

بررسی نیروگاه‌های برقابی کوچک در ایران و برخی از کشورهای جهان

نوید حاجی غفوری بوکانی
کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
دانشگاه علم و صنعت ایران
n.hajighafoori@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۲۰

چکیده

باتوجه به محدودیت منابع فسیلی و آثار مخرب زیست محیطی حاصل از مصرف آنها و نیز با توجه به افزایش جمعیت در کره زمین و نیاز روزافزون بشر به انرژی، تمایل به استفاده از انرژی‌های پاک در تولید برق افزایش چشمگیری یافته است. در آینده‌ای نه‌چندان دور، برق حاصل از انرژی‌های نو سهم بیشتری از انرژی الکتریکی مورد نیاز بشر را به خود اختصاص خواهد داد. عدم آلاینده‌ی محیط زیست، ایجاد فرصت‌های شغلی و امکان رشد و توسعه مناطق محروم و دورافتاده، کاهش تلفات توزیع و کاهش آثار مخرب اکولوژیکی ناشی از احداث سدهای بزرگ از جمله مزایای اجرای طرح‌های استفاده از انرژی‌های پاک در تولید برق است. از میان منابع انرژی تجدیدشونده، استفاده از انرژی منابع آبی جهت راه‌اندازی نیروگاه‌های برقابی کوچک، به سبب مزایای فراوانی که نسبت به سایر نیروگاه‌ها دارد، دارای اهمیت فراوانی است. در این مقاله پس از معرفی کلی این نیروگاه‌ها، نخست اجزای تشکیل‌دهنده آنها بررسی می‌شود، سپس به مزایا و محدودیت‌های این دسته از نیروگاه‌ها اشاره می‌شود. در ادامه، نحوه مکان‌یابی، ظرفیت نصب و برآوردی از هزینه‌ی احداث نیروگاه‌های کوچک تحلیل می‌شود و در نهایت به بررسی آنها در ایران و جهان با ارائه آمار و ارقام پرداخته می‌شود.

واژگان کلیدی: نیروگاه‌های برقابی کوچک، انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی برقابی، آثار زیست محیطی، مکان‌یابی

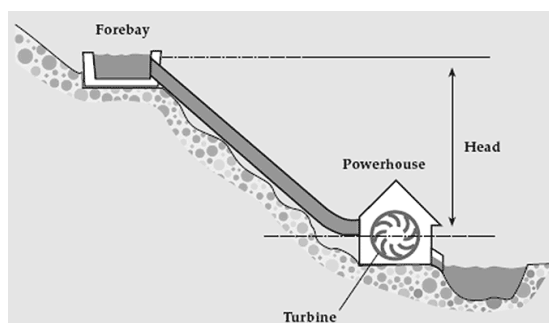
۱. مقدمه

برای تولید برق است. در نیروگاه‌های برقابی از انرژی پتانسیل آب به روش‌های مختلف در تولید برق استفاده می‌شود. در شکل ۱ نمایی کلی یک نیروگاه آبی نمایش داده شده است. نخستین نیروگاه آبی به‌منظور تولید برق، در سال ۱۸۸۳ م، بر روی رودخانه فوکس^۱ بخش آپلتن^۲ در ایالت ویسکانسین^۳ ایالات متحده آمریکا با دو واحد به

در جهان امروز، تولید انرژی الکتریکی به صورت کلی توسط نیروگاه‌های حرارتی، بادی و آبی صورت می‌پذیرد. در نیروگاه‌های حرارتی با سوخت‌های گوناگون از قبیل سوخت فسیلی و سوخت اتمی نیروی مورد نیاز تأمین و به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. استفاده از انرژی باد نیز توسط نیروگاه‌های بادی در مناطق مناسب جغرافیایی روشی دیگر



قدرت ۲۵ کیلووات احداث شد. اصولاً نیروگاه‌های برق آبی به سه دسته نیروگاه‌های برقابی ذخیره‌ای، جریان‌ی (انحرافی) و نهایتاً ترکیبی تقسیم می‌شوند.



شکل ۱. نمایی شما تیک از یک نیروگاه برقابی

در نوع ذخیره‌ای، احداث سد، ارتفاع، دبی لازم برای کار و راه‌اندازی نیروگاه ضروری است. در نوع جریان‌ی با انحراف آب رودخانه در بالادست یک بازه پرشیب رودخانه به کانال انتقال با شیب ملایم و ادامه آن، سبب ایجاد اختلاف لازم بین کانال و رودخانه می‌شود و این ارتفاع برای راه‌اندازی نیروگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نوع ترکیبی از مخزن به‌عنوان تنظیم‌کننده جریان و از کانال انتقال برای ایجاد ارتفاع استفاده می‌شود. مطابق جدول ۱ نیروگاه‌های برقابی براساس ظرفیت به پنج دسته تقسیم می‌شوند.

جدول ۱. انواع نیروگاه‌های برقابی براساس ظرفیت

ظرفیت	نوع نیروگاه برقابی
بیشتر از ۱۰۰ مگاوات	بزرگ ^۴
۱۰ تا ۱۰۰ مگاوات	متوسط ^۵
۱ تا ۱۰ مگاوات	کوچک ^۶
۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلووات	مینی ^۷
کمتر از ۱۰۰ کیلووات	میکرو ^۸

براساس برآوردهای اولیه، انرژی آبی قابل استحصال در جهان ۲۶۱/۲ گیگاوات است که ۵ تا ۱۰ درصد آن مربوط به نیروگاه‌های برقابی کوچک می‌باشد. بهره‌برداری از

