

روش های تولید انرژی الکتریکی از امواج آب دریا

حسن مسعودی*

استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز
* اهواز، ۶۱۳۵۷۸۳۱۵۱، hmasoudi@scu.ac.ir

چکیده

انرژی امواج در پهنای وسیعی از سطح دریاها و اقیانوس ها گسترده شده است و معمولاً در مقادیر زیاد وجود دارد. این انرژی می تواند منبع عظیمی برای تولید انرژی الکتریکی باشد، ولی ابتدا باید فناوری بهره برداری از آن بصورت اقتصادی توسعه یابد. طرح های موجود تولید انرژی از امواج دریا در دو نوع ثابت و شناور دسته بندی می شوند. سه نوع عمده طرح های تولیدی ثابت که اغلب در سواحل نصب می شوند، عبارتند از: ستون آب نوسان کننده، کانال متقارب و طرح پاندولی. طرح های شناور در داخل دریا و روی سطح آب نصب می شوند و بر اثر حرکت امواج بالا و پائین رفته و از این حرکت انرژی الکتریکی تولید می شود. برخی از طرح های شناور رایج عبارتند از: حوض پمپ سوئدی، پمپ موج مک کیب، مجرای توان موج شناور، پمپ شناور توان امواج دانمارکی، دوک سالتر و هواپیمای امواج. پژوهش های بیشتر برای ارائه روش های جدیدی که بتوان از انرژی امواج بصورت مقرون به صرفه استفاده نمود، در سطح جهان پیگیری می شوند و با تشدید بحران انرژی گسترده تر شده اند. در این مقاله شیوه های تولید الکتریسته از انرژی امواج ایجاد شده در سطح آب دریاها بیان شده اند. همچنین ضمن بیان ویژگی های طرح های بهره برداری از انرژی امواج، مزایای انرژی امواج بیان شده و موانع و چالش های توسعه طرح های تولید انرژی الکتریکی از امواج نیز مورد بررسی قرار گرفته اند.

کلید واژگان: امواج آب دریا، انرژی الکتریکی، طرح های ثابت، طرح های شناور

Methods for Producing Electrical Energy from Sea Water Waves

Hassan Masoudi*

Biosystems Engineering Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

* P.O.B. 6135783151 Ahvaz, Iran, hmasoudi@scu.ac.ir

Received: 9 August 2016 Accepted: 19 January 2017

Abstract

New and renewable sources of energy that are considered include solar energy, wind energy, wave energy, Bioenergy, sea thermal gradient energy, geothermal energy, hydropower, nuclear power and so on. Broad ranges of wave energy are vast in the seas and oceans, so there are usually large amounts of wave energy but the technologies must be developed to exploit them economically. Energy generation plans from sea waves have two types include fixed and floating plans. Fixed plans are installed at the bottom of sea or shore. Three major types of fixed plans include oscillating water column, convergent channel and pendulum design. Floating plans move up and down by movement of the waves and electricity is produced from this motion. Some of these floating plans are Swedish pump pool, the MacKib wave pump, floating wave power duct, Danish wave power submersible pump and Salter spindle. Further researches are tracked globally to explore new methods for using from wave energy in a cost effective method, and broaden because of energy crisis intensifying. Oscillating water column and waves plane are two types of new projects to use wave's energy. In this research we have tried to discuss about energy of waves created in the sea levels and the ways to exploit them. Also, characteristics of wave energy exploitation plans are expressed, advantages and disadvantages of wave energy are described and the challenges to development of wave energy plans are discussed.

Keywords: Sea water waves, Electrical energy, Fixed plans, Floating plans.



