مروری بر پژوهش‌های انرژی جریان‌های جزرومدی و انرژی امواج دریاهای ایران

اسماعیل سارانی[۱]

۱- استادیار دانشگاه دریانوردی و علوم دریائی شهرستان چابهار، sarani@cmu.ac.ir

چکیده

امروزه به دلیل افزایش شدید مصرف نفت در ایران ظرفیت صادراتی کشور کاهش‌یافته است و از طرفی به دلیل گرمایش جهانی و توافقنامه اقلیمی پاریس، باید تولید برق از منابع انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر جایگزین سوخت‌های فسیلی گردد. انرژی جریان‌های جز و مدی و انرژی امواج دریا از منابع مهم انرژی تجدیدپذیر هستند. در این مقاله ابتدا به‌مرور پژوهش‌هایی که انرژی امواج و جریان‌های جزرومدی در دریای خزر، خلیج‌فارس و دریای عمان پرداخته است. سپس از تحلیل و مقایسه آن‌ها مشخص گردید خور دوراق در خلیج‌فارس و باریکه بین جزیره قشم و سرزمین اصلی قوی‌ترین جریان جزرومدی و سواحل مکران بیشترین انرژی امواج و بهترین شرایط را برای استخراج انرژی از امواج دریا در بین همه سواحل ایران دارد. این مقدار انرژی بیشترین مقدار در خاورمیانه و در حد سایر مناطق در این طول جغرافیایی است.

کلیدواژه: انرژی امواج دریاهای ایران، انرژی جریان جزرومد در ایران، سواحل مکران

[۱] مسئول مکاتبات: اسماعیل سارانی ، sarani@cmu.ac.ir

۱- مقدمه

ایران در سال ۲۰۱۹ با افزایش ۱۰٪ مصرف نفت، بزرگ‌ترین میزان را در کل جهان تجربه کرده است و متأسفانه اگر مصرف نفت با همین نرخ افزایش یابد، بخش عمده‌ای از تولید نفت صرف داخل خواهد شد و از قابلیت صادراتی آن خواهد کاست. برای کاهش این معضل در برنامه ششم توسعه سهم پنج هزار مگاواتی تولید برق از منابع تجدید پذیر در نظر گرفته شده است(رضوی ۱۳۹۶). همچنین طبق توافقنامه آب و هوایی پاریس ایران پذیرفت که انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی را چهار درصد بدون شرط و هشت درصد در صورت رفع تحریم کاهش دهد که این نیز مستلزم افزایش تولید برق از منابع تجدید پذیر است(ایرنا). هنگام نام بردن از انرژی‌های تجدید پذیر، معمولاً انرژی خورشیدی، انرژی بادی و هیدرو انرژی ذخیره‌شده در پشت سدها به ذهن می‌رسد. اما تاکنون استخراج انرژی از دریا در مسیر کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و مبارزه گرمایش جهانی پوشیده مانده است. این انرژی دو گونه است، یکی انرژی امواج دریا (sea wave energy)و دیگری انرژی جریان‌های آبی ناشی از جزرومد(Tidal) .

۱-۱- انرژی امواج دریا

با تابش خورشید دمای قسمت‌های مختلف زمین متفاوت خواهد بود. این پدیده تولید باد خواهد کرد و وزش باد بر روی دریاها و اقیانوس و برخورد آن بر سطح آب سبب انتقال انرژی باد به دریا و تولید موج خواهد کرد. این موج می‌تواند هزاران کیلومتر بدون ازدست‌دادن انرژی حرکت کند درنتیجه با وزش باد بر روی موج، به‌صورت پیوسته انرژی موج افزایش می‌یابد درنتیجه چگالی انرژی امواج دریا بسیار بیشتر از باد است. هنگامی‌که این امواج به ناحیه کم‌عمق می‌رسد پس از برخورد به بستر دریا انرژی آن تخلیه می‌گردد. مزیت اصلی انرژی امواج نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر عبارت‌اند از:

۱. چگالی انرژی امواج بالاترین مقدار است(Clément, McCullen et al. 2002)
۲. تأثیرات محیط زیستی محدودی دارد(Thorpe 1999)
۳. هم‌زمانی دسترسی به انرژی امواج و افزایش تقاضا برای انرژی الکتریکی(Clément, McCullen et al. 2002)
۴. انرژی امواج فواصل بسیار طولانی را تقریباً بدون تلف انرژی می‌تواند بپیماید(Pelc and Fujita 2002)
۵. مبدل‌های انرژی امواج می‌توانند ۹۰٪ انرژی مصرفی را تأمین کنند(Pelc and Fujita 2002).

