

معرفی موج شکن‌های نسل جدید

موج شکن‌های دوستدار محیط زیست – موج شکن‌های سازگار با محیط زیست

حسین قربانی^۱

دانشگاه تهران

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 در این مقاله پیشنهاداتی برای ایجاد پایگاه و ایستگاه مطالعاتی در راستای امکان استفاده از این ثروت پاک در آینده، ارائه شده است.

کلید واژه‌ها:

موج شکن‌های نوین، سازگار با محیط زیست، انرژی موج

آفریقا، هندوستان، برمه، ویتنام، آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی را داشته و ثروت امروز این کشورها حاصل 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 در این حوزه فعال بوده‌اند. ساده‌ترین ساخت و سازه‌های دریایی، موج شکن، اسکله، فانوس دریایی و بارانداز

۱- مقدمه

فن‌آوری ساخت سازه‌های دریایی، برای امکان استفاده از حمل و نقل دریایی، از هزاران سال پیش وجود داشته است و مستحدمات مربوطه، زیرساختی راهبردی برای کشورهای مختلف بوده است. اگر واقع بین باشیم، زیرساخت‌های دنیای امروز همگی حاصل ماجراجویی‌ها و غارتگری‌های کشورهای هستند که در این حوزه پیشرو بوده‌اند، بریتانیا، اسپانیا، هلند، فرانسه، ایتالیا و پرتغال، همگی استعمارگرانی هستند که به واسطه ناوگان دریایی خود امکان غارتگری

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 دوست‌دار محیط‌زیست 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 ویزینجام در هند طبق مطالعات راجو و نیلامانی با ظرفیت

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 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 به گونه‌ای باشد که 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 موج شکن توده سنگی) باعث کاهش وزن جدی موج شکن می‌گردد. در توسعه‌های بعدی استفاده از کیسون‌ها و موج‌شکن‌های دیواره‌ای در برخی نقاط رواج

است. در جهت اقتصادی کردن این طرح، تلاش‌های فراوانی انجام شده است که عمدتاً در حوزه افزایش کارایی و بهره‌وری و با استفاده از تکنولوژی‌های 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- موج شکن‌های مبتنی بر ستون موج (WEC_OWC)

تقریباً همه موج‌شکن‌های دوست‌دار محیط زیست که در شرایط واقعی اقیانوس آزمایش شده‌اند، از نوع OWC 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 بهره برداری رسیده است.

این فن‌آوری از یک محفظه مستغرق در آب دریا تشکیل شده است که زیر آن باز می‌باشد. به گونه‌ای 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 [۱۳ و ۱۴]. در این پروژه در سال ۲۰۰۸ نصب شده است، با احداث ۱۶ قطعه، جمعاً به طول ۱۰۰ متر، میزان ۳۰۰

۱۶۰ کیلووات ساخته شده است [۲].

اولین تلاش موفق در اروپا در سال ۲۰۰۸ در بندر ماتریکوی اسپانیا توسط توره - انکیزو [۳ و ۴] و سپس ۲۰۱۲ در بندر ویاجنزیای ایتالیا توسط آرنا [۵ و ۶] 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 نصب شده در جزیره پیکو در منطقه آژورس آرچیپلاژو توسط نئومان [۸] در سال ۲۰۱۱ در کشور پرتغال صورت پذیرفته و در ادامه مطالعات مربوط به معروف اوبرک توسط ویاجنزا 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 [۱۰ و ۱۱]. 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 Converter) نامیده می‌شوند. البته همان‌طور که مستحضرید در شرایط فعلی در عمده جاها مشکل WEC هزینه بالای تولید برق در مقایسه با تولید برق فسیلی

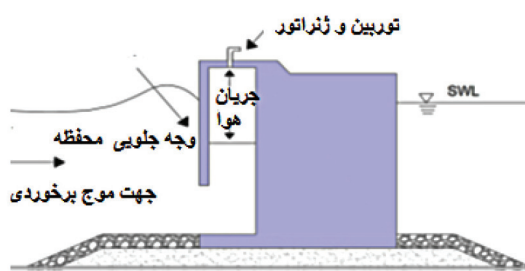
کیلووات برق پایدار تولید می‌شود.

