DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.2.12.1

سال هفتم، شماره دوم، پائیز و زمستان، ص ص ۹۷- ۱۰۳

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

Jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۴

روش های ذخیره انرژی های تجدید پذیر در منابع آبی

شقایق دانه‌کار[۱]، حسین یوسفی[۲*]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته اکوهیدرولوژی، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲-دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

* صندوق پستی تهران، ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Hosseinyousefi@ut.ac.ir

چکیده

با توجه به گسترش روزافزون انرژی‌های تجدیدپذیر و اهمیت جهانی رو به رشد آنها به خصوص در کشورهای در حال توسعه همچون ایران، تمرکز بر مسئله اصلی این حوزه یعنی راه‌های ذخیره سازی این نوع از انرژی از اولویت برخوردار است. از آنجایی که تولید انرژی‌های تجدیدپذیر وابستگی زیادی به شرایط اقلیمی دارد، اتکای تمام وقت به آنها برای تامین برق و دیگر کاربری‌ها امکان پذیر نیست و بنابراین در حال حاضر تکیه صرف بر این نوع از انرژی برای تامین تمام تقاضای انرژی موجود، به عنوان یک گزینه مطرح نمی‌باشد. ذخیره‌سازی انرژی کمک می‌کند تا با آزادسازی فوری آن به هنگام نیاز بین تقاضای انرژی و عرضه آن تعادل حفظ شود. در بین روش‌های مختلف ذخیره‌سازی، آب به سبب برخورداری از توانایی تبدیل‌سازی انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی ظرفیت ذخیره و آزادسازی حجم وسیعی از انرژی را برای پاسخگویی به نیاز موجود دارا می‌باشد. مقاله پیش رو روش‌ها و طرق مختلف ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر را با به کارگیری منابع آبی تشریح کرده و مورد ارزیابی قرار داده است. در حالی که برخی از این روش-ها از دیرباز به کار گرفته شده‌اند برخی دیگر نسبتا نو می‌باشند و راه درازی را برای توسعه یافتن و تجاری شدن به صورت کامل در پیش رو دارند.

کلیدواژگان: انرژی‌های تجدیدپذیر، ذخیره‌سازی انرژی، منابع آبی

Methods of Storing Renewable Energy in Water

Shaghayegh Danehkar[1], Hossein Yousefi[2*]

1- Master of Science (MSc) Student, Ecohydrology, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Received: 5 August 2019 Accepted: 5 November 2019

Abstract

Given the increasing development of renewable energies and their worldwide growing significance, specifically in developing countries such as Iran, focusing on the ways of storing this kind of energy, as the main issue in this area, is a priority. Since Renewable energy production is strongly dependent on the climate conditions, the full time reliance on them for providing power and other applications is not possible and therefore, for the moment, responding to the whole energy demand, by solely depending on renewable energy is not an option. Storing energy contributes to keeping the balance between demanding and providing energy, by immediate discharge of it in the time of need. Among various Storing solutions, water, due to its capability of converting potential energy to kinetic energy, has the capacity of storing and discharging vast amount of energy to facing the demand. The present work, describes different methods and solutions of utilizing water as energy storage. Some of these methods have been used for a long time, while some others are considered to be fairly novel with a long way ahead to become fully developed and commercialized.

Keywords: Renewable Energies, Energy Storage Methods, Water Resources

۱- مقدمه

امروزه، رشد روز افزون جمعیت و به موازات آن چند برابر شدن تقاضا برای انرژی، موجب گسترش بازار انرژی‌های تجدیدپذیر به خصوص در اقتصادهای نوظهور و در حال توسعه شده است. انرژی‌های تجدیدپذیر به آن دسته از انرژی‌ها اتلاق می‌شوند که از منابع طبیعی نامحدودی حاصل گشته و قادر هستند در مدت زمان اندکی خود را از نو تکمیل و بازیافت کنند. این انرژی‌ها به سبب پاکیزگی و منافع اقتصادی زیادی که دارند برای سوخت‌های فسیلی آلاینده و در حال تقلیل جانشین خوبی به حساب می‌آیند. چالش‌ها و مسائل متعدی در مسیر توسعه این انرژی‌ها به چشم می‌خورد که دستیابی به هدف غایی، یعنی اتکای صد درصدی بر منابع تجدیدپذیر را برای تولید برق و دیگر مصارف انرژی با تعویق مواجه ساخته است.

در این میان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌ها بحث ذخیره‌سازی انرژی است. وابستگی شدید تولید انرژی‌های تجدیدپذیر به شرایط اقلیمی و آب و هوایی موجب شده است تا بهره‌گیری مستقیم شبانه‌روزی از آنها ممکن نباشد. بدین ترتیب نمی‌توان تقاضای انرژی جمعیت فزاینده زمین را با اتکای صرف به این نیروگاه‌ها تامین نمود. به همین دلیل با بهره-گیری از تکنیک‌های ذخیره‌سازی می‌توان انرژی مازاد را ذخیره ساخته و در مواقعی که پیک مصرف بالا می‌باشد و نیروگاه تجدیدپذیر به تنهایی قادر به پاسخگویی به نیاز انرژی نیست، با آزادسازی سریع آن توسط این ذخایر در عرضه انرژی تعادل برقرار نمود؛ بدین ترتیب راندمان بهره‌وری از انرژی در ساعات نامتعارف نیز بالا می‌رود و این امر می‌تواند مزیت‌های اقتصادی فراوانی به دنبال داشته باشد. در طی گذر سال‌ها روش‌های زیادی برای انجام این فرایند به کار بسته شد که هر یک از درجات مختلفی از موفقیت برخوردار بودند؛ از جمله آنها می‌توان به مخازن هوای فشرده ، مخازن ریلی پیشرفته، چرخ طیار، مخازن پمپاژی حرارتی و سدهای تلمبه‌ای ذخیره‌ای اشاره نمود.

