

تولید برق با استفاده از انرژی موج

اشکان غفاری*^۱، علیرضا امیدوار^۲، امین حجاریان^۳

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ۸۳۱۱۱_۸۴۱۵۶، ایران

۱- دانشجوی کارشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مکانیک

۲- دانشجوی کارشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مکانیک

۳- دانشجوی کارشناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مکانیک

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و صنعت، نیاز آن‌ها به انرژی، و روند رو به اتمام سوخت‌های فسیلی؛ تمایل به استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر و تکنولوژی آن‌ها پیشرفت شایانی داشته است. یکی از این سوخت‌ها استفاده از انرژی امواج و جزرومد است که موضوع مورد بحث در این مقاله است. در این روش با استفاده از وسایلی که روی سطح آب یا در عمق آب قرار می‌گیرند و با استفاده از حرکت عمودی و یا افقی امواج و انتقال آن‌ها به یک دستگاه مولد مانند ژنراتور، الکتریسیته تولید می‌شود و با استفاده از کابل‌های انتقال قرار گرفته در بستر دریا، برق به محل مصرف انتقال می‌یابد. این مقاله دستگاه‌ها و شناورهای مختلف و همچنین چگونگی کار آن‌ها را بررسی می‌کند، مشاهده می‌شود که با توجه به ساختار توپوگرافی ایران و دستگاه‌های موجود برای بهره‌برداری از انرژی موج، استفاده از ستون نوسان کننده‌ی آب بهترین گزینه‌ی موجود است.

کلمات کلیدی: انرژی موج، مبدل انرژی موج، شناور، ستون نوسان کننده‌ی آب

*نویسنده مسئول

¹ Ashkan.ghafari92@yahoo.com

² Ali_137000@yahoo.com

³ Amin_1270@hotmail.com

مقدمه

را در دریا برای تأمین برق چراغ‌های راهنمای دریا آزمایش کرد.

اختراع سال ۱۹۷۴ "استفان سالتر" از دانشگاه ادینبورگ اسکاتلند توانست ۹۰٪ حرکت موج را متوقف کرده و ۹۰٪ آنرا به برق تبدیل کند (مجموعاً ۸۱٪).

در دهه ۱۹۸۰، با کاهش قیمت نفت فعالیت‌ها در این زمینه کاهش یافت، اما در چند سال اخیر به دلیل مسائل زیست محیطی دوباره افزایش تلاش‌ها را شاهد هستیم.

هدف از این مقاله بیان اهمیت استفاده از انرژی امواج و مزایای آن نسبت به سایر انرژی‌ها و معرفی آخرین تکنولوژی‌ها و وسایل ساخته شده در راستای بهره‌برداری و تبدیل این انرژی ارزان قیمت و تجدیدپذیر است [1].

مناسب‌ترین مکان برای استحصال

انرژی موج

از میان انرژی‌های قابل جذب از دریا، انرژی امواج پر جاذبه‌ترین آنها به شمار می‌رود.

در امواج اقیانوس انرژی خارق‌العاده‌ای وجود دارد. امواج در اقیانوس باز بر اثر عمل باد روی سطح

انرژی دریایی یا اقیانوسی، یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است که در کنار منابع دیگری نظیر انرژی خورشیدی و باد، مورد توجه قرار گرفته است. انرژی امواج و انرژی جزر و مد را می‌توان مهم‌ترین زیر مجموعه‌های انرژی‌های دریایی به‌شمار آورد. پتانسیل موجود در اقیانوس‌ها، بسیاری از دانشمندان و مخترعان را برای ساخت دستگاه‌هایی که بتواند این انرژی را به انرژی‌های دیگر تبدیل نماید، ترغیب نموده است. انرژی موج را نمی‌توان در هر نقطه‌ای استحصال کرد. بهترین مناطق جهت احداث نیروگاه، نقاطی است که ارتفاع موج زیاد باشد.

اولین ایده استفاده از انرژی موج دریا به سال ۱۷۹۹ بازمی‌گردد. اولین وسیله‌ی ساخته شده به سال ۱۹۱۰ برمی‌گردد که یک فرانسوی در نزدیکی "بوردو" برای تأمین برق خانه خود از آن استفاده می‌کرد. این دستگاه اولین نمونه از مدل نوسانی ستون آب بود. از سال ۱۸۵۵ تا ۱۹۷۳ حدود ۳۴۰ ایده فقط در بریتانیا ثبت شد.

