

بررسی تولید انرژی از پتانسیل جزر و مد در مقیاس آزمایشگاهی (مطالعه موردی خور دورق)

امید ماه پیکر^۱، مسعود صدری نسب^{۲*}، مرتضی بختیاری^۳، نیما شهنی کرمزاده^۳

۱. گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
۲. گروه مهندسی طراحی محیط زیست، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست، دانشگاه تهران
۳. گروه مهندسی سازه های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

چکیده

امروزه در بسیاری از کشورهای پیشرفته از انرژی های نظیر باد و خورشید و همچنین انرژی تجدیدپذیر دریایی به منظور کاهش انتشار گازهای مضر استفاده می شود. استفاده از این انرژی ها به سرعت در حال افزایش است و کشورها به مطالعه طرح های جدید در این زمینه می پردازند. یکی از پاک ترین انرژی های تجدید پذیر دریایی انرژی پتانسیل جزر و مدی است. مطالعات نشان می دهد بهترین مکان جهت بهره برداری از این انرژی در خلیج فارس و دریای عمان، خور دورق است که در شمال خلیج فارس (خور موسی) واقع شده است. این خور یکی از مناطق منحصربه فرد خلیج فارس با بیش از ۵ متر دامنه ی جزر و مد است که پتانسیل لازم برای تولید انرژی جزر و مدی در این منطقه را دارد. در این تحقیق، مدلی فیزیکی از خور ساخته شده و سپس جزر و مد به صورت کیفی با به کارگیری سیستم پمپاژ ایجاد می شود. با ایجاد دو سد در خور، حوضچه ای جهت ذخیره آب شکل می گیرد. همچنین در این سیستم یک پروانه که به موتور الکتریکی متصل است، جهت تولید الکتریسیته در یکی از سدها تعبیه شده است به طوری که قابلیت چرخش در دو جهت را داراست. برای اندازه گیری انرژی و توان، مقاومت الکتریکی و آمپرسنج به کار گرفته شده است. نتایج نشان داد که با افزایش اختلاف ارتفاع آب، شدت جریان الکتریکی به صورت نمایی افزایش می یابد. همچنین در بررسی آزمایشگاهی تولید توان تحت حالات مختلف، این نتیجه حاصل شد که بیشینه بازده مدل ۱۵٪ است و در صورتی که تولید انرژی در حالت دوطرفه انجام گیرد، میزان توان تولیدی بین ۳۰٪ تا ۵۰٪ افزایش می یابد.

واژگان کلیدی: خور دورق، انرژی جزر و مدی، توان الکتریکی، خلیج فارس

* نویسنده مسئول، masoud.sadri@gmail.com

۱. مقدمه

بالا و پایین آمدن سطح اقیانوس‌ها و دریاها را در اثر نیروی جاذبه ماه، خورشید و سایر اجرام سماوی جزر و مد یا کشند می‌گویند. حرکات کشندی اجسام آب، به شکل حرکت موجی با دوره‌ی تناوب بلند جلوه‌گر می‌شوند. به طوری که در این حرکت، سطح آب در یک نقطه‌ی معین بالا یا پایین می‌رود. نمودار تغییر تراز آب دریا بر حسب زمان در مدت تکرار دو مد یا دو جزر متوالی را دوره جزر و مد می‌گوییم (Chegini, 2011). از آنجایی که دوره‌های جزر و مدی به صورت پی‌درپی در حال تکرار هستند، جزر و مد را می‌توان به شکل موج طولانی بر حسب زمان رسم نمود. جزر و مد در واقع موج بلندی است که دوره تناوب آن بین ۱۲ الی ۲۴ ساعت متغیر بوده و ستیخ موج را مد و ناو موج را جزر می‌نامند.

برای استفاده از انرژی پتانسیل جزر و مد، با احداث سد در مقطعی از یک خور یا خلیج کوچک، آب بالا آمده در هنگام مد، در پشت سد ذخیره می‌شود و وقتی که آب به حالت جزر رسید، آب ذخیره‌شده در پشت سد رها شده و بدین گونه انرژی تولید می‌شود. نکته‌ای که در این روش باید مدنظر قرار داد، حداقل دامنه جزر و مدی است که بین ۴ تا ۶ متر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در صورتی که دامنه جزر و مدی کمتر از این مقدار باشد، احداث سد به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست (Kowalik, 2004).

