

تجزیه تحلیل هزینه- فایده نیروگاه های جزر و مدی و اثرات زیست محیطی آن

حسام الدین مهر فر^۱، امیر سیه سرانی^۲، امین رئیسی^۳

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، بروجرد، ایران.

^۲ اداره کل و مرکز تحقیقات هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران.

^۳ دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، جهرم، ایران.

نام نویسنده مسئول:

حسام الدین مهر فر

چکیده

این مقاله بر ساختار تجارت انرژی های تجدید پذیر در حالت کل و به اقتصاد و سرمایه گذاری برق تولید شده از جریانات جزر و مدی در حالت خاص می پردازد. در حال حاضر ده ها شرکت و سازمان در سطح جهان درگیر توسعه انرژی تجدید پذیر هستند. در این میان ترکیب بندی و سازمان های جدیدی بوجود آمده اند که به سمت توسعه صنایع با تکیه بر برق کشندی پیش می روند. همچنین هزینه های اقتصادی و درآمدها نیز بخوبی مدلسازی و شناسایی شده اند. امکان وجود موارد نابهنگام برای توجیه تجهیزات مربوط به جریان کشندی در هر سیستمی که بطور کامل در طرح تجاری راه اندازی شده مد نظر باشد، وجود دارد. جزئیات بیشتر در گزارشات مختلف و ترازهای مفید ارائه می شود که به همراه صنایع ساحلی و غیر ساحلی تهیه شده اند. همچنین در این تحقیق علاوه بر هزینه-فایده نیروگاه های جزر و مدی، اثرات زیست محیطی آن نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

واژگان کلیدی: انرژی تجدید پذیر، جزر و مد، هزینه- فایده.

مقدمه

جزرومد دریا در اثر جاذبه ماه و خورشید به هنگام گردش زمین بوجود می آید. انرژی جزرومد یکی از قدیمی ترین شکل های انرژی است که بشر از آن استفاده نموده است. سوابق بکارگیری از این انرژی بوسیله آسیابهایی که با قدرت جزرومد کار می کردند در سواحل بریتانیا، فرانسه و اسپانیا به قبل از ۱۱۰۰ میلادی بر می گردد. از این آسیابه قرنهای استفاده می شد. تا اینکه تدریجاً با پیدایش انقلاب صنعتی جای خود را به ماشین های سوختی واگذار کردند که ارزانتر و راحت تر بودند. روشهای جذب انرژی از جذر و مد متفاوت می باشند که به طور کلی شامل بالا و پایین رفتن سطح آب در اثر جذر و مد و جریان ایجاد شده در هنگام جذر و مد است. یکی از روش های استفاده از انرژی جزر و مد ایجاد یک حوضچه در کنار دریا می باشد. که در هنگام مد، آبگیری می گردد، و مسیر بازگشت آب به دریا بسته می شود، با فرا رسیدن زمان جزر، حوضچه را شروع به تخلیه می کنند. با قرار دادن توربین های قوی در مسیر آب، در حال بازگشت به دریا انرژی هیدرولیکی آب استحصال و به وسیله یک ژنراتور، الکتریسته تولید می شود. برای افزایش راندمان می توان از حوضچه های طبقه ای نیز استفاده نمود. در این حالت آب در زمان مد به حوض تراز بالاتر رفته و در هنگام جزر از آن به حوض تراز پایین تر و سپس به دریا منتقل می شود. در هر انتقال انرژی آن مهار می گردد. زمان تناوب این چرخه تقریباً مساوی با دوره تناوب جزر و مد نیم روزانه می باشد نیروگاه های که به این طریق ساخته شوند، علیرغم هزینه های سنگین اولیه نیاز به هیچ گونه هزینه سوختن نداشته و قدرت خروجی آنها تا حد زیادی قابل اطمینان می باشد. در برخی موارد می توان با ایجاد سد در دهانه یک مصب و نصب توربین در آنجا این کار را انجام داد. به علت فقدان قطعات متحرک عمر نیروگاه ها طولانی و انرژی آنها قابل اعتماد است. در مقابل، این روش معایبی دارد. مثلاً مهمترین آنها، میانگین جزرومد منطقه، باید حداقل ۵ متر باشد.

