

## امکان‌سنجی بهینه‌سازی مصرف انرژی دستگاه‌های حفاری خشکی و دریایی نزدیک به ساحل با استفاده از انرژی حاصل از امواج دریا

امیرحسام ترابی<sup>\*</sup>، محمدهادی مقدسین کارشناسی ارشد مهندسی حفاری و استخراج نفت دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران

### چکیده

دستگاه‌های حفاری متعارف دارای سیستم‌های تولید انرژی دیزلی هستند که حجم عظیمی از گازوئیل و به‌دنبال آن هزینه را مصرف می‌کند که این مقدار متناسب با شرایط عملیات حفاری و پارامترهای محیطی متغیر است. انرژی الکتریکی تولید شده از مولدها در تجهیزات پایین‌دستی از جمله تجهیزات سیستم گردش گل، تجهیزات سیستم بالابری، تجهیزات سیستم دورانی، تجهیزات تصفیه و نگهداری گل، تجهیزات و اماکن اقامتی و سیستم‌های روشنایی، مخابراتی و کنترلی مصرف می‌شود. تامین توان الکتریکی این سکوها از نیروگاه‌های ساحلی به دلیل فاصله زیاد کار مشکلی است، بنابراین تامین توان این سکوها به‌وسیله دیزل-ژنراتور صورت می‌گیرد که به‌نوبه‌ی خود مشکلات عدیده‌ای را از جمله هزینه‌ی زیاد سوخت، تعمیر و نگهداری بالا، مسائل زیست‌محیطی و... به‌وجود می‌آورد. با این اوصاف یک راه‌حل برای تامین توان مورد نیاز سکوها و حداقل بخشی از آن، استفاده از انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی امواج است. کاهش مصرف حامل‌های انرژی (در اینجا گازوئیل) در مولدها و سپس بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی تجهیزات اصلی انرژی بر از اهداف نهایی این چالش است. علاوه بر سنجش این ایده در ایران، هدف این تحقیق بررسی امکان‌پذیری تامین برق سکوها به‌وسیله‌ی منابع تجدیدپذیر امواج است. بدیهی است که ارزیابی این موضوع علاوه بر بررسی دقیق فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی، شامل شبیه‌سازی دقیق سیستم به‌منظور بررسی پایداری و کیفیت توان آن است.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۰۷/۰۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۰۱/۱۸

### واژگان کلیدی:

انرژی‌های تجدیدپذیر، امواج، تجهیزات حفاری، امکان‌سنجی.

### مقدمه

و نگهداری مداوم دارد که به‌علت محدودیت‌های رفت‌وآمد و تامین قطعه در محیط فراساحلی، این امر باعث ایجاد مشکلات بسیاری می‌شود. ۴- دود و گازهای خروجی آگروز، نشست مخازن و لوله‌های رابط، روغن سوخته و آلودگی صوتی ناشی از آنها مشکلات زیست‌محیطی بسیاری را در پی دارد.

۵- به‌علت طوفان‌های دریایی و مشکلات جوی، بعضی مواقع امکان تامین سوخت دیزل-ژنراتورها و سایر مواد و قطعات داخلی دیزل-ژنراتور برای سکوها مقدور نیست که حتی در بعضی مواقع موجب توقف تولید گاز سکو و تحمیل هزینه‌های بسیار سنگین به سیستم خواهد شد.

در دنیا طرح‌های مختلفی در رابطه با جذب انرژی امواج اقیانوسی ارائه شده است. در این مقاله به بررسی امکان‌سنجی جذب انرژی از امواج دریا در سواحل جنوبی ایران پرداخته شده است. سواحلی که مملو از تاسیسات نفتی و گاز است. (شکل ۱) انرژی امواج در پهنه وسیعی از سطح دریاها گسترده شده است و معمولاً در مقادیر زیاد وجود دارد. این انرژی می‌تواند منبع عظیمی برای تولید برق باشد، [۷-۵] ولی ابتدا باید فناوری بهره‌برداری از آن به‌صورت اقتصادی توسعه یابد. طرح‌های موجود تولید انرژی از امواج دریا در دو نوع ثابت و شناور دسته‌بندی می‌شوند. عمده

امروزه مصرف انرژی در سکوها حفاری که عمدتاً از سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود کمتر مورد مطالعه و توجه محققان به استفاده از منابع پاک انرژی و در دسترس قرار گرفته است. علاوه بر انرژی خورشیدی و باد، انرژی امواج دریا در ساحل و نزدیک ساحل نیز چشمگیر است. [۴-۱] در یک سکوی حفاری سیستم تولید توان الکتریکی روی یک سکوی نفتی در کنار سیستم کمکی و اضطراری طوری طراحی می‌شود که توان لازم سکو را در طول عمرش با قابلیت اطمینان بالا تامین کند. طراحی یک سیستم تامین توان از انرژی‌های تجدیدپذیر حتی اگر بتواند درصد قابل‌قبولی از عملیات را پشتیبانی کند از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. چراکه:

- ۱- تهیه و حمل گازوئیل، روغن و سایر متعلقات مصرفی دیزل-ژنراتورها تا محل سکو، هزینه بسیار زیادی دارد، برای مثال هزینه‌ی تمام شده سوخت با احتساب هزینه‌های جانبی، بیش از ۱۰ برابر بهای آن در خشکی است.
- ۲- ذخیره‌سازی گازوئیل مصرفی دیزل-ژنراتورها در محیط سکو بسیار خطرناک است و تاکنون موجب حوادث بسیاری در سطح جهان شده است.
- ۳- خرابی و استهلاک دیزل-ژنراتورها بسیار زیاد است و نیاز به تعمیرات

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (Amirhesamtorabi@gmail.com)

رایگان و پاک را حاصل کند. در ابتدا قابل پیش‌بینی است که طرح‌های انرژی خورشیدی و باد به ذهن‌ها ورود کند، اما روش‌های متنوع تولید انرژی، بسیار در دسترس‌تر و گاه کم‌هزینه‌تر خواهد بود، سطح، اعماق و ساحل دریا منبعی است از انرژی که هدایت آن به تاسیسات را می‌طلبد. امکان‌سنجی ایده که بررسی شود، ساختار اسکله‌ها، تلاطم‌ها و امواج دریا، شرایط جغرافیایی و آب‌وهوایی، سواحل و صخره‌ها و همچنین پتانسیل سکوه‌های نزدیک به ساحل چه در خشکی و چه فراساحل همگی از نظر اقتصادی و عملیاتی، طرح را ممکن و بهینه معرفی می‌کند. علاوه بر تاسیسات خشکی می‌توان به تاسیسات نزدیک به ساحل هم اشاره کرد. برای مثال جک‌آب گونه‌ای از سکوه‌های حفاری است که پتانسیل آن برای تولید انرژی از طریق باد گهگاه مورد مطالعه بوده است (شکل ۲) و این بار از دیدی متفاوت با توجه به امواج بررسی می‌شود. این نوع از سکو شامل بدنه شناور است که تجهیزات و دکل روی آن نصب می‌شود و پایه‌های عظیمی که وزن بدنه و دکل را تحمل می‌کنند. پایه‌ها در مواقع نیاز و حفاری به عمق رفته و پس از قرار گرفتن بر بستر دریا، بدنه سکو را روی خود و خارج از آب نگه می‌دارند. از این سکوها در حفاری در مناطق کم‌عمق (تا عمق ۱۵۰ متر) استفاده می‌شود. جابه‌جایی و استقرار در عمق کم و نزدیک به ساحل شاه‌کلیدی است که می‌توان از آن به ایده نصب پلت‌فرم و پایه‌های شناوری رسید که امکان تولید برق از امواج و چرخش ژنراتور را می‌دهد، یعنی تبدیل قدرت موج نوسان به چرخش با سرعت بالا برای تولید برق تجهیزاتی همچون الکتروموتورهای پمپ‌های گل، دراورکس، تاپ‌درایو و میز دوار و... که از تجهیزات اصلی مصرف‌کننده انرژی الکتریکی هستند.

## ۲- روش‌های تولید انرژی نهفته در آب‌ها

دریاها و اقیانوس‌ها از منابع پاک، ارزان و بازگشت‌پذیر انرژی غیرفسیلی



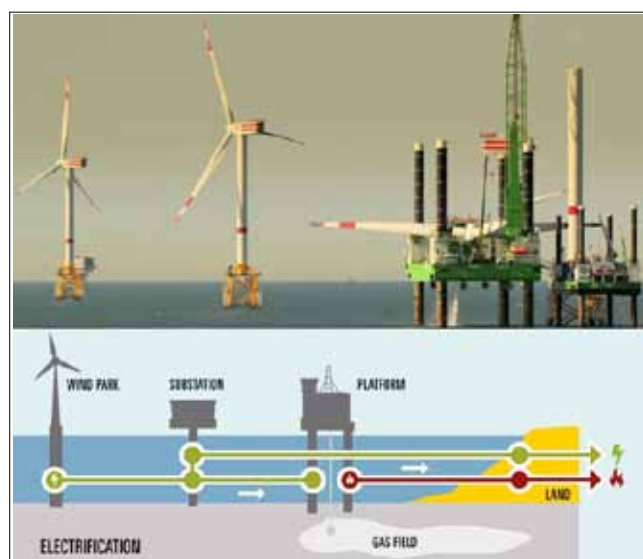
شکل ۳ | انرژی نهفته در دریاها و اقیانوس‌ها

طرح‌های تولیدی ثابت که اغلب در سواحل نصب می‌شوند، عبارتند از: ستون آب نوسان‌کننده، کانال متقارب و طرح پاندولی. طرح‌های بهره‌برداری از انرژی امواج، مزایا و موانعی برای توسعه دارد از جمله: ارزیابی، امکان‌سنجی و صرفه اقتصادی، که بررسی آنها ضروری است. در نگاه اول هزینه، مطرح می‌شود که قطعاً مزایایی چون: کاهش وابستگی، تجدیدپذیری، قابلیت پیاده‌سازی در شرایط مختلف آب‌وهوایی، امکان پیش‌بینی و کاهش عدم قطعیت، رایگان بودن انرژی، عدم تولید گازهای گلخانه‌ای، هزینه پایین نگهداری و شیرین‌سازی آب (عملکرد جانبی) قابل اشاره است. [۸-۱۰]

