

## امکانسنجی جذب انرژی از امواج در آبهای دریاهای ایران

محمدجواد کتابداری<sup>۲۲</sup>

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی

[ketabdar@cic.aut.ac.ir](mailto:ketabdar@cic.aut.ac.ir)

### چکیده

ایران یکی از کشورهای بزرگ نفت خیز جهان است. دستیابی نسبتاً آسان به این ثروت طبیعی و بزرگی حجم مخازن ذخیره باعث گردیده که از یکسو وابستگی شدید اقتصاد کشور به این ماده بوجود آید و از سوی دیگر مصرف سرانه انرژی در کشور ما نسبت به کشورهای پیشرفته دنیا چند برابر باشد. استفاده غیر متعارف از سوختهای فسیلی همچنین باعث افزایش گازهای گلخانه ای و آلودگی شدید شهرها گردیده است. دریاهای اقیانوسها از منابع پاک، ارزان و بازگشت پذیر انرژی غیر فسیلی هستند. منابع عظیمی از انرژی گرمایی شیمیایی و مکانیکی در جریانهای آب گرم، جزر و مد و امواج دریاهای نرفته است که تنها دو هزارم از این انرژی می تواند همه نیازهای بشر را بر روی کره زمین تامین نماید [1]. تا نیم قرن پیش مسئله استفاده از انرژی دریاهای اقیانوسها در دنیا در حد ایده ها و مطالعات پراکنده مطرح بود. اما از اواخر دهه ۹۰ سرمایه گذارهای جدی جهت بهره برداری از این انرژی در اروپا و آمریکا صورت گرفته است و به پیشرفتهای قابل توجهی نیز نایل گشته اند. کشور ما با توجه به مرزهای گسترده آبی در شمال و جنوب دسترسی مناسبی به منابع بازگشت پذیر انرژی دریاهای ما دارد. اما علیرغم این پتانسیل بررسیهای کارشناسی و تحقیقاتی در این زمینه هنوز صورت نگرفته است. در این تحقیق ضمن معرفی انواع روشهای جذب انرژی از امواج دریا کاربرد روشهای بهینه با توجه به شرایط دریاهای ایران مورد بررسی و بحث قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: انرژی امواج - تبدیل انرژی - انرژی تجدید پذیر - طرحهای شناور - طرحهای ثابت.

## ۱ مقدمه

در عصر حاضر جهت جایگزینی سوختهای مناسب به جای سوختهای فسیلی که در حال اتمام بوده و از طرفی باعث آلودگی محیط زیست نیز می گردند تلاشهای زیادی صورت می گیرد. علیرغم معرفی منابع انرژی تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی، انرژی اتمی، نیروگاههای آبی و توربین های بادی هنوز مشکلات زیادی به لحاظ اقتصادی زیست محیطی و اجرایی بر سر راه استفاده از آنها قرار دارد. در چند دهه گذشته مهندسين دريا توجه ویژه ای به منابع دریاها و اقیانوسها داشته اند. حدود ۳۷ درصد جمعیت دنیا در فاصله ۱۰۰ کیلومتری دریا زندگی می کنند و این انرژی برای آنها قابل دسترسی است [2]. گر چه تا چندی پیش مقرون به صرفه نبودن استحصال این انرژی مانع بزرگی در راه پیشرفت و انبوه سازی دستگاههای استفاده از این نوع انرژی محسوب می گردید اما امروزه این نوع انرژی به عنوان منبعی اقتصادی و قابل اطمینان در دنیا شناخته می شود.

## ۲ توان موج

بیشتر انرژی موج در نزدیکی سطح قرار دارد و با افزایش عمق این انرژی کم می شود. بنابراین اکثر طرح های جذب انرژی را بصورت شناور در نظر می گیرند. روش تقریبی برای تخمین میزان توان انرژی موج برای طراحی مبدل های انرژی موج در دریا استفاده از آنالیز طیفی برای امواج آن منطقه است. در این روش ابتدا موج نامنظم برخوردی به کمک تبدیل فوریه به  $n$  مولفه سینوسی یا کسینوسی تجزیه و سپس توان موج با استفاده از دامنه  $(a)$  و عدد موج  $(k)$  در عمق  $h$  برای آب دریا با چگالی  $\rho$  محاسبه می گردد. توان نهایی  $P$  برابر با جمع توان های مولفه های موج است [3]:

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{\rho g^2 a_i^2}{2\omega_i} \tan h(k_i h) \left(1 + \frac{2k_i h}{\sinh 2k_i h}\right) \quad (1)$$

کاربرد این روش برای امواج آبهای کم عمق و امواج شکسته شده با تقریب زیاد همراه است. امواج بلند در آب عمیق سریع تر از امواج کوتاه حرکت می کنند. پارامتر توان موج در واحد عرض تاج یک طول موج (P) در آب عمیق را می توان با استفاده از ارتفاع و پریود موج بیان کرد:

$$P = 0.49 H_S^2 T_e \quad (2)$$

اگر  $H_S$  ارتفاع مشخصه موج برحسب متر و  $T_e$  پریود موثر بر حسب ثانیه باشد آنگاه P برحسب کیلو وات بر متر یا مگاوات بر کیلومتر خواهد بود. تراز توان متوسط از روی دیاگرام توزیع بصورت زیر بیان می شود که در آن  $w_i$  تعداد دفعاتی است که  $P_i$  اتفاق می افتد:

$$P_{ave} = \frac{\sum P_i w_i}{\sum w_i} \quad (3)$$

### ۳ انرژی اقیانوسها

اقیانوسها دارای مخازن انرژی بسیاری هستند که می توان از آنها بهره جست. انواع انرژی های اقیانوسی با سرچشمه های متفاوت در دریا وجود دارد. از جمله آنها که قابل تبدیل است عبارتند از (a) انرژی جزر و مدی (b) انرژی جریانهای دریایی (c) انرژی امواج (d) انرژی حرارتی.

