

## رویکرد نیروگاه‌های برق آبی در تولید انرژی و استفاده ترکیبی از آنها با دیگر سیستم‌های تولید انرژی

بابک شاهی نژاد<sup>1\*</sup>، علی کاکاوند<sup>2</sup>

\*1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، آدرس ایمیل: shahinejad.b@lu.ac.ir

2- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه لرستان

### چکیده

انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از منابع اصلی تأمین کننده انرژی در قرن آینده خواهند بود و جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی می‌باشند. در این بین، تلفیق انرژی الکتریسیته تولیدی از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند آب، باد، خورشید و جزر و مد، موجب عبور از روش‌های سنتی و حرکت به سوی تکنولوژی‌های پیشرفته برای تولید انرژی الکتریسیته پاک و ارزان قیمت است. به عنوان مثال، نیروگاه برق آبی را می‌توان با نیروگاه بادی تلفیق کرد که این عمل موجب افزایش ارزش مالی انرژی الکتریسیته تولید شده می‌گردد. این عمل همچنین انعطاف‌پذیری بیشتر در بهره برداری منابع آب را باعث می‌گردد. همچنین نیروگاه برق آبی می‌تواند با سرعت بالا و در زمان کوتاهی به صورت متناوب عمل کند. از سویی دیگر، نیروگاه‌های حرارتی (سوخت زغال سنگ، گاز و سایر سوخت‌های مایع) قبل از این که به راندمان بهینه تولید برسند نیازمند یک زمان تأخیری می‌باشند، (۴ ساعت برای نیروگاه گازی و ۸ ساعت برای نیروگاه بخاری). به طوری که انتشار آلاینده‌های خروجی از نیروگاه به کمترین حد خود برسد. در سیستم‌های تلفیقی، نیروگاه برق آبی وظیفه تولید بار پیک و نیروگاه حرارتی نیز وظیفه تولید بار پایه را بر عهده دارد که این امر موجب افزایش راندمان تولید انرژی در نیروگاه حرارتی و کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها می‌گردد. در این مقاله، به بررسی چگونگی تلفیق سیستم‌های برق آبی با سایر سیستم‌های گسترده‌تر انرژی می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، نیروگاه برق آبی، سیستم‌های تلفیقی، بار پایه، بار پیک.

### ۱- مقدمه

سیستم‌های تولید و انتقال انرژی همه‌ساله برای اتصال به شبکه‌های توزیع برق در جهت تمرکز بر روی استفاده بیشتر از سیستم‌های برق آبی و کاهش تولید انرژی الکتریسیته از سوخت‌های فسیلی، توسعه می‌یابند. ادغام انرژی الکتریسیته تولیدی از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند آب، باد، خورشید و جزر و مد، نمایانگر ایجاد سیستم‌های نوظهور برای تولید انرژی الکتریسیته می‌باشد. تنوع در انرژی الکتریسیته تولیدی توسط منابع انرژی‌های تجدیدپذیر به همراه اعمال تغییرات در بازار فروش برق و سیستم‌های طراحی انرژی، ارتباط برای برقراری تعادل بین ذخیره و تقاضای انرژی، امری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. ادغام کردن نیروگاه‌های برق آبی با دیگر سیستم‌های تولید انرژی الکتریسیته، باید به صورت چشم اندازی از پتانسیل نهفته در این بخش در نظر گرفته شود که نشان دهنده امکان افزایش توان خروجی و هم سو شدن انرژی خروجی از تکنولوژی‌های مختلف است.

### ۲- کمک به کاهش آلاینده‌های تولیدی توسط نیروگاه حرارتی

نیروگاه برق آبی می‌تواند با سرعت بالا و در زمان کوتاهی به صورت متناوب وارد مدار گردد. از سویی دیگر، نیروگاه‌های حرارتی جهت رسیدن به راندمان بهینه تولید و انتشار آلاینده‌های خروجی از نیروگاه به کمترین حد خود، نیازمند یک زمان تأخیری در حدود ۴ ساعت برای نیروگاه گازی و ۸ ساعت برای نیروگاه بخاری می‌باشند. در سیستم‌های تلفیقی، نیروگاه برق آبی می‌تواند

نقش تولید انرژی در هنگام بار پیک و نیروگاه حرارتی نیز وظیفه تولید بار پایه را بر عهده بگیرد که این امر باعث افزایش راندمان تولید انرژی در نیروگاه حرارتی و کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها می‌گردد [1].

### ۳- استفاده از نیروگاه‌های برق آبی محلی و منطقه‌ای

انرژی آبی می‌تواند مشکلات مربوط به شبکه‌های توزیع برق منطقه‌ای و کوچک را برطرف سازد. پروژه‌های آبی می‌توانند علاوه بر ایفای وظیفه اصلی خود به عنوان منبعی برای تولید و توسعه انرژی مبدل شوند. به عنوان نمونه طرح‌های آبی شامل تأمین و انتقال آب با هدف تأمین آب شرب، صنعت و کشاورزی در صورت امکان می‌توانند با تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی، نقش مهمی را در روند تولید انرژی ایفا نمایند.

