«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»
سال اول، شماره ۱، پاییز ۱۳۹۹، صفحه ۲۱ الی ۳۲

علمی – تخصصی

موج‌شکن‌های نسل جدید، معرفی موج‌شکن‌های دوستدار محیط زیست- موج‌شکن‌های سازگار با محیط زیست

حسین قربانی‌نیگجه[1*]

دانشگاه تهران

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۵، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸)

چکیده

بر خلاف دهه‌های قبلی که توسعه دانش در حوزه موج‌شکن‌ها در زمینه تدقیق فرمول‌های طراحی و توسعه اجزاء در جهت افزایش مقاومت و بهبود رفتار بوده است، پیشرفت‌های اخیر در حوزه سازه‌های ساحلی عمدتاً در حوزه استفاده از تکنولوژی‌های نوین برای طراحی و ساخت موج‌شکن‌های سازگار با محیط‌زیست و دوست‌دار محیط‌زیست می‌باشد. در این حوزه عمده تلاش‌ها بر دو محور، تولید انرژی پاک و ایجاد فضای مناسب زیستی برای موجودات دریایی می‌باشد که در این مقاله سعی شده است تعدادی از این طرح‌های اجرا شده، جهت آشنایی کلی، معرفی گردند. ایده خلاقانه تولید انرژی الکتریکی با استفاده از تغییراتی در موج‌شکن‌ها، اگرچه در حال حاضر منجر به ظرفیت و بازده تولید کمی شده است، ولی پیش‌بینی می‌شود که پیشرفت‌های فن‌آورانه در آینده به میزان قابل‌توجهی ظرفیت و بازدهی را بالا خواهد برد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که در این زمینه‌ها کار جدی در ایران صورت نپذیرفته است دراین مقاله پیشنهاداتی برای ایجاد پایگاه و ایستگاه مطالعاتی در راستای امکان استفاده از این ثروت پاک در آینده، ارائه شده است.

کلید واژه‌ها: موج‌شکن های نوین، دوست‌دار محیط زیست ، سازگار با محیط زیست ، انرژی موج

۱. مقدمه

فن‌آوری ساخت سازه‌های دریایی، برای امکان استفاده از حمل و نقل دریایی، از هزاران سال پیش وجود داشته است و مستحدثات مربوطه، زیرساختی راهبردی برای کشورهای مختلف بوده است. اگر واقع بین باشیم، زیرساخت‌های دنیای امروز همگی ماحصل ماجراجویی‌ها و غارتگری‌های کشورهایی هستند که در این حوزه پیشرو بوده‌اند، بریتانیا، اسپانیا، هلند، فرانسه، ایتالیا و پرتقال، همگی استعمارگرانی هستند که به‌واسطه ناوگان دریایی خود امکان غارتگری آفریقا، هندوستان، برمه، ویتنام، آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی را داشته و ثروت امروز این کشورها ماحصل اقدامات جسورانه این کشورها در حوزه دریا بوده است. در آسیای جنوب شرقی نیز توسعه چین و ژاپن و کره جنوبی همگی در بخش دریایی ایجاد شده است. از این رو سازه‌های دریایی به‌عنوان شالوده ثروت امروزی کشورهای پیشرفته، جزء لاینفک تفکرات راهبردی این کشورها بوده و بالطبع از سالیان دور دراین حوزه فعال بوده‌اند. ساده‌ترین ساخت و سازهای دریایی، موج شکن، اسکله، فانوس دریایی و بارانداز است. اولین الزام ساخت و ساز بنادر در دریاها و اقیانوس‌ها، ایجاد فضای امن بوده است که در سالیان دور در نقاط طبیعی ایجاد می‌شده است و در ادامه با کسب تجربه و توسعه نیازهای تجاری، به سمت ایجاد موج‌شکن‌ها توسعه پیدا کرده است. قدیمی‌ترین موج‌شکن‌ها، موج‌شکن‌های توده سنگی است که تقریباً در تمامی کشورهای ساحلی یافت می‌شوند در این موج‌شکن‌ها با استفاده از مصالح سنگی کوچک، هسته موج‌شکن ساخته شده و با استفاده از وزن سنگ‌های سنگین (آرمور) در مقابل امواج پایداری سازه را حفظ می‌کنند، لایه مغزه حکم فونداسیون و لایه فیلتر به‌عنوان مصالح میانی مانع خروجی مغزه از لابه‌لای آرمور می‌شود. فلسفه این موج‌شکن‌ها، شکست امواج در میان حفره‌های سنگ‌های بزرگ بوده و بدیهی است مطابق

[1] نویسنده پاسخگو: hos_gho@yahoo.com

عملکرد فیزیکی این سنگ‌ها بخشی از امواج نیز منعکس می‌شوند. با توسعه تکنولوژی در جاهایی که امکان تأمین سنگ وجود نداشت، موج‌شکن‌های توده سنگی با آرمور بتنی توسعه پیدا کرده که دارای دو ویژگی مهم بودند، اول اینکه در جاهایی که امکان تأمین سنگ مناسب وجود نداشت، لایه آرمور مصنوعی ایجاد می‌شد، دوم اینکه جاهایی که ابعاد محاسباتی سنگ‌های مورد نیاز لایه آرمور به‌گونه‌ای باشدکه امکان استخراج چنین سنگ‌هایی از معدن وجود نداشته باشد، می‌توان با آرمور بتنی این سازه‌های سنگین را ایجاد کرد، ضمن اینکه توسعه آرمورهای بتنی و ایجاد شکل‌های جدید با قفل و بست بیش‌تر موجب پایداری بیش‌تر این سازه‌ها شده و عملاً با بالابردن ضریب پایداری (گاهاً تا ۸ برابر موج‌شکن توده سنگی) باعث کاهش وزن جدی موج‌شکن می‌گردد. در توسعه‌های بعدی استفاده از کیسون‌ها و موج‌شکن‌های دیواره‌ای در برخی نقاط رواج یافت و انواع و اقسام موج‌شکن‌های خاص توسعه یافت که می‌توان به‌عنوان مثال به موج‌شکن‌های کیسونی ساده و موج‌شکن‌های دایره‌ای شیت پایلی اشاره نمود. آنچه که در قرن اخیر به آن توجه ویژه شده است، شعارهای انرژی پاک، حفظ محیط‌زیست، سازگاری با محیط‌زیست و توسعه پایدار می‌باشد. بر اساس این تفکر، نوآوری‌های مختلفی در این حوزه انجام شده است که چند نمونه از این نوآوری‌ها معرفی می‌گردند. اساس این نوآوری‌ها عملاً بر محور تولید انرژی پاک یا ایجاد فضای بهتر زیست‌محیطی بنا شده است. یکی از مهم‌ترین مشکلات در ساخت و سازهای ساحلی این است که ساخت این موج‌شکن‌ها اثرات زیست‌محیطی فراوانی به همراه خود دارند، سازه‌های ساحلی که این اثرات را به حداقل رساند و حتی بتواند اثرات مثبت زیست‌محیطی داشته باشد را سازه‌های ساحلی دوست‌دار محیط‌زیست و به‌صورت خاص در مورد موج‌شکن‌ها، موج‌شکن‌های دوست‌دار محیط‌زیست گویند. در حال حاضر موج‌شکن‌های دوست‌دار محیط‌زیست، شامل سازه‌هایی است که جهت تولید انرژی پاک و ایجاد پوشش سبز از آن‌ها در برخی مناطق استفاده شده است. همچنین به سازه‌های حفاظتی در مقابل امواج که امکان زیست مجدد میکرو ارگانیسم‌ها و موجودات دریایی، بویژه حیات پایه دریایی را تا حد امکان فراهم نمایند، موج‌شکن سازگار با محیط‌زیست می‌گویند.

