سال پنجم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۷، ص ص ۷۸ - ۸۳
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
Jrenew.ir
مقاله
تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۳/۲۳
تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۶/۰۶

بررسی موج شکن‌های مبدل انرژی SSG و شرایط مناسب برای استفاده بهینه از آن

سید حسین حسن تبار[۱]، فواد سلیمی[۲]، مریم راه‌بانی[۳*]

۱- دانشجو دکتری فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس،ایران
shh.tabar88@gmail.com
۲- دانشجوی دکتری مهندسی سازه‌های دریایی، دانشکده فنی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس،ایران
foad_salimi@yahoo.com
۳- هیئت علمی دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس،ایران
maryamrahbani@yahoo.com
*نویسنده مسئول. بندر عباس، کیلومتر ۹ جاده میناب، دانشگاه هرمزگان، دانشکده علوم و فنون دریایی، کد پستی: ۷۹۱۶۱۹۳۱۴۵
صندوق پستی: ۳۹۹۵

چکیده

امروزه با توجه به رو به کاهش بودن منابع انرژی فسیلی و هم چنین افزایش سطح آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف این نوع سوخت، کشف و بهره برداری از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر از جمله انرژی‌های دریایی امری حیاتی است. در همین راستا استحصال انرژی از امواج دریا به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و روش‌های متفاوتی برای استحصال این انرژی بررسی و به مرحله اجرا گذاشته شده که استفاده از موج شکن SSG یکی از این روش‌ها می‌باشد. نواحی ساحلی و بنادر به دلیل قابلیت‌های اقتصادی، استراتژیک و گردشگری تعریف شده برای آنها جزو مناطق پرمصرف از لحاظ انرژی الکتریکی می‌باشند. بنابراین، بررسی قابلیتهای سازه مبدل انرژی SSG و امکان سنجی فنی و اقتصادی آن در نواحی ساحلی و بنادر مختلف می‌تواند بسیار مفید و راه‌گشای مشکلات انرژی در این نواحی باشد. در این تحقیق با توجه به کارهای گذشته، به صورت مروری به تحلیل و بررسی عوامل محیطی برای بازدهی بهتر دستگاه SSG پرداخته شده است. نتایج نشان داد که عواملی همچون ارتفاع موج و عمق منطقه و جزرومد شرایط اصلی برای نصب و طراحی این دستگاه می‌باشند که با بررسی تاثیرات این عوامل بر سیستم SSG در مناطق ساحلی نوع سازه و تعداد مخازن دستگاه را طراحی کرد. بنابراین می‌توان گفت که عمق بیش از ۱۵ متر و ارتفاع موج بیش از ۲ متر بهترین شرایط برای نصب دستگاه در منطقه می‌باشد. در همین راستا تحقیقات نشان می‌دهد که نصب این سیستم در سواحل خلیج فارس مقرون به صرفه نمی‌باشد. در سواحل دریای خزر مطالعاتی در این زمینه وجود ندارد اما با توجه به داده‌های موجود بررسی امکان سنجی نصب سیستم SSG در این سواحل بنظر مفید می‌رسد.

کلیدواژگان: موج شکن SSG، مبدل انرژی، امواج روگذر، کارایی هیدرولیکی، کارایی مخزن

A brief overview on the structure of SSG wave energy convertors and their optimum operation conditions

Seied Hossein Hassantabar[1], Fouad Salimi[2], Maryam Rahbani[3*]

1- Department of Marin Science and Technology, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran
2- Engineering Department, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran
3- Department of Marin Science and Technology, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran
* Corresponding author. Department of Marine science and technology, University of Hormozgan, 9th km of Minab Road, Bandar Abbas, Iran.
Post box: 3995

