

بررسی انرژی جزر و مد در خلیج فارس و کاربرد آن در تولید برق با در نظر گرفتن سکوهای نفتی هنگام

حیدر یارویسی^۱، جلال صابری^۲، محسن باقری^۳، محمد احمدی لیوانی^۴، رضا نجانی^۵

^۱ کارشناس مهندسی مکانیک، شرکت نفت فلات قاره ایران، منطقه قشم، hyarveicy@iooc.co.ir
^۲ کارشناس ارشد مهندسی برق، شرکت نفت فلات قاره ایران، منطقه قشم، jsaberi@iooc.co.ir
^۳ کارشناس ارشد مهندسی برق، شرکت نفت فلات قاره ایران، منطقه قشم، mbagheri@iooc.co.ir
^۴ کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر، شرکت نفت فلات قاره ایران، منطقه قشم، mahmadi@iooc.co.ir
^۵ کارشناس ارشد مهندسی برق، شرکت نفت فلات قاره ایران، منطقه قشم، rnejati@iooc.co.ir

چکیده

در این مقاله به معرفی انرژی‌های جزر و مد و پتانسیل آن در خلیج فارس و تنگه هرمز پرداخته می‌شود. همچنین انواع توربین‌های مختلف جزر و مدی معرفی می‌شوند. انرژی جزر و مد به دو صورت انرژی پتانسیل جزر و مد و انرژی جنبشی جزر و مد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. سواحل غربی خلیج فارس مناسب جهت استفاده از انرژی پتانسیل جزر و مد و تنگه هرمز مناسب برای استفاده از جریانات جزر و مد و انرژی جنبشی آن می‌باشد. با توجه به عمق کم خلیج فارس و جریانات مناسب جزر و مد در این منطقه می‌توان با نصب توربین‌های مناسب انرژی برق فراوانی تولید نمود و از این انرژی در جزایر خلیج فارس، جنوب ایران و سکوهای نفتی مورد استفاده قرار داد. با توجه به وجود سکوهای نفتی هنگام در نزدیکی تنگه هرمز، استفاده از آن‌ها جهت نصب توربین، هزینه‌های طرح را به شدت کاهش می‌دهد و گزینه مناسبی برای تولید برق می‌باشند.

کلمات کلیدی: انرژی جزر و مد، خلیج فارس، سکوی نفتی هنگام

مقدمه

در حال حاضر مصرف انرژی در جهان در حدود $10^6 \times 1.6$ است، که حدود ۶۰ درصد بالاتر از مصرف انرژی در سال ۱۹۸۰ است [۱]. با توجه به نرخ افزایش جمعیت جهان و بهبود استاندارد زندگی در کشورهای در حال توسعه، انتظار می‌رود که این روند در آینده ادامه داشته باشد. تاکنون، در این تقاضای جهانی انرژی، مصرف سوخت‌های فسیلی مورد توجه قرار داشت. با این حال، در سال‌های اخیر در نتیجه بحران انرژی در جهان و مشکلات در ارتباط با استفاده از سوخت‌های فسیلی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، تحقیقات زیادی در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر جهان انجام شده است. در بین این منابع، پتانسیل انرژی از دریاها و اقیانوس‌ها مورد توجه بیشتری قرار گرفته است، زیرا در آن‌ها مقدار زیادی انرژی در اشکال مختلف، از جمله موج، انرژی جزر و مدی، حرارتی ذخیره شده و در حال حاضر می‌تواند کل تقاضای برق در سراسر جهان را تامین کند [۲]. تجربه عملی در برنامه‌های تجاری از انرژی دریا، مانند تولید برق جزر و مدی، ثابت کرده‌اند که، در دراز مدت، این فن‌آوری‌ها می‌توانند با نیروگاه‌های معمولی به رقابت بپردازند [۳،۴].

انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی باد و آب، انرژی‌های متناوبی هستند که منشأ آن‌ها انرژی پاک و نامتناهی خورشیدی می‌باشد. یکی از جدیدترین روش‌های استحصال انرژی پاک، استفاده از انرژی امواج و جزر و مد می‌باشد که امروزه به عنوان منابع جدید انرژی مورد قبول قرار گرفته است. کشورهای پیشرفته آسیایی، آمریکای مرکزی و جنوبی، اروپا، کشورهای نزدیک اقیانوس هند و آتلانتیک می‌توانند از مزایای انرژی جزر و مد استفاده نمایند.

مطالعه روی جنبه‌های مختلف انرژی جزر و مدی از مدت‌ها پیش در برنامه پژوهشگران قرار گرفته و هر یک به نوعی سعی در شناساندن مزایای این انرژی دارند. Baker در مجموعه پژوهش‌های گسترده خود به تشریح کامل انرژی جزر و مدی و چگونگی استفاده از آن پرداخته است. یک نمونه عملی و مهم استفاده از انرژی جزر و مدی طرحی با قدرت کلی $240 MW$ در فرانسه با نام "La Rance" است که روی رودخانه رنس انجام شده است. انرژی تولیدی سالانه این نیروگاه، ۵۰۰ گیگا وات ساعت می‌باشد و این مقدار انرژی قادر است برق مورد نیاز ۲۴۰۰۰ خانوار را تامین کند [۵]. از لحاظ اقتصادی می‌توان انرژی جزر و مدی را مناسب ارزیابی نمود. به عنوان مثال هزینه تولید نیروگاه "La Rance" در فرانسه، تقریباً معادل هزینه تولید یک نیروگاه اتمی (که ارزانترین نیروگاه است) می‌باشد که به خودی خود ارزان‌تر از هزینه تولید یک نیروگاه با سوخت نفتی است.

نیروگاه‌های جزر و مدی در مکان‌های دارای پتانسیل زیاد، کاملاً اقتصادی هستند، ولی محدودیت‌هایی در ساخت نیروگاه وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان محدود بودن تعداد مکان‌های مناسب برای ساخت آن‌ها، هزینه زیاد اولیه سرمایه‌گذاری و منطبق نبودن زمان تولید آن‌ها با قله بار را برشمرد.