انرژی امواج شامل انرژی پتانسیل گرانشی ناشی از ارتفاع امواج و انرژی جنبشی ناشی از حرکت ذرات آب دریا است. خوشبختانه هر دو نوع انرژی به کمک مبدل‌های مناسب قابلیت تبدیل به انرژی الکتریکی را دارد. مقدار متوسط انرژی امواج به سرعت، پریود، اندازه و شکل ناحیه‌ای که باد بر روی آن می‌وزد و بستر دریا بستگی دارد. تصویر یک موج دریا به همراه پارامترهای آن در آب‌های عمیق در شکل ۱ نشان داده شده است. این عمق معمولاً بیش از نیم طول موج در نظر گرفته می‌شود که هنوز موج تحت تأثیر بستر دریا قرار نگرفته است و شکل پیچیده‌ای پیدا نکرده است.

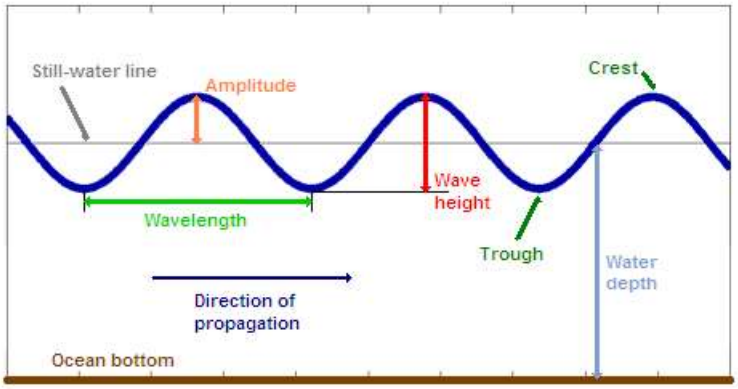
مقدار انرژی موج در واحد سطح آن از رابطه زیر تخمین زده می‌شود(Falnes 2007).

$$E = \frac{\rho g H_{m0}^2}{16} \quad (\frac{j}{m^2}) \qquad (۱)$$

که در آن ρ چگالی آب دریا برحسب $(\frac{kg}{m^3})$، g شتاب گرانش برحسب $(\frac{m}{s^2})$ و H_{m0} ارتفاع مؤثر موج برحسب (m) است. برای امواج سینوسی دامنه (Amplitude)موج برابر نصف ارتفاع(Height) موج، H، و مقدار مؤثر آن نیز برابر $H\sqrt{2}$ است. انرژی‌های پتانسیل و جنبشی به‌طور برابر این انرژی را تشکیل می‌دهند. توان متوسط موج در واحد طول پیشانی موج از رابطه زیر به دست می‌آید(Falnes 2007).

$$p = \frac{\rho g}{64\pi} T H_{m0}^2 \quad (\frac{w}{m}) \qquad (۲)$$

که در آن T پریود موج برحسب ثانیه است.



شکل۱- پارامترهای موج دریا

۱-۲- انرژی جریان‌های جزرومدی

جریان آب دریایی ناشی از جزرومد(Tidal) منبع دیگر انرژی هستند و قدمت بسیار طولانی‌تری از استخراج انرژی از امواج دریا دارند. همان‌طور که می‌دانیم در اکثر سواحل روزی دو بار در اثر پدیده جزرومد ارتفاع آب دریاها زیاد و کم می‌گردد، البته باتوجه‌به شکل سواحل می‌تواند نیم روزانه نیز باشد. اگر خلیج‌ها یا خورها با عرض نسبتاً کم به دریا بزرگ متصل باشند، هنگام رخدادن پدیده جزرومد سرعت جریان آب در ورود یا خروج از آن بالا می‌رود و می‌توان با توربین‌هایی همانند توربین‌های بادی انرژی جنبشی آب را به برق تبدیل کرد. جریان‌های جزرومدی برخلاف باد و امواج ناشی از آن کاملاً قابل پیش‌بینی بوده و تقریباً تکرارپذیر هستند. مهم‌ترین پارامتر برای مناسب تشخیص دادن هر منطقه برای استخراج این نوع انرژی سرعت جریان آب است. توان متوسط انرژی جنبشی در یک دوره جزرومد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$p = \frac{1}{2}\rho U_{ave}^{3} \quad (\frac{w}{m^2}) \qquad (۳)$$

که در آن ρ چگالی آب دریا و U متوسط سرعت آب دریا در یک دوره جزرومد است.

۲- انرژی دریاهای ایران

در این پژوهش به‌مرور تحقیقات و مقالات ارائه‌شده درباره انرژی امواج در دریای خزر، خلیج‌فارس و دریای عمان پرداخته است و درنهایت بهترین نواحی برای استخراج امواج دریا به همراه ویژگی امواج آن

معرفی گشته است تا بتوان در تحقیقات آینده مبدل مناسب برای آن‌ها در نظر گرفت و یا طراحی نمود.

