روش‌هایی نوین در هماهنگ‌سازی نیروگاه‌های برقابی با محیط‌زیست

• بنیامین نقوی، کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی آب ben_na80@yahoo.com
• مینا حسین‌پور طهرانی، کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی آب
• فاطمه کوروش وحید، کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی آب

چکیده

هیدروپیک‌های ناشی از قطع و وصل متناوب توربین‌های مولد برقابی از یکسو باعث فرسایش بستر رودخانه، تولید رسوبات بیشتر و کاهش نفوذپذیری ساحل رودخانه می‌شود و از سوی دیگر نظم و فرکانس حرارتی بالای این هیدروپیک‌ها اثرات خطرناک و فاجعه‌باری بر محیط‌زیست رودخانه‌ها می‌گذارد. چنانچه جریان طبیعی رودخانه تغییرات کمی داشته باشد، محیط‌زیست متحمل آسیب چندانی نشده و شاید بتوان گفت این حالت برای محیط‌زیست بهترین حالت است. لذا بازسازی زیستگاه و تلاش برای تضعیف هیدروپیک مولدهای برقابی که به رودخانه می‌رسند اقدامی مؤثر در جهت حفظ زیستگاه خواهد بود. با ترکیب تکنیک‌های مختلف و اقدامات عملی مانند حفظ مخازن یا کاهش نوسانات توربین این کار امکان‌پذیر خواهد بود. برای کاهش نوسانات توربین، با آنالیز خصوصیات چندین نوع توربین، مشخص شده است که ظرفیت حمل توربین‌های متعامد منوط است به داشتن عریض ترین بازه. این نوع توربین با دو و حتی سه توربین با ظرفیت‌های مختلف برابری می‌کند و می‌تواند برای هر دبی در هر فصلی به کار رود. در این مطالعه اقدامات صورت گرفته در جهت

واژه‌های کلیدی: هیدروپیک، توربین، بازسازی زیستگاه، محیط‌زیست

مقدمه

جدای از نکات مثبت متعدد نیروی برقابی مانند تجدید شدنی بودن آن، این مولد می‌تواند خالق مشکلات زیست‌محیطی خطیری باشد. تمامی طرح‌های برقابی در پیوستگی رودخانه خلل ایجاد می‌کنند [۱]. سدها همانند مانعی در جهت مهاجرت و عبور طولی آبزیان عمل کرده [۲] و همچنین ذرات رسوب را به تله می‌اندازند. علاوه بر این مسیر رودخانه بین مسیر انحراف آب و مسیر اصلی غالباً دبی کاهنده‌ای به نام جریان رسوبی ایجاد می‌کند. در اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه نتایج اکولوژیکی این جریان مانند کاهش ثبات زیستگاه و یا کاهش دسته ماهی‌ها اشاره شده است. عملکرد سد، اثرات متعددی بر رژیم جریان طبیعی رودخانه دارد. اساساً در تابستان‌ها و در نتیجه ذوب برف و یخ، مخازن از آب پر شده و در فصل زمستان آب ذخیره شده برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وضعیت بر آب پایین‌دست تأثیر دوگانه‌ای دارد: ۱) در مقایسه با شرایط طبیعی، دبی رودخانه در زمستان افزایش و در تابستان کاهش می‌یابد و ۲) دامنه و فرکانس سیلاب‌های بزرگ به خاطر حجم رسوبات اضافی در مخزن کاهش می یابد. این اثرات فصلی با نوسانات سریع سیلاب ناشی از عملکرد روزانه مولدهای برقابی، تشدید می‌شود. هیدروپیک‌های ایجاد شده به این روش آنقدر توان ندارند که بتوانند جبران سیلاب‌های طبیعی را برای انتقال رسوبات به جای مانده در بستر رودخانه داشته باشند [۳]. نظم و فرکانس حرارتی بالای این هیدروپیک‌ها اثرات خطرناک و فاجعه‌باری بر بی‌مهرگان، ماهی‌ها و زیستگاهشان می‌گذارد [۴]. پس از ساخت یک مولد برقابی[1] (HPP) و پر کردن مخزن، رژیم جریان پایین دست با رژیم طبیعی رودخانه متفاوت شده و تحت تأثیر رژیم HPP قرار می‌گیرد و هرگونه تغییر در رژیم کار توربین باعث ایجاد نوسانات ناگهانی (هیدروپیک) در تراز آب می‌شود [۵]. افزایش فرآیند لایزایی، انتقال قائم بین رودخانه و آب زیرزمینی را کاهش داده و اجتماع آبزیان و شرایط تخم‌گذاری ماهیان را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۶].

مهم‌ترین و محکم‌ترین سازه‌ای که به منظور تثبیت بستر رودخانه‌های منظم به کار می‌رود خاکریز[2] است. با این وجود در طی دوره‌های اخیر در زمینه مدیریت رودخانه، اقدامات رو به جلویی صورت گرفته که تلاش می‌کند منافع اقتصادی، سیاسی و اکولوژیکی منطقه را با یکدیگر وفق دهد.