Abstract

Considering limit supply of fossil energy, and also their role in the increment of environmental pollution, the use of green energies are significantly increasing. Ocean waves are one of those proper resources for producing energy. There are different approaches to extract energy from the ocean waves. One of these approaches is named as SSG wave energy convertor, in which is a combination of a breakwater and energy convertor. Coastal areas are among the most significant part in every country. This is due to its economical, recreational, and political significance. Coastal areas also usually demand more energy in compare with the other places in a country. Employing renewable energies in these area can be a

solution to this demand. SSG wave energy convertor is a new approach to gain energy form the wave and also protect the coastal area. This system is usually incorporate with a breakwater in a coastal area, so it can collect up-level water brought to the coast by wave and convert them to electrical energy. It is shown in this research that the height of wave, depth of installation area, and tidal domain are the most significant parameters in the performance of SSG wave energy convertor. It is also declared that, according to literature, this system is not applicable to the coastal area of Persian Gulf. It is however mentioned that, for the applicability of SSG system in coastal area of Caspian Sea, no research has been carried out so far.

Keywords: SSG wave energy convertor, sea surface wave, hydraulic efficiency, tanks.

۱- مقدمه

استحصال انرژی‌های نو و تجدیدپذیر خصوصا از دریا در جهان موضوع نسبتا جدیدی است. با توجه به نوین بودن فن آوری انرژی‌های تجدیدپذیر، تحقیق و بررسی در مورد این سامانه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است، به طوری که مسئله تحقیقات جزء لاینفک سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر بوده و تنها راه غلبه بر موانع توسعه و ترویج این نوع از انرژی، ایجاد زمینه‌های توسعه تحقیقات، انتقال فن‌آوری و نوسازی فن‌آوری‌ها است. این منابع انرژی نسبت به سوخت‌های فسیلی از چند جهت برتری دارند که از میان آنها به سه مورد اشاره کرد: اول اینکه منابع این انرژی بی پایان هستند، دوم این نوع انرژی‌ها پاک هستند و لذا آلودگی وارد محیط زیست نمی‌کنند و سوم اینکه این انرژی‌ها از نظر اقتصادی در دراز مدت به صرفه هستند [۱]. مهمترین دسته‌های این انرژی‌ها شامل انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی و انرژی‌های اقیانوسی هستند.

از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی‌های دریایی از پاکترین و پرظرفیت‌ترین انرژی‌ها به شمار می‌روند و لذا کشورهای پیشرفته دنیا برنامه‌های جامعی برای استحصال انرژی از دریاها و اقیانوس‌ها دارند. انرژی امواج، یکی از انرژی‌های قابل استحصال از دریا می‌باشد. بخش عمده‌ای از امواج دریا در اثر انتقال انرژی از باد به آب بوجود می‌آید. شدت این انتقال انرژی به سرعت باد و طول مسافتی که در آن باد با سطح آب در تماس بوده و نیز مدت زمان وزش باد بستگی دارد [۲]. انرژی کل در یک موج، متشکل از دو نوع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی آب می‌باشد. بررسی این انرژی در تعیین چگونگی تغییر و تبدیل امواج در حین انتشار به سمت ساحل در طراحی‌های انرژی موج دارای اهمیت است که مقدار آن در واحد طول موج به صورت زیر محاسبه می‌شود [۳].