از کاربردی‌ترین و گسترش یافته‌ترین این روش‌ها بهره‌گیری از منابع آبی برای ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. در سال ۲۰۱۵، تائو ما[1] و همکاران بر روی طراحی سدهای تلمبه‌ای هیبرید خورشیدی- بادی با قابلیت خودکفایی در تولید برق برای مناطق دورافتاده کار کردند. در این پژوهش طرح این سیستم هیبریدی بهینه-سازی شد و همچنین عملکرد سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزودن توربین‌های بادی بیشتر به کاهش قیمت برق و کوچک‌تر ساختن مخزن انرژی کمک خواهد نمود [۱]. در سال ۲۰۱۷، پوجادس[2] و همکاران عملکرد نیروگاه‌های پمپاژی مستقر در آب‌های زیرزمینی را که از حفره‌های معدن به عنوان مخزن آب استفاده می-کردند ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که هر چه تبادلات آب‌های زیرزمینی با محیط متخلخل پیرامونشان بیشتر باشد راندمان سیستم افزایش بیشتری پیدا می‌کند؛ بر این اساس بیشترین راندمان زمانی حاصل می‌شود که مخزن آب در محیط متخلخل تراوا قرار داشته باشد و همچنین دیواره‌های معدن مانع تبادلات آب‌های زیرمینی نشوند (غیر قابل نفوذ نباشند) [۲].

در ایران نیز در سال ۱۳۹۵، خداپرست مشهدی و همکاران ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه برق آبی (تلمبه‌ای- ذخیره‌ای) را در سدهای مخزنی کشور با تمرکز بر سد و نیروگاه پیرتقی مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور از چهار سناریوی حجم مخزن یک و نیم، دو، سه و چهار میلیون متر مکعب استفاده شد. بر طبق نتایج بهترین حالت در حجم مخزنی ۳ میلیون متر مکعب برآورد شده است. مقادیر ارزش خالص کل طرح در گزینه‌های مختلف بین حداقل ۲۲۱۷ میلیارد ریال در گزینه ۱/۵ متر مکعب تا حداکثر ۳۷۵۰ میلیارد ریال در گزینه ۳ میلیون متر مکعب، تغییر نموده است. این شاخص می‌تواند معیار مناسبی برای انتخاب گزینه برتر از بین گزینه‌های اقتصادی باشد [۳].

۲- روش کار

در این مقاله، با در نظرگیری روند تاریخی ذخیره‌سازی انرژی در منابع آبی، روش‌های کنونی به کارگیری صورت‌های مختلف آب برای ایجاد مخازن انرژی مورد ارزیابی قرار گرفته، نقاط ضعف و قوت هر یک از این روش‌ها ارزیابی گشته و سهم کلی هر کدام در ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲- انرژی های تجدید پذیر در جهان و ایران

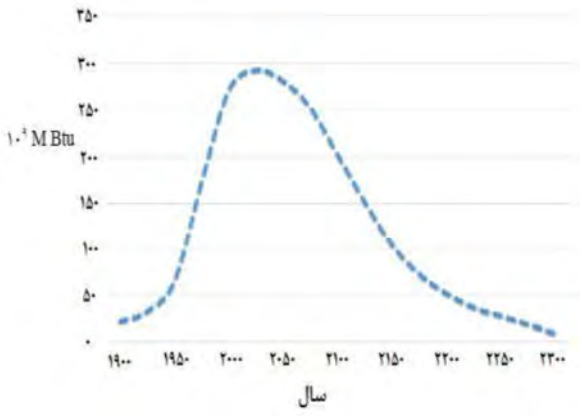
بنا به گزارش شبکه سیاست‌گذاری برای انرژی‌های تجدیدپذیر در قرن بیست و یکم، در سال ۲۰۱۸ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید انرژی جهانی به بیش از ۳۳٪ رسید. تا سال ۲۰۱۹، انرژی بادی و انرژی خورشیدی به دو گزینه اصلی بین منابع تجدیدپذیر برای تولید برق تبدیل گشته و تعداد به رو افزایشی از کشورها بیش از ۲۰٪ برق خود را از طرق انرژی خورشیدی و بادی تامین می‌کنند. در این میان کشورهایی از قبیل چین، ایالات متحده آمریکا، آلمان، اسپانیا، ایتالیا و هند در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید برق پیشرو می‌باشند [۴]. به طور کلی تا پایان سال ۲۰۱۸، انرژی‌های تجدیدپذیر مسئول تامین بیش از ۲۶٪ برق تولیدی در مقیاس جهانی بودند [۵].