"یوشیو ماسودا" اولین کسی بود که به صورت علمی و مهندسی آزمایشات فراوانی در دهه‌ی ۱۹۴۰ انجام داد. وی ایده‌ها و دستگاه‌های مختلفی

مزایای انرژی موج

- ۱- منبع انرژی تمام ناشدنی و تجدیدپذیر است.
- ۲- تاسیسات و تجهیزات جذب انرژی امواج برخلاف تجهیزات جذب انرژی خورشیدی و باد، نیاز به زمینی به مساحت‌های بزرگ ندارد.
- ۳- هیچ نوع آلودگی در فرآیند جذب انرژی امواج تولید نمی‌شود.
- ۴- با بدست آوردن انرژی از امواج، مواد فسیلی مانند نفت و زغال سنگ برای تولید مواد ارزشمندتر پتروشیمی، مصرف خواهد شد.
- ۵- گرفتن انرژی امواج باعث آرام شدن آب پایین دست می‌شود. این امر نتایج زیر را در بردارد:
 - الف) کنترل و بهبود پدیده‌های فرسایش ساحلی در اثر امواج (ب) عمل کردن به مثابه موج‌شکن در نزدیکی بنادر و تاسیسات ساحلی.
- ۶- این نیروگاه‌ها در زمستان که مصرف زیاد است هم می‌توانند برق بیشتری تولید کنند و به تولید کمک شایانی کنند.
- ۷- امواج به طور دائم در هر ساعت و زمانی تولید می‌شوند (سرعت باد در ساعات مختلف متفاوت است و خورشید نیز در ساعات ابری مورد استفاده نیست) [3].

اقیانوس تولید می‌شوند. مولدهای برق در طول ساحل می‌توانند این انرژی را به انرژی الکتریکی تبدیل کنند.

انرژی موج منبع تجدید شونده است (انرژی برگشت پذیر) و معمولاً نسبت به انرژی باد بیشتر قابل تولید است. انرژی که از امواج استخراج می‌شود، دوباره به سرعت توسط برهم کنش با دو سطح اقیانوس پر می‌شود سواحل غربی ایالات متحده و اروپا و سواحل ژاپن و نیوزلند محل‌های مناسبی برای مهار انرژی امواج اقیانوس هستند.

انرژی موج نامنظم، نوسانی و دارای فرکانس پایین است که قبل از اضافه شدن به شبکه باید به فرکانس ۶۰ هرتز تبدیل شود. بر اساس برآوردهای انجام شده، کل انرژی امواج در جهان ۲ تراوات (۲ میلیون مگاوات) انرژی الکتریکی است. به طور تقریبی حداکثر ۲۰ درصد از این انرژی قابل استحصال است.

برآوردها حاکی از آن است که تنها در شمال غربی اقیانوس آرام امکان تولید ۴۰ تا ۷۰ کیلووات انرژی الکتریکی از هر متر از سواحل غربی وجود دارد. این سواحل بیش از ۱۶۰۰ کیلومتر طول دارند که به طور متوسط از هر کیلومتر سواحل لااقل می‌توان ۱۰ مگاوات انرژی تولید کرد [2].

معایب انرژی موج

۱- محدودیت مناطق دارای امواج بلند و قابل ملاحظه

۲- ضرورت مقاومت تاسیسات در مقابل طوفان‌های شدید احتمالی

۳- خوردگی در اثر محیط خورنده دریا و رسوب نمک روی تاسیسات

۴- توان تولیدشده در نیروگاه موجی ثابت نبوده و به شرایط امواج بستگی دارد.

۵- انباشت گیاهان و موجودات زنده دریایی روی تجهیزات

۶- مشکلات انتقال برق از تاسیسات مستقر در دریاها به ساحل و هزینه‌های بالا [3]

مفاهیم فیزیکی و فرمول

انرژی موج به سرعت باد، طول موج، چگالی آب و بزرگی یا کوچکی موج بستگی دارد.

به متوسط نرخ انتقال انرژی از یک صفحه عمودی با عرض واحد و موازی با تاج موج شار انرژی موج می‌گوییم.