سکوه‌های حفاری خشکی و فراساحل از نظر مصرف انرژی عرصه‌ای است برای ایده‌های نو، ایده‌هایی که بر آن است بهینه‌سازی مصرف و انرژی



شکل ۱ | میدان‌های نفتی و گازی خلیج فارس



شکل ۲ | تامین انرژی مورد نیاز جک‌آب‌های حفاری نزدیک به ساحل از انرژی باد

است که بتواند با برخورد صحیح امواج با آن، حداکثر انرژی موجود در آنها را جذب کند. مبدل انرژی موج شامل بخش‌های متعددی چون ژنراتور و یک سیستم واسطه مانند توربین، پمپ یا موتور برای میرا کردن انرژی موج و تبدیل آن به انرژی مکانیکی جهت به حرکت درآوردن ژنراتور است که هریک از این بخش‌ها عهده‌دار تبدیل یک نوع انرژی به انرژی دیگری است. [۱۵ و ۱۸]

### ۳- امکان‌سنجی

#### مسائل زیست‌محیطی

در عصر جدید با توجه به بحث‌های زیست‌محیطی و تغییرات آب‌وهوایی چالش‌هایی در مورد چگونگی تولید الکتریسیته به میان آمده است. اجماع علمی این اطمینان را می‌دهد که انتشار بی‌رویه گاز دی‌اکسید کربن به احتمال زیاد منجر به یک بحران زیست‌محیطی بزرگ خواهد شد. بنابراین این خطر به‌عنوان یک شمشیر دو لبه دیده می‌شود: از یک طرف کاهش سوخت‌های فسیلی و از طرف دیگر ناتوانی جامعه جهانی در جذب گازهای گلخانه‌ای منتشرشده ناشی از سوختن سوخت‌ها که تشدید گرمایش جهانی را به‌دنبال دارد.

اطلاعات علمی در مورد اثرات زیست‌محیطی از دیگر منابع انرژی دریایی در دسترس نیست. سدهای جزر و مدی وقتی روی خور و مناطق ساحلی ساخته شوند پتانسیل ایجاد اثرات زیست‌محیطی قابل توجهی به‌خصوص روی تغییر رژیم جزر و مد، تغذیه پرندگان و پراکندگی صیدهای منطقه (زیستگاه قابل دسترس در اعماق دریا) را دارند. بنابراین پیش از عملیاتی شدن سایت‌های تولید انرژی از امواج می‌بایست مسائل محیطی را در نظر گرفته و تغییرات احتمالی را پیش‌بینی کرد به‌خصوص در آب‌های استراتژیک و امنیتی همچون خلیج فارس و دریای عمان. از مهم‌ترین چالش‌ها می‌توان کشتار ماهی‌ها و ممانعت از مهاجرت آنها به مناطق تخم‌ریزی خود (به‌دنبال انتشار نوز و انرژی الکترومغناطیسی)، تغییر زیستگاه‌های خشک و مرطوب جزر و مدی و اجبار گیاهان و جانوران به تطبیق با شرایط جدید و با مهاجرت به مکان‌های دیگر، تحت‌تاثیر قرار گرفتن رژیم جریان در پایین‌دست، پایین آوردن کیفیت آب در حوضه جزر و مدی به‌دلیل ممانعت از فلاشینگ طبیعی گل و لای و آلودگی، فرسایش کف دریا، شور شدن آب‌های زیر زمینی و اختلال در عملکرد خور برش‌مرد.

#### پتانسیل سنجی انرژی امواج و جزر و مد در خلیج فارس

انرژی موج را نمی‌توان در هر نقطه استحصال کرد بهترین مناطق برای احداث نیروگاه‌ها، مناطقی هستند که ارتفاع موج، زیاد باشد بنابراین مناطق بادخیز که عموماً بین عرض‌های جغرافیایی ۴۱ و ۶۱ درجه

هستند منابع عظیمی از انرژی گرمایی، شیمیایی و مکانیکی در جریان‌های آب گرم، جزر و مد و امواج دریاها نهفته است که تنها دو هزارم از این انرژی می‌تواند همه نیازهای بشر را بر روی کره زمین تامین کند. انرژی نهفته در دریاها و اقیانوس‌ها در پنج گروه دسته‌بندی می‌شوند. (شکل ۳) [۱۱-۱۲] امواج در اثر انتقال انرژی از باد به دریا به‌وجود می‌آیند. نرخ این انتقال انرژی بستگی به سرعت باد و نیز مسافتی دارد که در طول آن باد با سطح آب در فعل‌وانفعال بوده است. موج‌ها به خاطر جرم آبی که نسبت به سطح متوسط دریا جابه‌جا شده، انرژی پتانسیل و به‌خاطر سرعت ذرات آب، انرژی جنبشی را با خود حمل می‌کنند. انرژی ذخیره شده از طریق اصطکاک و اغتشاش و با شدتی که بستگی به ویژگی امواج و عمق آب دارد، تلف می‌شود. موج‌های بزرگ در آب‌های عمیق انرژی خود را با کندی بسیار از دست می‌دهند، در نتیجه سیستم‌های امواج بسیار پیچیده هستند و اغلب هم از بادهای محلی و هم از توفان‌هایی که روزها قبل در دوردست اتفاق افتاده‌اند سرچشمه می‌گیرند. [۱۳-۱۴]