روابط نظری برای بهره‌گیری از انرژی نیروگاه جزر و مدی توسط Gibart (۱۹۶۶)، Prandle (۱۹۸۴) و Godin (۱۹۸۸) به طریق زیر محاسبه می‌گردد:

$$H_d(t) = Z(t) - \zeta_0 \cos(\omega t) \quad (1)$$

در سمت راست رابطه ۱، جمله اول ارتفاع آب درون حوضچه و جمله دوم ارتفاع آب دریا یا اقیانوس می‌باشد که با جزر و مد نوسان می‌کند. $H_d(t)$ در این رابطه، اختلاف ارتفاع آب (head) می‌باشد. معادله پیوستگی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$S \frac{\partial Z}{\partial t} = -Q \quad (2)$$

$$Q = G_e \sqrt{2gH_d} \quad (3)$$

در رابطه ۲، S مساحت حوضچه، $\partial Z / \partial t$ سرعت قائم سطح آزاد و Q دبی آب خروجی از توربین است که طبق رابطه ۳ محاسبه شده و با زمان ثابت فرض می‌شود. G_e مساحت مؤثر دریچه می‌باشد که به نوع طراحی آن وابسته است. جهت مثبت تخلیه از حوضچه به سمت اقیانوس است. همچنین فرض بر این است که مساحت حوضچه با تغییر تراز سطح آب، ثابت می‌ماند. توان و انرژی تولیدشده طی یک دوره جزر و مدی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P = \rho g Q H \quad (4)$$

می‌باشد. در رابطه (۴)، ρ چگالی آب، g شتاب گرانشی زمین، Q دبی آب خروجی از توربین و H اختلاف ارتفاع آب در پشت و جلوی سد است. در صورتی که مساحت حوضچه آن قدر بزرگ باشد که تغییر ارتفاع آب پشت سد در مقابل خروج آب از دریچه ناچیز باشد، می‌توان دبی را ثابت فرض کرد.

برای محاسبه توان در حوضچه مطابق روابط نظری، رابطه انرژی جهت تولید توان را می‌توان به روشی دیگر نیز نوشت (Gorlov, 2001):

$$E = \frac{1}{2} \rho g A \Delta H^2 \quad (5)$$

در رابطه‌ی ۵، A مساحت حوضچه و ΔH اختلاف ارتفاع آب پشت سد است. سپس برای اندازه‌گیری توان متوسط رابطه فوق بر ۸۶۴۰۰ تقسیم می‌شود و توان متوسط در یک روز بدین ترتیب به دست می‌آید:

$$\bar{P} = \frac{E}{t} = \quad (6)$$

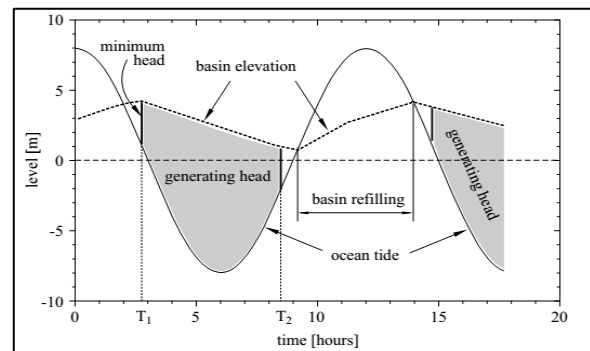
برای تولید انرژی حالت‌های مختلفی وجود دارد. در حالت اول، آب از طریق دریچه‌ها و توربین‌هایی که آزادانه می‌چرخند، وارد حوضچه می‌شود. تا زمانی که آب به حداکثر مد برسد، پر شدن حوضچه ادامه خواهد داشت. سپس، دریچه‌ها بسته شده و آب از سمت دریا کاهش پیدا می‌کند. وقتی اختلاف ارتفاع مناسب جهت تولید برق ایجاد شد، دریچه‌ها باز شده

Ashtari Larki (۲۰۱۲)، انرژی حاصل از جزر و مد در سواحل ایرانی خلیج فارس را مطالعه نمود. در این پروژه که می‌توان از آن به عنوان جامع‌ترین تحقیق در این زمینه یاد کرد، سواحل خلیج فارس از دو لحاظ جریان‌های جزر و مدی و دامنه‌ی جزر و مد مورد بررسی قرار گرفتند. این کار در دو بخش مجزا شامل عملیات میدانی که در ۱۰ ایستگاه صورت گرفته و همچنین مدل‌سازی عددی توسط مدل کوهرنس (COHERENS) انجام شده است.

Araquistain (۲۰۱۲) به بررسی جنبه‌های اقتصادی فناوری استفاده از انرژی جزر و مد پرداخت. در این پایان‌نامه، انرژی جزر و مد، همچنین روش‌های بهره‌گیری از آن و انواع مختلف توربین‌ها معرفی شده است. سپس هزینه‌های تولید انرژی با بررسی جوانب مختلف محاسبه شده است. مطابق نتایج این تحقیق، اگرچه استفاده از توربین‌های جریانی جهت تولید انرژی هزینه‌های گزافی در پی دارد، ولی با توجه به اینکه انرژی پاک و تجدید پذیر می‌باشد، استفاده از چندین توربین هزینه‌ها را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. همچنین احداث سد هزینه‌های زیادی جهت بهره‌برداری خواهد داشت ولی مزایای فراوانی وجود دارد که ساخت آن را توجیه می‌کند. در انتهای این پروژه پیشنهادهایی در جهت کاهش هزینه تولید انرژی ارائه شده است.

