بکارگیری نیروگاه برق– آبی کوچک بر روی خطوط انتقال آب با مطالعه موردی خطوط انتقال آب بجنورد ، زاهدان وبیرجند

امیربشیرزاده تبریزی[۱]؛نصیرگیفانی[۲]؛علی فرهمند[۳]

چکیده

در این مقاله ابتدا به بررسی تاریخچه به کارگیری نیروگاههای برق-آبی کوچک در جهان و در سطح ایران ،با توجه ویژه به استفاده از نیروگاههای مذکور درخطوط انتقال آب پرداخته شده و سپس با توجه به توپوگرافی و ویژگیهای خطوط انتقال مورد بررسی ، انرژی در دسترس برای سه خط انتقال آب مورد ارزیابی قرار گرفته است . پس از آن با توجه به انرژی در دسترس، هزینه های سرمایه گذاری اولیه و در آمد کل نیروگاه برق-آبی در طول دوره بهره برداری، نسبت سود به هزینه وسایر محاسبات اقتصادی مورد توجه و هزینه های تولید انرژی یکسان از سایر منابع با انرژی تولید شده از نیروگاه برق-آبی کوچک مقایسه شده است.در انتها با توجه به مزایای زیست محیطی بکارگیری این نیروگاهها در خطوط انتقال آب،مسایل مربوط به نحوه استفاده از برق تولیدی و راهکارهای لازم جهت استفاده بهینه از انرژی در دسترس در خطوط انتقال آب ارایه و جایگزینی شیرهای فشار شکن(کنترل دبی) مورد استفاده در خطوط انتقال آب با نیروگاههای برق-آبی کوچک به عنوان یک راهکار اساسی جهت صرفه جویی و بازیافت انرژی در طراحی و اجرای خطوط انتقال آب پیشنهادگردیده است.

واژه های کلیدی:خطوط انتقال آب، نیروگاه برق-آبی کوچک،انرژی در دسترس،انرژی تجدیدپذیر

مقدمه

مروری گذرا به سابقه استفاده از انرژی آبی نشان می دهد که استفاده از این منبع تجدیدپذیر انرژی دارای فراز و نشیب هایی بوده است، به طوری که در قرن ۱۹ به واسطه پیشرفت صنعتی، تولید الکتریسته ازنیروگاه های آبی کوچک مورد توجه بوده ولی بعداً به واسطه فراوانی و ارزانی منابع سوخت های فسیلی،پتانسیل های آبی بزرگ و انرژی خورشیدی،استفاده از نیروگاه های آبی کوچک رو به افول نهاد تا اینکه در سال های اخیربه واسطه محدودیت منابع انرژی ، پیامدهای اجتماعی ، محدودیت های زیست محیطی و دوره ساخت طولانی نیروگاه های آبی بزرگ، نیروگاه های آبی کوچک دوباره موردتوجه قرارگرفت . دلایل این توجه بسیار است که در این میان می توان به محدودیت منابع سوخت فسیلی ، وجود پتانسیل های آبی فراوان در مناطق مصرف انرژی(به خصوص روستاها)، توجه به منابع انرژی تجدیدپذیر به لحاظ عدم مشکلات زیست محیطی، بازگشت سریع سرمایه، ساخت آسان و عدم نیاز به مهارت های ویژه، عمر طولانی و هزینه بهره برداری و نگهداری پائین اشاره نمود[1].

بر اساس تخمین اولیه، انرژی آبی قابل استحصال در جهان ۲۶۱۲۰۰۰ مگاوات می‌باشد که ۵ تا ۱۰ درصد آن مربوط به نیروگاه برق- آبی کوچک است. بهره‌برداری از نیروگاه برق-آبی کوچک با استقبال فزاینده‌ای در نقاط مختلف جهان به ویژه در مناطق دور افتاده که نمی‌توانند از خطوط انتقال نیرو استفاده نمایند، رو به رو است. برای نمونه کشور چین از این نظر پیش قدم است به طوری که تا آخر سال ۱۹۸۳ حدود ۷۶۰۰۰ مولد برق- آبی کوچک در آن کشور نصب شده که ظرفیت آن بیش از ۸۵۰۰ مگاوات است. جدول ۱ تعداد و میزان نیروی برق تولیدی از نیروگاههای برق- آبی کوچک در چند کشور بزرگ اروپایی را تا سال ۲۰۰۵ را نشان می دهد[2]. زمانی نصب نیروگاه‌های برق- آبی کوچک در نظر گرفته می‌شوند که کارهای ساختمانی مورد نیاز و نیز هزینه‌های انجام آن‌ها حداقل باشد. به‌طور مثال:

۱-کارشناس ارشد مکانیک،شرکت مهندسی مشاور طوس آب،کارشناس بخش خطوط انتقال آب،bashirzadeh@hotmail.com
۲-کارشناس ارشد مکانیک،شرکت مهندسی مشاور طوس آب، رییس بخش خطوط انتقال آب، nssrgifani@gmail.com
۳-کارشناس ارشد مکانیک،شرکت مهندسی مشاور طوس آب،کارشناس بخش خطوط انتقال آب، alifarahmand@yahoo.com

-نصب نیروگاه در محل سدهای موجود
-نصب نیروگاه در محل خطوط لوله
-نصب نیروگاه در محل کانال‌ها