نیروگاه‌های برقابی کوچک، در نقاط مختلف به‌ویژه در مناطق دورافتاده که نمی‌توانند از خطوط انتقال نیرو استفاده کنند، با استقبال فزاینده‌ای روبروست. برای نمونه در چین هزاران واحد کوچک برقابی در حال کار است. حتی در کشورهای پیشرفته اروپائی نیز تعداد معتناهی از واحدهای کوچک برقابی هنوز پس از سال‌ها در حال بهره‌برداری هستند. با توجه به نیاز روزافزون جوامع بشری به انرژی الکتریکی و محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و عوارض منفی زیست محیطی ناشی از آنها و نیز مزایای چشمگیر شیوژ تأمین انرژی الکتریکی از منابع آبی، امروزه این بخش از روش تأمین انرژی الکتریکی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در این میان نیروگاه‌های برقابی کوچک از نوع جریان‌ی از ویژگی‌های خاصی برخوردارند. در ادامه نیروگاه‌های برقابی کوچک معرفی می‌شوند.

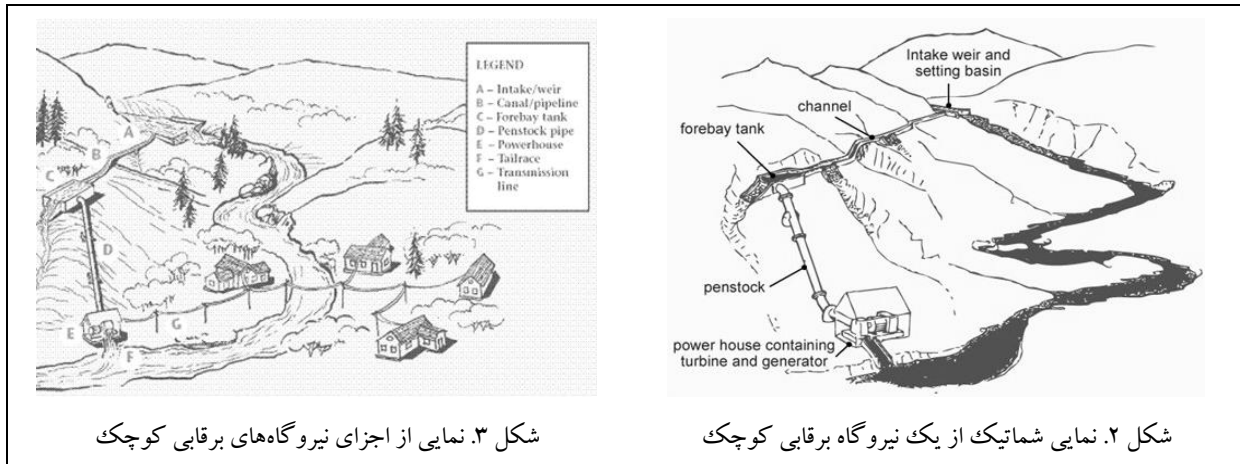
معمولاً در مناطق کوهستانی، که شیب رودخانه‌ها زیاد است و در موقعیت مناسبی از نظر توپوگرافی و زمین‌شناسی قرار دارند، بند انحرافی احداث می‌شود تا آب را از مسیر طبیعی منحرف و وارد سیستم انتقال آب کانال باز یا بسته، تونل یا سیفون کنند. کانال پس از طی مسافتی مشخص در موقعیت مناسبی به حوضچه تنظیم^۹ متصل می‌گردد. در این محل، سیستم تحت فشار که عموماً لوله است، آب را به پره‌های توربین رسانده و بدین ترتیب آب تحت فشار، توربین را به چرخش درمی‌آورد. نتیجه اینکه انرژی آبی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود و از طریق پست به شبکه توزیع هدایت می‌شود. آب خارج‌شده از توربین‌ها به‌وسیله سازه پایاب به رودخانه برگشت داده می‌شود. چنانچه رودخانه دارای موقعیت مناسبی از نظر توپوگرافی باشد، تعدادی از این نیروگاه‌ها می‌توانند پشت سرهم قرار گیرند، به طوری که خروجی پایاب نیروگاه اولی وارد کانال انتقال نیروگاه دومی شده و این سیکل تا نیروگاه آخری ادامه یابد. اصطلاحاً این نوع از نیروگاه‌ها را نیروگاه‌های زنجیره‌ای می‌نامند. در شکل ۲ نمایی شما تیک از یک نیروگاه برقابی کوچک نمایش داده شده است [۱].



۲. اجزای نیروگاه‌های برقابی کوچک

نیروگاه‌های برقابی کوچک معمولاً از نوع جریان‌اند و فقط از آب در هنگام جریان آن استفاده می‌کنند و در آنها هیچ مخزنی برای ذخیره آب وجود ندارد. لذا معمولاً سدهای کوتاه یا بندهای انحرافی با ساده‌ترین شکل ساختمانی برای آنها احداث می‌شوند. در پروژه‌های جریانی، که فاقد مخزن ذخیره آب هستند، ظرفیت ثابت فقط به کمترین شدت جریان آب محدود خواهد شد که این ظرفیت تنها کسر

کوچکی از ظرفیت نصب است. در چنین مواردی ارزش انرژی تولیدی تنها به‌خاطر ارزش جایگزینی انرژی بوده و توسعه آنها به‌خاطر تأمین مصارف محلی دارای توجیه اقتصادی است. این نیروگاه‌ها شامل اجزایی شامل بند یا سد انحرافی، تأسیسات الکتریکی و مکانیکی، سازه‌های انحرافی (آشغال‌گیر، شیرهای ورودی و خروجی آب، خطوط لوله، کانال، توربین)، سازه‌های اتاق کنترل و سیستم انتقال ترانسفورماتورها، سوئیچ‌ها، کابل‌ها) هستند [۲].