ساخت نیروگاه برق آبی و استفاده از انرژی ارزان آن در سطح کوچک می‌تواند به عنوان یک عامل انگیزشی در مناطق کوچک و دورافتاده مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال در مناطق روستایی به علت وجود مشکلات اقتصادی و عدم دسترسی به شبکه سراسری توزیع برق، احداث چنین سیستمی علاوه بر رفع مشکلات می‌تواند به لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد. با توجه به میزان دسترسی به منابع آبی و میزان تقاضا برای الکتریسیته، شبکه‌های کوچک و منطقه‌ای برای تولید و توزیع انرژی الکتریسیته با احداث نیروگاه‌های برق آبی کوچک می‌توانند به توسعه منطقه و رفع مشکلات کمک نمایند [2].

نیروگاه‌های برق آبی فرصت مناسبی را برای سرمایه‌گذاری سودآور و توسعه صنایع کوچک فراهم می‌نمایند. این نیروگاه‌ها ممکن است به صورت محلی، منطقه‌ای یا ملی احداث شوند. نیروگاه‌های برق آبی محلی که معمولاً در مناطق پرت و دورافتاده ساخته می‌شوند، ممکن است با مشکلاتی مانند عدم وجود بودجه کافی برای احداث و دوره طولانی مدت بازپرداخت هزینه‌ها مواجه باشند؛ اما با این حال این دسته از نیروگاه‌ها، موجب توسعه صنعت در مناطق پرت و دورافتاده، توسعه گردشگری، آبیاری باغات و اراضی کشاورزی، تهیه آب شرب و ... می‌شوند [3].

### ۴- برقرسانی به مناطق روستایی

امروزه، جمعیت زیادی از مردم سراسر جهان در مناطق روستایی سکونت داشته که به انرژی الکتریسیته دسترسی ندارند و جهت تأمین روشنایی و گرمایش محل سکونت خود از منابعی نظیر هیزم و نفت سفید استفاده می‌کنند که به علت متضاد شدن دود سمی ناشی از سوخت‌های مورد استفاده، سلامتی این افراد همواره در معرض خطر قرار دارد. مشکلات پیش روی روستاییان در استفاده از منابع انرژی از دیرباز شناخته شده‌اند. بدون استفاده از انرژی الکتریسیته، مردم از سیستم‌های الکتریکی مانند لامپ‌های الکتریکی، کولر و خدماتی از قبیل سرگرمی، آموزش، سلامت و ... محروم هستند [4].

دسترسی به سیستم‌های انرژی ارزان و قابل اعتماد به کاهش نرخ بی‌سوادی، گرسنگی، بیماری، کوچ اجباری ساکنین روستاها به مناطق شهری و ... کمک کرده و تأثیر زیادی در رشد اقتصادی منطقه؛ بخصوص در کشورهای در حال توسعه دارند [4]. توسعه شبکه‌های توزیع برق در مناطق پرت و دور افتاده نسبتاً گران قیمت بوده و همواره به عنوان یک چالش برای خدمات‌دهی در حوزه انرژی الکتریسیته مطرح می‌باشد. با این حال منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی بادی، خورشیدی و نیروگاه‌های برق آبی کوچک می‌توانند نقش بسیار مهمی در تأمین انرژی الکتریسیته ایده‌آل برای مناطق روستایی را ایفا کنند [5].

این درک عمومی، بویژه در کشورهای در حال توسعه وجود دارد که نیروگاه‌های برق آبی کوچک می‌توانند نقش بسیار مهمی در توسعه و پیشرفت مناطق دور افتاده، بخصوص مناطق کوهستانی ایفا کنند. این نوع از نیروگاه‌ها می‌توانند برای فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شرب، هم زمان انرژی مکانیکی و الکتریکی پاک و ارزان قیمت فراهم نمایند. در کشور چین، نیروگاه‌های برق آبی کوچک برای تولید برق در مناطق دور افتاده و صعب العبور به شدت مورد توجه قرار گرفته‌اند، به طوری که هم اکنون بالغ بر ۴۵۰۰۰ نیروگاه برق آبی کوچک با ظرفیت تولید الکتریسیته ۵۰۰۰۰ مگاوات و تولید سالانه ۱۵۰ میلیون کیلووات ساعت انرژی در این کشور احداث شده‌اند که معادل یک سوم از کل ظرفیت تولید انرژی آبی در این کشور است. تا سال ۲۰۰۷ میلادی، حدود ۳۰۰ میلیون نفر از مردم چین از مزایای این نیروگاه‌ها بهره‌مند گردیده‌اند [6].

نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک به عنوان یکی از بهترین گزینه‌ها جهت تولید برق در مناطق دورافتاده و روستایی مطرح هستند و منافع اقتصادی فراوانی به همراه دارند. سرمایه اقتصادی مورد نیاز برای احداث این نیروگاه‌ها در مقایسه با نیروگاه‌های برق‌آبی بزرگ کمتر است. به علاوه نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک دارای مزایای دیگری نیز می‌باشند که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ✓ نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک معمولاً به صورت جریان - رودخانه‌ای (ROR<sup>1</sup>) احداث می‌شوند.