جدول(۱):تعداد و میزان نیروی برق تولیدی از نیروگاههای برق- آبی کوچک در چند کشور بزرگ اروپایی

Country	Quantity of SHP	Total Power, MW	% in Total Hydro-power Production	% in Total Power Production
Germany	6200	1500	17	1.3
France	1730	2000	8	1.8
Austria	1700	866	8	5
Italy	1510	2230	11	3
Spain	1106	1607	9	3
Denmark	40	11	100	0.1
Netherlands	3	2	2	0.01

ایده نیروگاه‌های کوچک در مواردی استفاده می شود که جریان آب یا سایر مایعات دیگر مانند خروجی فاضلاب یا جریان آب شور و ... وجود داشته باشد و ارتفاع (هد) مناسبی هم موجود باشد. واحدها ممکن است بسته به شرایط فیزیکی سایت، شفت‌هایی به صورت عمودی، افقی و یا مورب داشته باشند. در حالت کلی تفاوتی بین تجهیزات کنترلی واحدها باشفت افقی و عمودی وجود ندارد. تجهیزات مورد نیاز کاملاً به شرایط کاری پروژه مورد نظر بستگی دارند[3].
در بعضی از خطوط آبرسانی ثقلی نیازی به استفاده از همه انرژی پتانسیل دردسترس، جهت انتقال آب نبوده و مازاد انرژی مورد نیاز توسط تجهیزات اتلاف انرژی نظیر شیرهای فشار شکن مستهلک می گردد. دراین گونه خطوط انتقال می توان با استفاده از نیروگاههای آبی، این انرژی مازاد را بازیافت نموده و انرژی الکتریکی مورد نیاز تجهیزات مسیر و یا حتی برق مصرفی روستاهای مسیر خط انتقال را تامین نمود که معمولاً این امکان در مسیرهای دارای توپوگرافی با شیب تند وجود دارد.
نیروگاه‌های برق آبی را بر حسب ظرفیتشان به دسته‌های میکرو (Micro)، مینی(Mini)، کوچک(Small) و بزرگ تقسیم بندی می کنند هر چند در این زمینه توافق کلی وجود ندارد اما محدوده های ذکر شده در این مورد به یکدیگر نزدیک می‌باشند. به عنوان نمونه این طبقه بندی بر اساس استاندارد IEEE به صورت زیر میباشد[1]:
الف- نیروگاه‌های برق آبی مینی یا میکرو (Mini / Micro Hydro Electric Power Plant)
واحدهای مینی یا میکرو به واحدهای با خروجی توان کمتر از ۱۰۰ kw گفته می‌شود.
ب-نیروگاه‌های برق آبی کوچک(Small Hydro Electric Power Plant)
واحدهای کوچک (small) به واحدهای با خروجی کمتر از 5MW گفته می‌شود.
تجهیزات نیروگاه برق آبی کوچک را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود:

- تجهیزات اصلی (major) : مستقیماً در ارتباط با توزیع و انتقال توان هستند مانند: توربین ،ژنراتور ، سیستم تحریک ، سیستم کنترل بار و سرعت واحد(گاورنر) ، ترانس ها، تجهیزات پست و ...
- تجهیزات کمکی (auxiliary) : به تجهیزاتی گفته می‌شود که از عملکرد تجهیزات اصلی پشتیبانی می‌کنند. مثل تجهیزات کنترل واحد، سیستم‌های حفاظتی، سیستم مصرف داخلی و ...

توربین نیروگاه‌های آبی کوچک را می توان از هرکدام از انواع توربین‌های تجاری انتخاب کرد. در یک دسته‌بندی کلی، هیدروتوربین‌ها، به دو دسته توربین‌های عکس العملی و ضربه‌ای تقسیم می‌شوند که هر کدام از این انواع، نمونه‌های تجاری مختلفی دارند .

خط انتقال آب از سد شیرین دره به شهر بجنورد

خط انتقال آب از محل سد شیرین دره به شهر بجنورد به طول ۴۷ کیلومتر از جنس فولاد و فایبر گلاس می باشد که حدود ۹۵۰ لیتر بر ثانیه آب را انتقال می دهد.درخط لوله آبرسانی از سد شیرین دره به شهر بجنورد به دلیل نیاز به عبور از ارتفاعات بدرانلوبا رقوم ارتفاعی ۱۳۶۷ متر،چهار مرحله پمپاژ در نظر گرفته شده است. با توجه به توپوگرافی مسیر خط لوله در بعد از نقطه خط الراس مسیر، که محل استقرار تصفیه خانه آب طرح می باشد، بخشی از انرژی

موجود جهت انتقال ثقلی آب از طریق لوله به قطر ۷۰۰ میلیمترمورد استفاده قرار می گیردو در حدود ۱۲۰متر هد ارتفاعی دردسترس باقی می ماند که می توان بر روی امکان استفاده از آن بررسی های فنی و اقتصادی لازم را انجام داد.

