طراحی باتری سبز جهت استحصال انرژی جزرومد در ایران

فرناز تاجداری[۱]، نیلوفر کامیاب[۲]، فرشاد ترابی[۳]

[۱] دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی *farnaz.tajdary@gmail.com*
[۲] دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی *kamyab.niloofar@gmail.com*
[۳] دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی *ftorabi@kntu.ac.ir*

چکیده

هدف این مقاله طراحی یک نیروگاه جزرومدی اصلاح شده است که با بهره‌گیری از یک مخزن ذخیره به عنوان باتری سبز، امکان تولید پیوسته‌ی برق را در تمام طول شبانه‌روز میسر می‌کند. در حقیقت باتری سبز یک مخزن استوانه‌ای شکل است که در ارتفاع مشخصی نصب می‌شود و از آن برای ذخیره‌سازی آبی استفاده می‌شود که در زمان‌های جزرومد، به درون این مخزن پمپ شده است. به گونه‌ای که آب ذخیره شده در این مخزن، در ساعاتی که اختلاف ارتفاع حداقلی ایجاد شده توسط جزرومد فراهم نمی‌شود، هد مورد نیاز توربین مولد برق را تأمین می‌نماید. پاک بودن این ذخیره‌سازی از نقطه‌نظر زیست‌محیطی، سبب اطلاق پسوند سبز، به این مخزن ذخیره می‌شود. برای شروع، سایت مناسب جهت احداث طرح با بررسی همه‌ی جوانب، از میان نقاط مستعد در منطقه‌ی خلیج فارس انتخاب می‌شود. در ادامه با بیان سازوکار یک نیروگاه جزرومدی اصلاح‌شده، لزوم بهره‌گیری از یک مخزن ذخیره به عنوان باتری سبز مشخص می‌شود. ابعاد باتری سبز، حجم تالاب جزرومدی، نوع توربین اصلی، نوع و تعداد توربین‌های کمکی به کار رفته در دریچه‌های تالاب و نوع و تعداد پمپ‌های لازم برای پمپاژ آب به درون باتری سبز در قسمت محاسبات تعیین می‌شوند. با انجام محاسبات اقتصادی هزینه‌های طرح مشخص می‌شود که در شرایط فعلی، طرح احداث نیروگاه جزرومدی اصلاح‌شده اقتصادی نیست، اما با افزایش قیمت برق، عملی بودن آن میسر می‌شود. به علاوه اجرایی شدن طرح و اقتصادی بودن آن در شرایط مختلف امکان‌سنجی می‌شود.