انرژی جزر و مد به وسیله توربین‌های محور عمودی و افقی بهره‌برداری می‌شود. با توجه به بازده، سادگی و مسایل اقتصادی، توربین‌های پیچشی و عمودی بهتر می‌باشند. انرژی جزر و مد می‌تواند جهت تولید برق در مناطق دور از شبکه برق، (در مقیاس کوچک) تا تولید برق برای شبکه‌های برق و نیروگاه (مقیاس بزرگ) مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه جغرافیایی به موقعیت و شرایط آب و هوایی، ایران دارای ۱۲۵۹ km مرز دریایی با خلیج فارس، ۷۸۴ km با دریای خزر و ۶۵۷ km با خلیج عمان است [۶]. در نتیجه ایران دارای موقعیت خوبی برای استحصال انرژی دریایی است. ابتدایی‌ترین مساله در استفاده از انرژی جزر و مدی مطالعه روی موقعیت مکانی ساحل برای انتخاب مناسب‌ترین روش استحصال انرژی است.

از آنجا که در دریای خزر پدیده جزر و مد چندان مهم نمی‌باشد و شیب ساحل جنوبی دریای خزر نسبت به دریاها جنوب کشور بیشتر است، تغییرات جزر و مدی به منظور استحصال انرژی در این دریا قابل بررسی نیست و باید مطالعه و امکان‌سنجی بر روی سایر انرژی‌های دریایی مثل انرژی گرمایی دریا، انرژی موج و غیره در این منطقه صورت پذیرد تا بتوان منبع مطمئن‌تأمین انرژی در سواحل دریای خزر داشت. اما انرژی پتانسیل موجود در جزر و مد مناطق جنوبی مثل خلیج فارس و دریای عمان قابل توجه‌تر است، همچنان که در این مقاله به آن اشاره شده است. هر چند سطح این انرژی نسبت به سطح مورد انتظار جهانی چندان مناسب نمی‌باشد، اما در دید کلان توان نگاه جدی‌تری به راهکارهای استفاده اقتصادی از این انرژی داشت [۷].

مطالعاتی نیز در زمینه استحصال انرژی جزر و مدی در ایران صورت گرفته است. در [۸] به بررسی انرژی امواج در سواحل ایران پرداخته است و سواحل خلیج فارس را دارای مکان و ظرفیت بالایی جهت بهره‌برداری از انرژی امواج معرفی نموده است.

نتایج بررسی در [۹] نشان می‌دهد که تنگه هرمز دارای پتانسیل انرژی جزر و مد بالایی در مقایسه با دیگر مناطق خلیج فارس می‌باشد. همچنین در مرجع [۱۰] که محققان به بررسی اطلس انرژی در خلیج فارس پرداخته است نشان می‌دهند که سرعت جریان‌ات جزر و مد در تنگه هرمز شدیدتر می‌باشد. در مرجع [۱۱] و [۱۲] به بررسی مدل هیدرودینامیکی تنگه هرمز پرداخته است و نشان می‌دهد که سرعت جریان‌ات جزر و مد در عمق‌های مختلف آب متغیر می‌باشد و در تنگه هرمز بیشتر می‌باشد.

در این مقالات به پتانسیل بالای خلیج فارس جهت استفاده از انرژی جزر و مد اشاره شده است. که می‌توان هم با احداث سد و ایجاد حوضچه و ذخیره آب در پشت آن در مناطقی مانند بندر ماهشهر و خورموسی انرژی جزر و مد را به برق تبدیل نمود و هم می‌توان با نصب مستقیم توربین در مسیر جریان جزر و مد مانند تنگه هرمز، برق تولید نمود. برق تولیدی را می‌توان به صورت متصل به شبکه و یا در جزایر خلیج فارس و همچنین سکوها نفتی که دور از ساحل می‌باشند، مورد استفاده قرار داد.

در نزدیکی تنگه هرمز، سکوها نفتی هنگام قرار دارند که جریان جزرومد مناسبی در محل سکوها وجود دارد. از این سکوها می‌توان جهت نصب توربین و تولید برق استفاده نموده و هزینه‌های طرح به شدت کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به بومی بودن دانش فنی ساخت سکو در شرکت ملی نفت و همچنین دانش ساخت توربین، می‌توان به کمک متخصصان داخلی از انرژی جزر و مد در خلیج فارس و به خصوص تنگه هرمز، برق زیادی تولید نمود.

انرژی‌های دریایی

از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی‌های دریایی از پاک‌ترین و پرظرفیت‌ترین انرژی‌ها به شمار می‌روند. به همین دلیل کشورهای پیشرفته دنیا برنامه‌های جامعی برای استحصال انرژی از دریاها و اقیانوس‌ها دارند. در ادامه به معرفی مختصر انواع انرژی‌های تجدیدپذیر دریایی پرداخته می‌شود. منشا انرژی‌های دریایی نیز مانند همه انرژی‌های مورد استفاده ما، خورشید است. انرژی‌های قابل استحصال از دریا به طور کلی شامل منابع زیر است، که عبارتند از:

- امواج (شامل امواج خط ساحلی، نزدیک ساحل و فراساحلی)
- جزر و مد (استفاده از انرژی پتانسیل و جنبشی جزر و مد)
- باد فراساحلی
- اختلاف گرمایی (سامانه‌های موسوم به OTEC)
- اختلاف چگالی (شوری)
- منابع زیستی و رسوبات دریایی

در ادامه به بررسی انرژی‌های امواج و جزرومد که دارای پتانسیل کاربردی بیشتری در ایران می‌باشند پرداخته می‌شود.