مزایای اصلی این فناوری به شرح ذیل است:

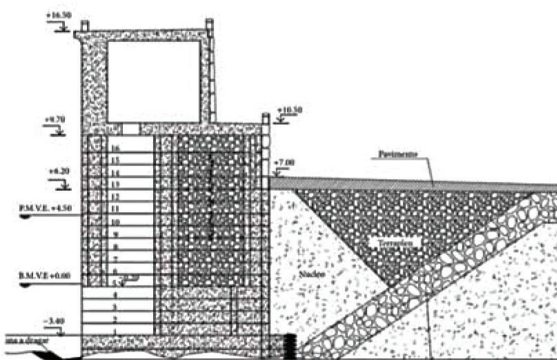
سازه موج شکن کیسونی صلب است که تنها بخش متحرک آن ژنراتور است. آب دریا مستقیماً به توربین‌ها وارد نمی‌شود. بنابراین هرگز در معرض آب قرار نمی‌گیرند، که به‌طور قابل توجهی عمر تجهیزات افزایش می‌یابد. ابعاد کلی و هندسه‌های چنین سیستمی بسیار شبیه به یک موج شکن قائم سنتی هستند و بنابراین ترکیب ژنراتور با این سازه بسیار سازگار است. نوع توربین استراتژی شروع / توقف آسان را تضمین می‌کند. 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 تا ۱۰۰ درصد).

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].

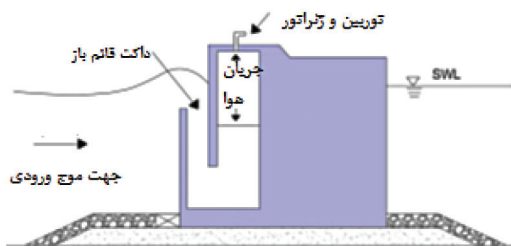
با توجه به شرایط دریایی محل نصب، علاوه بر امکان تولید برق از امواج روزانه، سازه در مقابل موج طرح ۱۰۰ ساله مقاوم



شکل ۱: موج شکن OWC-WEC



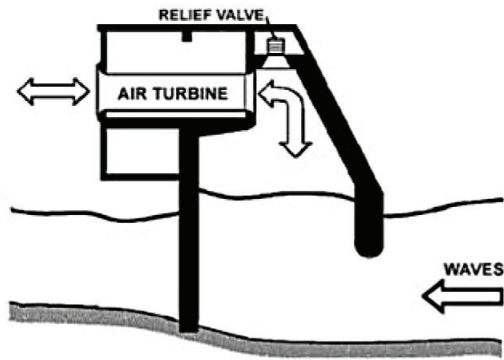
شکل ۲: موج شکن OWC ساخته شده در مورتیکای اسپانیا، عکس و مقطع عرضی



شکل ۳: موج شکن OWC اصلاح شده از ته باز به U شکل

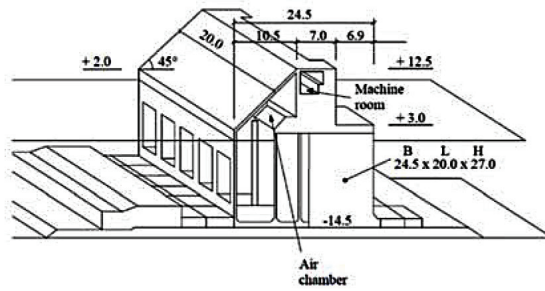


(a)