#### ۳-۱ انرژی جزر و مدی

انرژی جزر و مدی از اثر جاذبه ماه و خورشید حاصل می شود. حرکت نسبی زمین نسبت به خورشید و ماه باعث بالا و پایین رفتن آب بصورت دوره ای در سیکلهای نیم روز (۱۲ ساعت و ۲۵ دقیقه) و ۱۴ روز می شود. میزان جزر و مد در مکان های مختلف متفاوت است و مقدار آن بستگی به شیب ساحل، عمق آب در ساحل، اثر تفرق و تأثیر دهانه خلیج بر آن تغییر خواهد کرد. با وجود آنکه خروجی توان پتانسیلی این انرژی نسبت به مکان و زمان متغیر است اما مقدار این انرژی نسبت به زمان و توان خروجی قابل پیش بینی است. مشکل اصلی در استفاده از این انرژی کمبود مکانهایی است که انرژی جزر و مدی در آن به اندازه کافی برای استخراج انرژی بزرگ باشد. با این وجود در بعضی از مکان ها که تغییرات جزر و مد تا حدود ۱۴ متر می

رسد این قابلیت وجود دارد. برای جذب این انرژی از بند یا سدهای کوچک استفاده می‌کنند که این سدها از یک سری دریچه و مخزنی با هد پایین‌تر از محور توربین تشکیل شده است. در مدت جزر دریچه‌ها باز است و آب می‌تواند بطرف دهانه خلیج حرکت کند. در حالتی که آب در حالت بالا آمدن است دریچه‌ها بسته می‌شود و جریان آب از توربین‌ها می‌گذرد و توربین را به حرکت درآورده و الکتریسیته تولید می‌کند. اختلاف تراز آب در مخزن و دریا به این حرکت کمک خواهد کرد. شکل ۱ مقطعی از تجهیزات این مبدل را نشان می‌دهد [4]. انرژی جزر و مدی در مقایسه با انرژی فسیلی با طبیعت بسیار سازگارتر و مناسب‌تر است اما باید اثر آن را بر اکوسیستم منطقه‌ای بررسی کرد.

### ۳-۲ جریان‌های دریایی

جریان‌های دریایی یک منبع بزرگ انرژی است که هم قابل پیش‌بینی است و هم ضریب بار پتانسیلی بالایی دارد. سریع‌ترین جریان‌های دریایی غیر جزر و مدی از جذب سطحی انرژی خورشید و ایجاد اختلاف دما بوجود می‌آید که باعث حرکت سیال می‌گردد. عوامل دیگر از قبیل شوری و اختلاف دمای محلی نیز باعث ایجاد حرکت آب می‌شود. این حرکت می‌تواند با توجه به توپوگرافی بستر دریا بخصوص در نزدیکی خشکی یا در آبراهه‌های بین خشکی و جزایر تقویت شود. توان نهایی جریان‌های دریایی در کل اقیانوس‌ها در حدود  $5TW$  برآورد شده است. با این وجود فقط در مناطق کمی از دریا در کناره‌ها و آبراهه‌های بین جزایر و خشکی‌ها استخراج این انرژی صورت گرفته است. عموماً قویترین جریان‌های دریایی در آبراهه‌ها، اطراف دماغه‌ها، بین جزایر و در دهانه‌های خلیج‌ها و دریاچه‌ها قرار دارد. در این مناطق تغییرات جزر و مدها بسیار زیاد است و کم عمقی آب جریان‌های دریایی بزرگی ایجاد می‌کند. شکل ۲ نمایی کلی از جریان‌های اقیانوسی در جهان را نشان می‌دهد. انرژی جنبشی جریان‌های دریایی را می‌توان با مبدل‌ها تبدیل به انرژی الکتریکی کرد که در آن با نصب پروانه‌های بزرگ در مسیر جریان آب می‌توان از آن نیرو گرفت. در این سیستم توان خروجی جریان دریایی تابعی از چگالی و سرعت آب سطح پره‌های چرخان و بازدهی توربین می‌باشد:

(۴)

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \eta$$

که در آن  $A$  مساحت پروانه‌های چرخان،  $V$  سرعت جریان دریایی و  $\eta$  بازدهی توربین است. توربین‌ها در آب کم عمق می‌توانند به زمین متصل شود و دارای تکیه‌گاه باشد و در آب عمیق بوسیله سکوها‌ی شناور مهار می‌شود. توربین‌های مختلفی مورد آزمایش قرار گرفته که به دو گروه توربین‌های چرخان افقی و توربین‌های چرخان عمودی تقسیم شده است. شکل ۳ مدل‌های بسیار متداول این توربین‌ها را نشان می‌دهد. این سیستم‌ها در مکان‌هایی نصب می‌شود که جریان‌های دریایی بطور دائم و در یک جهت وجود دارد مانند Gulf Stream که در آن تقریباً ۸۰ میلیون متر مکعب آب در هر ثانیه در حرکت است. بر اساس مطالعاتی که روی جریان‌های دریایی در انگلیس، اروپا و شرق دور بین سالهای ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۸ انجام شده برآورد هزینه هر کیلووات ساعت برق تولیدی بین ۰,۰۴۵ تا ۰,۱۳۵ دلار برآورد گردیده است [5]. در استحصال این انرژی مسائل و مشکلات زیادی وجود دارد. از آنجا که قسمت‌های متحرک در زیر آب قرار دارد برای حفاظت از این تأسیسات نیاز به علامت‌گذاری است. از دیگر مشکلات آن ایجاد خلأ موضعی بر روی پره‌هاست که نیاز به برطرف کردن آن است که سرعت حرکت پره‌ها باید کنترل گردد و حدود  $8 m/s$  باشد. حرکت موجودات زنده و سبزه‌های دریایی ممکن است برای پره‌ها مشکل ایجاد کند که نیاز به حفاظت دارد. کمبود اطلاعات و هزینه بالا نیز از جمله مسائل این سیستم است.