انرژی نهفته شده در امواج و جزر و مد به‌عنوان تجلی انرژی‌های نهفته در دریاها و اقیانوس‌ها، موضوع مورد مطالعه است. روش‌های تولید برق از طریق انرژی نهفته امواج، متنوع است. برای اجرای طرح، تجهیزات مورد نیاز با توجه به شرایط آب‌وهوایی، محیطی و نیاز تاسیسات تعیین می‌شود. این‌که طرح بهینه برای تجهیزات حفاری و تامین برق از چه نوع انتخاب شود، نیروگاه آبی‌ساحلی باشد یا نزدیک به ساحل (سطحی و زیرسطحی): [۱۵-۱۸]

■ ساحلی: این سیستم‌ها در کنار خط ساحل قرار داده می‌شوند و انرژی امواجی که می‌شکنند را استخراج می‌کنند. مانند: ستون نوسانی با توربین ولز با پره‌های ایرفول، آونگی.

■ نیروگاه‌های نزدیک ساحل: سیستم‌های نزدیک ساحل در عمق آب حدود ۲۰ متر قرار داده می‌شوند مانند: ویواستار انرژی، مکانیزم اژدهای آب.

■ فراساحلی: آکوبوی، سالترداک، پلامیس، سیستم موج غلنده، سیستم نوسان ارشمیدسی و سیلندر بریستول.

که با توجه به مورد مطالعه طرح، نیروگاه ساحلی و نزدیک به ساحل مدنظر است. نیروگاه علاوه بر ساخت سازه خاص به تجهیزات اصلی و جانبی همچون: توربین، هیدروموتور (موتور هیدرولیک)، ژنراتور، آکومولاتور (جهت ذخیره انرژی)، شناورهای محرک، کابل‌های انعطاف‌پذیر، پیستون‌ها، سیلندر، پمپ‌ها و لوله‌های انتقال نیاز دارد. [۱۹-۲۰] ضمن این‌که تجهیزات شیرین‌سازی آب نیز می‌تواند افزوده شود. برای جذب انرژی امواج، وجود دستگاهی لازم

مرکزی خلیج فارس به ترتیب به ۱,۶ متر و بیشتر از ۲ متر می‌رسد. حداقل امواج در باریک‌ترین منطقه، تنگه هرمز دیده می‌شود. امواج دورای بلندتر از ۳,۵ متر در کمتر از یک درصد اوقات سراسر سال دیده می‌شود اما در مجموع در ۷۵ درصد اوقات ارتفاع موج به یک متر نیز نمی‌رسد و نهایتاً در ۵ تا ۶ درصد اوقات، دریا ممکن است در سراسر منطقه دارای تلاطم با امواج با ارتفاع ۱,۶ متر یا بیشتر باشد. یک جریان دریایی از تنگه هرمز وارد خلیج فارس شده و پس از گذر از سواحل ایران در خلاف جهت عقربه‌های ساعت سواحل کشورهای عربی را طی کرده و از تنگه خارج می‌شود. سرعت متوسط این جریان حدود ۰,۵ متر بر ثانیه تا ۱,۸ است که یک عدد توربین آبی با قدرت ۵۰ کیلو وات به پایه سکو اجرایی است. [۲۴-۲۱]

اگر برای نمونه بخواهیم یکی از سواحل جنوبی را از نظر پتانسیل بسنجیم، سواحل عسلویه با پرپود امواج در بازه ۲ تا ۸ ثانیه، ارتفاع موثر موج در بازه ۰/۲۵ الی ۳/۵ متر قابلیت نصب و راه‌اندازی سازه‌ای مثل نوسانگر ستونی را دارد. دستگاه مبدل ستون آبی نوسانگر یا به اختصار OWC (oscillating water column) کارآمدترین روش است به خصوص در نقاط ساحلی دریای عمان به دلیل ارتباط با اقیانوس. منظور از OWC، آب محبوس درون یک ساختار توخالی و پایین فصل مشترک هوا-آب است که به وسیله یک دریچه غوطه‌ور با آب آزاد دریا مرتبط می‌باشد. این دستگاه، معمولاً به یک توربین یک سوگرد موسوم به Wells، مجهز شده که بر اساس دو مکانیزم تشعشع و برانگیزش تولید توان می‌کند. [۲۶-۲۵] این حرکت باعث انقباض و انبساط هوای داخل استوانه می‌شود که جریان این هوا در یک توربین هوای فشار پایین می‌تواند باعث تولید الکتریسیته شود. نمونه‌هایی از OWC ها به عنوان مصارف نقطه‌ای وجود دارد که می‌توان سکوه‌های حفاری را نیز شامل دانست که در خط ساحلی به عنوان یک متوقف‌کننده ساخته می‌شود. یک نمونه از یک دستگاه نصب شده بر روی ساحل لیمپت است. این دستگاه در جزیره ایمیلی واقع در غرب اسکاتلند نصب شده و قدرت را برای شبکه ملی تولید می‌کند. شکل ۴ طرح لیمپت اسکاتلند را نشان می‌دهد. فرآیند تولیدی که در برخی از سواحل نفت‌خیز ایران از جمله حوضچه‌های نفتی و طرح‌های گازی در اطراف جزیره سیری (۵/۳)، ابوموسی (۵/۱)، عسلویه (۴/۸) و چابهار (۵/۸) با توجه به توان در واحد طول ساحل (kw/m) مناسب ممکن است. [۲۱]