شکل ۳. نمایی از اجزای نیروگاه‌های برقابی کوچک

شکل ۲. نمایی شماتیک از یک نیروگاه برقابی کوچک

۲-۱. تجهیزات الکترومکانیکی

طی سال‌های اخیر تلاش‌هایی پیرامون ساخت توربین‌ها و تجهیزات الکترومکانیکی مورد استفاده در نیروگاه‌های آبی کوچک در کشور صورت گرفته است که از آن جمله توربین پلتون کوچکی با قدرت تولید ۱۴۰ اسب بخار توربین آبی جریان محوری می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در مورد ساخت چنین توربین‌های کوچکی تا هشتاد درصد ساخت اجزای آن در داخل کشور ممکن است. در نیروگاه‌های برقابی کوچک برای تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی از ژنراتور آسنکرون یا سنکرون استفاده می‌شود.

۲-۲. انواع تجاری

توربین نیروگاه‌های آبی کوچک را می‌توان از میان هر یک از انواع توربین‌های تجاری انتخاب کرد. در ادامه ۱۰ نمونه

متداول توربین به‌کار رفته در نیروگاه‌های برقابی کوچک معرفی می‌شود.

1. Inclined axis, very low head Kaplan gear turbine
2. Horizontal axis bulb or pit Kaplan turbine
3. Horizontal axis "S" type Kaplan turbine
4. Vertical axis small Kaplan turbine with elbow draft tube
5. Horizontal axis "S" type propeller turbine
6. Horizontal axis pit type propeller turbines
7. Horizontal axis Francis turbine
8. Horizontal axis, double runner Francis turbine
9. Vertical axis "Saxo" axial flow Kaplan turbine
10. Horizontal axis, angled inlet, axial flow Kaplan turbine

۲-۳. مزایای نیروگاه‌های برقابی کوچک

اسفاده از پتانسیل‌های آبی کوچک در کشور، به‌خصوص در مناطق دورافتاده و روستایی می‌تواند منشأ آثار اجتماعی و



اقتصادی بسیاری باشد؛ برخی از این مزایا و آثار تنها شامل حال مناطق دورافتاده می‌شود و برخی دیگر اما اقتصاد کشور را متأثر خواهد کرد. این مزایا عبارت‌اند از پایان‌ناپذیری این منبع انرژی، بازده کلی بسیار بالا، عمر طولانی بهره‌برداری و تعمیرات ساده که در مقایسه با نیروگاه‌های دیزلی در مناطق دورافتاده از مزایای قابل توجهی برخوردار است، بی‌نیازی به سوخت‌های فسیلی، گسترش صنایع روستایی از طریق انتقال برق، عدم پیچیدگی در طراحی و احداث این نوع نیروگاه‌ها، چندمنظوره بودن نیروگاه‌های برق آبی کوچک مثلاً برای هدایت سیلاب‌های فصلی، استفاده از تأسیسات جنبی و یا مخازن ذخیره را می‌توان منبع درآمدی برای منطقه در بخش پرورش ماهی دانست؛ از طرفی استفاده از پتانسیل‌های برقی کوچک در مناطق دورافتاده از انهدام جنگل‌هایی که توسط روستاییان از چوب برای سوخت بهره‌برداری می‌شود، جلوگیری نموده و از به‌هم‌خوردن تعادل اکولوژیکی منطقه ممانعت خواهد نمود.

۲-۴. محدودیت‌های توسعه

۲-۴-۱. عوامل اقتصادی و فنی

هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالای طرح‌های برقی مانعی بر سر راه گسترش آنهاست. این امر به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که مشکلات مالی در آنها بحرانی‌تر است با شدت بیشتری مشاهده می‌شود. از طرفی خروجی نیروگاه‌های کوچک به‌شدت به دبی لحظه‌ای جریان آب بستگی دارد و بنابراین تابعی از سیکل‌های غالب هیدرولوژیکی خواهد بود. این امر در مواردی که یک نیروگاه کوچک آبی منفرد برای پاسخگویی به تقاضای برق در تمام طول سال در نظر گرفته شده باشد، ممکن است مشکل ایجاد کند. اما این مشکلات در مورد نیروگاه‌های آبی کوچک که خود به‌عنوان نیروگاه‌های ذخیره در یک شبکه به‌هم پیوسته کار می‌کنند وجود ندارد. از نیروگاه‌های آبی کوچک هنوز هم گاه‌گاهی به‌عنوان یک شاخه از

نیروگاه‌های آبی بزرگ یاد می‌شود و فعالیت‌هایی نظیر سایت‌یابی و مطالعات امکان‌سنجی براساس تجربه‌های آبی بزرگ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بنابراین کارهای قبل از سرمایه‌گذاری و هزینه آنها ممکن است نسبت به سایر و اهمیت پروژه بیش از اندازه و غیرمعقول باشند. به‌عنوان یک قانون نانوشته، فعالیت‌های قبل از سرمایه‌گذاری نباید هزینه‌ای بیش از ۱۰ الی ۱۵ درصد از کل سرمایه لازم برای پروژه را به‌خود اختصاص دهد. از جمله روش‌های کاهش هزینه نیروگاه‌های کوچک آبی که در سالیان اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است، توسعه ابزارهای طراحی است تا جایی‌که تخمین‌هایی از ویژگی‌های جریان آب در هر سایت بتوان تهیه کرد.