انرژی موج

انرژی امواج عمدتاً ناشی از تاثیر باد روی سطح دریا است و باد، خود حالت خاصی از انرژی خورشیدی است که به عنوان منبع انرژی پاک و تجدیدپذیر می‌تواند نقش مهمی در تامین نیازهای روزافزون انرژی جهان ایفا نماید. انرژی موج نامنظم، نوسانی و دارای فرکانس پایین است که قبل از اضافه شدن به شبکه باید به فرکانس ۵۰ هرتز تبدیل شود. بر اساس برآوردهای انجام شده، کل انرژی امواج در جهان ۲ تراوات (۲ میلیون مگاوات) انرژی الکتریکی باشد. به طور تقریبی حداکثر ۲۰ درصد از این انرژی قابل استحصال است. تا اواسط دهه ۹۰ بیش از ۱۲ سامانه متمایز برای استحصال این انرژی پیشنهاد شده و اکنون تعداد بیشتری از سامانه‌های جدید معرفی شده‌اند که تنها تعداد کمی از آنها از نظر اقتصادی و فنی امکان‌پذیر هستند.

پیش‌بینی امواج یکی دیگر از عوامل مهم و قابل توجه است. در حالی که به طور پیشرفته می‌توان تنها چند ساعت باد تنها پیش‌بینی کرد، امواج را می‌توان تا چندین روز پیش‌بینی کرد. انرژی موج به علت ارتفاع آن و انرژی جنبشی ناشی از حرکات ذرات آب آن ترکیبی از انرژی پتانسیل و جنبشی است. مبدل انرژی موج می‌تواند از هر دو فرم برق تولید کند. ویژگی‌های موج بسیار به شرایط باد، مانند سرعت، طول دوره، و واکنشی، و همچنین وضعیت بستر دریا بستگی دارد. انرژی متوسط در واحد سطح در آب‌های عمیق، جایی که عمق آب بیشتر از یک سوم طول موج است، می‌تواند توسط معادله زیر [۱۳] برآورد شود:

$$E = \frac{\rho g H_{m0}^2}{16} \quad (1)$$

که در آن E انرژی متوسط موج در واحد سطح (J/m^2)، ρ چگالی آب دریا (g/m^3)، g شتاب گرانش (m/s^2) و H_{m0} شاخص ارتفاع موج (m) است.

پتانسیل‌های انرژی موج در ایران

اولین و مهم‌ترین پارامتر انتخاب یک سایت برای تولید انرژی موج در نظر گرفتن توان بالقوه موج است. این انرژی همانطور که در معادله ۱ نشان داده شده به طور مستقیم با مجذور ارتفاع موج شاخص و مدت زمان آن متناسب است. به منظور تعیین ویژگی موج، معمولاً داده‌های موج متوسط برای یک دوره معینی از زمان مورد نیاز است. در ایران چنین داده‌هایی در دسترس نیست. با توجه به این واقعیت که امواج حاصل تعامل باد و سطح آب دریا است، می‌توان از داده‌های باد برای پیش‌بینی مشخصات موج استفاده کرد. داده‌های باد در ایران ثبت شده‌اند و برای دوره زمانی طولانی در دسترس می‌باشد. بنابراین، به منظور برآورد ویژگی داده‌های موج، داده‌های باد ثبت شده از سال ۱۹۸۶ تا سال ۱۹۹۵ در ۱۴ سایت از هر دو ساحل شمالی و جنوبی جمع‌آوری و استفاده می‌شود. جدول ۱ توان هر متر از خط ساحل، طول کل ساحل و قدرت کل این سایت‌ها بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط دفتر انرژی‌های تجدیدپذیر، معاونت وزارت انرژی در ایران، را نشان می‌دهد [۱۴،۱۵]. جدول ۱ نشان می‌دهد، km ۲۶۵ ساحل چابهار با توان $5.8 kW$ در هر متر از ساحل و قدرت کل $1539 MW$ بهترین سایت از نظر انرژی موج است. زیرا این سایت در سواحل خلیج عمان بوده که به اقیانوس هند متصل است، که قدرت موج آن به طور متوسط بین ۱۰ تا $15 kW/m$ است [۱۶،۱۷]. در [۸] نیز محقق به بررسی انرژی امواج در ایران پرداخته و چابهار و سیری را دارای بیشترین انرژی موج می‌داند. همچنین با توجه به رابطه مستقیم باد و موج، در این نقاط باد نیز مناسب می‌باشد. در [۱۸] به بررسی سرعت باد در جزیره سیری و دیگر نقاط خلیج فارس و دریای عمان مانند چابهار کیش پرداخته و نشان می‌دهد که سواحل خلیج فارس مکان مناسبی برای استفاده از انرژی باد می‌باشد، که این امر نشانگر ظرفیت بالای منطقه خلیج فارس و جزایر آن جهت تولید انرژی‌های پاک می‌باشد.

جدول ۱: توان بالقوه موج در سواحل شمالی و جنوبی ایران [۱۵،۱۴]

Site name	Powerr meter of coast (kW/m)	Coast length (km)	Total power (MW)
Abadan	2.9	34	101
Abomosa	5.1	5	26
Anzali	3.4	124	423
Astara	0.6	83	50
Babolsar	2.2	155	341
Bandar Abbas	0.9	232	210
Lenge	3.4	359	1222
Bousher	2.2	474	1045
Chabahar	5.8	265	1539
Jask	3.2	289	925
Mahshahr	1.7	223	380
Noushahr	1.1	99	110
Ramsar	1.4	100	141
Siri	5.3	5	27
Total			6540