با توجه به تقلیل فزاینده و سریع سوخت‌های فسیلی می‌توان پیش-بینی نمود که در آینده‌ای کوتاه اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر و سهم آنها در تامین برق و دیگر مصارف انرژی از رشد بسیار بیشتری برخوردار شده و در مقابل سهم سوخت‌های فسیلی در تامین کاربری‌های مشابه به درصد ناچیزی برسد. شکل ۱ نشان‌دهنده وضعیت انرژی سوخت‌های فسیلی جهان می‌باشد. بر اساس آن بعد از سال ۲۳۰۰ منابع انرژی به اتمام خواهد رسید [۴،۶].

---

1 Tao Ma
2 Pujades

شکل ۱ انرژی سوخت فسیلی جهان [۷-۶]



در ایران نیز به عنوان یک کشور در حال توسعه با توجه به افزایش سریع جمعیت و تقاضا برای انرژی (مصرف انرژی در ایران ۸۰٪ بالاتر از میانگین مصرف انرژی در خاورمیانه می‌باشد)، تمرکز بر توسعه انرژی-های نو و ایجاد چارچوب‌های سیاست‌گذاری کاربردی برای اختصاص بودجه، مکان‌یابی و آموزش نیروی متخصص و ایجاد زیرساخت‌های لازم اهمیت فراوانی دارد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند در سال‌های آتی ایران با افزایش قابل ملاحظه تقاضا برای برق تولیدی مواجه گردد؛ این در حالی است که احتمال می رود این کشور نتواند تولید انرژی را متناسب با این تقاضای رو به افزایش را بالا ببرد.

ایران به سبب برخورداری از تنوع اقلیمی و توپوگرافیکی، برای توسعه و به کارگیری صورت‌های مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر پتانسیل زیادی دارد. ایران با داشتن ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم مساحت آن و متوسط تابش ۵/۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز و ۲۸۰۰ ساعت آفتابی در سال یکی از مهم‌ترین مراکز تولید برق خورشیدی در آسیای غربی و جهان است [۷]. همچنین ایران برای پروژه‌های بادی نیز مطلوب می‌باشد؛ چرا که در منطقه کم فشاری استقرار یافته که از اطراف توسط نواحی پر فشار احاطه شده است.

در دو دهه اخیر در ایران پیشرفت‌هایی در زمینه استفاده از انرژی-های تجدیدپذیر صورت گرفته است از جمله عضویت این کشور در آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر از سال ۲۰۱۲. با این حال به سبب وجود موانع و چالش‌های مختلف، تا سال ۲۰۱۴، تنها کمتر از یک درصد از کل مصرف انرژی کشور توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تامین گشته است که عمدتا متشکل از انرژی بادی، انرژی بیومس، انرژی خورشیدی و انرژی برق آبی می‌باشد. بدین ترتیب در حال حاضر تولید انرژی در ایران عمدتا حول محور سوخت‌های فسیلی ارزان می‌چرخد و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در این کشور راه درازی را در پیش دارد.

۲-۲- تاریخچه به کارگیری منابع آبی در ذخیره انرژی

آب به عنوان یک منبع طبیعی پاک، به سبب جریان خود در مسیرها و مجراهای آبی و یا با به حرکت درآمدن توسط باد یا تغییرات دمایی می-تواند انرژی جنبشی تولید کند که قابل بهره‌برداری برای اهداف سودمند می‌باشد. نیروی ناشی از امواج جذر و مدی نیز حالت دیگری از انرژی آب است که باد و نیروی جاذبه مسبب آن هستند. اما آب علاوه بر توانایی خود در تولید انرژی می‌تواند به عنوان مخزنی برای ذخیره انواع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر نیز به کار رود.

در حال حاضر توسعه یافته‌ترین شیوه ذخیره انرژی به کارگیری مخازن آبی در قالب سدهای پمپاژی است. به کارگیری مخازن آبی برای ذخیره و تولید انرژی در تاریخ بشر قدمت بالایی دارد و به زمانی بر می-گردد که چرخ‌های آبی و آسیاب‌های آبی در چین، مصر، ایران، هند و روم باستان در اثر نیروی آب رودخانه به حرکت درآمده و بدین ترتیب با بهره‌گیری از سرعت و فشار آب انرژی آن به اشکال مختلف و مفید نیرو تبدیل می‌شده است [۸]. پمپاژ کردن آب و تبدیل انرژی پتانسیل آن به انرژی جنبشی ارزان ترین شیوه ذخیره انرژی می‌باشد و همچنین قدمت به کارگیری این روش در مقایسه با روش‌های دیگر بیشتر است.

ساخت اولین نیروگاه برقابی با قابلیت تلمبه ذخیره‌ای به سال ۱۸۸۲، در زوریخ سوئیس برمی‌گردد [۹]. به مرور رشد این نیروگاه‌ها در اروپا فزونی یافت و نیروگاه‌های برقابی ساده نیز به موازات سیستم‌های مخزنی تلمبه‌ای رشد نمودند. در سال ۱۸۸۲ اولین نیروگاه برقابی تجاری در ویسکانسین مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در سال ۱۹۳۵ نیز، سد هوور، بزرگترین نیروگاه برقابی جهان ساخته شد [۱۰]. بعد از جنگ جهانی، نقش و اهمیت انرژی در جهان پررنگ‌تر شد. این موضوع بر توجه و تاکید بر منابع آبی به عنوان مخازن مطلوب انرژی فزونی بخشید و سدهای پمپاژی و تلمبه‌ای از این تاریخ به بعد در دیگر نقاط جهان نیز به اهمیت بالاتری دست یافتند و رفته رفته به جزئی تفکیک‌ناپذیر از برنامه‌های توسعه تبدیل گشتند. اما آنچه که بیش از همه باعث توسعه بازار انرژی‌های تجدیدپذیر و به دنبال آن فناوری‌های متنوع ذخیره آنها گردید، بحران‌های انرژی رخ داده از آغاز دهه هفتاد میلادی و پیامدهای اقتصادی آن بود که موجب شد تا نقش و اهمیت انرژی در امنیت ملی و اقتصادی از منظر تازه‌ای مطرح شود. در همان زمان برخی کشورهای پیشتاز در زمینه توسعه انرژی‌های نو همچون آلمان، دانمارک، اسپانیا و ایالات متحده آمریکا، بازارهای عمده‌ای را برای این دسته از انرژی‌ها ایجاد نمودند که موجب پیشرفت‌های فناورانه اولیه در راستای به