۲-۴-۲. عوامل اجتماعی و اقتصادی

غالباً به مسئله آموزش و انتقال فناوری که کشورهای در حال توسعه را به ایفای نقشی مستقل و مهمتر در توسعه نیروگاه‌های کوچک آبی قادر می‌نماید توجه زیادی می‌شود. اما نتایج همیشه مثبت نیست. به‌عبارت دیگر شکاف فناوری موجود به اضافه هزینه ورود نیروهای متخصص، مواد و تجهیزات خارجی، حتی اگر کمک‌های خارجی نیز وجود داشته باشد، از توسعه گسترده نیروگاه‌های کوچک آبی جلوگیری کرده است. مزایای اجتماعی و اقتصادی برقرسانی و بهره‌برداری از منابع محلی کاملاً روشن است؛ اما نمایش آنها با اعداد و ارقام هنوز در مراحل ابتدایی است و در نتیجه در ارزیابی‌های اقتصادی وارد نمی‌شوند. در نتیجه گاهی پروژه‌هایی که می‌توانند مزایای فراوانی برای جمعیت محلی به ارمغان آورند، با تحلیل‌های مرسوم و متداول کنار گذاشته می‌شوند. حال آنکه بیشترین توجه باید به ویژگی‌های ثانویه و مشخصاتی که کمتر ملموس‌اند معطوف شود؛ زیرا این ویژگی‌ها می‌توانند به شرایط زیستی محل حیاتی دوباره ببخشند.

امروزه متمرکز فعالیت‌های توسعه ملی ممالک در حال توسعه در مناطق مرکزی سبب بروز مشکلاتی در تأمین



اعتبار برنامه‌های برق‌رسانی به مناطق دورافتاده و روستایی شده است و در نتیجه توجه بیشتری به درگیر کردن بخش خصوصی در ترویج طرح‌های آبی کوچک معطوف شده است. این امر نه لزوماً به‌وسیله شرکت‌های تجاری، که به‌کمک جمعیت‌ها و گروه‌های علاقمند و تعاونی‌های محلی نیز امکان‌پذیر است. واگذاری این طرح‌ها به بخش خصوصی یکی از عوامل کاهش هزینه‌هاست.

۲-۴-۳. عوامل زیست محیطی

امروزه در برخی از کشورهای توسعه‌یافته، مقررات زیست محیطی و کنترلی چنان دست‌وپاگیر و پرهزینه شده‌اند که به‌عنوان عامل مهم و بازدارنده‌ای در توسعه نیروگاه‌های کوچک آبی به‌شمار می‌روند. هزینه مربوط به مؤسسات قانونی و تحقیقات زیست محیطی ضروری، برای پروژه‌های کوچک بسیار زیادند [۴].

۲-۵. عوامل مؤثر در تعیین جایگاه مناسب احداث

این عوامل به دو دسته اصلی پارامترهای اقتصادی و پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی قابل تقسیم‌اند. اگر تمامی پارامترهای گروه اول از حداقل شرایط لازم برخوردار باشند، می‌توان به بررسی پارامترهای گروه دوم پرداخت. برای انتخاب جایگاه مناسب باید شناسایی اولیه‌ای براساس نقشه‌های توپوگرافی سازمان جغرافیایی کشور صورت پذیرد؛ نقشه‌هایی که اطلاعات اولیه زیر را شامل می‌شوند:

۱. موقعیت جایگاه شامل نام رودخانه، شهرستان یا بخش و نزدیک‌ترین روستا
۲. تعداد روستاهای مجاور و جایگاه‌های شامل برخورداری انرژی الکتریکی
۳. متوسط دبی برآوردی رودخانه‌ها در محل مورد نظر در ماه‌های مختلف
۴. وضعیت اجمالی زمین‌شناسی جایگاه‌ها با استفاده از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور و راه‌های دسترسی به خطوط انتقال نیرو

پس از انجام مطالعات اولیه از میان جایگاه‌های مختلف، بایسدهی معیارهای زیر برای احداث نیروگاه مناسب در اولویت قرار گیرد:

۱. داشتن دبی و ارتفاع مناسب
 ۲. امکان دسترسی خصوصاً در فصل زمستان
 ۳. امکان احداث کانال انتقال آب و لوله تحت فشار
 ۴. عدم تداخل با دیگر طرح‌های توسعه
- پس از تعیین جایگاه‌های مناسب جهت احداث نیروگاه، نوبت به مطالعات تکمیلی از قبیل مطالعات هیدرولوژی، زمین‌شناسی، سازه، برق و مکانیک می‌رسد. این پارامترها را نیز می‌توان به دو گروه طبقه‌بندی کرد: پارامترهای دسته اول که عبارت‌اند از دبی پایه رودخانه، شیب بستر رودخانه، راه‌های دسترسی، آثار زیست محیطی و پارامترهای دسته دوم که شامل شرایط زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی و سهولت دسترسی به مصالح و منابع مناسب هستند.

دو مورد نخست از پارامترهای دسته اول کنترل‌کننده که میزان انرژی تولیدی در هنگام بهره‌برداری از نیروگاه هستند. هرچه دبی رودخانه بیشتر باشد، ظرفیت تولید برق نیروگاه بیشتر خواهد بود. با افزایش شیب بستر رودخانه، اختلاف ارتفاع بین نقطه آب‌گیری و نقطه انتهایی پستاک بیشتر خواهد بود و در نتیجه آب از انرژی پتانسیل بیشتری برای تولید برق برخوردار خواهد بود. این دسته از پارامترها از این نظر حائز اهمیت‌اند که هر یک به‌تنهایی می‌توانند در انتخاب یا رد یک ساختگاه نقشی کاملاً تعیین‌کننده داشته باشند. دسته دوم پارامترها به عواملی چون پایداری دامنه‌ها، شرایط ژئومکانیکی سنگ‌ها و خاک‌ها، گسترش خاک‌های مسئله‌دار و جز این‌ها تقسیم می‌شوند. این دسته از پارامترها برخلاف پارامترهای گروه اول به‌تنهایی نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب یا رد یک ساختگاه ندارند [۵].