- ✓ استفاده از مصالح و تجهیزات محلی جهت تولید انرژی در برخی از این نیروگاه‌ها
- ✓ استفاده به عنوان بخشی از تأسیسات زیربنایی سدها، کانال‌ها، طرح‌های آبیاری و ...
- ✓ کاهش هزینه ساخت خطوط انتقال انرژی با احداث نیروگاه در مجاورت روستا
- ✓ استفاده از پمپ‌ها، توربین‌ها، موتورها و ژنراتورها در یک سیستم توربین - ژنراتور
- ✓ استفاده از منابع قرضه محلی
- ✓ به کارگیری نیروی انسانی بومی

توسعه نیروگاه‌های برق‌آبی در مناطق روستایی دارای ابعاد اجتماعی، اقتصادی و فنی خاص خود می‌باشد. مدیریت منطقه‌ای، مالکیت و تقسیم سهام بین افراد بومی، انتقال تکنولوژی و ظرفیت ساخت، همگی مسائل مهمی هستند که برای موفقیت نیروگاه برق‌آبی کوچک در مناطق دورافتاده و روستایی باید در نظر گرفته شوند [7].

## ۵ - پیک مصرف انرژی

میزان تقاضای مصرف انرژی الکتریسیته به صورت روزانه، هفتگی و ماهانه دارای نوسان می‌باشد. معمولاً بیشترین مقدار تقاضای انرژی الکتریسیته در طول روزهای گرم تابستان و در زمانی رخ می‌دهد که هوا به سمت گرم شدن پیش می‌رود. در مناطق شمالی کره زمین، تقاضای مصرف الکتریسیته در روزهای سرد زمستان و در طول صبح و عصر به اوج خود می‌رسد. نیروگاه‌های حرارتی و هسته‌ای برای تولید انرژی الکتریسیته در بازه‌های زمانی کوتاه مدت که افزایش تقاضا برای بار پیک وجود دارد، مناسب نیستند. تجهیزات موجود در این نیروگاه‌ها و مدت زمان طولانی مورد نیاز برای تولید و بهره برداری از انرژی الکتریسیته، موجب شده است تا این نیروگاه‌ها فقط برای تولید بار پایه مورد استفاده قرار گیرند. از آنجا که ژنراتورهای برق‌آبی می‌توانند به سرعت وارد مدار شده و شروع به کار کرده و به سرعت نیز متوقف شوند، لذا نسبت به سایر نیروگاه‌ها با سرعت بیشتری بار پیک را تولید و عرضه می‌کنند [1].

در نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای، آب در هنگام شب یا زمانی که تقاضا برای مصرف انرژی کم باشد، به داخل یک مخزن که بالاتر از نیروگاه قرار دارد پمپاژ شده و در آنجا ذخیره می‌شود و زمانی که در طول روز تقاضا برای انرژی افزایش می‌یابد، جریان آب به سمت توربین حرکت کرده و منجر به تولید انرژی الکتریسیته می‌گردد. این نیروگاه‌ها در صورت ترکیب با سایر منابع تولید انرژی نظیر نیروگاه‌های حرارتی و بخاری، انعطاف‌پذیری برای افزایش راندمان تولید انرژی الکتریسیته را به همراه خواهد داشت. این روش باعث ایجاد ذخایر انرژی کارآمد و قابل اطمینان شده و می‌تواند موجب کاهش زمان قطعی برق شود که معمولاً به علت وجود ایرادات جزئی یا کلی در اجزای نیروگاه اتفاق می‌افتد. در نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای، مخزن ذخیره آب مانند یک باتری عمل نموده؛ بدین ترتیب که در زمان کاهش تقاضا برای الکتریسیته، انرژی را به صورت پتانسیل جریان آب در خود ذخیره می‌کند و در هنگام نیاز موجب تولید انرژی الکتریسیته می‌شود. مهم‌ترین ویژگی نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای این است که می‌توانند به سرعت شروع به کار کرده و انرژی خروجی را تعدیل نمایند. این نیروگاه‌ها هنگامی که به صورت یک ساعته یا چند ساعته فعالیت کنند، با راندمان بالایی اقدام به تولید انرژی الکتریسیته می‌نمایند [1].

افزایش استفاده از سایر نیروگاه‌های تولید انرژی الکتریسیته در آینده ای نزدیک، به هیچ وجه موجب ناکارآمدی و غیرقابل استفاده شدن نیروگاه‌های برق‌آبی نمی‌شود. بالعکس، باعث افزایش اهمیت این نیروگاه‌ها خواهد گردید. در هنگامی که

<sup>1</sup> - Run of River

نیروگاه‌های حرارتی و هسته‌ای به تولید بار پایه اقدام می‌کنند، نیروگاه‌های برق‌آبی می‌توانند علاوه بر تولید بار پایه، پاسخ‌گوی نوسانات میزان تقاضای بار مصرفی با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی نیز باشند [1].

انرژی آبی می‌تواند به عنوان یک عامل اطمینان بخش به صورت آبی مورد استفاده قرار گرفته و تقاضای بار پیک را پاسخ‌گو باشد. همچنین در زمان کاهش تقاضای مصرف در صورت امکان، می‌توان از نیروگاه بادی استفاده نمود، که این کار موجب می‌شود که آب در مخازن سدها ذخیره شده و در زمان افزایش تقاضای بار پیک، برای تولید انرژی الکتریسیته مورد استفاده قرار گیرد. نیروگاه برق‌آبی این ویژگی را دارد که در جهت سازگاری و انطباق با میزان بار مورد نیاز شبکه توزیع برق، مقدار بار انرژی تولیدی خود را افزایش یا کاهش دهد. بنابراین می‌تواند نقش بسیار مهمی در تأمین انرژی الکتریسیته مطمئن و قابل اتکا ایفا کند. توانایی نیروگاه‌های برق‌آبی در تأمین بار پیک، بار پایه و کنترل فرکانس شبکه توزیع برق، باعث جلوگیری از آسیب رسیدن به فرآیند کلی تولید انرژی و کاهش صدمات وارده به سیستم می‌گردد [1].

