استفاده از انرژی امواج به منظور انتقال آب دریا به سواحل به وسیله مبدل انرژی موج صفحه‌ای

پیمان کشاورز آب‌پرده [۱]، مسیح ذوالقدر [۲*]، سیدمحمدعلی زمردیان [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، keshavarz.peyman75@gmail.com
[۲*] استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، zolghadr.masih@jahromu.ac.ir
[۳] دانشیار گروه سازه های آبی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، sma.zomorod@shirazu.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

کلمات کلیدی:
انتقال آب دریا
مبدل انرژی موج
عمق آب
عرض صفحه
دوره‌ی موج

چکیده

یکی از سیاست‌های مهم کشورهای کم‌آب نظیر ایران، شیرین‌سازی آب دریا برای استفاده صنعتی، کشاورزی و شرب از آن می‌باشد. قبل از شیرین‌سازی آب دریا، نیاز به انتقال آن بوده که خود مستلزم هزینه‌ی زیادی است. در این پژوهش یک نوع مبدل انرژی امواج از نوع صفحه‌ای، [i] جهت تامین انرژی لازم، به منظور انتقال آب دریا به سواحل و سایت‌های آب‌شیرین‌کن صرفاً به وسیله‌ی انرژی امواج مورد توجه قرار گرفته‌است. بدین منظور تاثیر پارامترهای دستگاه مبدل انرژی موج (عرض و ارتفاع صفحه)، ویژگی های جریان (عمق آب و دوره تناوب موج) و شیب ساحل بر عملکرد دستگاه مبدل انرژی در یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه بطور طبیعی با افزایش عرض صفحه راندمان نیز افزایش می‌یابد، اما پهنای آن نباید از یک حد معین بیشتر شود. بطور خلاصه با افزایش ۳۵ و ۷۱ درصدی عرض صفحه، فشار خروجی به ترتیب ۱.۵۸ و ۲.۸۲ برابر شده است. عمق آب نیز با افزایش ۱۳ و ۲۷ درصدی، به ترتیب ابتدا منجر به افزایش حداکثر ۳.۴۴ برابری فشار آب و سپس منجر به کاهش حداکثر ۱.۶۸ برابری فشار آب شده‌است. همچنین از آزمایشات مربوط به ارتفاع صفحه مبدل انرژی نتیجه شد، زمانی‌که صفحه متحرک، غیرمستغرق باشد، فشار آب دستگاه حداقل ۲.۰۵ برابر بیشتر از حالت مستغرق آن خواهد بود. برای شیب ساحل، با ٪۶۳ افزایش شیب (از شیب ۱:۵ به شیب ۱:۳)، فشار ٪۴۷.۲۵ درصد افزایش یافته و به ازای ۵ برابر شدن شیب (از شیب ۱:۵ به شیب قائم) نیز فشار، ۲.۱۴ برابر شده است. برای دوره تناوب موج، با ٪۱۵ افزایش دوره، فشار ٪۱۷.۰۲ کاهش یافته و به ازای ٪۲۵ افزایش دوره نیز، فشار ٪۸۱.۵۸ کاهش یافته‌است. در این مطالعه مجموعا ۱۶۵ آزمایش انجام شده و مبدل انرژی صفحه‌ای به عنوان روشی مناسب و کم‌هزینه جهت انتقال آب دریا به ساحل ارزیابی شده‌است.

Seawater transfer to onshore using a paddle type wave energy converter

Peyman Keshavarz ab pardeh [1], Masih Zolghadr [2*], Seyed Mohammad Ali Zomorodian[3]

[1] MSc student of irrigation and drainage, Dept. of Water Sciences Engineering, Collage of Agriculture, Jahrom University, Iran; keshavarz.peyman75@gmail.com
[2] Assistant Professor, Dept. of Water Sciences Engineering, Collage of Agriculture, Jahrom University, Iran; zolghadr.masih@jahromu.ac.ir*
[3] Associate Professor, Dept. of Hydraulic Structures, Collage of Agriculture, Shiraz University, Iran: sma.zomorod@shirazu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 29 May. 2021
Accepted: 01 Nov. 2021

Keywords:
seawater transfer
wave energy converter
water depth
paddle width
wave period

ABSTRACT

One of the most important policies of water-scarce countries such as Iran is the desalination of seawater for industrial, agricultural and drinking use. Before desalinating seawater, it needs to be transferred, which is a costly process. In this research, the flap-type wave energy converter was considered to provide the necessary energy to transfer seawater to a desalination plant by merely using wave energy. For this purpose, the effects of wave energy converter parameters (paddle width and height), flow properties (water depth and wave frequency), and the slope of the shore on the performance of the wave energy convertor were investigated in a laboratory study. Although the efficiency naturally increased with increasing width of the flap, it should not exceed a certain limit. In short, with 35% and 71% increase in the width of the flap, the output pressure increased 1.58 and 2.82 times, respectively. An increase of 13% and 27 % in water depth first led to a maximum increase of 3.44 times in water pressure and then led to a decrease of a maximum of 1.68 times. Experiments with the height of the flap also showed that when the rotating flap was non-submerged, the water pressure of the device was at least 2.05 times higher than that in its submerged state. For the slope of the shore, with 63% increase in slope (from 1: 5 slope to 1: 3 slope), the pressure increased by 47.25%, and when the slope was increased five times (from 1: 5 slope to vertical slope), the pressure increased by 2.14 times. For the period of the wave, with a 15% increase in the period, the pressure decreased by 17.02%, and for a 25% increase in the period, the pressure decreased by 81.58%. In this study, a total of 165 experiments were performed and the flap-type wave energy converter was evaluated as a suitable and low-cost method for transferring seawater to shore.

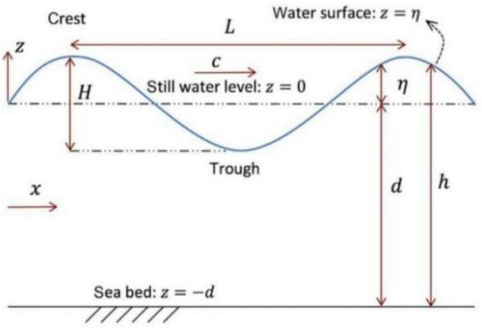
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

۱ - مقدمه

امروزه رشد روز افزون جمعیت، باعث افزایش مصرف انرژی شده است. انرژی نیز عمدتاً از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌گردد. گرم شدن زمین به علت استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی دارای نتایجی از جمله تأثیر بر روی الگوی بارندگی، بالا آمدن آب دریاها و تأثیر متفاوت بر زندگی گیاهان، حیات وحش و انسان‌ها می‌باشد [۱].

این موضـــوع به نوبه خود باعث کاهش ذخایر نفت و گاز، و ایجاد گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه آلودگی هوا گردیده‌است؛ همه‌ی این دلایل دانشـــمندان را به یافتن منابع تجدیدپذیر، ترغیب می‌نماید. منـابع جـدیـد و تجـدیـدپـذیر انرژی کـه امروزه مورد توجـه قرار گرفته‌اند، عبارتند از: انرژی خورشید، باد، امواج، بیو انرژی، گرادیان حرارتی دریا، زمین‌گرمایی، آب و هســـته‌ای؛ همچنین می‌توان به اقیانوس‌ها به عنوان منبع سـه نوع انرژی تجدیدپذیر، شـامل: انرژی جزر و مد، انرژی امواج و انرژی حاصـــل از اختلاف دمای آب نگاه کرد [۲]. انرژی موج بر اثر وزش باد روی سطح آب، تولید می‌شود که دارای توان بســـیار بالایی اســـت. امواج دریا هر دو نوع انرژی پتانسـیل و جنبشـی را دارا می‌باشـند. انرژی مکانیکی باد که در اثر جذب نابرابر گرمای پرتوهای فروسرخ و نور مرئی خورشید به وجود می‌آید، به شـکل انرژی پتانسـیل گرانشـی در آب دریا ذخیره شـده که پس از مدت کوتاهی آب دریا آن را به شـــکل انرژی جنبشـــی (موج) پس می‌دهد.

خواص مختلفی از امواج اقیانوس وجود دارد که تقریبا در مورد همه موج‌هایی که در محیط طبیعی رخ می‌دهند مشترک است. در شکل (۱) یک موج خطی در دامنه فضایی توسط یک پروفیل سینوسی نشان داده شده‌است [۳].