در بررسی‌هایی که در زمینه برآورد انرژی امواج سواحل ایران انجام شده است، با توجه به رابطه مستقیم باد و موج، در این نقاط، چابهار با قدرت کل ۱۵۴۹ MW و سیری با وجود طول خط ساحلی اندک ۵ کیلومتری دارای بیشترین انرژی موج هستند [۲۲]، همچنین با توجه به رابطه

هستند یا تنگه‌های باریک، حاشیه جزایر و قطعات خشکی مرتفع کنار دریا مناطق مناسبی محسوب می‌شوند. [۱۶، ۱۱] با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی که سواحل ایران دارا هستند، تحقیقات در مورد این منابع و پتانسیل‌های ذخیره شده در این منابع و امکان استفاده از آنها ضروری به نظر می‌رسد. اولین و مهم‌ترین عامل موثر در انتخاب یک محل برای ساخت تاسیسات، دامنه‌ی موج آن محل است چراکه انرژی موج با توان دوم دامنه‌ی موج متناسب است. برای تعیین دقیق دامنه‌ی امواج و انرژی آنها معمولاً از اندازه‌گیری روی امواج استفاده می‌شود. متأسفانه در ایران در این مورد، به جز در چند ایستگاه آن هم برای چند ماه، ثبت اطلاعات دیگری صورت نگرفته است. بسیاری از سواحل و جزایر ایران این پتانسیل را دارا هستند که علاوه بر دکل‌های حفاری پروژه را در سطح مصارف متنوع و بخش جانبی آن آب‌شیرین‌کن‌ها (استفاده از روش‌های معمولی چون اسمز معکوس) اجرا کنند. یکی از عواملی که در تولید انرژی امواج اهمیت دارد پرپود و پیوستگی امواج است. البته در این مورد آکومولاتور (جهت ذخیره انرژی) نقش مثبت خود را ایفا می‌کند.

با توجه به اطلاعات پراکنده موجود حداکثر جزر و مد و متوسط جزر و مد در خلیج فارس با ۱۲۵۹ کیلومتر ساحل به ترتیب ۲ و ۳ متر است. حداکثر ارتفاع موج محلی و دوراً در انتهای پهن‌ترین منطقه



شکل ۴ | دستگاه لیمپت OWC، فرآیند تولید و امکان‌سنجی در سواحل ایران



شکل ۵ | استحصال انرژی از امواج

و هیدرولیک، با افزایش امواج و نیروی حاصل از تغییر آب، جریان الکتریسیته برای تجهیزات ساحلی و امکان انتقال به مسافت‌های دورتر را فراهم می‌سازد. Eco Wave Power در جبل الطارق، چین، مکزیک و اخیراً در شیلی و هند برای استخراج انرژی از امواج اقیانوس و دریا و تبدیل آن به برق در برخی اسکله‌ها و موج‌شکن‌ها ایجاد شده است. (شکل ۶) سواحل لیرانی متصل به اقیانوس هند و خلیج عمان با قدرت موج متوسط بین ۱۰ تا ۱۵ Kw/m قطعاً پتانسیل استخراجی موردنظر را خواهند داشت. [۲۴]

با توجه به این که در خلیج فارس طول موج زیاد و ارتفاع موج کم است استفاده از بازوهای ساحلی که می‌تواند بازده تولید الکتریسیته بالایی را در بر داشته باشد، به‌عنوان یک منبع تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر در سواحل جنوبی ممکن است. حرکت‌ها توسط مبدل مکانیکی به‌صورت حرکت دورانی درآمده و موجب دوران بازوی ارتباطی و در نتیجه چرخش ژنراتور می‌شود. با تغییر در ساختار مواد پیزوالکتریک و وزن بویه شناور می‌توان تولید توان را بالا برد و با توجه به اینکه نصب این سازه در ساحل بسیار آسان و هزینه‌های نصب مبدل‌های ساحلی و فراساحلی دیگر را ندارد می‌تواند جهت تجهیزات حفاری ساحلی و نزدیک ساحل استفاده شود. برتری دیگر این نوع مبدل نسبت به مبدل‌های ساحلی و فراساحلی عدم دغدغه انتقال الکتریسیته تولیدی به ساحل و استفاده از آن است. سکوه‌های حفاری خارک و هندیجان امکان نصب این شناورهای مشابه نصب شده در سواحل برزیل را دارد. (شکل ۷)