1.Hydropower plant
2.Levee

سایت اینترنتی انجمن متخصصان ایران: www.irsen.org

لذا در فضای رودخانه‌های با جمعیت‌های متراکم و با بهره اقتصادی بسیار بالا، اقدامات حفاظتی و بازسازی زیستگاه با مشکلات و محدودیت‌های بسیاری مواجه شده است. مسائل مربوط به بازسازی زیستگاه مانند تعریض رودخانه و کاهش هیدروپیک مولدهای برقابی موضوعات اساسی در این مطالعه هستند. هدف از این مطالعه از یکسو امکان بازسازی زیستگاه به همراه اقدام برای کنترل سیلاب و بهبود موقعیت هیدرولوژیکی برای موفقیت در بازسازی زیستگاه است و از سوی دیگر تعیین اثرات HPP بر رژیم جریان رودخانه در مسیر پایین دست و اقداماتی که می‌توان برای کاهش قدرت هیدروپیک‌های حاصل از آن انجام داد می‌باشد.

روند تغییرات دما در رودخانه‌ها

تغییرات دمای آب در رودخانه‌ها اساساً تحت تأثیر تبادل انرژی با اتمسفر و رسوبات و همچنین حرارت جزیی است[۴]. امروزه، این رفتار طبیعی تحت تأثیر هیدروپیک‌ها تشدید شده است. مطالعات نشان می‌دهد که وجود مولدهای برقابی، عموماً سبب گرم شدن آب رودخانه در زمستان و سرد شدن آن در تابستان می‌شود. علاوه بر این، هیدروپیک‌های ناشی از تغییرات لحظه‌ای مولدهای برقابی، بخصوص در ماه‌های زمستان که دبی طبیعی، کم و تقریباً ثابت است، اثراتی منفی بر زیستگاه و آبزیان منطقه می‌گذارد. به طور معمول پارامترهای رژیم رودخانه (مانند سرعت، عمق و دبی در طول رودخانه) در زمان سیلاب بهاره به حداکثر مقدار و در خشکی تابستانه و سرمای زمستانه به حداقل مقدار خود می‌رسد. دامنه تغییر پارامترهای مذکور پیش از همه به وجود دریاچه، مخازن، جنگل و باتلاق در حوزه رودخانه، تجمع و مهار نفوذ آب بستگی دارد. ایده اولیه تحقیق صورت گرفته بر این فرض استوار است که چنانچه جریان طبیعی رودخانه تغییرات کمی داشته باشد، محیطزیست، متحمل آسیب چندانی نمی‌گردد و شاید بتوان گفت این حالت برای محیطزیست بهترین حالت است. قرار گرفتن تراز آب در مخزن با تغییرات جزیی و اجتناب از گذردهی آب از طریق سرریز ممکن است به عنوان حالت بهینه برای این وضعیت به شمار آید. آبی که سبب ایجاد هیدروپیک می‌شود، از قعر بخش‌هایی با دمای ثابت در بالادست رودخانه سرچشمه می‌گیرد. این آب مستقیماً به ایستگاه تولید نیرو، جایی که آب به رودخانه می‌ریزد لوله‌کشی می‌شود. در این فرآیند، هیدروپیک‌ها به شدت رژیم دمای فصلی، هفته‌ای و روزانه رودخانه را تغییر می‌دهند. در جریان تولید برقابی آب رودخانه در زمستان گرم و در تابستان سرد می‌شود. این تغییرات دمایی برای جمعیت بی‌مهرگان به شدت مضر است. با این وجود بعید به نظر می‌رسد که دما تنها عاملی باشد که اندازه گونه‌های جانوری و پخش جغرافیایی حشرات آبزی را تحت تأثیر قرار دهد. تغییرات متناوب دمایی ممکن است به عنوان فاکتور اضافی برای تراکم کمتر و توده بی‌مهرگان در رودخانه‌های متأثر از برقابی در مقایسه با رودخانه‌هایی که این مولد را ندارند به حساب آید. این تغییرات دمایی متناوب به آبخوان مجاور، جایی که با خصوصیات زمین‌شناسی ماتریس خاک خاکریزها فعل و انفعالاتی دارد، منتقل می‌شوند. در این ناحیه می‌توان هدایت هیدرولیکی را با فرمول دارسی محاسبه کرد:

$$K = \frac{v_a n}{J} \qquad (۱)$$

که در آن k نشان‌دهنده هدایت هیدرولیکی $[ms^{-1}]$ ، v_a میانگین سرعت جریان $[ms^{-1}]$ ، J شیب سطح آب زیرزمینی و n فاکتور تخلل است.

در واقع سیگنال‌هایی که تغییرات تراز آب و تغییرات دما را نشان می‌دهند اطلاعات متفاوتی در اختیار می‌گذارند. سیگنال مربوط به تراز آب رابطه بین چاه‌ها را نشان می‌دهد در حالی‌که سیگنال دما انتقال حرارت در آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. دامنه و تأخیر دمای مینیمم و ماکزیمم نسبت به رودخانه به عنوان مشخصه‌هایی برای فرآیند نفوذ به کار می‌روند. در سیستم جریان نفوذی، تغییرات دما به خاطر انتقال حرارت به صورت کنوکسیون و هدایت گرمایی صورت می‌گیرد. سیگنال دما در طی انتقال به آب زیرزمینی به خاطر انتقال حرارت به ماتریس خاک با تأخیر همراه است. این بدین‌معناست که سیگنال دما به عنوان ردیاب انتقال آب، زمانی که از مقاطع همبسته تحویل گرفته می‌شوند باید با یک فاکتور تأخیر دما (R) که تابعی است از تخلخل (n) ماتریس خاک تصحیح شود:

$$R = 1 + \beta \frac{(1-n)}{n} \qquad (۲)$$

در این رابطه، ضریب بی بعد β توصیف‌کننده انرژی گرمایی بین سیال و فاز جامد و n منعکس‌کننده فاکتور تخلخل است. این بدین‌معناست که سیگنال دما همانند ذرات آب از آکیفر عبور می‌کنند، اما با سرعت R/1. مقدار R برای منافذ ۰/۱ و ۰/۲ حدود ۳ و ۵ است. لذا تغییرات دمایی در آب رودخانه تغذیه منابع زیرزمینی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و وجود مولدهای برقابی در این مورد می‌تواند مزید بر علت باشد.