شکل۱: شماتیک موج سینوسی یکپارچه و پارامترهای مهم موج [۳]

L (طول موج): فاصله بین دو قله یا قعر متوالی

T (دوره تناوب موج): زمان صـرف شـده برای ایجاد دو قله یا قعر متوالی

a (دامنه): بیشترین جابجایی از موج تا (z=0) سطح آب ساکن

H (ارتفاع موج): فاصله عمودی بین قله و قعر(2a)

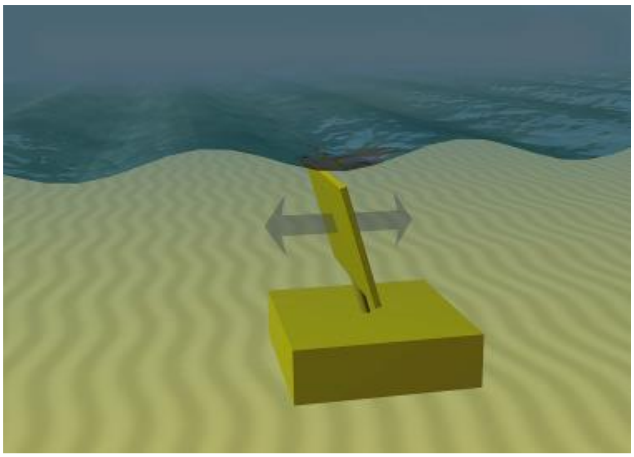
$$\sigma = \frac{2\pi}{T} \qquad k = \frac{2\pi}{L}$$

k: چرخه موج کامل که شامل 1m از فضای خطی می شود. بیانگر بسامد مکانی یک موج است که به‌صورت دور بر واحد طول یا رادیان بر واحد طول بیان می‌شود. به عبارت دیگر، عدد موج تعداد موج‌های موجود در واحد طول است.

σ: فرکانس زاویه ای(Hz)

انرژی امواج دریا به واسطه روش های استحصال آن، پاک‌ترین و غیر آلاینده‌ترین نوع انرژی، در بین انرژی‌های دریایی است. انرژی امواج بطور متوسط ۵ برابر انرژی باد و ۱۲.۵ برابر انرژی استحصالی از خورشید است [۴]. لذا، بحث طراحی سیستم‌های جاذب انرژی امواج، در چند دهه گذشته یکی از مهم‌ترین مباحث چالش بر انگیز مهندسی، در عرصه انرژی های تجدید پذیر بوده است. این تکنولوژی‌ها همواره در حال بهینه‌سازی است تا هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیر، نگهداری و تولید انرژی توسط آن‌ها کاهش یابد [۴].

مبدل‌های انرژی امواج معمولاً براساس موقعیت نصب مبدل و روش استحصال انرژی موج، طبقه‌بندی می‌شوند. موقعیت نصب مبدل‌های انرژی امواج به سه گروه فراساحل، نزدیک به ساحل و روی خط ساحل تقسیم‌بندی می‌شود. روش استحصال انرژی موج یا نوع عملکرد دستگاه معمولاً بر پنج گروه، شامل روش تجمیع امواج و بالاروی موج بر یک سطح شیب‌دار [ii]، روش ستون نوسانگر آب [iii]، روش نوسان رول-سرج [iv]، روش نوسان هیو بویه [v] و روش تضعیف انرژی موج [vi] تقسیم می‌شود [۴]. مبدل انرژی نوسانگر موج [vii] نیز یک کلکتور نزدیک ساحلی است که بر روی یک بازو در نزدیکی بستر دریا قرار دارد (شکل۲). بازو به دلیل حرکت ذرات آب موجود در موج در نوسان است[۵].



شکل۲: نمونه ای از دستگاه های مبدل انرژی نوسانگر موج [۵]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

تا کنون مطالعات متعددی بر روی انواع سیستم های مبدل انرژی موج از جمله مبدل صفحه‌ای انجام شده است. از جمله Li و همکاران در سال ۲۰۲۱ یک مبدل انرژی صفحه ای شناور پیشنهاد نمودند. این مبدل انرژی، متشکل از دو صفحه بوده که با یک لولا به یکدیگر متصل شده و در جهت خلاف یکدیگر نوسان می‌کنند. آنها نتیجه‌گیری کردند که دستگاه قابلیت نصب در آب‌های عمیق را دارد. آن‌ها با شبیه‌سازی عددی نتیجه گرفتند که توان دستگاه با افزایش عرض، ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد [۶].

در یک مطالعه آزمایشگاهی تاثیر وجود سازه‌های ساحلی بر مبدل انرژی امواج از نوع صفحه ای و با مقطع مثلثی مورد بررسی قرار گرفت. محققان گزارش نمودند که وجود سازه های حفاظتی ساحلی، از طریق افزایش انعکاس امواج، موجب بهبود عملکرد دستگاه می‌گردد. همچنین، در شرایطی که عمق اولیه آب کمتر از ارتفاع صفحه باشد عملکرد مبدل انرژی بهبود پیدا می‌کند [۷].

در یک مطالعه آزمایشگاهی دیگر، عملکرد دو مبدل انرژی موج صفحه‌ای که به صورت متوالی در یک حوضچه کارگذاری شده بودند، مورد بررسی قرار گرفت. فاصله دو مبدل انرژی از یکدیگر به عنوان متغیر اصلی مورد بررسی لحاظ گردید. از تکنیک پردازش تصاویر نیز جهت تحلیل نتایج آزمایشگاهی استفاده شد. نتایج نشان داد که فاصله بهینه کارگذاری دو مبدل انرژی از یکدیگر به منظور استحصال بیشترین انرژی، معادل هفت‌هشتم طول موج می‌باشد [۸].

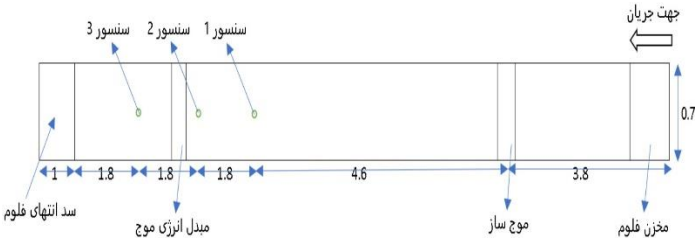
برخلاف بیشتر مطالعات پیشین که راندمان مبدل‌های انرژی موج را در تولید برق مورد توجه قرار می‌دهند، در این مطالعه عملکرد یک مبدل انرژی موج از نوع صفحه‌ای (شکل ۲) به منظور استفاده از انرژی امواج دریا و با هدف انتقال آب به خشکی مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته‌است. لذا خروجی دستگاه و تاثیر پارامتر های مختلف بر آن به وسیله ارتفاع معادل فشار مورد ارزیابی قرار گرفته است. تا جایی‌که مطالعات نگارندگان نشان می‌دهد، بررسی آزمایشگاهی این نوع از مبدل انرژی موج با هدف بررسی انتقال آب، تا کنون مورد توجه قرار نگرفته‌است.

۲ – مواد و روش‌ها

آزمایشات مبدل انرژی موج در فلوم آزمایشگاهی با طول ۱۵.۴، عرض ۰.۷ و عمق ۰.۶ متر و شیب ناچیز (شکل۳) انجام شده‌است. تجهیزات و مشخصات نشان داده شده در شکل ۴ نیز، شماتیک محل قرارگیری اجزای فلوم آزمایشگاهی از نمای جانبی را نشان داده‌است. نسبت عرض صفحه به عرض فلوم ۰.۶۹ می‌باشد.



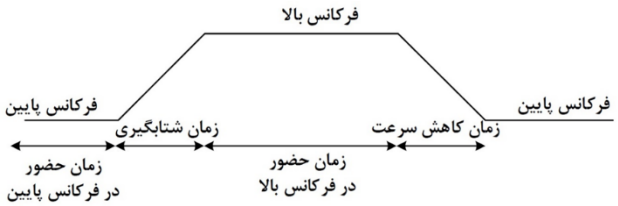
شکل۳: فلوم آزمایشگاهی محل انجام آزمایشات



شکل ۴: نمای جانبی فلوم و محل قرارگیری اجزای آن

اندازه گیری سطح جریان و مشخصات موج به وسیله سنسورهای سطح سنج با دقت بسیار بالا صورت گرفته است. تعداد ۳ عدد ازاین سنسورها، که هر کدام متصل به کامپیوتر و مجهز به ثبات داده بوده‌اند مورد استفاده قرار گرفته و مطابق شکل ۴ در بالای فلوم جایگذاری شده‌اند. اندازه گیری ارتفاع معادل فشار نیز به وسیله مانومتر تفاضلی جیوه ای که به شیرهای خروجی طرفین پیستون متصل بوده‌اند، انجام شده است.