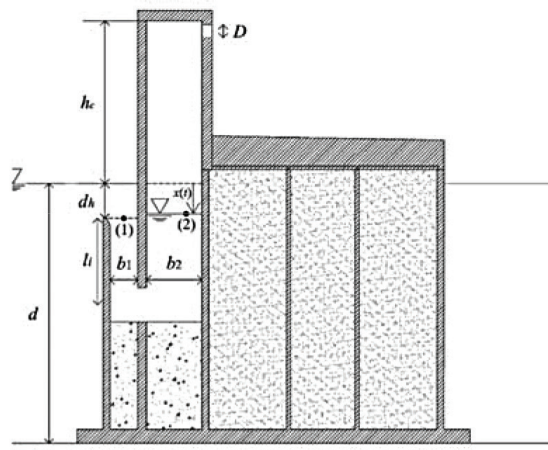
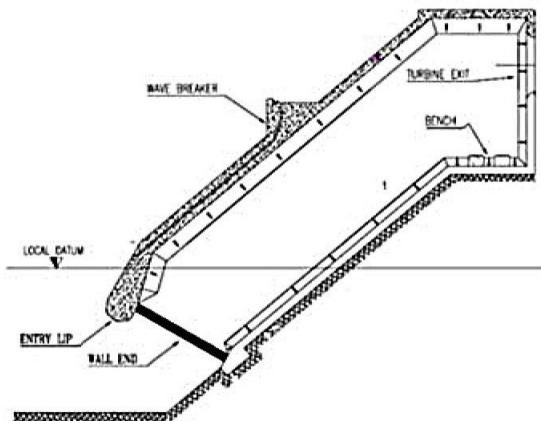


(b)

شکل ۶: موج شکن LIMPET ۵۰۰



شکل ۴: موج شکن OWC اصلاح شده ژاپنی دارای حفره‌ای متعدد روبرو، و فضای شیبدار در مقابل موج است



h_c [m]	b_2 [m]	b_3 [m]	d_h [m]	b_1 [m]	D [m]	l_1 [m]
9.40	3.20	3.87	2.00	1.60	0.738	5

شکل ۷: موج شکن OWC اصلاح شده پرتغالی

شکل ۵: موج شکن OWC با کیسون REWEC^۳ در بندر چیریتاویجیا در ایتالیا

باعث معطوف‌شدن سمت و سوی مطالعات در جهت بهبود ساختار این مدل می‌گردد [۲۲ و ۲۱ و ۲۰ و ۱۸].

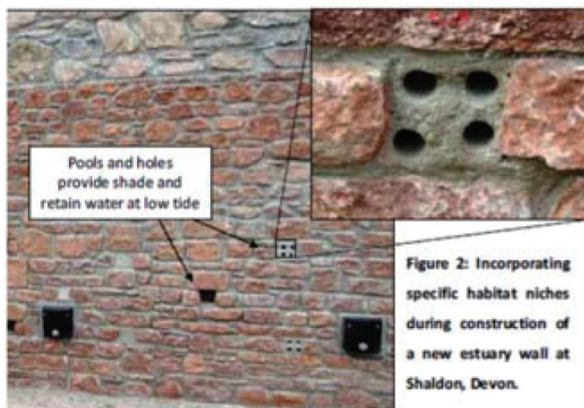
۴- OTD موج‌شکن (Over Topping Devices)

OTD^۲، 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 [۲۴ و ۲۳]. یکی از انواع این موج‌شکن که فعالیت تحقیقاتی پژوهشی زیادی روی آن انجام شده است به موج‌شکن OBREC^۳ معروف است [۲۵]، اشاره شده در شکل ۹. این موج شکن به صورت عملیاتی در ایتالیا در بندر ویانچنزار در ناپولی در سال ۲۰۱۵ به صورت یک قطعه آزمایشی نصب شده است مقدار برق تولیدی حدود ۲/۵ کیلووات بر متر طول می‌باشد که در مقایسه با مدل‌های SSG^۴ 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 چندمیلیتی صورت پذیرفته است و تلاش‌های فراوانی در جهت بهینه‌سازی آن صورت می‌گیرد [۲۶ و ۹].

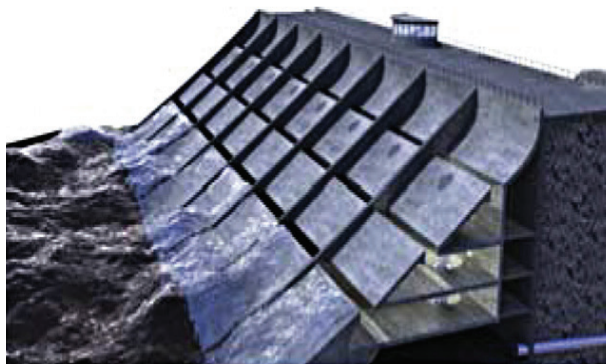
باشد که برای افزایش پایداری، از سطح شیبدار فوقانی استفاده شده است. در این زمینه یکی از بهترین مدل‌ها سیستم U-WEC تحت نام ReWEC3 می‌باشد که مطابق شکل ۵ توسعه یافته و در بندر چپویتاوپیا در ایتالیا استفاده شده است. این سیستم با استفاده از ۱۳۶ المان به طول کلی ۵۷۸ متر ساخته شده است و با تمامی تغییرات ایجاد 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 و توسعه این تفکر باشد. [۵ و ۶].