در این تحقیق ما اجزای مختلفی که برای کسب و کار انرژی تجدید پذیر توسط Siddique و Bedard و Brevisic معرفی شده اند را اصلاح می کنیم. هشت مورد از این موارد قابل مقایسه در یک تحلیل از انرژی باد که توسط Wizelius به انجام رسیده است در چهار دسته به شرح زیر طبقه بندی می شود :

۱. **هزینه تجهیزات.** این هزینه ها شامل هزینه های طراحی و مالکیت معنوی (IP) و هزینه های ساخت است.
 ۲. **هزینه های سایت مخصوص.** این هزینه ها عبارتند از هزینه های جواز نصب و راه اندازی های مختلف، راه اندازی داخلی و هزینه های مرتبط با انتقال قدرت باد و اتصال شبکه. در نهایت هزینه تخلیه کارگاه و هزینه های متفرقه برای تجهیز سازی.
 ۳. **هزینه های سالانه.** هزینه های مربوط به عملیات منظم سازی، نگهداری دستگاهها، هر گونه هزینه های از پیش تعیین نشده مانند بیمه و هزینه های سازمانی دیگر.
 ۴. **هزینه های مالی.** هزینه های سرمایه گذاری مانند وام و سرمایه گذاری حقوقی. شکلها نیاز به پوشش پرداختهای وام برای سرمایه گذاری و غیره را دارند.
- وظایف اصلی برای یک پروژه برق جریان جزر و مد به شرح زیر مشخص شده است :
۱. **منابع :** شامل شناسایی سایتها به همراه جریان جزرومد مورد نیاز، عمق مورد نظر و شرایط بستر دریا و امکان دستیابی به اتصال مناسب برای نگهداری از امکانات. در واقع، در مطالعه اجمالی اخیر در یک بخش همسطح، یک مدل داده ای با وضوح بالا به اجرا در آمده و با یک نوع تحلیل متعادل مورد بررسی قرار گرفت.
 ۲. **تکنولوژی.** تجهیزات مربوط به جریان جزر و مد از طریق طرح های مختلف انتخاب می شود. در مرحله اخیر از توسعه صنعتی، تصمیم گیری های لازم به نحوی که در مورد محصولات با قابلیت دسترسی مشخص صدق می کند، تخمینها در یک سیستم بهینه انجام خواهد شد. صاحبان تکنولوژی که این تجهیزات را تامین می نمایند مجبورند دو زیر مجموعه مرتب داشته باشند :
 - ۱-۲ **قوانین مالکیت معنوی.** طراح تجهیزات می تواند با جداسازی خصوصیات بهتر عمل کند، در این حالت تهیه کنندگان و توسعه دهندگان نیازمند پروانه و یا سایر ملزومات که آن هم بر طبق طراحی مطمئن است می باشند.
 - ۲-۲ **ساخت و تولید.** تجهیزات و وسایل مورد نیاز احتمالاً توسط شرکت دیگری ساخته می شوند.
 ۳. **مجوز.** سایت و تکنولوژی مربوط به آن برای بار اول وقتی شناسایی شدند، فرایندی در حال اجرا است که تمام محتویات و مجوزها را در برمی گیرد. شرایط مورد نظر در هر کشور با کشور دیگر تفاوتی دارد.
 ۴. **راه اندازی.** لحظه ای که مجوزها اجرا می شوند و یا وقتی تجهیزات مربوطه مرتب شده و تحویل داده می شوند یک فرایند سخت برای راه اندازی شروع می شود. پیچیدگی و هزینه عملیات به وضعیت مهم هر کدام از تجهیزات بستگی دارد که یک بخش ویژه ای از تحلیل اقتصادی را ایجاد می کند. کار مربوطه در محدوده موقعیت یک لنگر قرار می گیرد که هر کدام از آنها ساختار های زیر بنایی برای جستجوی مورد نظر را موقعیت یابی می کند. ناگفته نماند نصب و راه اندازی شامل کابل کشی و استقرار سیستم حمل و نقل ساحلی و غیر ساحلی و تمام کارهایی است که مرتبط با شبکه اتصال است.