۲-۶. ظرفیت نصب و ارزیابی هزینه‌ها

مهمترین مسئله در احداث نیروگاه‌های برقی، تخمین توانمندی یک محل در تولید انرژی یا ظرفیت نصب

نیروگاه است که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$P = \eta \rho g Q H \quad (1)$$

به‌طوری‌که در این رابطه P توان مکانیکی برحسب وات برق تولیدی، ρ و g به‌ترتیب وزن مخصوص آب و شتاب گرانش، Q دبی رودخانه برحسب مترمکعب در ثانیه، H ارتفاع مؤثر یا خالص آب برحسب متر، η بازده کل ژنراتور، توربین و مجاری آب است. حال با جایگذاری چگالی آب و شتاب ثقل و در نظرگرفتن بازده ژنراتور، توربین و مجاری آب توان مکانیکی یا نیروی تولیدی را می‌توان به‌صورت رابطه ۲ به‌دست آورد:

$$P = 7.06 Q H \quad (2)$$

براساس این رابطه دو عامل اثرگذار در تولید انرژی، مقدار دبی و ارتفاع مؤثر می‌باشند. ارتفاع معمولاً برای هر جایگاه ثابت است، لذا تغییرات انرژی تولیدی به آبدهی رودخانه وابسته است که در ماه‌ها و فصول مختلف سال مقادیر متفاوتی دارد. به‌منظور استفاده از حداکثر توان آبی رودخانه و انتخاب ظرفیت نصب مناسب برای نیروگاه، بررسی و مطالعه رژیم جریان آب رودخانه و تهیه منحنی تداوم جریان بسیار ضروری است.

جهت تعیین بهای هر کیلووات ساعت انرژی استحصالی هزینه اولیه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های سالیانه با بهره‌گیری از ضرایب استهلاک سرمایه‌گذاری و رویداشت به عمر مفید مناسب پیش‌بینی می‌شود. در حال حاضر اطلاعات جامعی از هزینه این نوع از نیروگاه‌ها وجود ندارد، اما با محاسبات اقتصادی حاصل از چندین نیروگاه در حال بهره‌برداری و مطالعه بیش از یکصد نیروگاه، می‌توان از رابطه ۳ برای محاسبه حداقل هزینه احداث پروژه‌های آبی مربوط به کشورهای شرق آسیا، کانادا و آمریکا استفاده کرد:

$$C_k = K(P \times H^{-0.3})^{0.82} \quad (3)$$

به‌طوری‌که در این رابطه C_k هزینه احداث نیروگاه برحسب دلار، P ظرفیت جایگاه برحسب کیلووات، H هد جایگاه به متر، K ضریب تجربی از اجرای پروژه‌های نیروگاه آبی کوچک در آمریکا و کانادا بوده و مقدار آن

۲۲۲۰۰ است. همچنین عوامل دیگری در هزینه تمام‌شده نیروگاه آبی کوچک کشورها دخیل می‌باشد که عبارت‌اند از [۳]:

۱. میزان دسترسی و هزینه نیروی انسانی

۲. شرایط جغرافیایی و مشکلات دسترسی به محل

۳. میزان دسترسی و هزینه مواد

در جدول ۲، هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه ثابت بهره‌برداری و نگهداری و قیمت انرژی نیروگاه‌های آبی کوچک با توجه به ضریب قابلیت دسترسی، ضریب بار بهره‌برداری، نرخ مصرف داخلی، زمان ساخت و عمر مفید اقتصادی آنها برای توان‌های ۰/۰۱ تا ۱۰ مگاوات طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ م ارائه شده است.

۲-۷. وضعیت نیروگاه‌های برقابی کوچک در جهان

انجمن انرژی جهان^{۱۰} ظرفیت نصب نیروگاه‌های برقابی کوچک را در سال ۱۹۹۰ م حدود ۸۲ تراوات در ساعت برآورد کرده است که با توجه به شکل ۴ بیشتر ظرفیت نیروگاه‌های برقابی کوچک مربوط به کشورهای عضو آی. ای. ای^{۱۱} و کشور چین می‌باشد.

در جدول ۳، ظرفیت و میزان تولید نیروگاه‌های برقابی کوچک در نواحی مختلف جهان برای سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۰ م ذکر شده است که با توجه به آن رشد ۴۰ درصدی در تولید انرژی این نیروگاه‌ها در این سال‌ها مشاهده می‌شود. همچنین ملاحظه می‌شود که قاره آسیا بیشترین پتانسیل‌های برقابی کوچک در جهان را داراست که این امر به‌دلیل وجود کشور چین در این قاره می‌باشد [۴].

۲-۸. ارزیابی‌های اقتصادی اجتماعی در ایران

نیروگاه‌های برقابی کوچک باید از نظر قیمت برق با سایر منابع انرژی قابل رقابت باشند. در برنامه انرژی کشور، در عمل استفاده از نیروگاه‌های برقابی کوچک محدود به مناطق روستائی و دورافتاده‌ای است که از شبکه سراسری برق به‌دلایل اقتصادی تغذیه نمی‌شوند. در همین راستا،