در فاصله‌ی ۱۱.۵ متر از انتهای فلوم، یک موج‌ساز تعبیه شده که به صورت افقی در دامنه‌ی ۲۳ سانتی متر نوسان می‌کند. این سیستم قادر به طراحی فرآیندی بصورت شکل۵ در واحد زمان و دور می‌باشد. به مسیر رفت و برگشت دستگاه، یک دور گفته می‌شود. به علاوه شبیه‌ساز موج، توان ایجاد تعداد دلخواه تک‌موج با فرکانس مشخص را دارد.



شکل۵: فرآیند طراحی شده توسط شبیه ساز موج

قبل از انجام آزمایشات اصلی، دستگاه موج‌ساز مورد واسنجی قرار گرفته است. همانطور که در شکل فوق اشاره شده، این دستگاه جهت شروع به کار یک فرکانس به عنوان ورودی می پذیرد. لذا، ابتدا سه فرکانس مختلف به عنوان ورودی تعریف شده است. پس از استقرار جریان، مشخصات امواج ایجاد شده در هر فرکانس، به

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

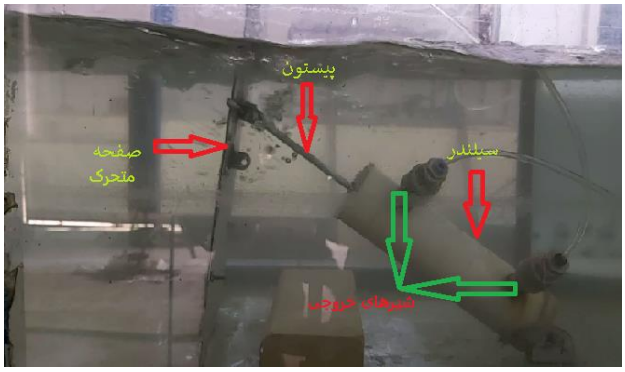
وسیله سنسورهای دقیق متصل به ثبات داده‌ها برداشت گردیده است و به وسیله‌ی آن‌ها مشخصات موج مطابق با آنچه در بند ۳-۵ ذکر شده به دست آمده است. همچنین سنسورهای سنجش سطح جریان به‌وسیله کارخانه سازنده مورد واسنجی قرار گرفته اند.

۲-۱- دستگاه مبدل انرژی موج

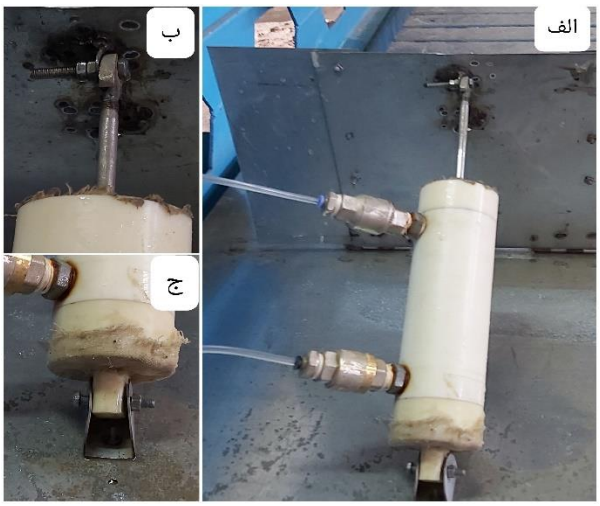
دستگاه مبدل انرژی موج[viii] به منظور پمپاژ آب دریا به وسیله انرژی امواج ساخته شده‌است که در این پژوهش درون فلوم آزمایشگاهی قرار گرفته و فشار تولیدی تحت متغیرهای مختلف، مورد ارزیابی واقع شده‌است. این مبدل از دو صفحه گالوانیزه، یک سیلندر از جنس تفلن خشک، یک پیستون استیل و دو شیر یکطرفه ساخته شده‌است (شکل۶). یک صفحه با ابعاد ۱m*۰.۶m در کف کانال قرار گرفته و صفحه متحرک با ابعاد ۰.۵m*۰.۲۸m به‌وسیله یک جفت لولا به صفحه زیرین متصل گردیده است. از طرفی مبدل انرژی باید روی این دو صفحه‌ی لولاشده به یکدیگر متصل می‌شد. همانطور که در شکل ۷ مشخص است، مبدل به وسیله‌ی پیچ و مهره بر روی صفحات گالوانیزه نصب گردیده و صفحه گالوانیزه بر روی کف فلوم آزمایشگاهی فیکس شده است.

موج‌ساز امواجی را تولید می‌کند که باعث به حرکت درآمدن صفحه متحرک می‌شود و در نتیجه پیستون متصل به این صفحه، شروع به حرکت نوسانی رفت و برگشتی درون سیلندر می‌نماید؛ در سقف و کف پمپ حفره‌هایی تعبیه شده که به صورت یک طرفه عمل می‌کنند و برای خارج شدن آب و تولید فشار، از دو شیر یکطرفه متصل در بدنه مبدل انرژی استفاده شده‌است که این دو شیر به وسیله‌ی لوله‌هایی به مانومتر وصل شده و از این طریق فشار آب پمپ شده (فشار تولیدی) اندازه‌گیری می‌شود.

دلیل استفاده از دو شیر، این است که در این حالت آب بطور پیوسته پمپاژ می‌شود؛ یعنی هنگام حرکت پیستون از بالا به پایین پمپ، آب از شیر یکطرفه پایینی خارج شده و در حرکت برگشت، آب از شیر یکطرفه بالایی، به سمت مانومتر منتقل می‌شود. در عمل، خروجی‌های این مبدل انرژی را می‌توان به ساحل و به محل انجام فرایند آب‌شیرین‌کن انتقال داد.



شکل۶: اجزای دستگاه مبدل انرژی موج



شکل۷ الف: نمایی از مبدل انرژی موج و نحوه اتصال آن به، ب: صفحه ج: کف

در این پژوهش در مجموع ۱۶۵ آزمایش انجام شده است. از این تعداد، ۲۱ آزمایش برای سه عرض متغیر صفحه مبدل (۲۸و ۳۸ و ۴۸ سانتی متر) ۳۰ آزمایش برای سه عمق متغیر آب (۲۷.۵ و ۳۱ و ۳۵ سانتی متر)، ۹ آزمایش برای دو ارتفاع متغیر صفحه مبدل (۲۸ و ۴۲ سانتی متر) ، ۴۵ آزمایش برای سه شیب متغیر ساحل (قائم، ۱:۳، ۱:۵) و ۶۰ آزمایش نیز، برای سه دوره تناوب متغیر (۲ و ۲.۳ و ۲.۵ ثانیه) موج صورت گرفته است. هر دسته از این مقادیر نموداری جداگانه ارائه شده تا به وسیله آن بتوان روند تغییرات یک متغیر، با فشار خروجی را مشاهده نمود.

۳- نتایج و بحث

در ابتدا جهت اطمینان از صحت نتایج آزمایشگاهی، تعدادی از آزمایشات سه بار تکرار گردیدند تا نتایج آن‌ها در قالب ارتفاع معادل فشار با یکدیگر مورد مقایسه قرار گیرند. در این مرحله مجموعا ۵۴ آزمایش انجام شد، که شامل کلیه پارامترهای مورد بررسی بود. مشاهدات نشان داد که با هر بار تکرار آزمایشات نتایج نسبتا نزدیک به یکدیگر می باشند. در عین حال بازه اطمینان برای سطح۹۵ و

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

سپس ۹۹ درصد کنترل گردید. محاسبه ضریب اطمینان نشان می-دهد که داده‌های برداشت شده در هر دو محدوده جای می‌گیرند. لذا عدم قطعیت اندازه گیری حداکثر یک درصد برآورد می گردد و با حصول اطمینان در سطح ۹۹ درصد از نتایج آزمایش‌ها، مابقی آزمایش‌ها صورت گرفته و تاثیر هر پارامتر بر فشار تولیدی، در این قسمت مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- تاثیر عرض صفحه بر فشار تولیدی

بطور کلی، حرکت صفحه توسط نیروی موج وارد شده به آن صورت می‌گیرد؛ در نتیجه عرض صفحه می‌تواند تاثیر بسزایی در راندمان دستگاه مبدل انرژی داشته باشد. مدل OWSC[ix] نشان می‌دهد که نیروی موج منجربه «جذب کردن» انرژی توسط دستگاه می‌شود یا به عبارت دیگر انرژی موج را به صفحه منتقل می‌کند. لذا، تغییر عرض صفحه بطور قابل ملاحظه‌ای روی انرژی جذب شده اثر می‌گذارد. از این رو می‌توان انتظار داشت که با افزایش عرض صفحه (حداقل تا یک حد مشخص) «نیروی جذب» افزایش می‌یابد.