۵. **عملکرد و نگهداری.** در اولین نصب سیستم احتیاج به یک مدیریت طولانی مدت و مداوم دارد. حفظ متغیرهای مختلف سیستم نیز بر عهده عملیات بررسی وضعیت ثابت خواهد بود. این عملیات معمولاً از طریق اتصال به اپراتورهای اداری صورت می گیرد که پارامترهای مهندسی مختلف را می توان توسط نرم افزارهای ویژه مشاهده نمود پارامترهایی مثل سرعت چرخش، گشتاور و قدرت تحویل، به همان ترتیبی که محصولات الکتریکی در شبکه هستند. علاوه بر این زمانبندی نگهداری تا چند سال بعد از نصب و راه اندازی طبق قرارداد تضمین می شود.
 ۶. **وام.** اگر مقداری از سرمایه در اختیار باشد می تواند از بانک و یا سایر وام دهندگان وام دریافت نماید و یا اینکه سرمایه گزارانی از شرکتهای مختلف را جذب نماید. در حال حاضر گرفتن وام از بانک و سایر وام دهندگان مشکلاتی به همراه دارد به این دلیل که گردش مالی مثبت برای ارائه خدمات وام دهی و بازپرداخت آن در صورت وجود مورد نیاز است.
 ۷. **سرمایه شرکاء.** سرمایه ای که از طریق وام و یا به طریقه فرعی وارد شرکت می شود اغلب مشمول افزایش سرمایه های شرکا می شود این سرمایه ها برای تک تک صاحبان سرمایه قابل تغییر و سود آور نیز است. سرمایه گزاران درجه ای از ریسک معینی از موارد بررسی نشده را می پذیرند و در واقع یک دسته بندی اساسی از تغییرات سرمایه های مشترک را دنبال می کنند. این حالت ندرتاً برای بسیاری از شرکتهای موجود می آید. در نهایت نسبت سهم مورد نظر به توافق می رسد و توسعه دهندگان بر این باورند که طرحهای کوچکتری که ترقی نموده اند و در حال اجرا بوده و منافع زیادی ایجاد کرده اند، بیشتر از بخشهای بزرگتر با یک دسته بندی وسیعی از طرح ها که به صورت مستند و یا در وب سایت و یا در پاور پوینت ارائه شده اند قابل بررسی هستند.
 ۸. **اتصال شبکه ای.** مقدمات لازم باید توسط شرکت انتقال برق صورت بگیرد و کلیه کدهای شبکه ای تعریف شده بصورت همزمان نیز باید به همراه آنها تفسیر شود.
 ۹. **کاربر نهایی.** کاربر نهایی باید می بایست در مواردی از قبیل حالتهایی که صرفاً برای نصب در مقیاس کوچکتر، معرفی شده و بخش الکتریکی نیز طبق توافق تدارکات محلی است. در واقع کاربر نهایی براحتی در شبکه شرکت قرار می گیرد.
 ۱۰. **کمکهای مالی.**
 - ۱-۱۰ **کمکهای مالی سرمایه گذاری شده.** دولتهای زیادی هستند که سعی بر این دارند که بهره مالی از برق تجدید پذیر داشته باشند. کمکهای مالی سرمایه گذاری شده بصورت پاداش بلاعوض نیز دریافت می شوند. سرمایه گذاری گسترده قابل تجدید دریایی (MRDF) در انگلیس در حال حاضر ۲۵ درصد از هزینه های راه اندازی و نصب تجهیزات جدید بر عهده دولت است.
 - ۲-۱۰ **بازده سرمایه.** اغلب ترجیح می دهند هزینه های تقویتی را در اولویت پرداختهای خود قرار بدهند. این عمل بصورت تابعی از انرژی تجدید پذیر تلقی می شود و تولیدات آن بر اساس اهداف معین صورت می گیرد. بعنوان نمونه در انگلستان یک سیستم اجباری برای تأیید سیستم تجدید پذیر ایجاد شده است که از طریق مزایده بازدهی لازم برای مولدها تهیه می شوند.
- هزینه ها**
- هزینه های کلی عبارتند از هزینه طراحی، ایجاد، گسترش و عملیات مربوط به برق جریان جزر و مد که این هزینه ها، هزینه های تجهیزات مورد نیاز را در بر می گیرد. البته شماری از ارزیابی های تعمیم یافته ای هم وجود دارند که شامل این هزینه های کلی نیز می شوند.
- هزینه های تجهیزات**
۱. **توربین.** تمامی اجزایی که مستقیماً در استخراج انرژی از جریان جزر و مد دخالت دارند. مانند موتور و کنترلرهای متصل به آن و محور و بردگاه.
 ۲. **ساختار استخراج کننده.** کلیه اجزاء ساختاری مانند لوله کشی و خانه سازی شامل اتمام و حمل و نقل و تجهیزات امنیتی در صورت نیاز.
 ۳. **انتقال برق.** حرکت آرام توربین استخراج کننده و یا تجهیزات مشابه را توسط چرخ دنده های هیدرولیکی به توان چرخشی تبدیل می کند.
 ۴. **ماشینهای الکتریکی.** کلیه تجهیزات الکتریکی مولد و سیستمهای الکتریکی برای تبدیل حرکت چرخشی مولد به الکتریسیته در فرکانس شبکه و در ولتاژ انتقالی.
 ۵. **ابزار و کنترل.** حسگرها و ابزارهایی که کارایی سیستم را نشان می دهند و کنترلرهای صنعتی و سیستمهای بازخورد برای شناسایی دستورات و ترتیب کنترل ها. این بخش هزینه های انتقال داده از تجهیزات به ایستگاه نمایش مرکزی را نیز در برمی گیرد.
 ۶. **فونداسیون / محکم نمودن پی بند.** کلیه اجزای مورد نیاز برای نگهداری تجهیزات تبدیل قدرت جریان جزر و مد.
 ۷. **اتصال الکتریکی.** کابلهایی که تجهیزات شخصی را به یک نقطه اتصال مشترک وصل می کند.