تحقیقات زیادی در دنیا در این زمینه انجام شده است، اولین نمونه موج‌شکن کیسونی دوست دار محیط زیست در دریای ژاپن و مطابق مطالعات تاکاهاشی در بندر ساکاتا در سال ۱۹۹۲ با ظرفیت ۶۰ کیلووات نصب شده است [۱].

ایستگاه مطالعاتی دیگری در سال ۱۹۹۱ در موج‌شکن ویژینجام در هند طبق مطالعات راجو و نیلامانی با ظرفیت ۱۶۰ کیلووات ساخته شده است [۲].

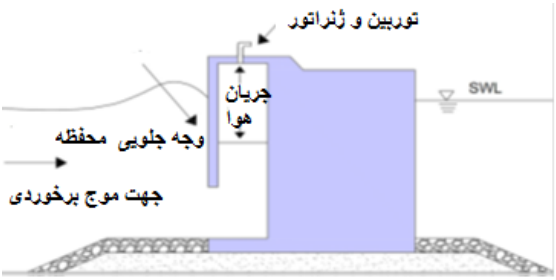
اولین تلاش موفق در اروپا در سال ۲۰۰۸ در بندر ماتریکوی اسپانیا توسط توره - انکیزو [۳و۴] و سپس ۲۰۱۲ در بندر ویاچنزای ایتالیا توسط آرنا [۵ و۶] صورت گرفته است. هر چند قبل از آن تلاش‌های دیگری در سال ۲۰۰۲ در جزیره ایسلای اسکاتلند توسط بوآکینو [۷] انجام شده است و همچنین مطالعات دیگری روی سیستم نصب‌شده در جزیره پیکو در منطقه آزورس آرچیپلاژو توسط نئومان [۸] در سال ۲۰۱۱ در کشور پرتقال صورت پذیرفته و در ادامه مطالعات مربوط به معروف اوبرک توسط ویاچنزا در ناپل ایتالیا در سال ۲۰۱۵ صورت گرفته است [۹].

۲. استفاده از موج شکن جهت تولید انرژی پاک

مطابق مطالعات ویسینانزا، از بین تمام منابع تولید انرژی پاک، امواج اقیانوس امن‌ترین، پاکترین، قابل پیش‌بینی‌ترین و بی‌پایان‌ترین منبع می‌باشد [۱۰و۱۱] اولین تلاش در این حوزه در سال ۱۷۹۹ توسط یک پدر و پسر به نام جیرارد ثبت شده است؛ آن‌ها از انرژی موج جهت راه اندازی آسیاب و همین‌طور ایجاد نیروی محرکه برای تلمبه و پمپ آب استفاده کردند [۱۲] و پس از آن تا کنون بیش از ۱۰۰۰ اختراع در این حوزه ثبت شده است ولی علیرغم این تعداد ثبت اختراع فقط ۲۰۰ مورد از این طرح‌ها فارغ از موفقیت و یا شکست به مرحله آزمایش مدل رسیده‌اند. این دستگاه‌ها به اختصار (WEC - Wave Energy Convertor) نامیده می‌شوند. البته همان‌طور که مستحضرید در شرایط فعلی در عمده جاها مشکل WEC هزینه بالای تولید برق در مقایسه با تولید برق فسیلی است. در جهت اقتصادی کردن این طرح، تلاش‌های فراوانی انجام شده است که عمدتاً در حوزه افزایش کارایی و بهره‌وری و با استفاده از فناوری‌های جدید بوده است. یکی از این روش‌های کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری، ادغام این سیستم در سیستم دیگر نظیر موج‌شکن و اسکله است. به عبارت دیگر بهترین محل استفاده از WEC، جایی است که بتوان همزمان به‌عنوان اسکله، موج‌شکن و تولید انرژی از آن استفاده کرد.

۳. موج‌شکن‌های مبتنی بر ستون موج EC_OWC

تقریباً همه موج‌شکن‌های دوستدار محیط زیست که در شرایط واقعی اقیانوس آزمایش شده‌اند، از نوع OWC[1] که ستون نوسانگر امواج می‌باشد. اگر چه این نوع موج‌شکن در سال ۱۹۴۰ ثبت شده است، ولی طی ۲۰ سال گذشته تعدادی از آن‌ها با موفقیت ایجاد و به بهره‌برداری رسیده است.



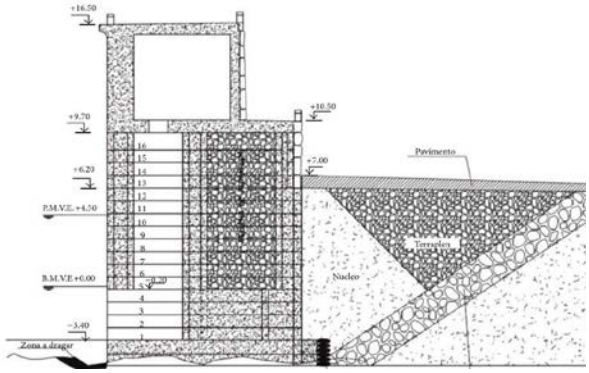
شکل (۱). موج شکن OWC-WEC

این فن‌آوری از یک محفظه مستغرق در آب دریا تشکیل شده است که زیر آن باز می‌باشد. به‌گونه‌ای که امواج بتوانند وارد جعبه شوند شکل(۱). در بالای این جعبه مجرای هوا مجهز به توربین هوا محفظه را به داخل متصل می‌کند و هوا در یک جریان دوطرفه به یک ژنراتور جهت تولید برق متصل می‌شود. این نوع WEC گسترده‌ترین و بزرگ‌ترین نوع مورد مطالعه قرار گرفته است.

در شکل(۲) یکی از موج‌شکن‌های (WEC_OWC) که در موتریکای اسپانیا ساخته شده است، نشان داده شده است [۱۵و۱۴و۱۳]. در این پروژه در سال ۲۰۰۸ نصب شده است، با احداث ۱۶ قطعه، جمعاً به‌طول ۱۰۰ متر، میزان ۳۰۰ کیلووات برق پایدار تولید می‌شود.

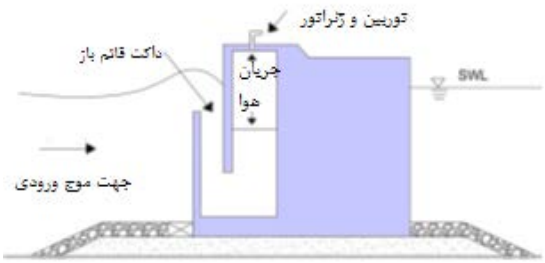
مزایانی اصلی این فناوری به شرح ذیل است :

سازه موج شکن کیسونی صلب است که تنها بخش متحرک آن ژنراتور است.آب دریا مستقیماً به توربین‌ها وارد نمی‌شود. بنابراین هرگز در معرض آب قرار نمی‌گیرند، که به‌طور قابل توجهی عمر تجهیزات افزیش می‌یابد.



