تلمبه ذخیره‌ای واوا[2] در استان ریزال قرار دارد، که ساخت آن در سال ۲۰۲۳ آغاز خواهد شد. این پروژه، با هزینه‌ی تخمینی ۱ میلیارد دلار آمریکا، یکی از دارایی‌های تولید انرژی استراتژیک مهم فیلیپین برای تضمین کاهش فوری قیمت‌های برق محسوب می‌شود. واوا قرار است به پشتیبانی دولت فیلیپین، برای سه برابر کردن ظرفیت تولید انرژی سبز این کشور تا سال ۲۰۳۰ از طریق ارائه ثبات شبکه کمک کند.

در سال ۲۰۲۲، دولت فیلیپین هدف خود را برای سهم انرژی تجدیدپذیر به ۳۵ درصد تا سال ۲۰۳۰ و ۵۰ درصد تا سال ۲۰۴۰ افزایش داد. اهداف اضافی شامل ۱۲ درصد کاهش در دی‌اکسید کربن است. یک پروژه‌ی مهم ۸۰۰ مگاواتی ذخیره‌سازی در اکتبر ۲۰۲۲ اعلام شد که هزینه آن ۱.۳ میلیارد دلار آمریکا است.

- **تایلند**

در تایلند، اداره‌ی تولید برق تایلند روی گسترش ظرفیت تلمبه ذخیره‌ای خود، برای افزایش امنیت سیستم در زمان اوج تقاضا و امکان استفاده بیشتر انرژی تجدیدپذیر متغیر تمرکز دارد. در حال حاضر سه تأسیسات با مجموع ظرفیت ۱.۵۳ گیگاوات را اداره می‌کند و امکان‌سنجی شش پروژه دیگر از جمله پروژه‌ی ۹۰۰ مگاواتی تلمبه ذخیره‌ای واجیرالونگکورن[3] در استان کانچانابوری[4] را بررسی می‌کند. اهداف اصلی این مطالعه‌ی امکان‌سنجی، شامل انجام بررسی‌های ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی در محل پروژه و توسعه‌ی طراحی مفهومی سطح بالا برای نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای است. این پروژه به گونه‌ای طراحی شده است که بین سال‌های ۲۰۲۹ تا ۲۰۳۶ با هزینه‌ی تخمینی ۳۲ میلیارد بات (۹۳۸.۴ میلیون دلار آمریکا) توسعه یابد.

- **مالزی**

در مالزی، سازمان توسعه انرژی پایدار اهداف بلندپروازانه‌ای برای جذب سرمایه‌گذاری‌های جدید و ایجاد مشاغل بیشتر در بخش انرژی تجدیدپذیر تعیین کرده است. سازمان توسعه‌ی انرژی پایدار، سهمیه‌ی تعرفه‌ی خوراک برای منابع برق‌آبی کوچک اعلام کرد. در سال ۲۰۲۲ اعلام شد که ۱۲۷ مگاوات از پروژه‌های برق‌آبی کوچک واجد شرایط این طرح شده‌اند.

پروژه‌ی برق‌آبی ۱,۲۸۵ مگاواتی بالِه[5] برای تکمیل در سال ۲۰۲۷ سفارش داده شده است. این تأسیسات برق‌آبی توسط شرکت ساراواک[6] بهره‌برداری می‌شود. عملیات عمرانی اصلی توسط شرکت چین گژوبا گروپ با مسئولیت محدود[7] و شرکت محلی اونتانگ جایا[8] به طور مشترک انجام می‌شود.

- **ویتنام**

در ویتنام، منابع برق‌آبی پتانسیل تولید تا ۴۰ گیگاوات برق را دارند. انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ ظرفیت کل نیروگاه‌های برق‌آبی (شامل نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک) نزدیک به ۳۰ گیگاوات برسد. براساس «طرح توسعه‌ی قدرت هشتم» که به تازگی منتشر شده است، دولت ویتنام، پروژه‌های چندمنظوره و ذخیره‌سازی تلمبه‌ای را اولویت‌بندی می‌کند. (چشم‌انداز برق‌آبی دنیا در سال ۲۰۲۳)

تبعات سیاستی برای ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده

ذخیره‌سازی نیروی تلمبه شده برق‌آبی نوعی ذخیره‌سازی انرژی است که به دلیل قابلیت آن برای مقابله با چالش‌های منابع انرژی تجدیدپذیر جایگزین و فراهم کردن پایداری شبکه، در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. با تلاش سیاست‌گذاران برای گذار به سیستم‌های انرژی پایدار، لازم است تبعات سیاستی پیرامون ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده را به خوبی درک کنیم. در این مقاله، به بررسی برخی از این تبعات سیاستی مهم می‌پردازیم.