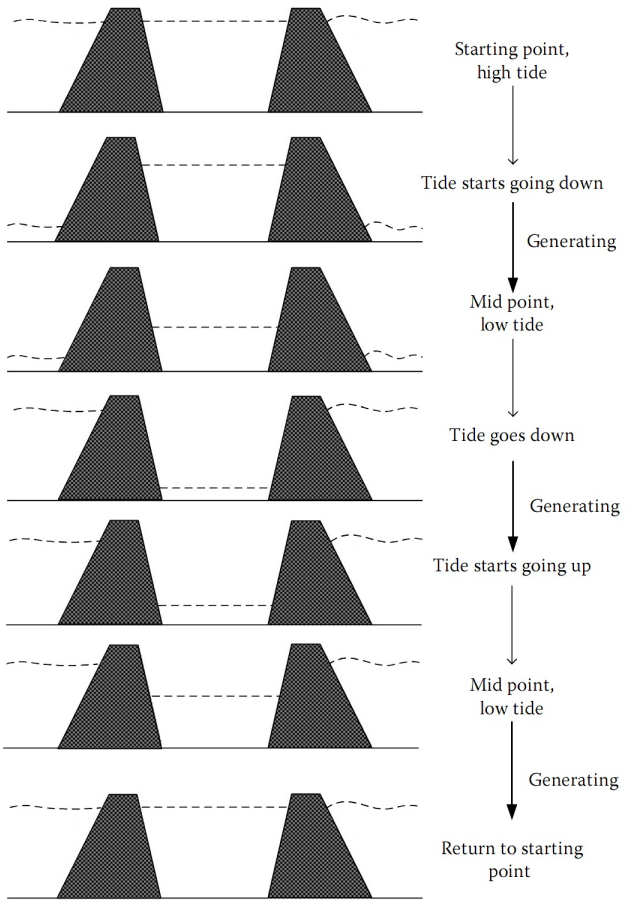
کلمه‌های کلیدی

باتری سبز، نیروگاه جزرومدی اصلاح‌شده، پایدار، امکان‌سنجی

مقدمه

نیاز روزافزون به انرژی در جهان و مشکلات استفاده از سوخت‌های فسیلی، لزوم بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر را اجتناب‌ناپذیر کرده است. انرژی جزرومد به عنوان مهم‌ترین زیرمجموعه‌ی انرژی‌های اقیانوسی [۱]، در کنار منابع دیگر تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی و باد، به دلیل برخورداری از قابلیت عدم تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. با آغاز استفاده عملی از انرژی جزرومدی از قرن نوزدهم، نخستین نیروگاه جزرومدی با ظرفیت ۲۴۰ مگاوات در سال ۱۹۶۶ در لارانس (La Rance) فرانسه [۲] تأسیس شد. هم اکنون نیروگاه ۲۶۰ مگاواتی سیوا (Sihwa) در کره جنوبی، نیروگاه ۲۰ مگاواتی آناپولیس (Annapolis) در کانادا [۳]، نیروگاه ۲/۳ مگاواتی جیانگزیا (Jiangxia) در چین [۳]، نیروگاه آزمایشی ۴۰۰ کیلوواتی کیسلایاگوبا (Kislaya Guba) در شوروی سابق [۳] و همچنین چند ایستگاه کوچک چندمنظوره در چین احداث شده است. با استقرار نیروگاه‌هایی برای استحصال این انرژی، می‌توان برای مدت‌ها انرژی پاک و ارزان در زمینه تولید برق، که از جمله صنایع زیربنایی است که گردش چرخ‌های اقتصادی، توسعه صنعتی و تأمین رفاه اجتماعی به استمرار آن متکی است، به دست آورد. محدودیت‌های ساخت این نیروگاه‌ها از جمله معدود بودن مکان‌های مناسب از لحاظ ارتفاع جزرومدی، هزینه‌ی زیاد سرمایه‌گذاری اولیه و از همه مهم‌تر غیر پیوسته بودن روند تولید برق آن‌ها، به صورتی که در بیشتر روزها تنها برای چند ساعت در روز قادر به تولید الکتریسیته هستند [۱]، مانع پرداختن زیاد به این دسته از نیروگاه‌ها شده است. می‌توان با به کارگیری یک باتری یا مخزن جهت ذخیره‌سازی انرژی جزرومد و پیوسته کردن روند تولید برق، ساخت این دسته از نیروگاه‌ها را هر چه بیشتر توجیه‌پذیر نمود. اگرچه کشور ما در راه به کارگیری انرژی‌های نو، با موانع عمده و اساسی از جمله وجود منابع غنی هیدروکربنی و نبود شناخت کافی از انرژی‌های نو مواجه است، اما با توجه به موقعیت استراتژیک کشور ایران و بهره‌گیری از کرانه‌های وسیع خلیج‌فارس، می‌توان از این فرصت به عنوان راهکاری مناسب و به‌صرفه برای استحصال انرژی استفاده کرد. خوشبختانه اخیراً کوشش‌هایی در این خصوص در ایران هم صورت گرفته است و امید می‌رود که اولین تلاش‌های عینی نتیجه‌بخش شود.

از مشکلات یک نیروگاه جزرومدی متداول این است که انرژی الکتریکی تولیدی آن در طول شبانه‌روز به صورت قطع و وصلی است. به این ترتیب در بیشتر ساعات شبانه‌روز به دلیل فراهم نشدن ارتفاع جزرومد، نیروگاه هیچ برقی تولید نمی‌کند. برای حل این مشکل و تولید برق پایدار شبانه‌روزی لازم است اصلاحاتی در ساختار نیروگاه صورت گیرد تا امکان تولید برق حتی در ساعات قطعی هم فراهم شود. در این مقاله یک طرح جدید تحت عنوان باتری سبز مطرح شده است. در واقع باتری سبز یک مخزن ذخیره‌ی آب است که به کمک روش‌های کنترلی می‌توان ارتفاع آب درون آن را در ساعات قطعی برق تولیدی نیروگاه در بازه‌ی مطلوبی تثبیت نمود. در نتیجه آب ذخیره شده در آن می‌تواند هد مورد نیاز توربین مولد برق را تأمین نماید. به این ترتیب تولید برق نیروگاه در همه‌ی ساعات شبانه‌روز به صورت پیوسته خواهد بود.



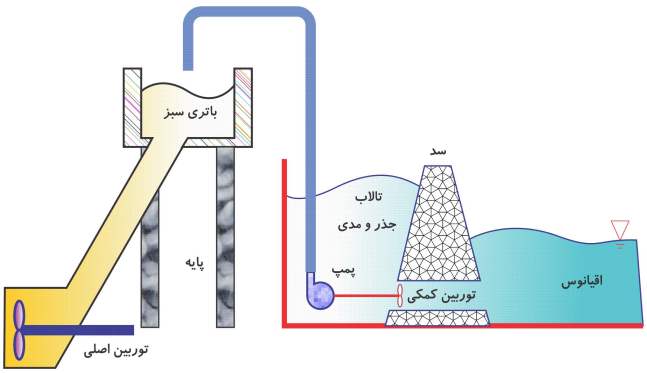
شکل ۱: طرح شماتیک یک نیروگاه جزرومدی.