شار انرژی موج \equiv قدرت موج

در آب‌های عمیق که عمق آب از نصف طول موج بزرگ‌تر است شار انرژی موج یا قدرت موج از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_m^2 T \approx \left(0.5 \frac{\text{kw}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right) H_m^2 T$$

P : شار انرژی موج بر واحد طول تاج موج

H_m : ارتفاع موج

T : دوره تناوب

ρ : چگالی آب

همانطور که مشاهده می‌شود قدرت موج با مربع ارتفاع موج و پریود موج متناسب است.

اگر T بر حسب ثانیه و ارتفاع موج بر حسب متر باشد واحد قدرت موج برابر است با کیلووات بر متر طول جبهه موج (مکان هندسی نقاطی که فاز ارتعاش یک کمیت فیزیکی متعلق به موج در آنها یکسان باشد)

مثال: اگر ارتفاع موج ۳ متر و پریود موج ۸ ثانیه باشد:

$$P = 36 \frac{\text{kw}}{\text{m}}$$

در طوفان‌های بزرگ ارتفاع موج تقریباً ۱۵ متر و پریود موج حدوداً ۱۵ ثانیه است که در این صورت قدرت موج برابر ۱.۷ مگاوات بر واحد طول تاج موج خواهد شد.

سیستم پلامیس، یک مبدل انرژی موج دور از ساحل و معلق است که به صورت منقطع به کف دریا متصل شده و شامل یک سری سیلندرهایی است که به صورت لولایی به یکدیگر متصل شده‌اند. این سیلندرها تا نصف حجم خود، زیر سطح آب هستند. امواج با حرکت دادن قسمت‌های استوانه‌ای مجاور نسبت به یکدیگر در میان اتصالات با دو درجه آزادی، بر روی سیستم پلامیس، کار انجام می‌دهند.

دستگاه PTO³ ی پلامیس شامل یک مجموعه از سیلندرهایی هیدرولیکی است که سیال مورد نظر را از طریق لوله‌های رابط، به انباشتگر⁴ های پرفشار به منظور ذخیره‌سازی کوتاه مدت پمپ می‌کند. موتورهای الکتریک از انرژی سیال پرفشار که از انباشتگرها می‌آید، استفاده می‌کنند و ژنراتورهایی را که به آنها وصل هستند، تغذیه می‌کنند.

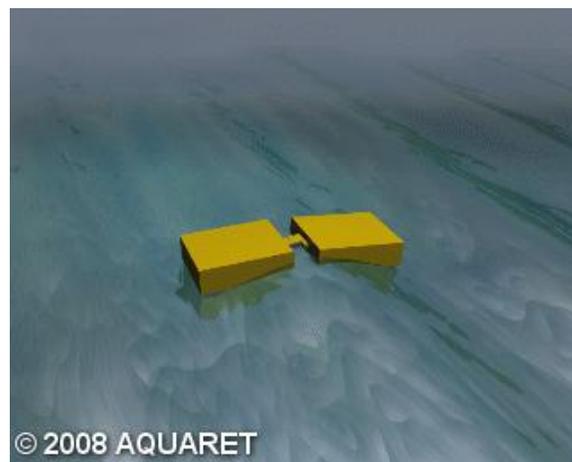
دستگاه PTO³ ی پلامیس در دو قسمت قابل بررسی است، که یکی قسمت انتقال قدرت اولیه و دیگری قسمت انتقال قدرت ثانویه نامیده می‌شود. قسمت انتقال قدرت اولیه، شامل سیلندرهایی هیدرولیک و دستگاه‌های کنترل‌کننده آنها، کار انجام شده توسط امواج بر روی سیستم را به انرژی ذخیره شده تبدیل می‌کند. قسمت انتقال قدرت ثانویه، شامل موتورهای هیدرولیکی متصل به ژنراتورهای الکتریکی، انرژی ذخیره شده در مخازن

ذکر این نکته ضروری است که قدرت انرژی موج با مجذور ارتفاع موج و انرژی باد با مجذور سرعت باد تغییر می‌کنند و با توجه به اینکه آب ۸۵۰ بار از هوا غلیظتر است نیروی بیشتری از آب تولید می‌شود.