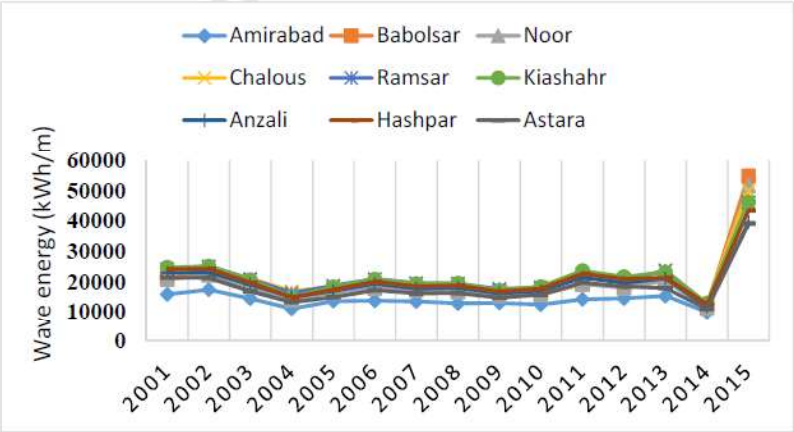
۲-۱ دریای خزر

دریای خزر در شما کشوری با طول تقریبی ۱۲۰۰ کیلومتر و عرض متوسط ۳۲۰ کیلومتر و مساحت۴۳۸۰۰۰ کیلومتر مربع و حجم ۷۷۰۰۰۰ کیلومتر مکعب بزرگ‌ترین دریاچه آب نسبتاً شیرین جهان است. ناحیه وسیع کم عمق آن با عمق کم‌تر از ۱۰متر در شمال آن واقع است و عمیق‌ترین مناطق در قسمت مرکزی و جنوبی واقع شده است که در بعضی از مناطق جنوبی ۹۰۰ الی ۱۰۰۰ متر عمق دارد، سواحل این دریاچه جمعاً ۶۳۷۹ کیلومتر است که حدود ۹۲۲ کیلومتر آن در خاک ایران واقع شده است. مهم‌ترین مطالعاتی که در این منطقه انجام و منتشر شده است در ادامه آمده است.

در مطالعه‌ای امواج در نقاطی دور از ساحل بندر انزلی با مدل‌سازی عددی برای سال ۲۰۰۲ شبیه‌سازی شده است ارتفاع میانگین موج بین حداقل ۰/۵۷ متر در تابستان و حداکثر ۰/۸۵ متر در پاییز به دست آمده است و میانگین انرژی قابل استحصال برای این دو فصل ۴۰۲ $\frac{ws}{m^2}$ و ۸۹۳ $\frac{ws}{m^2}$ و میانگین توان موج قابل استحصال نیز۱/۴۸ و ۳/۴۸ وات بر متر محاسبه شده است(لاری, عباسیان et al. 1390).

در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸ برای اندازه‌گیری اطلاعات امواج یک بویه در مقابل بندر انزلی در مختصات $37^o31'14''N$ و $49^o26'57''E$ قرار داده شده است. این بویه هر یک ساعت ارتفاع موج و پریود آن را در فصول گوناگون به خشکی ارسال می‌کند. در کنار محاسبه توان امواج روی این داده‌ها تحلیل آماری شده است و تابع توزیع احتمال وقوع امواج با ارتفاع گوناگون برای انواع توزیع آماری در این تحقیق آمده است. نتایج نشان می‌دهد ارتفاع متوسط امواج در بهار و تابستان ۰/۵۱ متر و در پاییز و زمستان به ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۷۷ متر است. در کل سال ارتفاع متوسط امواج ۰/۵۷ متر و با چگالی توان ۱/۱۷۳ کیلووات بر متر حاصل می‌گردد(Zamani and Badri 2015).

در تحقیق دیگری استخراج انرژی امواج با داده‌های دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ در نه نقطه واقع در ساحل جنوبی دریای خزر امکان‌سنجی شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین متوسط انرژی امواج برای این مناطق به ترتیب در فصل بهار و تابستان است. انرژی متوسط سالانه این مناطق نیز در شکل۲ آمده است(Jahangir and Mazinani 2020).



شکل۲- پتانسیل انرژی امواج در ایستگاه‌های انتخاب‌شده در دریای خزر (Jahangir and Mazinani (2020