۱- مقدمه

منابع جدید و قابل تجدید انرژی که امروزه مورد توجه قرار گرفته اند عبارتند از: انرژی خورشید، انرژی باد، انرژی امواج، بیوانرژی، انرژی گرادیان حرارتی دریاها، انرژی زمین گرمایی، انرژی آب و انرژی هسته‌ای. می‌توان به اقیانوس‌ها^۴ بعنوان منبع سه نوع انرژی تجدیدپذیر شامل انرژی جزر و مد، انرژی امواج و انرژی حاصل از اختلاف دمای آب نگاه کرد. امواج دریا هر دو نوع انرژی جنبشی و پتانسیل را دارا می‌باشند. انرژی امواج در پهنای وسیعی از سطح اقیانوس‌ها^۵ گسترده شده است، لذا معمولاً در مقادیر زیاد وجود دارد، در نتیجه فناوری بهره‌برداری از آنها بایستی بصورت اقتصادی توسعه یابد. معیارهای سنجش پتانسیل این منبع از منابع دیگر انرژی متفاوت نیست، یعنی اولاً باید برای اهدافی که بکار می‌رود با صرفه باشد و ثانیاً تأثیرات ناشی از استخراج آن بگونه‌ای باشند که با توجه به معیارهایی که نسبت به آنها سنجیده می‌شود، قابل قبول باشد [۱].

انرژی امواج دریا بواسطه روش‌های استحصال آن، پاک‌ترین و غیرآلاینده-ترین نوع انرژی در بین انرژی‌های دریایی است و برای استحصال این انرژی از دو قرن گذشته تکنون راه‌های مختلفی ارائه گردیده است. اولین تلاش توسط ژاپنی‌ها در سال ۱۹۶۵ میلادی با ساختن ده‌ها فانوس دریایی که با انرژی امواج کار می‌کردند، صورت گرفت. در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی برای کشف روش‌هایی که بتوان از انرژی امواج بصورت مقرون به صرفه استفاده نمود، در سطح جهان پیگیری می‌شوند و با تشدید بحران انرژی گسترده‌تر شده اند. طرح‌های جدیدی نیز در کشورهای مختلف در مراحل مطالعه و طراحی قرار دارند [۲]. در ایران نظری برنجکوب و قاسمی (۱۳۹۰) در پژوهشی پس از بررسی و آنالیز مشخصه‌های امواج منطقه عسلویه در خلیج فارس و مشخص کردن فرکانس غالب امواج در طول سال با رعایت اصول طراحی جهت پدیداری روزناس و کنترل دمپینگ در سیستم بویه شناور جاذب انرژی، یک دستگاه مبدل جاذب نقطه‌ای انرژی امواج را طراحی نمودند. انرژی جذب شده توسط بویه دستگاه بوسیله سیستم‌های داخلی هیدرولیکی دستگاه جذب و تبدیل به فشار هیدرولیکی ثابتی در انباشتگر گردید که نتیجه آن، تولید برق متناوب بدون تغییرات فرکانسی با توان ۱۰ کیلووات بود. دستگاه طراحی شده قابلیت ذخیره‌سازی مطلوب انرژی را دار بوده و جهت استحصال انرژی امواج ارتفاع کوتاه منطقه، کارایی داشت [۳].

در این پژوهش درباره انرژی امواج ایجاد شده در سطح آب دریاها و شیوه‌های بهره‌برداری از آن مباحثی ارائه می‌گردد. همچنین با بیان ویژگی‌های خاص طرح‌های انرژی امواج، مزایای انرژی امواج بیان شده و مضرات و موانع موجود برای توسعه طرح‌های انرژی امواج نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

اگرچه طرح‌های انرژی امواج بسیار زیادی اختراع شده‌اند، ولی تنها تعداد کمی آزمایش و ارزیابی شده‌اند. وسایل گوناگونی برای تبدیل این انرژی‌ها به شکل‌های دیگر انرژی شبیه حرکت مکانیکی و فشار مایع وجود دارند که به دو دسته وسایل درجه بزرگ داخل دریا و وسایل درجه کوچک ساحلی تقسیم می‌شوند. بیشترین پیشرفت از آن وسایل درجه بزرگ داخل دریا بوده است. طرح‌های تولید انرژی امواج در دو طبقه‌بندی عمومی ثابت و شناور قرار می‌گیرند. طبقه‌بندی دیگری که برای روش‌های استفاده از انرژی امواج وجود دارد، به قرار زیر است [۲]:

الف - طرح‌های نسل اول: فناوری‌های خیلی مشهور شامل ستون آب نوسان‌کننده و کانال متقارب که معمولاً بطور ثابت در خط ساحلی نصب می‌شوند، طرح‌های نسل اول نامیده می‌شوند.