طراحی باتری سبز

جزرومد آب اقیانوس‌ها ناشی از تأثیر همزمان دو نیروی اصلی در نقاط مختلف زمین است. اولین نیرو، نیروی گرانشی ناشی از جاذبه‌ی ماه است که همه‌ی آب‌های سطح زمین را به سمت خود می‌کشد. دومین نیرو، نیروی گریز از مرکز ناشی از دوران زمین حول مرکز ثقل مشترکش با ماه است. این نیرو هم باعث می‌شود که آب‌های سطح زمین میل به جدا شدن از آن را داشته باشند. در نتیجه‌ی برآیند این دو نیرو است که در هر لحظه از شبانه‌روز دو جزر، یا دو مد در نقاطی که در سطح کره‌ی زمین در مقابل هم قرار دارند، رخ می‌دهد [۵].

در نیروگاه‌های جزرومدی [۱] جهت بهره‌گیری از نیروی جزرومد دریا، ابتدا با احداث یک سد به عنوان تالاب جزرومدی، قسمتی از دریا یا اقیانوس را از سایر قسمت‌های آن جدا می‌کنند. اساس کلی کارکرد یک نیروگاه جزرومدی [۶] را می‌توان بر اساس طرح شماتیک شکل ۱ توضیح داد.

بعد از ساخته شدن سد و ایجاد تالاب جزرومدی، نحوه‌ی عملکرد دریچه‌ها در هنگام جزرومد آب اقیانوس بدین صورت است که در هنگام مد که آب اقیانوس بالا می‌آید، درست زمانی‌که اختلاف ارتفاع آب اقیانوس و آب داخل حوضچه به میزان مناسب و مطلوبی رسید، این دریچه‌ها باز می‌شوند و جریان آب از سمت اقیانوس به طرف حوضچه برقرار می‌گردد. با قرار دادن یک توربین در مسیر این دریچه‌ها، می‌توان از انرژی جریان آب استفاده نمود. بعد از هم



شکل ۲: طرح تصحیح شده‌ی یک نیروگاه جزرومدی با باتری سبز.

سطح شدن آب داخل تالاب با آب اقیانوس، دریچه‌ها بسته شده و در نتیجه جریان آب عبوری قطع می‌شود. در هنگام جزر، زمانی که آب اقیانوس پایین می‌آید، مجدداً اختلاف ارتفاع مناسب فراهم شده و با باز شدن دریچه‌ها این بار جریان در جهت عکس یعنی از حوضچه به اقیانوس برقرار می‌شود و در نتیجه توربین‌های قرار گرفته در دریچه‌ها دوباره به حرکت در می‌آیند.

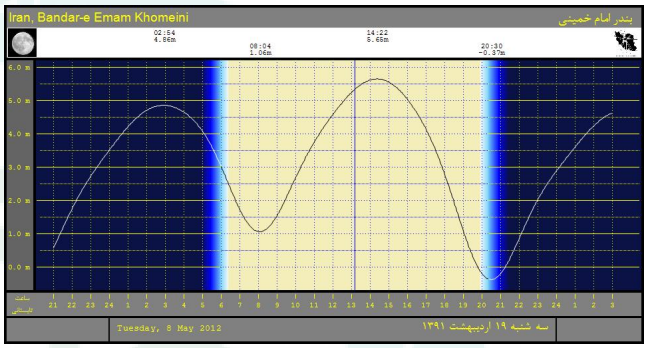
نکته‌ای که باید به آن توجه نمود این است که لازمه‌ی کارکرد توربین‌های قرار گرفته در دریچه‌ها، فراهم شدن اختلاف ارتفاعی حداقل برابر هد توربین است. از آن‌جا که فراهم شدن اختلاف ارتفاع لازم، وابسته به جزرومد و تغییرات آن است، در تعدادی از روزها تنها یک بار اختلاف ارتفاع ناشی از جزرومد قادر به تأمین هد توربین و راه‌اندازی آن خواهد بود. بدیهی است که در تعداد اندکی از روزها، تغییرات سطح آب دریا بر اثر جزرومد به‌گونه‌ای است که در طول یک روز به هیچ عنوان اختلاف ارتفاع مطلوب فراهم نمی‌شود و در نتیجه توربین قادر به تولید توان و نیروگاه قادر به کارکرد نخواهد بود.

از آنجا که هدف نهایی در مقاله‌ی مطرح شده، تولید پیوسته‌ی الکتریسته با استفاده از جزرومد آب اقیانوس است، طراحی یک مخزن ذخیره که همواره حاوی مقدار مشخصی آب باشد، به عنوان راهکاری در جهت استحصال مداوم انرژی از جزرومد در نظر گرفته می‌شود. این مخزن ذخیره، باتری سبز نامیده می‌شود.