یکی دیگر از عواملی که باعث افزایش فشار آب تولیدی دستگاه با افزایش عرض صفحه می‌شود، این است که با افزایش عرض، نیروی وارد شده از طرف امواج دریا به دستگاه بیشتر شده و سرعت عمل (رفت و برگشت) صفحه نیز بیشتر می‌شود. با این افزایش عرض صفحه راندمان (فشار خروجی آب) بصورت غیرخطی افزایش پیدا می‌کند، بطوریکه صفحه‌های عریض‌تر، «قدرت جذب» بیشتری دارند. طبق یافته‌های [۹] صفحه‌ای با عرض ۱۸m تقریبا ۶ برابر صفحه‌ای با عرض ۶m «قدرت جذب» دارد، در حالی‌که عرض صفحه بزرگ تنها ۳ برابر عرض صفحه کوچک است.

همچنین طبق پژوهش‌های [۱۰] نیز، با افزایش عرض صفحه‌ی مبدل انرژی موج، راندمان تبدیل انرژی موج (فشار خروجی) افزایش می‌یابد.

در این میان چند فاکتور نیز وجود دارند که افزایش عرض صفحه را تا حد مشخصی محدود می‌کنند:

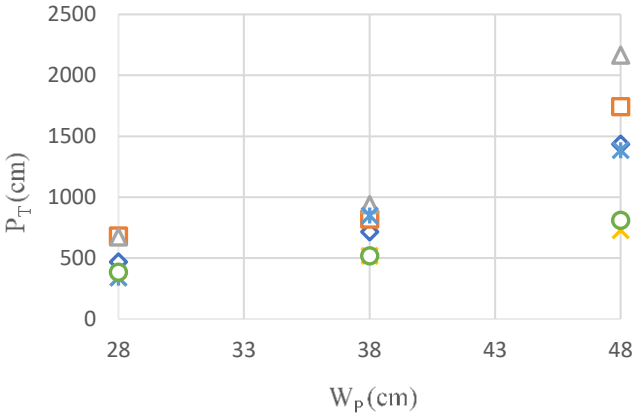
۱. هرچه عرض صفحه بیشتر شود، نیازمند ساختار بزرگتر دستگاه می‌باشد و همچنین باعث استهلاک گشتاور (سختی چرخش) بیشتری می‌شود. به‌علاوه، هزینه اولیه نصب و نگهداری و تعمیرات افزایش می‌یابد.

۲. زمانی که عرض صفحه به میزانی زیاد شود، که به بخش قابل توجهی از طول موج اولیه تبدیل شود، بازده‌ی جذب صفحه‌ها کاهش می‌یابد.

۳. در صفحه بسیار عریض، راندمان در دریاهای غیرمتعامد (یعنی دریاهای بدون امواج عمودی) کم می‌شود، زیرا نیروی موج در سراسر (اول تا اخر) عرض دستگاه تغییر فاز می‌دهد [۱۱].

حال می‌بایست با در نظر گرفتن این موارد، یک عرض ایده‌آل برای دستگاه با توجه به شرایط امواج دریای مربوطه، مشخص کرد. به منظور بررسی عرض صفحه سایر پارامترها (شامل عمق آب، ارتفاع صفحه، شیب ساحل و دوره تناوب موج) ثابت در نظر گرفته شده و عرض صفحه به عنوان تنها متغیر، مورد آزمایش قرار گرفته‌است.

در آزمایشگاه در شرایط یکسان سه عرض صفحه مختلف برای دستگاه مبدل انرژی، مورد آزمایش قرار گرفت که با توجه به شکل ۸ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش عرض صفحه، راندمان دستگاه (تولید فشار خروجی آب) نیز افزایش یافته‌است. در شکل زیر W_P عرض صفحه، P_T فشار خروجی کل می‌باشد.



شکل۸: تاثیر عرض صفحه دستگاه مبدل انرژی بر فشار تولیدی

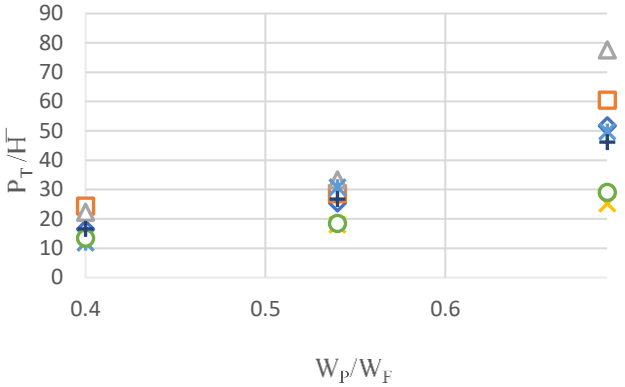
بطور میانگین در ۷ آزمایش انجام شده برای عرض صفحه، با ٪۳۵ افزایش عرض، فشار ٪۵۸ درصد افزایش یافته و به ازای ٪۷۱ افزایش عرض نیز، فشار ۱.۸۲ برابر شده‌است. می‌توان نتیجه گرفت نمودار افزایش فشار، نسبت به افزایش عرض، طبق شکل ۸ افزایشی می‌باشد. به بیان دیگر رابطه مستقیمی بین افزایش عرض صفحه و افزایش فشار تولیدی در محدوه آزمایشات انجام شده، برقرار است.

به منظور ارائه نتایج در قالب نمودارهای بدون بعد، و تعمیم یافته‌ها به سایر محیط‌ها، تحلیل ابعادی بر طبق تئوی باکینگهام انجام شد. به طور خلاصه، بر طبق روش فوق، موثرترین پارامترهای بدون بعد در این پژوهش، شامل: W_P/W_F، $P_T/\bar{H}$، h/h_p، s و gT/c می‌باشند، که نمودارهای خروجی بر اساس این پارامترها نمایش داده شده‌اند. در این عبارات، W_P عرض صفحه مبدل انرژی موج (m)، W_F عرض فلوم آزمایشگاهی (m)، P_T ارتفاع معادل فشار (m)، $\bar{H}$ متوسط ارتفاع موج (cm)، h عمق آب ساکن (cm)، hp ارتفاع صفحه مبدل انرژی موج (m)، s شیب ساحل پایین‌دست، g شتاب ثقل (m/s^2)، T دوره تناوب (s) و c سرعت موج (m/s) می‌باشد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

بر این اساس، نمودار بدون بعد تغییرات عرض صفحه دستگاه مبدل انرژی در مقابل فشار خروجی در شکل ۹ نمایش داده شده است.



شکل۹: نمودار بدون بعد تاثیر عرض صفحه دستگاه مبدل انرژی بر فشار تولیدی

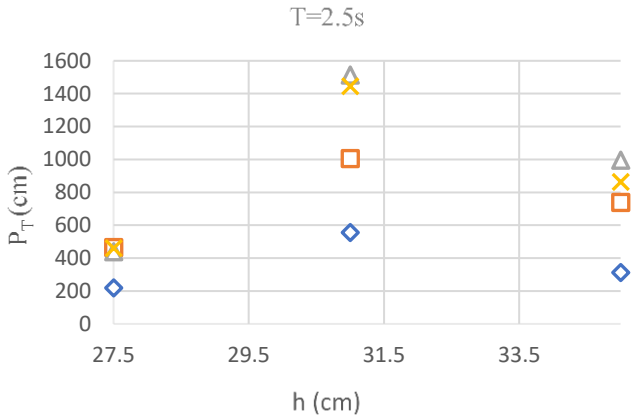
علت افزایشی بودن فشار خروجی با عرض صفحه را می‌توان به افزایش مقطع دستگاه مبدل انرژی موج، در جهت عمود بر جریان دانست. با افزایش سطح مقطع دستگاه مبدل، انرژی بیشتری از امواج به صفحه منتقل شده که منجر به افزایش فشار خروجی می‌گردد که منطبق با نتایج [۹و۱۰] می‌باشد. آن ها نیز گزارش نمودند با افزایش عرض صفحه دستگاه مبدل انرژی موج، قدرت جذب و راندمان تبدیل انرژی افزایش می‌یابد.