کارگیری آنها گردید. بعدها تاکید و توجه فزاینده بر پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن و تلاش برای کاهش دادن آنها، از جمله گزارش هیئت بین-الدولی تغییر اقلیم[1]در سال ۲۰۰۷، به تداوم رشد فناوری‌های مربوط به انرژی‌های نو کمک شایانی نمود [۱۱].

بدین ترتیب از دهه هفتاد به این سو روش‌های تازه‌ای در راستای بهره‌برداری از منابع آبی برای ذخیره انرژی ارائه شدند که گرچه غالب این روش‌ها نسبت به سدهای پمپاژی ذخیره‌ای هزینه بیشتری می-طلبیدند اما هر یک مزایای خاص خود را نیز دارا بودند. استفاده از هیدروژن به عنوان خازن مازاد انرژی تجدیدپذیر مفهومی بود که از اواسط دهه هفتاد مطرح شد اما به طور کلی استفاده از آن برای ذخیره انرژی در جهان چندان گسترش نیافته است و علارغم پتانسیل خوبی که این فناوری از خود نشان داده است، براساس گزارش ها، تا سال ۲۰۱۶، تنها هفت پروژه در جهان در این حوزه وارد فاز عملیاتی شده‌اند و ظرفیت آن‌ها در مجموع تنها به ۷ مگاوات می‌رسد. در اروپا و ایالات متحده نیز چندین پروژه آزمایشی و ابتدایی در راستای گسترش این نوع از ذخیره انرژی در حال حاضر در حال پیشبرد می‌باشند. در سال ۲۰۱۸، در استرالیا، یک مطالعه قیاسی بر روی راندمان مخازن هیدروژنی و مخازن باطری، در زمینه انرژی‌های تجدید پذیر انجام شد. هدف از این پژوهش آن بود تا پتانسیل هیدروژن به عنوان یک مخزن بلند مدت در جنوب این کشور برای پشتیبانی از برق تولیدی سنجیده گردد که در حال حاضر به طور ترکیبی از محصول گاز، انرژی بادی و انرژی خورشیدی است. بدین منظور عملکرد یک سیستم ذخیره‌ساز باتری و یک سیستم ذخیره‌ساز هیبریدی باتری- هیدروژن مورد مقایسه قرار گرفتند که در نتیجه آن سیستمی که از هیدروژن بهره می‌برد بازدهی بهتری داشت و هزینه کمتری نیز طلب می‌کرد [۱۲].

دیگر روش‌های ذخیره‌ای متکی به آب نیز همچون استفاده از مخازن یخ و یا استفاده از آبخوان‌ها نیز عمدتا از دهه هفتاد به این سو توسعه یافتند و به مرحله عملیاتی رسیدند.

در ایران نیز در حال حاضر، عمده ذخیره‌سازی آبی انرژی در کشور توسط دو سد تلمبه‌ای در حال بهره‌برداری (نیروگاه سیاه‌بیشه و نیروگاه اردبیل) صورت می‌گیرد. با این وجود مطالعات چندی در زمینه پتانسیل‌سنجی انواع مختلف فناوری‌های آبی ذخیره‌ساز در نقاط مختلف کشور صورت پذیرفته است.

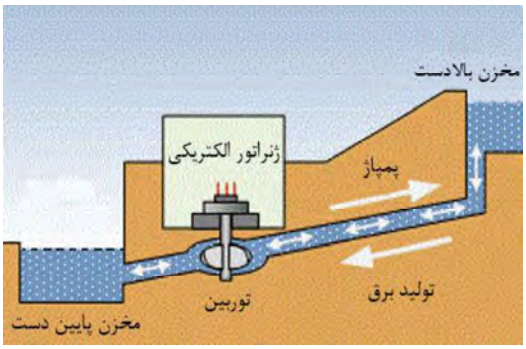
۳-۲- انواع روش‌های ذخیره سازی آبی

از صد سال گذشته تا به کنون روش‌های چندی برای بهره‌گیری از منابع آبی به عنوان مخازن انرژی تجدیدپذیر توسعه پیدا کرده که در دهه‌های اخیر بر تعداد این فناوری‌ها و سرعت رشد آنها افزوده شده است. در ادامه به روش‌های کنونی استفاده از آب به عنوان خازن اشاره می‌شود.