مکان‌های مناسب برای احداث یک نیروگاه جزر و مدی، خلیج‌ها یا خورهای کوچک و یا ورودی رودها به دریاها می‌باشند. زیرا در محل ورود یک رود به دریا و یا یک خلیج است که می‌توان با احداث یک دایک، پتانسیل انرژی جزر و مدی در مکان‌های خاص را فراهم کرد. امکان نصب توربین‌های جذر و مدی سکوه‌های حفاری مانند جک‌آپ در برخی سواحل خلیج فارس فراهم است (شکل ۸)، با توجه به اینکه در برخی سواحل مانند قشم هر شش ساعت این پدیده روی می‌دهد تولید دو طرفه با توربین جزر و مدی ممکن است. همچنین ماهشهر، اروندرود و دهانه خور موسی به‌ترتیب با دامنه جزر و مد ۳/۹ و ۲/۶ و ۲/۵ متر و میانگین پتانسیل سالانه توان ۰/۵۷، ۰/۳۸ و ۰/۳۶ وات بر مترمربع مساعدترین مناطق خلیج فارس هستند. در روش تولید دو طرفه، برق در دو جهت جزر و مد تولید می‌شود. [۲۲] تولید در جزر زمانی شروع می‌شود که سطح آبگیر کمتر است نسبت به تولید برای یک سیکل تنها تا پایان سیکل تولید دریاچه‌ها باز می‌مانند تا جریان آب امکان‌پذیر شود از این‌رو سطح آب داخل سد کاهش می‌یابد. در

مستقیم باد و موج، در این نقاط باد نیز مناسب است. برای مثال طی مطالعاتی که در زمینه بررسی سرعت باد در جزیره سیری و دیگر نقاط خلیج فارس و دریای عمان مانند ۲۶۵ کیلومتر ساحل چابهار و همچنین کیش انجام شده است، سواحل جنوب ایران به‌خصوص سواحل متصل به اقیانوس هند، مکان مناسبی برای استفاده از انرژی امواج حاصل است. بادهایی با سرعت کمتر بین عرض‌های جغرافیایی ۰۱ درجه شمالی و جنوبی می‌وزند، که به‌علت نظم نسبی، شرایط بالقوه ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، مبدل انرژی‌تیک نیز سازوکار مشابهی مانند OWC دارد و علاوه بر این توانایی شناور بودن را نیز داراست. برای به‌کارگیری مطلوب این سیستم، هموار بودن کف دریا و حرکات موزون و یکنواخت امواج دریا بسیار موثر هستند. ضمن این موارد پارامترهای موثر دیگر نیز مورد اشاره است. (شکل ۵)

تلاطم و آشفتگی جریان آب در بسیاری از سواحل و اسکله‌ها بستر مناسبی است برای شناورهایی که با سیستم کنترل اتوماتیک



شکل ۶ | پتانسیل طرح Eco Wave Power شیلی در شرایط طبیعت خلیج فارس ایران



شکل ۷ | امکان سنجی بویه‌های شناور با بازوهای ارتباطی برای تامین انرژی سکوه‌های نزدیک به ساحل



شکل ۸ | کاربرد توربین‌های جزر و مدی

علاوه بر ستون‌های نگهدارنده، کف بارج باید طوری محاسبه شود که با امواج ناپایدار نشود، همچنین فاصله زیر عرشه تا سطح آب در منطقه شکست امواج نیز باید بیشتر باشد. شکل ۹ زیر تلفیقی از این دو مجموعه است.

#### ۴- محدودیت‌ها و مزایا

آنچه می‌بایست از جمع‌بندی هزینه و اجرای طرح در این حوزه تعریف شود، به‌طور مختصر در جوانب فنی، تکنولوژی و تامین مالی خلاصه می‌شود. (شکل ۱۰) تامین انرژی از امواج، طرحی کاملاً اقتصادی ولی در عین حال دارای محدودیت است که برخی از محدودیت‌های آن عبارتند از:

۱. محدود بودن تعداد مکان‌های مناسب برای ساخت آنها

۲. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه زیاد

۳. منطبق نبودن زمان و مقدار

هزینه‌های اصلی یک طرح تبدیل انرژی امواج، صرف ساختن، نصب و راه‌اندازی مقدمات آن می‌شود که اضافه بر آن، هزینه‌های سالیانه برای امور عملیاتی و نگهداری از تاسیسات هم باید در نظر گرفته شوند که این هزینه‌ها خود به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- هزینه‌های ثابت که شامل بازدیدهای دوره‌ای منظم، دستمزد، بیمه و اجاره‌ی زمین می‌شود.

۲- هزینه‌های متغیر که ارتباط مستقیمی با مقدار برق تولیدی دارد و شامل اقلام مصرفی و تعویض است.

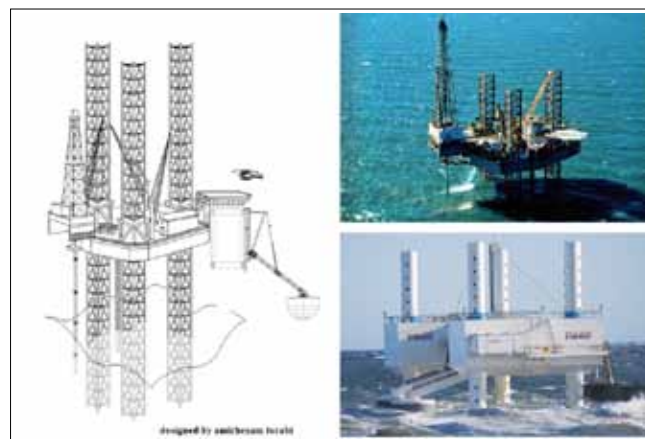
یک سکوی دریایی عملیاتی نیمه شناور با وزن تقریبی ۱۴۷۰۰ تن، سنگین‌ترین سازه دریایی کشور است، توان و نیاز این سکو، تولید بیش از ۱۱ مگاوات برق بوده تا در کنار عملیات مختلف سکو، امکان اقامت ۱۲۰ نفر نیز فراهم شود. این توان مورد نیاز می‌بایست از طرق مختلف تامین شود که استفاده از منابع طبیعی اطراف سکو جهت تامین این توان می‌تواند گزینه مناسبی برای نیل به این مقصود باشد.