$$E = \frac{1}{8}\rho g H^2 \qquad (۱)$$

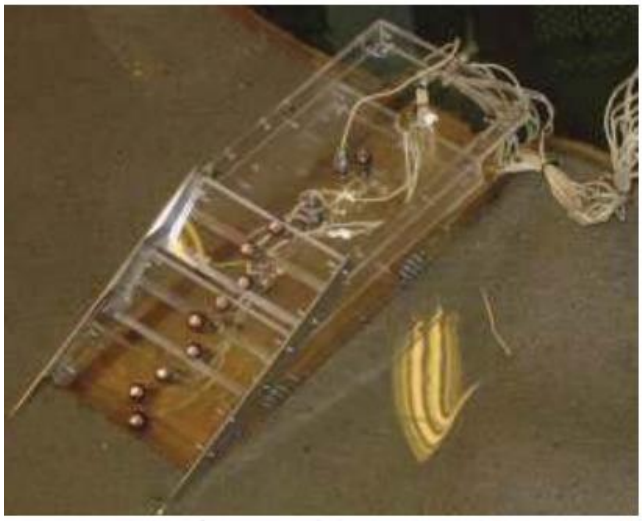
در بررسی انرژی امواج علاوه بر بررسی امکان سنجی انرژی موج در مناطق مختلف، بررسی دستگاه‌های استحصال و شرایط عملکرد آنها بسیار حائز اهمیت است. بحث طراحی سیستم‌های جاذب انرژی امواج یکی از مهمترین مباحث چالش برانگیز مهندسی در عرصه انرژی‌های تجدید پذیر در چند دهه گذشته بوده است. این تکنولوژی‌ها همواره مورد بهینه‌سازی قرار می‌گیرند تا هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری و تولید انرژی را کاهش دهند. این دستگاه‌ها با توجه به روش استحصال انرژی موج معمولا بر پنج گروه تقسیم می‌شوند که این گروه‌ها شامل روش تجمیع امواج و بالاروی موج بر یک سطح شیبدار، روش ستون نوسانگر آب، روش نوسان سرج، روش نوسان هیو بویه و روش تضعیف انرژی موج می‌باشند. نوع سیستم عملکردی هر مبدل انرژی براساس مشخصات غالب موج هر منطقه، شرایط محیطی دریایی و موقعیت نصب تعیین می‌گردد. بنابراین بررسی شرایط منطقه برای افزایش بازدهی دستگاه‌ها بسیار حائز اهمیت است [۴].

عمده تحقیقات انجام شده در زمینه انرژی، در راستای بررسی و امکان سنجی استحصال انرژی در سواحل مختلف و به وسیله دستگاه‌های مختلف است. این در حالیست که بررسی شرایط لازم برای بالا بردن بازدهی دستگاه‌های مبدل انرژی، از اهمیت بیشتری برخوردار است و این موضوعی است که در تحقیقات پیشین به ندرت به آن پرداخته شده است. و هدفی است که این تحقیق به دنبال آن است. بدین منظور دستگاه SSG انتخاب شده و شرایط استحصال انرژی از آن با توجه به مقالات پیشین بررسی شده است. در این مقاله با تکیه بر اهمیت شرایط منطقه و مرور نتایج مقالات پیشین به بررسی عملکرد دستگاه SSG و شرایط مناسب منطقه برای استحصال انرژی بیشتر پرداخته شده‌است.

۲- معرفی سیستم SSG

همانطور که گفته شد یکی از انواع روش استحصال انرژی موج، روش تجمیع امواج و بالا روی موج بر یک سطح شیبدار است. در این روش، امواج پس از برخورد به ساحل بر روی شیب ملایم ساحل بالا آمده و در مخازن و یا حوضچه‌هایی متراکم می‌شوند که می‌توان از این تجمیع حجم آب برای چرخش توربین‌های تولید انرژی الکتریکی استفاده کرد. دستگاه‌های مربوط به این روش نیاز به یک سازه شیبدار دارند تا بر روی آنها سوار شود. در همین راستا سازه‌هایی همچون موجشکن میتوانند طوری طراحی شوند که دستگاه‌ها جزئی از این سازه بوده تا بدین ترتیب علاوه بر کاهش هزینه ساخت و ساز بتوان از انرژی ناشی از امواج نیز استفاده کرد [۵]. این نحوه نگرش، ایده اولیه ساخت نیروگاه‌های SSG بوده است.