۱-۳-۲- سدهای تلمبه‌ای ذخیره‌ای

در این فناوری انرژی از طریق حرکت آب بین دو مخزن که در ارتفاعات متفاوتی قرار گرفته‌اند ذخیره و تولید می‌شود. اساس کار سدهای پمپاژی بر آزادسازی انرژی جنبشی آب و تولید برق در هنگام بالا رفتن پیک مصرف یا فقدان عملکرد مناسب از جانب نیروگاه‌های تجدیدپذیر می‌باشد؛ انرژی مازاد تولید شده در نیروگاه، آب را از مخزن پایین به مخزن بالا پمپاژ می‌کند. هنگام بالا رفتن تقاضا برای انرژی، آب از مخزن بالا آزاد شده و از طریق مجرای آب و یک توربین به مخزن پایینی باز می‌گردد. بعضی از تأسیسات برای مخزن پایینی از معادن رها شده استفاده می‌کنند، ولی معمولا دو حجم طبیعی یا مصنوعی آب مخازن سد را تشکیل می‌دهند. این فناوری رایج، قدیمی‌ترین و توسعه‌یافته‌ترین شیوه ذخیره انرژی در مقیاس بزرگ می‌باشد و ظرفیت روزانه سیستم-های تولید انرژی را بالا می‌برد.

به گزارش موسسه تحقیقاتی نیروی برق[2]در مارچ ۲۰۱۲، این سدها مسئول ذخیره بیش از ۹۹٪ ظرفیت ذخیره انرژی در جهان بوده‌اند؛ یعنی ظرفیتی معادل ۱۲۷۰۰۰ مگاوات [۱۳]. شکل ۲ نمای کلی یک نیروگاه تلمبه‌ای ذخیره‌ای را نشان می‌دهد. در این شکل آب با پمپاژ شدن از مخزن پایین‌دست برای نگهداری به مخزن بالادست فرستاده می‌شود و هنگان نیاز به تولید برق با حرکت در جهت عکس و عبور از توربین و ژنراتور برق تولید می‌کند.



شکل ۲ نمای کلی یک نیروگاه تلمبه‌ای ذخیره‌ای [۱۴]

نیروگاه‌های تلمبه‌ای بر اساس چرخه عمل[3] روزانه، هفتگی و یا سالانه می‌باشند. همچنین بر اساس جریان آب[4]به دو دسته خالص یا هیبرید تقسیم می‌گردند [۱۵]. در نوع خالص آب مکررا بین دو مخزن بالادست و پایین‌دست جریان می‌یابد و در حالت مرکب، حجم آبی که از پمپ‌ها و توربین‌ها، روی هم رفته عبور می‌کند بیشتر از حجم آبی است که از پمپ‌ها رد می‌شود. جدول ۱ بیانگر مزایا و معایب استفاده از سد-های پمپاژی ذخیره‌ای می‌باشد.

جدول ۱ مزایا و معایب به کارگیری سدهای پمپاژی ذخیره‌ای

مزایای استفاده از سدهای پمپاژی ذخیره‌ای [۹،۱۶]	معایب استفاده از سدهای پمپاژی ذخیره‌ای [۹]
ذخیره طولانی و کم هزینه انرژی	محدودیت‌های جغرافیایی و مکانی

۱IPCC

۲EPRI
۳Operating cycle
۴In Flow

راندمان گردش بالا	تراکم پایین انرژی (ردپای گسترده)
فراهم‌سازی ظرفیت حجمی بالا	برخی ریسک‌های زیست‌محیطی
برخورداری از فناوری پیشرفته	هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه
مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی	طولانی بودن دوره احداث

اگرچه عمده ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان به وسیله سدهای پمپاژی صورت می‌گیرد و این فناوری در بین فناوری‌های رقیب از نظر تجاری بیشترین توسعه را پیدا کرده است، اما بهره‌گیری از آب برای ذخیره و تولید انرژی به هنگام نیاز، تنها به این سیستم‌ها محدود نمی‌شود. در طول دهه‌های اخیر محققان فناوری‌های آب مبنای مختلفی را برای ذخیره‌سازی انرژی ارائه نموده‌اند.

۲-۳-۲- باتری‌های آب شور

این باتری‌ها از یک محلول آبی با غلظت شوری بالا به عنوان الکترولیت استفاده کرده و انرژی را به کمک یک سری فعل و انفعالات الکتروشیمیایی ذخیره می‌کنند، (نسبت نمک به آب گاه می‌تواند تا شش به یک افزایش پیدا کند؛ بنابراین به آن گاهی آب در باتری شور نیز گفته می‌شود) [۱۷]. در این حالت کربن می‌تواند به عنوان قطب مثبت و اکسید منگنز به عنوان قطب منفی باتری به کار بروند. هر چند مواد مختلف دیگری (همچون زینک یا تیتانیوم) قابلیت ایفای نقش به عنوان قطب منفی و مثبت را دارا هستند [۱۸]. روند کار این باتری‌ها بدین صورت است که باتری هنگام شارژ شدن توسط انرژی الکتریکی (و یا حالات دیگر انرژی)، یون‌های سدیم را از آب شور استخراج کرده و آنها را در قطب منفی ذخیره می‌کند. هنگام تخلیه الکتروشیمیایی، سدیم از قطب مثبت آزاد شده و با اکسیژن آب شور واکنش نشان می‌دهد و بدین ترتیب سدیم هیدرواکسید را به وجود می‌آورد. از طریق این فرایندهای الکتروشیمیایی این باتری‌ها می‌توانند مشابه با سدهای پمپاژی به ذخیره مازاد انرژی‌های تجدیدپذیر و رهاسازی آن در هنگام نیاز بپردازند.