۸. هزینه های تحویل و مونتاژ. این هزینه های عبارتند از کلیه هزینه های تحویل و نصب برای یک سایت کنار ساحلی و هزینه تست و کمسیون آن.

هزینه های سایت های ویژه خارج از محدوده.

۱. جزئیات طرح و ویژگی های آن. این هزینه های مربوط می شوند به هزینه های آماده سازی جزئیات طرح اولیه و تنظیم خصوصیات لازم برای پیمانکاران و سازندگان.

۲. اتصال به شبکه. تمام سوئیچها و خطوط انتقالی و ساختار مورد نیاز برای اتصال از نقطه اتصال مشترک به یک نقطه در شبکه اتصالی زمینی.

۳. کابل. کابل کشی از انتقال دهندگان غیر ساحلی به انتقال دهندگان ساحلی و شبکه های اتصالی.

۴. ارتباط، دستورات و کنترل. کلیه تجهیزات و ابزار لازم برای ایجاد یک اتصال دو طرفه از خشکی به کانالهای موجود در دریا که برای اهداف ارتباطی، کنترلی و دستوری تعبیه شده اند.

۵. هزینه های نصب و راه اندازی. هزینه های مورد نیاز انتقال سیستم از محل مونتاژ آنها به محل ساختن سایت و تمام اتصالات بررسی نقاطی که در آن سیستم آماده انجام امور است.

۶. مجوزها. هزینه های مرتبط در زمینه مطالعه و فرموله سازی اظهارات محیطی و تدارک کاربردها برای مجوزهای لازم و کار قانونی. نیازمندیهای مختلفی برای گرفتن جواز نصب و راه اندازی پروژه های انرژی دریایی وجود دارد.

۷. هزینه های توسعه مالکان. ۵٪ از هزینه های تجهیزات و هزینه سایت ویژه که در بالا ذکر شد عبارتند از :

$$O_{DC} = 0.05 \left(N \sum_a^b D_c + \sum_a^g S_{sc} \right)$$

که O_{DC} = هزینه توسعه مالکان، N = تعداد تجهیزات موجود، D_c = هزینه های تجهیزات و S_{sc} = هزینه های سایت ویژه.

۸. تهیه قطعات یدکی. مالکان و اپراتورها معمولاً وسایل یدکی مورد نیاز برای کارهای روزمره را ذخیره می کنند. در این زمینه *Siddiqui*، *Bedrad* و *Previsic* پیشنهاداتی را ارائه نموده اند که در آن هزینه برآورد شده ۵٪ از هزینه ها را به خود اختصاص می دهند:

$$S_p = 0.05N \sum_{A_1}^{A_s} D_c$$

که A_1 تا A_s هزینه موارد تجهیزاتی است.

۹. تسهیلات عمومی و مهندسی. هزینه مهندسی طراحی جریان جزر و مدی و نیازمندیهای عمومی برای ایجاد و عملیاتی نمودن نیروگاه برق. نیازمندیهای نامبرده عبارتند از کارگاههای نگهداری و ...

۱۰. بستن قرارداد. فرایند بازرسی و آزمایش مورد نیاز برای گردش سیستمها از پیمانکاران عمومی به اپراتورها است.

هزینه کلی نیروگاه T_{pc} ، هزینه کلی نصب و راه اندازی و کمیسونی نیروگاه که شامل تمامی موارد ذکر شده در بالا است، عبارتست از :

$$T_{PC} = N \sum_c^b D_c + \sum_{a1}^k S_{sc}$$

هزینه های سرانه

این هزینه ها که در برگیرنده هزینه های سرمایه گذاری است بروشهای خاصی هر سال محاسبه می شوند و شامل هزینه های عملیاتی و نگهداری هستند و عموماً تحت عنوان O&M شناخته می شوند.