## ۶ - ذخیره انرژی در مخازن

نیروگاه برق‌آبی به لحاظ نوع منبع مورد استفاده برای تولید انرژی با سایر منابع تولید انرژی متفاوت است. به طور معمول آب در اکثر مواقع قابل دسترس بوده و این ویژگی منحصر به فرد به نیروگاه برق‌آبی اجازه می‌دهد تا به عنوان یک مخزن ذخیره انرژی الکتریسیته مورد استفاده قرار گیرد.

ذخیره فصلی یا دوره‌ای در مخزن و آبگیرهای روزانه یا فصلی در بسیاری از پروژه‌ها برای توزیع مناسب جریان آب و تأمین تقاضای برق مصرفی به کار گرفته می‌شوند [3].

در طرح‌های برق‌آبی اگر مخزن یا آبگیر وجود داشته باشد و شرایط رودخانه نیز اجازه بدهد، با توجه به توانایی این نیروگاه‌ها در تأمین سریع انرژی الکتریسیته، می‌توان بار پیک مورد تقاضای شبکه را تأمین نمود. مخازن در نیروگاه‌های برق‌آبی، انرژی جنبشی آب را به شکل انرژی پتانسیل ذخیره می‌کنند و این موضوع، مهم‌ترین کاربرد مخزن در نیروگاه‌های برق‌آبی است. به عنوان مثال می‌توان گفت که پتانسیل انرژی آبی در منطقه اسکاندیناوی در شمال اروپا با توجه به مخازن موجود می‌تواند نیروگاه‌های موجود در کشورهای دانمارک و آلمان را از نظر تولید انرژی حمایت کرده و همچنین بار پیک را به سایر مناطق اروپا انتقال دهد [8].

لازم به ذکر است که زمانی که مخازن، آب را به عنوان یک منبع تولید انرژی قبل از تولید الکتریسیته ذخیره می‌کنند، نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای انرژی الکتریسیته تولید شده را به نوعی ذخیره می‌کنند. هم‌اکنون انرژی الکتریسیته تولیدی به شکل مستقیم قابل ذخیره شدن نیست، مگر توسط مخازن. از این رو باید این انرژی را به شکل‌های دیگری ذخیره نمود؛ مانند حالت شیمیایی (یک باتری الکتریکی یا یک رشته باتری بزرگ)، انرژی پتانسیل (نیروگاه پمپ - ذخیره‌ای) و یا به صورت انرژی مکانیکی (هوای متراکم شده، CAES) و استفاده از چرخ دوار. تکنولوژی ذخیره انرژی به صورت هوای متراکم شده می‌تواند مقدار قابل توجهی انرژی الکتریسیته را ذخیره نماید. نیروگاه‌های برق‌آبی پمپ - ذخیره‌ای نیز برای متعادل سازی بار شبکه توزیع برق با سایر نیروگاه‌های برق‌آبی به کار می‌روند [9].

توجه به این نکته ضروری است که گرچه در نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای، فرآیند پمپاژ آب موجب می‌شود که نیروگاه به عنوان مصرف‌کننده انرژی مطرح باشد؛ ولی با فروش انرژی الکتریسیته در زمان‌های پیک مصرف به بهای بیشتر که در این زمان به بیشترین حد خود می‌رسد، درآمد بیشتری حاصل خواهد گردید.

نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای به عنوان یکی از بزرگترین منابع ذخیره انرژی الکتریسیته قابل دسترس می‌باشند. اجزای اصلی تشکیل دهنده این نیروگاه‌ها، شامل دو مخزن؛ یکی در بالادست ساختمان نیروگاه و دیگری در پایین آن، گرداننده آب، پمپ، توربین، ژنراتور و شبکه انتقال برق با ولتاژ بالا می‌باشند. راندمان کلی این نیروگاه‌ها از مجموع راندمان‌های هیدرولیکی، مکانیکی و الکتریکی بدست آمده و معمولاً راندمان کلی این نیروگاه‌ها بین ۶۵ تا ۸۰ درصد می‌باشد [9].

نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای اغلب در کنار سیستم‌های تولید انرژی الکتریسیته، مانند نیروگاه‌های هسته‌ای و حرارتی و یا به عنوان مکمل نیروگاه‌های برق‌آبی بزرگ برای تولید بار پایه به کار می‌روند. همچنین نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای با ضمانت

تولید الکتریسیته در ساعات اولیه صبح، با توجه به میزان تقاضای کم بار مصرفی، مکمل مناسبی برای نیروگاه‌های برق آبی هستند. تلفیق ایده‌آل این نیروگاه‌ها و نیروگاه‌های رایج نشان داده است که نیروگاه پمپ - ذخیره‌ای می‌تواند به میزان ۶ تا ۸ درصد از مجموع ظرفیت کلی تولید انرژی را پاسخ‌گو باشد [1].