۲-۲ خلیج فارس

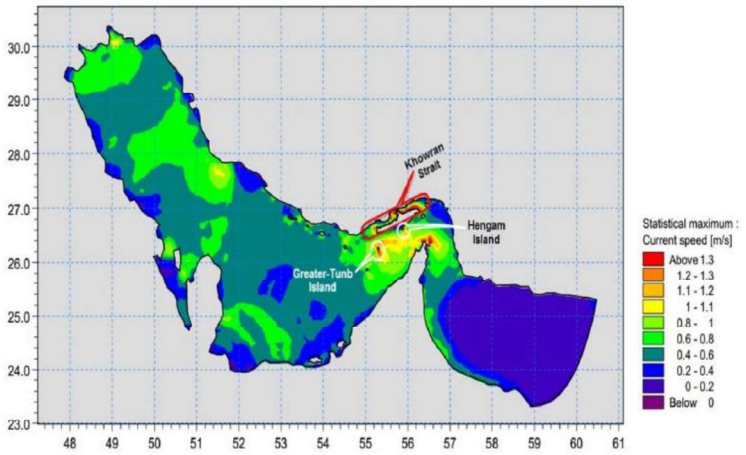
خلیج‌فارس توسط تنگه هرمز به دریای عمان و از طریق آن به دریاهای آزاد مرتبط است. از بین کشورهای همسایه خلیج‌فارس، کشور ایران دارای بیشترین مرز آبی مشترک با خلیج‌فارس است. طول مرز آبی کشور ایران با خلیج‌فارس، با احتساب جزایر در حدود ۱۸۰۰ کیلومتر و بدون احتساب جزایر در حدود ۱۴۰۰کیلومتر است. طول خلیج‌فارس از تنگه هرمز تا آخرین نقطه پیشروی آن در جهت غرب در حدود ۸۰۵ کیلومتر است. عریض‌ترین بخش خلیج‌فارس ۲۹۰ کیلومتر است. عمیق‌ترین نقطه خلیج‌فارس با عمق ۹۳ متر در ۱۵ کیلومتری تنب بزرگ و کم‌عمق‌ترین نقطه آن با عمقی بین ۱۰ تا ۳۰ متر در سمت غرب است. همچنین جزایر متعددی در خلیج‌فارس وجود دارند. خلیج‌فارس از طریق تنگه هرمز به دریاهای آزاد راه دارد و هم دارای خورهای زیادی است بنابراین علاوه بر انرژی امواج ازنظر جریان‌های جز و مدی در این مناطق موردتوجه بوده است

عباس‌پور و همکاران به گردآوری اطلس انرژی تجدیدپذیر در مناطق دور از ساحل و شناسایی مکان‌هایی که پتانسیل آن‌ها در حال و یا آینده پرداخته‌اند. برای این منظور به شبیه‌سازی عددی جریان‌های دریایی ناشی از جزرومد در دو منطقه خلیج‌فارس و دریای عمان پرداخته است و نتایج با داده‌های واقعی کالیبره شده است و نتایج برای تخمین سری زمانی جریان‌های دریایی استفاده گردیده است. این مقاله نشان می‌دهد بزرگ‌ترین جریان جزرومدی در سواحل شمالی جزیره هرمز در مسیری به پهنای ۲۴۰۰ متر در حدود ۱/۵ متر بر ثانیه است و بیشترین چگالی توان این جریان آبی ۲/۵

کیلووات بر مترمربع است. چگالی انرژی در طی ۱۴ روز $\frac{kWh}{m^2}$ ۲۴۴/۴ و در یک سال $\frac{Mwh}{m^2}$ ۶/۳۷۳ به دست می‌آید (Abbaspour and Rahimi 2011). همچنین در این پژوهش طول‌موج و ارتفاع امواج در ۲۹ نقطه در سواحل شمالی خلیج‌فارس و دریای عمان برای سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۰۳ دسته‌بندی‌شده‌اند. سالانه حدود ۴۷٪ امواج با ارتفاع کم‌تر از نیم متر با چگالی انرژی $\frac{kwh}{m}$ ۴۴/۸۶، ۳۰٪ بین نیم تا یک متر را با چگالی انرژی $\frac{kwh}{m}$ ۶۴۲/۵ تشکیل می‌دهند. البته امواج بین یک تا دو متر نیز هستند که فقط سه درصد امواج با چگالی انرژی $\frac{kwh}{m}$ ۱۹۶ تشکیل می‌دهد(Abbaspour and Rahimi 2011).

برای پیداکردن بهترین مکان‌ها برای مبدل‌های انرژی امواج و جزرومدی مهم‌ترین پارامترهای موج شامل ارتفاع و پریود امواج، سرعت جریان‌های جزرومد، عمق آب، وضعیت ساحل و فنّاوری مبدل‌ها بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد در خور دوراق با جزرومد ۳/۵ متری می‌توان ۱۵/۸ مگاوات استخراج کرد. همچنین در کانال قشم با سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه‌ای آب دریا توان جاری‌شده ۱۳ مگاوات در باریک‌ترین قسمت است. برای استحصال انرژی امواج این پژوهش بندر امیرآباد در دریای خزر، عسلویه و جزایر فارو در خلیج‌فارس بهترین نقاط معرفی شده است (Soleimani, Ketabdari et al. 2015).