نمونه انگلیسی ساخته شده تحت عنوان LIMPET 500 در سال ۲۰۰۰ در جزیره ایسلای در خط ساحلی اسکاتلند نصب شده 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 به صورت پایدار تأمین می‌شود که ضریب بازده بسیار مناسبی است [۱۷] بستر شیبدار است که از میزان بالاروی امواج حداکثر استفاده را کرده است.

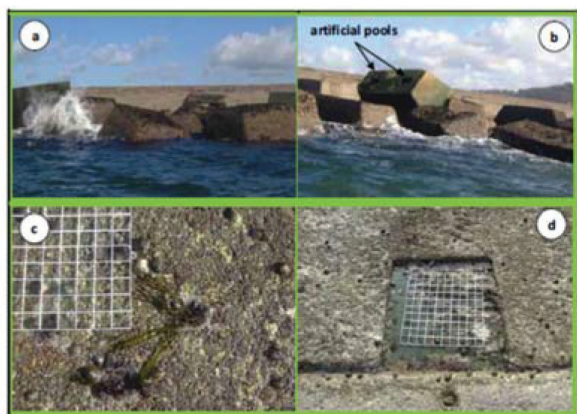
همچنین مدل بسیار ساده شده‌ای از این نوع در جزیره پیکو واقع در کشور پرتغال در سال ۲۰۰۸ نصب شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است [۱۹ و ۱۸] که مشکلاتی در حین بهره‌برداری در توربین آن ایجاد شد. این نمونه (۴۰۰ کیلو وات) علیرغم سادگی دارای کارایی مناسبی بوده است. این سازه در طول زمان دارای مشکلات فراوانی بوده است ولی با این وجود تولید سالانه ۵۰ مگاوات ساعت برق در یک نمونه آزمایشی، مزیت غیرقابل انکاری است که



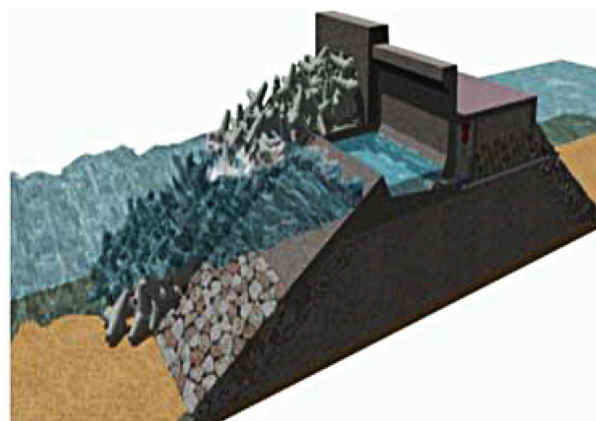
شکل ۱۱: ایجاد حفره در سایه برای ایجاد پناهگاه برای گونه ای پایه زیست محیطی دریایی



شکل ۸: موج شکن OTD_SSG



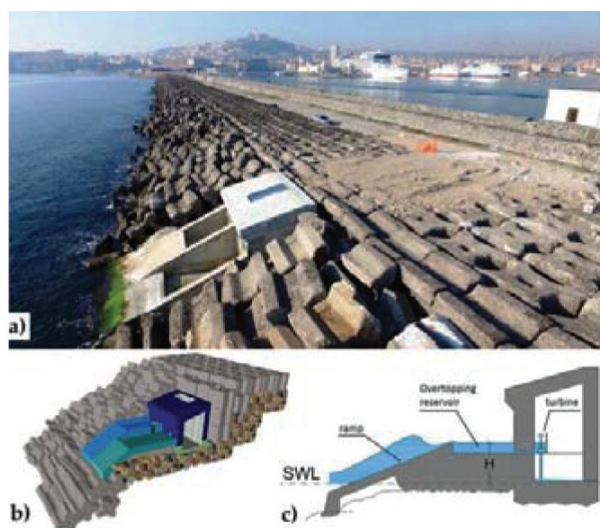
شکل ۱۲: ایجاد فضاهای متخلخل روی سطوح بتنی