ممکن است سرمایه گذاری از طریق سرمایه گذاران با نسبت سهم مساوی صورت پذیرد. (حتی ممکن است سرمایه های آنها بازگشت داشته باشد و یا نه) و از طریق گرفتن وام. در طول مدت زمان بازپرداخت وام هزینه های سرانه نیز وجود خواهد داشت. هزینه سرانه برای سرمایه گذاری بروش مستمری سالانه محاسبه می شود. مستمری سالانه مجموع هزینه کاهش بها و سود را در بر می گیرد که در واقع مجموع این دو هزینه در هر سال مقدار ثابتی خواهد بود. هزینه سرمایه گذاری سالانه نیز C_A توسط همان روش مستمری سالانه محاسبه می شود:

$$C_A = aC_1$$

که a ، مستمری سالانه و C_1 ، هزینه سرمایه گذاری است.

$$a = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

که Γ ، نرخ سود و Π زمان کاهش بها در هر سال می باشد.

بازدهی

محاسبه درآمد با محاسبه مواردی از قبیل برق خروجی و عایدی حاصل از فروش آن و نیز هر گونه کمکهای مالی صورت می گیرد. تخمین برق خروجی با استفاده از سه تکنیک صورت می گیرد: اندازه گیری جریان طولانی مدت، توسعه و تحلیل مدل‌های کامپیوتری با وضوح بالا یا با استفاده از روشهای تحلیل هارمونیک.

برق خروجی

۱. **اندازه گیری جریان.** برای تخمین برق خروجی از تجهیزات جریان جزر و مد نیاز است که سرعت جریان طولانی مدت بطور مستقیم با جریان سری اندازه گیری می شود. یکی از متدها به این ترتیب است که اندازه گیری جریان در واقع طی یک پروسه طولانی مدت انجام می پذیرد. در حال حاضر دامنه وسیعی از اندازه گیری جریان در بازار موجود است.

۲. **مدلهای عددی.** یکی از مدل‌های فرعی برای تخمین میزان انرژی تولیدی توسط موسسه اقیانوس شناسی و برخی از گروههای آکادمیک صورت می گیرد.

۳. **روش هارمونیک.** روش هارمونیک از یک ترکیب کننده جریان طولانی مدت برای خروجی مورد نظر استفاده می کند.

قیمت فروش

۱. **قرارداد تحویل.** هزینه انتقال الکتریسیته تولید شده از نقطه راه اندازی شده تا نقطه استفاده کاربر، توسط توزیع کننده به تولید کننده پرداخت می شود. علاوه بر آن هزینه اندازه گیری و ذخیره سازی الکتریسیته نیز در نظر گرفته می شود.

۲. **بهای فروش.** بهای فروش الکتریسیته تولید شده به توزیع کننده و یا فروش مستقیم به کاربر نهایی به فاکتورهای مختلفی بستگی دارد از جمله نرخ آن در هر بار تحویل الکتریسیته، تقاضای محلی و منطقه ای و ملی و قیمت مربوط به منابعی که با هم رقابت می کنند.

کمکهای مالی

انرژی تولید شده در سال های اخیر بسیار رواج یافته است. طوریکه حمایت‌های وسیعی از طرف حکومت و قانونگذاران به این پروژه تخصیص داده می شود. در سالهای انرژی برگشته از دریا جایگزین اکثر انرژی های مورد استفاده شده است. برای ادامه توسعه و قابلیت سوددهی تجاری انرژی جزر و مدی نیاز به سرمایه گذاریهای محلی، منطقه ای و ملی است. جدول ۱ خلاصه ای از برخی از سیاستهای دولت ها برای این پروژه را نشان می دهد. محدوده ای از کشورهایی که از این پروژه استفاده می کنند در ادامه شرح داده خواهند شد.

جدول ۱ سیاستهای حمایتی ملی برای انرژی های دریایی (بعد از Cheng, 2007)

آمریکا	انگلستان	پرتغال	آلمان	
	✓	✓		اعطای سرمایه
✓			✓	اعتبارات مالیاتی
	✓			تعهدات
	✓			تأییدیه های داد و ستدی
	✓	✓	✓	تقویت تعرفه های مالی

۱. انگلستان اولین سیاستگذاری دولتها برای شبیه سازی انرژی تجدید پذیر در سال ۲۰۰۲ معرفی شد (توسط Foxon و همکارانش). این سیاست، که در برگیرنده انرژی دریایی است تولید کنندگان منابع الکتریسیته را ملزم به افزایش درصد تولید الکتریسیته از منابع تجدید پذیر می کند. سطح اختیارات سالانه از ۶٫۷٪ در ۲۰۰۶ / ۲۰۰۷ تا ۱۵٫۵٪ در ۲۰۱۵ / ۲۰۱۶ افزایش خواهد یافت. تهیه کنندگان برای هر منبع تجدید پذیر تولید شده جواز لازم را با تأییدیه تعهدات تجدید پذیر، تنظیم می کنند.