### ۳-۳ انرژی امواج

توان انرژی موج از هزاران سال قبل شناخته شده و اغلب این انرژی دارای اثرات مخربی بوده است. با این وجود در برخی مراکز تحقیقاتی این امکان بوجود آمده که بتوان از این انرژی استفاده بهینه کرد و آن را مهار نمود و بیش از هزاران طرح از کشورهای مختلف ارائه گردیده است. تبدیل انرژی موج به انرژی الکتریکی نیاز به تکنولوژی‌های پیشرفته‌ای دارد تا کارایی مناسب داشته باشد. تحقیقات بر روی این انرژی از اوایل دهه ۷۰ در زمانی که قیمت نفت بالا رفت آغاز شد زیرا این انرژی یک انرژی تجدیدپذیر است و پایان ندارد. در آب عمیق امواج به

کندی انرژی خود را از دست می‌دهند و می‌توانند خارج از محیط طوفان با کمترین استهلاک انرژی به حرکت خود ادامه دهند.<sup>۲۳</sup> سواحلی که در معرض باد غالب هستند و دریای آن دارای سطح بادگیر<sup>۲۴</sup> بزرگی است انرژی بسیاری از موج را جذب می‌کنند از جمله این سواحل، سواحل غرب آمریکا، اروپا، استرالیا و نیوزلند است. میزان پتانسیل انرژی موج برآورد شده حدود  $10^{15} - 10^{12}$  است که برابر با میزان برق مصرفی در جهان است. در بهترین شرایط آب و هوایی برای موج توان انرژی از آن بین ۲۰ و  $70 \text{ kw/m}$  یا بیشتر است [5]. سیستم‌های تبدیل انرژی موج را می‌توان برای کاربردهای مختلفی مانند تولید الکتریسیته، تولید هیدروژن با استفاده از هیدرولیز، توان هیدرولیکی و پمپاژ، نمک‌زدایی آب دریا بواسطه یک حلال، تولید آب قابل شرب با استفاده از تقطیر بخار آب، تولید آب شرب و الکتریسیته بطور پیوسته و یکجا، خنک‌کننده و تهویه هوا، داده‌برداری از دریا و یاری‌دهنده کشتیرانی، حفاظت ساحل، هوادهی آب و پالایش آن، پرورش ماهی و ایجاد مزارع پرورش ماهی و افزایش استخراج نفت استفاده کرد.

### ۳-۴ انرژی حرارتی

تبدیل انرژی حرارتی روشی است که از اختلاف حرارت بین سطح و عمق آب انرژی الکتریکی تولید می‌شود. دما در تراز بالای آب بین ۲۴ تا ۳۳ درجه است در صورتی که در اعماق ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بین ۳ تا ۹ درجه متغیر است. این روش یک تبادل حرارتی ساده است که در آن از سیکل ترمودینامیکی رانکین استفاده می‌شود. بدین صورت که سیال مورد نظر تبخیر شده، سپس توسط توربین منبسط می‌شود و سپس منقبض و فشرده می‌شود. سیال می‌تواند آب دریا (سیکل باز) یا سیال دیگر مانند آمونیاک، پروپان یا یک سیال خنک‌کننده (سیکل بسته) باشد. در سیستم سیکل باز آب گرم در سطح توسط مکش موضعی تبخیر می‌شود. بخار تولید شده توربین را به حرکت در می‌آورد سپس بخار در یک سردکننده که از آب سرد اعماق دریا

<sup>23</sup> Swell

<sup>24</sup> Fetch

استفاده می‌کند منقبض شده و مایع می‌گردد. چرخش توربین و انتقال آن به ژنراتور منجر به تولید برق می‌گردد. سیستم سیکل باز OTEC در شکل ۴ آمده است. بازدهی حرارتی این دستگاه با در نظر گرفتن توان مصرفی پمپ و افت اصطکاکی حدود ۳٪-۲ است. OTEC می‌تواند شناور و سرگردان نصب شود [6]. در این طرح‌ها بدلیل دور از ساحل بودن انتقال آنها به ساحل به صرفه نیست و از این انرژی می‌توان برای هیدرولیز آب استفاده کرده و از آن اکسیژن و هیدروژن گرفت. این گازها را می‌توان با کشتی حمل نمود و استفاده کرد. مشکل اصلی OTEC اندازه و کیفیت تجهیزات است. مبدل حرارتی (تبخیر کننده و سرد کننده) باید از مواد رسانا باشد که این هزینه را بالا می‌برد. در سیکل باز توربین باید به اندازه‌ای بزرگ باشد که مقدار بسیار کمی بخار تولید شده را انتقال دهد. همچنین باید اندازه لوله‌های آب سرد بزرگ باشد و همچنین لوله‌ها باید انعطاف‌پذیر باشد تا OTEC بتواند شناور باشد.

#### ۴ دستگاه‌های جذب انرژی از امواج دریا

طرح‌های متنوعی در زمینه جذب انرژی از امواج دریا کار شده و طرح‌هایی نیز در مرحله تحقیقات و آزمایش می‌باشد. برحسب موقعیت قرارگیری تجهیزات این طرح‌ها به سه دسته (a) طرح‌های خط ساحلی<sup>۲۵</sup> (b) طرح‌های زیردریا در نزدیک ساحل<sup>۲۶</sup> و (c) طرح‌های دور از ساحل<sup>۲۷</sup> تقسیم می‌گردند. طرح‌های خط ساحلی دارای مزایای بسیاری است از جمله آنکه هزینه نگهداری و نصب آن کمتر است و مانند طرح‌های آب عمیق نیاز به سیستم‌های مهاری و نگهداری ندارد. همچنین برای انتقال برق تولیدی احتیاج به کابل‌های طولانی در زیر دریا نیست. از جمله طرح‌های اصلی ساحلی طرح ستون نوسانگر آب (OWC)<sup>۲۸</sup> و کانال باریک

<sup>25</sup> Shore line projects

<sup>26</sup> Coastal Submerged projects

<sup>27</sup> Offshore projects

شونده<sup>29</sup> می‌باشد. از طرح‌های زیر دریا در نزدیک ساحل می‌توان از طرح AWS نام برد. طرح‌های شناور دور از ساحل نیز از تنوع زیادی برخوردارند.

#### ۴-۱ ستون نوسانگر آب

از جمله طرح‌هایی که بسیار پیشرفت کرد، طرح OWC بود که در اوایل دهه ۶۰ در ژاپن آزمایش و اجرا گردید [7]. قسمتی از این سیستم در زیر آب قرار می‌گیرد. قسمت درونی این سازه توخالی است و این فضا در مجاورت امواج قرار می‌گیرد و تشکیل سیلندری را می‌دهد. در قسمت پایین آن امواج نوسان می‌نمایند و در قسمت بالای آن هوا در اثر حرکت نوسانی موج متراکم یا منبسط می‌شود. هوای متراکم شده به سمت توربین‌هایی هدایت که باعث چرخش توربین و تولید الکتریسیته می‌شود (شکل ۵).