۳-۲- تاثیر عمق آب بر فشار تولیدی

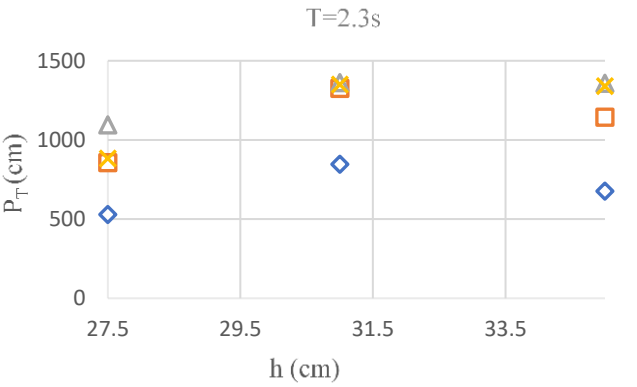
انرژی امواج به علت وجود فضای کم، در آب کم‌عمق، افزایش می‌یابد؛ بنابراین برای دستگاه‌های مبدل انرژی با عملکرد یکسان، در آب‌های کم‌عمق، نیروی جذب می‌تواند بیشتر شود زیرا با افزایش سرعت در حرکت عمودی آب، نیروی موج نیز افزایش می‌یابد [۹]. دستگاه‌های مبدل انرژی، انرژی خود را از حرکت موج‌های برخوردی بدست می‌آورند. این حرکات موج (که شامل حرکت امواج بر روی بستر دریا می‌شود) در آب‌های کم‌عمق تقویت می‌شوند [۱۲]؛ بنابراین دستگاه بر روی بستر دریا نصب می‌شود. با همه‌ی این تفاسیر می‌توان گفت که بهتر است طراح، دستگاه مبدل انرژی صفحه‌ای مذکور را نزدیک به ساحل، جای‌گذاری کند [۹].

در آزمایشگاه، سه عمق ۲۷.۵، ۳۱ و ۳۵ سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفتند. این اعماق با انجام چند تست اولیه به صورت سعی و خطا انتخاب شده‌اند؛ در این اعماق، فشار تولیدی دستگاه نسبتاً بهتر از سایر اعماق بوده‌است.

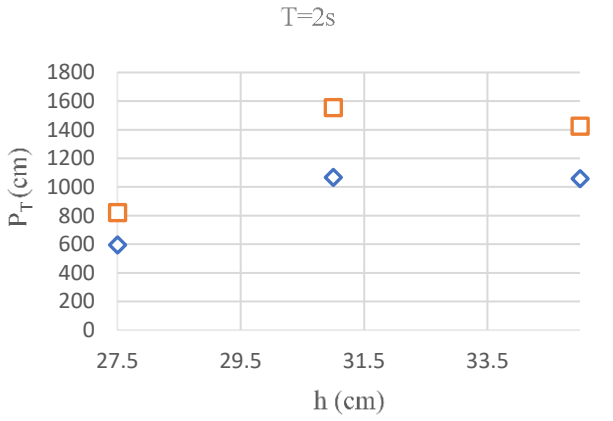
به منظور بررسی اثر عمق بر فشار تولیدی توسط دستگاه، سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته‌شده و عمق آب به عنوان تنها متغیر، مورد آزمایش قرار گرفته‌است. دوره موج‌های مورد بررسی شامل ۲.۵s (شکل ۱۰ الف)، ۲.۳s (شکل ۱۰ب) و ۲s (شکل ۱۰ ج)؛ در شکل زیر h عمق آب ساکن و P_T فشار خروجی کل می‌باشد.



شکل۱۰ الف: تغییرات فشار خروجی در برابر عمق آب برای دوره تناوب ۲.۵s



شکل۱۰ ب: تغییرات فشار خروجی در برابر عمق آب برای دوره تناوب ۲.۳s



شکل۱۰ ج: تغییرات فشار خروجی در برابر عمق آب برای دوره تناوب ۲s

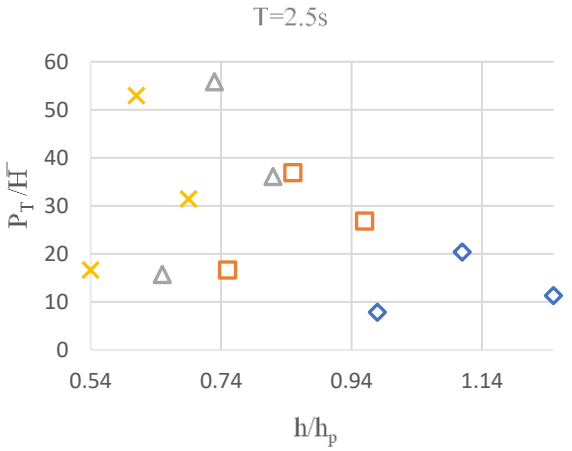
یافته‌های این پژوهش، منطبق بر نتایج [۱۲] است، آنها نتیجه گرفتند که با کاهش عمق آب، فشار دستگاه مبدل انرژی بیشتر می‌شود. همانطور که در شکل‌های ۱۰ (الف، ب و ج) مشاهده شد،

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

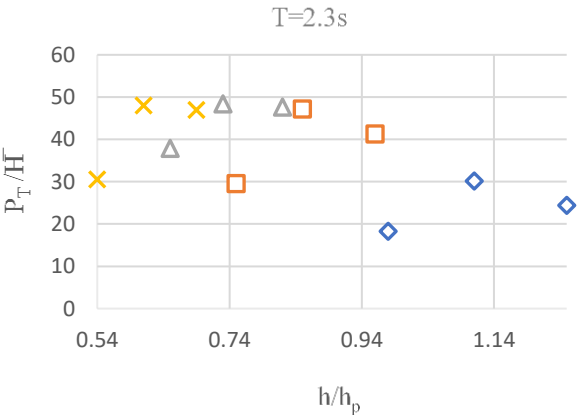
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

نتایج آزمایشات از یک الگوی خاص پیروی می‌کنند، به‌طوری‌که افزایش عمق آب، تا حد مشخصی (متناسب با ارتفاع صفحه) باعث افزایش فشار دستگاه شده و بعد از آن شروع به کاستن از فشار دستگاه می‌کند. عمق آب با افزایش ۱۳ و ۲۷ درصدی به ترتیب منجر به افزایش حداکثر ۳.۴۴ برابری فشار آب و سپس منجر به کاهش حداکثر ۱.۶۸ برابری فشار آب شده‌است.

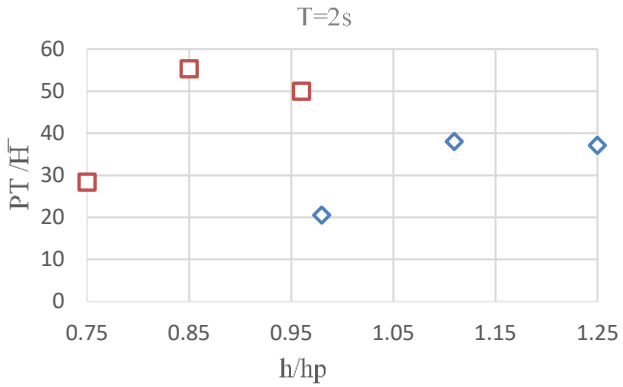
نمودارهای بدون بعد تغییرات عمق آب در برابر فشار خروجی در شکل‌های (۱۱ الف و ب و ج) نشان داده شده است. در شکل زیر hp ارتفاع صفحه و h عمق آب ساکن، P_T فشار خروجی کل و $\bar{H}$ متوسط ارتفاع موج می‌باشد.