تأثیر سازه‌های موجود در رودخانه بر زیستگاه

۱ـ تأثیر دوگانه ریپ‌رپ[1]

ریپ‌رپ سازه‌ای است غالباً پاره‌سنگی که به منظور جلوگیری از فرسایش ساحل و دیواره رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخورد امواج و جریان آب به دیواره سواحل سبب شستگی، تعریض رودخانه و از بین رفتن زمین‌های اطراف می‌شود که به کمک ریپ‌رپ می‌توان از ایجاد

1.Riprap

سایت اینترنتی انجمن متخصصان ایران: www.irsen.org

چنین نقیصه‌ای جلوگیری کرد. وجود مولدهای برقابی باعث تغییر دسته ماهی‌ها در طول رودخانه می‌شود. از آنجایی که در فضای شکاف بین سنگ‌های زاویه‌دار بزرگ، سرعت‌های جریان کم است، دسته‌های بزرگ ماهی در اطراف ساحل‌های مجهز به ریپ رپ یافت می‌شوند. در عوض، در مسیرهای با پوشش محدود که حاوی رسوبات زیادی هستند یا بدون سازه هستند آبزیان کمتری مشاهده می‌شوند. با این وجود، در برخی مناطق با وجود استفاده از ریپ‌رپ مقدار آبزیان منطقه کاهش می‌یابد. مطالعات نشان می‌دهد با وجود آنکه ریپ رپ‌ها ایجاد پوشش ایجاد می‌کنند، اما نسبت به غنای ساحل طبیعی رودخانه، جانشین فقیری هستند. بر این اساس نتایج نشان می‌دهد که در مسیری با مورفولوژی ساحل طبیعی نسبت به سواحل مجهز به عوامل مصنوعی دسته آبزیان بیشتری یافت می‌شود. شرایط زیستگاهی در سواحل ریپ‌رپ‌دار نسبتاً یکنواخت است و بخش‌های حفاظت شده تنها به مناطق خط ساحلی محدود شده است (خاکریز). علاوه بر این ریپ رپ شرایط زیستگاهی لازم را برای گروه‌های سنی مختلف ماهی‌ها فراهم نمی‌کند [۸].

۲ـ بازسازی زیستگاه

سؤالی که پیش می‌آید این است که آیا تلاش برای بازسازی زیستگاه و بهبود خط ساحلی و سازه‌های داخل دریاچه می‌تواند منجر به افزایش دسته ماهی‌ها و دیگر پارامترهای وابسته به اکولوژی آنها شود؟ در مطالعات پیشین، اکثر مثال‌های بازسازی زیستگاه رودخانه مربوط به اقداماتی مانند تعریض مقطعی، ساختن سازه‌های داخل دریاچه یا بازسازی سواحل می‌باشد که هر یک شرایط زیستگاهی بسیار مختلفی را ایجاد می‌کند. در بسیاری از موارد، اثرات مثبت نظیر گسترش گونه‌ها و بازگشت فرآورده‌های طبیعی بر اجتماع ماهیان گزارش می‌شود. به طور مشابه اقدامات سازه‌ای در طول خط ساحل برای آبزیان از اهمیت بسزایی برخوردار است. از این لحاظ در چنین شرایط هیدرولوژیکی رودخانه سؤال اصلی این است که آیا اقدامات سازه‌ای به تنهایی مؤثرند. با وجود احداث بهترین سازه‌های زیستی مناسب، مشاهده می‌شود که در ریپ‌رپ‌ها، دسته آبزیان کاهش یافته و لذا شک موجود در مورد عدم کاربری مناسب این تأسیسات صحیح است. آبزیانی که تحت تأثیر هیدروپیک قرار می‌گیرند عموماً از آبزیانی که در جریان رسوبی یا بخش‌های بدون تغییرات هیدرولوژیکی قرار می‌گیرند کوچک‌ترند. بازسازی زیستگاهی، نفوذپذیری خاکریز بازسازی شده را تغییر می‌دهد و از اینرو سرعت نفوذ آب رودخانه به آب زیرزمینی تغییر خواهد کرد. لذا برای جلوگیری از صعود سطح ایستابی در دشت سیلابی و حفظ ذخایر آب شرب در خاکریزهای جدید، نشت‌بندی اضافی لازم و ضروری است. از آنجا که سناریوهای بازسازی زیستگاهی، با شرایط مرزی ناسازگاری مواجه هستند، موقعیت اکولوژیکی ماهی‌ها می‌تواند با بازسازی ساختار زیستی در طول رودخانه بسیار بهبود یابد. این موفقیت در صورتی‌که لایزایی ساحل رودخانه برداشته شود، عموماً با تعریض نیز امکان‌پذیر است.