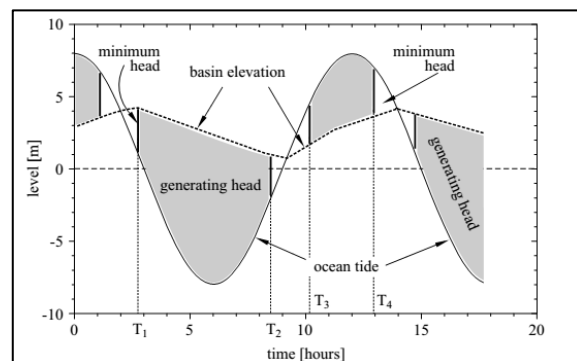
از مدل‌های فیزیکی مرتبط با خور، می‌توان به مینی-مدل قسمتی از خور Mersey که در آزمایشگاه Pat Kemp در دانشگاه لندن قرار دارد، اشاره کرد. این مینی‌مدل به منظور بررسی رسوبات بستر این خور طی جزر و مد جهت احداث پل، اجرا شده است. این خور از یک سمت به دریا و از سمت دیگر به خشکی منتهی می‌شود. این مدل به تدریج تکامل یافت و در آزمایش‌های نهایی، برای ۴۰۰۰ دوره‌ی جزر و مدی (حدود ۴۴ ساعت) اجرا شد و رفتارهای انتقال رسوب و تغییر شکل کانال مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس سه پایه با قطر ۵ میلی‌متر (به‌متاباه پایه‌های پل) بکار گرفته شد و نتیجه بدین‌صورت بود که محل پل به

و آب ضمن تولید انرژی از طریق توربین‌ها خارج می‌شود تا اینکه به سطح آب دریا برسد و این چرخه دوباره تکرار می‌شود. به این حالت، تولید جزری می‌گویند. در شکل ۱ نمودار پیوسته سطح آب دریا و نمودار منفصل سطح آب حوضچه را طی ساعات مختلف نشان می‌دهد. در فاصله زمانی هاشور خورده امکان تولید انرژی با توجه به اختلاف ارتفاع وجود دارد.



شکل ۱. تغییرات سطح آب دریا و حوضچه بر حسب زمان در حالت تولید جزری (Kowalik, 2004)

در حالت دوم، هم در لحظه پر شدن و هم در هنگام تخلیه‌ی حوضچه، برق تولید می‌شود. توربین‌هایی که بدین منظور استفاده می‌شوند باید قابلیت تولید برق در دو جهت را داشته باشند. در شکل ۲، تغییرات سطح آب دریا و حوضچه بر حسب زمان و همچنین امکان تولید انرژی با توجه به اختلاف ارتفاع سطح آب، در ناحیه هاشور خورده نمایش داده شده است.



شکل ۲. تغییرات سطح آب دریا و حوضچه بر حسب زمان در حالت دوطرفه (Kowalik, 2004)

یک دوره جزر و مد در مدل ۴۰ ثانیه است که معادل ۲۴ ساعت در واقعیت است.

۲. مواد و روش‌ها

در سمت شمال غربی خلیج فارس، در مرز مشترک این خلیج با استان خوزستان و در محدوده بندر امام خمینی (ره)، خور دورق واقع شده است. این خور یکی از انشعابات خور موسی بوده و در فاصله پنج کیلومتری بندر امام خمینی و پانزده کیلومتری بندر ماهشهر قرار دارد (شکل ۳). منطقه‌ای که در شکل مشخص شده است، دارای ۲۰ کیلومتر طول و ۱۰ کیلومتر عرض (به‌طور تقریبی) می‌باشد و دارای شیب عمومی بسیار محدود و بدون پستی‌وبلندی است (Shoab, 2011). جریان غالب در این خور ناشی از جزر و مد در خلیج فارس می‌باشد و به تبع آن، جزر و مد آن از نوع نیم‌روزه نابرابر می‌باشد. دامنه موج جزر و مدی واردشده از خلیج فارس به این خور بر اثر پدیده تشدید افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که در انتهای خور و در شرایط کهکشند ۵/۷ متر و در شرایط مهکشند ۵/۹ متر، و در ابتدای خور و در شرایط کهکشند ۴/۳ متر و در شرایط مهکشند ۴/۴ متر است. با توجه به تقسیم‌بندی خورها بر اساس دامنه جزر و مد، و در نظر گرفتن میانگین جزر و مد بین ۴ تا ۶ متر، می‌توان گفت که خور دورق یک خور ماکروتایدال است (Ashtari Larki et al., 2014).

لحاظ دینامیک رسوب در مقایسه با محل‌های بالادست و پایین‌دست نسبتاً غیرفعال است (Simons et al., 2007).

Oh و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه آزمایشگاهی ویژگی‌های تخلیه آب در یک سد جزر و مدی پرداختند. آزمایش‌ها در یک کانال باز مسطح با طول ۲۳/۶ متر و عرض ۱۶ متر و ارتفاع ۱ متر انجام شد. این کار در ۱۸ حالت مختلف شامل ۶ سرعت جریان و ۳ سطح آب صورت گرفت و سرعت جریان خروجی در این حالات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشگاهی در سرعت‌های متفاوت جریان و سطوح آب نشان داد که ضریب تخلیه سد در بازه ۱/۳ تا ۱/۴۷ قرار دارد.