انواع مبدل‌های انرژی موج^۱

۱- تضعیف‌کننده^۲

وسيله‌ای است که موازی با جهت جریان آب عمل می‌کند که می‌تواند انرژی موج را از طریق حرکت نسبی دو بازوی خود وقتی موج از روی آن عبور می‌کند به برق تبدیل کند.[4]



شکل ۱- نمایی از یک تضعیف‌کننده [4]

نمونه‌ای از کاربرد این نوع مبدل در سازه‌ی پلامیس^۳ استفاده شده است، که به شرح زیر می‌باشد:

³ pelamis

⁴ Accumulator

¹ Wave energy actuator

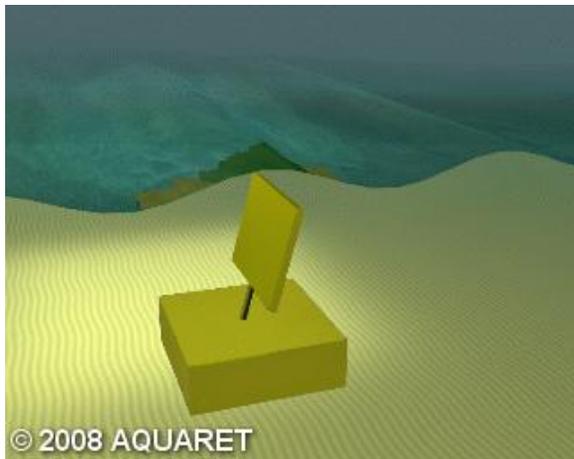
² Attenuator



شکل ۳- نمایی از یک جذب کننده‌ی نقطه‌ای [4]

۳- مبدل نوسانی موج دریا^۲

بازوی این وسیله مثل یک پاندول در اثر حرکت آب حول یک مفصل چرخان می‌چرخد [4].



شکل ۴- نمایی از یک مبدل نوسانی موج دریا [4]

را به برق تبدیل کرده و در نهایت برق ایجاد شده را به ساحل منتقل می‌کند.

گشتاور مفصلی ایجاد شده توسط سیلندرها، باید با هر چرخه موج طوری تغییر کند که امواج ماکزیمم کار خود را بر روی سیستم انجام دهد. کنترل لحظه‌ای گشتاور مفصلی با استفاده از یک سری دریچه‌های کنترل شده الکتریکی، که جریان سیال را ما بین سیلندرهای هیدرولیکی و انباشتگرها و مخازن اصلی کنترل می‌کند، بدست می‌آید [3].



شکل ۲- نمایی از یک پلامیس در دریا [4]

۲- جذب کننده نقطه ای انرژی^۱

یک ساختار شناور است که انرژی را در همه‌ی جهات از امواجی که نزدیک سطح آب هستند جذب می‌کند. این وسیله حرکت شناوری (بالا و پایین) موج را به پایه منتقل می‌کند تا در آنجا به برق تبدیل شود [4].

² Oscillating wave surge converter

¹ Point Absorber

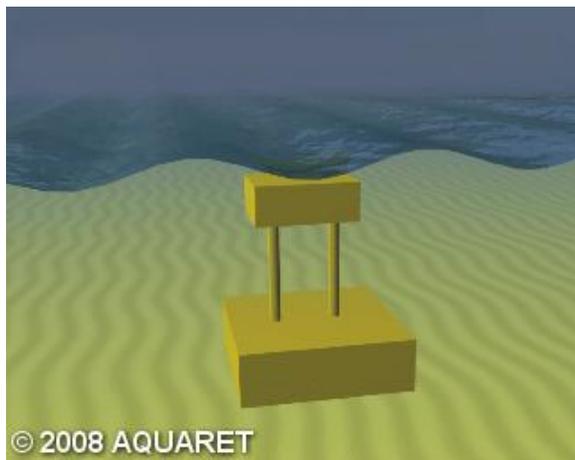
آبی با ارتفاع کم را به حرکت درآورد و پس از آن به دریا برگردانده می‌شود [4].



شکل ۶- نمایی از یک دستگاه ترمیناتور [4]

۶- دستگاه اختلاف فشار غوطه‌ور^۳

این دستگاه در نزدیکی ساحل استفاده می‌شود. حرکت امواج باعث ایجاد اختلاف فشار می‌شود که این نیز باعث حرکت قسمت متحرک دستگاه می‌شود و این حرکت باعث پمپ شدن سیال داخل سیستم می‌شود و نتیجه‌اش تولید برق است [4].