در طرح تصحیح شده‌ی نیروگاه متداول جزرومدی با اضافه نمودن باتری سبز، در هنگام عبور آب از دریچه‌ها، توربین‌های نصب شده در دریچه‌ها قادرند توان مجموعه‌ی پمپ‌های قرار گرفته در تالاب را که وظیفه‌ی انتقال آب درون آن را به داخل باتری سبز بر عهده دارند، تأمین کنند. باتری سبز در واقع مخزنی با ابعاد مشخص در بالادست تالاب است و توربین قرار گرفته در خروجی آن، در واقع خروجی سیستم تولید برق نیروگاه محسوب می‌شود. طرح شماتیک نیروگاه جزرومدی اصلاح‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

در اولین قدم طراحی که انتخاب مکانی مناسب برای احداث سایت است، باید مد نظر داشت که این منطقه باید از موقعیت جغرافیایی، شرایط محیطی و زیست‌محیطی و به ویژه پتانسیل جزرومدی مناسب و معیارهای ویژه‌ای برخوردار باشد. دارا بودن عوامل طبیعی تأثیرگذار در ایجاد جزرومدهای قوی‌تر از امتیازات این منطقه محسوب می‌شود. این عوامل طبیعی می‌توانند حفره‌ها و منفذهای ساحلی، یا انشعابات و مسیرهای کانال‌مانند عبور آب، یا شکل خاص لبه‌ی صفحات ساحلی باشند.

(آ) نقشه‌ی ماهواره‌ای .



(ب) داده‌های آماری.

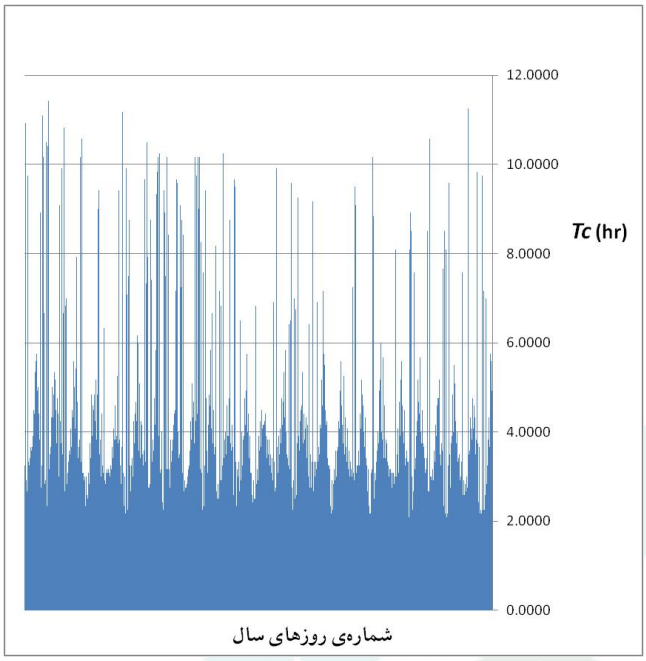
شکل ۳: نقشه‌های بندر امام خمینی.

با بررسی ارتفاع جزرومد در موقعیت‌های مختلف و در کلیه‌ی روزها و هفته‌ها و ماه‌های یک سال برای بنادر جنوب کشور، مناسب‌ترین مناطق جهت احداث سایت، قابل انتخاب خواهند بود: بندر امام خمینی (ره) و بنادر اطراف جزیره‌ی قشم [۴]. با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی بندر امام خمینی (ره) که در شکل ۳(آ) نشان داده شده است[۴]، میانگین ارتفاع ماهیانه‌ی جزرومد آب در این بندر از مرز ۶ متر هم می‌گذرد و این موضوع این منطقه را منحصربه‌فرد می‌سازد. داده‌های آماری [۷] هم مطابق شکل ۳(ب) این ادعا را تأیید می‌کنند. با توجه به مساعد بودن نسبی سایر شرایط، بندر امام به عنوان سایت مورد بررسی، انتخاب می‌شود.

محاسبات

با بررسی کلی داده‌های جزرومدی بندر امام خمینی (ره) مربوط به همه‌ی روزهای سال و با وارد کردن آن‌ها در نرم‌افزار متلب (شکل ۴)، می‌توان مشخص نمود که دریچه‌های تالاب در یک نیم‌روز جزرومدی، برای فراهم شدن اختلاف ارتفاع ۲ متری مورد نیاز بین سطح آب دریا و تالاب، به طور متوسط باید ۳/۶ ساعت (T_c) بسته باشند. با توجه به این‌که هر سیکل نیم‌روزی ۱۲/۵ ساعت است، زمان متوسط باز بودن دریچه‌های تالاب مطابق معادله‌ی (۱)، ۸/۹ ساعت (T_o) خواهد بود.

$$T_o = ۱۲/۵ - T_c \qquad (۱)$$



شکل ۴: نمودار میله‌ای فراوانی مدت زمان بسته بودن دریچه‌ها.

با توجه به این که تلرانس ارتفاع آب مخزن باتری سبز در زمان بسته بودن دریچه‌ها و قطع شدن ورودی باتری، مبنای محاسبه‌ی قطر مخزن قرار می‌گیرد، انتخاب توربین با هد کم به عنوان توربین مولد برق نیروگاه، سبب افزایش بیش از اندازه‌ی قطر مخزن می‌شود که علاوه بر محدودیت‌های ساخت، هزینه‌های گزافی به همراه خواهد داشت. در نتیجه برای اجتناب از بزرگ شدن ابعاد مخزن، به ناچار باید با افزایش محدوده‌ی هد توربین، تلرانس ارتفاع آب درون باتری سبز را افزایش داد و از این طریق باعث کاهش ابعاد مخزن شد.