Brammer و همکاران (۲۰۱۴) به مدل‌سازی عددی و فیزیکی فناوری‌های انرژی تجدید پذیر در دریا پرداختند. در این پروژه که با تمرکز بر روش‌های تولید انرژی از جزر و مد صورت گرفته، مدلی فیزیکی از خور Severn ساخته شده و اثرات احداث سد جزر و مدی بر سرعت جریان آب، در بالادست و پایین‌دست بررسی شده و هم‌زمان مدل عددی نیز در راستای مدل فیزیکی اجرا گردیده و نتایج با هم مقایسه شده است. مقیاس افقی و قائم در این تحقیق به ترتیب ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۱۲۵ در نظر گرفته شده به‌طوری‌که ابعاد افقی مدل ۶ متر در ۴ متر است. همچنین زمان



شکل ۳. موقعیت خور دورق در خلیج فارس

اولین مرحله ساخت هر مدل، تعیین محل آن می‌باشد. نکاتی را که در انتخاب محل باید در نظر گرفت عبارت‌اند از: داشتن فضای مناسب، دسترسی به جریان آب به اندازه کافی، امکان برگشت آب به مخزن، دسترسی آسان به امکانات برقی نظیر پریز و غیره جهت اتصال وسایل اندازه‌گیری، داشتن مسیر مناسب برای انتقال وسایل و مصالح مدل و در نظر گرفتن جزئیات امنیتی است (Shafai Bejestan, 2012). برای ساخت مدل ابتدا نقشه‌ای از منطقه، با ابعاد ۲ متر در ۱ متر تهیه گردید؛ به طوری که برای این اندازه‌ها، مقیاس افقی ۱:۱۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است. مقیاس عمودی می‌تواند متفاوت از مقیاس افقی انتخاب شود (Bulgakov and Meulere, 2003). از آنجایی که در این پروژه، صرفاً مقدار آب جابجا شده در اثر پدیده جزر و مد اهمیت دارد، لذا از شبیه‌سازی بستر خور صرف‌نظر شده است. برای ساخت فلوم، طرح منطقه بر روی ورقه‌ای از جنس نئوپان و سپس قطعات یونولیت با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پیاده شد. پس از برش یونولیت‌ها به تعداد ۳ عدد، لایه‌ها بر روی یکدیگر قرار گرفت و قالب اولیه طرح فراهم گردید. پس‌از آن، پوششی از جنس فایبرگلاس بر روی آن قرار داده شد و بعد از خشک شدن، قالب از درون آن خارج و مدل خور دورق آماده گردید (شکل ۴). ارتفاع خور در مدل شبیه‌سازی شده ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد که این مقدار با در نظر گرفتن دامنه‌ی جزر و مدی ۶ متر لحاظ شده است.

اولین مرحله ساخت هر مدل، تعیین محل آن می‌باشد. نکاتی را که در انتخاب محل باید در نظر گرفت عبارت‌اند از: داشتن فضای مناسب، دسترسی به جریان آب به اندازه کافی، امکان برگشت آب به مخزن، دسترسی آسان به امکانات برقی نظیر پریز و غیره جهت اتصال وسایل اندازه‌گیری، داشتن مسیر مناسب برای انتقال وسایل و مصالح مدل و در نظر گرفتن جزئیات امنیتی است (Shafai Bejestan, 2012). برای ساخت مدل ابتدا نقشه‌ای از منطقه، با ابعاد ۲ متر در ۱ متر تهیه گردید؛ به طوری که برای این اندازه‌ها، مقیاس افقی ۱:۱۰۰۰۰ در نظر گرفته شده است. مقیاس عمودی می‌تواند متفاوت از مقیاس افقی انتخاب شود (Bulgakov and Meulere, 2003).