#### ۴-۲ کانال باریک شونده

سیستم TAPCHAN شامل یک قسمت جمع‌کننده موج به درون کانالی قیف‌مانند است بدین صورت که موج وارد کانالی باریک‌شونده می‌شود و هرچه بیشتر پیش می‌رود بعلت کم شدن عرض کانال ارتفاع موج افزایش می‌یابد و در نهایت به مخزن می‌ریزد که تراز آن از سطح دریا بالاتر است. و در نهایت آب درون مخزن از کانال‌هایی که در پایین مخزن قرار دارد تخلیه می‌شود که در مسیر این کانال توربین‌هایی کار گذاشته شده و انرژی الکتریسیته تولید می‌شود (شکل ۶). سیستم TAPCHAN برای همه سواحل مناسب نیست. این سیستم باید در مناطقی نصب شود که امواجی با متوسط انرژی بالا و تغییرات جزر و مدی کمتر از یک متر داشته باشد. این سیستم برای سواحل مناسب است که آب عمیق در کناره ساحل باشد و دارای مکانی مناسب برای ساخت مخزن باشد.

(AWS)<sup>30</sup> دستگاه نوسانگر موج ارشمیدس ۴-۳

<sup>29</sup> TAPCHAN



سیستم AWS تشکیل شده است از قسمتی شناور که در زیر آب بالا و پایین می‌شود [4]. سیستم کار آن بدین صورت است که هنگامی که قله موج بالای آن قرار می‌گیرد وزن بیشتری آب بالای آن قسمت شناور را تحت فشار قرار داده و پایین می‌برد. هنگامی که قعر موج بر روی آن باشد وزن آب بالای آن کم شده و شناور بطرف بالا حرکت می‌کند. حرکت بالا و پایین شونده به چکش‌های هیدرولیکی منتقل شده و باعث چرخش موتور و تولید برق می‌گردد ( شکل ۷).

#### ۴-۴ طرح‌های شناور<sup>۳۱</sup>

یکی از مزایای طرح‌های شناور نسبت به طرح‌های ثابت استفاده از این طرح‌ها در آب‌های عمیق است که در آنجا انرژی موج بسیار زیاد است. از انواع این طرح‌ها می‌توان Pelamis , PS Frog , MWP , IPS , Wave Dragon, Mighty Whale را نام برد. طرح‌های شناور عموماً به بستر دریا بصورت انعطاف‌پذیر متصل می‌شوند. در آب عمیق بعضی از این طرح‌ها نیاز به نصب یک سکوی مناسب دارند.

#### ۱-۴-۴ PS FROG

فرم اصلی قورباغه در بالا پدالی شکل است که به قسمت پایینی که سیلندری شکل است متصل شده است (شکل ۸). قسمت فوقانی در سطح دریا قرار می‌گیرد ضمن اینکه قسمت زیرین دربرگیرنده همه تجهیزات مکانیکی و الکتریکی شامل جرم عکس‌العمل زیاد است که نسبت به بدنه حرکت می‌کند. چکش‌های هیدرولیکی باعث حرکت جرم سیال می‌شود و انرژی را از فشار بالای ایجاد شده در روغن جذب می‌کند و سپس موتورهای هیدرولیکی و ژنراتورهای الکتریکی را تغذیه می‌کند. الکتریسیته تولید شده بوسیله کابل به ساحل انتقال می‌یابد.

#### ۲-۴-۴<sup>۳۲</sup> MWP

<sup>30</sup> Archimidos Wave Swing

<sup>31</sup> Floating Projects

<sup>32</sup> McCabe Wave Pump

این طرح توسط آقای Peter McCabe در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد شد و بعد از آن تحقیقات تئوریک و آزمایشگاهی آن آغاز گردید. هدف طراح از این طرح استفاده از سیستم معکوس اسمزی و تولید آب شیرین بود. نمونه اولیه آن با طول ۴۰ متر در سواحل ایرلند در سال ۱۹۹۶ اجرا شد [4]. طرح شامل سه پل مستطیل شناور است که به صورت یک تیر سراسری به یکدیگر متصل شده‌اند. این پل‌های شناور در یک ردیف از جهت طولی در مقابل موج قرار گرفته و نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. شکل ۹ اجزای این سیستم و طریق مهار شدن آنرا به بستر دریا نشان می‌دهد. این نوع مهار به سیستم اجازه می‌دهد که در راستای طولی نوسان داشته باشد. در این سیستم پانتون‌های پشتی و جلویی نسبت به پانتون مرکزی با چرخش به دور مفاصل اتصال حرکت کرده و انرژی الکتریسیته تولید می‌شود.

#### ۳-۴-۴<sup>33</sup>IPS

این طرح یک پانتون شیبدار شامل ورق‌هایی انحناء دار در بالای آن است (شکل ۱۰). قسمت انتهایی آن در دریا باز است و قسمت درونی بجز اتصالات نگهدارنده ورق‌ها خالی است. حرکت در هر جهت بجز جهت شیب دارای اینرسی زیادی می‌باشد. در جهت شیب لبه‌های کناری ورق در حرکت بصورت اریب‌وار پیش می‌رود و مقاومت در این جهت به حداقل می‌رسد. در این طرح پیستون آب در تماس مستقیم با یک چکش هیدرولیکی دوتایی است. با برخورد آب به چکش‌های هیدرولیکی، چکش‌ها حرکت می‌کنند، با حرکت نسبی چکش‌ها به سازه پمپ‌های هیدرولیکی روغنی شروع به کار کرد و ژنراتورها را به حرکت درمی‌آورد.

#### Pelamis ۴-۴-۴

Pelamis یک سیستم نیمه مغروق است که سازه آن بصورت مفصلی از سیلندرهایی که در یک خط به یکدیگر متصل شده‌اند تشکیل شده و بصورت انعطاف پذیر مهار می‌گردد. حرکت موج غالب بر این سازه موجب بالا و پایین رفتن مفصل‌ها و ایجاد فشار بر چکش‌های هیدرولیکی می‌شود. این عمل باعث پمپ شدن روغن با فشار بالا می‌گردد و روغن از یک

<sup>33</sup> Inclined pantoon system

موتور هیدرولیکی عبور می‌کند. موتورهای هیدرولیکی ژنراتورها الکتریکی را برای تولید برق تحریک می‌کنند. شکل ۱۱ این سیستم و مهار بندی آنرا نشان می‌دهد [8].