مزایای این باتری‌ها عبارتند از برخورداری از مواد غیر سمی، عدم زنگ زدگی و خورندگی، اشتعال ناپذیری، کم هزینه بودن، قابلیت عملکرد در درجه حرارت‌های متفاوت (برخلاف دیگر انواع باتری‌ها)، قابلیت جابه‌جایی و تاثیرپذیری کم از محدودیت‌های جغرافیایی و طول عمر و دوام‌پذیری بالا [۲۰-۱۹].

در کنار این مزایا، در توسعه این فناوری چالش‌هایی نیز وجود دارد، از جمله:

- عدم برخورداری از فناوری توسعه یافته و تجاری شده
- عدم برخورداری از حجم بالای ذخیره‌سازی در مقایسه با دیگر مخازن آبی موجود
- عدم برخورداری از حمایت و بودجه مالی کافی برای سرمایه‌گذاری‌های گسترده در مرحله کنونی
- نیازمند به بهینه‌سازی شدن برای تولید نیروی الکترونیکی بیشتر

۳-۳-۲- مخازن آبی برای ذخیره انرژی حرارتی

امروزه عمده فناوری‌های ذخیره‌ساز انرژی حرارتی در یک خانواده قرار می‌گیرند. مخازن حرارتی واقع در نیروگاه‌ها عمدتا به صورت تانک‌های حاوی آب جوش و یا بخار آب می‌باشند و معمولا برای یک بازه زمانی نسبتا کوتاه مدت مورد استفاده واقع می‌شوند. گرچه از مواد مختلفی می‌توان برای ذخیره انرژی حرارتی استفاده نمود اما در حال حاضر ذخایر آبی سهم عمده‌ای از این مخازن را به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی خازن‌های انرژی حرارتی خورشیدی را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: ۱. حرارت آشکار ۲. حرارت بالقوه (پنهان)

هر دوی این سیستم ها قادر به استفاده از آب به عنوان خازن می‌باشند. در ذخیره‌سازی نوع اول، حرارت موجب تغییر حالت ماده از جامد به مایع و یا از مایع به گاز می‌شود و گرمای آشکار ناشی از این تغییر حالت ذخیره می‌گردد. هنگامی که این گرمای ذخیره شده استخراج می‌شود، ماده مورد نظر دوباره فرم پیشین خود را باز می‌یابد. مهم‌ترین عیب این شیوه آن است که تغییرات بزرگ در مقادیر حجمی (در اثر تغییر حالت)، پیچیدگی و ناکارآمدی سیستم را زیاد می‌نمایند. در عین حال مزیت این روش در جمع و جور بودن آن است [۲۱]. از جمله زیر شاخه‌های این فناوری می‌توان به آیس‌استورج و مخازن بخار اشاره نمود.

مخازن یخی یا آیس استورج: این فناوری با بهره‌گیری از انرژی ذخیره شده در یخ که به دمای نهان انجماد نیز معروف است عمل می‌کند؛ بدین ترتیب که در لحظه نقطه ذوب از آن استفاده می‌شود و در عین حال تغییری در دمای محیط اطراف پدید نمی‌آورد. انرژی حاصل از ذوب یخ بسیار بالا می‌باشد و به همین جهت با اتکا بر این فناوری توان حجم زیادی از انرژی را ذخیره نمود. این شیوه هم به صورت گرماساز و هم سرماساز عمل می‌نماید. برخی از مزیت‌های این سیستم عبارتند از انتقال پیک مصرف از زمان اوج مصرف به زمان افت مصرف، کاهش آلودگی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهبود وضعیت رفاهی شهروندان [۲۲].

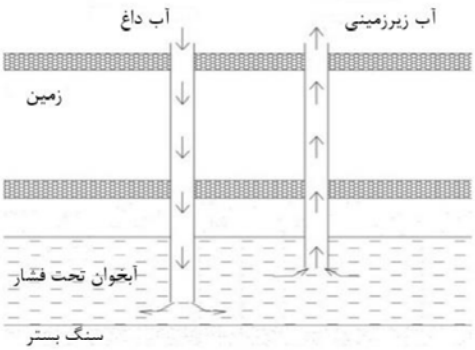
مخزن بخار: در این روش تانکر توسط بخار آب اشباع شده و یا آبی که در نقطه جوش قرار دارد پر می‌شود. آنگاه، هنگام نیاز، آب جوش تبدیل به بخار شده و برای استفاده از تانکر استخراج می‌گردد [۲۳].

در شیوه حرارت پنهان، ذخیره‌سازی یا استخراج انرژی از طریق گرم یا سرد کردن ماده جامد یا مایع صورت می‌پذیرد اما حالت ماده در این فرایند دستخوش تغییر نمی‌گردد. رایج‌ترین ماده ذخیره‌کننده در این نوع آب می‌باشد. در بسیاری از این سیستم‌ها تانک‌های آبی در خارج یا داخل تاسیسات و یا در زیر زمین قرار گرفته و ظرفیت مخازن از چند صد لیتر تا چند هزار متر مکعب متغیر است. مزیت این روش آن است که مواد رایج به کار رفته در آن (مانند آب) ارزان می‌باشند. آب غیر سمی و احتراق‌ناپذیر است و تنظیم و کنترل سیستم آبی نیز به نسبت آسان است. در کنار این مزایا، احتمال یخزدگی یا جوش آمدن آب، توانایی فرسایندگی آب و محدودیت‌های دمایی به عنوان معایب این فناوری مطرح می‌باشند [۲۱].