خط انتقال آب ازچاه نیمه شماره ۳ به شهر زاهدان

مسیر خط لوله انتقال آب از چاه نیمه شماره ۳ به شهر زاهدان مشتمل بر ۱۹۲.۴ کیلومترو از جنس فولادی به قطر ۹۰۰ میلیمتر است که از قسمتهای متفاوتی از نظر توپوگرافی ، جنس زمین و عوارض طبیعی تشکیل شده و دارای چهار مر حله ایستگاه پمپاژمی باشد و وظیفه انتقال ۸۵۰ لیتر بر ثانیه آب را برعهده دارد .انتقال آب در آخرین قسمت مسیر خط انتقال از مخزن تعادل در کیلومتر ۱۶۴.۷ تا محل تصفیه خانه آب به طول حدود ۲۸ کیلومتر تحت تاثیر نیروی ثقل صورت می گیرد.با توجه به رقوم ارتفاعی مخزن متعادل کننده موجود در خط انتقال آب از مخزن چاه نیمه شماره ۳ به شهر زاهدان (متر۱۵۴۵.۷۲) و رقوم ارتفاعی آب در محل ورودی تصفیه خانه آب شهر زاهدان (متر۱۴۳۸.۷)و افت دینامیکی خط انتقال از محل مخزن متعادل کننده تا ورودی تصفیه خانه (حدود ۴۵متر) امکان بهره گیری از حدود ۶۰ متر ارتفاع آب موجود جهت استحصال انرژی الکتریکی در محل ورودی تصفیه خانه موجود می باشد که هم اکنون با استفاده از شیرهای سوزنی این انرژی مستهلک می گردد.

خط انتقال آب به شهر بیرجند از دشت مختاران

مسیر خط انتقال از دره رکات واقع در رشته کوه باقران عبور کرده و با طول کل ۶۸ کیلومتر دبی ۳۰۰ lit/s را از محل چاههای منطقه گیو به محل مخزن جنوب شهر بیرجند با استفاده از لوله های چدنی،فولادی و فایبر گلاس انتقال می نماید. در این مسیر، آب با دبی ۳۰۰lit/s پس از انتقال از چاههای منطقه گیو (رقوم ارتفاعی ۱۶۰۰-۱۵۰۰m) تا مخزن متعادل کننده (رقوم ارتفاعی ۲۰۰۰ متر) توسط دو مرحله در ایستگاه پمپاژ شماره یک (رقوم ارتفاعی ۱۶۵۰ متر) و ایستگاه پمپاژ شماره دو (رقوم ارتفاعی ۱۸۰۰ متر) پمپاژ می شود. پس از مخزن متعادل کننده تا محل مخزن سرویس شهر بیرجند در رقوم ارتفاعی ۱۷۴۰ متر با توجه به شیب زیاد مسیر، استفاده از مخزن فشار شکن ضروری است. انتقال آب از مخزن متعادل کننده با رقوم ارتفاعی ۲۰۰۰ متر تا مخزن فشار شکن در رقوم ارتفاعی ۱۷۴۰ متر با استفاده از لوله فولادی به قطر ۵۰۰ میلیمتر به طول تقریبی ۵.۸ کیلومتر به صورت ثقلی می باشد. دبی خط در این مسیر توسط یک عدد شیر کنترل دبی که در انتهای خط (در محل مخزن فشار شکن) در نظر گرفته شده است، کنترل می شود.با توجه به رقوم ارتفاعی مخزن متعادل کننده ، رقوم ارتفاعی مخزن فشار شکن و افت اصطکاکی مسیر امکان استفاده از حدود ۲۳۰ متر آب جهت بازیافت انرژی موجود می باشد.

انرژی قابل دسترس

مهمترین مساله در احداث نیروگاههای برق-آبی، تخمین توانمندی یک محل در تولید انرژی یا ظرفیت نصب نیروگاه است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$P = \rho.g.Q.H.\eta / 1000 \quad (۱)$$

که در آن P توان مکانیکی (نیروی تولید) بر حسب کیلو وات برق تولیدی،ρ وزن مخصوص آب که برابر با $1000kg/m^3$ می باشد، g شتاب ثقل زمین برابر با $9.8m/s^2$ ، Q آبدهی رودخانه یا دبی خط انتقال بر حسب m^3/s، H ارتفاع موثر یا خالص آب بر حسب m و η راندمان کل ژنراتور و توربین بوده که از حاصلضرب راندمان ژنراتور(ηg) در راندمان توربین (ηt) به دست می آید.بنابراین:

$$P = 9.8Q.H.\eta \quad (۲)$$

مقادیر (ηg)و(ηt) به ترتیب حدود ۰.۹۵ ، 0.90 می باشد و مقدار η برابر با 0.855 و رابطه (۳) به شکل زیر ساده می گردد.

$$P = 8.38Q.H \quad (۳)$$

مطابق رابطه فوق دو عامل موثر در تولید انرژی، مقدار دبی و ارتفاع موثر می باشد. در نیروگاههای کوچک آبی که برروی خطوط انتقال آب نصب می گرددبه طور معمول ، ارتفاع و دبی ً برای هر جایگاه ثابت می باشد.
با توجه به رابطه (۳)ظرفیت نصب نیروگاه برروی خطوط انتقال آب زاهدان، بجنورد و بیرجند به صورت زیر می باشد:

ظرفیت نصب نیروگاه برروی خط انتقال آب زاهدان $P = 8.38 * 0.85 * 60 = 427KW$
ظرفیت نصب نیروگاه برروی خط انتقال آب بجنورد $P = 8.38 * 0.95 * 120 = 955KW$
ظرفیت نصب نیروگاه برروی خط انتقال آب بیرجند $P = 8.38 * 0.30 * 230 = 578KW$