#### Wave Dragon ۵-۴-۴

Wave Dragon یک سیستم مبدل انرژی موج بصورت شناور است که از خاصیت سرریز شدن موج استفاده می‌کند. این سیستم بطور خلاصه شامل سه قسمت است (a) قسمت تمرکز موج در یک نقطه و انعکاس دهنده موج (b) تجهیزات گرفتن تاجهای موج و هدایت آنها به یک مخزن با تراز پایین (c) تعدادی توربین با هد پایین برای تبدیل هد هیدرولیکی به جریان الکتریسیته. ساختار اصلی این سامانه از بتن مسلح در قسمت زیرین و پوسته‌های فولادی در قسمت بالایی تشکیل شده که این پوسته‌ها از نوعی گاز پر گردیده است. همانگونه که در شکل ۱۲ دیده می‌شود این سازه به ه بازوها یی مجهز است که اغلب موج‌هایی که به سمت سازه می‌آیند را متمرکز کرده و وارد قسمت اصلی سازه می‌کند. در هنگام طوفان این بازوها می‌توانند بصورت بسته قرار گیرند و از تجهیزات و قسمت اصلی سامانه محافظت نمایند. بر روی این سامانه تحقیقات بسیاری انجام شده و از روش‌های آنالیز خطی و روش‌های عددی پدیده انعکاس موج استفاده شده و حتی مدل‌های آن در فیلد آزمایش گردیده است. این سامانه در نزدیکی سواحل در فاصله کمتر از ۲۰ کیلومتر از ساحل در عمق بین ۲۰ تا ۳۰ متری نصب می‌گردد [9].

#### Mighty Whale ۶-۴-۴

طرح وال غول پیکر اولین بار در مرکز علوم و تکنولوژی ژاپن بعنوان بزرگترین طرح شناور دور از ساحل تبدیل انرژی موج در سال ۱۹۹۸ مدل‌سازی شده است. این طرح دارای ۵۰ متر طول و ۳۰ متر عرض است و از ۳ توربین هوا در آن استفاده می‌شود (شکل ۱۳). این سامانه با ۶ کابل مهاری به بستر مهار می‌گردد. این سیستم انرژی موج را با استفاده از روش ستون نوسانگر آب به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. جریان آب در درون دهانه وال در اتاقک‌های هوا بالا و پایین می‌شود. هوای محبوس در این اتاقک‌ها به طرف بالا رانده می‌شود که در نتیجه این جریان در

تمام اتاقک‌ها جریان هوا با شدت بسیاری ایجاد می‌گردد و باعث چرخش توربین‌ها و ژنراتورها می‌گردد. این سیستم دارای شیرهای اطمینان است که در هنگام طوفان از ورود جریان هوای زیاد جلوگیری می‌کند و از توربین‌ها حفاظت می‌کند. از این سامانه بعلت وسعتی که دارد می‌توان بعنوان ایستگاه هواشناسی نیز استفاده کرد. همچنین بعلت جمع شدن آبیان به اطراف آن برای ماهیگیری نیز مناسب می‌باشد.

### ۵ وضعیت جزر و مد و امواج در خلیج فارس و دریای مازندران:

با توجه به اطلاعات پراکنده موجود دامنه حداکثر جزر و مد و متوسط جزر و مد در خلیج فارس به ترتیب ۳ و ۲ متر است. حداکثر ارتفاع موج محلی و دوراً در انتهای پهن ترین منطقه مرکزی خلیج فارس به ترتیب به ۱,۶ متر و بیشتر از ۲ متر می‌رسد. حداقل امواج در باریکترین منطقه یعنی در 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 ۱ 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 [10]. یک جریان دریایی از تنگه هرمز وارد خلیج گردیده و پس از گذر از سواحل ایران در خلاف جهت عقربه‌های ساعت سواحل کشورهای عربی را طی نموده و از تنگه خارج می‌گردد. سرعت متوسط این جریان حدود ۰,۵ متر بر ثانیه است. در شمال کشور در انزلی (ساحل غربی دریای مازندران) امواج نسبتاً بلندی متجاوز از یک متر ایجاد می‌گردند. همچنین امواج طوفانی به ارتفاع ۳,۵ متر در زمستان دیده شده است [11]. بررسی اطلاعات مربوط به وزش باد بیانگر احتمال یک درصدی وجود امواجی به ارتفاع ۴ متر در انزلی و ۳,۵ متر در بندر ترکمن است. یک جریان دریایی نیز در نزدیک سواحل این دریا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت و با سرعت ۰,۲۸ متر بر ثانیه در حرکت است.

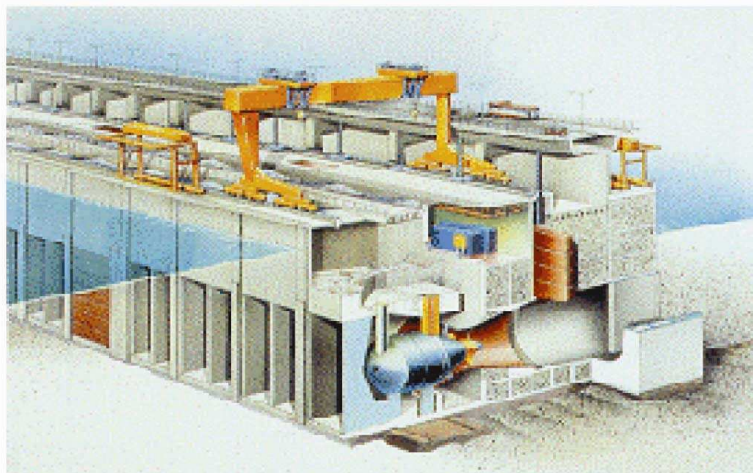
## ۶ ارزیابی روشهای جذب انرژی امواج و امکانسجی کاربرد آنها در آبهای ایران