۱. گذار انرژی و اهداف آینده زیست‌محیطی:

انرژی برق‌آبی تلمبه ذخیره‌ای می‌تواند نقش مهمی در تسهیل گذار انرژی و دستیابی به اهداف آینده زیست‌محیطی

[1] Prime Infra
[2] Wawa
[3] Vajiralongkorn
[4] Kanchanaburi
[5] Baleh
[6] Sarawak Energy Berhad Power
[7] China Gezhouba Group Company Limited
[8] Untang Jaya Sdn Bhd

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

ایفا کند. ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده با ذخیره کردن انرژی تجدیدپذیر در زمان کمترین تقاضا و آزادسازی آن در زمان بیشینه‌ی تقاضا، استفاده بهتر از منابع تجدیدپذیر را ممکن می‌سازد. به همین دلیل نیز سیاست‌گذاران باید توجه خود را به توسعه‌ی سیاست‌هایی که ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده را به عنوان بخشی از یک استراتژی گسترده‌تر برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و تحول انرژی در نظر می‌گیرند، اختصاص دهند.

۲. توسعه‌ی زیرساخت:

تشکیلات گسترده‌ی ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده، نیازمند توسعه‌ی زیرساخت‌هایی است. بهتر است سیاست‌گذاران ساخت تأسیسات جدید ذخیره‌سازی برق‌آبی را تشویق کنند که شامل مواردی از جمله ساده‌سازی فرآیند مجوزدهی و ارائه‌ی تسهیلات مالی یا بودجه است. علاوه بر این، باید سیاست‌هایی را تدوین یا تضمین کنند که این تأسیسات، به نحوی پایدار، کمترین تأثیرات زیست‌محیطی و بیشترین بهره‌وری را داشته باشند.

۳. طراحی بازار و تنظیمات:

ادغام ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده در بازارهای برق، نیازمند بررسی دقیقی از طراحی بازار و تنظیمات است. سیاست‌گذاران باید قوانین و مقررات بازار فعلی را بررسی کنند تا اطمینان حاصل شود که قوانین مناسبی در این زمینه وجود دارند. این کار، ممکن است بیش از ارزشیابی درست خدمات ارائه شده توسط ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده، معطوف به بازنگری مکانیزم‌های بازار باشد و مواردی مانند پایداری شبکه، تنظیم فرکانس و معامله‌ی انرژی را در برگیرد. همچنین باید دستورالعمل‌ها و مقررات روشنی برای عملکرد و مالکیت تأسیسات ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده وضع شود.

۴. مکانیزم‌های تأمین مالی:

توسعه‌ی پروژه‌های ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده، نیازمند سرمایه‌ی اولیه قابل توجهی است. سیاست‌گذاران باید مکانیزم‌های تأمین مالی نوآورانه‌ای را بررسی کنند تا سرمایه‌گذاری‌های خصوصی را جذب و ریسک مالی مرتبط با این پروژه‌ها را کاهش دهند. این موضوع ممکن است شامل ایجاد برنامه‌های تأمین مالی، آسان‌گیری‌های مالیاتی و شراکت‌های عمومی-خصوصی باشد. با ارائه حمایت مالی و کاهش موانع سرمایه‌گذاری، سیاست‌گذاران می‌توانند استقرار فناوری ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده را شتاب بخشند.

۵. ادغام شبکه و برنامه‌ریزی:

ادغام کارآمد ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی در زیرساخت شبکه موجب موفقیت استقرار آن می‌شود. سیاست‌گذاران باید در مورد برنامه‌ریزی شبکه و ارتقای آن تلاش کنند تا ظرفیت‌های تأسیسات ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده را به خوبی تامین کنند. این کار، شامل انجام مطالعات سیستمی برای شناسایی مکان‌های بهینه، برای پروژه‌های آتی و تأمین توانایی‌های اتصال قوی است. به علاوه، سیاست‌هایی که هماهنگی و همکاری بین نهادهای مختلف را ترویج می‌کنند، از جمله شرکت‌های ارائه دهنده خدمات انرژی، نظارت‌کنندگان و اپراتورهای سیستم، برای این منظور ضروری هستند.