در حال حاضر با به‌کارگیری مقرون‌به‌صرفه‌ترین ژنراتورها همچون caterpillar ۳۵۱۶ مصرف میانگین گازوییل در سکوهای خشکی و فراساحلی ۶ هزار تا ۱۰ هزار لیتر در روز است که در صورت تامین انرژی از امواج با احتساب قیمت ۶۰۰ تومان در هر لیتر روزانه حداقل ۳ میلیون و ۵۰۰ هزار تومان در مصرف گازوییل صرفه‌جویی خواهد شد.

در کنار برق استحصالی، امکان آب شیرین تولید شده به‌وسیله‌ی انرژی امواج، جبرانی بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری خواهد بود. مشکلی که شاید اجرای پروژه را سخت‌سازد، مخارج اولیه پیاده‌سازی تجهیزات است که مقرون‌به‌صرفه به‌نظر نمی‌آید، زیرا هزینه‌ی اولیه برای یک طرح

مرحله تولید به روش مد، اختلاف ارتفاع آب یک ضرورت است. در زمان جزر زمانی که سطح آب دریا و مانع برابر شدند، دریچه‌ها بسته می‌شوند یک‌بار دیگر که دریا تا ارتفاع مطلوب مد بالا آمد تولید آغاز می‌شود به‌وسیله به‌کار انداختن توربین‌ها در جهت معکوس، در حین تولید، دریچه‌ها باز می‌شوند و اجازه داده می‌شود سطح بالا بیاید و به‌علت به‌وجود آمدن این ارتفاع کافی سیکل بعدی تولید به روش جزر میسر می‌شود.

سکوهای مورد استفاده در حفاری فراساحلی از سکوهای شناور گرفته تا سکوهای ساکن هر کدام متناسب با شرایط خود امکان بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر را دارند، مانند بارج‌های خود بالارونده جک‌آپ که شباهت زیادی به ماشین Wavestar دارد که انرژی موج را با بازوهای شناور و با حرکت امواج بالا و پایین جذب می‌کند. هر بازو و شناور به یک ساختار استاتیک متصل است که از طریق تعدادی از پایه‌های نوع monopile ثابت نگهداشته می‌شود و حرکت به‌صورت هیدرولیک به چرخش ژنراتور و تولید برق منتقل می‌شود. در آب‌وهوای طوفانی کل ماشین ۱۰ متر بالاتر از سطح دریا بالا می‌رود، به‌طوری‌که تنها ستون‌های نگهدارنده نیروی امواج را به خود می‌گیرند، بنابراین دستگاه به‌خوبی در برابر قدرت مخرب دریا محافظت می‌شود. در جک‌آپ نیز



شکل ۹ | تلفیقی از جک‌آپ و Wavestar



شکل ۱۰ | چهارچوب اجرایی طرح

چراکه علاوه بر توان الکتریکی لازم، تامین آن نیز به دلیل دوری از ساحل مورد بحث و چالشی است.

انرژی در هر نقطه‌ای چه خشکی و چه دریا قابل استحصال است، اما در عین حال بسته به میزان و نوع مصرف است که از نظر سرمایه‌گذاری و امکان‌سنجی به‌صرفه است یا خیر. انرژی پاک (سطح، اعماق و ساحل) این امکان را به‌وجود می‌آورد که کل یا بخشی از انرژی مصرفی را برای این سکوها و ضمن آن سکوه‌های خشکی نزدیک به ساحل تامین کند.

ارزیابی و امکان‌سنجی انجام شده از نظر هزینه، فنی و زیست‌محیطی نشان داده است که بخشی از سواحل جنوبی ایران این پتانسیل را در خود نهفته دارند، به‌خصوص دریای عمان به‌واسطه اتصال به اقیانوس. البته مشخص شد مزایایی (عمق و ایجاد اختلاف دما) برای دریای خزر قابل‌تصور است که برتری دارد.

ساختار اسکله‌ها، شرایط آب‌وهوایی (نظم نسبی شرایط)، زیست‌محیطی، سواحل و صخره‌ها هر کدام طرح و ایده‌ای را ممکن می‌سازد که نیاز به مطالعه و شبیه‌سازی پیش از عملیاتی شدن را دارد. پلت‌فرم‌ها و پایه‌های شناور و ثابت سکوه‌های متنوع حفاری فراساحلی و نزدیک به ساحل همه می‌توانند متصل و یا خود نیروگاه‌هایی باشند از ستون نوسانی تا ویواستار و سایر طرح‌های تلفیقی. ■

استحصال انرژی از امواج حدود  $300 \text{ KW/S}$  برآورد شده است و به‌مرور زمان طرح بهبود یافته و در نتیجه هزینه‌های اولیه و هزینه‌های جانبی دیگر کاهش می‌یابد.