شکل (۲). موج شکن OWC ساخته شده در موتریکای اسپانیا، عکس و مقطع عرضی

ابعاد کلی و هندسه‌های چنین سیستمی بسیار شبیه به یک موج شکن قایم سنتی هستند و بنابراین ترکیب ژنراتور با این سازه بسیار سازگار است. نوع توربین استراتژی شروع / توقف آسان را تضمین می‌کند

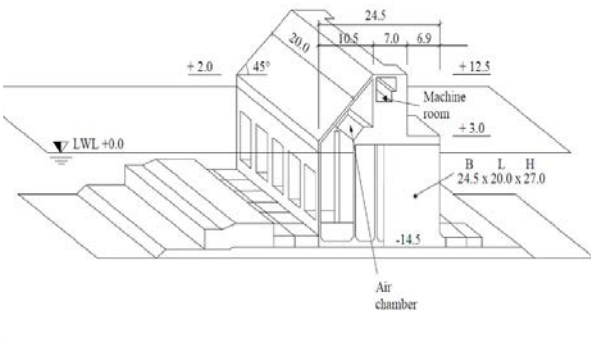


شکل (۳). موج شکن OWC اصلاح‌شده از ته باز به U شکل

[1]Oscillating Wave Column

در ادامه مسیر تحقیقات با توجه به اثر تشدید امواج جهت استفاده حداکثری از انرژی امواج، مدل اصلاح شده U شکل طراحی و مورد مطالعه قرار گرفت، (ارجاع به شکل(۳))که به‌ویژه در امواج کوتاه که بیش‌ترین سطح تولید انرژی پایدار را به عهده دارند، دارای بازده و کارایی بالاتری می‌باشد (۵۰ تا۱۰۰درصد).

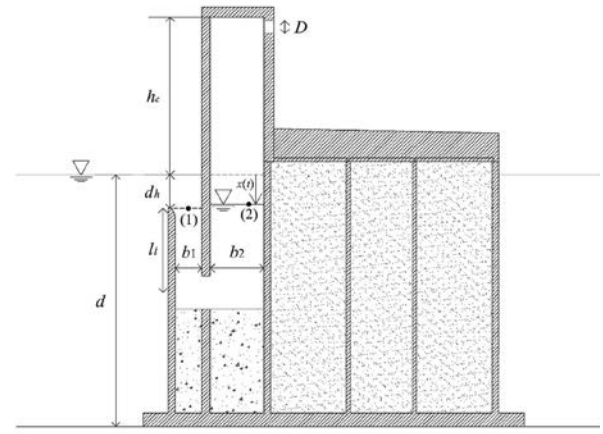
علت اصلی این موضوع ایجاد تغییرات شدید در فاز انرژی امواج با برخورد به دیواره‌های افقی و همین‌طور امکان ایجاد شرایط رزونانس در امواج کوتاه می‌باشد. همچنین مدل تغییر ساختار یافته ژاپنی مطابق شکل (۴) در بندر ساکاتا مورد استفاده قرار گرفته است. کیسون مربوطه به طول ۲۰ متر و با استفاده از یک ژنراتور ۶۰ کیلوواتی ساخته شد، ولی در عمل خروجی متوسط اخذ شده حدود ۱۶ کیلووات بوده است که بر این اساس تحقیقات وسیعی در حوزه بهینه‌سازی در ژاپن در دست انجام است. در شکل ۴ فلسفه کلی تفکر ژاپنی‌ها نشان داده شده است که فلسفه کلی عبارت است از مکش آب از روبرو به جای مکش از بالا و هدایت آب از طریق سطح شیبدار برای استفاده از انرژی امواج سنگین [۱۶]..



شکل (۴). موج شکن OWC اصلاح شده ژاپنی دارای حفره‌های متعدد روبرو ، و فضای شیبدار در مقابل موج است

با توجه به شرایط دریایی محل نصب، علاوه بر امکان تولید برق از امواج روزانه، سازه در مقابل موج طرح ۱۰۰ ساله مقاوم باشد که برای افزایش پایداری، از سطح شیبدار فوقانی استفاده شده است

(a)



d [m]	h_c [m]	b_2 [m]	b_3 [m]	d_h [m]	b_1 [m]	D [m]	l_i [m]
14.20	9.40	3.20	3.87	2.00	1.60	0.738	5

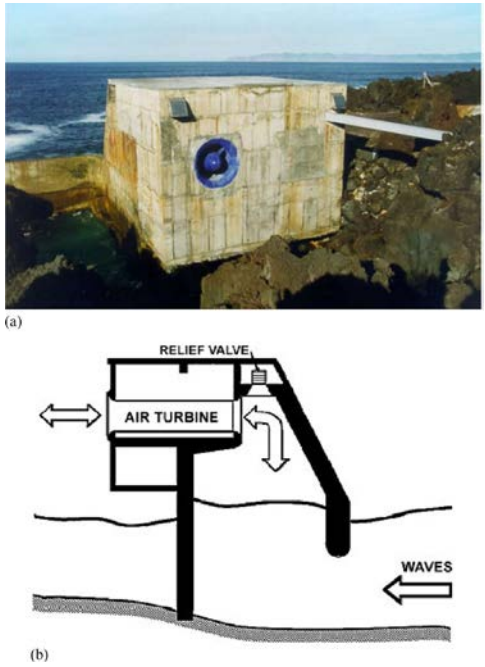
(b)

شکل(۵). موج شکن OWC با کیسون REWEC3 در بندر چیویتاویجیا در ایتالیا

در این زمینه یکی از بهترین مدل‌ها سیستم U-WEC تحت نام ReWEC3 می‌باشد که مطابق شکل(۵) توسعه یافته و در بندر چیویتاوچیا در ایتالیا استفاده شده است. این سیستم با استفاده از ۱۳۶ المان به طول کلی ۵۷۸ متر ساخته شده است و با تمامی تغییرات ایجاد شده در آن به میزان ۲۸۰۰ مگاوات ساعت در سال برق تولید می‌کند. این روش یک سیستم موفق در بازده مناسب از امواج دریا است که می‌تواند در آینده جزء گزینه‌های مطرح جهت بهینه‌سازی وتوسعه این تفکر باشد.[۵ و۶].

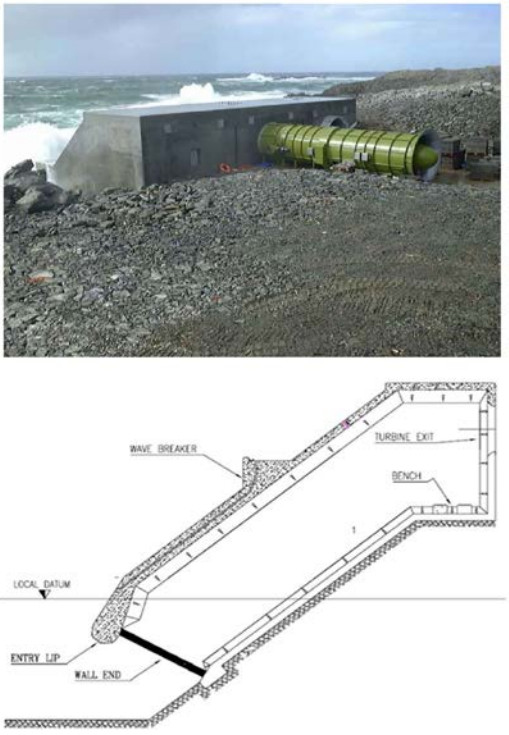
نمونه انگلیسی ساخته شده تحت عنوان LIMPET 500 در سال۲۰۰۰ در جزیره ایسلای در خط ساحلی اسکاتلند نصب‌شده و مورد مطالعه و بهره‌برداری قرار گرفته است شکل(۶)، این مدل

دارای تغییرات ساختاری و اساسی بوده است و همین‌طور که مشاهده می‌شود متشکل از یک سازه بتنی و توان تولید ۵۰۰ کیلووات برق در هر واحد را دارد، که حداقل ۵۰ درصد این توان به‌صورت پایدار تأمین می‌شود که ضریب بازده بسیار مناسبی است [۱۷] بستر شیبدار است که از میزان بالاروی امواج حداکثر استفاده را کرده است..