ارزیابی اقتصادی

در ارزیابی نیروگاه های آبی کوچک، هزینه و درآمدهای طرح، مدت زمان بازگشت سرمایه، قیمت انرژی الکتریکی تولیدی و نرخ بازده داخلی سرمایه، شاخص های نهایی برای مقایسه کامل مؤلفه های مختلف می باشد. جهت تعیین بهای هر کیلووات ساعت انرژی استحصالی از نیروگاه برق -آبی کوچک، هزینه اولیه سرمایه گذاری از عوامل تاثیر گذار اصلی است که باید به طور مناسب پیش بینی شود.
در حال حاضر اطلاعات جامع از هزینه این نوع نیروگاه وجود ندارد، اما محاسبات اقتصادی به عمل آمده چندین نیروگاه در حال بهره برداری و مطالعه بیش از یکصد نیروگاه و همچنین تجربه کشورهای مختلف جهان مبنای محاسبات قرار گرفته است; رابطه شماره(4) ، هزینه متوسط احداث پروژه های نیروگاه آبی کوچک مربوط به کشورهای شرق آسیا، کانادا و آمریکا می باشد[5].

$$C_k = K(P.H^{-0.3})^{0.82}\$ \quad (۴)$$

که در آن Ck هزینه احداث نیروگاه برحسب دلار، P ظرفیت جایگاه برحسب کیلووات، H هد جایگاه به متر و K ضریب تجربی است که از اجرای پروژه های نیروگاه های آبی کوچک در آمریکا و کانادا استخراج گردیده و مقدارآن ۲۲۲۰۰ منظور می شود. با توجه به اینکه میزان تغییرات هزینه کارهای سا ختمانی در هر کشور نسبت به کشورهای دیگر متغیر می باشد برای تخمین میزان هزینه های ساختمانی کشورها نسبت به کشور مبنا از ضریب مناسبی استفاده می شود که مقدار آن در ایران، 91%آمریکا و در شرق آسیا، % 60 آمریکا می باشد [5] .علاوه بر آن عوامل زیر نیز در هزینه تمام شده نیروگاه آبی کوچک درکشورهای مختلف دخیل می باشد; میزان دسترسی و هزینه نیروی انسانی، شرایط جغرافیایی و مشکلات دسترسی به محل، میزان دسترسی و هزینه مواد، نرخ مبادله دلار و خرید تجهیزات ، ودر نهایت هزینه حمل و نقل؛ نوساناتی است که ممکن است طی دوره زمانی در هزینه حاصل شود.
با توجه به موارد مذکور، رابطه شماره (۴)به صورت زیر خواهد بود:

$$C_k = L.K(P.H^{-0.3})^{0.82}\$ \quad (۵)$$

که L برای شرق آسیا 0.7 می باشد[5].لذا با توجه به روابط (۳)و (۵) متوسط هزینه تقریبی احداث نیروگاه آبی کوچک در ایران را می توان به صورت رابطه زیر در نظر گرفت[5] :

$$C_k = 91449(Q.H^{0.7})^{0.82}\$ \quad (۶)$$

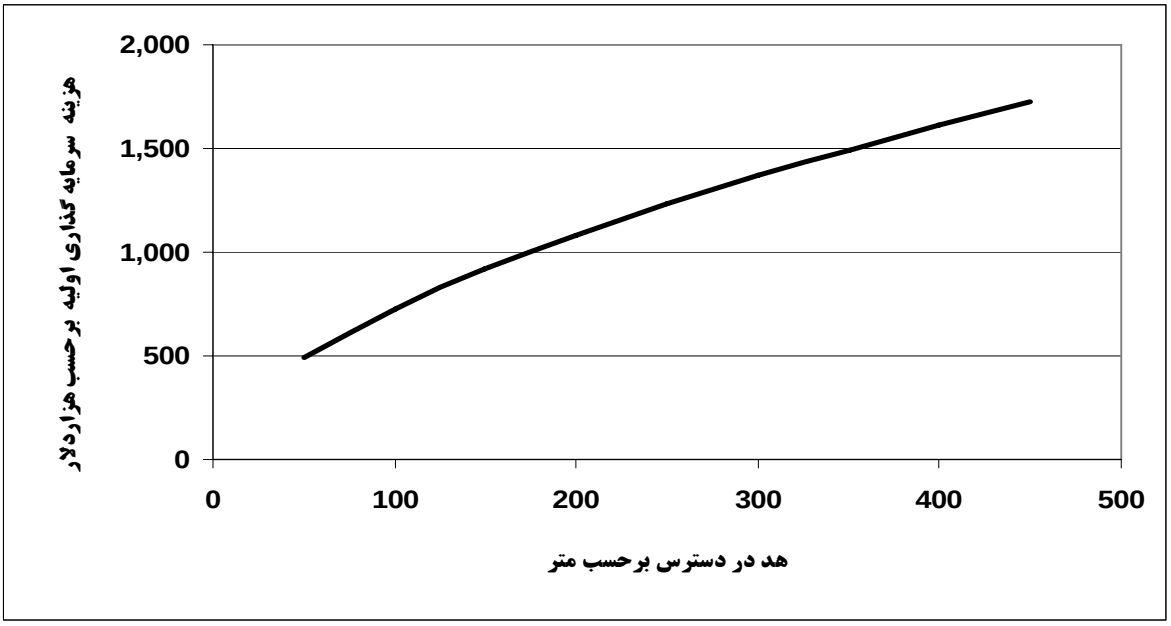
که در این رابطه Ck مجموع هزینه های ساختمانی و تجهیزات الکترومکانیکال بر حسب دلار آمریکا، Q دبی خط انتقال برحسب m^3/s و H ارتقاع موثر یا خالص آب بر حسب m می باشد.با توجه به تعیین بهای آزاد برق در قانون بودجه سال ۸۷ به میزان ۷۷۳ ریال($۰.۰۸۴) به ازای هر کیلووات ساعت و با در نظر گرفتن دوره بهره برداری ۲۵ ساله از نیروگاههای برق-آبی کوچک میتوان میزان سود به هزینه را برای هر کدام از نیروگاههای مورد بررسی محاسبه نبود.جدول ۲ هزینه های پیش بینی شده جهت سرمایه گذاری اولیه، بهره برداری، سود حاصل از فروش برق تولیدی و همچنین نسبت سود به هزینه(B/C) برای هرکدام از طرحهای پیشنهادی را نشان می دهد. از آنجا که این نیروگاهها در مسیر لوله آبرسانی نصب خواهد شد و با فرض اینکه جریان آب در این خطوط در تمام مواقع برقرار خواهد بود (به استثنای موارد اضطراری که جریان آب به عللی مانند شکستن و یا تعمیرات خط لوله قطع می گردد)، پیش بینی می شود که واحد نصب شده بطور شبانه روزی و در اکثر مواقع سال کار خواهد کرد. مسلم است که این واحد گاهی احتیاج به سرویس و یا تعمیرات داشته و در نتیجه متوقف و از خط خارج خواهد شد. با در نظر گرفتن اینکه اصولا" زمانی که برای سرویس و یا تعمیرات توربین های آبی در نظر گرفته می شود معمولا کم است، کل زمان توقف واحد