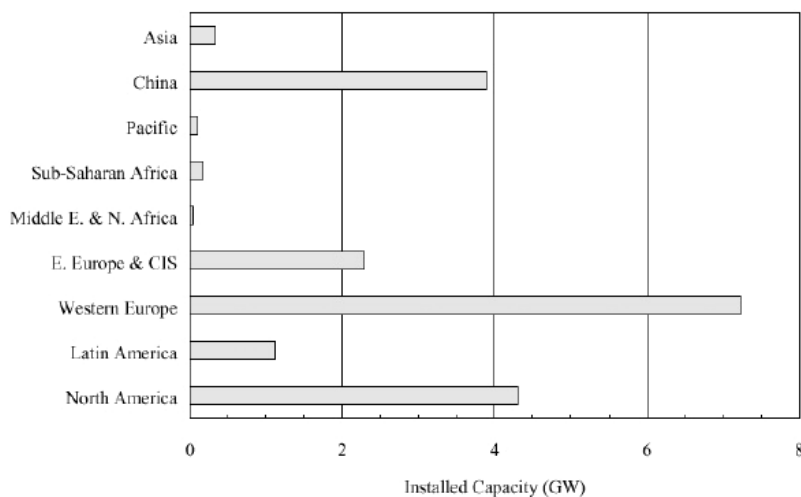


مطابق جدول ۴، تاکنون بیش از ۲۵۰۰ منطقه برای ساخت نیروگاه‌های برقابی کوچک در کشور شناسایی و حدود ۹۹۴ نقطه برای احداث نیروگاه‌های برقابی کوچک با ظرفیت

۱۴۱۱۶۹/۴۴ کیلووات مناسب تشخیص داده شده است. از سال ۱۳۷۶ امر برق‌رسانی به هر حلقه چاه آب کشاورزی در ایران، از واردات ۸۰۰۰ دلار گازوئیل بی‌نیاز شده است.

جدول ۲. هزینه نیروگاه برقابی کوچک در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ م [۴]

شرح	۱۹۸۰	۱۹۸۵	۱۹۹۰	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۰
توان نیروگاه برقابی کوچک (مگاوات)	۱۰ - ۰/۰۰۱	۱۰ - ۰/۰۰۱	۱۰ - ۰/۰۰۱	۱۰ - ۰/۰۰۱	۱۰ - ۰/۰۰۱	۱۰ - ۰/۰۰۱	۱۰ - ۰/۰۰۱
ضریب قابل دسترسی (درصد)	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵
ضریب بار بهره‌برداری (درصد)	۹۵ - ۱۵	۹۵ - ۱۵	۹۵ - ۱۵	۹۵ - ۱۵	۹۵ - ۱۵	۹۵ - ۱۵	۹۵ - ۱۵
نرخ مصرف داخلی	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
زمان ساخت (سال)	۲ - ۱	۲ - ۱	۲ - ۱	۲ - ۱	۲ - ۱	۲ - ۱	۲ - ۱
عمر مفید اقتصادی (سال)	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
هزینه سرمایه‌گذاری (ECU{1990}/Kw)	۴۵۰۰ - ۸۵۰	۴۰۰۰ - ۸۳۰	۳۵۰۰ - ۸۱۰	۳۰۰۰ - ۸۰۰	۲۵۰۰ - ۷۹۰	۲۰۰۰ - ۷۷۰	۱۸۰۰ - ۷۵۰
هزینه ثابت بهره‌برداری و نگهداری (ECU{1990}/Kw)	۲۵ - ۱۵	۲۵ - ۱۵	۲۵ - ۱۵	۲۵ - ۱۵	۲۵ - ۱۵	۲۵ - ۱۵	۲۵ - ۱۵
قیمت انرژی با استفاده از نرخ تنزیل ۸ درصد (ECU/Kw)	۰/۱۷ - ۰/۰۲	۰/۱۵ - ۰/۰۲	۰/۱۳ - ۰/۰۱۹	۰/۱۲ - ۰/۰۱۹	۰/۱۰ - ۰/۰۱۹	۰/۰۸ - ۰/۰۱۹	۰/۰۷ - ۰/۰۱۸



شکل ۴. ظرفیت نیروگاه‌های برقابی کوچک در جهان؛ سال ۱۹۹۰ م



جدول ۳. ظرفیت و میزان تولید نیروگاه‌های برقی کوچک در نواحی مختلف جهان برای سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۰ م [۴]

منطقه	ظرفیت (مگاوات)		انرژی سالیانه (گیگاوات ساعت)	
	۱۹۹۵	۲۰۱۰	۱۹۹۵	۲۰۱۰
امریکای شمالی	۴۴۰۰	۵۵۰۰	۱۸۰۰۰	۲۵۰۰۰
امریکای لاتین	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۱۰۰۰۰
اروپای غربی	۹۷۴۰	۱۲۶۰۰	۴۰۰۰۰	۵۰۰۰۰
شرق اروپا	۲۰۷۰	۷۰۰۰	۸۵۰۰	۲۸۰۰۰
خاورمیانه و شرق میانه	۱۸۰	۴۰۰	۷۰۰	۱۷۰۰
آفریقا	۴۰۰	۷۰۰	۱۶۰۰	۳۰۰۰
اقیانوس آرام	۱۶۰	۷۵۰	۷۰۰	۳۰۰۰
آسیا	۱۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۴۲۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
جمع کل	۴۴۰۰	۴۴۰۰	۴۴۰۰	۴۴۰۰

جدول ۴. نیروگاه‌های برقی کوچک در ایران [۴]