شکل ۹: موج شکن OTD_OBREC



شکل ۱۳: ایجاد فضاهای متخلخل و استفاده ماز مصالح دارای تخلخل طبیعی



شکل ۱۰: موج شکن OTD_OBREC مور استفاده در ناپولی

۵- موج شکن‌های 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 [۱۶ و ۲۸]. 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 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. [۲۹ و ۳۰].

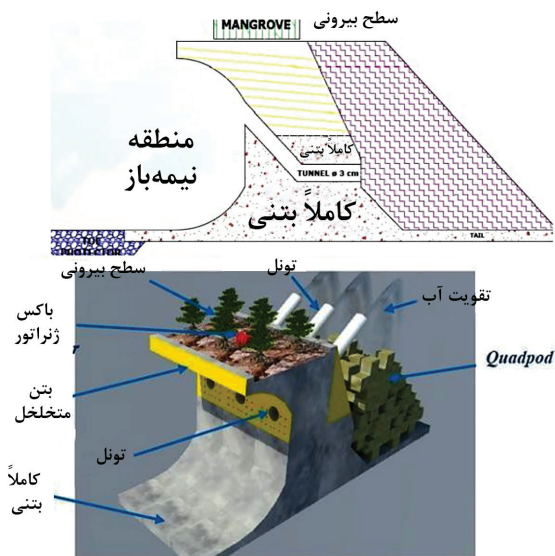
الف - همان‌طوری که شکل ۱۱ نشان می‌دهد، ایجاد حفرات با شیب معکوس مانع برگشت آب به دریا شده و ضمن ایجاد فضاهای سایه، باعث نگهداشت مقدار کمی آب می‌شود. همچنین به طریق مشابه سعی در ایجاد فضاهایی با شیب معکوس در دیواره‌های کیسون و موج شکن و اسکله‌های بلوکی می‌گردد [۳۱].

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.

ج - استفاده از سازه‌های سنگی مضرس یا ایجاد فضاهای مشابه این سنگ‌ها در قطع‌ات 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 در شکل ۱۳.

د - ایجاد حوضچه‌های کوچک جزر و مدی در دیواره‌ها یکی از مفیدترین توصیه‌ها، ایجاد فضاهای آبگیر مانند در دیواره سازه‌های قائم و یا حتی شیب‌دار است به نوعی که آب

شده است [۳۲].



شکل ۱۶: موج شکن PELITA-A

در این سازه، ضمن حذف بخشی از بدنه موج شکن، فضای قوسی باعث تجمع 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 موج شکن، همگی در این طرح به عنوان یک تفکر طبیعی مطرح شده‌اند. میزان برق تولیدی این المان ۳۲ کیلووات ساعت می‌باشد که با توجه به نوع مصرف آن در جزایر دورافتاده خروجی توان قابل قبولی می‌باشد و بدیهی است که این ظرفیت در آینده افزایش خواهد یافت.

بتواند در هنگام جزر در آنجا باقی بماند و موجودات آبی 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 آبیان فضای مناسب‌تری است.

ه - ایجاد حفره‌های کوچک روی 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 آبیان دریایی که به دلیل 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. 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. همان طوری که در شکل ۱۶ مشاهده می‌گردد، تغییرات اندکی در بدنه آرمور در مقایسه با نمونه‌های قبلی ایجاد شده است که مویید عدم تحمیل هزینه‌های جدی در این حوزه است.