ب - طرح‌های نسل دوم: این طرح‌ها شامل جذب‌کننده‌های نقطه‌ای مانند سامانه‌های شناور می‌باشند که برای کاربرد در شرایط امواج نسبتاً کم مانند مدیترانه‌ای مناسب هستند.

ج - طرح‌های نسل سوم: اجسام شناور داخل دریا مانند دوک سالتز که قادر به برداشت انرژی از امواج خیلی قوی آب‌های عمیق هستند در طرح‌های نسل سوم جای می‌گیرند که بایستی در آینده توسعه یابند.

در این مقاله از طبقه‌بندی نوع اول یعنی ثابت و شناور استفاده شده است و با معرفی طرح‌های موجود در هر دسته به شرح آنها پرداخته می‌شود.

۲-۱- طرح‌های تولیدی ثابت:

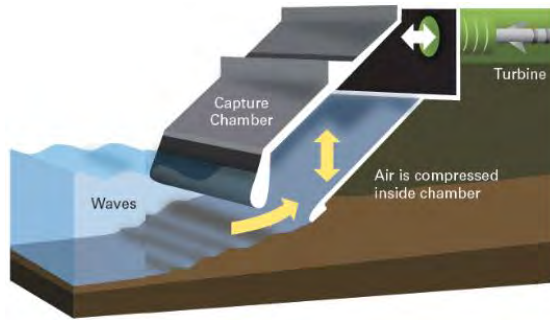
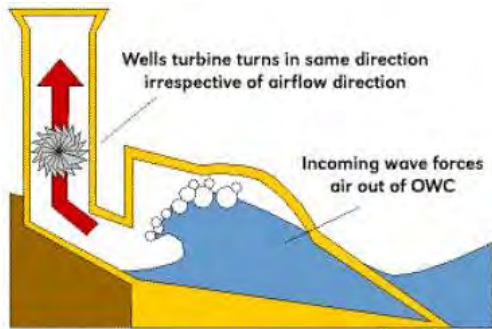
این طرح‌ها که به طرح‌های خط ساحلی هم معروفند در کف دریا یا ساحل بصورت ثابت نصب می‌شوند و دارای مزیت‌های نصب و نگهداری آسان‌تر، عدم احتیاج به مهارهای آب عمیق و کابل‌های الکتریکی دراز زیر آبی می‌باشند. شرایط امواج کم انرژی در خط ساحلی تا اندازه‌ای بوسیله تمرکز انرژی امواج که بطور طبیعی در برخی محل‌ها اتفاق می‌افتد، جبران می‌شود. تعدادی از این طرح‌ها در سطح جهان اجرا شده‌اند، ولی هیچکدام مقدار قابل توجهی الکتریسیته را تولید نمی‌کنند. از طرفی تعداد محل‌های مناسب برای نصب آنها نیز محدود است. سه نوع عمده طرح‌های ثابت عبارتند از: ستون آب نوسان‌کننده، کانال متقارب و طرح پاندولی که در ادامه شرح داده می‌شوند [۱، ۴، ۵، ۶].

۲-۱-۱- ستون آب نوسان‌کننده^۱:

ستون آب نوسان‌کننده (OWC) شامل یک بنای بتنی یا فولادی است که پائین‌تر از سطح آب یک دریچه دارد و از طریق آن امواج وارد ستون می‌گردند. وقتی موج وارد ستون می‌شود هوای داخل آنرا به سمت بالا می‌راند و در اثر این رانش هوا، توربینی که در مسیر آن قرار دارد به گردش در می‌آید. دو نوع OWC وجود دارند: OWC باز و OWC بسته [۴].