استان	گزینه‌های بازدید شده	گزینه‌های تأیید شده	ظرفیت کل (کیلووات)	پتانسیل‌های میکرو	ظرفیت کل (کیلووات)	پتانسیل‌های مینی	ظرفیت کل (کیلووات)	پتانسیل‌های کوچک	قدرت کل (کیلووات)
آذربایجان غربی	۱۴۷	۳۷	۴۶۷۴۶	۰	۰	۲۲	۱۱۱۸۶	۱۵	۳۵۵۶۰
آذربایجان شرقی	۳۵	۳۵	۳۰۲۲۸	۰	۰	۲۴	۱۲۹۴۲	۱۱	۱۷۲۸۶
اردبیل	۱۸	۱۸	۲۲۰۵۸	۰	۰	۱۱	۷۸۲۵	۷	۱۴۲۳۳
اصفهان	۸۰	۱۶	۳۴۳۱۷	۱	۴۳	۱۱	۲۶۵۲۴	۴	۷۷۵۰
خراسان	۱۲۰	۳۸	۲۷۲۵	۳۰	۱۱۴۰	۸	۱۵۸۵	۰	۰
قزوین	۵۲	۲۸	۴۳۵۰۰	۰	۰	۹	۶۹۵۰	۱۹	۳۶۵۵۰
کهگیلویه و بویراحمد	۵۲	۶۴	۱۲۲۳۳۶	۰	۰	۲۰	۹۱۳۶	۴۴	۱۱۳۲۰۰
کرمانشاه	۱۲۲	۵۴	۹۲۰۵۰	۱	۵۰	۲۴	۱۳۶۰۰	۲۹	۷۸۴۰۰
کردستان	۴۵	۴۵	۶۰۵۹۰	۰	۰	۳۴	۱۵۳۶۰	۱۱	۴۵۲۳۰
خوزستان	۱۳۰	۴۹	۴۵۷۵۶/۴۴	۱۷	۳۶۴/۴۴	۱۶	۸۱۷۸/۲	۱۶	۲۶۵۳۱/۸
گیلان	۵۶۳	۱۴۵	۳۸۹۹۹۱	۰	۰	۱۷	۱۱۱۱۳	۱۲۸	۳۷۸۸۷۸
گلستان	۲۳۰	۸۱	۳۴۶۴۴	۱۰	۶۴۴	۶۳	۲۳۵۸۴	۸	۱۰۴۱۶
ایلام	۱۰۵	۳۳	۴۷۴۴۰	۰	۰	۹	۴۸۹۰	۲۴	۴۲۵۵۰
سمنان	۸۰	۱۵	۶۰۷۰	۰	۰	۳۱	۳۷۷۰	۲	۲۳۰۰
لرستان	۱۴۱	۴۴	۳۳۳۵۶	۰	۰	۳۷	۱۸۳۷۶	۷	۱۴۹۸۰



جدول ۴. نیروگاه‌های برقایی کوچک در ایران [۴] (ادامه)

استان	گزیندهای باز دیده شده	گزیندهای ناپدید شده	قدرت کل (کیلووات)	پتانسیل‌های میکرو	قدرت کل (کیلووات)	پتانسیل‌های مینی	قدرت کل (کیلووات)	پتانسیل‌های کوچک	قدرت کل (کیلووات)
فارس	۲۷	۲۷	۲۴۱۹۴	۲	۱۳۰	۱۸	۵۸۹۴	۷	۱۸۱۷۰
همدان	۲۷	۲	۱۵۷۴	۰	۰	۲	۱۵۷۴	۰	۰
چهارمحال و بختیاری	۱۲۰	۲۷	۱۰۳۱۸۰	۰	۰	۹	۵۳۲۰	۱۸	۹۷۸۶۰
مازندران	۲۴۵	۱۳۸	۲۰۰۶۵۰	۲	۱۳۳	۶۱	۳۵۶۴۹	۷۵	۱۶۴۸۶۸
تهران	۱۲۴	۴۸	۶۹۷۶۴	۰	۰	۲۱	۱۰۲۹۴	۲۷	۵۹۴۷۰
جمع کل	۲۵۳۳	۹۴۴	۱۴۱۱۱۶۹	۶۳	۲۴۸۶/۴۴	۲۹	۲۳۴۴۵۰/۲	۴۵۲	۱۱۷۴۲۳۲

جدول ۵ به ترتیب ظرفیت اسمی و تولید نیروگاه‌های برقایی کوچک و نیز ظرفیت و تولید نیروگاه‌های برقایی مینی و میکرو در حال بهره‌برداری کشور را به تفکیک استانی در سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد. جدول ۶ نیز ظرفیت قابل نصب و انرژی متوسط سالانه طرح‌های در دست اجرای نیروگاه‌های برقایی کوچک کشور در سال ۱۳۸۸ را نشان می‌دهد.

۳. نتیجه گیری

در حال حاضر تحقیق و شناسایی دقیق ظرفیت‌های موجود پتانسیل‌های برقایی کوچک کشور به منظور توسعه فناوری مورد استفاده این نیروگاه‌ها و تقویت تولید انرژی در کشور بسیار ضروری به نظر می‌رسد؛ زیرا با وجود پتانسیل‌های قابل توجه نیروگاه‌های برقایی کوچک این امر می‌تواند بستر یک تحول قابل توجه اقتصادی اجتماعی در مناطق دورافتاده کشور محسوب گردد. بهره‌برداری از منابع انرژی فوق بیش از پیش رفاه اقتصادی اجتماعی ساکنان نقاط دورافتاده را دربر خواهد داشت و زمینه‌های لازم جهت توسعه این مناطق را فراهم خواهد ساخت. گسترش این نیروگاه‌ها توانایی تقویت صنعت برق کشور را در زمینه

افزایش تولید و همچنین انتقال فناوری استفاده از پتانسیل‌های آبی را بسیار افزایش داده و دورنمای این حرکت را رضایت‌بخش می‌نماید.