انرژی جزر و مدی

انرژی جزر و مد، یکی از در دسترس ترین انرژی دریاها است. برخلاف بسیاری از انرژی های تجدیدپذیر، که به طور مستقیم یا غیر مستقیم از انرژی خورشیدی مشتق شده اند، این انرژی توسط نیروهای گرانشی ماه و خورشید روی آب زمین و چرخش زمین ایجاد می شود. یکی از مزایای استفاده از انرژی جزر و مد نسبت به انرژی خورشیدی و بادی قابل پیش بینی بودن آن است. توان جزر و مدی آب حدود 100 GW تخمین زده شده است، که تنها کسری از آن قابل بهره برداری است، زیرا آن ها در خلیج ها و مدخل ها [۱۸] رخ می دهد. کمیسیون اروپا ۴۲ سایت با جریان جزر و مد بالا در اطراف انگلستان در نظر گرفته است که می توانند ۴۸ تراوات ساعت انرژی در سال تولید کنند. کشورهای پیشرو در بهره برداری از انرژی جزر و مدی، کانادا، فرانسه، بریتانیا و ایالات متحده آمریکا می باشند [۱۹]. انرژی جزر و مد در قرن دهم وجود داشته و برای حرکت آسیاب ها در انگلستان، فرانسه و چند کشور دیگر مورد استفاده قرار می گرفت. اگر چه طرح های مدرن و یا پروژه های آزمایشی تجربی برای برداشت انرژی جزر و مدی وجود داشته، اما تنها چهار نیروگاه برق تجاری نسل جزر و مدی در جهان ساخته شده است. نیروگاه جزر و مدی *Rance* در فرانسه اولین و بزرگترین نیروگاه جزر و مدی جهان با ظرفیت 240 MW و خروجی سالانه از 600 GWh است که از سال ۱۹۹۶ مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱). در واقع، انرژی جزر و مدی می تواند در اشکال انرژی پتانسیل اختلاف سطح آب درهنگام جزر و مد یا انرژی جنبشی جریان جزر و مدی باشد، که به طور خلاصه در ادامه توضیح داده شده است. در طرح اول انرژی جزر و مدی با احداث یک سد در مقابل آب دریا و با استفاده از اختلاف ارتفاع آب دریا و آب پشت سد، ایجاد شده توسط جزر و مد، و نصب توربین در دیوار سد استخراج می شود. توان تولید نیروگاه جزر و مدی به محدوده جزر و مدی و ظرفیت حوضه بستگی دارد. انرژی جزر و مد به طور مستقیم متناسب با مجذور محدوده جزر و مدی است. این تفاوت در سطح اقیانوس های آزاد ۱ متر می باشد. اما در مناطق ساحلی، به شرایط ساحل بستگی دارد و می تواند به ارتفاع ۱۶ متر باشد. همچنین، با ظرفیت بالاتر استخر، انرژی قابل دسترس افزایش خواهد یافت. علاوه بر این، اگر حوضه به اندازه کافی بزرگ باشد، مشکل وقفه در تولید برق را می توان تا حدی با آرایش مناسب استخر حل کرد. علاوه بر این، عوامل دیگری نیز وجود دارند که باید بررسی شوند، مانند فاصله سایت تا شبکه برق، استفاده حال حاضر از حوضه و فاصله از امواج دریا و طوفان.



شکل ۱: نیروگاه جزر و مدی Rance فرانسه

به منظور برآورد انرژی پتانسیل جزر و مد تولید، پارامترهای بسیاری در نظر گرفته شده است. با این حال، انرژی پتانسیل جزر و مد در هر چرخه جزر و مد (یک فراز و یک سیل) توسط معادله ۲ تخمین زده می شود [۲۰].

$$E = \eta \times \rho \times g \times h \times q \quad (2)$$

که در آن E انرژی بالقوه سیستم جزر و مدی در هر چرخه جزر و مدی (J/cycle)، η بهره وری از سیستم (توربین آبی)، ρ چگالی آب دریا (kg/m^3)، g شتاب گرانش (m/s^2)، h میانگین تفاوت سطح بین آب در حوضه و دریا (متر) است، و q سرعت جریان آب دریا در هر چرخه توربین است.

در طرح دوم و استفاده از انرژی جنبشی جزر و مد با نصب مستقیم توربین در مسیر جریان جزر و مد، بدون ساخت و ایجاد سد جریان جزر و مد به برق تبدیل می شود. در این طرح هزینه ساخت به دلیل عدم نیاز به سد، کاهش می یابد. ساخت، بهره برداری و نگهداری از ژنراتورهای جریان جزر و مد بسیار کمتر از نیروگاه های موجی هستند که نیاز به ساخت بند و سد دارند. همچنین محیط اطراف تغییرات کمتری می نماید. شرکت انگلیسی Marine Current Turbine یا MCT در این زمینه پیشرو بوده و پس از نصب توربین های ۳۰۰ کیلوواتی Seagen در خلیج Bristol هم اکنون در حال نصب توربین های ۱.۲ مگاواتی در شمال ایرلند است. این فن آوری بسیار شبیه توربین های بادی کار می کند و از جریان

سیال آب جهت چرخاندن پره‌های بزرگ استفاده می‌نماید. می‌توان این فن‌آوری را در مناطقی که سرعت جریان جزر و مدی بالا است و یا در مناطقی که جریان‌ات پایدار اقیانوسی سرعت قابل قبولی دارند نصب کرد.

انرژی جنبشی عبوری از مقطع عمودی عمود بر جهت جریان در واحد زمان، عبارت است از:

$$P_{\text{cross-section}} = 0.5\rho AU^2 \quad (3)$$

که در این رابطه $P_{\text{Cross-Section}}$ چگالی جریان (watt)، ρ دانسیته آب (kg/m^3)، A سطح مقطع (m^2) و U سرعت جریان سیال (m/s) است. در نتیجه متوسط چگالی توان در سطح مقطع واحد از جریان برابر است با

$$P_{\text{mean}} = 0.5\rho U^2 \quad (4)$$

لازم به ذکر است که توان تولیدی نهایی بستگی زیادی به مشخصات فیزیکی سایت و بازده مبدل‌های انرژی دارد. توربین جریان جزر و مدی، در اصل، مشابه توربین‌های بادی است. اما به دلیل چگالی بسیار بالاتر آب نسبت به هوا، آن‌ها می‌توانند با سرعت جریان بسیار پایین‌تری نیز به کار گرفته شوند. از آنجایی که انرژی جنبشی جریان جزر و مدی به طور مستقیم متناسب با مجذور سرعت جریان است، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل این سرعت برای ارزیابی محل مناسب سایت ضروری است. در ارزیابی انرژی جریان جزر و مد، تغییرات سرعت جریان در طول یک چرخه جزر و مد که در اواسط سیکل قویتر است، باید در نظر گرفته شود. علاوه بر این، سرعت جریان بهاری و خفیف‌ترین جزر و مد به طور قابل توجهی می‌تواند متفاوت باشد.