با توجه به وضعیت جغرافیایی کشور ما و داشتن مرزهای آبی طولانی در شمال و جنوب زمینه های تحقیقاتی بسیاری در این مورد وجود دارد. همانطور که در قسمتهای قبل عنوان گردید سیستمهای تبدیل انرژی موج دارای مزایایی مانند تجدیدپذیری، فراوانی انرژی، طبیعی بودن این انرژی، کاهش وابستگی به انرژی فسیلی. عدم آلودگی محیط زیست توسط آن، پایداری و سازگاری آن با محیط، قابلیت تمرکز بالا، قابلیت نصب تجهیزات، پراکندگی و فراوانی انرژی موج را دارا هستند. از چالشهای مبدل های انرژی موج می توان از کاهش زیبایی طبیعی منطقه، آلودگی صوتی، فرسایش ساحلی، ایجاد خطر برای ناوگان کشتیرانی، ایجاد اختلال در ورزشهای دریایی و ماهیگیری و تجارت. ایجاد اختلال در جاذبه های تفریحی. وابستگی مکانی، هزینه های بالای نگهداری و تعمیر، مشکلات انتقال انرژی تولید شده، کیفیت انرژی تولیدی، بازدهی و مسایل اقتصادی را نام برد. طرح های استفاده از انرژی تجدیدپذیر کاملاً به محل وابسته هستند برای طرح های تبدیل انرژی موج این تجهیزات باید در مکان هایی نصب شود که امواج بزرگی وجود داشته باشد که چنین مکان هایی اغلب دور از ساحل است که باعث افزایش هزینه انتقال می شود. همچنین این تجهیزات باید طوری طراحی گردد تا بتواند از دریای آرام با ارتفاع موج کم (حدود ۱ متر) تا شرایط بد آب و هوایی در مقابل امواج بلند (حدود ۱۵ متر) مقاومت کند. متغیر بودن منبع حرکت طبیعی موجی امواج سبب می شود که انرژی تولیدی نیز به لحاظ فرکانس و ولتاژ تولید شده بصورت نوسانی باشد. کیفیت این انرژی را می توان با سیستم های کنترل کننده و ذخیره کننده انرژی بالا برد که هزینه را بالا خواهد برد. گرچه اطلاعات جامع تاریخچه زمانی و طیفی در مورد امواج غالب و جریانهای دریایی در آبهای ساحلی کشور بسیار محدود است اما بر اساس آمارهای موجود که در قسمت ۵ ارائه گردید میتوان گفت به علت کم بودن سرعت جریانهای دریایی در آبهای ایران تجهیزات جذب انرژی از جریانهای دریایی در این مناطق کارآیی لازم را نخواهند داشت. مشکل اصلی در استفاده از انرژی جزر و مد کمبود مکانهایی است که انرژی جزر و مدی در آن به اندازه کافی برای استخراج انرژی بزرگ باشد و معمولاً در مناطقی با جزرو مد بالای ۵ متر تا حدود ۱۴ متر این سیستم موثر می باشد. همچنین برای جذب این انرژی نیاز به احداث بند یا سدهای کوچک در گلوگاههای طبیعی یا مصنوعی

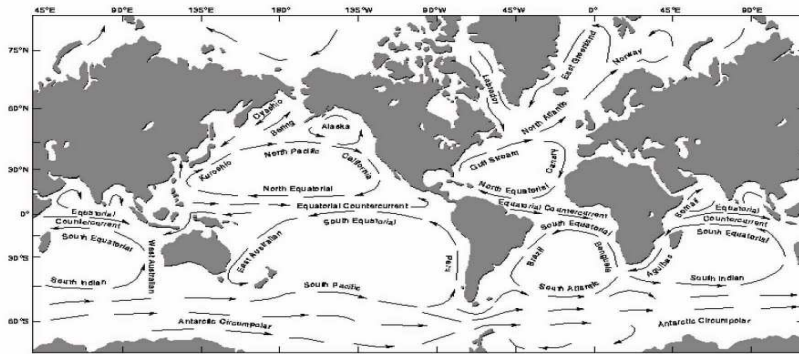
(مانند خورها) می باشد که توربین در بدنه آن نصب گردد. کم بودن دامنه جزرو مد در خلیج فارس (حدود ۳ متر) و کم بودن خورهای طبیعی در سواحل ایران و همچنین هزینه های ایجاد گلوگاه مصنوعی استفاده از طرحهای جزرو مدی در این منطقه را فاقد توجیه اقتصادی می نماید. با توجه به وضعیت امواج ثقلی در آبهای ایران و اینکه ارتفاع امواج و درصد زمانهایی که دریا دارای موج است در دریای خزر بیشتر از خلیج فارس است می توان طرح OWC را برای دریای خزر پیشنهاد داد. در سیستم OWC سازه اصلی که بصورت یک محفظه صلب است رفتار نامنظم موج را به صورت رفتارهای ساده نوسانی و نسبتاً منظم تبدیل می کند. همچنین از آنجا که قطعات متحرک سازه در تماس مستقیم با آب دریا نیست معضل خوردگی ناشی از اثر الکترولیتی آب و فلز به حداقل رسیده و خدمات نگهداری تأسیسات در مقایسه با سایر روشهای نیروگاهی دریایی به مراتب کاهش می یابد. خصوصیات ایستایی سازه اصلی نیروگاه در انواع ستونهای نوسانگر ثابت استفاده از آنها را در بدنه حفاظهای ساحلی دیوارههای موج گیر و موج شکن بنادر عملی ساخته و از این طریق، توجیه پذیری اقتصادی آنها را تقویت می کند. هر چند نوع کارکرد این سیستم یکسان است ولی به تفکیک اشکال هندسی و نیز تفکیک نصب و محل قرارگیری طرحهای مختلفی برای آن پیشنهاد گردیده است. از آن جمله می توان به مواردی مانند (a) ستونهای نوسانگر آب با محفظه ثابت (b) ستونهای نوسانگر آب با محفظه شناور (c) ستونهای نوسانگر آب با محفظه ای به شکل J (d) ستونهای نوسانگر آب با محفظه هایی با مقاطع غیر یکنواخت (e) دیوارههای شیب دار با شیب خطی (f) دیوارههای شیب دار با شیب منحنی اشاره کرد. بدیهی است که جهت انتخاب طرح مناسب برای دریای خزر از میان این طرحها نیاز به کارهای تحقیقاتی بیشتر می باشد. با توجه به وضعیت امواج در خلیج فارس طرح AWS می تواند یکی از گزینه هایی باشد که برای این منطقه کارآیی داشته باشد. این طرح علاوه بر نزدیک بودن به ساحل و سادگی انتقال انرژی بعلت نصب آن در زیر آب باعث کاهش زیبایی طبیعی منطقه و ایجاد اخلال در ورزشهای دریایی و جاذبه های تفریحی نمی گردد.