۳ـ پایداری زیستگاه

در بین مضرات متعددی که از اثرات مخرب ناشی از هیدروپیک بر ماهی‌ها گزارش شده، بحث در مورد پایداری زیستگاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بواسطه نوسانات سریع‌تر از آب که به ۱ متر هم می‌رسد، ریپ‌رپ دائماً از آب پوشیده نیست. همچنین به دلیل عدم پوشش ثابت، سازه‌های وابسته با کاهش جدی کیفیت زیستگاهی مواجه می‌شوند. مطالعات میدانی و همین‌طور مدل‌های زیستی در مسیرهای هیدروپیک، افزایش ناپایداری زیستی را به ویژه در مورد موجودیت زیست آبزیان جوان‌تر نشان می‌دهد. عکس‌العمل آبزیان دیگر نیز نسبت به هیدروپیک مشابه است. این آبزیان نیز در نتیجه اثرات آبشستگی به خاطر سرعت‌های بالای جریان به شدت آسیب می‌بینند. از طرفی، در بستر رودخانه‌هایی که به شدت توسط رسوبات گرفته شده‌اند تولید مثل طبیعی ماهی‌ها با مشکلات فزاینده‌ای مانند کمبود ذخیره اکسیژن مواجه می‌شوند. همچنین به واسطه مبادله آرام بین رودخانه و آب زیرزمینی، کیفیت زیست آبزیان مضافاً تنزل می‌یابد. علاوه بر این، کمبودهای هیدرولوژیکی در مطالعات مشهود است. در منظر طولی سیستم، مشاهده می‌شود که پایداری زیستگاه ماهیان به خاطر وجود پوشش کم و تغییرات تراز آب به شدت حساس هستند. در یک نمای قائم و جانبی، تغییرات ناپایدار در تراز آب نه تنها به خود رودخانه محدود نمی‌شود بلکه آبخوان مجاور را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. اگر هدایت جانبی با اقدامات بازسازی زیستگاهی مانند تعریض رودخانه بهبود یابد، احتمال اختلالات اکولوژیکی تولید شده به این شیوه بیشتر است. در واقع، برای تعریض بستر رودخانه، خاکریز موجود باید جابجا شود تا امنیت دره پایین دست در مقابل سیلاب را تأمین کند. برقراری مجدد رابطه متقابل رودخانه با آب زیرزمینی منجر به منافعی برای آبزیان، شرایط تخمگذاری ماهی‌ها و همین‌طور رابطه آبخوان مجاور برای کنترل سیلاب می‌شود [۷]. با این وجود بهبود هدایت قائم بدون مخارج جدی امکان‌پذیر نیست. در طی ماه‌های تابستان سطح ایستابی آب زیرزمینی، ۰/۵ متر پایین‌تر از تراز آب رودخانه قرار می‌گیرد. اگر اقدامات ذخیره مجدد نفوذپذیری را افزایش دهد تراز آب در آکیفر نزدیک رودخانه می‌تواند صعود کرده و کشاورزی منطقه، زیربنا و ذخیره آب شرب عمومی را خراب کند.

اثرات هیدروپیک

قطع و وصل توربین‌ها و تنظیم رژیم آنها با توان موردنیاز، باعث تغییرات

سایت اینترنتی انجمن متخصصان ایران: www.irsen.org

ناگهانی تراز آب پایین دست HPP و ایجاد هیدروپیک می‌شود. با وجود آنکه تغییر در تراز آب، بستر رودخانه را تخریب می‌کند، حداقل تعداد قطع و وصل توربین‌ها برابر تعداد روزهای سال است. [۹].

یک HPP کوچک رژیم کار خود را کمتر از ۲ تا ۳ بار در روز تغییر نمی‌دهد و حتی ممکن است از این مقدار نیز بیشتر باشد. هر تنظیم، یک تراز موج اضافی در نوسانات رودخانه (هیدروپیک) پدید می‌آورد. بنابراین HPP سالانه بیش از ۱۰۰۰ هیدروپیک در پایین‌دست ایجاد می‌کند که دو برابر بیشتر از تعداد تغییرات طبیعی رودخانه در حالت بدون حضور HPP است.

سرعت افت تراز آب پس از قطع توربین به زمان شروع و فاصله از HPP بستگی دارد. برای حفظ تخم ماهی‌ها ماکزیمم سرعت افت مجاز cm/h ۱۵ است [۱۰]. سرعت نوسانات تراز آب به پخش موج جزر و مدی در طول سرعت رودخانه بستگی دارد.

برای تعیین پتانسیل برقابی، محدوده تغییرات دبی و انتخاب توربین مناسب برای HPP استفاده از هیدروگراف‌های آماری ضروری است [۵]. هیدروگراف آماری عبارتست از گراف دبی نسبی Q/Q_0 که بر اساس سری‌های آماری تنظیم شده است. این پارامتر می‌تواند یک پارامتر جهانی باشد که برای آنالیز رواناب رودخانه و تخمین مقدار پتانسیل برقابی رودخانه مناسب باشد. دبی نسبی ماکزیمم و مینیمم را می‌توان از هیدروگراف آماری خوانده و ضریب یکنواختی دبی را به دست آورد:

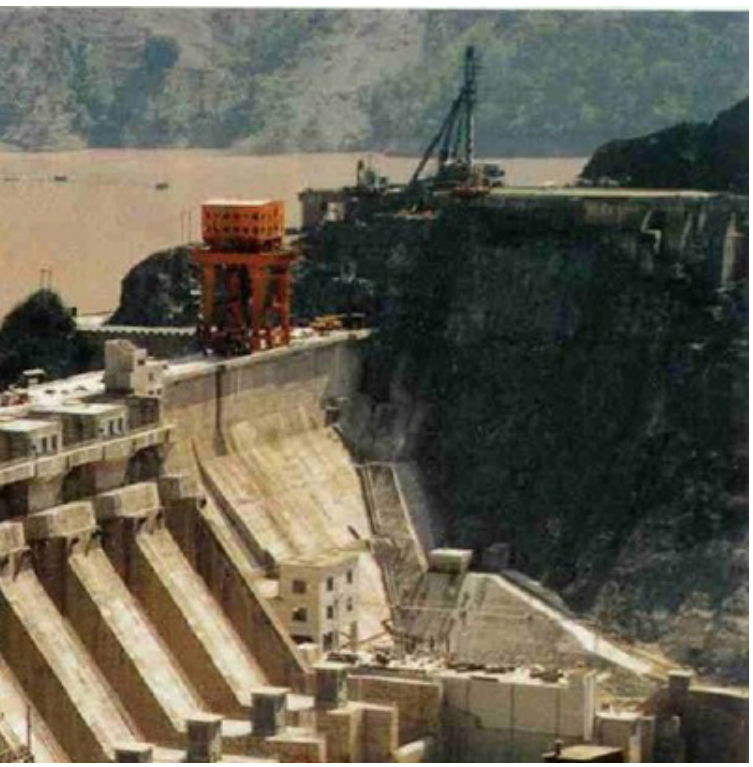
$$k_t = \frac{\left(Q/Q_0\right)_{max}}{\left(Q/Q_0\right)_{min}} = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} \qquad (۳)$$

که در آن Q_{max} و Q_{min} به ترتیب دبی حداکثر و حداقل در هیدروگراف، Q_0 دبی پایه و k_t ضریب یکنواختی دبی است.

مشخصات توربین‌های آبی

بازه انتقال‌دهی توربین‌ها بسیار کم است. نسبت دبی ماکزیمم به دبی مینیمم که به عنوان ضریب انتقال توربین معرفی و به شکل $k_t = Q_{tmax}/Q_{tmin}$ نشان داده شد معمولاً به ۲ تا ۳ نمی‌رسد. تنها ضریب توربین‌های متعامد، به ویژه آنهایی که دارای گردشگرهای حدی عرضند، ممکن است نزدیک به ۵ باشد. در برخی رودخانه‌ها این ضریب بسیار بالاتر از ضریب توربین بوده و به حد ۱۰ تا ۵۰ می‌رسد [۱۱].

توربین‌های متعامد به توربین‌هایی اتلاق می‌شود که برخلاف بیشتر توربین‌های آبی که جریان‌های محوری یا شعاعی دارند، آب به شکل اریب

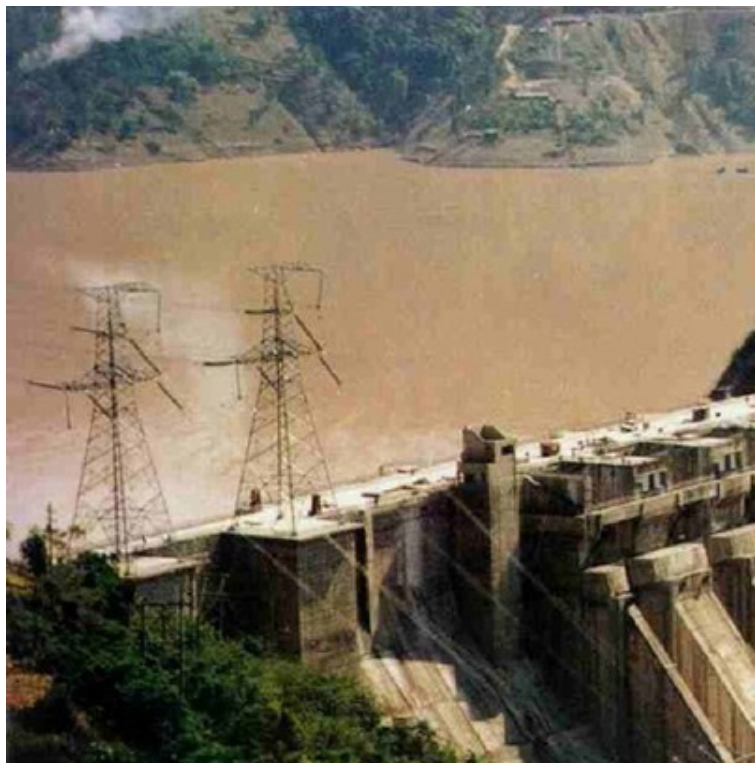


یا عرضی از داخل توربین و تیغه‌های آن عبور می‌کند. پس از آنکه آب از گردشگر عبور کرد در سمت مخالف ادامه مسیر داده و با عبور آب از گردشگر بازده توربین دوبرابر می‌شود. توربین‌های متعامد غالباً به صورت زوج توربین‌های با ظرفیت متفاوت که توسط شفتی به یکدیگر متصل‌اند ساخته می‌شوند.

یک توربین واحد چنین روانابی را تنها در صورتی که آبی در مخزن HPP تجمع نکرده باشد می‌تواند عبور دهد. در بیشتر مواقع دو یا چند توربین نیاز است تا دبی رودخانه را عبور دهد که ممکن است در محدوده قابل توجهی قرار گیرد.