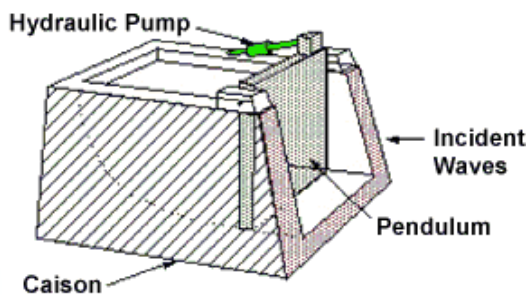
در OWC باز قسمت بالای ستون باز بوده و هوا پس از رانش از طریق این دریچه به اتمسفر راه می‌یابد. لذا توربین این طرح تنها در یک جهت می‌چرخد. این طرح روی سطح اقیانوس شناور است (شکل ۱-راست). در OWC بسته قسمت فوقانی ستون بسته بوده و الکتریسیته را در یک فرآیند دو مرحله‌ای تولید می‌کند. بدین صورت که وقتی موج در ستون وارد می‌شود، هوا را به سمت بالا می‌راند و چون هوا راه خروج ندارد، فشار داخل ستون بالا می‌رود. وقتی که موج عقب‌نشینی می‌کند هوا بدلیل کاهش فشار هوا در پائین ستون به عقب کشیده می‌شود، لذا هوا در این نوع ستون هم در جهت بالا و هم در جهت پائین جریان دارد که باعث چرخش توربین در دو جهت مخالف هم می‌گردد. یک OWC بسته خیلی شبیه OWC باز است، تنها اختلاف این است که OWC بسته در داخل اقیانوس غوطه‌ور است و در کف اقیانوس ثابت می‌شود و بجای استفاده از انرژی امواج که مستقیماً بر طرح تأثیر می‌گذارد، از اختلاف فشار بین دو سر موج استفاده می‌کند (شکل ۱-چپ).

^۱ Oscillating Water Column (OWC)



شکل ۱- ستون آب نوسان کننده باز (راست) و بسته (چپ)

حرکت رفت و برگشتی برای بکار انداختن یک پمپ هیدرولیکی و ژنراتور استفاده می‌شود (شکل ۳). تاکنون در سطح جهان فقط چند طرح کوچک از این نوع اجرا شده است [۲، ۵].



شکل ۳- طرح پاندولی

۲-۲- طرح های تولیدی شناور :

طرح های شناور انرژی امواج، الکتریسته را از طریق حرکت هماهنگ قسمت شناور طرح تولید می‌کنند. در این سامانه ها قسمت شناور در برابر سامانه ثابتی که به یک توربین متصل است مقاومت می‌کند. اینگونه طرح ها بر اساس حرکت موج بالا و پائین می‌روند و از این حرکت الکتریسته تولید می‌شود.

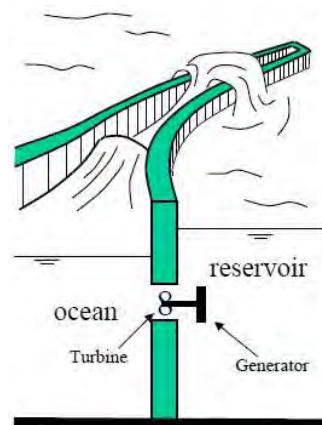
طرح های شناور داخل دریا از امواج قوی که در آب های عمیق (بیش از ۴۰ متر) وجود دارند، بهره‌برداری می‌کنند. برای استخراج انرژی از امواج، ضروری است که طرح در سطح آب یا نزدیک به سطح آب قرار گیرد، لذا به مهارهای انعطاف‌پذیر و کابل های انتقال توان الکتریکی نیاز دارد. چندین طرح مختلف در سطح جهان برای تبدیل حرکت نوسانی بدنه به انرژی مکانیکی مفید مطرح شده‌اند. در ادامه برخی از این طرح ها شرح داده می‌شوند [۱، ۲، ۵، ۶].

۲-۲-۱- حوض پمپ سوئدی^۳ :

این طرح شامل یک حوض ارتجاعی مخصوص است (که حجم داخلی آن موقع کشیده شدن کاهش می‌یابد) و به یک شناور متصل بوده و بر امواج سوار می‌شود. بالا و پائین شدن شناور، حوض را کشیده و باعث افزایش فشار آب درون آن می‌شود. این آب پرفشار همراه خروجی پمپ‌های دیگر از طریق یک سوپاپ به یک واحد توربین مرکزی وارد شده و آنرا به گردش در می‌آورد.