موج شکن SSG نوعی مبدل انرژی امواج دریا به انرژی الکتریکی است که توسط شرکت WAVE Energy درشهر استاوانگر، متعلق به کشور نروژ در سال ۲۰۰۳ پایه‌گذاری شد و مطالعات و اقدامات لازم جهت ساخت نمونه‌ی آزمایشی این سازه در سال ۲۰۰۴ شروع شد که هزینه‌ی آن توسط کمیسیون انرژی اتحادیه اروپا[2]تامین گردید. تصویر نمونه آزمایشگاهی آن در دانشگاه آلبورگ در شکل۱ مشاهده می‌شود [۶].

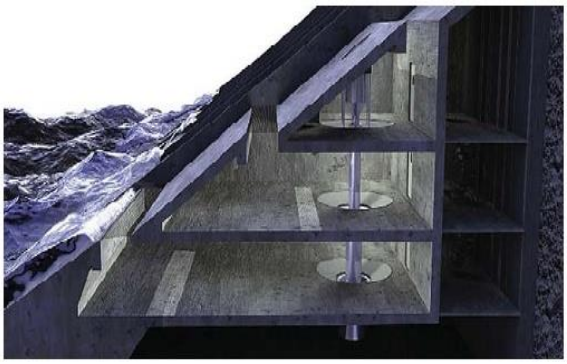


شکل ۱ تصویر نمونه آزمایشگاهی دستگاه SSG [۶]

موج شکن SSG براساس اصل روگذری موج عمل می‌نماید. دستگاه SSG متشکل از چند مخزن است که با استفاده از آبراهه‌های قائم و توربین‌های موجود به یکدیگر متصل شده‌اند و در محل خروجی، هر مخزن دارای یک توربین است که تمامی این توربین‌ها توسط یک محور به یکدیگر متصل

1. Seawave Slot-cone Generator
2EU FP

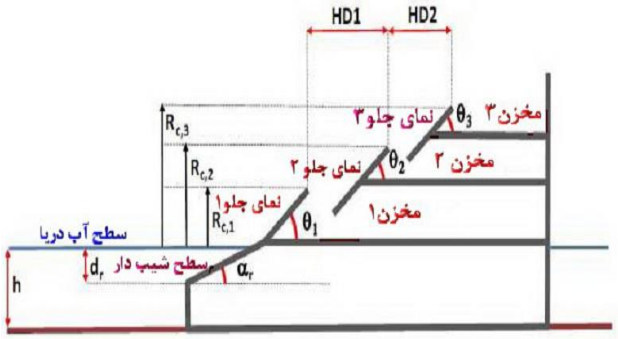
هستند [۷]. تراز قرارگیری این مخازن بایستی به نحوی باشد که همگی بالاتر از سطح آب دریا قرار می‌گیرند. موج‌های برخوردی به این سازه در هنگام بالاروی از سطح شیب دار جلوی سازه، وارد مخازن آن شده و از طریق آبراه مشترک به سمت مکانی با انرژی پتانسیل گرانشی کمتر که همان تراز سطح دریاست حرکت کرده و دوباره به دریا تخلیه می‌شوند. پره‌های توربین در اثر برخورد با آب تخلیه درحال تخلیه به حرکت در می‌آیند و این انرژی مکانیکی تولید شده توسط یک ژنراتور قابل تبدیل به انرژی الکتریسیته است. از آنجاییکه سیستم با سطوح مختلفی نسبت به سطح تراز آب طراحی شده است، توربین‌های موجود در این سیستم قادر هستند در یک چرخش توربین از تمام سطوح مختلف طراحی شده استفاده کنند. (شکل ۲)



شکل ۲ مبدل انرژی موج SSG با توربین چند مرحله‌ای [۷]

نحوه‌ی عملکرد این نوع از سازه به این صورت است که امواج روگذر پس از ورود به داخل مخازن موج شکن در داخل آنها به دام افتاده و در هنگام تخلیه از کانال مشترکی که همه این مخازن به آن متصل است، پره‌های توربینی که در محل خروج هر یک از مخازن قرار دارد را به چرخش در می‌آورند. این پره‌ها باعث چرخش محوری قائم که متصل به یک ژنراتور است، می‌گردند و از این طریق انرژی مکانیکی لازم جهت عملکرد ژنراتور را فراهم می‌کنند. پیکربندی کلی موج شکن SSG در شکل۳ نمایش داده شده است [۸].