با انتخاب تلرانس ۵ متری برای ارتفاع آب درون باتری سبز و با بررسی کاتولوگ‌های کارکرد توربین‌ها و با مد نظر داشتن توان خروجی ده مگاوات به عنوان توان خروجی پایه، توربین مناسبی با دبی عبوری ۵۵ مترمکعب بر ثانیه و هد ۲۱/۱ متر به عنوان توربین اصلی نیروگاه انتخاب می‌گردد.

ابعاد مخزن ذخیره، با توجه به مشخصات کارکرد این توربین، مشخص می‌شود. حجم آب خروجی از مخزن در زمان‌هایی که آبی به درون باتری سبز پمپ نمی‌شود، مطابق معادله‌ی (۲) قابل محاسبه است.

$$V = Q \times T_c \qquad (۲)$$

که در آن T_c متوسط زمان مورد نیاز برای رسیدن اختلاف سطح آب دریا و حوضچه به مقدار حداقلی ۲ متر، یا همان متوسط زمان بسته بودن دریچه‌های تالاب است که برابر با ۳/۶ ساعت محاسبه شده است. Q دبی مورد نیاز ۵۵ حسب مترمکعب بر ثانیه جهت کارکرد توربین خروجی و V حداقل حجم مخزن باتری سبز بر حسب مترمکعب است.

پس از حل نهایی می‌توان نتیجه گرفت که به منظور تأمین جریان پیوسته‌ی آب مورد نیاز کارکرد توربین خروجی مخزن و در نتیجه تولید پیوسته انرژی الکتریکی، به مخزنی به حجم ۷۱۲۸۰۰ مترمکعب، ارتفاع حداقلی ۵ متر و قطر ۴۲۶/۰۵ متر نیاز است که برای کاهش هزینه‌های ساخت روی پایه‌ی بتنی به ارتفاع ۱۶/۱ متر قرار دارد تا بتواند جواب‌گوی هد مورد نیاز توربین مولد نیروگاه

هم باشد.

همان‌گونه که بیان شد، با توجه به بازه‌ی تغییرات اختلاف ارتفاع جزرومدی سایت انتخابی بندر امام خمینی (ره)، اختلاف ارتفاع متوسط ۲ متر به عنوان معیار انتخاب توربین مناسب قرار می‌گیرد. آن‌چه که باید در انتخاب این توربین مد نظر قرار داد این است که توربین‌های با هد کم تنوع زیادی ندارند و در انتخاب آن‌ها محدودیت زیادی وجود دارد. با بررسی کاتولوگ‌های مربوط به توربین‌های با هد انتخابی ۲ متر و با مد نظر داشتن پارامترهای تاثیرگذار در طراحی یعنی هد، دبی، توان تولیدی و قیمت، توربین با توان ۷۰ کیلووات و دبی ۴/۷ مترمکعب بر ثانیه به عنوان توربین کمکی نیروگاه، برای به‌کارگیری در تالاب انتخاب می‌گردد.

با توجه به رابطه‌ی موجود بین توان مصرفی پمپ‌ها و توان تولیدی توربین‌های کمکی (رابطه‌ی (۳)) و رابطه‌ی مربوط به توان پمپ‌ها (رابطه‌ی (۴))، و مساوی قرار دان آن‌ها، می‌توان تعداد توربین‌های کمکی مورد نیاز را مشخص نمود که تعداد آن‌ها ۳۰۶ عدد به دست می‌آید.

$$\text{(توان پمپ‌ها)} = \text{(توان توربین‌ها)} \times ۰/۸۵ \quad (۳)$$

$$\text{(توان پمپ‌ها)} = \text{(دبی)} \times \text{(فشار)} \quad (۴)$$

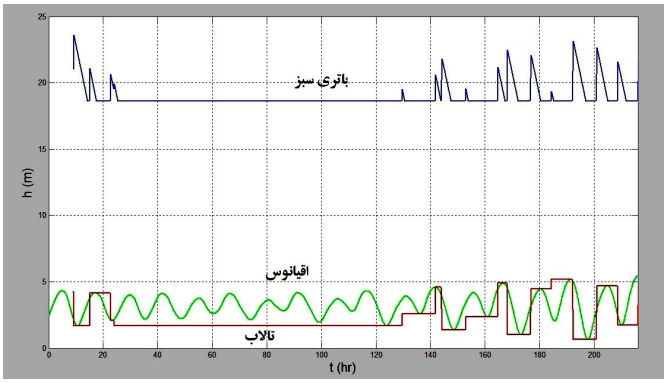
به منظور تکمیل نمودن طراحی تالاب، با توجه به مقدار برآورد شده‌ی حجم اولیه‌ی تالاب به ازای آب ورودی به تالاب از طریق یک توربین (رابطه‌ی (۵)) و مشخص شدن تعداد توربین‌های کمکی، می‌توان مقدار دقیق حجم تالابی به ارتفاع ۶ متر را با توجه به رابطه‌ی (۶) مشخص نمود. ارتفاع تالاب به این دلیل ۶ متر در نظر گرفته شده است که بتواند حداکثر ارتفاع جزرومد در بندر امام خمینی (ره) را که در بیشترین حالت به زحمت به ۶ متر می‌رسد را هم پاسخ‌گو باشد.