رادفر و همکاران مدل‌سازی عددی برای برخی نواحی مناسب جهت استخراج انرژی جریان‌های آبی (جزرومد) انجام داده و دوره بازگشت سرمایه تخمین زده‌اند. نتایج در شکل۳نشان می‌دهد باریکه خوران بین جزیره قشم و سرزمین اصلی، جزیره هنگام و تنب بزرگ بیشترین پتانسیل را دارند و به ترتیب دارای ۸۵۴۰، ۱۵۷۰ و ۲۳۱۵ وات بر مترمربع چگالی توان هستند. اگرچه باریکه خوران بیشترین چگالی توان را دارد اما به دلیل عمق کم برای مبدل‌هایی نظیر AtlantisAR2000 مناسب نیست(Zhou, Scuiller et al. 2014). جزیره هنگام دارای عمق مناسب دور از خطوط کشتی‌رانی، مناطق نظامی و خطوط لوله است اما نسبتاً چگالی توان کمی دارد و چالش زیست‌محیطی نیز آنجا وجود دارد. تنب بزرگ بهترین وضعیت را در کل از نظر چگالی انرژی، عمق مناسب و دوری از خطوط کشتی‌رانی و خطوط لوله دارد اما نزدیکی به مناطق نظامی و دوری از جمعیت از نکات منفی این مکان است (Radfar, et al. 2017).



شکل۳- منطقه‌بندی حداکثر جریان‌های جزرومدی (Radfar, et al. 2017)

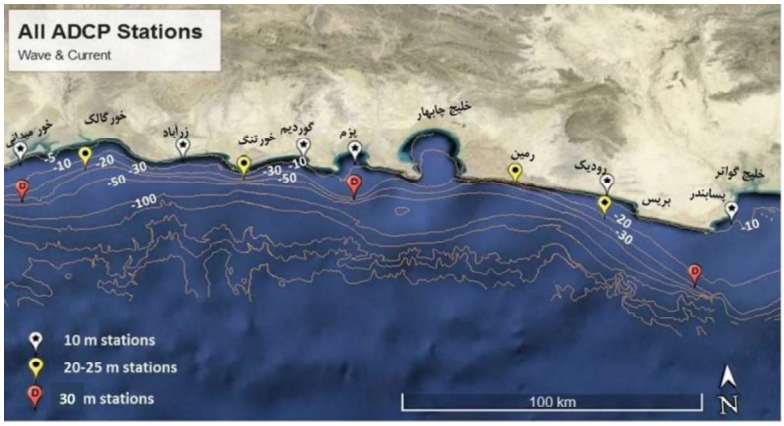
در پژوهشی انرژی امواج در خلیج‌فارس با استفاده از مدل SWAN ارزیابی شد. این تحقیق نشان داد حدود ۹۰ درصد امواج بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ در خلیج‌فارس توانی زیر $۱\frac{kw}{m}$ دارند و برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ حدود ۶۷٪ امواج در این سطح انرژی بوده‌اند.همچنین امواج یک تا دو متر و دو تا پنج‌متر ارتفاع هر بازه ده درصد کل امواج را تشکیل می‌دهند (Kamranzad, et al. 2013).

۳-۲ دریای عمان

دریای عمان، پیشروی آب اقیانوس هند به داخل خشکی در جنوب غربی آسیا است. کشورهای ایران و پاکستان در شمال آن و کشورهای عمان و امارات در جنوب آن قرار دارند. دریای عمان از سمت غرب توسط تنگه هرمز به خلیج‌فارس و از سمت شرق و جنوب شرقی به دریای عرب و اقیانوس هند وصل می‌شود. در جنوب دریای عمان کشور عمان قرار دارد. طول ساحل ایران در امتداد دریای عمان، از خلیج گواتر تا بندرعباس، ۷۸۴ کیلومتر است. سواحل جنوبی ایران از تنگه هرمز تا بندر گواتر مجاور آن است و این مسافت نیمی از سواحل جنوبی ایران را تشکیل می‌دهد. در مقابل عمق آن از خلیج‌فارس بیشتر است. مساحت آن ۹۰۳ هزار کیلومترمربع است. عمق این دریا در اطراف چاه‌بهار حدود ۳۳۹۸ متر است. هرچه به‌سوی غرب پیش برویم، عمق آن به‌سرعت کم می‌شود تا جایی که در نزدیکی تنگه هرمز به ۷۳ متر می‌رسد. بندرهای کوچکی چون جاسک، چاه‌بهار، گواتر در کنار این دریا دیده می‌شوند که بیانگر بازرگانی و دریانوردی آن است. شهرهای مهم حاشیه این دریا در ایران چابهار

و جاسک و در کشور عمان مسقط (پایتخت عمان) هستند. حداکثر عمق دریا در محدوده آب‌های ساحلی ایران در این ناحیه به بیش از ۲۰۰۰ متر می‌رسد. جلگه ساحلی ایران در مجاورت دریای عمان از حدود بندرعباس در تنگه هرمز تا گواتر در مرز با پاکستان امتداد می‌یابد. حداکثر عرض این جلگه به ۳۰ کیلومتر می‌رسد. قسمتی از این دریا که سواحل مکران نامیده می‌شود در شکل۴ نشان داده شده است.