شکل(۶). موج شکن LIMPET 500

همچینن مدل بسیار ساده شده‌ای از این نوع در جزیره پیکو واقع در کشور پرتغال در سال ۲۰۰۸ نصب شده و مورد بهره‌برداری قرارگرفته است [۱۹و ۱۸]



شکل(۷). موج شکن OWC اصلاح شده پرتقالی

که مشکلاتی در حین بهره‌برداری در توربین آن ایجاد شد. این نمونه (۴۰۰ کیلووات) علیرغم سادگی دارای کارایی مناسبی بوده است. این سازه در طول زمان دارای مشکلات فراوانی بوده است ولی با این وجود تولید سالانه ۵۰ مگاوات ساعت برق در یک نمونه آزمایشی، مزیت غیرقابل‌انکاری است که باعث معطوف‌شدن سمت و سوی مطالعات در جهت بهبود ساختار این مدل می‌گردد[۲۲و۲۱و۲۰و ۸].

۴. OTD موج‌شکن (OverTopping Devices)

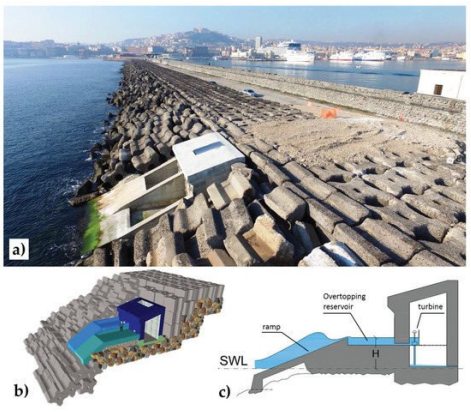
OTD[1]، به معنای ابزاری است که از سرریزی آب ناشی از امواج روی موج شکن استفاده می‌کند. فلسفه این نوع موج‌شکن بر این مبناست که آب با توجه به انرژی بالاروی موج به تراز بالاتری منتقل شود و از این تراز افزایش یافته برای تولید برق استفاده می‌شود. این نوع موج‌شکن از یک دریچه فلزی یک طرفه تشکیل شده است که در اثر فشار ناشی از امواج، آب را به تراز مخزن بالاتر از سطح آب دریا می‌رساند شکل (۸) و این پتانسیل موجود بین مخزن و سطح آب دریا می‌تواند باعث تولید انرژی شود[۲۴و۲۳].

شکل(۸). موج‌شکن OTD_SSG

یکی از انواع این موج‌شکن که فعالیت تحقیقاتی پژوهشی زیادی روی آن انجام شده است به موج‌شکن OBREC[2] معروف است [۲۵]، اشاره شده در شکل(۹).

شکل (۹): موج شکن OTD_OBREC

این موج شکن به‌صورت عملیاتی در ایتالیا در بندر ویاچنزار در ناپولی در سال ۲۰۱۵ به‌صورت یک قطعه آزمایشی نصب شده است مقدار برق تولیدی حدود ۲/۵ کیلووات بر متر طول می‌باشد که در مقایسه با مدل‌های SSG[3] راندمان بهتری دارد. شکل(۱۰) که نوعی ژنراتور تولید برق از امواج است). این موج‌شکن در سطح امواج کم ارتفاع دارای کارایی کمی می‌باشد. روی این مدل تحقیقات وسیع چندملیتی صورت پذیرفته است و تلاش‌های فراوانی در جهت بهینه‌سازی آن صورت می‌گیرد[۲۶و۹].



شکل(۱۰). موج شکن OTD_OBREC مورد استفاده در ناپولی

۵. موج‌شکن‌های سازگار با محیط زیست

محیط‌زیست حساس دریا با توجه به امنیت زنجیره غذایی، یکی از ارکان مهم است که باید در زمان ساخت سازه‌های ساحلی که معمولاً سازه‌های بزرگی می‌باشند، مورد مطالعه دقیق قرار بگیرد [۲۷] توسعه صنعتی، زیرساخت‌های عظیم جایگزین خطوط ساحلی می‌گردند که به شدت روی مسایل محیط زیستی این عرضه تأثیر می‌گذارد که اندازه‌گیری و فهم این موضوع نیازمند آزمایشات متعددی است تا بتوان تغییرات را درک کرد.

موضوع اصلی در این مطالعات حفظ تنوع زیستی در خط ساحلی، ضمن کمک به توسعه صنعتی است. بهترین منطقه از دیدگاه تنوع زیستی، صخره‌های سنگی طبیعی است که محققان تلاش کرده‌اند این الگو را برای بهسازی تغییرات ایجاد شده در خطوط ساحلی مدنظر قرار داده و بر این اساس برنامه‌های اصلاح ارائه دهند.

در سالیان اخیر در خصوص موج‌شکن‌ها و دیواره‌های ساحلی حفاظتی تحقیقات فراوانی شده است که با توجه به تجربیات و تغییرات ایجاد شده در شرایط زیستی- منطقه، طرح‌های بهبود باید مد نظر قرار گیرند [۲۸و۱۶].

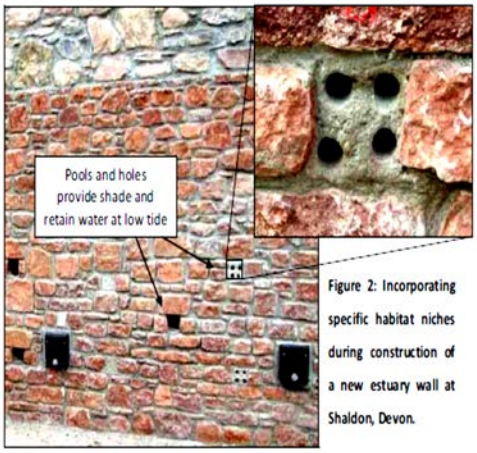
آژانس زیست‌محیطی انگلستان و دانشگاه اکستر مشترکاً توصیه‌هایی برای ایجاد تغییرات در سازه‌های سخت، ارائه داده‌اند، در این تعریف سازه‌های سخت، بیش‌تر به سازه‌های ساحلی که برای مقابله با فرسایش ساحلی نظیر سازه‌های سنگی و بتنی حفاظت ساحلی و موج شکن‌های بتنی سنگی اطلاق می‌شوند و این نوع سازه‌ها در مقایسه با سایر سازه‌ها نظیر چوب و فلز، پتانسیل بیش‌تری برای بهبود زیست‌محیطی دارند و بنابراین واژه سخت اطلاق شده در این بخش متفاوت از سختی مصالح تعریف شده در مقاومت مصالح می‌باشد. به هر حال سازه‌های مصنوعی

[1] Over Topping Devices
[2] Over Topping Breakwater for Energy Conversion
[3] The Sea-wave Slot-cone Generator

ساخته شده به دست بشر تنوع زیستی گیاهی و جانوری، بستر سنگی طبیعی دارند و از سمت دیگر ساخت سازه‌های ساحلی سخت برای ایجاد شرایط بهتر در زندگی و مقابله با شرایط امواج ویرانگر الزامی است.