۲-۱-۲- کانال متقارب^۱ :

کانال متقارب یا سامانه کانال کم‌کم باریک شونده، شامل یک کانال بتدریج باریک شونده با دیوارهایی به ارتفاع ۳ تا ۵ متر بالاتر از سطح تراز آب است. امواج به انتهای پهن کانال وارد شده و در حین انتقال به انتهای باریک کانال، ارتفاع شان زیاد می‌شود تا اینکه نوک امواج از روی دیوارها در یک مخزن می‌ریزد، مخزنی که چندین متر بالاتر از سطح تراز دریا قرار دارد. وقتی که آب در مخزن ذخیره می‌شود، انرژی جنبشی آن به انرژی پتانسیل تبدیل می‌شود. آب ذخیره شده سپس از طریق یک توربین خاص که در ارتفاع پائین‌تری نصب شده است به دریا باز می‌گردد و باعث چرخش توربین می‌شود (شکل ۲). متأسفانه کانال های متقارب برای تمامی نواحی ساحلی مناسب نیستند. محل های نصب این نوع سامانه ها، بایستی امواج پیوسته و دائمی با مقدار انرژی مناسب و دامنه جزر و مد کمتر از یک متر داشته باشند. همچنین شرایطی همچون آب عمیق نزدیک ساحل و محلی مناسب برای ساخت مخزن باید وجود داشته باشند [۲، ۵].



شکل ۲- کانال متقارب

۲-۱-۳- طرح پاندولی^۲ :

طرح پاندولی شامل یک جعبه راست گوشه است که از یک طرف به دریا باز می‌شود. یک آونگ (پاندول) مسطح به بالای این قسمت باز لولا می‌شود، بطوریکه حرکت امواج باعث تاب خوردن آن به جلو و عقب می‌شود. آنگاه این

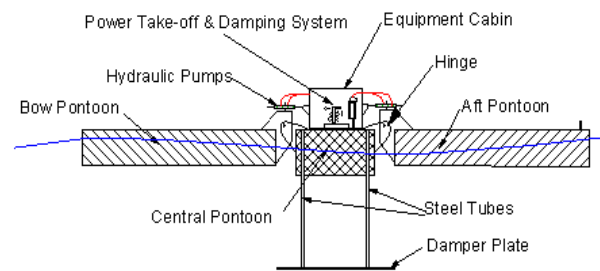
³ The Swedish Hose pump

¹ Tapered Channel (TAPCHAN)

² Pendular Device

۲-۲-۲- پمپ موج مک کیب^۱:

این طرح شامل سه تخته شناور فولادی راست گوشه است که متناسب با یکدیگر در امواج حرکت می‌کنند. اساس طرح اتصال صفحه ضربه‌گیر به تخته شناور میانی است که باعث می‌شود تا وقتی که تخته‌های شناور جلوئی و عقبی به نسبت تخته شناور مرکزی بوسیله اتصال لولائی حرکت می‌کنند، ساکن بایستد (شکل ۴). انرژی از دوران نقاط لولائی بوسیله پمپ های هیدرولیکی خطی که در بین تخته شناور مرکزی و دو تخته بیرونی نزدیک لولاها حرکت می‌کنند، بدست می‌آید. این طرح برای تهیه آب شرب (به روش تراوش معکوس) توسعه یافته است، ولی برای تولید الکتریسیته از طریق یک موتور هیدرولیکی و ژنراتور نیز می‌تواند استفاده شود.



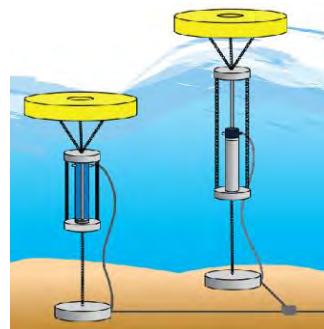
شکل ۴- پمپ موج مک کیب

۲-۲-۳- مجرای توان موج شناور^۲:

این طرح شامل یک سکوی فولادی دارای شیب مایل است که امواج ورودی را در داخل یک مخزن داخلی بلند جمع‌آوری می‌کند. سپس آب این مخزن از طریق توربین های واقع در ارتفاع پائین تر به دریا بر می‌گردد. از یک منظر این طرح شبیه یک TAPCHAN داخل دریا است، اما به دامنه جزر و مد حساس نیست.