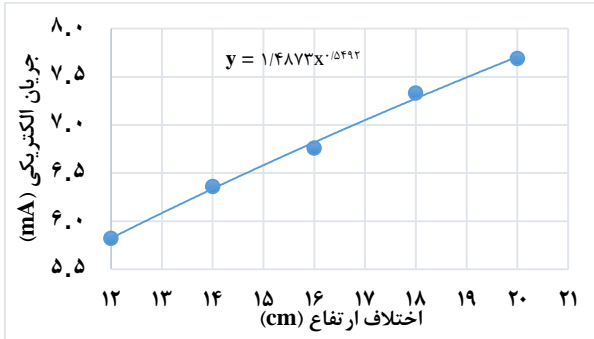


شکل ۴. فلوم خور دورق

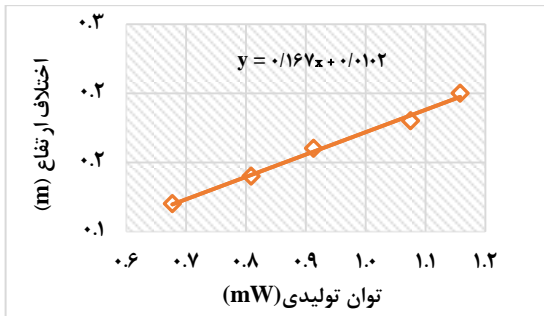
معمولاً آبرسانی یک سیستم تولید جزر و مد به وسیله‌ی پمپاژ دائم آب از یک حوضچه مجهز به سیستم بازچرخش، تأمین می‌گردد (Ghosh, 1998). بدین منظور برای آبرسانی مدل از یک مخزن با حجم حدود ۱۰۰ لیتر و پمپ آب Lowara مدل PM16/A با دبی ۱۰ - ۳۷ لیتر بر دقیقه استفاده شده است و سیستم به صورت بازچرخشی تنظیم شده است تا از اتلاف آب جلوگیری شود. برای تولید انرژی در حالت تک حوضچه‌ای، مناسب‌ترین حالت ایجاد دو سد در موقعیت‌های ۱ و ۲ (شکل ۳) می‌باشد. بدین منظور دو قطعه ورق نازک مطابق با عرض محل

موردنظر فراهم و در این نقاط به عنوان سد نصب شد. سد شماره ۲ کاملاً بسته می‌باشد، و سد شماره ۱ دارای دریچه‌ای به قطر ۴ سانتی‌متر می‌باشد که در انتهای دریچه، یک پروانه‌ی متصل به موتور الکتریکی نصب شده است. برای اندازه‌گیری میزان توان تولیدی از آمپرسنج و یک مقاومت ۲۰ اهمی استفاده شده است. پس از چرخیدن پروانه در اثر خروج آب، جریان الکتریکی در موتور الکتریکی تولید می‌شود. برای اندازه‌گیری این مقدار، جریان سنج به‌طور سری با مقاومت در مدار بسته شد. مطابق قانون اهم، اختلاف پتانسیل دو سر یک مقاومت با رابطه

تغییرات اختلاف سطح آب نیز در شکل ۷ نمایش و شیب خط در آن تعیین شده است که مقدار آن ۰/۱۶۱۷ است.



شکل ۶. نمودار تغییرات شدت جریان الکتریکی بر حسب تغییر اختلاف ارتفاع



شکل ۷. نمودار توان تولیدی در اختلاف ارتفاع‌های مختلف آب در حالت جزری مدل

حال مطابق روابط (۵) و (۶)، بازده موتور الکتریکی، اختلاف ارتفاع و مساحت حوضچه را طبق داده‌های مدل محاسبه می‌کنیم. بدین منظور جرم مخصوص آب استفاده شده در مدل ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، میانگین تغییر ارتفاع آب پشت سد در حالت‌های مختلف ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ سانتی-متری و همچنین مساحت ناحیه پشت سدها که برابر با ۰/۳ مترمربع بود، در رابطه ۵ قرار داده شده، سپس مقادیر انرژی به دست آمده در رابطه ۶ جهت محاسبه توان متوسط استاندارد قرار داده می‌شوند. از آنجا که زمان مورد نیاز برای دو جزر و مد متوالی ۱۱۱۰ ثانیه (معادل با ۲۴ ساعت در واقعیت) اندازه گیری شد، توان متوسط استاندارد طی این بازه زمانی محاسبه می‌شود. اکنون مقادیر توان استاندارد مدل که در

$V=RI$ داده می‌شود که در آن I شدت جریانی است که از مقاومت می‌گذرد. از طرفی مقدار انرژی مصرفی در یک مقاومت از این رابطه محاسبه می‌شود:

$$W = RI^2t \quad (7)$$

توان مصرفی که عبارت است از مقدار انرژی الکتریکی مصرف شده‌ی مقاومت در واحد زمان، از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{W}{t} \quad (8)$$

حال اگر مقدار انرژی را از فرمولش در رابطه توان جایگذاری کنیم، روابط مربوط به توان به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{RI^2t}{t} = RI^2 \rightarrow P = RI^2 \quad (9)$$

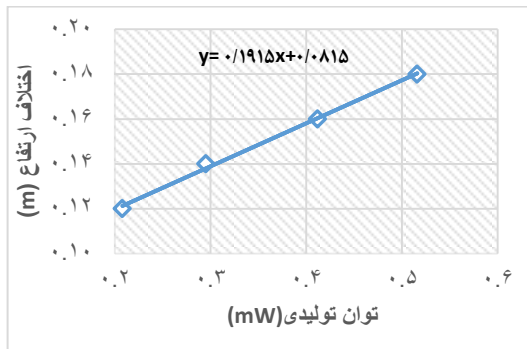
۳. نتایج

از آنجا که مقیاس عمودی ۱:۲۵ می‌باشد، لذا ارتفاع آب در پشت سد در حالات مختلف و به ازای هر ۲ سانتیمتر (معادل ۰/۵ متر در واقعیت) تغییر، بررسی شد و جریان الکتریکی در تمام حالات محاسبه گردید (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، با افزایش اختلاف ارتفاع بین دو طرف، شدت جریان الکتریکی افزایش می‌یابد.