۶. ملاحظات محیط‌زیستی:

اگرچه ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده در مقایسه با گزینه‌های ذخیره‌سازی انرژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی یک فناوری نسبتاً پاک محسوب می‌شود، سیاست‌گذاران باید اطمینان حاصل کنند که ملاحظات محیط‌زیستی به طور کافی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این کار شامل انجام ارزیابی‌هایی جامع در مورد تأثیرات زیست‌محیطی و اجرای تدابیر کاهش تأثیرات منفی روی آن منطقه است. سیاست‌ها باید همچنین از روش‌های پایدار استفاده کنند و فناوری‌های نوآورانه‌ای را برای کاهش اثرات زیست‌محیطی تأسیسات ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده به کار گیرند.

ذخیره‌سازی این نیرو، ظرفیت بالقوه‌ای در فراهم کردن آینده‌ای با انرژی پایدار فراهم می‌کند. سیاست‌گذاران باید با توجه به تبعات سیاستی مرتبط با این فناوری، سیاست‌های حمایتی را در زمینه‌های انتقال انرژی، توسعه زیرساخت، طراحی بازار و تنظیمات، مکانیزم‌های تأمین مالی، ادغام شبکه و برنامه‌ریزی و ملاحظات محیط‌زیستی اجرا کنند. با انجام این اقدامات، می‌توان به طور کامل از قدرت

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

ذخیره‌سازی نیروی برق‌آبی تلمبه شده بهره‌برداری و به راه‌اندازی موفقیت‌آمیز این فناوری پر اهمیت و نوآورانه کمک کرد.

جمع‌بندی

نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای از جمله منابع پایدار انرژی به شمار می‌روند که می‌توانند در کاهش انتشار کربن مؤثر باشند. در سال‌های اخیر، این نیروگاه‌ها در دنیا با استقبال بیشتری روبرو شده‌اند و ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی توسط آن‌ها افزایش یافته است. انتظار می‌رود در آینده نیز بخش مهم و بزرگ‌تری از تولید برق، به جای استفاده از سوخت‌های فسیلی، از این نیروگاه‌ها تأمین شود. با وجود مزایای این نیروگاه‌ها، همچنان چالش‌هایی سرمایه‌گذاری و توسعه‌ی آن‌ها را تهدید می‌کند. با این همه، چنین نیروگاه‌هایی می‌توانند کمک خوبی به ذخیره‌سازی انرژی در ساعات کم مصرف و تزریق جریان برق در ساعات اوج مصرف باشند.

مراجع

1- Zvirgzdins, J. and Linkevics, O. (2020). Pumped-Storage Hydropower Plants as Enablers for Transition to Circular Economy in Energy Sector: A Case of Latvia. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 57(3), pp.20–31.

2- https ://www.marketresearchfuture.com, M.R.F. (n.d.). Pumped Hydroelectric Storage Turbines Market Report 2030 | MRFR.

3- www.hydropower.org. (n.d.). 2023 World Hydropower Outlook.

4- https://www.hydro.org/wp-content/uploads/2021/09/2021-Pumped-Storage-Report-NHA.pdf

5- U.S. Hydropower Market Report 2023 Edition. (n.d.).

6- Challenges and Opportunities For New Pumped Storage Development A White Paper Developed by NHA's Pumped Storage Development Council. (n.d.).

7- Pump it up: Recommendations for urgent investment in pumped storage hydropower to back the clean energy transition International Forum on Pumped Storage Hydropower Policy and Market Frameworks Working Group: Global Paper. (2021).

8- What were the key outcomes of COP28? (2023, December 20). World Economic Forum. https://www.weforum.org/agenda/2023/12/cop28-key-outcomes-un-climate-summit/

9- Causes of climate change. (n.d.). Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en

10- Pumped Storage Hydropower: A Technical Review. Brandi A. Antal. 2004. A Master Report in University of Colorado.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

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 Power Plant
11th Year/ No. 37- Special Issue on Pumped Storage Power Plants/ June 2024

The Outlook of Investment in Pumped Storage Hydropower and its trend

Seyed Hossein Sajadifar*[1]
Amir Shamlouei[2]

Abstract

In recent years, global warming has become more serious, and climate change issues have become more important. The consequences of this warming trend, along with the growth in population, have caused various proposals to be put forward to develop renewable energy sources to achieve sustainable development. Introduction of pumped storage hydropower (PSH) is a sign of this trend. These plants can store excess energy when demand is low and release it when demand is at its peak. In recent years, the development of these power plants has been followed seriously, and it is expected that investment in such plants will be increasingly high in the future. Due to the importance of meeting climate goals and reducing greenhouse gas emissions, the development of these power plants that produce electricity with minimal carbon emissions is crucial.

Keywords

Pumped Storage Hydropower, investment, hydropower, PHS

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-01-31]

[1]* Corresponding author scientific degree. E-mail address
[2] Second author scientific degree.

Received: 2024/06/27 Accepted: 2024/07/07