۲. پرتغال. پرتغال یک استراژی ملی برای انرژی در سال ۲۰۰۱ ایجاد نمود که هدف آن تولید الکتریسیته ۹۶۸۰ MW بود. ۵۰ مگا وات از آن به انرژی موج اختصاص داده شده است. در سال ۲۰۰۶، بودجه ای بالغ بر ۳۰ میلیون یورو برای منابع این انرژی اختصاص داده شد، که بازدهی این سرمایه تا قبل از پایان سال ۵ میلیون یورو بوده است.

۳. ایالات متحده آمریکا. در سال ۲۰۰۵ آمریکا سیاستگذاری مربوطه را مطرح نمود که اعطاء وام به اعضا و سایر کمک هزینه ها از جمله مواردی است که در این طرح قرار داده شده است. در این طرح دولت به مدت ۱۰ سال بسیاری از سرمایه های لازم برای تولید را گارانتی میکند. در می ۲۰۰۷، مطالعه انرژی تجدید پذیر دریایی و فعالیتهای توسعه ای آن به نمایندگی اعطا شد. فعالیتهای مزبور مستقیماً توسط وزیر انرژی پشتیبانی می شود. که تحقیقات، توسعه، ساخت و ساز و کاربرد تجاری این نوع تکنولوژی مشمول این حمایتها هستند. سند این مصوبه برای هر

پروژه ۵۰ میلیون دلار در نظر دارد. استاندارد سهام تجدید پذیر برای سالهای مالی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ تصویب شده است. این سهام نیازمندیهای مرحله به مرحله را برای کمترین درصد از الکتریسیته تولیدی استخراج می شود.

۴. کانادا کشوری است که توانسته است یک موسسه برای تشویق پروژه های تولید انرژی وابسته به انرژی باد ایجاد کند

درآمد سرانه

درآمد سرانه I_A درآمد حاصل از تولیدات خروجی P_O است، و مجموع بهای الکتریسیته، E ، و کمکهای مالی، I ، است. برق خروجی و قیمت آن دارای واحد های یکسان برق هستند، kWh، در سال:

$$I_A = P_O(E + I).$$

نتایج اقتصادی

۱- روش مستمری سالانه

نتایج اقتصادی (Wizelius) همانند سود سالانه است و از روش مستمری سالانه بدست می آید:

$$P_A = I_{NA} - C_A - OM_A$$

که P_A = سود سالانه، I_{NA} = درآمد سرانه، C_A = هزینه سالانه سرمایه گذاری و OM_A = هزینه سرانه عملیات و نگهداری.

۲- روش ارزش فعلی

روش دیگر برای محاسبه نتیجه اقتصادی سرمایه گذاری بر روی توربینهای کشندی روش ارزش فعلی است این روش با نام روش نزولی نیز مشهور است. در این روش مقدار درآمد سالانه در یک مدت زمان معین محاسبه می شود و معمولاً زمان آغلز آن از زمان شروع بکار توربین شروع می شود. در صورتیکه ارزش فعلی یود بزرگتر از ارزش فعلی سرمایه باشد، به این معنی است که یک سرمایه گذاری سود دهی وجود داشته است. فرمول محاسبه ارزش فعلی به صورت زیر است:

$$PV = f_c \times R \quad 6.10$$

PV = ارزش فعلی، R = سود (درآمد شبکه سالانه) و f_c = شاخص سرمایه گذاری:

$$f_c = \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n}$$

R = نرخ بهره و n = زمان استهلاک (سال).

۳- روش بازپرداخت

روش سوم استفاده شده برای ارزیابی نتایج اقتصادی برای سرمایه گذاری در پروژه توربین کشندی همین روش است. این روش مدت زمان بازگشت سرمایه را محاسبه می کند. این مدت زمان با فرمول ساده زیر محاسبه می شود:

$$T = \frac{\text{سرمایه}}{\text{شبکه درآمد سرانه}}$$

اثرات زیست محیطی نیروگاه های جزر و مدی

نیروگاه های جزرو مدی به تناسب اندازه و محل احداث می توانند دامنه و جریان جزرومدی، دما و کیفیت آب دریا را تحت تاثیر قرار دهند. این صدمات و فوائد احتمالا ناشی از محل احداث بوده و تا حدودی همدیگر را جبران می کنند. سدهای جزرومدی می توانند اکولوژی حوضچه تامین ارتفاع را تغییر دهند. مثلاً شرایط مناسبی را برای زراعت آبی فراهم نمایند و همچنین آبهای زیرزمینی، فرسایش و زهکشی را تحت تاثیر قرار دهند.