توربین‌های HPP بر اساس دبی سالانه رودخانه انتخاب می‌شوند. در هنگام طراحی یک HPP کوچک، مشخصات جریان رودخانه به ندرت مورد توجه قرار می‌گیرد و معمولاً برای یک مولد نیرو چندین توربین با توان یکسان انتخاب می‌شود. دبی‌های سیلابی و خشکی رودخانه نمی‌تواند از چنین توربین‌های عبور کند. بنابراین تجمع آب در مخزن و تغییرات قابل توجه جریان رودخانه از نتایج غیرقابل اجتناب خواهد بود. بروز این مسئله آغازگر مشکلات زیست‌محیطی و اثرات مخربی است که پیشتر به آن اشاره شد. توربین‌ها قادرند تنها یک مقدار مشخص از آب را انتقال دهند. محدوده این مقدار انتقال به افت مجاز بازدهی ماشین بستگی دارد. به طور کلی محدوده منطقه کاربری موتورهای هیدرولیکی با رابطه $\eta_m = k_t \eta_v$ بیان می شود که در آن k_t ضریب رژیم و η_v بازده اسمی

سایت اینترنتی انجمن متخصصان ایران: www.irsen.org



ماشین است. معمولاً این مقدار، با ماکزیمم بازده ماشین برابر است. در برخی موتورها و پمپ‌های هیدرولیکی، ۰/۵۸، ضریب رژیم قابل قبولی است که معادل ۵۱٪ مجاز کمتر از شرایط رژیم بهینه می‌باشد. لازم به ذکر است که ضریب رژیم توربین‌ها بسته به توان توربین در محدوده ۰/۵۸ تا ۰/۵۹ تغییر می‌کند. ضریب یکنواختی رواناب رودخانه (برحسب زمان) $k_{ru} = Q_{rmax} / Q_{rmin}$ معمولاً بسیار بزرگ‌تر از ضریب انتقال توربین k_{tu} است. این بدین‌معناست که عبور تمام دبی رودخانه از طریق یک توربین بدون تجمع آب در یک مخزن غیرممکن است و این در حالی است که معمولاً ضریب یکنواختی رواناب رودخانه چندین برابر ضریب انتقال توربین است.

افزایش قدرت انتقال مولد و کاهش هیدروپیک

به طور کلی انتقال در مولد نیرویی که دارای دو یا سه توربین است در مقایسه با مولدی با توربین واحد و توان برابر ۲ تا ۳ برابر بیشتر است. چنانچه رواناب رودخانه خیلی نامنظم باشد، تعداد زیادی توربین با توان یکسان لازم است. اما در چنین حالتی نصب چندین توربین غیرمنطقی است و بکارگیری توربین‌هایی با توان‌های مختلف عقلانی‌تر است. توربین اول با توجه به توان کمتر و براساس کمترین دبی ممکنه انتخاب می‌شود. مینیمم انتقال توربین بعدی نباید به ماکزیمم دبی توربین اول برسد. مینیمم انتقال توربین سوم باید با مجموع دبی‌های ماکزیمم دو توربین کوچک‌تر تنظیم شود؛ چهارمی با مجموع دبی‌های ماکزیمم سه توربین کوچک‌تر و به همین ترتیب برای انتخاب توربین‌های بعدی از چنین روندی پیروی می‌کنیم. در چنین حالتی تمام بازه دبی‌های رودخانه ممکن است با دو یا سه، و خیلی به ندرت، با چهار توربین با توان‌های مختلف تأمین شود.

اگر نوع و ضریب انتقال تمام توربین‌های موردنظر، یکسان باشد، تعداد توربین‌ها را می‌توان با رابطه زیر به دست آورد:

$$(k_{tc}+k_{tc}^2+ k_{tc}^3+... + k_{tc}^m)|k_{ru} \qquad (۴)$$

که در آن m تعداد توربین‌هاست. مقادیر m و k_{tc} در (جدول ۱) آورده شده است. این جدول به خوبی نشان می‌دهد که افزایش تعداد توربین‌ها و ضریب انتقال، باعث افزایش سریع انتقال مولد برقابی می‌شود. با توجه به گرانی توربین‌ها استفاده از توربین‌هایی با دامنه انتقال بالا مفیدتر از افزایش تعداد توربین‌هاست.

بررسی توربین‌هایی با دامنه انتقال وسیع ما را به سمت انتخاب توربین‌های متعامد سوق می‌دهد. ضریب انتقال این توربین‌ها به ۵ می‌رسد. علاوه بر این می‌توان ضریب را با معرفی یک مقسم برای قسمت متحرک توربین به سادگی افزایش داد (شکل ۱).

توربینی که شامل مقسم باشد قادر است در عرض یک‌سوم و دوسوم کار کند، و عرض یک متحرک کامل برای دو و حتی سه توربین با انتقال متفاوت عمل می‌کند. در اینجا باید اشاره کرد که ضریب توربینی که با عرض متحرک یک‌سوم و دوسوم کار می‌کند کمتر از توربینی است که با عرض کامل کار می‌کند.