متداول‌ترین نوع نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای، نیروگاه‌های جریان - فرعی هستند. این نوع از نیروگاه‌ها شامل یک مخزن پایین‌تر از نیروگاه، یک منبع آب (معمولاً رودخانه) و یک مخزن بالاتر از نیروگاه می‌باشند. احداث این نیروگاه‌ها در مکان‌هایی با ارتفاع کم امکان‌پذیر است [1].

نیروگاه‌های پمپ - ذخیره‌ای علاوه بر مدیریت انرژی، به کنترل نوسانات شبکه توزیع برق نیز کمک می‌کند. این نیروگاه‌ها مانند سایر نیروگاه‌های برق آبی می‌توانند در مدت زمان خیلی کوتاهی به نوسانات میزان تقاضای بار مصرفی واکنش نشان دهند. این در حالی است که نیروگاه‌های حرارتی کمتر قادرند که به تغییرات ناگهانی در میزان تقاضای برق مصرفی پاسخ دهند. ذخیره الکتریسیته تولیدی، این امکان را فراهم می‌کند که انرژی الکتریسیته مازاد به صورت موقت ذخیره شده و سپس از طریق شبکه انتقال به محلی که به آن نیاز دارد، ارسال گردد. این عمل سبب ایجاد توازن بیشتر بین میزان ذخیره و میزان تقاضای انرژی الکتریسیته در طول شبانه روز خواهد شد [1].

## ۷- ذخیره انرژی

همه ساله بازار عرضه و تقاضای انرژی و به تبع آن توسعه و پیشرفت سیستم‌های انتقال برای اتصال به ایستگاه‌های متمرکز، تولید انرژی تضمین شده از سوخت‌های فسیلی، انرژی هسته‌ای و انرژی آبی در حال انجام می‌باشد. در این بین قابلیت تلفیق انرژی آبی با سایر نیروگاه‌های تولید انرژی آن را متمایز می‌نماید.

توسعه انرژی آبی در سراسر جهان با توجه به هزینه کمتر آن و شرایط منحصر به فرد آن در ذخیره انرژی همراه با راندمان تولید انرژی الکتریسیته تا راندمان حتی ۹۵ درصد، انجام می‌گیرد. مهم‌ترین ویژگی یک نیروگاه برق آبی، توانایی این نیروگاه در ذخیره انرژی تولیدی است که می‌توان این انرژی را از طریق سیستم‌های توزیع برق به مناطق مختلف ارسال نمود [5].

از نیروگاه‌های برق آبی معمولاً تحت عنوان کنترل اتوماتیک تولید (AGC)<sup>۱</sup> نیز نام برده می‌شود. در مقابل نیروگاه‌هایی که برای تبدیل انرژی از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند، (مانند نیروگاه‌های حرارتی)، در زمان مواجه شدن با تغییر در میزان تقاضای برق مصرفی، نمی‌توانند به سرعت واکنش نشان دهند؛ زیرا در این صورت ممکن است به تجهیزات نیروگاه آسیب وارد شود [10].

بهینه‌سازی نیروگاه‌های برق آبی معمولاً براساس اندازه، تعداد واحدهای تولید و توان موجود انجام می‌شود. هزینه‌های نهایی تولید انرژی الکتریسیته در این نیروگاه‌ها در زمانی که اندازه واحدهای تولید انرژی بزرگتر باشد، افزایش می‌یابد. این موضوع یکی از مزایای نیروگاه‌های برق آبی محسوب می‌شود، زیرا واحدهای بزرگ تولید انرژی الکتریسیته موجب استحکام و تقویت شبکه توزیع برق می‌شوند. نیروگاه‌های برق آبی با توان تولید بیش از ۵۰ مگاوات (حداقل انرژی لازم جهت شروع فرآیند تولید الکتریسیته) مناسب هستند. حداقل انرژی برای شروع تولید الکتریسیته در هر نیروگاهی از ملزومات و ضروریات طرح می‌باشد. ویژگی ذخیره سازی انرژی در نیروگاه‌های برق آبی برای توسعه انرژی نیز از نکات ضروری است [11].

فاکتور ظرفیت خالص نیروگاه عبارتست از نسبت انرژی واقعی خروجی از نیروگاه در یک دوره زمانی خاص، به انرژی خروجی از آن در زمانی که نیروگاه با حداکثر توان و به صورت تمام وقت اقدام به تولید انرژی الکتریسیته می‌نماید. تولید الکتریسیته در نیروگاه‌های برق آبی ممکن است جهت اعمال شرایط مناسبی برای فراهم نمودن محیط آبی مناسب برای زندگی ماهی‌ها در پایین‌دست و یا کشتیرانی در بالادست با نگر داشتن تراز سطح آب در ارتفاع مشخص همراه گردد. به علت توانایی بالای نیروگاه‌های برق آبی در انتقال انرژی، این نیروگاه‌ها در مدت زمان کوتاهی در حدود چند دقیقه از شرایط توقف به ماکزیمم میزان تولید انرژی می‌رسند [12].