نحوه‌ی اجرای این نوع سازه مانند موج شکن‌های بتنی کیسونی است که یا به صورت پیش ساخته در محل قرار می‌گیرند و یا در جا ساخته می‌شوند[۹]. در پشت سازه دهانه‌هایی جهت خروج هوای درون مخازن قرار داده می‌شود تا در هنگام ورود امواج هوای بدام افتاده داخل مخازن توانایی خروج از مخزن را داشته باشد و مانعی برای ورود آب ایجاد ننماید.



شکل ۳ شماتیک برای یک سازه SSG ۳ سطحی [۹]

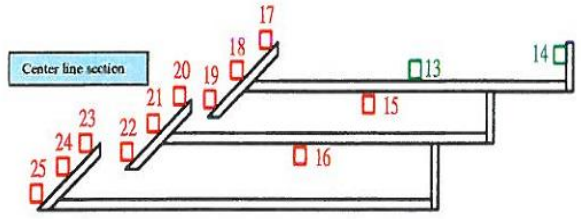
قسمتی از این نوع سازه که هنوز در حال توسعه بوده و بسیار مورد توجه محققین است بهینه سازی عملکرد توربین‌های سازه است [۱۱-۱۰]. به گونه‌ای که حتی اگر یک مخزن از چند مخزن سازه توانایی آبگیری داشته باشد میزان بهره‌وری به حداکثر میزان خود برسد.

۱-۲- روند طراحی سیستم SSG

فاز مطالعات و طراحی نمونه‌ی آزمایشی دستگاه SSG که در نروژ اجرا شد، سه سال به طول انجامید. این نمونه‌ی آزمایشی دارای عرض ۱۰ متر در امتداد ساحل، طول ۱۶متر و ارتفاع ۷ متر بود و همچنین دارای ۳ سطح متفاوت بوده است [۱۱]. شکل ۴ این نمونه‌ی آزمایشی و محل قرارگیری آن را نشان می‌دهد.

شکل ۴ نمونه آزمایشی SSG در جزیره کویتسفی در کشور نروژ [۱۱]

هدف از آزمایشها بر روی نمونه، بررسی دو بعدی و سه بعدی نیروهای وارد بر روی سازه جلوی موج شکن SSG بر اثر موج وارد شده بر آن بود. به همین منظور این مدل تحت بارگذاری امواج متفاوت قرار داده شد. گروهی از محققان تاثیر ارتفاع قرارگیری مخازن از سطح آب بر روی کارایی این موج شکن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود محققان فشار مربوط به موج را روی سطح کاکل دار از مخزن اول تا آخر مورد مطالعه قرار داده و ترازهای ارتفاعی و زوایای بهینه قرارگیری بخش‌های مختلف سازه را در قالب نمودارها و روابط مختلف عنوان نمودند[۱۱]. شکل ۵ سطوح مختلف آب در مخازن و دهانه و نیروهای وارده به دهانه مخازن نمایش داده شده است.



شکل ۵ شماتیک آزمون‌های فشار نیروهای موج بر روی سازه SSG [۱۱]