۲-۲-۴- پمپ شناور توان موج دانمارکی^۳:

این طرح از یک جسم شناور که به پمپ پیستونی متحرک کف دریا متصل شده، استفاده می‌کند. حرکت بالا و پائین جسم شناور باعث می‌شود که پمپ یک توربین و ژنراتور را بکار بیندازد. جریان آب از میان توربین بطور یکطرفه و از طریق یک سوپاپ ثابت برقرار می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵- پمپ شناور دانمارکی

۲-۲-۵- دوک سالتر^۴:

این طرح مانند سایر طرح های شناور انرژی امواج، الکتریسیته را از طریق حرکت هماهنگ قسمت شناور طرح تولید می‌کند. در این سامانه قسمت مرکزی بوسیله مهارهایی که به کف دریا متصلند ثابت نگه داشته می‌شود. در اثر عبور امواج و برخورد آنها با قسمت برآمدگی دوک، دوک شروع به چرخش می‌کند و این چرخش به توربین مربوطه منتقل می‌گردد (شکل ۶). دوک سالتر قادر به تولید انرژی بی‌نهایت کارآمد است [۲، ۳].

۲-۲-۶- کلک کوکرل^۵:

این طرح توسط کریستوفر کوکرل در سال ۱۹۸۰ ارائه شد که شامل یکسری از کلک‌ها (تخته‌های چوبی) می‌باشد که توسط لولاهایی با جک های هیدرولیکی به هم متصل می‌شوند. وقتی که یک موج می‌آید، کلک ها براساس شکل موج بالا و پائین می‌روند. حرکت بالا و پائین، جک های هیدرولیکی را فشار می‌دهد که باعث فشرده شدن مایع به داخل یک توربین هیدرولیکی برای تولید الکتریسیته می‌گردد (شکل ۷). همچنین می‌توان الکتریسیته را با استفاده از هوای فشرده ناشی از انرژی امواج تولید کرد [۲، ۳].

۲-۲-۷- هواپیمای امواج^۶:

این سامانه یک طرح شناور است که بوسیله یک بدنه لنگر مانند در کف دریا مهار می‌شود و شناور را با استفاده از تانک‌های منظم پر از هوا نگه می‌دارد. این سامانه بدلیل وجود یک صفحه مرطوب جامد زیرین که آن را در محل ورودی آب و فقط بالای سطح آب نگه می‌دارد، بر امواج سوار نمی‌شود. آب امواج بوسیله یکسری وسایل خاص به مجموعه‌ای از مخزن ها جهت ایجاد گرداب برای چرخاندن یک توربین، رانده می‌شود. دریچه ورودی آب برای جلوگیری از ورود ماهی‌های بزرگ یا سایر اجسام شناور با استفاده از یک شبکه خشن فولادی بسته می‌شود. یک هواپیمای امواج کاملاً واقعی می‌تواند تا ۲۵ متر پهنا داشته و تا ۴ مگاوات برق تولید کند. در دریاها با عمق متوسط ۱/۵ متر، بیش از ۲۰۰۰ تن آب در هر دقیقه می‌تواند از میان ماشین عبور کند. معمولاً هواپیمای امواج در سطح آب شناور بوده و نوک آن برای تناسب با شرایط امواج بصورت خودکار تنظیم می‌شود و در هوای خیلی شدید با استفاده از مهارهای متصل شده به کف دریا در آب فرو خواهد رفت، زیرا مانند یک جذب کننده مؤثر انرژی امواج می‌باشد. همچنین می‌تواند بعنوان یک موج‌شکن حفاظتی عمل کند [۲، ۳].