(بدون در نظر گرفتن مواردی که به علت عدم وجود جریان آب در لوله واحد متوقف خواهد بود) حدود ۵ هفته در سال بیشتر نخواهد بود.

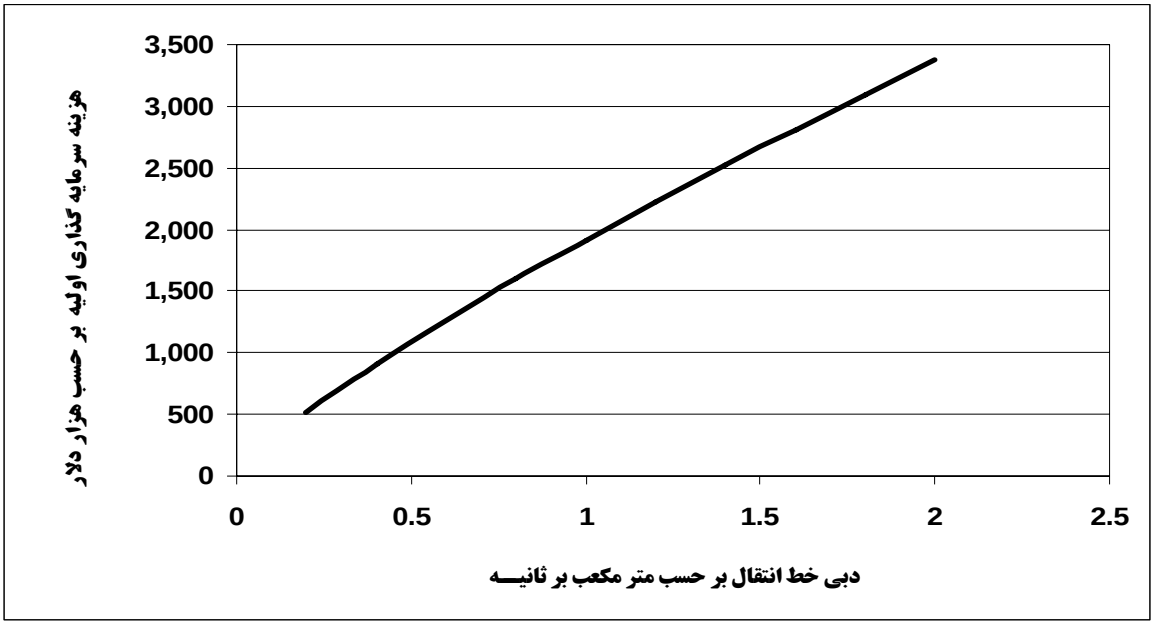
جدول(۲):هزینه های پیش بینی شده جهت هرکدام از طرحهای پیشنهادی بر حسب هزار دلار