ساکت و همکاران امواج در چهار نقطه در سواحل دریای عمان از دهانه تنگه هرمز تا گواتر با داده‌های یک دوره ۲۳ ساله مورد بررسی قرار گرفته‌اند. متوسط قابل استحصال امواج در چهار نقطه $۲/۸\frac{kw}{m}$ تخمین زده شده است. از بین این مناطق، چابهار بهترین شرایط را برای استخراج امواج دارد و پرانرژی ترین امواج آن در دوره مونسن از خرداد تا شهریور است. مهم‌ترین امواج بین یک تا سه متر ارتفاع و پریود بین ۴ تا ۸ ثانیه دارند (Saket and Etemad-Shahidi 2012).



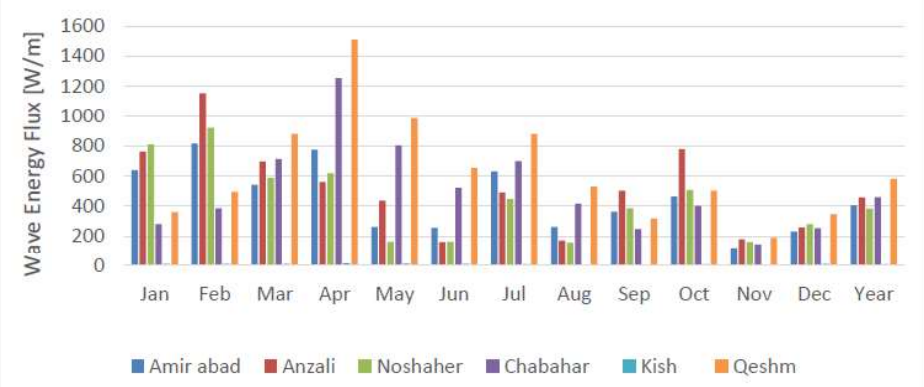
شکل۴- عمق سواحل مکران در دریای عمان (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۹)

مقاله‌ای انرژی امواج در پنج سایت ساحلی از غرب شامل سیریک، جاسک، گوسار تا شرق شامل چابهار و گواتر در دریای عمان با داده‌های ۱۲ سال و مدل عددی محاسبه کرده است. نتایج نشان می‌دهد توان متوسط امواج در زمستان در سایت‌های غربی و در تابستان و فصل مونسن در سایت‌های شرقی بیشتر است (Kamranzad, et al. 2014).

زانوس و همکاران ماکزیمم انرژی امواج و مقدار متوسط سالیانه آن همچنین ارتفاع موج مهم، پریود موج و جهت آن‌ها در یک بازه ده‌ساله در طول سواحل جنوبی ایران و جزایر خلیج‌فارس مطالعه شده

است. این مطالعه نشان می‌دهد هرچند کنگان با ماکزیمم انرژی $\frac{kw}{m}$ ۶۴/۲ است اما مقدار متوسط سالیانه آن فقط $\frac{kw}{m}$ ۲ است درحالی‌که چابهار با حداکثر توان $\frac{kw}{m}$ ۴۲/۷ بالاترین متوسط توان سالانه با $\frac{kw}{m}$ ۵/۸ دارد (Zanous, et al., 2019) .

در سال ۲۰۱۰ اطلاعات امواج شامل ارتفاع و پریود موج در بندرهای امیرآباد، نوشهر و انزلی واقع در دریای خزر، بندر چابهار در دریای عمان و همچنین قشم و کیش در خلیج‌فارس در فواصل زمانی سه‌ساعته اندازه‌گیری گردید. شکل ۵ چگالی توان امواج در ماه‌های گوناگون را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد این پژوهش قشم را با متوسط توان ۶۰۰ وات بر متر بهترین نقطه و پس از آن چابهار و انزلی هر دو با ۵۰۰ وات بر متر قرار دارند(Nezhad, et al. 2018).



شکل ۵- چگالی توان ماهیانه امواج در سال ۲۰۱۰(Nezhad, et al. 2018)