## ۷-۱- اعتمادپذیری و موفقیت تولید انرژی آبی

موضوع تولید مطمئن انرژی آبی، گستره وسیعی از مسائل فنی، تکنولوژی‌ها و سیاست‌های دولت‌ها را در بر گرفته و از حساسیت بالایی برخوردار می‌باشد. امنیت تولید انرژی (امنیت سیستم تولید) شامل طراحی سیستمی است که علی‌رغم وجود مشکلاتی از قبیل مسائل مربوط به سوخت‌های قابل دسترس و قطعی ایجاد شده در سیستم‌های انتقال برق، بتواند به دورترین مصرف‌کننده انرژی، خدمات‌رسانی کند. شبکه‌های توزیع برق متصل به نیروگاه‌های برق آبی، به واسطه ذخیره آب در مخازن می‌توانند این امر را تحقق بخشند [13].

ماهیت واقعی انرژی تولیدی به نوع نیروگاه وابسته است. به عنوان مثال تولید انرژی الکتریسیته در نیروگاه‌های جریان - رودخانه‌ای تا حد زیادی به جریان غیر قابل کنترل رودخانه بستگی دارد. ولی می‌توان به این موضوع اذعان داشت که انرژی آبی معمولاً قابلیت انتقال به مناطق دورافتاده نسبت به محل نیروگاه را داشته و در عین حال، اعتمادپذیری آن نسبت به سایر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر بیشتر است.

## ۷-۲- خدمات جانبی نیروگاه‌های برق آبی

نیروگاه‌های برق آبی علاوه بر تولید انرژی الکتریسیته دارای کاربردها و مزایای دیگری نیز هستند که عبارتند از: کنترل ولتاژ شبکه توزیع برق، ذخیره کردن انرژی، توانایی شروع به تولید انرژی در مدت زمان کوتاه و کنترل نوسانات شبکه توزیع برق. همچنین ژنراتورهای موجود در نیروگاه‌های برق آبی در مقایسه با ژنراتورهای موجود در سایر نیروگاه‌ها، از مزایایی برخوردار هستند که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

\* عکس‌العمل سریع به نوسانات تقاضای برق مصرفی

\* راندمان تولید بالا

\* قابلیت کنترل بهتر

\* هزینه‌های اندک تعمیر و نگهداری

\* هزینه‌های کم راه‌اندازی مجدد [13].

## ۸- همکاری منطقه‌ای برای تولید انرژی آبی

جریان آب رودخانه‌ها ممکن است از مرزهای سیاسی بین کشورهای مختلف عبور کند. در حال حاضر ۲۶۳ رودخانه مرزی در سراسر جهان وجود دارد و ۳۳ کشور نیز بیش از ۹۵٪ مرز مشترک با رودخانه‌های بین‌المللی دارند. در حالی که اغلب رودخانه‌های مرزی بین دو کشور مشترک هستند، ممکن است تعداد کشورهای مشترک در بعضی رودخانه‌ها بیشتر باشد. به عنوان مثال هم‌اکنون ۱۳ رودخانه در مناطق مختلف جهان وجود دارد که بین ۵ الی ۸ کشور مشترک هستند. همچنین ۵ رودخانه به نام‌های کنگو<sup>۱</sup>، نیجر<sup>۲</sup>، نیل<sup>۳</sup>، راین<sup>۴</sup> و زامبزی<sup>۵</sup> بین ۹ الی ۱۱ کشور در قاره آفریقا مشترک هستند. رودخانه دانوب یک رودخانه بین‌المللی است که از ۱۸ کشور اروپایی عبور می‌کند و از این حیث بزرگترین حوزه آبریز جهان را تشکیل می‌دهد [14].

مدیریت رودخانه‌ها و حوضه‌های آبریز بین‌المللی، بسیار مشکل و حساس است. ماهیت حیاتی بودن آب‌های شیرین یک عامل مهم برای همکاری‌های بین‌المللی در این زمینه است. مسئله کاهش منابع آب شیرین باعث بروز نگرانی جهانی شده است. همکاری بین‌المللی در زمینه منابع آب مستلزم این است که مزایای مشترک استفاده از رودخانه‌ها و آبراهه‌ها به بیشترین میزان خود برسد. استفاده بهینه از منابع آب موجود نقش بسیار مهمی در توسعه اقتصادی مناطق مختلف جهان ایفا می‌کند [15].

1 - Congo  
2 - Niger  
3 - Nile  
4 - Rhine  
5 - Zambezi

تاکنون ۱۴۵ معاهده همکاری در زمینه منابع آب شیرین و رودخانه‌های بین‌المللی بین کشورهای مختلف جهان به امضا رسیده است که از این تعداد ۱۲۴ معاهده دوجانبه، ۲۱ معاهده چندجانبه و ۲ معاهده هم بدون امضا هستند. همچنین ۵۷ معاهده در مورد تولید انرژی برق‌آبی، ۵۳ معاهده در مورد چگونگی استفاده از منابع آب مشترک، ۹ معاهده در مورد استفاده از منابع آب در صنعت، ۶ معاهده در مورد کشتیرانی، ۶ معاهده در مورد آلودگی رودخانه‌ها و ۱۳ معاهده نیز در مورد راه‌های کنترل سیلاب هستند.

در حال حاضر فرصت‌های زیادی برای همکاری در زمینه مدیریت منابع آب در رودخانه‌های مرزی و بین‌المللی وجود دارد که می‌توان از این فرصت‌ها برای ساخت و سازهای دو طرفه، رشد اقتصادی باثبات و همچنین برقراری صلح و امنیت در سراسر جهان استفاده نمود. [15].