انواع توربین جزر و مد

توربین جزر و مد به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود: توربین محور افقی، توربین‌های محور عمودی، این سیستم‌ها می‌توانند یا به صورت ثابت به ساختار بستر نصب شده یا شناور باشند.

توربین‌های افقی از ۳۰ سال پیش جهت کسب انرژی بادی مورد استفاده قرار گرفته است. امروزه جهت کسب انرژی جزر و مد توسعه داده شده است. توربین‌های افقی مورد استفاده برای جریان‌ات جزر و مد مشابه توربین‌های بادی می‌باشد با این تفاوت که محل نصب آن‌ها در زیر آب است. نگهداری محور این نوع توربین ساده و کم هزینه می‌باشد. در مکان‌های عمیق که امکان نصب توربین در بستر دریا وجود ندارد، توربین به صورت شناور قرار داده می‌شود.

توربین‌های افقی به دو دسته کلی توربین افقی کراندار و توربین افقی آزاد دسته‌بندی می‌شوند. این نوع توربین‌ها بسته به نوع کاربرد می‌توانند در بستر دریا، رودخانه به صورت ثابت و یا در مکان‌های عمیق به صورت شناور نصب شوند. انواع مختلف تجاری توربین‌های افقی عبارتند از [۲۱]:

- Lunar Energy RTT 2000: که مناسب جهت نصب در بستر دریا و رودخانه می‌باشد.
- توربین‌های MCT: دارای دو توربین با محور افقی می‌باشد و به وسیله گیربکس به ژنراتور متصل است.
- توربین‌های Verdant که برای رودخانه شرقی نیویورک ساخته شده است و دارای ۵ متر قطر می‌باشد.
- توربین‌های Open-Center که از نوع توربین‌های افقی کراندار می‌باشد. این توربین اولین بار در Palatka در فلوریدا آمریکا نصب و تست گردید. از مزایای این نوع توربین می‌توان به متحرک بودن تنها یک قسمت، عدم نیاز به عایق‌کاری، گیربکس، روغن، شفت، کوپلینگ و هزینه کم می‌باشد.

توربین‌های عمودی دو نوع می‌باشند. در نوع اول، تیغه‌ها با هم موازی بوده و عمود بر سطح توربین می‌باشند. در توربین عمودی نوع دوم، تیغه‌ها دارای زاویه ای بیشتر از ۹۰ درجه با سطح توربین می‌باشند. این نوع توربین پیچشی بوده و دارای بازده بیشتری می‌باشند. استفاده از این نوع توربین در استحصال انرژی جزر و مدی مهار شده بسیار مناسب و کم هزینه می‌باشد.

این نوع توربین‌ها برای تولید انرژی برق آبی در نظر گرفته شده‌اند. این نوع توربین‌ها به وسیله جریان‌ات جزر و مدی اقیانوس‌ها و رودخانه‌ها چرخانده می‌شوند و در نتیجه نیازی به ساخت سدهای پرهزینه که اکوسیستم را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد نیست.

توربین‌های پیچشی با سرعت آب حدود ۱ m/s چرخانده می‌شوند. با توجه به شکل خاص توربین، جهت چرخش توربین در یک جهت بوده و با تغییر مسیر جریان جزر و مد تغییر نمی‌کند. توربین‌های پیچشی در نیروگاه جزر و مد خلیج Uldolmok کره استفاده شده است.

توربین‌های پیچشی دارای بیشترین بازده می‌باشد. بازده انواع مختلف توربین حدودا برابر است با [۲۲]:

- بازده توربین‌های افقی: ۱۶٪ تا ۲۰٪
- بازده توربین‌های عمودی (معمولی): ۲۳٪/۵
- بازده توربین‌های عمودی (پیچشی): ۳۵٪

پتانسیل‌های انرژی جزر و مد در ایران

با توجه به سواحل با طول بیش از ۱۴۰۰ کیلومتر در مناطق جنوبی، بیش از ۹۰۰ کیلومتر ساحل شمالی و سواحل برخی دریاچه‌ها و خورهای مستعد در داخل کشور، ایران دارای موقعیت خوبی برای استحصال انرژی دریایی است. از آن جا که در دریای خزر پدیده جزر و مد چندان مهم نمی‌باشد، همانطور که قبلاً ذکر شد به دو صورت می‌توان از انرژی جزر و مد استفاده نمود. در اولین طرح با ایجاد سد و حوضچه و انباشت انرژی، به طور غیرمستقیم انرژی پتانسیلی جزر و مد به انرژی برق تولید می‌شود. در دومین طرح در مکان‌های مناسبی که جزر و مد باعث ایجاد جریان آب می‌شود مانند تنگه هرمز، با قرار دادن مستقیم توربین در مسیر این جریان، انرژی جنبشی جزر و مد به انرژی برق تبدیل می‌شود. خوشبختانه خلیج فارس و دریای عمان دارای شرایط مناسب برای هر دو طرح می‌باشد که در ادامه بررسی می‌شوند.