$$\begin{aligned} V_i &= Q \times T_o \\ V_i &= ۴/۷ \times ۳۶۰۰ \times ۸/۹ \\ V_i &= ۱۵۰۵۸۸ \ m^۳ \end{aligned} \quad (۵)$$

$$\begin{aligned} V &= n \times V_i \\ V &= ۴۶۰۷۹۹۲۸ \ m^۳ \end{aligned} \quad (۶)$$

با مشخص شدن حجم دقیق تالاب، انتخاب نوع توربین‌ها، تعیین تعداد توربین‌های کمکی، می‌بایست با انتخاب نوع و تعداد مناسب پمپ جهت قرارگیری در تالاب و پمپاژ کردن آب تالاب به درون باتری سبز، مراحل طراحی تالاب را تکمیل نمود. از آن‌جا که دبی و ارتفاع پمپاژ مبنای اصلی انتخاب پمپ قرار می‌گیرند، و با توجه به مقادیر به دست آمده برای دبی و ارتفاع پمپاژ و همچنین با توجه به نوع سیال در گردش، پمپ انتخابی برای تالاب یقیناً از نوع گریز از مرکز خواهد بود.

در مواردی که میزان دبی انتقال یافته توسط پمپ، به اندازه‌ی مطلوب نیست و به ازای دبی مورد نیاز، اندازه‌ی پمپ انتخابی بزرگ و در نتیجه هزینه‌ی خرید بالا می‌رود، می‌توان به منظور افزایش آب‌رسانی، تعدادی پمپ را به صورت موازی در مسیر انتقال آب قرار داد. ضمن این‌که با افزایش تعداد پمپ‌ها، ضریب اطمینان بهره‌برداری از لحاظ تعداد پمپ ذخیره، بیشتر و امکان تعمیر و



شکل ۵: نمودارهای تغییرات همزمان سطح آب اقیانوس، تالاب و باتری سبز.

تعویض وسایل و جابه‌جایی واحدها نیز آسان‌تر می‌شود. در واقع هدف از موازی بستن پمپ‌ها، به دست آوردن دبی بیشتر از سیستم است. شایان ذکر است که شرط اساسی برای اتصال موازی پمپ‌ها این است که همه‌ی پمپ‌ها دارای هد برابر باشند.

با توجه به دبی عبوری ۵۵ متر مکعب بر ثانیه از مجموعه‌ی پمپ‌ها و هد ۲۱/۱ متر برای ارتفاع پمپاژ و با مراجعه به کاتولوگ‌های مربوط به گروه صنایع پمپ‌سازی ایران (پمپیران) [۸]، می‌توان ۱۹۰ عدد پمپ گریز از مرکز مدل ETANORM 300-360 را به صورت موازی در تالاب به کار گرفت.

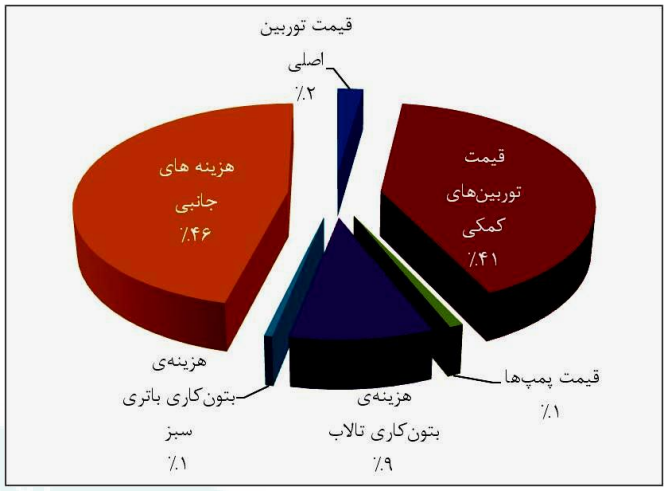
نتایج

می‌توان اطلاعات لحظه‌به‌لحظه‌ای کارکرد قسمت‌های مختلف نیروگاه را در همه‌ی روزهای سال به وسیله‌ی نمودارهایی که توسط نرم‌افزار متلب رسم شده است و در شکل ۵ آورده شده است، بررسی کرد. با بررسی نمودار، می‌توان معلوم کرد که در سی‌وسه روز از سال هد توربین‌ها در هیچ یک از ساعات روز تأمین نمی‌شود و نیروگاه قادر به کارکرد نخواهد بود.