نیروگاه برق‌آبی ایتاپو<sup>۱</sup> بر روی رودخانه پاناما در دو کشور برزیل و پاراگوئه، نیروگاه برق‌آبی ویکتوریا در اوگاندا، تانزانیا و کنیا و نیروگاه برق‌آبی ارس بین کشورهای ایران، ترکیه، ارمنستان و جمهوری آذربایجان نمونه‌هایی از همکاری‌های برجسته و مشترک بین برخی از کشورهای جهان در زمینه مدیریت منابع آب هستند [15].

## ۹ - توسعه سایر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر

انرژی آبی در ارائه خدمات خود (تولید انرژی الکتریسیته، کنترل ولتاژ شبکه توزیع برق و ...) دارای انعطاف‌پذیری و قابلیت اطمینان زیادی است و فرصت مناسبی را برای توسعه و پیشرفت سایر منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و انرژی بادی فراهم می‌آورد.

نیروگاه‌های برق‌آبی و مخازن آنها، یک منبع جامع تولید انرژی و یک تنظیم‌کننده برای سایر نیروگاه‌ها هستند و می‌توان به صورت زیر آنها را توصیف نمود:

- ✓ نیروگاه‌های برق‌آبی دارای مخزن، در زمانی که توربین‌های بادی، صفحات خورشیدی و یا نیروگاه‌های جریان - رودخانه‌ای قادر به تولید انرژی مورد نیاز شبکه توزیع برق هستند، قادرند میزان تولید خود را کاهش داده یا متوقف سازند.
- ✓ نیروگاه‌های برق‌آبی می‌توانند در زمانی که انرژی تولیدی متناوب توسط سایر منابع انرژی تجدیدپذیر یا نیروگاه‌های جریان - رودخانه‌ای در دسترس نیست، اقدام به تولید انرژی الکتریسیته نمایند. همچنین نیروگاه‌های برق‌آبی می‌توانند به صورت ساعتی، روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه فعالیت کنند.
- ✓ نیروگاه‌های برق‌آبی می‌توانند برخی از خدمات جانبی مورد نیاز سایر نیروگاه‌ها را فراهم آورند.
- ✓ نیروگاه‌های برق‌آبی دارای مخزن، می‌توانند یک منبع انرژی قابل اتکا برای سایر منابع انرژی تجدیدپذیر باشند.
- ✓ نیروگاه‌های برق‌آبی پمپ - ذخیره‌ای، با تولید انرژی در زمان‌های مورد نیاز، موجب حمایت از سایر نیروگاه‌ها می‌شوند.
- ✓ نیروگاه‌های برق‌آبی مخزنی می‌توانند مکمل مناسبی برای نیروگاه‌های حرارتی در زمین تولید بار پایه باشند.
- ✓ نیروگاه‌های برق‌آبی تولیدکننده بار پیک، می‌توانند پشتوانه بسیار مناسبی برای تولید انرژی در نیروگاه‌های جریان - رودخانه‌ای باشند [5].

## ۱۰ - جمع‌بندی

انرژی آبی دارای بالاترین راندمان تبدیل به سایر انواع انرژی‌ها و همچنین بیشترین نرخ بازگشت سرمایه اولیه می‌باشد. انرژی برق‌آبی معمولاً دارای هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه زیادی است؛ اما در عوض دارای هزینه عملکرد کم و چرخه حیات طولانی مدت (بین ۵۰ تا ۱۰۰ سال) می‌باشد.

ذخیره نمودن انرژی آبی برای حمایت و تنظیم منابع مختلف انرژی مثل باد، خورشید و موج بسیار مناسب است و به تحکیم بیشتر این منابع در شبکه توزیع برق کمک می‌نماید. همچنین انعطاف‌پذیری، عملکرد سریع و زمان پاسخ گویی فوری، به

نیروگاه‌های هسته‌ای و حرارتی نیز کمک می‌کند تا با حالت بهینه اقدام به تولید انرژی الکتریسیته نمایند و در نهایت مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار آلاینده‌ها در اتمسفر کاهش یابد.

ادغام کردن نیروگاه‌های برق‌آبی با سیستم‌های دیگر توزیع و انتقال الکتریسیته، باید در چشم‌انداز پتانسیل برق‌آبی در نظر گرفته شود که نمایانگر افزایش توان خروجی و یکنواخت شدن انرژی خروجی از تکنولوژی‌های مختلف است. به عنوان مثال، نیروگاه برق‌آبی را می‌توان با نیروگاه بادی ادغام کرد که این عمل موجب افزایش ارزش مالی انرژی تولید شده می‌گردد. به همین ترتیب، انرژی بادی می‌تواند با انعطاف‌پذیری بیشتر، در مدیریت منابع آب، موجب تولید انرژی آبی شود.