هزینه	زاهدان			بیرجند			بجنورد		
هزینه احداث نیروگاه(تجهیزات الکترو مکانیکال و ابنیه)	۸۳۹			۷۷۳			۱۳۶۹		
هزینه سالیانه بهره برداری تجهیزات الکترو مکانیکال	۳۲			۲۹			۵۳		
هزینه سالیانه بهره برداری ابنیه	۶			۶			۹		
درآمد سالیانه فروش برق تولیدی	۲۸۴			۳۸۴			۶۳۵		
نرخ بهره(%)	۸	۱۰	۱۲	۸	۱۰	۱۲	۸	۱۰	۱۲
هزینه ۲۵ سال بهره برداری تجهیزات الکترو مکانیکال(در سال مبدا)	۳۴۱	۲۹۰	۲۵۱	۳۰۶	۲۶۰	۲۲۵	۵۷۰	۴۵۸	۴۱۹
هزینه ۲۵ سال بهره برداری ابنیه (در سال مبدا)	۶۴	۵۴	۴۷	۶۴	۵۴	۴۷	۹۶	۸۲	۷۱
هزینه کل در سال مبدا	۱۲۴۵	۱۱۸۴	۱۱۳۷	۱۱۴۳	۱۰۸۷	۱۰۴۴	۲۰۳۵	۱۹۳۶	۱۸۵۹
درآمد کل فروش برق تولیدی برای ۲۵ سال بهره برداری(در سال مبدا)	۳۰۳۲	۲۵۷۹	۲۲۲۸	۴۱۰۵	۳۴۹۰	۳۰۱۶	۶۷۸۲	۵۷۶۷	۴۹۸۳
نسبت سود به هزینه (B/C)	۲.۴۴	۲.۱۸	۱.۹۶	۳.۵۹	۳.۲۱	۲.۸۹	۳.۳۳	۲.۹۸	۲.۶۸

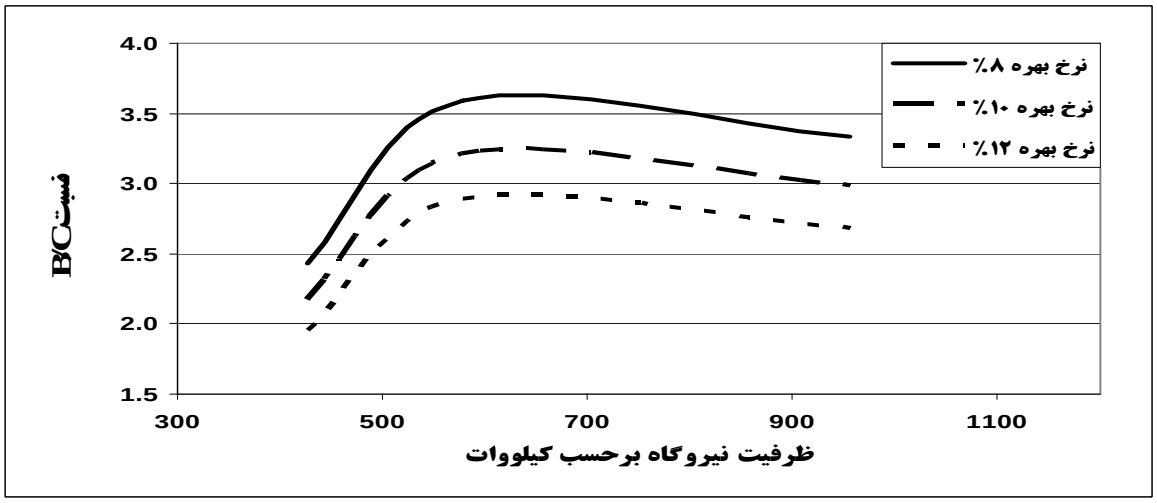
نمودارهای ۲،۱و ۳ به ترتیب رابطه هزینه سرمایه گذاری اولیه با هد در دسترس، هزینه سرمایه گذاری اولیه با دبی خط انتقال و رابطه نسبت سود به هزینه با ظرفیت نصب شده نیروگاههای مورد بررسی را نشان می دهد.



نمودار(۱): رابطه هزینه سرمایه گذاری اولیه با هد در دسترس برای نیروگاه با دبی ثابت ۰.۵ متر مکعب بر ثانیه



نمودار(۲): رابطه هزینه سرمایه گذاری اولیه با دبی خط انتقال برای نیروگاه با هد در دسترس ثابت ۲۰۰ متر



نمودار(۳): رابطه نسبت سود به هزینه با ظرفیت نصب شده نیروگاههای مورد بررسی

هزینه های انرژی جایگزین

در این قسمت جایگزینی نیروگاههای برق-آبی کوچک پیشنهادی برروی خطوط انتقال بجنورد ، زاهدان و بیرجند با مولدهای دیزل-ژنراتور دارای توان تولیدی مشابه، ازلحاظ اقتصادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. از آنجاییکه دربیشتر موارد استفاده از نیروگاه های کوچک محدود به مناطق روستایی ودورافتاده ای است که از شبکه سراسری برق به دلایل اقتصادی و غیره تغذیه نمی شوند [6]، لذا تولید انرژی الکتریکی با استفاده از مولدهای دیزل-ژنراتوربه عنوان جایگزین مورد توجه قرارگرفته است. اطلاعات ارایه شده در جدول۳ به عنوان اطلاعات پایه جهت ارزیابی اقتصادی مولدهای دیزل-ژنراتور مورد استفاده قرارگرفته است.[7].