شکل ۵. تولید جریان الکتریکی با چرخش پروانه

اکنون با توجه به میانگین شدت جریان الکتریکی در هر اختلاف تراز سطح آب، توان تولیدی را برای مقاومت ۲۰ اهمی بر حسب میلی‌وات محاسبه می‌کنیم (جدول ۱). روند تغییرات توان نسبت به



شکل ۸. نمودار توان تولیدی در اختلاف ارتفاع‌های مختلف آب در حالت مدی مد

۴. بحث و نتیجه‌گیری

Ashtari Larki و همکاران (۲۰۱۴)، مقدار انرژی جزر و مدی در صورت احداث سد را محاسبه نمودند. در ساده‌ترین حالت و بدون هیچ‌گونه تغییر و تراحمی با فعالیت موجود بندر می‌توان با احداث سد، در ابتدای خور دورق فرعی حوضچه‌ای به مساحت حدود ۹ کیلومترمربع ایجاد نمود. با جای گذاری مقادیر مربوطه در رابطه توان، توان متوسط حدود ۳۲ مگاوات به دست می‌آید که با در نظر گرفتن بازده ۳۵ درصد برای توربین‌های تولیدکننده حدود ۱۱/۲ مگاوات انرژی الکتریکی حاصل می‌شود.

با افزایش ارتفاع آب در پشت سد، انتظار می‌رود که توان خروجی به صورت خطی و جریان الکتریکی به صورت نمایی تغییر کند، زیرا طبق معادله $P \sim H$ و مطابق رابطه‌ی ۹ در مدل، $P \sim I^2$ است و در نتیجه می‌توان گفت $H \sim I^2$ و $I = AH^{1/2}$ (که در اینجا A مقداری ثابت است). در شکل ۶ توان تابع نمایی 0.5475 است که این مقدار به 0.5 بسیار نزدیک می‌باشد و بیان می‌کند که نتایج مدل، روابط نظری درباره توان خروجی را تأیید می‌کنند.

با بررسی داده‌های مربوط به تغییر ارتفاع آب حوضچه در اثر تولید انرژی واضح است که هرچه اختلاف ارتفاع بین دو سمت سد بیشتر شود، کاهش ارتفاع آب در حوضچه پس از تولید انرژی نیز بیشتر می‌شود. با توجه به مقیاس قائم در نظر گرفته‌شده، می‌توان گفت در صورتی که اختلاف ارتفاع آب پشت و جلوی

جدول ۲ آمده است را با توان به دست آمده در شکل ۷ مقایسه می‌کنیم تا بازده مدل به دست آید. مقادیر توان استاندارد و توان خروجی مدل نشان می‌دهد که بیشینه بازده مدل در حدود ۱۵٪ است. بازده موتورهای الکتریکی بسته به مقدار مقاومت و همچنین قدرت میدان مغناطیسی آن‌ها از ۱٪ تا ۹۵٪ متفاوت است (Hoghes, 2006). با توجه به اینکه در مدل از طراحی پروانه دقیق برای چرخش موتور الکتریکی صرف نظر شده، بازده مدل مطلوب ارزیابی می‌شود.

جدول ۱: توان تولیدی (میلی‌وات) مدل در اختلاف ارتفاع‌های مختلف (سانتی‌متر) در حالت جزری

اختلاف ارتفاع	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰
$P = RI^2$	۰/۶۷۷	۰/۸۰۹	۰/۹۱۳	۱/۰۷۵	۱/۱۵۸

جدول ۲: توان استاندارد (میلی‌وات) مدل در اختلاف

ارتفاع‌های مختلف (سانتی‌متر) در حالت جزری

تغییر ارتفاع آب	۵/۷	۶/۶	۸	۹/۲	۹/۵
توان	۴/۳	۵/۸	۸/۵	۱۱/۲	۱۱/۹

در حالت معکوس جهت تولید انرژی، هنگام مد دریچه‌ی سد بسته می‌شود و پس از اینکه اختلاف لازم بین سطح آب حوضچه و دریا ایجاد شد، دریچه باز می‌شود تا ضمن پر شدن حوضچه نیز برق تولید شود. در این حالت نیز همانند حالت قبل جریان الکتریکی به ازای مقادیر مختلف اختلاف سطح آب در دو سمت اندازه‌گیری شد که نمودار توان تولیدی در اختلاف ارتفاع‌های مختلف در شکل ۸ نمایش داده است (جدول ۳).

جدول ۳: توان تولیدی (میلی‌وات) مدل در اختلاف ارتفاع‌های مختلف (سانتی‌متر) در حالت مدی

اختلاف ارتفاع	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸
$P = RI^2$	۰/۲۰۸	۰/۲۹۵	۰/۴۱۲	۰/۵۱۶

حد زیادی مسائل مربوط به تجمع رسوبات در پشت سد را برطرف کرد، زیرا در هر دوره جزر و مدی، جریان پرسیعت در دو سوی سد ایجاد می‌شود و این مانع از شکل‌گیری و انباشت رسوب در جلو و پشت سد می‌شود.

در پایان پیشنهادهایی مطرح می‌شود که در دو حوزه فیزیک‌دریا و محیط‌زیست‌دریا می‌تواند مورد توجه متخصصین مربوطه قرار گیرد و در پروژه‌های آتی بررسی شود.