## فهرست منابع

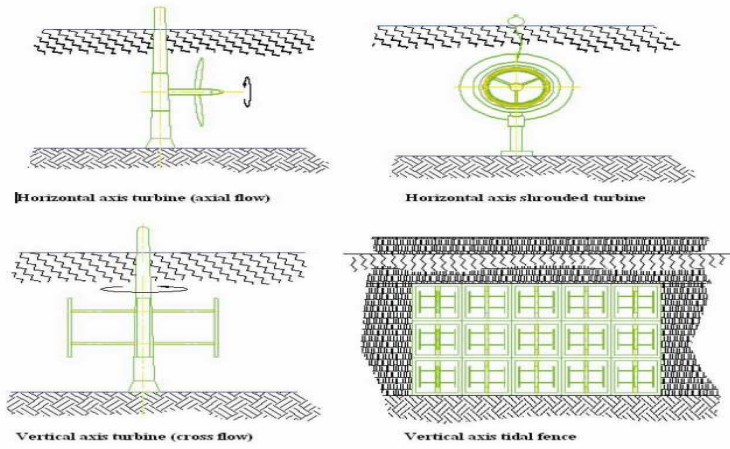
1. Teresa, M., Falcao, P., Falcao, A. , 2001: "Ocean Energies : Resources and Utilisations"
2. Yemm, R., 2002: " WAVE ENERGY - The New Renewable Option", Ocean Power Delivery Ltd.
3. Dean, R. G. & Dalrymple, R. A., 1989: "Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists", Advanced Series on Ocean Engineering ,Vol, London.
4. Rob Bioletti, R. and Carbon, I. P., 2002: "Offshore Alternative Energy Generation" Energy Management Alberta Research Council Edmonton, Alberta, T6N 1E4, Canada.
5. Genes, diversity, and geologic process on the Pacific TA Haney, C. Louie, K.D., 2004: " ", Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Annual ReviewsCoast
6. ", Development of Renuable Energy Resource Supply CurvesRLA Consulting, 1995: " Hhawaii.gov.
7. Klass , D.L., 2003: " A critical assessment of renewable energy usage in the USA", Entech International, Inc., USA.
8. Pelamis Wec–Main Body Structural Design and Materials Anderson,C., 2000: " ", OPD Ltd, UK. Selection
9. Nielsen, T.A. and Kofoed, J.P., 1997: " The Wave Dragon - evaluation of a wave energy converter" M. Sc. graduate report in Civil Engineering.
10. Wave Statistics", Published by her Hogben N. and Lump F.E., 1996: "Ocean Majesty's Stationary Office, London.
11. "باد و موج در اقیانوس ها و دریا ها" سنت پترزبورگ، لنینگراد ، CCCP Register (USSR) ، ۱۹۷۷