شکل ۷- نمایی از یک دستگاه اختلاف فشار غوطه‌ور [4]

۴- نوسان ستون آب^۱

حرکت نوسانی ستون آب در یک حفره که به دریا راه دارد (مطابق شکل) باعث حبس شدن مقداری هوا بالای ستون آب می‌شود. با بالا و پایین آمدن سطح ستون آب در حفره هوای محبوس از مجرای تعبیه‌ی شده در بالای حفره به اتمسفر می‌رود و از آن وارد می‌شود، در این مجرا یک توربین قرار داده شده است که با حرکت هوا در هر دو جهت می‌چرخد و با چرخیدن توربین برق تولید می‌کند.



شکل ۵- نمایی از یک مبدل نوسانی ستون آب [4]

۵- دستگاه ترمیناتور^۲

در این نوع از مبدل‌ها از انرژی موج برای انتقال آب دریا به درون کانالی شیب‌دار و در نهایت ذخیره شدن آب در یک مخزن استفاده می‌شود. با استفاده از اختلاف ارتفاع ایجاد شده، می‌توان توربین‌های

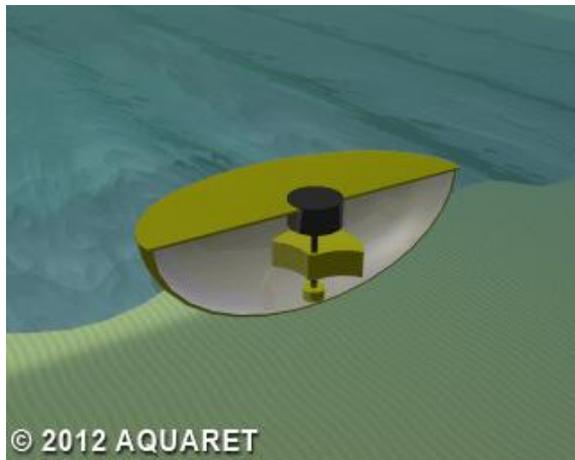
¹ Oscillating Water Column

² Overtopping/Terminator Devices

³ submerged pressure differential

۷- موج متورم^۱

وزن خارج از مرکزیتش بچرد و توسط ژنراتور داخل دستگاه برق تولید شود [4].



شکل ۹- نمایی از یک جرم چرخان [4]

نمونه های عملیاتی

در داخل کشور:

در قالب پروژه‌ای که از سوی مؤسسه ملی اقیانوس‌شناسی انجام شده، میزان انرژی امواج در دریاهای ایران تخمین زده شده است.

پس از مدل‌سازی مشخصات امواج و تعیین انرژی در کل دریاهای مجاور ایران، هفت سایت بر مبنای میزان انرژی و همچنین اهمیت آنها جهت مدل‌سازی محلی با بزرگنمایی بیشتر انتخاب شدند که شامل انزلی، نوشهر، امیرآباد، بوشهر، عسلویه، جاسک و چابهار هستند.

پس از انجام مدل‌سازی محلی در این ایستگاه‌ها و استخراج مشخصات موج و تحلیل این اطلاعات،

این وسیله شامل یک تیوپ پلاستیکی است که از آب پر می‌شود. آب از ابتدا وارد می‌شود. با عبور موج اختلاف فشاری در طول لوله به وجود می‌آید که در نتیجه آن یک برآمدگی در طول لوله به وجود می‌آید و با پیشروی بزرگ و بزرگ‌تر می‌شود در انتها توربین را به حرکت در می‌آورد و آب هم در پایان خارج می‌شود [4].



شکل ۸- نمایی از یک تورم موج [4]

۸- جرم چرخان^۲

مطابق شکل یک وزنه‌ی ناقص درون یک پوسته قرار گرفته که این پوسته روی آب قرار می‌گیرد و با حرکت امواج حرکت نوسانی انجام می‌دهد این حرکت نیز باعث می‌شود که وزنه‌ی ناقص به‌علت

¹ Bulge Wave

² Rotating Mass

استفاده از ۳ مبدل پلامیس که مجموعاً ۲/۲۵ مگاوات ظرفیت دارند (برق تقریباً ۱۶۰۰ خانه در سال) و هزینه تقریبی ۱۱/۵ میلیون دلار در مراحل بعدی با ۲۶ مبدل پلامیس به ۲۰ مگاوات خواهد رسید.