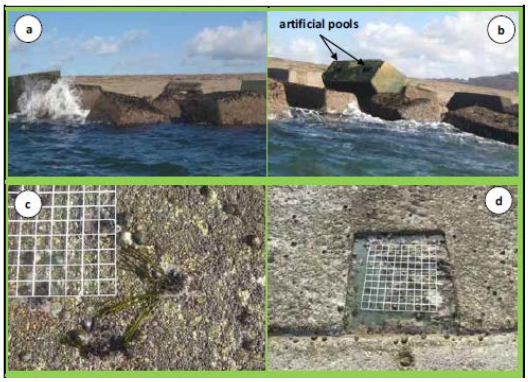
معمولاً سازه‌های سخت از نظر تنوع زیستی بسیار فقیر هستند، ضمن اینکه معمولاً با ایجاد تغییرات در رژیم رسوب نقش مؤثری در شرایط زیستی ایجاد می‌کنند.[۳۰و ۲۹].

الف– همان‌طوری‌که شکل(۱۱) نشان می‌دهد، ایجاد حفرات با شیب معکوس مانع برگشت آب به دریا شده و ضمن ایجاد فضاهای سایه، باعث نگهداشت مقدار کمی آب می‌شود. همچنین به طریق مشابه سعی در ایجاد فضاهایی با شیب معکوس در دیواره‌های کیسون و موج شکن و اسکله‌های بلوکی می‌گردد [۳۱].



شکل(۱۱). ایجاد حفره در سایه برای ایجاد پناهگاه برای گونه‌ای پایه زیست محیطی دریایی

ب- ایجاد حفره‌های ریز و درشت در سطح، جهت ایجاد یک سطح مضرس به نحوی که میکروارگانیسم‌ها در شرایط جزر و مدی اجازه زیست پیدا کنند، درست مشابه همان اتفاقی که در بستر سنگی ساحل طبیعی اتفاق می‌افتد. ارجاع شود به شکل(۱۲).



شکل(۱۲). ایجاد فضاهای متخلخل روی سطوح بتنی

ج- استفاده از سازه‌های سنگی مضرس یا ایجاد فضاهای مشابه این سنگ‌ها در قطعاًت بتنی و سایر المان‌های مصنوعی باعث مهاجرت برخی گونه‌ها به این نقطه می‌گردد. البته در خصوص نوع گونه‌ها و اثرات و تهدیدات آن مطالعه دقیق الزامی است؛ اشاره شده درشکل (۱۳).

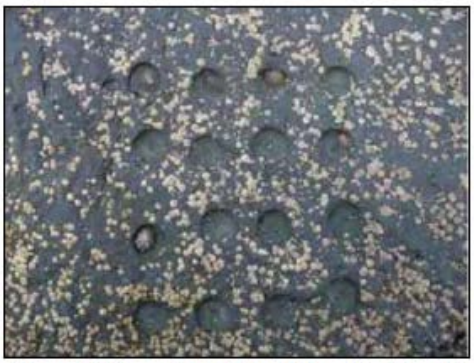
شکل(۱۳). ایجاد فضاهای متخلخل و استفاده ماز مصالح دارای تخلخل طبیعی

د- ایجاد حوضچه‌های کوچک جزرو مدی در دیواره‌ها یکی از مفیدترین توصیه‌ها، ایجاد فضاهای آبگیر مانند در دیواره سازه‌های قائم و یا حتی شیبدار است به نوعی که آب بتواند در هنگام جزر در آنجا باقی بماند و موجودات آبزی به حیات موقت خود در این بخش ادامه دهند؛ اشاره شده در شکل (۱۴). همچنین این فضاها نسبت به فضاهایی که در معرض تابش مستقیم خورشید قرار دارند برای آبزیان فضای مناسب‌تری است.

شکل (۱۴). ایجاد آبگیر جزر و مدی کوچک در جداره

ه- ایجاد حفره‌های کوچک رو ی سطوح بتنی فضاهای کوچک روی سطح بتن نیز فرصت‌زیست، برای موجودات ریز دریایی و تشکیل چرخه غذایی را ایجاد می‌کنند.

با تشکیل چرخه غذایی، عملاً عمده آبزیان دریایی که به‌دلیل ساخت و سازهای دریایی مجبور به ترک محل شده بودند، مجدداً در محل حضور یافته و زیستگاه طبیعی تا حدودی زیادی مشابه با وضعیت سابق احیا می‌گردد.



شکل شماره (۱۵). ایجاد حفره های کوچک روی سطوح بتنی

در همین راستا شرکت DMC، یک آرمور بتنی سازگار محیط زیست به بازار ارائه داده است که با ترکیب دانش جدید و تکنولوژی، شرایط بهتری ایجاد کرده است که این محصول اکوایکس بلاک نام دارد، در این آرمور بتنی جدید با توجه به توصیه‌های اکولوژیکی، سطوح متخلخل بتنی ایجاد شده است تا امکان ایجاد زیست جدید در این بخش ایجاد شود.

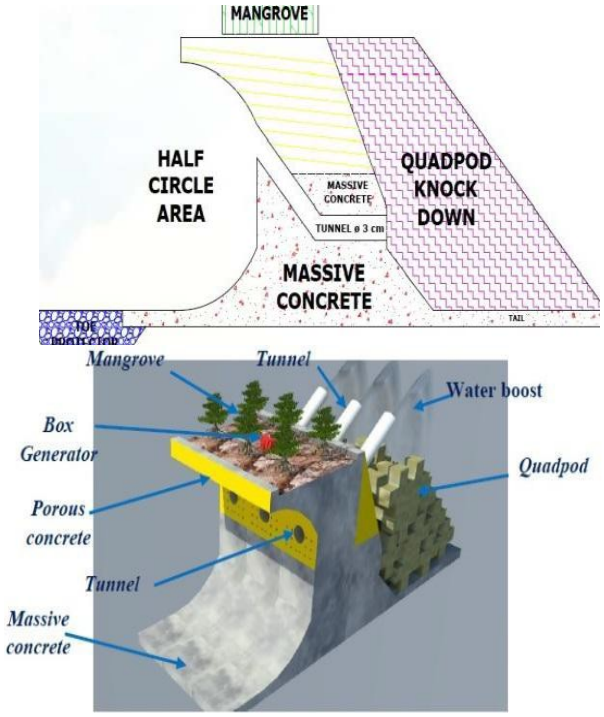
همان‌طوری‌که در شکل (۱۶) مشاهده می‌گردد، تغییرات اندکی در بدنه آرمور در مقایسه با نمونه‌های قبلی ایجاد شده است که موید عدم تحمیل هزینه‌های جدی در این حوزه است.