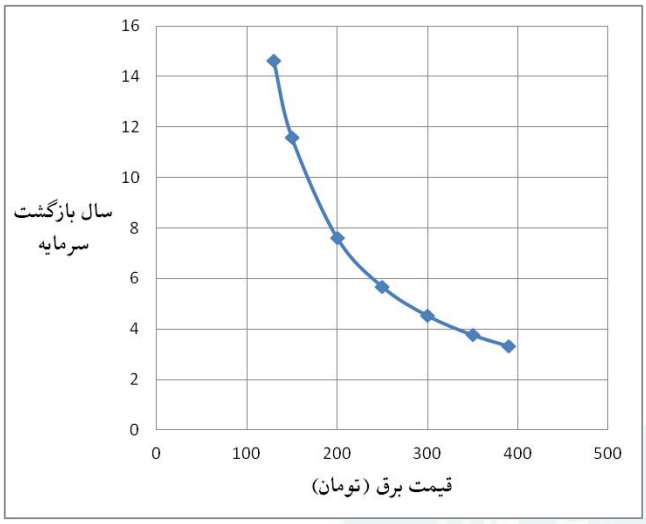
با توجه به وضعیت خاص کشور ما و سایر کشورهای در حال توسعه و بحران‌های مالی در این کشورها، امکان تأمین سرمایه‌ی مورد نیاز برای اجرای پروژه‌های بزرگ به راحتی فراهم نمی‌شود. بنابراین پایین بودن هزینه‌های برآورد شده برای یک طرح یک ضرورت اصلی برای تحقق آن محسوب می‌شود. در نتیجه ارزیابی اقتصادی و برآورد هزینه‌های طرح، به عنوان گام نهایی در مراحل امکان‌سنجی قرار می‌گیرد.

در بخش ارزیابی مالی و اقتصادی، محاسبه‌ی مجموعه هزینه‌های سرمایه‌گذاری اعم از سرمایه‌گذاری ثابت و جاری، منابع درآمد مالی، سودآوری در ابعاد خرد و کلان، دوره و نرخ بازگشت سرمایه، تأثیرات طرح در ایجاد اشتغال و غیره از جمله مواردی است که بررسی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. با برآورد اولیه‌ی هزینه‌های مربوط به ساخت و خرید تجهیزات قسمت‌های مختلف نیروگاه، می‌توان هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه را به دست آورد (شکل ۶) و با به دست آوردن هزینه‌ی تعمیر و نگهداری قطعات اصلی و هزینه‌ی نیروی انسانی، هزینه‌ی جاری طرح قابل محاسبه خواهد بود. علاوه بر هزینه‌هایی که به صورت سالیانه به نیروگاه اعمال می‌شود، تولید انرژی الکتریکی و فروش آن برای نیروگاه درآمدزایی می‌کند.

در آخر با در نظر داشتن این مسأله که هزینه‌ی تأمین سوخت برای یک



شکل ۶: هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه به تفکیک درصد.



شکل ۷: نمودار سال بازگشت سرمایه بر حسب تغییرات قیمت برق.

نیروگاه جزرومدی صفر در نظر گرفته می‌شود، می‌توان هزینه‌ی کلی برآورد شده برای نیروگاه را به دست آورد.

بعد از انجام محاسبات مربوط به قسمت آنالیز هزینه، می‌توان به این نتیجه رسید که میزان سرمایه‌گذاری اولیه برای طرح بسیار بالا به دست می‌آید. از جمله عواملی که باعث افزایش هزینه‌های نیروگاه می‌شود، هزینه‌ی بالای ساخت مخزن ذخیره و قیمت بالای توربین‌های کمکی است. در صورتی که سایت انتخابی از شرایط جغرافیایی مساعدی در جهت تأمین ارتفاع مطلوب و ارتفاع جزرومدی بالاتری برخوردار بود، برای تحقق طرح نیاز به ساخت مخزنی با این ابعاد و به‌کارگیری توربین‌های با هد کم نبود.

بعد از محاسبه‌ی دوره‌ی بازگشت سرمایه برای طرح، که در واقع مدت زمانی است که در آن مدت (بر حسب سال) مجموع جریان‌های نقدی ورودی با مبلغ خالص سرمایه‌گذاری برابر می‌شود، نکته‌ای که بسیار با اهمیت جلوه می‌کند، تأثیر قیمت برق بر روی مقدار این دوره است. با قیمت کنونی برق تجدیدپذیر، به قرار ۱۳۰ تومان به ازای هر کیلووات‌ساعت، دوره‌ی بازگشت سرمایه معادل ۱۴/۶۲ سال به دست می‌آید. با توجه به تأثیر قیمت برق بر دوره‌ی بازگشت سرمایه (شکل ۷)، در صورت افزایش قیمت برق تا میزان ۳۹۰ تومان به ازای هر کیلووات‌ساعت، میزان دوره‌ی بازگشت سرمایه با کاهش چشم‌گیری همراه خواهد بود و به مقدار ۳/۳۲ سال خواهد رسید و در نتیجه طرح احداث این نیروگاه اقتصادی خواهد بود.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه هزینه‌های اولیه‌ی این نیروگاه‌ها بالاست، اما ساخت آن‌ها می‌تواند دارای مزایای جانبی بی‌شماری برای محل احداث در زمینه‌های مختلفی همچون راه‌سازی، شیلات و غیره باشد ضمن این‌که بی‌نیازی آن‌ها به سوخت جهت کارکرد، با توجه به قیمت بالا و رو به رشد سوخت‌های فسیلی، به عنوان مزیتی بسیار حایز اهمیت چه از نظر اقتصادی و چه از نظر زیست‌محیطی محسوب می‌شود که در کنار هزینه‌های بالای احداث این نیروگاه‌ها، نمی‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.