۳- نتیجه گیری

تولید انرژی از امواج یکنوع استفاده مفید از امواجی است که در اثر وزش باد در سطح آب دریا ایجاد می‌شوند. اصولاً میزان توان امواج در محل‌های عمیق اقیانوس‌ها سه تا هشت برابر توان امواج در نزدیکی ساحل است. مناسب‌ترین مناطق برای استخراج انرژی امواج در روی کره زمین، طرف های شرقی اقیانوس‌ها (طرف غربی قاره‌ها) بین عرض‌های جغرافیائی ۴۰ تا ۶۰ درجه در نیمکره‌های شمالی و جنوبی است، که بیشترین تمرکز امواج را دارا می‌باشند.

⁴ Salter Duck

⁵ Cockerell's Raft

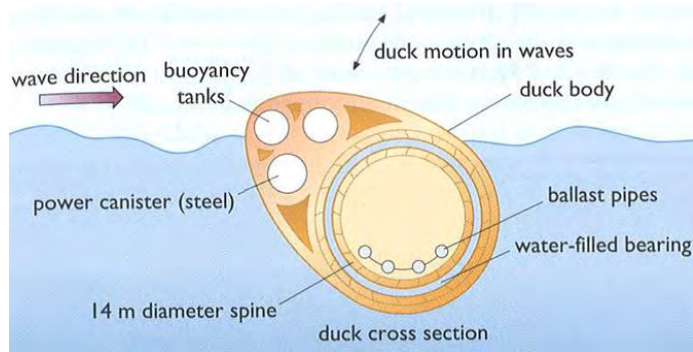
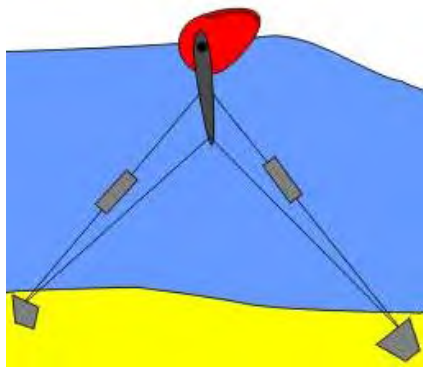
⁶ Wave Plane

¹ McCabe Wave Pump

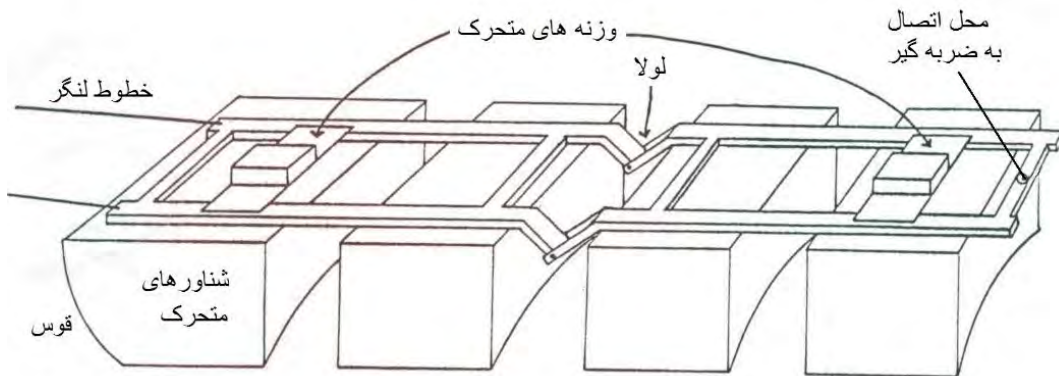
² The Floating Wave Power Vessel

³ The Danish Wave Power Float-Pump





شکل ۶- دوک سالتر (راست) و نحوه تثبیت آن در کف دریا (چپ)



شکل ۷- کلک کوپرل (یک مبدل هیدرولیکی که در شکل نشان داده نشده است، حرکت نسبی دو کلک را به انرژی قابل استفاده تبدیل می کند).