در زیرشاخه حالت دوم می‌توان به آبخوان‌های ذخیره‌ساز انرژی اشاره نمود.

آبخوان‌های ذخیره ساز انرژی حرارتی[1] این سیستم‌ها قادر به فراهم-سازی انرژی گرمایشی و سرمایشی برای ساختمان‌ها می‌باشند. در این روش با استخراج و تزریق آب زیرزمینی به کمک چاه، انرژی ذخیره و بازیابی می‌گردد. آبی که از یک چاه بیرون کشیده شده است بعد از عبور از یک مبدل حرارتی، از طریق چاه دیگری به داخل زمین برمی‌گردد. فاصله چاه‌ها باید به قدری باشد که آب بازگشتی بر دمای آب چاه اول تاثیر نگذارد [۲۴]. معمولا این سیستم‌ها به صورت فصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ بدین صورت که در تابستان آب استخراج شده از چاه‌ها بعد از گذر از مبدل حرارتی برای خنک‌سازی ساختمان‌ها به کار گرفته می‌شود و متعاقبا در فصل زمستان، این فرایند در حالت عکس صورت می‌پذیرد. حالت دیگر این فناوری که کاربرد آن از سیستم‌های آبخوان کمتر است عبارت است از استفاده از حفره‌های زیرزمینی پر از آب[2]. شکل ۳ نشان‌دهنده ساختار کلی یک آبخوان ذخیره‌ساز حرارتی می-باشد. در این شکل آب از یک چاه بیرون کشیده می‌شود، دمای آن برحسب نیاز دچار تغییر گشته و بعد از استفاده مجددا از چاه دیگری به داخل زمین و آبخوان تحت فشار برگردانده می‌شود.

شکل۳ ساختار سیستم آبخوان‌های ذخیره‌ساز حرارتی [۲۱]



۴-۳-۲- مخازن هیدروژنی

روش‌های تهیه خازن‌های هیدروژنی متنوع می‌باشند. یکی از رایج‌ترین آنها، بدست آوردن آن از طریق الکترولیزه کردن آب است. در این روش، الکترولایز غشاء تبادل پروتون[3] با بهره‌گیری از انرژی مازاد سیستم‌های تجدیدپذیر، آب را به اجزای بنیادین آن، هیدروژن و اکسیژن تقسیم می‌کند و آنگاه هیدروژن بدست آمده در مخازن بزرگ ذخیره می‌گردد. مزیت این روش آن است که مقدار اندکی از هیدروژن بدست آمده قادر به ذخیره حجم بالایی از انرژی می‌باشد. همچنین این شیوه ذخیره‌سازی از طول عمر بالایی برخوردار است. در عین حال معایب این روش نیز عبارتند از توسعه نیافتگی این فناوری، نیاز آن به بهینه‌سازی بسیار، و طراحی ژنراتورهایی که قادر به تولید هیدروژن متناسب با میزان تقاضای انرژی باشند.

۵-۲-۲- تانکرهای بتونی

در این روش نوین، مخازن بتونی کروی که مجهز به توربین‌های پمپاژی هستند، در کف دریا قرار می‌گیرند. به منظور ذخیره انرژی، این سیستم با به کارگیری برق تولید شده مازاد آب را به خارج از دریا پمپاژ می-نماید. در حالت تخلیه نیز پمپ‌ها به صورت معکوس عمل کرده و از طریق دوباره پرکردن تانکرهای بتونی از آب، الکتریسته تولید می‌کنند. نمونه‌های اولیه این فناوری در آلمان تحت آزمایش و ارزیابی قرار دارد [۲۵].

۳- نتیجه گیری

اهمیت روزافزون انرژی‌های تجدیدپذیر، ضرورت توسعه و پیشبرد فناوری‌های مربوط به آنها را دوچندان کرده است. آب به سبب ویژگی-های شیمیایی خاص خود، فراوانی در نواحی جغرافیایی مختلف، ارزان بودن و قابلیت تجمع‌پذیری در حجم بالا خازن مناسبی برای ذخیره و استخراج انرژی محسوب می‌شود. استفاده از منابع آبی برای ذخیره انرژی در قالب شیوه‌هایی همچون سدهای تلمبه‌ای و مخازن یخی قدمت بالایی دارند، در صورتی که عمده دیگر روش‌های بهره برداری از ذخایر انرژی همچون هیدروژن و آبخوان‌های حرارتی از دهه هفتاد به این سو، به ویژه در یکی دو دهه اخیر، با تشدید شدن بحران انرژی گسترش یافته‌اند. به کارگیری عملی و اجرایی روش‌هایی همچون باتری‌های آب شور و مخازن بتونی نیز مربوط به چند سال اخیر است. تنوع روش‌های استفاده از آب برای ذخیره انرژی‌های تجدیدپذیر حاکی از پتانسیل فراوان آن در این حیطه می‌باشد. از این رو تمرکز بیشتر بر توسعه روش-های ذخیره مبتنی بر منابع آبی به ویژه در کشورهای در حال توسعه (از جمله ایران که از منابع طبیعی مختلف و تنوع اقلیمی برخوردار است) دارای اهمیت فراوانی است.