۱- یکی از موضوعات مهم در بحث سدسازی، انتقال و تجمع رسوب در پشت سد است. از آنجایی که استفاده از انرژی جزر و مدی در منطقه خور دورق به‌طور مستقیم با این عامل در ارتباط است، لذا پیشنهاد می‌شود قبل از اجرای طرح سد جزر و مدی، مطالعه‌ی جامعی پیرامون شناسایی نوع رسوبات و نحوه‌ی انتقال آن‌ها در منطقه انجام گیرد که این کار می‌تواند به‌صورت عملیات میدانی و یا مدل‌سازی عددی-فیزیکی صورت گیرد.

۲- موضوع دیگری که باید مدنظر قرار داد اثرات زیست‌محیطی احداث سد است. احداث سد نه در این نقطه، بلکه در هر جای دیگر، مسلماً دارای آثار زیست‌محیطی خاصی می‌باشد که گاه ممکن است مفید و گاهی غیرمفید باشد. در صورت احداث سد در منطقه، از یک‌سو ارتباط آبریزان موجود با دریا قطع گردیده و این امر در پراکندگی و مهاجرت آبریزان مؤثر است. از سوی دیگر با احداث سد می‌توان محیطی آرام و به دور از استرس جزر و مد با توجه به دامنه جزر و مدی بالا، در منطقه ایجاد نمود که این محیط می‌تواند جهت پرورش ماهی و همچنین توسعه‌ی بندر به کار گرفته شود. علاوه بر این از آنجاکه تولید برق به کمک یک عامل طبیعی صورت می‌گیرد، هیچ‌گونه آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی در فرآیند تولید انرژی ایجاد نمی‌شود (Wolf et al., 2009). بنابراین اگرچه مزایای زیست‌محیطی چنین طرحی فراوان است ولی پیشنهاد می‌شود که بررسی ویژه‌ای در این منطقه پیرامون موجودات آبرزی، گیاهان و

در منطقه خور دورق حدود ۳ متر باشد، ارتفاع آب حوضچه پس از تولید انرژی حدود ۱/۲۵ تا ۱/۵ متر کاهش می‌یابد و اگر اختلاف ارتفاع آب در پشت و جلوی سد ۵ متر شود، ارتفاع آب حوضچه پس از تولید انرژی حدوداً ۲/۵ متر کاهش می‌یابد. با نگاهی به شکل ۱ چنین نتیجه می‌گیریم که همواره مقدار تغییرات ارتفاع آب حوضچه نسبت به دریا در اثر تولید انرژی باید کمتر باشد و داده‌های مربوط به آزمایش‌ها هم این نکته را تأیید می‌کنند.

با مقایسه نتایج حالت جزری و مدی درمی‌یابیم که بیش‌ترین انرژی در حالت مدی، زمانی است که اختلاف ارتفاع جلو و پشت سد ۱۸ سانتی‌متر باشد که این مقدار حدود ۴۸٪ تولید نسبت به حالت جزری با همین اختلاف ارتفاع است. در صورتی که اختلاف ارتفاع در حالت مدی ۱۲ سانتی‌متر باشد، انرژی تولیدی حدود ۳۰٪ حالت جزری با همین اختلاف ارتفاع است. این نتایج با نمودار شکل ۲ همخوانی دارد.

علت کاهش تولید در حالت مدی، می‌تواند ساختار و شکل سد و دریچه‌ها باشد. اگرچه می‌توان توربین‌هایی به کار برد که در دو جهت قادر به تولید انرژی باشند ولی ساختار سد به‌گونه‌ای طراحی شده است که در حالت جزری انرژی تولید شود. همچنین دلیل دیگر این امر را می‌توان به نوسان کمتر سطح آب در ناحیه جلوی سد نسبت داد. نواحی جلوی سد معمولاً کاربری تجاری و اقتصادی دارد، لذا برای جلوگیری از اختلال در فعالیت بندر نمی‌توان سطح آب را به‌طور مداوم دچار تغییر کرد و این موضوع باعث می‌شود تا در حالت مدی توان تولیدی کمتری نسبت به حالت جزری وجود داشته باشد.

پس می‌توان چنین نتیجه گرفت که در صورت استفاده از توربین‌های دوطرفه و تولید انرژی در حالت مدی، حداقل ۳۰٪ می‌توان راندمان تولید انرژی را افزایش داد که این مقدار می‌تواند تا ۵۰٪ بسته به اختلاف ارتفاع آب در دو سمت افزایش داشته باشد. همچنین در صورت استفاده از این طرح شاید بتوان تا

مطالعه شود.