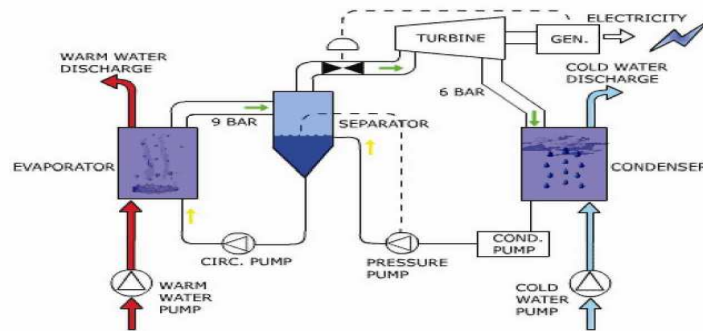
شکل ۱ دستگاه جذب انرژی جزر و مد



شکل ۲ جریانهای دریایی ثبت شده در دنیا

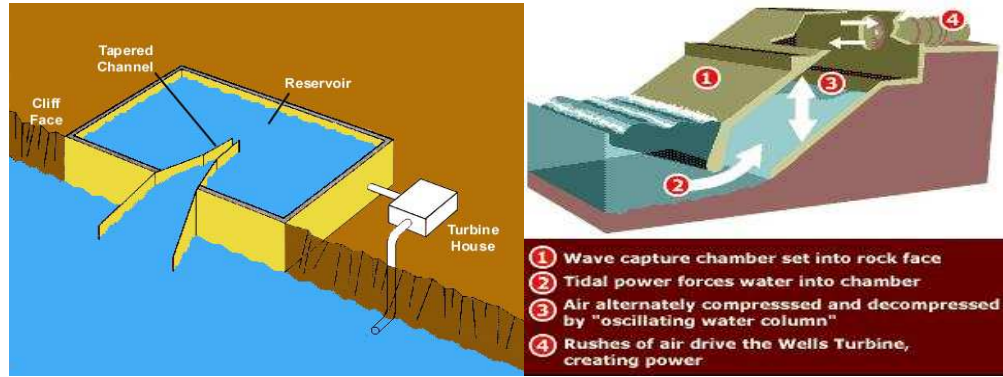


شکل ۳ انواع توربینهای با محور افقی و قائم برای جذب انرژی جریانهای دریایی

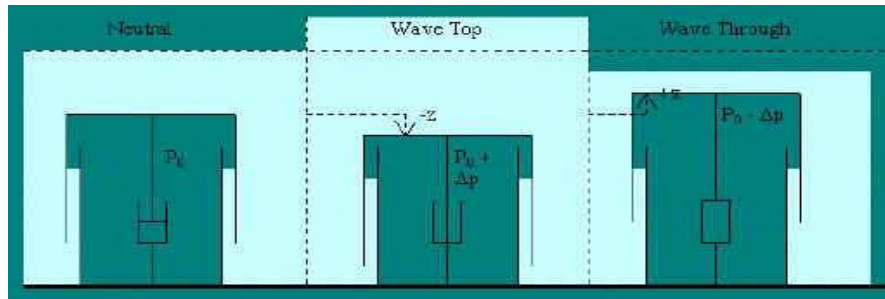


شکل ۴ مبدل انرژی حرارتی اقیانوس

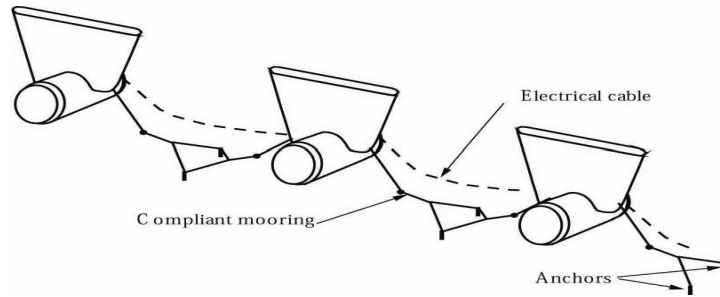




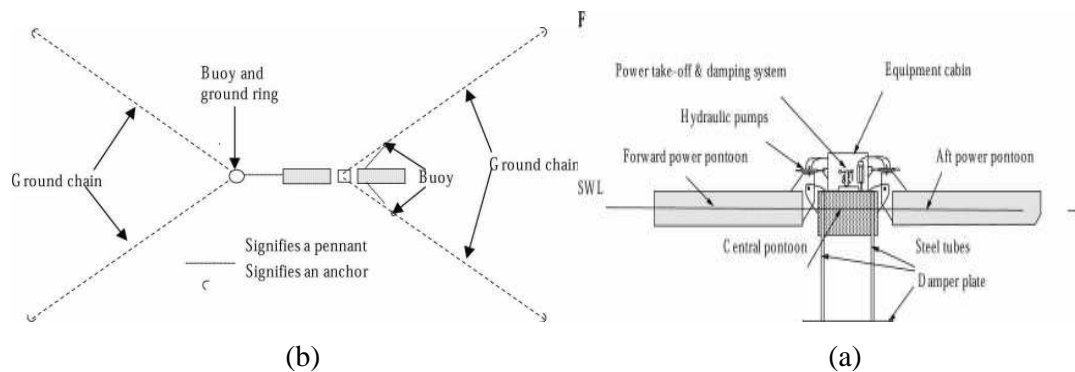
شکل ۵ ستون نوسانگر آب (OWC) و اجزای آن شکل ۶ کانال بایک شونده (TAPCHAN) و اجزای آن



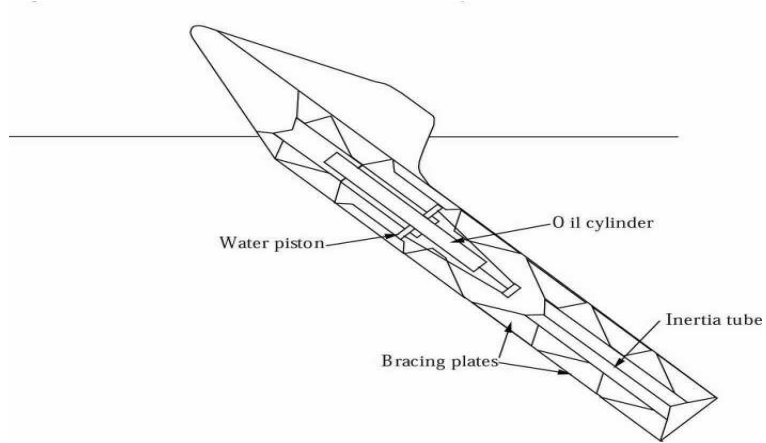
شکل ۷ دستگاه جنبش موج ارشمیدس (AWS) و مراحل کار آن



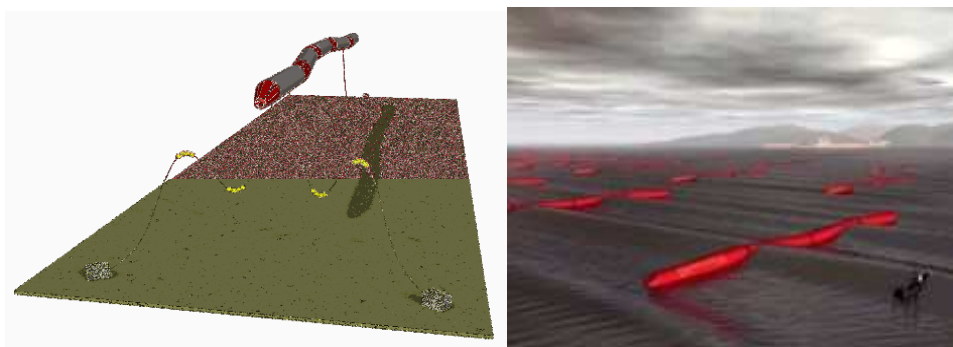
شکل ۸ دستگاه PS FROG و کابلها و مهارهای آن



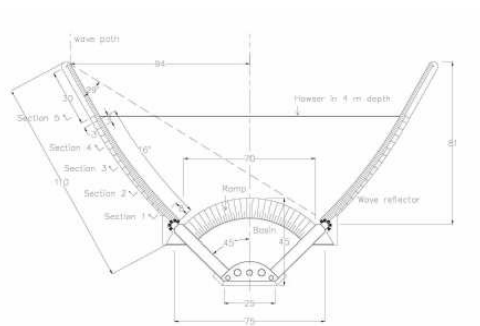
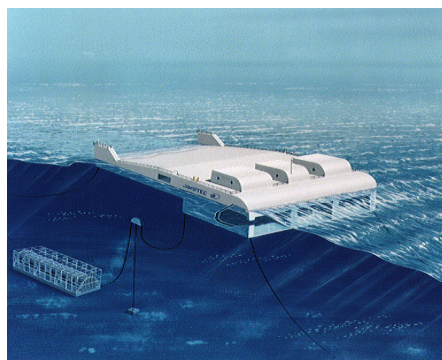
شکل ۹ سیستم MWP (a) اجزای دستگاه (b) مهاربندی سیستم به بستر دریا



شکل ۱۰ سیستم IPS و اجزای تشکیل دهنده آن



شکل ۱۱ سیستم Pelamis (a) در حال کار در دریا (b) مهاربندی سیستم به بستر دریا



شکل ۱۲ سیستم Wave Dragon و اجزای تشکیل دهنده آن شکل ۱۳ سیستم Mighty Whale