استفاده از انرژی پتانسیلی جزر و مد در ایران

شرایط مورد نیاز در این طرح عبارتند از: محدوده جزر و مدی بالا و حوضه با داشتن دهانه باریک به اندازه کافی به طوری که بتوان آن را مسدود نموده و به اندازه کافی عمیق باشد به طوری که توربین بتواند در مکان مناسبی نصب شود. بنابراین، این پارامترها در این مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

به منظور انجام تجزیه و تحلیل در ایران، ۳۶ مکان دارای شرایط استفاده از انرژی جزر و مدی بالقوه انتخاب شدند. در این سایت‌ها، بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط دفتر انرژی‌های تجدید پذیر، معاونت انرژی وزارت ایران [۱۴، ۱۵]، متوسط پتانسیل انرژی سالانه با توجه به اختلاف سطح آب میان فراز و سیل تخمین زده شده است. جدول ۲ دامنه جزر و مد، انرژی پتانسیل جزر و مدی، مساحت حوضه، طول سد بندی مورد نیاز برای برخی از سایت‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در میان این سایت‌ها، ماهشهر، الوند رود و مدخل خور موسی با محدوده جزر و مدی ۳/۹، ۲/۶ و ۲/۵ متر، به ترتیب، بهترین سایت تعیین شدند. از آن جایی که اندازه استخر تأثیر زیادی بر انرژی بالقوه جزر و مدی دارد، در جدول ۲ سایت با حوضه بزرگتر از ۱ km² با داده‌های مربوطه ذکر شده است. همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد، سایت‌های مختلف با طیف گسترده‌ای از ویژگی‌ها وجود دارند. حوضه می‌تواند در محدوده وسیعی از ۱۷۰-۱/۲ km² باشد. محدوده و طول جزر و مدی سد مورد نیاز می‌تواند پایین از ۱/۴ متر تا ۱۰۰ متر و بالا از ۳/۹ متر تا ۷۰۰ متر باشد. بندر ماهشهر بزرگترین حوضه است و قوی‌ترین جزر و مد را دارد. بنابراین، مناسب‌ترین محل برای استخراج انرژی جزر و مدی با ۳۰۱ MW پتانسیل تولید برق جزرومدی است. بدیهی است که تصمیم نهایی باید بر اساس اطلاعات دقیق‌تر باشد.

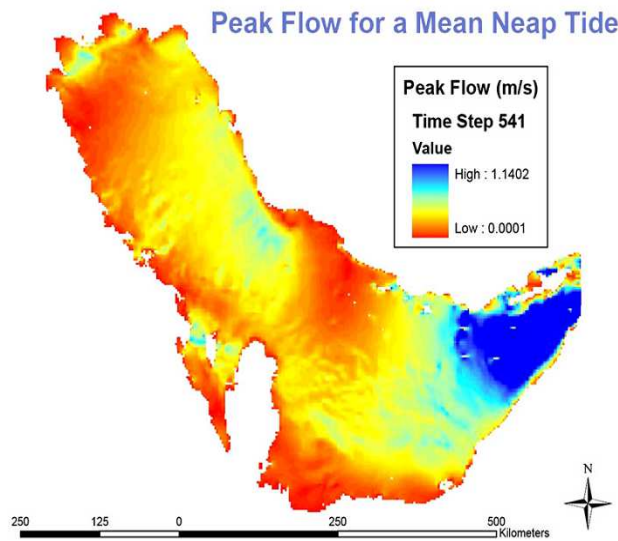
جدول ۲: مشخصات مکان مناسب برای ساخت نیروگاه‌های انرژی جزر و مدی در سواحل خلیج فارس [۱۴، ۱۵].

Site name	Nearest site with data available	Basin area (km ²)	Tidal range (m)	Potential (MW)	Barrage length (m)
Shif	Khark Island	19.0	1.4	4	1000–2500
Asaloie	Kangan	50.0	1.4	12	7000
Gatan	Jask Gulf	1.5	1.8	1	300
Kerian	Rajaei	13.5	2.3	8	2500
Tore	Arvandroud	35.0	2.6	28	800
Gabrik	Jask Gulf	1.7	1.8	1	100
Yekdar	Jask Gulf	2.2	1.8	1	200
Chabahar	Chabahar	4.2	1.8	2	500–800
Gachin	Hengam	3.8	1.8	2	500
Mahshahr	Mahshahr	17.0	3.9	301	1200
Khorsalag	Khormosa	17.0	2.5	12	400–600

استفاده از انرژی جنبشی جزر و مد در ایران

در طرح دوم استفاده از انرژی جنبشی جزر و مد، استفاده مستقیم از جریان‌های آب ناشی از جزر و مد می‌باشد. در خلیج فارس و دریای عمان به دلیل اتصال به اقیانوس هند، جریان جزر و مد تشکیل می‌شود. مقالات مختلفی به بررسی این جریان‌ها پرداخته‌اند. در [۱۰] و [۷] مدل هیدرودینامیکی خلیج فارس ارائه شده است. در شکل ۲ جریان آب در خلیج فارس نشان داده شده است [۱۰]. همانطور که دیده می‌شود، در نزدیکی تنگه هرمز و جزایر قشم و هنگام بیشترین فلو آب جریان دارد و سرعت آب در حداکثر مقدار خود به بیش از ۱ m/s می‌رسد. طبق بررسی‌های انجام شده در [۱۰] بیشترین سرعت آب در بندر پل جزیره قشم قرار دارد و برابر با ۱/۸ m/s می‌باشد. با توجه به عمق کم خلیج فارس،

تنگه هرمز و جزایر نزدیک آن مانند قشم و هنگام، بهترین مکان برای استفاده مستقیم از انرژی جریان جزر و مد می‌باشد و دیگر نیازی به ایجاد سد و حوضچه در این مناطق نمی‌باشد.



شکل ۲: جریانات جزر و مد در خلیج فارس و تنگه هرمز

کاربردهای انرژی جزر و مد در ایران

همانگونه که در بخش‌های قبلی ذکر گردید، سواحل خلیج فارس و دریای عمان دارای پتانسیل بالایی جهت استفاده از انرژی جزر و مد به صورت انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی دارند. در کشورهای مختلف پروژه‌های مختلفی انجام و یا در حال انجام می‌باشد. تا این لحظه هیچ پروژه عملی جهت استفاده از این انرژی در کشور انجام نشده است و پروژه‌هایی در مرحله مطالعه می‌باشد. جهت استفاده عملی از انرژی جزر و مد طرح‌های زیر ارائه می‌شود:

ساخت نیروگاه جزر و مد به صورت متصل به شبکه برق سراسری

با توجه به پتانسیل مناسب انرژی پتانسیل جزر و مد در مناطق غرب خلیج فارس مانند بندر ماهشهر و خورموسی، می‌توان با ساخت سد و ایجاد حوضچه، توربین‌های زیادی را نصب و برق فراوان تولیدی را به شبکه برق انتقال نمود. این طرح به دلیل ساخت سد دارای هزینه اولیه بالایی می‌باشد که با توجه به ارزان بودن سوخت‌های فسیلی ممکن است اقتصادی نباشد. اما به دلیل اتمام سوخت‌های فسیلی در آینده‌ای نه چندان دور و همچنین توان بالای کشور در ساخت سد و نیروگاه‌های برق آبی، نیروگاه‌های جزر و مدی می‌تواند گزینه مناسبی برای ایران باشد. همچنین طبق بررسی انجام شده در [۱۰]، بیشترین سرعت جریان جزر و مد بین بندر لافت در جزیره قشم و بندر پل می‌باشد. با توجه به فاصله کم این دو نقطه (۲۴۰۰ متر) و همچنین تصمیم ایران برای احداث بزرگراه خلیج فارس بین این دو بندر، می‌توان توربین‌های زیادی را مجاور بزرگراه احداث نمود و مستقیماً انرژی جنبشی جزر و مد را به انرژی برق تبدیل نمود. پروژه مربوطه مشابه پروژه Rance فرانسه می‌باشد (شکل ۱).

تولید برق در مناطق دور از شبکه

در برخی مناطق ساحلی و حتی جزایر که از شبکه برق دور می‌باشند، انتقال برق به این نقاط بسیار پرهزینه می‌باشد. استفاده از دیزل ژنراتور نیز دارای هزینه بالا و مشکلات فراوان می‌باشد. انتقال سوخت به جزیره، هزینه بهره‌برداری بالای دیزل، عدم دسترسی سریع و آسان به خشکی برای تعمیرات و غیره از مشکلات این طرح می‌باشد. از آنجا که در این مناطق ساحل دریایی وجود دارد، می‌توان از هر دو طرح موجود استفاده نمود. هزینه نصب و راه‌اندازی آن‌ها بسیار کمتر از ایجاد شبکه برق می‌باشد. همچنین بهره‌برداری و نگهداری این تجهیزات ساده‌تر از دیزل ژنراتور می‌باشد و دارای عمر بیشتری می‌باشند. یک نمونه عملی، تامین برق مناطق دورافتاده رودخانه آمازون در برزیل به وسیله انرژی جزر و مد می‌باشد. در مقایسه با سیستم برق خورشیدی هزینه تمام شده تجهیزات و نصب ۵۰٪ کمتر و در مقایسه با دیزل ژنراتور ۶۰٪ کمتر می‌باشد [۲۲].

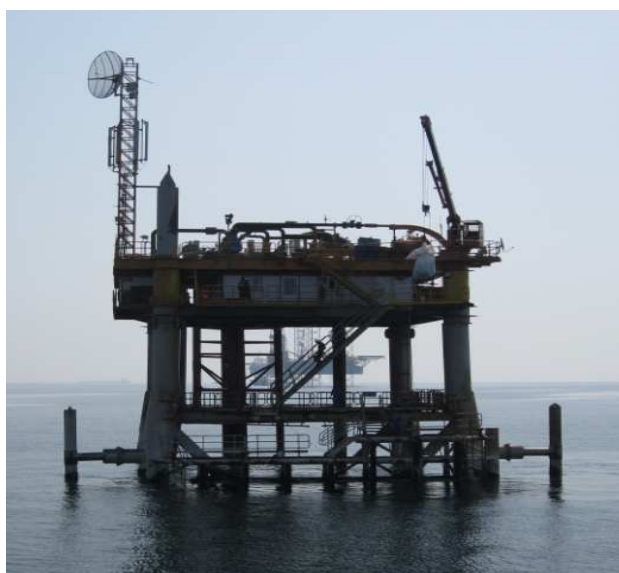
تولید برق در سکوه‌های نفتی هنگام

خلیج فارس دارای منابع عظیم نفت و گاز می‌باشد. به وسیله سکوه‌های نفتی دریایی این منابع مورد استفاده قرار می‌گیرند. ایران نیز دارای سکوه‌های نفتی مختلفی در خلیج فارس می‌باشد. برق مورد نیاز سکوها یا از جزیره‌های نزدیک به وسیله کابل دریایی تامین شده یا بوسیله دیزل ژنراتور

تامین می‌شود. در سکوهای میدان نفتی هنگام که در نزدیکی تنگه هرمز قرار دارد، جهت تامین برق خود از دو دستگاه دیزل ژنراتور استفاده می‌نماید. در طرح توسعه سکوها، انتقال برق از جزیره به وسیله کابل دریایی در نظر گرفته شده است که بسیار پرهزینه می‌باشد. با توجه به قرارگیری این میدان در نزدیکی تنگه هرمز، جریان جزر و مد مناسبی در این منطقه جریان دارد که با نصب توربین‌های جریان جزر و مد، می‌توان برق تولید نمود و در این سکوها و دیگر مناطق مورد استفاده قرار داد. در جدول ۳ مقادیر سرعت آب در نظر گرفته شده برای طراحی جکت‌ها را نشان می‌دهد. مقدار سرعت آب متفاوت بوده و در بعضی جهت‌ها دارای مقداری مناسب برای استحصال انرژی جنبشی آب می‌باشند. با توجه به وجود سکوهای دریایی، هزینه نصب توربین‌ها و ایجاد فنداسیون‌های مربوطه به شدت کاهش می‌یابد و طرح اقتصادی می‌شود. با توجه به جهت متفاوت جریان آب و سادگی طرح، توربین‌های پیچشی جهت استفاده پیشنهاد می‌شود و می‌توان به سادگی به جکت‌های نصب شده متصل نمود. در شکل ۳ یکی از سکوهای نفتی میدان هنگام نشان داده شده است. هم‌اکنون سه سکوی نفتی در منطقه وجود دارد که می‌توان از آن‌ها برای نصب توربین استفاده نمود. طرح‌هایی برای توسعه این میدان در نظر گرفته شده است. با توجه به بومی بودن دانش فنی ساخت سکو در شرکت ملی نفت و همچنین دانش ساخت توربین، می‌توان به کمک متخصصان داخلی از انرژی جزرومد در خلیج فارس و به خصوص تنگه هرمز، برق زیادی تولید نمود.