۳- شرایط مناسب جهت استفاده از سیستم SSG

پس از ساخت نمونه‌ی آزمایشی در شهر استاوانگر، مطالعاتی برای استفاده بهتر از این سازه در بندر هانس دولم[1](در دانمارک) و بندر گاریبلدی[2](در اورگان،۳ از ایالات متحده آمریکا) انجام گرفت [۸]. در این مطالعات که با هدف بهینه سازی سیستم و طراحی سازه مناسب جهت سوار کردن دستگاه‌ها صورت گرفت از آزمایشات مدل فیزیکی و شبیه سازی های عددی بهره گرفته شد. با توجه به اینکه SSG یک نوع مبدل انرژی است که به شیوه بالاروی موج از سطح شیبدار و امواج تجمعی کار می‌کند، میزان بالا روی آب به ارتفاع موج (توان موج) و مشخصات ساحل بستگی دارد. زمانیکه موج‌ها در نزدیکی موجشکن انرژی خود را از دست می‌دهند و می‌شکنند فورا مخازن چند مرحله‌ای آب را پر می‌کنند و توربین‌ها را به گردش در می‌آورند بنابراین بازده این نوع مبدل به مقدار آبی که وارد مخازن می‌شود، وابسته است. همچنین میزان اتلاف در سیستم نیز به نحوه قرارگیری سطوح دستگاه در مقایسه با ارتفاع امواج در منطقه مورد نظر بستگی دارد. برای مثال امواجی که ارتفاع آنها از سطح تراز دوم سیستم بلندتر است و به سطح تراز سوم سیستم نمی‌رسند با وجود اینکه در سطح دوم دستگاه ذخیره می‌شود، اما بخشی از انرژی پتانسیل خود را که بالاتر از این سطح بوده را از دست می‌دهند. علاوه براین، بیرون ریختن آب بیش از حد ظرفیت مخازن نیز باعث اتلاف بیشتر انرژی پتانسیل می‌شود. بنابراین تعداد مخازن و حجم مخازن در طراحی سیستم با توجه به شرایط منطقه بسیار مهم و ضروری است [۱۲].

جزرو مد در منطقه نیز درصورت عدم وجود مخازن کافی می‌تواند موجب اتلاف انرژی می‌شود. بنابراین برای رنج‌های جزرومدی بزرگ بهتر است امکان پذیری افزایش یک مخزن اضافی نیز از قبل بررسی شود، چرا که وجود جزر و مد باعث میشود که تراز سطح آب در زمانهای متفاوت شبانه روز متغیر بوده و ارتفاع موج برخوردی به دستگاه در طول شبانه روز تغییر کند. بنابراین حتی مناسب است در مناطقی که میزان بازه جزرومدی بسیار بزرگ است یک یا دو سطح مخزن به سطوح دستگاه افزوده شود [۱۲].

میزان انرژی قابل استحصال از این نوع مبدل انرژی با عمق متوسط آب دریا در محل نصب سازه رابطه‌ی مستقیم دارد. حمله‌ی رسوبات می‌تواند باعث کاهش کارایی سازه شود دین منظور عمق مناسبی برای طراحی و نصب این دستگاه باید در نظر گرفته شود. بنابراین یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در طراحی سامانه SSG، عمق آب در محل احداث سازه است که با رجوع به تحقیقات [۱۳] بایستی عمق آب حداقل ۱۵ متر درنظر گرفته شود. علاوه بر عمق، ارتفاع موج در منطقه نیز در تعیین محل نصب دستگاه بسیار اهمیت دارد. هندسه این سازه‌ها به گونه‌ای طراحی شده که حرکت بالارونده امواج را به حداکثر برساند تا به مخازن برسند. بنابراین اقلیم موج در منطقه بسیار مهم است و برای نصب این نوع سیستم منطقه‌ای مناسب است که بالاترین توان موج را دارا باشد.