همچنین نیروگاه برق‌آبی می‌تواند با سرعت بالا و در زمان کوتاهی به نوسانات میزان تقاضای برق پاسخ دهد. از سویی دیگر، نیروگاه‌های حرارتی (با سوخت زغال سنگ، گاز و سایر سوخت‌های مایع) قبل از این که به راندمان بهینه تولید برسند و در زمانی که انتشار آلاینده‌های خروجی از نیروگاه به کمترین حد خود برسد، به زمان نسبتاً زیادی برای پاسخ‌گویی به نوسانات تقاضای برق نیازمندند، (۴ ساعت برای نیروگاه گازی و ۸ ساعت برای نیروگاه بخاری). در سیستم‌های تلفیقی، نیروگاه برق‌آبی وظیفه تولید بار پیک و نیروگاه حرارتی نیز وظیفه تولید بار پایه را بر عهده دارد که این امر موجب افزایش راندمان تولید انرژی در نیروگاه حرارتی و کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها می‌گردد. علاوه بر این، در زمانی که نیروگاه‌های حرارتی و هسته‌ای بار پایه تولید می‌کنند، نیروگاه‌های برق‌آبی علاوه بر تولید بار پایه، می‌توانند با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی، به نوسانات میزان تقاضای بار مصرفی شبکه توزیع برق پاسخ دهند.

با ادغام کردن سیستم‌های برق‌آبی با سایر سیستم‌های تولید انرژی الکتریسیته، علاوه بر دستیابی به انرژی پاک و ارزان‌قیمت، می‌توان زمان‌های قطعی برق بخصوص در فصول گرم سال را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

#### منابع

- 1 - Gagnon, L., 2009: A fair comparison of hydro potential with other renewables. (submitted for publication in Dec 2009 with IHA).
- 2 - Freitas, M. A. V. and J. L. Soito, 2009: Vulnerability to climate change and water management: hydropower generation in Brazil. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 124, 217- 4
- 3-EPRI, 2007: Assessment of Waterpower Potential and Development Needs. Electrical Power Research Institute, Palo Alto, CA., pp. 228.
- 4 - IEA, 2006: World Energy Outlook 2006, Maps Out a Cleaner, Cleverer and More Competitive Energy Future. International Energy Agency, pp.
- 5 - DOE Hydropower Program Biennial Report, 2006: Energy Efficiency and renewable energy: Wind and Hydropower Technology. FY 2005-2006, pp.
- 6 - Zhu, H., J. Chen and X. Cheng, 2008: China's Hydro Construction Activity: The role of Multi- Purpose Projects. Hydro Review, 16(1).
- 7 - Ecologic, 2008: The use of environmental and social criteria in export credit agencies' practices". GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH, the German Development Agency) commissioned the Institute for International and European Environment Policy (Ecologic) to assess to what degree the WCD's recommendations have been incorporated in the environmental guidelines and assessment practices of ECA'spp.
- 8 - Jensen, T., 2009: Building Small hydro in Norway. 16(4), 20-27.
- 9 - Thwaites, T., 2007: A bank for the wind. The New Scientist, 193(2586), 39-41.
- 10 - Altinbilek, D., 2007: Hydropower's Contribution to Energy Security. World Energy Congress, (Eds), Nov 11-15, Rome.
- 11 - Schneeberger, M. and H. Schmid, 2004: StrafloMatrix™, 2004- Further refinement to the HYDROMATRIX® technology. Proceedings of Hydro, (Eds), October, 2004, Porto.
- 12 - IEA, 2000a: Effectiveness of Mitigation Measures. Hydropower and the Environment Annexe III - subtask 6. International Energy Agency, pp.
- 13 - Votruba, L., Z. Kos, K. Nachazel, A. Patera and V. Zeman, 1988: Analysis of Water Resources System.
- 14 - IEA, 2008: World Energy Outlook 2008. International Energy Agency, France, pp.
- 15 - World-Bank, 2003: World Bank Water Resources Sector Strategy. World Bank, pp.





## APPROACH OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS IN ENERGY PRODUCTION AND USING COMBINED WITH OTHER ENERGY PRODUCTION SYSTEMS

Babak Shahi Nejad<sup>1\*</sup>, Ali Kakavand<sup>2</sup>

1 Assistant professor of Water Department, Lorestan University, Lorestan, Iran,  
Email: shahinejad.b@lu.ac.ir.

2 Master student of Water Department, Lorestan University, Lorestan, Iran,  
Email: kakavandali1989@gmail.com.

### Abstract

Renewable energy sources will one of the important energy source in the next century and they are suitable substitute for fossil fuels. The incorporation of electricity generated from renewable energy sources such as water, wind, sun and tidal waves represents a degree of departure from the traditional pattern and move towards advanced technology for clean and affordable electricity generation. For example, hydro power plant can be incorporated with wind power that increase the financial value of the electricity generated. Likewise, wind energy can provide hydropower operators with additional flexibility in managing their water resources. Also hydro power plant is extremely quick and within a short period to intermittent. Thermal power plant (coal, gas or liquid fuel) on the other hand require considerable lead times (4 hours for gas plants and over 8 hours for steam plants) before they attain the optimum thermal efficiency state when the emission per unit output is minimum. In integrated systems, the hydro power plant is use as the peaking plant; the thermal units are used as base loads thus enduring maximum thermal efficiency and lower emissions per output. In this paper, we evaluated the integration hydropower systems into broader energy systems.

**Key words:** renewable energy, hydro power plant, integration system, base load, peaking load.

### Address of corresponding author:

Babak Shahi nejad, Assistant Professor of Water Department, Lorestan University, Lorestan, Iran, E-mail: shahinejad.b@lu.ac.ir.