جدول ۳: داده‌های مربوط به سرعت آب جهت طراحی سکوهای نفتی هنگام

Depth	Direction From							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
100-year return								
Surface (m/s)	0.9	0.9	0.9	1.1	0.9	0.8	0.9	1.1
Mid-depth (m/s)	1.6	1.6	1.6	1.7	1.6	1.5	1.6	1.7
5m above seabed (m/s)	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5
0.5m above seabed (m/s)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4
10-year return								
Surface (m/s)	0.8	0.7	0.8	1.0	0.8	0.7	0.8	1.0
Mid-depth (m/s)	1.6	1.5	1.6	1.7	1.5	1.5	1.6	1.7
5m above seabed (m/s)	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5
0.5m above seabed (m/s)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4



شکل ۳: سکوی نفتی هنگام مناسب جهت نصب توربین‌های جزر و مدی

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی یکی از جدیدترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر یعنی انرژی جزر و مد پرداخته شد. انرژی جزر و مد به دو صورت استحصال انرژی پتانسیل جزر و مد و با ایجاد سد و ذخیره آب و دیگری به صورت استحصال انرژی جنبشی و استفاده از جریان جزر و مد قابل استفاده می‌باشد. نتایج بررسی نشان می‌دهد که خلیج فارس و دریای عمان دارای ظرفیت و پتانسیل بالایی جهت استفاده از هر دو طرح می‌باشد. در سواحل غربی خلیج فارس مانند بندر ماهشهر که ارتفاع جزر و مد دریا زیاد می‌باشد، می‌توان با ایجاد سد و حوضچه از انرژی جزر و مد استفاده نمود. در تنگه هرمز که جریان جزر و مد مناسب است، می‌توان به صورت مستقیم و قرار دادن توربین در مسیر جریان آب اقدام به تولید برق نمود.

از این انرژی می‌توان جهت تولید برق به شبکه برق سراسری و یا برق رسانی به جزیره‌های خلیج فارس استفاده نمود. با توجه به وجود سکوهاى نفتی هنگام در نزدیکی تنگه هرمز، می‌توان از این سکوها جهت نصب توربین استفاده نمود و هزینه‌های مربوطه را کاهش داده و طرح را اقتصادی نمود.

مراجع

- [1] World Consumption Of Primary Energy By Energy Type And Selected Country Groups; 2008. Microsoft Excel file format, <http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/table18.xls>. Retrieved September 10, 2010.
- [2] Pelc R, Fujita RM. Renewable energy from the ocean. *Marine Policy* 2002;26(6):471–9.
- [3] Andre H. Ten years of experience at the “La Rance” tidal power plant. *Ocean Management* 1978;4(2–4):165–78.
- [4] Official website of the Rance Tidal power station. http://www.edf.fr/html/en/decouvertes/voyage_e/usine/retour-usine.html. Retrieved September 10, 2010.
- [5] Badran, o. (2003), “Wind turbine utilization for water pumping in Jordan”, *Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91 (2003) 1203 – 1214
- [6] Badieli S. *Geography of Iran*, first volume. first ed. Tehran: Eghbal Publication; 1993.
- [7] حمیدرضا کرمی، بهروز وافری "بررسی پتانسیل بهره‌گیری از انرژی کشندگی در سواحل جزیره‌ی قشم"، هفتمین همایش ملی انرژی، دی ۱۳۸۸
- [8] محمد هادی افشار و سیروس ارشادی، "برآورد انرژی امواج سواحل ایران"
- [9] A. Aghalanloo, M. Dolatshahi Pirouz and M. Montazeri Namin, "Numerical Simulation of Tial Currents in Persian Gulf," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2011
- [10] Abbaspour M., Rahimi R. "Iran atlas of offshore renewable energies. *Renewable Energy*, 36, 388– 398, 2011
- [11] Pous Stephane, Carton Xavier, Lazure Pascal (2004). Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman - Results from the GOGP99 experiment: 2. Gulf of Oman - art. no. C12038. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 2004
- [12] Kaempf, J. & Sadrinasab, M., 2006. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Science*, 2, 27-41.
- [13] Falnes J. A Review of wave-energy extraction. *Marine Structures* 2007;20(4):185–201.
- [14] Renewable Office Energy, Deputy of Energy Ministry of Iran, Report of feasibility study of Iran's wave and tidal energies, Tehran, Iran; 1999.
- [15] Zabihian F. Iran's seas and lakes sustainable energy potential. In: *Proceedings of the Energy Sustainability Conference*. 2007. p. 239–45.
- [16] Thorpe TW. An overview of wave energy technologies: status, performance and costs, wave power: moving towards commercial viability. London: Broadway House; 1999.
- [17] <http://www.oceanenergy.ie/markets/international.html>. Retrieved September 10, 2010.
- [18] امیر گندمکار، "احداث مزارع بادی آب‌های ساحلی به منظور توسعه پایدار جزیره سیری"، هفتمین همایش ملی انرژی، دی ۱۳۸۸
- [19] Pelc R, Fujita RM. Renewable energy from the ocean. *Marine Policy* 2002;26(6):471–9.
- [20] World Energy Council. Survey of energy resources, Interim Update 2009. London: World Energy Council; 2009.
- [21] Xia JJ, Falconer RA, Lin B. Impact of different tidal renewable energy projects on the hydrodynamic processes in the Severn Estuary, UK. *Ocean Modeling* 2010;32(1–2):86–104.
- [22] R. Bedard, M. previsic, "North America Tidal In-Stream Energy Conversion Technology Feasibility Study", EPRI technology Report, 2006
- [22] K. Lari, H. Rahmani. Distribution Tidal Wave Energy and its Applications in Coasts of Iran. *Journal of Basic Application Science Research*, 2012 2(1):449-460