سئوالات زیادی در مورد اثرات منفی نیروگاه های جزرومدی بر محیط زیست طبیعی و جمعیت پرند ها مطرح شده است. مطالعات وسیع حاکی از آن است که شدت اثرات منفی در محل های مختلف متفاوت است. بیشتر محل هایی که تاکنون مورد تحقیق قرار گرفته اند از نظر پرند شناسی دارای اهمیت ملی و بین المللی بوده اند. دلیل محکمی در دست نیست که بتوان گفت با حذف بعضی ویژگیهای اکولوژیکی یک سایت، در حالیکه ممکن است کمی دورتر و در طول خط ساحلی سایت های دیگری در دسترس باشند، جمعیت پرندگان بدون تاثیر خواهد ماند. با اینکه صدمات توسعه نیروگاههای جزرو مدی بر پرندگان بومی و مهاجر نباید بعنوان بخشی عمومی علیه این منبع انرژی بکار رود، اما اثرات آن باید در هر محل بطور جداگانه مورد توجه قرار گیرد تا هر گونه مشکلات اجتماعی برطرف و یا تخفیف داده شود. در اکثر سایت هایی که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته اند، هنوز پیشگیری و یا کاهش رضایت بخشی در باره این مشکل صورت نگرفته است. بخاطر این گونه

دلایل زیست محیطی است که توسعه نیروگاههای واقع در نواحی پست و مردابی باید محدود شود. صدمات احتمالی بر زندگی ماهی ها می تواند از مرگ و میر آنها در داخل توربین و یا ایجاد تاخیر در سفر آنها از دریا به رودخانه برای تخم ریزی ناشی شود. ابزار کاهش چنین صدماتی فراهم است، ولی تحقیقات بیشتری برای یافتن روشهایی با هزینه های کمتر و کارایی بیشتر ضروری است.

مسئله اساسی در اجرای طرحهای جزرومدی شامل سدسازی در مصب رودخانه ها، مسئله زیست محیطی است. محل های معدودی ممکن است وجود داشته باشند - مانند نواحی صخره ای تند و خشن که در آنها اکولوژی محلی محدود باشد. بطور کلی فعالیت های توسعه انرژی جزرومدی در مصب ها، برای اینکه ضرر جدی به محیط زیست نزنند، باید منتظر طرحهایی بمانند که احتیاج به احداث سد نداشته باشند. برای پرهیز از ایجاد منظره نامناسب در هنگام جزر، این طرحها باید شامل استقرار توربین در مکانهایی نزدیک ساحل و دائما در زیر آب باشند. همچنین اقدامات موثری برای کاهش یا جلوگیری از مرگ و میر ماهیها و دیگر آبزیان باید پیش بینی شده باشد. این طرحها برای اینکه بتوانند جایگزین سوخته های فسیلی شوند باید غیر آلاینده بوده و در اکثر جاها فواید زیست محیطی نیز داشته باشند.

بطور خلاصه، در این بررسی چنین ادعا شده که تا بحال هیچ نیروگاه جزرومدی از نظر زیست محیطی تحت بررسی گسترده ای قرار نگرفته است. بنابراین تجارب بدست آمده از عملکرد آنها مثبت بوده است. البته تردیدهایی از نظر زیست محیطی وجود دارند که در آینده مستلزم مطالعه بیشتر، بویژه با توجه به خصوصیات محلی می باشند. اما دلایل عمده ای که مانع از اجرای وسیع پروژه های جزرومدی می باشند. وجود ندارد، البته به شرطی که نکات ایمنی زیست محیطی در طراحی نیروگاه ها بکار گرفته شده باشد.

هزینه-فایده نیروگاه های جزر و مدی

علیرغم سابقه طولانی در استفاده از انرژی جزرومد، کوشش جدی در این امر تنها به سه دهه گذشته بر می گردد، که در این مدت پیشرفتهای فراوانی در ساخت ماشین آلات و بکار گیری تکنیکهای جدید بعمل آمده است. حاصل مطالعات طراحی و امکان سنجی در فرانسه، شوروی سابق، کانادا و انگلستان پیدا کردن روش هایی برای بهینه سازی ظرفیت نصب، حداکثر نمودن خروجی نیروگاه یا ارزش وابسته به آن، هماهنگ کردن تولید جزرومدی با سیستم مصرف و محاسبه ارزش اقتصادی آن بوده است. مدل های عددی هیدرومکانیکی مختلفی برای پیشگویی اثرات رژیم جزرومد بوجود آمده است. بطور خلاصه تکنولوژی جزرومدی در طول سه دهه گذشته راه درازی را بسوی پختگی و کمال پیموده است. این امر امکان پیشرفتهای بیشتر را منتفی نمی کند، اما این معنی را می دهد که در آینده کاهش هزینه و بهبود عملکرد و موقعیت اقتصادی در این نوع نیروگاهها در حدی نسبتا کوچک قابل انتظار خواهد بود. امکان حذف کردن سدها و هزینه های مربوط به ساخت آنها و زیانهای بالقوه و بالفعل آنها برای محیط زیست نظرها را به سوی گرفتن انرژی از جریانهای جزرومدی جلب کرده است.