- ۲- برخی اوقات تجهیزات نصب شده برای بهره برداری از انرژی امواج، مانع خطرناکی برای کشتی‌ها محسوب می‌شوند، چون ممکن است با چشم دیده نشوند و یا در رادار مشخص نگردند.
- ۳- ایجاد مزاحمت برای ماهیگیران (به‌خصوص مهارهای بسته شده به بستر دریا)
- ۴- جایگزینی مناظر زیبایی طبیعی با منظره‌های صنعتی
- ۵- تخریب اکوسیستم دریا و تغییر در نحوه توزیع و انواع زندگی جانوران دریایی در نزدیک سواحل
- ۶- یک وسیله توان امواج بکار گرفته شده، نمی‌تواند زیادی را برای تقاضای حداکثر تولید کند.
- ۷- طرح های استفاده از انرژی امواج نمی‌توانند یک منبع انرژی الکتریکی قابل اعتماد باشند.
- ۸- در دسترس نبودن انرژی امواج در همه مناطق برای بهره برداری پربازده از انرژی امواج، باید برای این موانع راه حل‌های مناسب پیدا کرد. همچنین همواره باید در کنار طرح‌های تولید انرژی از امواج دریا، طرح‌های تولید انرژی دیگر نیز بکار گرفته شوند.

۴- مراجع

سواحل غربی اروپا و ایالات متحده مانند آب های بریتانیا و کالیفرنیا و سواحل زلاندنو و ژاپن بعنوان محل‌هایی با بهترین پتانسیل شناخته شده‌اند. منطقه بندر عسلویه در خلیج فارس با داشتن ارتفاعات کوتاه امواج دریایی که ناشی از کم بودن طول باد خیزی و شرایط جغرافیایی آن است، دارای توان پتانسیلی کمی در حدود ۳/۲۷ کیلووات در واحد عرض تاج موج، جهت استحصال و تولید برق می‌باشد، ولی همین شرایط باعث پدیداری امواجی کوتاه و مداوم گشته است که در بیش از ۴۰ درصد اوقات سال، دارای فرکانسی بین ۱/۳ تا ۱/۵ رادیان بر ثانیه هستند [۳].

استفاده از انرژی امواج دارای مزیت های اصلی تجدیدپذیر بودن، نداشتن آلودگی محیط زیست و محافظت از بناها و ساختمان های دیگر در طول خط ساحلی می باشد. لیکن بشر برای بهره برداری کامل و مطمئن از این انرژی طبیعی با موانع و چالش‌های زیادی روبرو است. برخی از مسائل و موانعی که باعث توجه کمتر به انرژی حاصل از امواج در مقایسه با منابع انرژی تجدیدپذیر دیگر شده‌اند، عبارتند از :

- ۱- از آنجائیکه توان امواج در محل‌های عمیق اقیانوس ۳ تا ۸ برابر توان امواج در محل‌های نزدیک ساحل است، ساختن و مهار محل و همچنین انتقال الکتریسیته به ساحل خیلی زیاد گران خواهد بود.

[۱] مسعودی، ح. ، روش ها و چالش های بهره برداری از انرژی امواج دریا، اولین همایش ملی توسعه پایدار دریا محور، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، بهمن ماه ۱۳۹۳.

[۲] ذبیحیان، ف. ، امکان استفاده از انرژی های نهفته در دریاها برای تولید الکتریسیته، شانزدهمین کنفرانس بین المللی برق، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، تهران، اردیبهشت ماه ۱۳۸۰.

[۳] نظری برنجکوب، م. و قاسمی، ح. ، طراحی دستگاه مبدل ۱۰ کیلوواتی جاذب نقطه‌ای انرژی امواج دریا در منطقه بندر عسلویه خلیج فارس، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴ شماره ۳ صفحات ۵ تا ۲۰، پائیز ۱۳۹۰.

[4] F. Antonio, O. Falcao, Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 14, Issue 3, pp. 899–918, 2010.

[۵] کتابداری، م.ج. ، امکان سنجی جذب انرژی از امواج در آبهای دریاها ایران. همایش ملی فناوری و صنعت دریایی کشور، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، آبان ماه ۱۳۸۶.

[6] *Wave Energy*, Accessed 25 March 2016; <http://www.waveenergy.dk>