شکل (۱۶). اکوایکس لاک – آرمور سازگار با محیط زیست

همان‌طوری‌که در شکل مشاهده می‌گردد تغییرات اندکی در بدنه آرمور در مقایسه با نمونه های قبلی ایجاد شده است که موید عدم تحمیل هزینه های جدی در این حوزه است.

۶. موج‌شکن سازگار و دوست‌دار محیط زیست PELITA_A

با استفاده از دو فلسفه فکری شرح داده شده در مقاله، ایده ساخت موج‌شکنی که هم‌زمان دوست‌دار و سازگار محیط زیست باشد، برای حفاظت از جزایر اندونزی مطرح شده است [۳۲].



شکل(۱۶). موج شکن PELITA-A

در این سازه، ضمن حذف بخشی از بدنه موج‌شکن، فضای قوسی باعث تجمیع تمام انرژی دریافتی موج در حفره‌ها و انتقال انرژی امواج به الکتریسته شده است، ضمن اینکه آب خروجی از توربین‌ها به گونه ای طراحی شده است که بتواند فواره ایجاد کند که علاوه بر دو هدف مطرح شده، جاذبه‌های توریستی نیز خواهد داشت. همچنین استفاده از بتن متخلخل در بدنه فوقانی، و استفاده از پوشش گیاهی در بالای موج‌شکن، همگی در این طرح به‌عنوان یک تفکر طبیعی مطرح شده‌اند.میزان برق تولیدی این المان ۳۲ کیلووات ساعت می‌باشد که با توجه به نوع مصرف آن در جزایردورافتاده خروجی توان قابل قبولی می‌باشد و بدیهی است که این ظرفیت در آینده افزایش خواهد یافت.

۷. وضعیت فعلی ایران وجمع‌بندی

در سی ساله اخیر شتاب مناسبی جهت ساخت موج‌شکن‌ها در ایران، جهت بهره‌برداری بیش‌تر از پهنه دریایی وجود داشته است. و مهمتر اینکه تمامی این اقدامات توسط مهندسین داخلی طراحی و اجرا شده است و حال اینکه پیش از انقلاب ساده‌ترین

موج‌شکن‌ها توسط شرکت‌های خارجی طراحی و ساخته شده است. علیرغم توفیق ویژه در این بخش ولی متاسفانه در حوزه موج‌شکن‌های دوست‌دار محیط زیست و سازگار با محیط‌زیست تا کنون اقدامی به‌عمل نیامده است. تنها تلاش به‌عمل آمده در این حوزه، بومی‌سازی بیشینه استفاده از مصالح سنگی محلی در موج‌شکن‌های مردمی بوده است که در جای خود اقدام ویژه و ارزنده است ولی هنوز با تفکرات نوین فاصله زیادی دارد.

تلاش‌های بین‌المللی در جهت مطالعات و بهینه‌سازی ادامه دارد با توجه به پتانسیل قابل توجه کشورمان در این حوزه به نظر می‌رسد که وقت آن رسیده است، تا اقدامات جدی در خصوص مطالعات مبنایی، آمایش ساحلی و ایجاد دانش محلی در این دو حوزه صورت گیرد. طی مطالعات به‌عمل آمده و جمع‌آوری نظرات افراد فعال در مهندسی دریا، اقدامات نظری محدودی در این حوزه صورت گرفته و هیچ اقدام عملی قابل اعتنای در این بخش انجام نشده است. بررسی گزارشات منشره ساتبا (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق) نیز نشان می‌دهد، این سازمان عمده برنامه‌های خود را روی انرژی خورشیدی و انرژی باد متمرکز کرده است و به موضوع تولید برق از امواج به‌صورت جدی پرداخته نشده است. مطابق نتایج پرسشنامه‌های تخصصی، دلایل متعددی در این حوزه وجود دارد که اهم آن عبارتند از هزینه سنگین اولیه، عدم وجود دانش مهندسی در این بخش، وجود شکاف دانش آکادمیک در این خصوص، تعدد ارگانهای دریایی در کشور و عملاً تداخل کاری بین آن‌ها، بلند مدت بودن این پروژه‌ها و عمر کوتاه مدیریت در ایران، عدم وجود آمایش دریایی مناسب در کشور و تقدم بودجه دریایی در حوزه خلیج فارس می‌باشد.

وقت آن رسیده است که برای ایجاد زیرساخت‌های دانشی در زمینه موج‌شکن‌های دوست‌دار محیط‌زیست، در سواحل عمان (یا خلیج فارس) در محلی مناسب روی یکی از موج‌شکن‌ها، یکی از سیستم‌های معرفی شده (و یا حتی سیستم ترکیبی ظرفیت و پتانسیل داخلی کشور) طراحی، نصب و پایش گردد تا در آینده بتوان به الگوهای واقعی و ضریب بازدهی واقعی در طرح‌های فرداهای بدون نفت دست یافت.

ولی به هر حال مشابه وضعیت سایر کشورها، بخش مهم و مشکل اصلی هزینه بالای تولید برق از امواج را در ترکیب با موج‌شکن می‌توان مرتفع کرد. اگر چه میزان برق تولید شده در این بخش مقدار قابل توجهی نیست و عملاً در بهترین شرایط برق تولیدی روی یک موج‌شکن کوچک معادل یک ژنراتور یک مگاواتی است، ولی مطالعات امروز شالوده توسعه آینده خواهد بود و پیش‌بینی می‌شود که روی موج‌شکنی که در حال حاضر ظرفیت سالانه تولید ۵ مگاوات ساعت در متر طول را دارد، در آینده می‌توان با توسعه تکنولوژی توان تولید سالانه ۱۰۰ مگاوات ساعت در متر طول داشت، ولی لازمه این امر داشتن اطلاعات بلندمدت در این زمینه است و بنابراین چه در بخش پژوهش و چه در حوزه زیرساخت‌های اجرایی به نظر می‌رسد می بایست حداقل یک پایگاه مطالعاتی OWC و OTD ملی، در این زمینه ایجاد و پایش نمود. به هرحال در خصوص جانمایی و بهینه‌سازی موقعیت این پایگاه مطالعاتی، بررسی میدانی دقیقی باید به‌عمل آید، ولی مطابق بررسی‌های اولیه به‌عمل آمده، بندر تنبک بهترین محل از دیدگاه مدیریت هزینه جهت ساخت و پسابندر و بریس از دیدگاه وضعیت امواج بهترین نقاط جهت این پایگاه ملی پیشنهادی می‌باشند.