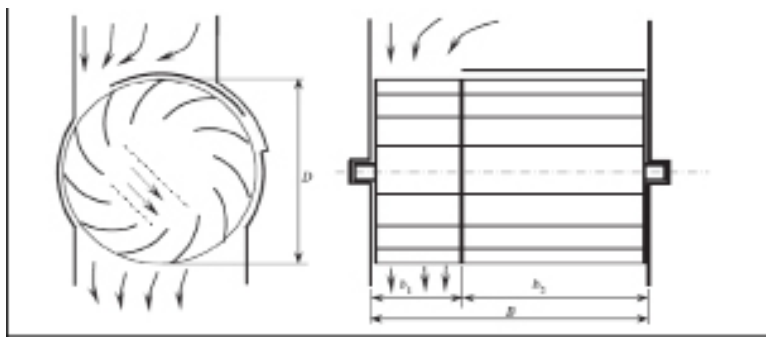
توربین‌های استاندارد HPP با سرعت چرخشی ثابتی کار می‌کنند. در این حالت منطقه کار توربین در محدوده خطوط ۱ و ۲ است (شکل ۲). دور شدن از نقطه رژیم نرمال N باعث ایجاد یک افت کاملاً ناگهانی در بازده توربین می‌شود. نقطه بازدهی ماکزیمم برای هر دبی را می‌توان در دیاگرام تجمعی یافت. در شکل ۲، نقاط Q_{ts*} و Q_{tl*} نشان‌دهنده حداکثر بازدهی هستند و محدوده $Q_{ts*}-Q_{tl*}$ که بازه وسیعی از دبی‌های را در برمی‌گیرد منطقه رژیم بهینه خواهد بود. علاوه بر این هر نقطه از خط که متناظر با یک دبی مشخص باشد، در آن دبی بازده ماکزیمم است (شکل ۲). بنابراین رژیم سرعت چرخشی متغیر با تولید انرژی لازم و افزایش بازدهی، قدرت انتقال دهی توربین را افزایش می‌دهد. افزایش انتقال‌دهی توربین با سرعت‌های چرخشی متغیر به منزله هماهنگی کار مولدها با محیط‌زیست است چراکه در این حالت میزان نوسانات ناشی از فرکانس چرخشی توربین‌ها در دریاچه کاهش یافته و اثرات مخرب ناشی از هیدروپیک به حداقل می‌رسد.

سایت اینترنتی انجمن متخصصان ایران: www.irsen.org

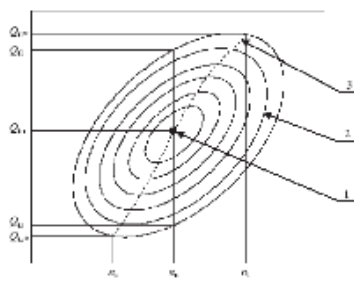
جدول شماره ۱. عبارت $(k_{tc}+k_{tc}^2+ k_{tc}^3+... +k_{tc}^m)$ برای مقادیری از m و k_{tc}

ضریب k_{tc}	تعداد توربین‌ها				
	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۱	۲	۳	۴	۵
۲	۲	۶	۱۴	۳۰	۶۲
۳	۳	۱۲	۳۹	۱۱۰	۳۵۳
۴	۴	۲۰	۸۴	۳۴۰	۱۳۶۴

شکل شماره ۱



شکل شماره ۲



دیاگرام توربین: ۱ـ نقطه رژیم اسمی
۲ـ خطوط
۳ـ خط رژیم بهینه

سایت اینترنتی انجمن متخصصان ایران: www.irsen.org

با ایجاد جریان منتاوب ایده رژیم توربین‌های با سرعت متغیر تحقق می‌یابد. در این حالت دامنه نوسانات توربین محدود و قابل کنترل بوده و می‌توان برحسب میزان موردنیاز آن را کنترل کرد. کنترل نوسانات هیدروپیک هدف ما در جهت کاهش اثرات مخرب مولد برقابی را تأمین می‌کند.

در یک توربین مشخص رابطه بین پارامترهای $n - Q$، $\eta_t - Q$ و $P_t - Q$ معلوم است. با داشتن n (سرعت چرخشی برحسب دور بر دقیقه) و η_t (بازده توربین) می‌توان رابطه‌ای سینوسی بین این دو متغیر برقرار کرد. n تابعی است از Q و لذا می‌توان η_t را برحسب n و Q نوشت. با داشتن مقداری ثابت برای هد آب (H)، رابطه کلی توان توربین برحسب دبی و راندمان به فرم کلی زیر قابل ارائه خواهد بود:

$$P_t = 9.81HQ\eta_t = \alpha Q\eta_{tru} \quad (۵)$$

که در آن P_t توان توربین برحسب KW، H هد آب برحسب m، Q دبی جریان برحسب m^3/s، α حاصل‌ضرب هد آب در عدد ۹/۸۱ و η_t بازده توربین خواهد بود. این معادله برای بررسی رژیم کار نمونه، مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید دانست که انتخاب چنین پارامتری به عنوان فرکانس کاملاً مستقل از فرکانس چرخشی توربین (rpm) و بزرگی بار توان مولد است. به این ترتیب می توان رژیم مستقلی برای دبی های مختلف و فرکانس چرخشی توربین به دست آورد.

در این حالت با وجود آنکه دامنه تغییرات دبی وسیع است، اما تغییرات ولتاژ بسیار کم و شدت جریان در آن بسیار محدود خواهد بود. این خصوصیات می‌تواند هماهنگی مناسبی بین توربین و جریان‌های رودخانه برقرار می‌کند.