۳- کاربرد در سواحل ایران

با توجه به اهمیت استفاده از انرژیهای نوین در عصر جدید، بررسی شرایط منطقه‌ای سواحل شمالی و جنوبی ایران جهت امکان سنجی سواحل به منظور نصب سیستمهای تولید انرژی و بطور خاص دستگاه مورد بررسی در این تحقیق میتواند حائز اهمیت باشد. در تحقیقی که در این زمینه در سواحل جنوبی ایران انجام شده است. مکان‌یابی نصب موج شکن SSG مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیق مذکور اولین معیاری که مدنظر قرار گرفته است عمق حداقلی ۱۵ متر در پای موج شکن است [۱۳]. بر اساس یافته‌های این تحقیق دو بندر عسلویه و شهید بهشتی در سواحل جنوبی ایران حائز شرایط اولیه نصب موج-شکن SSG هستند. اگر چه با توجه محاسبه میزان درصد توان امواج در شرایط بحرانی به حدود تنها ۳۰٪ بنظر میرسد که نصب این نوع موجشکن در سواحل جنوبی ایران کاربرد قابل توجیه ندارد. در سواحل شمالی ایران، گرچه تا کنون مطالعاتی در این زمینه انجام نشده است اما با توجه به وجود سواحل نسبتا عمیق (در اینجا اگر بتوانید یکی دو مثال از سواحل عمیق را بیاورید ترجیحا با ذکر مرجع) و نیز وجود امواج با ارتفاع نسبتا بالا (اینجا هم همینطور ترجیحا مثال با ذکر مرجع) امکان نصب این نوع موجشکن بیشتر است که بایستی مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد.

۴- جمع بندی

وجود شبکه سراسری برق و شبکه‌های گسترده گاز طبیعی و انتقال نفت از بزرگترین سرمایه‌های ملی کشور به حساب می‌آیند. بخش عمده‌ای از توسعه اقتصادی ملی و رفاه اجتماعی مدیون وجود چنین شبکه‌هایی است. در عین حال شبکه‌های طولانی علیرغم تمام محاسنی که دارند، به طور جدی آسیب‌پذیر هستند. وقوع سیل، زلزله، رانش زمین، بارش سنگین برف، طوفان، تهدیدات خصمانه و اشکالات فنی عناصری از فهرست طولانی عوامل تهدید کننده شبکه‌های گسترده به شمار می‌روند. این تهدیدها مختص کشورهای ضعیف نیست و کشورهایی که از نظر امنیتی، اقتصادی و فن آوری جزء پیشروترین کشورها هستند نیز در معرض آسیب‌دیدگی شبکه‌ها قرار دارند. آمارهای منتشر شده نشان می‌دهند توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر در مقایسه با نیروگاه های سنتی، فرصت‌های اشتغال بیشتری را ایجاد می‌کند. حتی تجربیات کشورهایی همچون آلمان که از سطح فن آوری بالایی بر خوردار هستند، این نظر را تایید می‌کند. به علاوه با توجه به ماهیت پراکندگی منابع تجدید شونده، در صورت احداث نیروگاه‌ها برای بهره‌گیری از این منابع، فن‌آوری‌های نوین به نقاط دورافتاده نیز انتقال خواهد یافت و باعث خواهد شد سطح دانش و فن آوری در نقاط دور افتاده ارتقاء یابد .

سازه‌های SSG نوعی مبدل انرژی امواج است که براساس اصل روگذر امواج عمل می‌کند. این سازه‌ها هم زمان با ایفای نقشی موج شکن می‌تواند به عنوان مبدل انرژی قادر به تأمین برق مورد نیاز مناطق اطراف خود باشد. همچنین به دلیل نزدیکی این سازه با ساحل نیاز به کابل‌های بلند زیر آبی برای انتقال انرژی تولیدی نیست. به علاوه از آنجاییکه خروجی توربین‌ها در پشت این سیستم قرار دارد، آب خارج شده از توربین‌ها می‌تواند دوباره در داخل بنادر جریان یابد. بنابراین سازه‌های SSG دارای بازده زیاد و هزینه نسبتا کم می‌باشد. در این تحقیق شرایط بهینه سواحل برای نصب دستگاهSSG مورد بررسی قرار گرفت. در مناطقی با سطوح بالای آب مانند مناطقی با دامنه جزرو مدی بالا باید به امکان اضافه کردن مخزن دیگر به دستگاه توجه کرد. همچنین مشخص شد که عمق آب و ارتفاع موج در منطقه از عوامل اصلی در جهت بالا بردن کارایی دستگاه است. در طراحی محل نصب دستگاه، وجود عمق ۱۵ متری به منظور جلوگیری از نهشت رسوبات و توان بالای موج به منظور بالاروی موج از سطوح شیبدار بسیار حائز اهمیت است.