در حوزه موج‌شکن‌های سازگار با محیط‌زیست نیز وضعیت مشابهی در کشور وجود دارد، و لزوم ایجاد ساختار کسب و توسعه دانش مهندسی در این بخش به شدت احساس می‌گردد. از دیدگاه اجرایی نیز هیچ اقدامی در این حوزه انجام نشده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که دلایل عدم توجه به حیطه دانشی موج‌شکن‌های سازگار با محیط‌زیست کاملا متفاوت از دلایل حیطه موج‌شکن‌های دوست‌دار محیط زیست می‌باشد. اهم دلایل جمع‌آوری شده عبارتند از : عدم اعتماد به دانش و نیت متخصصین محیط‌زیست، عدم وجود دانش آکادمیک در مهندسی دریا در این حوزه و شکاف عمیق بین سیستم اجرایی و تفکرات زیست محیطی. و اتفاقاً موضوع هزینه با توجه به نوع تغییرات لازم در سازه‌ها اصلا عامل تعیین کننده و مهمی نبوده است. در حال حاضر با توجه به ساخت تعداد زیادی از موج‌شکن‌های مردمی در نقاط مختلف، ایجاد ایستگاه پایش در چندین نقطه از این موج‌شکن‌ها به‌عنوان درگاه مناسبی برای ورود دانش به حوزه سازه‌های دریایی سازگار به محیط‌زیست می‌باشد و برخلاف حوزه قبلی هزینه‌های کاملا محدودی دارد و بیش‌تر توجه و اهمیت پژوهشی و مهندسی در این بخش لازم است

۸. جمع‌بندی

با توجه به رویکردهای جدید ساخت موج‌شکن‌ها در مسیر دوست‌دار محیط‌زیست و سازگار با محیط‌زیست، مواردی از این نوع در این مقاله معرفی شدند. نکته مهم این است که علیرغم اذعان همه کارشناسان در مورد اینکه انرژی امواج پاکترین انرژی موجود است، ولی هزینه‌های بسیار سنگین و محدودیت‌های جانمایی باعث شده است در سطح دنیا و به‌ویژه ایران کمتر به این موضوع پرداخته شده است. ولی ایده ساخت موج شکن با تجهیزات تولید

برق از امواج در قالب موج‌شکن‌های نسل جدید، باعث گردیده تا بخش عمده‌ای از هزینه‌های ساخت تجهیزات تولید برق از امواج که صرف ایجاد سازه‌های نگهدارنده می‌شد، عملاً حذف گردد. قابلیت رقابت اقتصادی به‌ویژه در مناطق دور از دسترس نظیر جزایر از مزایای دیگر آن است، در صورت توسعه تکنولوژی در راستای ساخت و بهینه‌سازی سازه جاذب انرژی موج برای تولید برق، عملاً می‌توان ادعا کرد که در آینده هر موج‌شکنی می‌تواند نیروگاه برق محلی نیز باشد. اگر چه میزان برق تولید شده در این بخش مقدار قابل توجهی نیست ولی در آینده می‌توان با توسعه تکنولوژی توان تولید سالانه قابل اعتنا و قابل قبولی داشت، ولی لازمه این امر داشتن اطلاعات بلندمدت در این زمینه است. به همین دلیل، تقریباً تمامی کشورهایی که در حوزه دریا حرفی برای گفتن دارند، دراین زمینه دارای نمونه‌های اجرا شده و حداقل پایلوت می‌باشند که می‌توان به ژاپن، ایتالیا، انگلستان، پرتغال، دانمارک، آمریکا و هندوستان اشاره نمود که علیرغم اقتصادی نبودن برق تولیدی در مقایسه با برق تولیدی از سوخت‌های فسیلی، در حال بررسی و مطالعه جدی هستند. همچنین در خصوص سازگاری موج‌شکن با محیط زیست، دستورالعمل‌های کاربردی متنوعی در اروپا ارائه و پیاده‌سازی و که نتایج موفقیت‌آمیزی در برداشته است.

در جمع‌بندی پیشنهاد می‌شود که در زمینه موج‌شکن‌های دوست‌دار محیط زیست حداقل یک پایگاه مطالعاتی OWC و OTD ملی، در این زمینه ایجاد و عملکرد واقعی تولید انرژی و محتوای انرژی امواج پایش گردیده و پایگاه اطلاعاتی قابل اتکاء ایجاد شود. مطابق بررسی‌های اولیه به‌عمل آمده، بندر تنبک بهترین محل از دیدگاه مدیریت هزینه جهت ساخت و پسابندر و بریس از دیدگاه وضعیت امواج بهترین نقاط برای این پایگاه ملی پیشنهادی می‌باشند. ایجاد ایستگاه پایش در چندین نقطه از این موج‌شکن‌ها به‌عنوان درگاه مناسبی برای ورود دانشی به حوزه سازه‌های دریایی سازگار به محیط زیست باشد.

۹- مراجع

1. Aguado, A., and V. Sánchez-Naverac. 1978. “Nuevo tipo de sección paradiques en talud con espaldón.” Revista de Obras Publicas 353–359.
2. Andersen, M. T., and P. B. Frigaard. 2015. “Incentive-based financial supportscheme for immature renewable energy systems.” In Proc.,European Wave and Tidal Energy Conf. Southampton, UK: European Wave and Tidal Energy Conference.
3. Arena, F. 2014. “Un impianto REWEC3 per la produzione di energia elettricada moto ondoso: Dall’invenzione del Prof. Paolo Boccotti alla costruzione del primo prototipo.” Workshop Energia dal Mare le Nuove Tecnologie per i Mari Italiani. Accessed February 5, 2018. http:// www..enea.it/it/enea _informa/events/energia-dal-mare/Arena1.pdf.
4. Arena, F., A. Romolo, G. Malara, V. Fiamma, and V. Laface. 2016. “The first worldwide application at full-scale of the REWEC3 device in the Port of Civitavecchia: Initial energetic performances.” In Proc.,Progress in Renewable Energies Offshore: 2nd Int. Conf. on Renewable Energies Offshore (RENEW2016), p. 303. Boca Raton, FL: CRC Press.
5. Astobiza, O. A. 2016. “Mutriku milestone: 1 GWh from waves to grid.”In Proc., Int. Conf. on Ocean Energy (ICOE). Edinburgh, UK: ICOE Research Ltd.
6. Boake, C. B., T. J. T. Whittaker, M. Folley, and H. Ellen. 2002. “Overview and initial operational experience of the LIMPET wave energy plant.” In Vol. 1 of Proc., 12th Int. Offshore and Polar Engineering Conf., 586– 594. Kitakyushu, Japan: ISOPE.
7. Brito-Melo, A. 2018. “Press release Wave Pico Plant.” Accessed April 17,2019. http://www.pico-owc.net/news.php
8. Brito-Melo, A., F. Neuman, and A. J. N. A. Sarmento. 2008. “Full-scaledata assessment in OWC Pico plant.” Int. J. Offshore Polar Eng. 18 (1):1053–5381.
9. Centurioni, L., L. Braasch, E. Di Lauro, P. Contestabile, F. De Leo, R.Casotti, L. Franco, and D. Vicinanza. 2017. “A new strategic wave measurement station off Naples port main breakwater.” Coastal Eng. Proc.1 (35): 36. https://doi.org/10.9753/icce.v35.waves.36.
10. Chapman, M. G. and Blockley, D. J. 2009. Engineering novel habitats on urban infrastructure to increase intertidal biodiversity. Oecologia 161 (3); 625-635.
11. Cibro .L.K ," Innovation of Eco-Friendly Pelita-A Breakwater Design as “Renewable Energy Technology”, The 3rd International Conference of Integrated Intellectual Community Hanover, 28th - 29th April 2018
12. Contestabile, P., E. Di Lauro, M. Buccino, and D. Vicinanza. 2017a.“Economic assessment of overtopping breakwater for energy conversion (OBREC): A case study in Western Australia.” Sustainability 9 (1): 51.https://doi.org/10.3390/su9010051.
13. Contestabile, P., V. Ferrante, E. Di Lauro, and D. Vicinanza. 2016. “Prototype overtopping breakwater for wave energy conversion at port of Naples.” In Proc., 26th Int. Ocean and Polar Engineering Conf. Mountain View, CA: International Society of Offshore and Polar Engineers.
14. Coombes, M. A., Naylor, L. A., Roast, S. D. and Thompson, R. C. 2009. Coastal Defences and

Biodiversity: the influence of material choice and small-scale surface texture on biological

15. outcomes. In Proceedings of the ICE Conference on Coasts, Marine Structures & Breakwaters,EICC Scotland. Thomas Telford; 474-485.