جدول(۳): اطلاعات پایه جهت ارزیابی اقتصادی مولدهای دیزل-ژنراتور

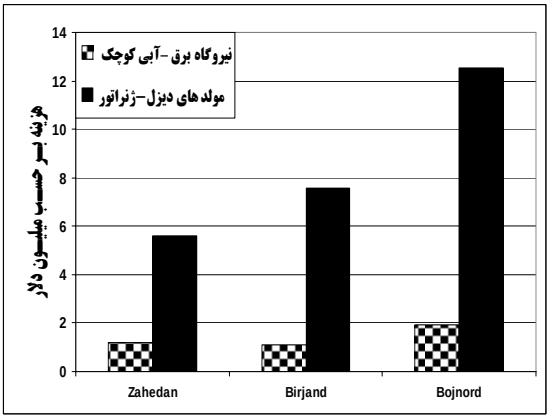
هزینه سرمایه گذاری اولیه مولد دیزل-ژنراتور	۲۰۰ دلار برای هر کیلووات
راندمان تبدیل	۲.۸ کیلوات ساعت برای هر لیتر گازوییل
قیمت گازوییل	۵۰ سنت برای هر لیتر

جدول۴ هزینه های پیش بینی شده جهت سرمایه گذاری اولیه، بهره برداری و سوخت مصرفی برای یک دوره بهره برداری ۲۵ ساله جهت جایگزینی نیروگاههای برق-آبی پیشنهادی با مولدهای دیزل-ژنراتور هم توان را نشان می دهد(زمان توقف مولدهای دیزل-ژنراتور نیز ۵ هفته در سال در نظر گرفته شده است) .

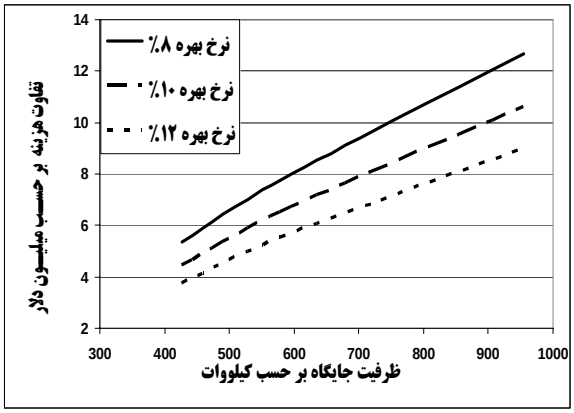
جدول(۴):هزینه های پیش بینی شده جهت جایگزینی نیروگاه برق-آبی با مولد دیزل-ژنراتور هم توان بر حسب هزار دلار

هزینه	زاهدان			بیرجند			بجنورد		
هزینه خرید و احداث مولد	۸۵			۱۱۶			۱۹۱		
هزینه سالیانه سوخت	۶۰۴			۸۱۷			۱۳۵۱		
هزینه سالیانه بهره برداری	۴			۶			۱۰		
نرخ بهره(%)	۸	۱۰	۱۲	۸	۱۰	۱۲	۸	۱۰	۱۲
هزینه سوخت برای ۲۵ سال (در سال مبدا)	6447	۵۴۸۲	۴۷۳۶	۸۷۲۶	۷۴۲۰	۶۴۱۱	۱۴۴۱۷	۱۲۲۶۰	۱۰۵۹۳
هزینه بهره برداری برای ۲۵ سال (در سال مبدا)	۴۶	۳۹	۳۳۰	۶۲	۵۲	۴۵	۱۰۲	۸۷	۷۵
هزینه کل در سال مبدا	۶۵۵۷	۵۶۰۶	۴۸۵۵	۸۹۰۳	۷۵۸۸	۶۵۷۲	۱۴۷۱۱	۱۲۵۳۸	۱۰۸۵۹

در نمودار۴ هزینه نهایی احداث و بهره برداری ۲۵ ساله از نیروگاه برق-آبی کوچک درسال مبدا با هزینه نهایی احداث و بهره برداری ۲۵ ساله از مولد های دیزل-ژنراتور هم توان در سال مبدا برای سه طرح مذکور با نرخ بهره ۱۰ درصد مقایسه شده است.نمودار ۵ نیز اختلاف هزینه احداث و بهره برداری نیروگاه برق –آبی کوچک و مولد های دیزل-ژنراتور بر حسب توان تولیدی برای نرخ بهره های متفاوت را نشان می دهد.



نمودار(۴): هزینه نهایی احداث و بهره برداری ۲۵ ساله از نیروگاهها و مولدهای دیزل-ژنراتور هم توان(نرخ بهره ۱۰٪)



نمودار(۵): تفاوت هزینه احداث و بهره برداری نیروگاه و مولد دیزل- ژنراتور بر حسب توان تولیدی برای نرخ بهره های متفاوت(دوره بهره برداری ۲۵ ساله)

استفاده از انرژی تولید شده در نیروگاه برق–آبی کوچک و منافع زیست محیطی

در حال حاضر تنها نیروگاههای برق-آبی کوچک و توربینهای بادی هستند که می توانند سهم زیادی در تولید انرژی الکتریکی تجدید پذیر برعهده داشته باشند.از طرف دیگر تولید انرژی الکتریکی در نیروگاههای برق-آبی کوچک منجر به تولید دی اکسید کربن و آلوده کننده های دیگر زیست محیطی نمی گردد[8]. در حقیقت نیروگاههای برق-آبی کوچک به عنوان منابع پایدار و تقریبا" ایمن تولید انرژی الکتریکی تجدیدپذیر مشهور هستند. علاوه بر آن نیروگاههای برق-آبی کوچک نیاز به احداث سدهای بزرگ یا مخازن عظیم ذخیره آب نداشته و اثرات بسیار کمی بر چرخه زیست محیطی منطقه احداث دارند [9].بررسی خطوط انتقال آب در کشور از جمله خطوط انتقال آب مذکور نشان می دهد که استفاده از شیر کنترل دبی(فشار شکن) جهت از بین بردن انرژی مازاد خطوط انتقال آب امری متداول در طراحی خطوط انتقال آب در کشور می باشد که با جایگزینی نیروگاههای برق-آبی کوچک در خطوط انتقال آب ، امکان