منابع

- Araquistain, T. M., 2012, Tidal Power: Economic and Technological, M.Sc. thesis, Tsinghua University, 87 p.
- Ashtari Larki, A., 2012, study of tidal energy potential in Iranian coasts of the Persian Gulf, Ph.D. thesis, Khorramshahr university of marine science and technology, 114p.
- Ashtari Larki, A., Sadrinassab, M., Tomczak, M., Chegini, V., Kabi, A., 2014, estimation of electrical energy due to tide in doragh estuary, Journal of marine science and technology, Volume 12, Issue 2, 16-24.
- Brammer, J. R., Falconer, R. A., Ellis, C., Ahmadian, R., 2014, Physical and Numerical Modelling of the Severn Barrage, Science China Technological Sciences, Vol. 57, No. 8, 1471-1481.
- Bulgakov, S.N. and Meulerent Pena, A.R., 2003, Loop current dynamics in laboratory experiments, Interciencia, vol. 28, num. 6, pp. 316-322.
- Chegini, V., 2011, Glossary of Coastal Engineering and Physical Oceanography, Iranian National Institute for Oceanography Press, First Edition, 784p.
- Gibart, R., 1966, L'energie des marees, Presses Univ. France, Paris, 219 p.
- Godin, G., 1988, Tides, CICESE, Ensenada Baja California, 290 p.
- Gorlov, A. M., 2001, Tidal Energy, Northeastern University, Boston Massachusetts, USA, 2955-2960.
- Ghosh, S., N., 1998, Tidal Hydraulic Engineering, CRC Press, 184p.
- Hoghes, A., 2006, Electric Motors and Drives (fundamentals, types and applications), Published by Elsevier Ltd, 410p.
- Kowalik, Z., 2004, Tide distribution and tapping into tidal energy: Oceanologia 46, 3, 291-331.
- Laleu, V., 2009, La Rance Tidal Power Plant, BHA Annual Conference-Liverpool-14 & 15 October.
- Oh, S.H., Lee, K.S. and Lee, D.S., 2012, experimental study on the discharge characteristics of sluice for tidal power plant, Coastal Development & Ocean Energy Research Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology.

محیط‌زیست آن توسط متخصصین ذی‌ربط صورت پذیرد و اثرات احداث سد بر روی آن‌ها به‌طور دقیق Prandle, D., 1984, Simple theory for designing tidal power schemes, Adv. Water Resour., 7, 12-27.

Shafai Bejestan, M., 2012, Basic Concepts and Application of Physical-Hydraulic Modeling (2nd Edition), Shahid Chamran University Press, 328p.

Shoab, N., 2011, Numerical modeling of tidal power in Doragh estuary, M.Sc. thesis, Khorramshahr university of marine science and technology, 80p.

Simons, R., Charles, E., Ansdell, L., Harvey, K., 2007, Investigation into scour around the proposed Mersey gateway crossing, Environmental and Geomatic Engineering Department, UCL, London.

Wolf, J., Walkington, IA., Holt, J., Burrows, R., 2009, Environmental Impacts of Tidal Power Schemes, Proc Inst Civil Eng-Maritime Eng, 162: 165-177.

Investigation of Energy Production from Tidal Potential in Experimental Scale (Doragh estuary case study)

Mahpeykar, Omid¹, Sadrinasab Masoud^{2*}, Bakhtiari, Morteza³, Shahni karamzadeh, Nima³

1. Department of Physical Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Iran

2. Department of Environment, University of Tehran, Iran

3. Department of Marine Structure Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Iran

Abstract

Nowadays, developed countries are using renewable energy, such as the wind and sun as well as oceanic renewable energy sources in order to minimize the emission of harmful gases. The use of such energy is increasing rapidly and many countries are studying new methods in this regard. One of the cleanest renewable oceanic energy types is tidal energy. Studies show that the best place for obtaining tidal energy throughout the Persian Gulf and the Oman Sea is the Doragh Estuary, which is located in the northern part of the Persian Gulf (Khore-Musa). This estuary is a unique area in the Persian Gulf with a tidal range of over 5 meters which has the potential to produce maximum tidal energy. In this study, a physical model of the Doragh Estuary was constructed and a pumping system was used to create tide in the model. Through creating two dams in the estuary, a water reserve was created. A propeller connected to a turbine with the capacity to rotate in two directions was fixed to one of the dams to create electricity. To measure the energy and power, a resistor and an ampermeter were used. The results of the model showed that with an increase in tidal range, there was a significant increase in the electrical current. Also, in experimental investigation, the production of power in different scenarios was carried out, and results showed that the maximum efficiency was 15% and if the production of power were two-way, the rate would increase to about 30%-50%.

Keywords: Doragh estuary, Tidal Energy, Electrical Power, Persian Gulf

Figure 1. Typical one-way cycle for a single bay. Sea level inside and outside the bay.

Figure 2. Typical two-way cycle for a single bay. Sea level inside and outside the bay.

Figure 3. Position of Doragh estuary in the Persian Gulf.

Figure 4. Doragh estuary flume.

Figure 5. Production of electrical current by rotation of propeller.

Figure 6. Change of electrical Current for different height level of water.

Figure 7. Change of produced power for different height level of water in ebb state.

Figure 8. Change of produced power for different height level of water in flood state.

Table 1. Generation power of Model for different height level of water in ebb state.

Table 2. Ideal produced power for different height level of water in ebb state.

Table 3. Produced power of Model for different height level of water in flood state.

*Corresponding Author's E-mail: masoud.sadri@gmail.com