شکل۱۱ الف: تغییرات بدون بعد فشار خروجی در برابر عمق آب برای دوره تناوب ۲.۵s



شکل۱۱ ب: تغییرات بدون بعد فشار خروجی در برابر عمق آب برای دوره تناوب ۲.۵s



شکل۱۱ ج: تغییرات بدون بعد فشار خروجی در برابر عمق آب برای دوره تناوب ۲s

سلطان‌پور و دیباجنیا طی اندازه‌گیری‌هایی در ۱۴ روز، دوره تناوب امواج خلیج چابهار را بین ۱ تا ۱۶ ثانیه متغیر دانستند. همچنین در نزدیکی ساحل دریا (حدود ۵۰ تا ۲۵۰ متر از ساحل)، عمق آب حدود ۲ متر گزارش نمودند[۱۳]. همچنین طبق مطالعه ساکت و همکاران (۲۰۱۳) ارتفاع موج در خلیج چابهار بین ۰.۲ تا ۱.۶ متر بوده‌است[۱۴]. طبق اطلاعات مطالعه منبع [۱۵] نیز ارتفاع موج در خلیج چابهار بین ۰.۳۵ تا ۱.۳۵ متر بوده‌است. چنانچه بخواهیم نتایج را به خلیج چابهار نسبت دهیم، با توجه به مطالعات فوق و فرض ارتفاع امواج در حدود ۱.۵ متر، طبق شکل (۱۱ج) چنانچه نسبت عمق به ارتفاع صفحه‌ی مبدل برابر با ۰.۸۵ (h/h_p=0.85) و عمق آب دریا در نزدیکی ساحل، در بازه‌ی ۱.۸ تا ۲.۲ متر (مطالعه منبع [۱۵]) در نظر گرفته شود ($1.8/hp$=0.85 تا $2.2/h_p$=0.85)، ارتفاع صفحه‌ی مبدل می‌بایست در بازه‌ی ۲.۱ تا ۲.۶ متر برآورد شود. حال با عمق آب و ارتفاع صفحه‌ی مذکور، مطابق با شکل (۱۱ج) فشار بی بعد ۵۵ تولید خواهد شد (P_T /$\bar{H}$=55). لذا در اینحالت، فشار خروجی کل، در حدود P_T= 82.5m خواهد بود. در نتیجه اگر دستگاه مبدل انرژی، در حدود این فاصله از ساحل دریا نصب گردد، می‌توان با فشار تولید شده، آب دریا را به ساحل انتقال داد (همان طور که ذکر شد در فاصله ۵۰ تا ۲۵۰ متر از ساحل عمق آب حدود ۲ متر است).

۳-۳- ارتفاع صفحه

از طرفی یک عامل دیگر با استفاده از پارامتر عمق و ارتفاع صفحه می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد، عبارت است از یعنی "مستغرق" یا "غیرمستغرق" بودن صفحه، که نتایج مؤثری بر استفاده‌ی بهینه از دستگاه مبدل انرژی دارد. در مجموع تعداد ۳ مقایسه برای بررسی عملکرد صفحه در حالت مستغرق یا غیرمستغرق صورت گرفته که در این مقایسه‌ها، پارامترهای عرض صفحه مبدل، عمق آب، شیب ساحل و دوره تناوب موج ثابت بوده و تنها ارتفاع صفحه مبدل انرژی از ۲۸ به ۴۲ سانتی متر تغییر یافته است. لازم به ذکر است عمق

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

آب در این آزمایشات ۳۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است که در حالت اول صفحه‌ی ۲۸ سانتی‌متری کاملاً مستغرق بوده و در حالت دوم صفحه‌ی ۴۲ سانتی‌متری غیرمستغرق بوده، به‌طوری‌که ۷ سانتی‌متر از آن در خارج از آب ساکن قرار گرفته است. (جدول۱)

جدول۱: مقایسه صفحه مستغرق و غیرمستغرق

فشار در صفحه غیرمستغرق(cm)	فشار درصفحه مستغرق(cm)	درصد افزایش فشار حالت غیر مستغرق نسبت به مستغرق
۹۹۶.۸	۳۱۲.۴۴	٪۲۱۹
۱۳۵۸.۵۶	۶۷۵.۸۴	٪۱۰۱
۲۱۶۶.۴۱	۱۰۵۶.۶۴	٪۱۰۵

همانطور که مشاهده می‌شود فشار در حالت صفحه غیرمستغرق، به مقدار قابل توجهی (بین ۲.۰۵ تا ۳.۱۹ برابر) بیشتر از فشار در حالت مستغرق می‌باشد؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد دستگاه مبدل انرژی موج صفحه‌ای، در اعماق کم و نزدیک به ساحل بیشتر می‌باشد.

قابل ذکر است نتیجه گیری از این پارامتر (مستغرق یا غیرمستغرق بودن صفحه) را می‌توان از نمودارهای بدون بعد عمق، (شکل‌های ۱۱ الف، ب و ج) نیز تشخیص داد، طبق مشاهدات در نقاطی که نسبت عمق به ارتفاع صفحه آنها کمتر است، فشار آب، بیشتر می‌باشد.

با توجه به اینکه امواج به صورت رفت و برگشتی عمل می‌نمایند، در حالت غیرمستغرق با توجه به اینکه ارتفاع آب کمتری به نسبت ارتفاع صفحه وجود دارد، در حالت موج رفت، صفحه تا حدود زیادی به سمت بستر متمایل شده (جمع می‌شود)؛ و در جهت برگشت امواج نیز این اتفاق در جهت عکس رخ می‌دهد؛ اما در حالت مستغرق، با توجه به اینکه ارتفاع ستون آب در طرفین صفحه، بیشتر از ارتفاع خود صفحه می‌باشد، در حالت رفت، امواج با برخورد موج به صفحه به علت نیروی هیدرواستاتیک پشت آن، در تمایل صفحه به سمت بستر، مقاومت بیشتری وجود داشته که در نتیجه منجر به کاهش فشار خروجی دستگاه می‌گردد. همین اتفاق در حالت برگشت امواج نیز رخ می‌دهد. یافته‌های این مطالعه منطبق بر نتایج [۷] می‌باشد؛ آنها نتیجه گرفتند اگر عمق آب کمتر از ارتفاع صفحه باشد (به عبارت دیگر اگر صفحه غیرمستغرق باشد)، عملکرد دستگاه بهتر می‌شود.

۳-۴- تأثیر شیب ساحل (انتهای فلوم) بر فشار تولیدی

در سواحل آب‌های آزاد، یک شیب طبیعی وجود دارد که انرژی جنبشی امواج دریا هنگام رسیدن به آن شیب (ساحل)، به انرژی پتانسیل تبدیل شده و موج تابشی، به موج منعکس شده تغییر حالت می‌دهد. همچنین در مناطقی دیوارهای موج‌شکن یا دیواره‌های سیل‌بند ساحلی، در مجاورت ساحل وجود دارند که امواج بلافاصله پس از برخورد با آنها به حالت موج منعکس‌شده برمی‌گردند. موج تابشی موجی است که به سمت ساحل در حرکت است و به ساحل برخورد می‌کند و موج منعکس شده موجی است که پس از برخورد به ساحل، به صورت برگشتی عمل می‌نماید.

یافته‌های این پژوهش منطبق بر نتایج [۷] می‌باشد. آن‌ها به منظور عملکرد مؤثرتر دستگاه مبدل انرژی موج صفحه‌ای، یک دیواره‌ی بازتاب‌کننده موج، به عنوان یک ساختار ساحلی (شبیه‌ساز موج‌شکن)، پشت مبدل قرار داده‌اند.

نتایج نظری [۱۶] نشان داده است که اگرچه بازده تبدیل (فشار خروجی)، در دریای آزاد خیلی زیاد نیست، اما قابل اجراست، همچنین می‌توان با افزودن یک مانع در مقابل مدل، کارایی آن را تا ٪۷۰ افزایش داد. (در این پژوهش شیب ساحل قائم، همانند عملکرد افزودن مانع یا موج شکن می‌باشد.)