برای مثال توان موردنیاز یک سکوی گازی شامل بارهای مصرفی متشکل از سیستم‌های روشنایی، برودتی، تجهیزات استخراج، پالایش اولیه و انتقال گاز است.

بیشترین مصرف سکوی گازی متعلق به بارهای موتوری است که تجهیزات سکو را به‌گردش در می‌آورد که در تمام ساعات شبانه‌روز در مدار هستند. بنابراین می‌توان گفت که توان مصرفی سکو در شبانه‌روز ثابت و میانگین یک دوره یک‌ساله  $350$  کیلووات است و تغییرات کمی را تجربه می‌کند. از این رو، برنامه‌ریزی جهت استحصال لازم انرژی تسهیل می‌شود. پس برای جایگزینی توان تولید معمول در یک سکو (در مدار و رزرو)، دو دیزل ژنراتور  $500$  کیلوواتی (در مدار یا رزرو) با روش‌های نوین ابتکار لازم است.

#### ۵- نتیجه‌گیری

سکوه‌های نفتی فراساحلی مجموعه‌ای از تجهیزات پرمصرف هستند که حجم عظیمی از هزینه را ضمن تعمیر و نگهداری تحمیل می‌کند،

#### منابع

- [1] Gupta, M., et al., A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications. 2017. 74: p. 638-670.
- [2] Dastan, D., et al., Morphological and electrical studies of titania powder and films grown by aqueous solution method. 2016. 22(4): p. 950-953.
- [3] Özger, M., et al., Statistical investigation of expected wave energy and its reliability. 2004. 45(13-14): p. 2173-2185.
- [4] Carballo, R., G. Iglesias, and A.J.R.E. Castro, Numerical model evaluation of tidal stream energy resources in the Ría de Muros (NW Spain). 2009. 34(6): p. 1517-1524.
- [5] Arthur, O., M.J.R. Karim, and S.E. Reviews, An investigation into the thermophysical and rheological properties of nanofluids for solar thermal applications. 2016. 55: p. 739-755.
- [6] Stewart, R.H., Introduction to physical oceanography. 2008: Texas A & M University College Station.
- [7] Salter, S.H.J.N., Wave power. 1974. 249(5459): p. 720-724.
- [8] Sgrensen, B.J.e. and n.e. planning aspects, Academic Press, London, Renewable Energy—its physics, Engineering, use, environmental impact. 2000.
- [9] Rusu, E. and C.G.J.R.E. Soares, Numerical modelling to estimate the spatial distribution of the wave energy in the Portuguese nearshore. 2009. 34(6): p. 1501-1516.
- [10] Bernhoff, H., E. Sjöstedt, and M.J.R.E. Leijon, Wave energy resources in sheltered sea areas: A case study of the Baltic Sea. 2006. 31(13): p. 2164-2170.
- [11] Clark, R.H., Elements of tidal-electric engineering. Vol. 33. 2007: John Wiley & Sons.
- [12] Esfahani, M.R., et al., Effect of particle size and viscosity on thermal conductivity enhancement of graphene oxide nanofluid. 2016. 76: p. 308-315.
- [13] Culp Jr, A.W., Principles of energy conversion. 1991.
- [14] Ross, D., Power from the Waves. 1995: Oxford University Press, USA.
- [15] Vining, J.G., Ocean wave energy converters: Overview, legal and economic aspects, and direct-drive power take-off. Master's thesis, University of Wisconsin-Madison, 2007.
- [16] Cruz, J., Ocean wave energy: current status and future perspectives. 2007: Springer Science & Business Media.
- [17] Falnes, J., Wave energy and its utilisation, accessed on: website: <http://folk.ntnu.no/hals/hedlasting/lysark.WaveEnergy.ppt>.
- [18] Badran, O., Wind turbine utilization for water pumping in Jordan. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 2003. 91(10): p. 1203-1214.
- [19] Rothenhagen, K., M. Jasinski, and M.P. Kazmierkowski. Grid connection of multi-megawatt clean wave energy power plant under weak grid condition. in Power Electronics and Motion Control Conference, 2008. EPE-PEMC 2008. 13th. 2008. IEEE.
- [20] Polinder, H., M.E. Damen, and F. Gardner, Linear PM generator system for wave energy conversion in the AWS. IEEE transactions on energy conversion, 2004. 19(3): p. 583-589.
- [21] Pryazhnikov, M., et al., Thermal conductivity measurements of nanofluids. 2017. 104: p. 1275-1282.
- [22] Zabihian, F. Iran's seas and lakes sustainable energy potential. in ASME 2007 Energy Sustainability Conference. 2007. American Society of Mechanical Engineers.
- [23] Abbaspour, M. and R. Rahimi, Iran atlas of offshore renewable energies. Renewable Energy, 2011. 36(1): p. 388-398.
- [24] Thorpe, T., An overview of wave energy technologies: status, performance and costs. Wave power: moving towards commercial viability, 1999. 26: p. 50-120.
- [25] Jayashankar, V., et al., A twin unidirectional impulse turbine topology for OWC based wave energy plants. 2009. 34(3): p. 692-698.
- [26] Westwood, A.J.R., Ocean power: Wave and tidal energy review. 2004. 5(5): p. 50-55.