نتیجه‌گیری و بحث

اقدامات عملی که در جهت حفظ زیستگاه و کاهش هیدروپیک مولدهای برقابی می توان انجام داد به این شرح است:

- طراحی تعریض رودخانه باید تا آنجا که ممکن است بزرگ، طولانی و قطعه‌بندی شده باشد. خاکریز بازسازی شده باید کاملاً نشت‌بندی شود تا از صعود سطح ایستابی در مناطق مسکونی جلوگیری کند.
- به منظور تضعیف هیدروپیک‌ها در رودخانه‌های منتهی به دریاچه، آب عبوری از توربین باید در حوضچه آرامش یا مخازن زیرزمینی پیش از ورود به رودخانه ذخیره شوند.
- قطع و وصل یکنواخت‌تر و آرام‌تر توربین‌ها می‌تواند منجر به تولید هیدروپیک‌هایی با سرعت آرام‌تری شود. روش‌های «ملایم» اینچنینی تنها در ترکیب با اقدامات «سخت» که در بالا با آن اشاره شد مؤثر خواهند بود.
- بازسازی زیستگاه ماهیان در رودخانه تنها زمانی می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد که پیشرفت‌های سازه‌ای با اقدامات مربوط به کمبودهای هیدرولوژیکی مانند هیدروپیک و جریان رسوبی همراه باشد.
- مولدهای برقابی معمولی با یک یا چند توربین با توان یکسان محیط‌زیست را منفعل کرده و خسارت وارد می‌سازد.
- برای کاهش اثرات مولدهای برقابی بر جریان رودخانه و محیط‌زیست باید از دو یا چند توربین با توان مختلف استفاده کرد.
- بازه انتقال توربین‌های متعامد وسیع است، لذا برای کاربری‌های گسترده در توسعه برقاب رودخانه‌های کوچک می‌توانند توصیه شوند.
- افزایش انتقال‌دهی توربین، امکان راه‌اندازی توربین‌ها در سرعت‌های چرخشی متغیر را فراهم آورده و هماهنگ‌سازی کار مولدها با محیط‌زیست را فراهم می‌آورد.
- با ایجاد جریان منتاوب ایده رژیم توربین‌های با سرعت متغیر تحقق می‌یابد. در این حالت دامنه نوسانات توربین محدود و قابل کنترل بوده و می‌توان برحسب میزان موردنیاز آن را کنترل کرد.
- در توربین‌های مذکور دامنه تغییرات ولتاژ نسبت به تغییرات دبی ناچیز بوده و اثرات مخرب هیدروپیک ناشی از وجود مولد برقابی به شکل چشمگیری قابل کاهش خواهد بود.

سایت اینترنتی انجمن متخصصان ایران: www.irsen.org

منابع

1) Loizeau, J. L., & Dominik, J. “Evolution of the Upper Rhone River discharge and suspended sediment load during the last 80 years and some implications for Lake Geneva”. Aquatic Sciences, 2000, No. 62.

2) Friedl, G., & Wueest, A. “Disrupting biogeochemical cycles – consequences of damming”. Aquatic Sciences, 2002, No. 64.

3) Cereghino, R., & Lavandier, P. “Influence of hypolimnetic hydropeaking on the distribution and population dynamics of Ephemeroptera in a mountain stream”. Freshwater Biology, 1998, No. 40.

4) Meier, W., Bonjour, C., Wueest, A., & Reichert, P. “Modeling the effect of water diversion on the temperature of mountain streams”. Journal of Environmental Engineering-ASCE, 2003, No. 129.

5) Balcciunas, P.; & Zdankus, N,” Harmonization of hydropower plant with the environment”, Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2005, No. 11

6) Schaelchli, U. “Basic equations for siltation of riverbeds”. Journal of Hydraulic Engineering, 1995, No. 121.

7) Brunke, M., & Gonser, T. “The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater”. Freshwater Biology, 1997, No. 37.

8) Schmetterling, D. A., Clancy, C. G., & Brandt, T. M. “Effects of riprap bank reinforcement on stream salmonids in the western United States”. Fisheries, 2001, No. 26.

9) Moog, O. “Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts”. Regulated Rivers Research & Management, 1993, No. 8.

10) Harvey A. “Micro-hydro design manual. A guide to small-scale water power schemes”. UK: Intermediate Technology Publications; 1993.

11) Z¡ dankus N. “Small power turbine modi.cation possibilities. Renewable energy in agriculture”. Proceedings of inter national conference. Raudondvaris, 1999.

سایت اینترنتی انجمن متخصصان ایران: www.irsen.org

New methods on coordination between hydropower plants and environment

B. Naghavi, Master student of Hydraulic structures, Water Engineering Faculty, Mashhad Ferdousi University ben_na80@yahoo.com
M. Hosseinpour Tehrani, Master student of Hydraulic structures, Water Engineering Faculty, Mashhad Ferdousi University
F. Kourosh Vahid, Msc. of Hydraulic structures, Water Engineering Faculty, Mashhad Ferdousi University

Abstract
The Hydro peaks induced by frequent starting and stopping of hydropower plant turbines are considered to cause the erosion of riverbed, more sediment generated, reduced permeability of the riverbank and also their regularity and high temporal frequency produce grave impacts on river environment. Low fluctuation of natural river flow leads to low harm and provide best situation for environment. Thus, rehabilitation and hydro peak reduction of hydropower plant are the effective affairs for environment support. This can be realized by a combination of different hard technical and soft operational measures such as retention reservoirs or slower up and down ramping of turbines. The characteristics of several turbine types are analyzed. The carrying capacity of a cross flow turbine is regarded to have the widest range. In addition, the width of the range may be expanded with special auxiliary equipment. This type of turbine is equivalent to two or even three turbines of varying capacities, and it can handle the discharges from any season. Rehabilitation and change in hydropower plant turbine for hydro peak reduction are discussed in this study and results show the efficiency of these changes.

Key words: Hydro peak, Turbine, Rehabilitation, Environment

سایت اینترنتی انجمن متخصصان ایران: www.irsen.org