۴- مراجع

[1] T. Ma, H. Yang, L. Lu, J. Peng, Optimal design of an autonomous solar–wind-pumped storage power supply system, *Applied Energy*, Vol. 160, pp. 728-736, 2015.
[2] E. Pujades, P. Orban, A. Jurado, C. Ayora, S. Brouyère, A. Dassargues, Water chemical evolution in Underground

۱ATES
۲CTES

۳Proton Exchanger Membrane

Pumped Storage Hydropower plants and induced consequences, *Energy Procedia*, Vol. 125, pp. 504-510, 2017.

[۳] م. خداپرست مشهدی، و ا. قزلباش، ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه برق آبی (تلمبه‌ای ـ ذخیره‌ای) در سدهای مخزنی کشور مطالعه موردی: سد و نیروگاه پیر تقی، *فصل نامه علمی-پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، دوره پنجم، شماره هفدهم، بهار ۹۵.

[۴] ش. کاظمی فرد، و ل. ناجی، و ف. افشار طارمی، مروری بر نقش منابع انرژی تجدیدپذیر در توسعه پایدار، *دو فصلنامه انرژی‌های تجدیدپذیر و نو*، دوره چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۶.

[5] D. Hales, *Renewables 2018 Global Status Report*, Renewable Energy Policy Network, Paris: REN21 Secretariat, pp. 1-325, 2018.

[6] LD. Roper, *Future world energy*, Accessed 28 August 2019; http://www.roperld.com/science/energyfuture. htm, 2012.

[۷] ا. سرلکی، و س. حسن بیگی، پتانسیل‌های تولید و موانع فنی توسعه و بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، *دو فصلنامه انرژی‌های تجدیدپذیر و نو*، دوره ششم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۸.

[8] S.A. Ilupeju, *Design, modelling and optimisation of an isolated small hydropower plant using pumped storage hydropower and control techniques*. PhD Thesis, University of KwaZulu-Natal, Durban, 2015.

[۹] ح. پور خیرالله، *تحلیل نیروگاه‌های تلمب ای-ذخیره ای و نقش آن در پایداری سیستم‌های قدرت*، دانشکده مهندسی دانشگاه زنجان، پایان‌نامه کارشناسی، ۱۳۹۴.

[10] *Historical Timeline-History of Alternative Energy and Fossil Fuels,* Accessed July 24 2019; http://alternativeenergy.procon.org/view.timeline.php?timeline ID=000015, 2013.

[11] M. L. Parry, O.F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. Van Der Linden, C. E. Hanson, *climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*: *Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Vol. 4, pp.1-13, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007.

[12] S. Kharel, B. Shabani, Hydrogen as a long-term large-scale energy storage solution to support renewables Energies, *Energies*, Vol. 11, No.10, pp. 1-17, 2018.

[13] F. I. Petrescu, R. V. Petrescu, *Hydropower and Pumped-Storage*, Accessed July 24 2019; http://www.altenergymag.com/article/2015/11/hydropower-and-pumped-storage/22104/, 2015.

[14] *Pumped Hydro Storage*, Accessed July 24 2019; http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/pumped-hydro-storage.html, 2016.

[15] A. Habib, L. Ling, B. Abbas, Demand and Application of Energy Storage Technology in Renewable Energy Power System, *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, Vol. 36, No. 1, pp. 25-36, 2017.

[16] B. Decourt, R. Debarre, *Electricity storage Factbook*, first Edition, pp. 22-29, Paris: Schlumberger Business Consulting Energy Institute, 2013.

[17] *Salt Water Battery*, Accessed 24 July 2019; https://en.wikipedia.org/wiki/Salt_water_battery.

[18] S. Park, B. SenthilKumar, K. Kim, S. M. Hwang, Y. Kim, Saltwater as the energy source for low-cost, safe rechargeable batteries, *Journal of Materials Chemistry A*, Vol. 4, No. 19, pp. 7207-7213, 2016.

[19] *Aib Saltwater battery- Aqueous Ion Exchange Battery*, Accessed 24 July 2019; https://www.bluesky-energy.eu/en/.

[20] *Saltwater batteries on the threshold of ecologically safe energy storage*, Accessed 24 July 2019; http://enerparc.in/blog/, 2018.

[21] A. A. Adeyanju, Thermal Energy Storage Techniques, *Sci-Afric Journal of Scientific Issues, Research and Essays*, Vol. 3, No. 5, pp. 726-736, 2015.

[۲۲] م. علی حیدری، آیس استوریج فناوری نوین ذخیره‌سازی انرژی، *فصلنامه پارک فناوری پردیس*، سال هفتم، شماره بیست و چهارم، زمستان ۸۸.

[23] P. Yang, X. Hu, G. Liao, Dynamic Characteristics of the Steam Accumulator Charging and Discharging, *inMATEC Web of Conferences (GCMM 2016)*, Les Ulis: EDP Sciences, pp. 1-8, 2017.

[24] A. Saljnikov, D. Goričanec, Đ. Kozić, J. Krope, R. Stipić, Borehole and Aquifer Thermal Energy Storage and Choice of Thermal Response Test Method, *InProceedings of the 4th WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment*, Elounda, Greece, pp. 11-15, 2006.

[25] *4 new ways to store renewable energy with water*, Accessed 24 July 2019: https://spectrum.ieee.org/energy/renewables/. 2017.