۶- موج شکن سازگار و دوست دار محیط

زیست PELITA_A

با استفاده از دو فلسفه فکری شرح داده شده در مقاله، ایده ساخت موج شکنی که همزمان دوست دار و سازگار محیط زیست باشد، برای حفاظت از جزایر اندونزی مطرح

۷- وضعیت فعلی ایران و جمع بندی

در سی ساله اخیر شتاب مناسبی جهت ساخت موج شکن‌ها در ایران، جهت بهره‌برداری بیش‌تر از پهنه دریایی وجود داشته است. و مهمتر اینکه تمامی این اقدامات توسط



شکل ۱۴: ایجاد آبگیر جزرو مدی کوچک در جداره



شکل ۱۵: ایجاد حفره‌های کوچک روی سطوح بتنی



شکل ۱۶: اکوایکس لاک - آرمور سازگار با محیط زیست

مهندسی 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 متأسفانه 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

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 حیطة دانشی موج‌شکن‌های سازگار با محیط‌زیست کاملاً متفاوت از دلایل حیطة 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 اصلاً 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 کاملاً 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

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 فراداهای 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 می‌بایست حداقل یک پایگاه مطالعاتی OWC و OTD ملی، در این زمینه ایجاد و پایش نمود. به هر حال در خصوص جانمایی و بهینه‌سازی موقعیت این پایگاه مطالعاتی، بررسی میدانی دقیقی باید به‌عمل آید، ولی مطابق بررسی‌های اولیه به‌عمل آمده، بندر تنبک بهترین

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] S. Takahashi, H. Nakada, H. Ohneda, and M. Shimakori, "Wave Power Conversion by a Prototype Wave Power Extracting Caisson in Sakata port," In Proc., 23rd Int. Conf. on Coastal Engineering, Reston, VA: ASCE, pp. 3440–3453, 1992.
- [2] V. S. Raju and S. Neelamani, "Concrete caisson for a 150 KW wave energy pilot plant: design, construction, and installation aspects," Proc. of 2nd Int. Off-shore Polar Eng. Conf., San Francisco, pp. 584–591, 1992.
- [3] Y. Torre-Enciso, J. Marques, and L. I. López de Aguilera, "Mutriku. Lessons learnt," In Proc., 3rd Int. Conf. on Ocean Energy, Bilbao, Spain: EU-OEA and IEA-OES, 2010.
- [4] Y. Torre-Enciso, I. Ortubia, L. I. Lopez de Aguilera, and J. Marques, "Mutriku wave power plant: From the thinking out to the reality," In Proc., 8th European Wave Tidal Energy Conf., Uppsala, Sweden: Uppsala Universitet, pp. 319–329, 2009.
- [5] F. Arena, "Un impianto REWEC3 per la produzione di energia elettricada moto ondosso: Dall'invenzi-

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، در این 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

DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000519

[12] H. Titah-Benbouzid and M. Benbouzid, "Ocean wave energy extraction: Up-to-date technologies review and evaluation," IEEE PEAC 2014, IEEE, Shanghai, China, pp. 338-342, Nov. 2014.

[13] 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.

[14] Garcia-Soto, "Electricity production, capacity factor, and plant efficiency index at the Mutriku wave farm (2014–2016)," Ocean Eng., vol. 147, pp. 20–29, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.10.018>.

[15] E. Medina-Lopez, N. W. H. Allsop, A. Dimakopoulos, and T. Bruce, "Conjectures on the Failure of the OWC Breakwater at Mutriku," In Proc., Coastal Structures and Solutions to Coastal Disasters Joint Conf. Reston, VA: ASCE, 2015.

[16] L. Margheritini, P. Frigaard, and D. Vicinanza, "Sea slot cone generator overtopping performance in 3D conditions," In Proc., 18th Int. Offshore and Polar Engineering Conf. Mountain View, CA: International Society of Offshore and Polar Engineers, 2008.

[17] C. B. Boake, T. J. T. Whittaker, M. Folley, and H. Ellen, "Overview and initial operational experience of the LIMPET wave energy plant," In vol. 1 of Proc., 12th Int. Offshore and Polar Engineering Conf., Kitakyushu, Japan: ISOPE, pp. 586–594, 2002.

[18] A. F. O. Falcão, L. M. C. Gato, A. J. N. A. Sarmiento, and A. Brito-Melo, "The PicoOWC wave 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), Boca Raton, FL: CRC Press, p. 475, 2018.

one 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.

[6] F. Arena, A. Romolo, G. Malara, V. Fiamma, and V. Laface, "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), Boca Raton, FL: CRC Press, p. 303, 2016.

[7] M. Buccino, D. Vicinanza, D. Salerno, D. Banfi, and M. Calabrese, "Nature and magnitude of wave loadings at Seawave Slotcone Generators," Ocean Engineering, ISSN 0029-8018, vol. 95, pp. 34-58, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.11.038>.