استفاده از انرژی الکتریکی تولیدی جهت برق رسانی به روستاهای مسیر خط انتقال فراهم می گردد. همچنین با توجه به اینکه اغلب خطوط انتقال آب کشور وظیفه انتقال آبهای سطحی را برعهده دارند که نهایتا" وارد تصفیه خانه های آب می گردند و اصولا" دربیشتر موارد توپوگرافی مسیر خط انتقال به گونه ای است که محل مناسب جهت نصب توربین آبی کوچک با محل مناسب جهت احداث تصفیه خانه آب در فاصله کمی از هم قرار دارندامکان تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز تصفیه خانه از نیروگاه برق – آبی کوچک نصب شده بر روی خط انتقال از دیگر موارد استفاده از انرژی تولیدی است که می تواند مورد توجه قرار گیرد. به عنوان نمونه در خط لوله انتقال آب از چاه نیمه شماره ۳ به شهر زاهدان محل مناسب جهت نصب نیروگاه در ورودی محل تصفیه خانه قراردارد و انرزی الکتریکی مورد نیاز تصفیه خانه حدود ۵۰۰ کیلووات می باشد و در مورد خط انتقال آب از سد شیرین دره به شهر بجنورد فاصله محل مناسب جهت نیروگاه تا تصفیه خانه حدود ۳ کیلومتر و انرژی الکتریکی مورد نیاز تصفیه خانه حدود ۵۵۰ کیلووات میباشد که در هردو مورد تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز تصفیه خانه از نیروگاه برق – آبی نصب شده بر روی خط انتقال امکان پذیراست.

نتیجه

بررسی تاریخچه نیروگاههای برق-آبی کوچک نشان می دهد که امروزه استفاده از این نیروگاهها به عنوان یکی از منابع تولید انرژیهای تجدیدپذیر رو به افزایش می باشد. از سوی دیگرهمانطور که در بخش ارزیابی اقتصادی مشاهده شد، برای تمام موارد بررسی شده میزان سود به هزینه (B/C) احداث نیروگاه برق-آبی کوچک بالاتر از ۲ بوده ونمودار۳، رشد صعودی این عدد(B/C) را با افزایش هد در دسترس نیروگاه(خط انتقال آب بیرجند) نشان می دهد.اصولا" از آنجا که نیروگاههای برق-آبی کوچک دارای هزینه سرمایه گذاری اولیه نسبتا" پایین و هزینه های جاری و بهره برداری بسیار ناچیز میباشند، احداث نیروگاههای برق-آبی کوچک برروی خطوط انتقال آب در اکثر مواقع حتی در ظرفیت های پایین نصب نیز اقتصادی می باشد. همچنین نیروگاههای برق-آبی کوچک از منابع پایدار و ایمن تولید انرژی الکتریکی تجدیدپذیر هستند که با اثرات بسیارناچیز بر چرخه زیست محیطی در رسته تولید کنندگان پاک انرژی الکتریکی قراردارند.لذا جایگزینی نیروگاههای برق-آبی کوچک با شیرهای فشار شکن (کنترل دبی) که به طور گسترده جهت استهلاک انرژی مازاد در خطوط ثقلی انتقال آب در کشور استفاده می گردد می تواند به بازیافت مقادیر قابل توجهی از انرژی منجر شود، لذا پیشنهاد می گردد استفاده از نیروگاههای برق-آبی کوچک توسط شرکتهای مهندسین مشاور فعال در زمینه طراحی خطوط انتقال آب به طور جدی در هنگام طراحی مورد توجه و ارزیابی فنی و اقتصادی قرار گیرد.

مراجع

[1] عنایتی، عباسعلی؛ کاظم نژاد، سیدمحمد؛ **"بکارگیری نیروگاه برق آبی کوچک در مازندران"** ، شرکت برق منطقه ای مازندران.

[2] Tsymbalenko, O.; Vikhorev, Yu, *"Small Hydro-energy Raise Market Prospects"*, Green Energy Conference, 2005, Ukraine.

[3] *"IEEE Guide for Control of Small Hydro Electric Power Plants"*, IEEE Std 1020, 1988.

[4] Gordon, J. L.; Eng, P, *"Turbine Selection for Small Low-Head Hydro Developments "*, Hydropower Consultant, Organized by: Natural Resources Canada at Water Power XIII, July 29, 2003, Buffalo, New York, U.S.A.

[5] مرادی؛ **"ارزیابی اقتصادی نیروگاه برق- آبی کوچک"** ، پروژه پایانی کارشناسی ارشد.

[6] واقفی،محمد؛رخشنده رو،غلامرضا؛ **"بهینه یابی هیدروانرژی در نیروگاه های برق آبی کوچک "**، اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران،آبان ۱۳۸۳،تهران،ایران.

[7] Sigma Engineering Ltd.*; "Canadian Small Hydro-Power Handbook"*, Canada Center for Mineral and Energy Technology, Energy, Mines and Resource Canada, November 1991.

[8] European Small Hydropower Association; *"Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant"*, ESHA 2004.

[9] Winkler, I.*; "Small Hydropower Resources and Prospects of Small Hydropower Electric Plants in the Near-Border Regions of Ukraine"*, Chernivtsi National University, Ukraine.