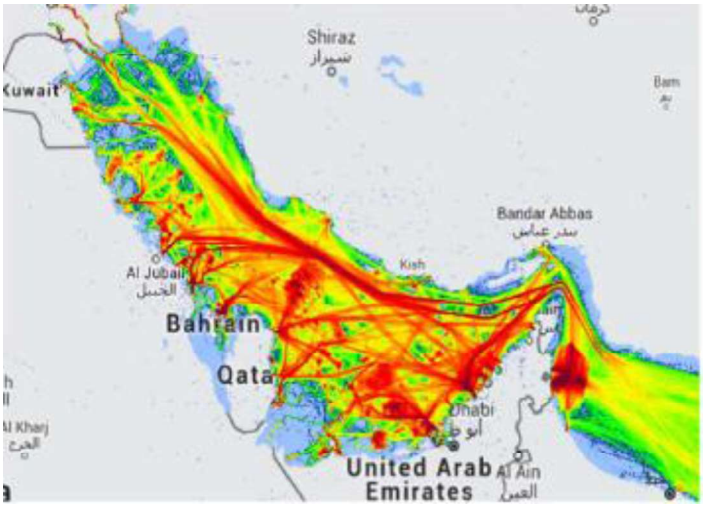
۳- بحث و نتیجه‌گیری

جزرومد در دریای خزر چون دریای بسته است محسوس نیست. دریای عمان نیز چون فاقد خلیج و یا خور بزرگی است امکان جاری شدن جریان‌های آبی ناشی از جزرومد نیست. تنگه هرمز و خورهای خلیج‌فارس بهترین جریان‌های جزرومدی را دارد و خور دوراق از جمیع جوانب بهترین مکان برای استخراج انرژی جزرومدی است.

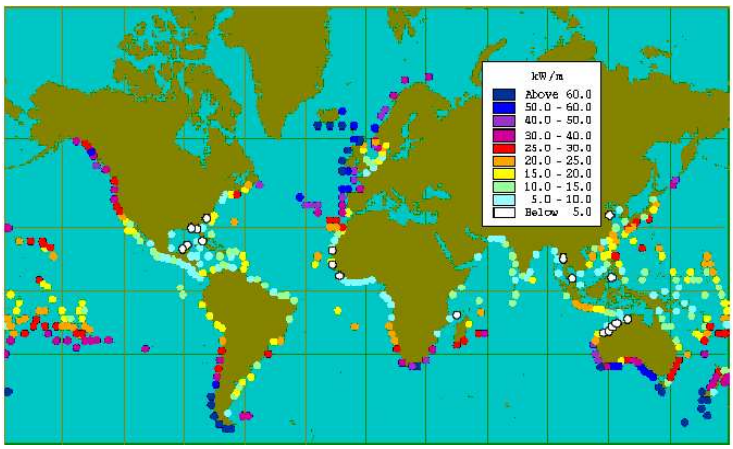
با کنار هم گذاشتن نتایج حاصل از پژوهش‌های مرور شده در این نوشتار بخصوص (Saket and Etemad-Shahidi 2012, Kamranzad, et al. 2014, Zamani and Badri 2015) نشان می‌دهد امواج نزدیک بندر چابهار و سواحل مکران و جزیره قشم بالاترین متوسط انرژی امواج را دارند. در کنار پارامتر متوسط انرژی امواج که مهم‌ترین پارامتر در انتخاب منطقه استخراج انرژی امواج است جهت برپایی مزرعه استخراج انرژی از امواج دریا باید پارامترهای دیگری نظیر رنج تغییرات عمق دریا، نزدیکی به مراکز مصرف، هم‌زمانی فصل فراوانی انرژی و فصل مصرف برق ، دوری از خطوط لوله و کابل‌های زیردریایی، دوری از خطوط کشتی‌رانی و قایق‌های محلی، دوری از مناطقی دارای ذخایر زیرزمینی، دور از مناطق نظامی و دارای چالش‌های مرزی با همسایگان ،تأثیرات مخرب زیست‌محیطی و دوام تجهیزات را در نظر گرفت(Radfar, et al. 2017).

ازآنجاکه قشم در تنگه هرمز قرار گرفته است و مطابق شکل ۶ یکی از پررفت‌وآمدترین مناطق کشتی‌رانی در دنیا است و همچنین دوری از مناطق مصرف و جمعیت منطقه جذابیت کمتری نسبت به سواحل مکران دارند. کنگان نیز در نزدیکی عسلویه از مراکز استخراج نفت و گاز است و استقرار مزرعه‌های استخراج انرژی از دریا را محدود می‌نماید. مکران عموماً سواحل بکر و دست‌نخورده‌ای دارد که نه در مسیر کشتی‌رانی هستند و نه تأسیسات نفت، گاز در آن وجود دارد و انتقال انرژی از مزرعه‌ها به شبکه سراسری به‌راحتی میسر است و ساخت مزرعه استخراج انرژی از امواج دریا با چالش کم‌تری مواجه است. شکل ۷ توان متوسط امواج در سرتاسر دنیا ازجمله سواحل مکران را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد این سواحل توانی بیش از ۵ کیلووات بر متر دارند که بیشترین مقدار در کل خاورمیانه است و مقدار قابل‌توجهی در اقیانوس هند و سواحل قاره آمریکا و آفریقا در همین طول جغرافیایی است.