وضعیت فعلی حاکم بر انرژی کشور باید با اتخاذ تدابیر مربوط به ارتقای بهره‌وری و بازدهی انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر جهت فراهم‌نمودن بستر مناسب در رسیدن به اهداف توسعه پایدار، اصلاح و گام‌های اساسی در این زمینه ضروری است. وارد کردن و در نظر گرفتن نیروگاه‌های برقایی کوچک در برنامه انرژی کشور با توجه به فراوانی جایگاه‌های مناسب جهت احداث نیروگاه‌های برقایی کوچک در استان‌های مختلف کشور و پایین بودن قیمت تمام‌شده انرژی تولیدی حاصل از این سیستم علاوه بر اینکه بستری مناسب جهت جایگزینی آن به جای سوخت‌های فسیلی است، موجب رونق اقتصادی روستاها شده و فعالیت‌های صنعتی و تجاری در روستاها را تشدید خواهد کرد و از مهاجرت روستاییان به شهرها خواهد کاست. ضمناً در راستای اجرای طرح‌های برقایی بزرگ، برای تولید برق از انرژی برقایی اقدام به ساخت سدهای مخزنی می‌کنند تا ضمن تولید برق، از آب ذخیره شده در پشت آن برای مصارف کشاورزی و شهری نیز استفاده



شود، از اینرو با توجه به مزایای طرح‌های برقی کوچک استفاده از آنها با رعایت معیارهای اقتصادی برای کشورهای در حال توسعه مناسب‌تر است، لذا برای رسیدن به این اهداف گنجانیدن طرح‌های استفاده از نیروگاه‌های

برقایی کوچک در برنامه ملی انرژی، چه از نظر برق‌رسانی به روستاها، چه از نظر اتصال به خطوط انتقال انرژی و چه از نظر اقتصادی دارای اهمیت بسیاری است که بایستی در اولویت طرح‌های ملی و دولتی کشور قرار بگیرد.

جدول ۵. ظرفیت اسمی و تولید نیروگاه‌های برقایی کوچک در حال بهره‌برداری وزارت نیرو در سال ۱۳۸۸ [۵]

نام نیروگاه	استان	سال بهره‌برداری	ظرفیت نیروگاه‌ها (مگاوات)	تولید نیروگاه‌ها (گیگاوات ساعت)
مهاباد	آذربایجان غربی	۱۳۵۱	۶	۸,۰۸۶
درودزن	فارس	۱۳۶۸	۱۰	۳,۷۲۵
شهید طالبی	فارس	۱۳۷۳	۲,۲۵	۵,۹۳۸
پل کلر ۲	بویر احمد	۱۳۸۶	۴	۲,۴۳۲
پل کلر ۱	بویر احمد	۱۳۸۳	۴	۲,۷۰۷
کریک ۳	بویر احمد	۱۳۸۵	۳	۳,۷۳۱
کریک ۲	بویر احمد	۱۳۸۵	۲,۵	۳,۵۷۵
پل کلر ۴	بویر احمد	۱۳۸۲	۲,۵	۳,۹۰۶
آسیابک	مرکزی	۱۳۷۶	۵,۲	۲,۳۳۹
گاماسیاب	همدان	۱۳۷۸	۲,۸	۵,۱۶۸
جمع نیروگاه‌های کوچک			۴۶/۸۵	۴۱/۵۰۷
جمع نیروگاه‌های مینی و میکرو			۲/۰۷	۲/۷۶۴
جمع کل			۷۷۰۴/۷۲	۷۲۳۳/۲۰۸

جدول ۶. ظرفیت قابل نصب و انرژی متوسط سالانه طرح‌های در دست اجرای نیروگاه‌های برقایی کوچک در سال ۱۳۸۸ [۵]

نام نیروگاه	ظرفیت قابل نصب نیروگاه مگاوات	انرژی متوسط سالانه گیگاوات ساعت	سال بهره‌برداری
نیروگاه تنظیمی زاینده‌رود	۸/۵	۳۸	۱۳۹۲
بسته اردل	۲۰	۱۰۰	۱۳۸۸
منج	۷/۵	۴۰	۱۳۹۰
پیران	۸/۴	۲۴/۲۷	۱۳۹۰
نیروگاه آبی سفید رود (تاریک)	۲/۸	۱۶/۴۶	۱۳۸۸
جمع نیروگاه‌های کوچک	۴۷/۲	۲۱۸/۷۳	-
جمع کل	۷۰۴۸/۱	۱۹۴۹۷/۷	-



۴. مأخذ

- [۱] شمس، مهرداد، *میانی نیروگاه‌های آبی کوچک*، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، چاپ اول، ۱۳۸۵.
- [۲] هوسمی، پونه، دیان، بلال. "بررسی اهمیت بکارگیری نیروگاه‌های برقایی کوچک و اثرات زیست محیطی آن در استان گیلان"، اولین همایش ملی انرژی‌های نو و پاک، همدان، ۱۳۹۲.
- [۳] عنایتی، عباسعلی و همکاران. "ارزیابی فنی و اقتصادی احداث و بهره‌برداری نیروگاه برقایی کوچک در غرب مازندران"، پنجمین کنفرانس ملی نیروگاه‌های برق، اهواز، ۱۳۹۱.
- [۴] نیکو، توران و همکاران. "پتانسیل‌های نیروگاه‌های برق آبی کوچک در استان خوزستان"، هجدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ۱۳۸۲.
- [۵] اخروی، محمدجواد. "پتانسیل‌ها و نقش نیروگاه‌های برقایی کوچک در تأمین انرژی الکتریکی کشور"، اولین کنفرانس بین‌المللی سد و نیروگاه‌های آبی، تهران، ۱۳۹۰.

پی‌نوشت

-
1. Fox
 2. Appleton
 3. Wisconsin
 4. Large Hydropower
 5. Medium Hydropower
 6. Small Hydropower
 7. Mini Hydropower
 8. Micro Hydropower
 9. Forbay
 10. World Energy Council (WEC)
 ۱۱. کشورهای عضو آی. ای. ای. (IEA) کشورهای دارای نیروگاه‌های برقایی کوچک با ظرفیت بیشتر از هزار مگاوات؛ یعنی استرالیا، ایتالیا، فرانسه، اسپانیا و امریکا می‌باشند.