نتیجه‌گیری

با وجود هزینه‌های بالای برآورد شده در مورد این طرح، لازم است به نکاتی در خصوص این دسته از نیروگاه‌ها اشاره شود. با توجه به قیمت بالا و رو به رشد سوخت‌های فسیلی، بی‌نیازی این نیروگاه‌ها به سوخت جهت کارکرد، به عنوان مزیتی بسیار حایز اهمیت محسوب می‌شود که در کنار هزینه‌های بالای احداث این نیروگاه‌ها نمی‌توان از این مزیت چشم‌پوشی کرد.

نکته‌ی دیگری که باید به آن توجه نمود این است که ساخت سد که از ملزومات یک نیروگاه جزرومدی است، می‌تواند دارای مزایای جانبی بی‌شماری برای محل احداث نیروگاه باشد. راه‌سازی بر روی سد و استفاده از آن به عنوان پل ارتباطی یا حتی استفاده از آن به عنوان اسکله در سایت‌هایی که به عنوان بندر شناخته می‌شوند یا ایجاد محیط مناسب جهت بهره‌گیری در صنعت شیلات از جمله فواید جانبی ساخت سد محسوب می‌شود که توجه به آن هزینه‌های اختصاص یافته برای ساخت سد جزرومدی را به میزان زیادی توجیه‌پذیر می‌کند.

شایان ذکر است که موضوع راه‌سازی بر روی سد جزرومدی، به ویژه در مورد سایت انتخابی بندر امام خمینی (ره) حایز اهمیت است. چرا که به دلیل وجود جزایر بکر و غیرقابل دسترس بودن اطراف بندر، احداث سد امکان ایجاد ارتباط با این جزایر را فراهم می‌سازد و این موضوع با توجه به موقعیت استراتژیکی خاص بندر امام، بسیار با ارزش تلقی می‌شود.

مسأله‌ی قابل بررسی دیگر در خصوص این دسته از نیروگاه‌ها این است که به دلیل عدم استفاده این نیروگاه‌ها از سوخت‌های فسیلی، آلودگی زیست‌محیطی در پی ندارند. این موضوع علاوه بر این‌که از لحاظ زیست‌محیطی حایز اهمیت است، از نظر اقتصادی نیز به عنوان یک مزیت برای این دسته از نیروگاه‌ها مطرح است. چرا که به واسطه‌ی عدم تولید آلاینده‌ها، این نیروگاه‌ها از پرداخت بهای زیست‌محیطی آلاینده‌های متدوال معاف هستند.

به طور کلی از دید اقتصادی می‌توان اضافه نمود که اگر چه هزینه‌های اولیه‌ی نیروگاه‌های جزرومدی بسیار بالاست، اما از این نکته نمی‌توان چشم پوشید که این دسته از نیروگاه‌ها طول عمر بالایی دارند، به علاوه منبع تولید انرژی آن‌ها به طور رایگان و همیشه در دسترس است و انرژی حاصله از آن‌ها کمترین میزان آلودگی را مخصوصاً از لحاظ انتشار گازهای آلاینده دارد.

مراجع

[۱] R. H. Charlier, Charles W. Finkl, 2009. *Ocean Energy: Tide and Tidal Power,* Springer, On the WWW, at http://www.Books.google.com/,August. PDF file.

[۲] Thomas B. Johansson, Henry Kelly, Amulya K. N. Reddy, Robert H. Williams, Laurie Burnhum, 1993. *Renewable Energy: Sources For Fules And Electricity,* 1st ed. Island Press. See also URL http://www.Books.google.com.

[۳] Thomas James Gray, O. K. Gashus, 1972. *Tidal Power Plant: Proceedings,* 1st ed., Vol. 2 of Energy Series .Plenum Press. See also URL http://www.Books.google.com.

[۴] Google Map. On the WWW, August. URL http://www.google.com/imghp.

[۵] Wiliam Cronk Elmore, Mark A. Heald, 1985. *Physics Of Waves,* 1st ed., Vol. 2 of Energy Series .Mc Graw-Hill Book Campany. See also URL http://www.Books.google.com.

[۶] Alireza Khaligh, Omer C. Onar, 2009. *Energy Harvesting: Solar, Wind, and Ocean energy conversion systems,* 1st ed., Vol. 1 of Energy Series .Taylor and Francis, illustrated. See also URL http://www.Books.google.com.

[۷] National Cartographic Center Of Iran, Department Of Hydrography Official Web site. On the WWW, August. URL http://www.iranhydrography.org.

[۸] PUMPIRAN CO. On the WWW, August. URL http://www.pumpiran.com.