بنابراین سواحل مکران، با انرژی متوسط سالیانه امواج بیش از شش کیلووات بر متر، بیشترین مقدار را در خاورمیانه دارد. همچنین این ناحیه فاقد تأسیسات دریایی و ساحلی بزرگ، دور از خطوط کشتی رانی، فاقد خطوط نفت و گاز است که مکان‌یابی جهت برپایی مزرعه‌های برداشت انرژی از امواج دریا را تسهیل می‌کند. همچنین خور دوراق در خلیج‌فارس بیشترین توان و بهترین موقعیت را در دریاهای ایران برای برداشت انرژی از جریان‌های جزرومدی دارد.



شکل۶- ترافیک دریایی در تنگه هرمز (Radfar, Panahi et al. 2017)



شکل۷- متوسط انرژی امواج در جهان(Bedard 2007).

منابع

ایرنا. (۱۳۹۸). تعهدات توافقنامه پاریس، هم‌راستا با اهداف داخلی، www.irna.ir/news/83210611/ تعهدات-توافقنامه-پاریس-هم-راستا-با-اهداف-داخلی، مهرماه ۹۹

ویکی‌پدیا (۲۰۲۰). خلیج‌فارس. خلیج_فارس fa.wikipedia.org/wiki . مهرماه ۱۳۹۹

ویکی‌پدیا (۲۰۲۰). دریای خزر. دریای_خزر fa.wikipedia.org/wiki . مهرماه ۱۳۹۹

ویکی‌پدیا (۲۰۲۰). دریای عمان. دریای_عمان fa.wikipedia.org/wiki . مهرماه ۱۳۹۹

سازمان بنادر و دریانوردی (۱۳۹۹). اطلس سواحل مکران. mokran.pmo.ir. مهرماه ۱۳۹۹

رضوی، ع. (۱۳۹۶). برنامه ششم توسعه و نقش انرژی‌های پاک در تولید و تأمین انرژی. نشریه دانش و نفت. http://www.daneshenaft.ir/cvid/221/content/10953/.aspx

لاری، ک.، عباسیان، گ.، و آراسته، ا. م. (۱۳۹۰). بررسی سیستم‌های مبدل انرژی امواج دریا در بندر انزلی. مجله پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، ۶(۴)، ۱۴.

Abbaspour, M., & Rahimi, R. (2011). Iran atlas of offshore renewable energies. *Renewable Energy, 36*(1), 388-398 .

Bedard, R. (2007). Economic and social benefits from wave energy conversion marine technology. *Marine Technology Society Journal, 41*(3), 44-5 .۰

Clément, A., McCullen, P., Falcão, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammarlund, K., ... Petroncini, S. (2002). Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6*(5), 405-431 .

Falnes, J. (2007). A review of wave-energy extraction. *Marine structures, 20*(4), 185-201 .

Jahangir, M. H., & Mazinani, M. (2020). Evaluation of the convertible offshore wave energy capacity of the southern strip of the Caspian Sea. *Renewable Energy, 152*, 331-346 .

Kamranzad, B ,.Etemad-Shahidi, A., & Chegini, V. (2013). Assessment of wave energy variation in the Persian Gulf. *Ocean Engineering, 70*, 72-80 .

Kamranzad, B., Etemad-Shahidi, A., & Chegini, V. (2014). *Wave energy and nearshore hotspots in Gulf of Oman.* Paper presented at the 9th International Scientific Symposium. Nha Trang, Vietnam.

Nezhad, M. M., Groppi, D., & Piras, G. (2018). *Nearshore wave energy assessment of Iranian coastlines.* Paper presented at the World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering.

Pelc, R., & Fujita, R. M. (2002). Renewable energy from the ocean. *Marine Policy, 26*(6), 471-479 .

Radfar, S., Panahi, R., Javaherchi, T., Filom, S., & Mazyaki, A. R. (2017). A comprehensive insight into tidal stream energy farms in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79*, 323-338 .

Saket, A., & Etemad-Shahidi, A. (2012). Wave energy potential along the northern coasts of the Gulf of Oman, Iran. *Renewable Energy, 40*(1), 90-97 .

Soleimani, K., Ketabdari, M. J., & Khorasani, F. (2015). Feasibility study on tidal and wave energy conversion in Iranian seas. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 11*, 77-86 .

Thorpe, T. W. (1999). *A brief review of wave energy*: Harwell Laboratory, Energy Technology Support Unit London.

Zamani, A., & Badri, M. (2015). Wave energy estimation by using a statistical analysis and wave buoy data near the southern Caspian Sea. *China Ocean Engineering, 29*(2), 275-286 .

Zanous, S. P., Shafaghat, R., Alamian, R., Shadloo, M. S., & Khosravi, M. (2019). Feasibility study of wave energy harvesting along the southern coast and islands of Iran. *Renewable Energy*, 135, 502-514.

Zhou, Z., Scuiller, F., Charpentier, J. F., Benbouzid, M., & Tang, T. (2014). *An up-to-date review of large marine tidal current turbine technologies.* Paper presented at the 2014 International Power Electronics and Application Conference and Exposition.