[8] F. Neumann and I. Le Crom, "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, 2011.

[9] P. Contestabile, V. Ferrante, E. Di Lauro, and D. Vicinanza, "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, 2016.

[10] S. Barstow, G. Mørk, D. Mollison, and J. Cruz, "The wave energy resource," In Ocean Wave Energy, Berlin, pp. 93–132, Springer 2008.

[11] D. Vicinanza, E. D. Lauro, P. Contestabile, and J. L. Lara, "Review of Innovative Harbor Breakwaters for Wave-Energy Conversion," Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, July 2019.

- testabile, F. De Leo, R. Casotti, L. Franco, and D. Vicinanza, "A new strategic wave measurement station off Naples port main breakwater," *Coastal Eng. Proc.* 1 (35): 36, 2017.
<https://doi.org/10.9753/icce.v35.waves.36>.
- [27] M. G. Chapman and D. J. Blockley, "Engineering novel habitats on urban infrastructure to increase intertidal biodiversity," *Oecologia*, vol. 161, no. 3, pp. 625-635, 2009.
- [28] P. S. Moschella, M. Abbiati, P. Hberg, L. Airol-di, J. M. Anderson, et al, "Low-crested coastal defence structures as artificial habitats for marine life: Using ecological criteria in design," *Coastal Engineering*, 52 (10-11), pp. 1053-1071, 2005.
- [29] M. A. Coombes, L. A. Naylor, S. D. Roast, and R. C. Thompson, "Coastal Defences and Biodiversity: the influence of material choice and small-scale surface texture on biological outcomes," In *Proceedings of the ICE Conference on Coasts, Marine Structures & Breakwaters*, EICC Scotland, Thomas Telford, pp. 474-485, 2009.
- [30] G. M. Martins, R. C. Thompson, A. L. Neto, S. J. Hawkins, and S. R. Jenkins, "Enhancing stocks of the exploited limpet *Patella candei* d'Orbigny via modifications in coastal engineering Biological Conservation," 143 (1), pp. 203-211, 2010.
- [31] M. A. Coombes, "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, 2011.
- [32] L. K. Cibro, "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.
- [19] M. Vieira, A. Sarmento, and L. Reis, "Failure analysis of the guide vanes of the Pico wave power plant Wells turbine," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 56, pp. 98-108, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.04.004>.
 A. Viviano, S. Naty, E. Foti, T. Bruce, W. Allsop, and D. Vicinanza
- [20] A. Brito-Melo, "Press release Wave Pico Plant," Accessed April 17, 2019.
<http://www.pico-owc.net/news.php>
- [21] A. Brito-Melo, F. Neuman, and A. J. N. A. Sarmento, "Full-scaled data assessment in OWC Pico plant," *Int. J. Offshore Polar Eng.*, vol. 18, no. 1, pp. 1053-1058, 2008.
- [22] T. Heath, T. J. T. Whittaker, and C. B. Boake, "The design, construction and operation of the LIM-PET wave energy converter," In *Proc., 4th European Wave Energy Conference*. Aalborg, Denmark: Energy Centre Denmark, 2000.
- [23] P. Contestabile, E. Di Lauro, M. Buccino, and D. Vicinanza. "Economic assessment of overtopping breakwater for energy conversion (OBREC): A case study in Western Australia," *Sustainability*, 9 (1): 51, 2019.
<https://doi.org/10.3390/su9010051>.
- [24] D. Vicinanza, D. Stagonas, G. Müller, J. H. Nørgaard, and T. L. Andersen, "Innovative breakwaters design for wave energy conversion," *Coastal Eng. Proc.*, 1 (33): 1, 2012.
<https://doi.org/10.9753/icce.v33.structures.1>.
- [25] D. Vicinanza, J. H. Nørgaard, P. Contestabile, and T. L. Andersen, "Wave loadings acting on overtopping breakwater for energy conversion," *J. Coastal Res.*, vol. 65, no. 2, pp. 1669-1674, 2013.
<https://doi.org/10.2112/SI65-282.1>.
- [26] L. Centurioni, L. Braasch, E. Di Lauro, P. Con-