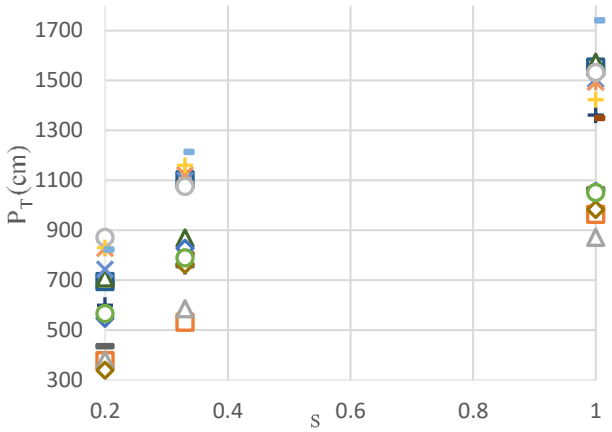
در مطالعه [۱۷] کارایی هیدرودینامیکی مبدل انرژی موج در مقابل موج‌شکن‌های منعکس‌کننده‌ی موج، بررسی شده‌است. این ایده مبتنی بر تقویت کارکرد دستگاه مبدل انرژی به وسیله دیواره‌های عمودی، به جهت افزایش قدرت جذب موج دستگاه، به دلیل بازتاب امواج از دیواره‌ها (موج‌شکن) است. نتایج نشان داده‌است که مقدار قدرت موج جذب شده توسط دستگاه مبدل انرژی، در مقابل یک دیواره متعامد، در مقایسه با قدرت موج جذب شده توسط همان دستگاه مبدل انرژی، در دریای آزاد تقویت می‌شود.

در این پژوهش نیز سه شیب متفاوت در پایین‌دست فلوم شبیه‌سازی شده‌اند؛ که عبارتند از: ۱- شیب قائم، ۲- شیب ۱:۳ و ۳- شیب ۱:۵. شیب انتهای فلوم در واقع شیب ساحل را شبیه‌سازی می‌کند، که شیب ۱:۵ برای شبیه‌سازی شیب معمولی ساحل دریا، شیب ۱:۳ برای سواحل با شیب زیاد و شیب قائم به منظور شبیه‌سازی دیوارهای موج شکن یا دیواره های سیل‌بند ساحلی، طراحی و مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

به منظور بررسی تأثیر شیب ساحل بر فشار تولیدی، همه‌ی پارامترها ثابت در نظر گرفته شده و شیب ساحل به عنوان تنها متغیر، مورد آزمایش قرار گرفته‌است. تعداد ۱۵ آزمایش در شرایط مختلف انجام گرفت که نتایج بصورت شکل ۱۲ می‌باشد. در این شکل بر روی محور افقی، عدد ۱ شیب قائم، عدد ۰.۳۳ شیب ۱:۳ و عدد ۰.۲ شیب ۱:۵ را نشان می‌دهد. در شکل زیر s شیب انتهای فلوم و P_T فشار خروجی کل می‌باشد.

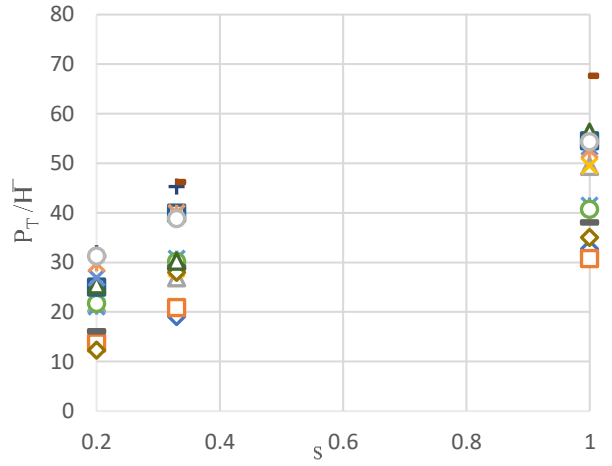
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]



شکل۱۲: تأثیر شیب ساحل بر فشار تولیدی

نمودار بدون بعد تاثیر شیب ساحل بر فشار خروجی در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. در شکل زیر s شیب انتهای فلوم، P_T فشار خروجی کل و $\bar{H}$ متوسط ارتفاع موج می‌باشد.



شکل۱۳: نمودار بدون بعد تأثیر شیب ساحل بر فشار تولیدی

بطور میانگین؛ در ۱۵ آزمایش انجام شده برای شیب ساحل، با ٪۶۳ افزایش شیب (از شیب ۱:۵ به شیب ۱:۳)، فشار ٪۴۷.۲۵ درصد افزایش یافته و به ازای ۵ برابر شدن شیب (از شیب ۱:۵ به شیب قائم) نیز فشار، ۲.۱۴ برابر شده‌است. می‌توان نتیجه گرفت نمودار افزایش فشار به نسبت افزایش شیب، صعودی می‌باشد. به بیان دیگر بین افزایش شیب دیواره ساحل و فشار خروجی رابطه مستقیمی برقرار است. همچنین، وجود موج‌شکن یا دیواره‌های سیل‌بند ساحلی و سازه‌های حفاظتی در ساحل و در مجاورت دستگاه مبدل انرژی موج، موجب افزایش فشار خروجی دستگاه می‌گردد. علت این پدیده را مانند سایر مطالعات مشابه انجام شده[۷و۱۶و۱۷] می‌توان به بازتاب امواج از دیوارهای ساحلی مرتبط دانست. همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، با افزایش شیب ساحل، به دلیل افزایش شدت بازتاب امواج، فشار خروجی نیز بیشتر می‌شود.

چنانچه بخواهیم نتایج را به آبهای خلیج چابهار تعمیم بدهیم، مطابق با شکل۱۳، مشخص است که حداکثر فشار خروجی زمانی تولید می‌شود که مانع قائم، مثل موج شکن بعد از مبدل قرار گیرد، یا به عبارتی $P_T/\bar{H}=67.65$ باشد. حال با توجه به ارتفاع امواج خلیج چابهار ($\bar{H}=1.5m$) فشار خروجی کل، در حدود $P_T=$ 101.48m خواهد بود. در نتیجه اگر دستگاه مبدل انرژی، در حدود این فاصله از ساحل دریا نصب گردد، می‌توان با فشار تولید شده، آب دریا را به ساحل انتقال داد.

۳-۵- تأثیر دوره تناوب موج بر فشار تولیدی

عملکرد دستگاه مبدل انرژی، به دوره تناوب موج بسیار وابسته است، بنابراین یکی از متغیرهای منتخب این پژوهش، دوره تناوب موج می‌باشد. بطور کلی، فاکتور جذب دستگاه، با دو پارامتر عرض صفحه و فرکانس موج، به دلیل افزایش نیروی موج افزایش می‌یابد [۱۸]. افزایش فاکتور جذب به وضوح در موج‌های با دامنه‌ی کمتر، دیده می‌شود بطوریکه بیشترین فاکتور جذب، در کوتاه‌ترین دوره‌های موج رخ می‌دهد.

در این تحقیق سه دوره تناوب موج ۲s، ۲.۳s و ۲.۵s مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. این اندازه‌گیری‌ها به وسیله‌ی سنسورهای دقیق ارتفاع‌سنج صورت گرفته‌است. ویژگی‌های دوره‌های موج مذکور در خطوط زیر توضیح داده شده‌است و شماتیک آن در شکل ۱ قابل مشاهده‌است [۳] .

مشخصات امواج با دوره تناوب موج T=2.5s: H=61.4cm، a=30.7cm

مشخصات امواج با دوره تناوب موج T=2.3s: H=35cm ، a=17.5cm

مشخصات امواج با دوره تناوب موج T=2s: H=17.2cm ، a=8.6cm

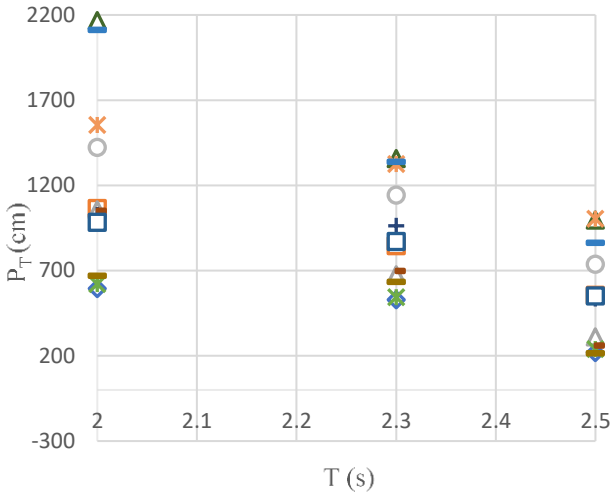
با توجه به اینکه این مشخصات در محدوده دستگاه موج‌ساز بوده و از طرفی در محدوده امواج دریا می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. [۱۳] طی اندازه‌گیری‌هایی در ۱۴ روز، دوره تناوب امواج خلیج چابهار را بین ۱ تا ۱۶ ثانیه متغیر برآورد کرد. دوره تناوب موج در آزمایشات مربوط به این پژوهش نیز بین ۲ تا ۲.۵ ثانیه بوده است که در بازه‌ی دوره تناوب موج و ارتفاع امواج خلیج چابهار قرار دارد.