در سالهای اخیر تعدادی نیروگاه کوچک جزرومدی در چین ساخته شده است که بخشی از یک برنامه عظیم را در جهت استفاده از منابع تشکیل می دهند. بطور مثال بهبود در کشت و زرع آبی و امور کشتیرانی را می توان نام برد. این روشها توسعه انرژی جزرومدی را در جاهایی که بخودی خود بسیار گران تمام می شود توجیه کرده است.

بطور خلاصه روندی که در طول مدت مطالعه می توان انتظار داشت عبارتست از کاهشی جزیی در هزینه واقعی توسعه در مقیاس های بزرگ بدلیل پیشرفت در ماشین آلات، مواد و تکنیک ها و نیز تا حدودی گسترش چشم انداز در مورد تاسیسات کوچک، هم بصورت پروژه های چند منظوره و هم بعنوان نتیجه پیشرفت در تولید انرژی.

بحث و نتیجه‌گیری

توان جزرو مدی به ازاء هر کیلووات ساعت ظرفیت نصب مستلزم هزینه سرمایه گذاری بالایی است که این هزینه بطور معکوس با مربع دامنه جزرو مد تغییر می کند. هزینه سرمایه گذاری به ازاء هر کیلووات ساعت بعثت کارکرد متناوب و غیر دائم و در نتیجه پائین بودن فاکتور ظرفیت باز هم بالا می رود. هزینه های ساختمانی به نسبت طول سد بر مساحت حوضه و نیز ارتفاع سد بستگی دارد. این موارد همه باعث می شوند که هزینه ها کاملاً وابسته به محل باشند. ولی در هر حال انرژی جزرو مدی یک منبع انرژی با هزینه سرمایه گذاری بالا بحساب می آید.

اینکه انرژی جزرو مدی از نظر اقتصادی قادر به بقاء هست یا نه، هم به محل سایت بستگی دارد و هم به قیمت دیگر انرژیها در بازاری که در آن باید عرضه شود. برای داشتن قدرت بقاء و رقابت، لازم نیست که انرژی جزرو مدی ارزانتر باشد، بلکه فقط کافی است در بخشی از بازار، ارزانتر بشمار آید. به غیر از نرخهای بهره که بطور چشمگیری بر قیمت تولید جزرو مدی اثر می گذارند و جدا از هزینه های اجتماعی داخلی نشده تولید حرارتی، که قبلاً تحت عنوان محدودیت های بنیادی به آن اشاره شد، پارامترهای عمده در موقعیت رقابتی عبارتند از قیمت سوختهای هیدروکربنی، آهنگ افزایش قیمت آنها و نرخ عموم تورم. در مورد پروژه های عظیم یک محدودیت دیگر نیز وجود دارد. هزینه سرمایه گذاری بزرگ، مدت زمان طولانی تکمیل شدن، و همچنین مشکلات دیگرشان ممکن است آنها را فراتر از ظرفیت و توانایی همه - مگر دولت ها- قرار دهد.

منابع و مراجع

- [1] Cheng, P.K. (2007) Green Energy Newsletter, June 2007, Marine Energy.
- [2] Foxon, T.J., Gross, R., Chase, A., *et al.* (2005) UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and system failures. *Energy Policy* 33, 2123–2137.
- [3] Hardisty, J., 2007. *Estuaries: Monitoring and Monitoring the Physical Systems*. Blackwell, Oxford.
- [4] LOG+1, Alstom Power Ltd, & WUTEA (2007) <http://www.dti.gov.uk/files/file37093.pdf> accessed 18 November 2008.
- [5] OpenHydro (2008) <http://www.openhydro.com/news/OpenHydroPR-140107.pdf> [accessed 21 August 2008].
- [6] Siddiqui, O., Bedard, R., & Previsic, M. (2005) Economic assessment methodology for tidal in-stream power plants. EPRI Report TP-002 NA
- [7] <http://oreg.ca/docs/EPRI/EPRITidalEconMethodology.pdf> [accessed 16 June 2007].
- [8] UVIC (2008) <http://canuck.seos.uvic.ca/rkd/JdF/moorings/adcpmoor.html>
- [9] Wizelius, T. (2007) Developing Wind Power Projects: Theory and Practice. Earthscan, London, UK, 290 pp