طول هر مبدل ۱۲۰ متر و قطر هر مبدل ۳/۵ متر است. هر مبدل از چهار لوله بلند تشکیل شده (که میشه سه قسمت تولید برق در هر مبدل). عمق آب در آن محل ۵۰ متر است.

دو ماه بعد از بهره برداری به علت برخی مشکلات فنی مجموعه به ساحل آورده و تعمیر شد. اما به دلیل مشکلات مالی طرف پرتغالی مجموعه تا امروز فعالیتی ندارد.

به همین علت شرکت پلامیس به سراغ نسل دوم مبدل‌های خود رفت، P2، که ابعاد بزرگتری دارند و در نتیجه برق تولیدی ارزان‌تر به دست می‌آید. پروژه پرتغال هم اکنون منتظر به نتیجه رسیدن نسل دوم این مبدل‌هاست تا بتواند در سال ۲۰۲۰، ۶۰٪ برق خود را از انرژی دریا به دست آورد [5].

نتیجه‌گیری

در این مقاله لزوم نیاز به انرژی امواج در تولید انرژی به خصوص انرژی الکتروسیسته و مزایا و معایب حاصل از این نوع تولید انرژی مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های گوناگون بهره‌گیری از این انرژی و

محل‌های مناسب جهت استخراج انرژی امواج تعیین شده و سپس مبدل مناسب جهت استخراج موج در هر یک از ایستگاه‌ها تعیین شد.

با توجه به حداکثر ارتفاع موج در خلیج فارس و دریای عمان که حدود ۷ متر برآورد شده است مبدل نوع "نوسان ستون آب" در دریای عمان و خلیج فارس قابل احداث خواهد بود.

با توجه به عمق آب در خلیج فارس و دریای عمان که عموماً کمتر از ۹۰ متر می‌باشد و عمق آب مناسب برای بهره برداری از مبدل‌های فوق‌الذکر می‌توان نتیجه گرفت که به استثنای مبدل‌های از نوع "جذب کننده‌ی نقطه‌ای" و "اختلاف فشار غوطه‌ور" که در نزدیکی ساحل و در عمق کمتر از ۲۰ متر قابل احداث می‌باشند، سایر مبدل‌ها در آب‌های عمیق‌تر و دور از ساحل می‌توانند مورد بهره برداری قرار گیرند [3].

در خارج از کشور:

پرتغال – پورتو – آگواسادورا^۱

اولین مجموعه بهره‌برداری از انرژی موج دریا در جهان پس از ۱۰ سال طراحی، توسط شرکت پلامیس ساخته شد و در جولای ۲۰۰۸ برای اولین بار برق تولید کرد و در سپتامبر ۲۰۰۸ با حضور وزیر اقتصاد پرتغال به بهره برداری رسمی رسید.

¹ Agucadoura

[3] یعقوبی فریده، هاشمی سید حمید، بررسی انواع سیستم های استحصال انرژی امواج و انتخاب سیستم های مناسب برای سواحل جنوبی ایران، مهندسین مشاور مهتاب قدس (92/1/17)

[4] [http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices/\(92/1/7\)](http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices/(92/1/7))

[5] www.pelamiswave.com/our-projects/project

نحوه‌ی استحصال آن از طریق مبدل‌های مختلف مقایسه گردید و نتیجه این گونه برآورد شد که شرط استفاده از این مبدل‌ها بسته به شرایط توپوگرافیک و اقتصادی محل مورد نظر است. در نهایت پیشنهاد شد که به دلیل وجود پتانسیل‌های داخلی می‌بایست طرح‌های عملیاتی در این راستا با جدیت بیشتر مورد بررسی و به عرصه‌ی عمل برسند.

علائم اختصاری

H	ارتفاع موج
P	شار (قدرت) موج
ρ	چگالی آب دریا
T	دوره تناوب موج
g	شتاب جاذبه زمین

مراجع

[1] http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wave_power&oldid=544172601 (92/1/3)

[2] [http://www.oceanenergycouncil.com/index.php/Wave-Energy/Wave-Energy.html#1\(92/1/3\)](http://www.oceanenergycouncil.com/index.php/Wave-Energy/Wave-Energy.html#1(92/1/3))