16. Coombes, M. A. 2011. Biogeomorphology of Coastal Structures: Understanding interactions between hard substrata and colonising organisms as a tool for ecological enhancement. PhD Thesis, School of Geography, University of Exeter.

17. Falcão, A. F. O., L. M. C. Gato, A. J. N. A. Sarmento, and A. Brito-Melo. 2018. “The PicoOWCwave power plant: Its life from conception to closure 1986–2018.” In Advances in Renewable Energies Offshore: Proc.,3rd Int. Conf. on Renewable Energies Offshore (RENEW 2018), p. 475.Boca Raton, FL: CRC Press.

18. Garcia-Soto. 2018. “Electricity production, capacity factor, and plant efficiency index at the Mutriku wave farm (2014–2016).” Ocean Eng.147: 20–29. https:// doi.org/10.1016/j .oceaneng.2017.10.018.

19. Heath, T., T. J. T. Whittaker, and C. B. Boake. 2000. “The design, construction and operation of the LIMPET wave energy converter.” In Proc., 4th European Wave Energy Conference. Aalborg, Denmark: Energy CentreDenmark.

20. Larissa A. Naylor , University of Glasgow , Orlando Venn, Independent Martin A. Coombes , University of Oxford , Juliette Jackson , SEADREAM , "Including Ecological Enhancements in the Planning, Design and Construction of Hard Coastal Structures: a process guide."

21. Margheritini, L., P. Frigaard, and D. Vicinanza. 2008. “Sea slot cone generator overtopping performance in 3D conditions.” In Proc., 18th Int.Offshore and Polar Engineering Conf.Mountain View,CA: International Society ofOffshore and Polar Engineers.

22. Martins, G. M., Thompson, R. C., Neto, A. L., Hawkins, S. J. and Jenkins, S. R. 2010. Enhancing stocks of the exploited limpet Patella candei d’Orbigny via modifications in coastal engineering Biological Conservation 143 (1); 203-211.

23. Medina-Lopez, E., N. W. H. Allsop, A. Dimakopoulos, and T. Bruce. 2015. “Conjectures on the failure of the OWC breakwater at Mutriku.” In Proc., Coastal Structures and Solutions to Coastal Disasters Joint Conf. Reston, VA: ASCE.

24. Moschella, P. S., Abbiati, M., ¦berg, P., Airoldi, L., Anderson, J. M., Bacchiocchi, F., Bulleri, F.,Dinesen, G. E., Frost, M., Gacia, E., Granhag, L., Jonsson, P. R., Satta, M. P., Sundel◌f, A.,Thompson, R. C. and Hawkins, S. J. 2005. Low-crested coastal defence structures as artificial habitats for marine life: Using ecological criteria in design. Coastal Engineering 52 (10-11);1053-1071.

25. Neumann, F., and I. Le Crom. 2011. “Pico OWC—The Frog Prince of Wave Energy? Recent autonomous operational experience and plans for an open real-sea test centre in semi-controlled environment.” In Proc., 9th European Wave and Tidal Energy Conf. (EWTEC 2011). Southampton, UK: European Wave and Tidal Energy Conference.

26. Sabila, A.A.F., 2015“Inovasi ARA Breakwater sebagai Bangunan Pelindung Pantai Multifungsi”, Unpublished Journal, Malang.

27. Subhan, B., Madduppa, H., Arafat, D., Soedharma, D., 2015. Bisakah Transplantasi Karang Perbaiki Ekosistem Terumbu Karang?. Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan: Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan, 1(3): p. 159-164.

28. Sundar, V., Anand, K. V. 2010. Dynamic pressure and run-up on curved seawalls compared with vertical wall under cnoidal waves. 39 (4). p. 579-588.

29. Suzuki, M., C. Arakawa, and S. Takahashi. 2004. “Performance of wave power generating system installed in breakwater at Sakata port in Japan.” In Proc., 14th Int. Offshore and Polar Engineering, 202–209. Mountain View, CA: International Society of Offshore and Polar Engineers.

30. Takahashi, S., H. Nakada, H. Ohneda, and M. Shikamori. 1992. “Wave power conversion by a prototype wave power extracting caisson in Sakata port.” In Proc., 23rd Int. Conf. on Coastal Engineering, 3440– 3453. Reston, VA: ASCE.

31. Torre-Enciso, Y., J. Marqu_es, and L. I. López de Aguileta. 2010. “Mutriku. Lessons learnt.” In Proc., 3rd Int. Conf. on Ocean Energy. Bilbao, Spain: EU-OEA and IEA-OES.

32. Torre-Enciso, Y., I. Ortubia, L. I. Lopez de Aguileta, and J. Marques. 2009. “Mutriku wave power plant: From the thinking out to the reality.” In Proc., 8th European Wave Tidal Energy Conf., 319–329. Uppsala,Sweden: Uppsala Universitet.

33. Triatmodjo, B., 1999. Teknik Pantai. Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.

34. Vicinanza.D , Lauro .E.D, Contestabile.P , Lara , J.L

35. , "Review of Innovative Harbor Breakwaters for Wave-Energy Conversion" , Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering · July 2019 , DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000519

36. Vicinanza, D., and P. Frigaard. 2008. “Wave pressure acting on a seawave slot-cone generator.” Coastal Eng. 55 (6): 553–568. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2008.02.011.

37. Vicinanza, D., L. Margheritini, P. Contestabile, J. P. Kofoed, and P.Frigaard. 2009. “Seawave slot-cone generator: An innovative caisson breakwaters for energy production.” In Proc., 31st Int. Conf., Coastal Engineering 2008, 3694–3705. Singapore: World Scientific.

38. Vicinanza, D., L. Margheritini, J. P. Kofoed, and M. Buccino. 2012a. “The SSG wave energy converter: Performance, status and recent developments.” Energies 5 (2): 193–226. https://doi.org/10.3390/en5020193.

39. Vicinanza, D., J. H. Nørgaard, P. Contestabile, and T. L. Andersen. 2013.“Wave loadings acting on overtopping breakwater for energy conversion.”J.

Coastal Res. 65 (2): 1669–1674. https://doi.org/10.2112/SI65-282.1.

40. Vicinanza, D., D. Stagonas, G. Müller, J. H. Nørgaard, and T. L.Andersen. 2012b. “Innovative breakwaters design for wave energy conversion.” Coastal Eng. Proc. 1 (33): 1. https://doi.org/10.9753/icce.v33.structures.1.

41. Vieira, M., A. Sarmento, and L. Reis. 2015. “Failure analysis of the guidevanes of the Pico wave power plant Wells turbine.” Eng. Fail. Anal. 56:

42. 98–108. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.04.004.

43. Viviano, A., S. Naty, E. Foti, T. Bruce, W. Allsop, and D. Vicinanza