1. Hanstholm
2. Garibaldi

بنابراین به طور کلی می‌توان سه عامل: عمق منطقه‌ای که دستگاه نصب می‌شود، ارتفاع موج منطقه، و تراز جزرومدی منطقه را از عوامل مهم و تاثیرگزار بر میزان استحصال انرژی دانست. به طوریکه ارتفاع موج بیش از دو متر و افزودن مخزن در مناطق دارای جزرومد بالا، بهترین شرایط را برای افزایش بازدهی دستگاه ایجاد میکند. در همین راستا می‌توان گفت که در سواحلی همچون سواحل جنوبی ایران که توان موج پایین است امکان استفاده از این سیستم وجود ندارد.

۵- مرجع

[۱] ا. منصور بهمنی، *بررسی انرژی امواج در سواحل ایرانی دریای عمان با استفاده از مدل SWAN*، دانشکده علوم دریایی دانشگاه هرمزگان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۰.

[۲] س. شیرین منش، و و. چگینی، برآورد انرژی قابل استحصال از جزرومد در خلیج چابهار، *نشریه علومزمین*، سال ۲۴، شماره ۹۳، پاییز ۹۳.

[۳] ا. دردی زاده بصیرآبادی، *بررسی انرژی امواج در بندر امیرآباد دریای خزر با استفاده از مدل SWAN*، دانشکده علوم دریایی دانشگاه هرمزگان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۱.

[۴] ح. بیگدلو، *مطالعه پتانسیل تولید انرژی الکتریکی از جزرومد در خلیج فارس و دریای عمان*، *دانشکده فنی دانشگاه تهران*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۲.

[۵] M. W. Fousert, *Floating Breakwater Theoretical Study of a Dynamic Wave Attenua'ting System*, Faculty of Civil Engineering Delft University of Technology, the Master Thesis, 2006.

[۶] D. Vicinanza, L. Margheritini, J. P. Kofoed, M. Buccino, The SSG Wave Energy Converter: Performance Status and Recent Developments, *Energies*, 5, pp. 193-226, 2012.

[۷] J. P. Kofoed, Model Testing of the Wave Energy Converter Sea Wave Slot-Cone Generator, Hydraulics and Costal Engineering, No.18, pp. 7-19, 2005.

[۸] S. K. Chakrabarti, *Offshore structure analysis*, Handbook of Offshore Engineering, *Elsevier*, 2005.

[9] L. Margheritini, D.Vicinanza, P. Frigaard, SSG wave energy converter: Design, Reliability and Hydraulic Performance of an Innovative Overtopping Device, *Elsevier*,Vol. 34, No. 5, pp. 1371-1380, 2009.

[10] B. Zanuttigh, W. Van der Meer, Wave Reflection from Coastal Structures in Design Condition, *Coastal Engineering*, 55(10), pp. 771-779, 2008.

[11] Z. Liu, P. Frigaard, *Generation and Analysis of Random Waves*, First Edittion, Aalborg University, 1999.

[12] L. Margheritini, *towards Commercialization of the Sea Wave Slot-Cone Generator (SSG) Overtopping Wave Energy Converter*, DCE Thesis, Civil Engineering of Aalborg University Department, 2009.

[13] F. Salimi, M. Rahbani, B. Mohammad, Feasibility assessment for installing Sea-wave Slot-cone Generator breakwater in the Iranian coasts of Persian Gulf and oman Sea. *Energy and Enviroment,* Vol. 29, No. 1, 2017