به منظور بررسی تأثیر دوره تناوب موج بر فشار تولیدی، همه‌ی پارامترها ثابت در نظر گرفته‌شده و دوره تناوب موج، به عنوان تنها متغیر مورد آزمایش قرار گرفته‌است. تعداد ۲۰ آزمایش در دو حالت شیب ساحل انجام گرفت؛ که ۱۲ آزمایش (شکل ۱۴) برای شیب قائم و ۸ آزمایش (شکل ۱۶) برای شیب ۱:۳ می‌باشد. لازم به ذکر است به علت پایین بودن فشار تولیدی در شیب ۱:۵، آزمایشات صورت گرفته در شیب نامبرده مورد بررسی برای دوره تناوب موج

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

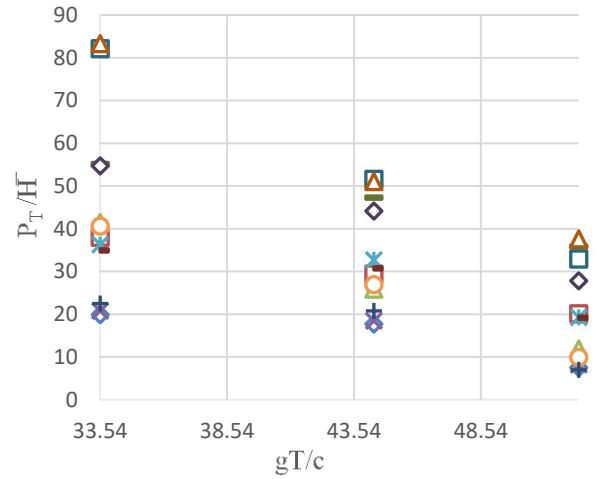
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

قرار نگرفت. در شکل زیر P_T فشار کل و T دوره تناوب موج می‌باشد.



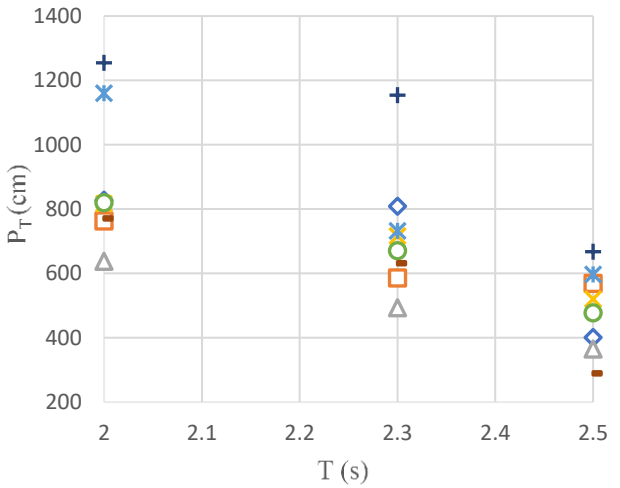
شکل۱۴: تغییرات فشار خروجی در برابر دوره تناوب موج برای شیب قائم

نمودار بدون بعد تغییرات دوره تناوب بر فشار خروجی، برای شیب قائم ساحل نیز در شکل ۱۵ نمایش داده شده است. در شکل زیر T دوره تناوب موج، P_T فشار کل و $\overline{H}$ متوسط ارتفاع موج می‌باشد.



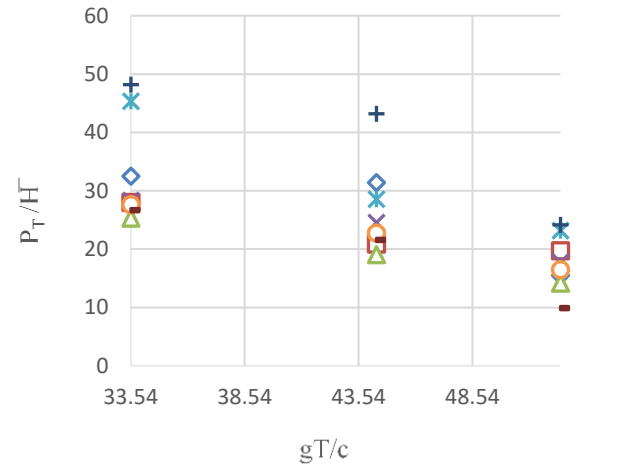
شکل۱۵: نمودار بدون بعد تغییرات فشار خروجی در برابر دوره تناوب موج برای شیب قائم

بطور میانگین، در ۱۲ آزمایش انجام شده برای دوره تناوب موج، با ۱۵٪ افزایش دوره، فشار ۱۲.۷۹٪ کاهش یافته و به ازای ۲۵٪ افزایش دوره نیز، فشار ۷۸.۳۰٪ کاهش یافته‌است.



شکل ۱۶: تغییرات فشار خروجی در برابر دوره تناوب موج برای شیب ۱:۳

نمودار بدون بعد تغییرات دوره تناوب بر فشار خروجی، برای شیب ۱:۳ ساحل نیز در شکل ۱۷ نمایش داده شده‌است. در شکل زیر T دوره تناوب موج، P_T فشار کل و $\overline{H}$ متوسط ارتفاع موج می‌باشد.



شکل ۱۷: نمودار بدون بعد تغییرات فشار خروجی در برابر دوره تناوب موج برای شیب ۱:۳

بطور میانگین، در ۸ آزمایش انجام شده برای دوره تناوب موج، با ۱۵٪ افزایش دوره، فشار ۲۳.۳۸٪ کاهش یافته و به ازای ۲۵٪ افزایش دوره نیز، فشار ۸۶.۵۰٪ کاهش یافته‌است. می‌توان نتیجه گرفت نمودار افزایش فشار، به نسبت افزایش دوره نزولی می‌باشد. به بیان دیگر؛ بین افزایش دوره‌ی موج و فشار خروجی رابطه معکوس برقرار است.

این نتایج قابل مقایسه و تطبیق با نتایج تحقیقات [۱۹] می‌باشد که با تجزیه و تحلیل فرکانس، نتیجه‌گیری نمودند که قدرت جذب دستگاه مبدل انرژی موج، برای امواج با دوره موج متوسط و بلندتر، کاهش می‌یابد. علت این موضوع را می‌توان به فاصله زمانی کمتر برخورد موج با صفحه مبدل انرژی ارتباط داد، که در جهت رفت و

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

برگشت رخ می‌دهد. به این ترتیب امواج متوالی با فاصله زمانی کمتری به صفحه برخورد کرده و حرکات صفحه را تشدید می‌کنند که منجر به افزایش فشار خروجی می‌گردد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک دستگاه مبدل انرژی امواج، از نوع صفحه‌ای به منظور انتقال آب دریا به ساحل، جهت اهداف شیرین‌سازی مورد توجه قرار گرفت. تاثیر پارامترهای عرض صفحه‌ی دستگاه، عمق آب، ارتفاع صفحه‌ی دستگاه، شیب ساحل (انتهای فلوم آزمایشگاهی) و دوره تناوب موج (فرکانس)، بر فشار خروجی طی ۱۶۵ آزمایش بررسی شدند. نتایج نشان می‌دهد که مبدل انرژی موج صفحه‌ای ابزاری مناسب، جهت انتقال آب دریا به سواحل، بدون استفاده از انرژی الکتریکی و صرفاً به وسیله انرژی امواج می‌باشد؛ که در این مقاله نتایج نشان می‌دهد تغییرات در این ۵ عامل می‌توانند تاثیر بسزایی در راندمان دستگاه مبدل انرژی داشته باشند. به طور خلاصه نتایج را می‌توان به شکل زیر فهرست نمود:

۱. در نتایج تحلیل آزمایشات مشخص شد که افزایش عرض صفحه، باعث افزایش راندمان دستگاه مبدل انرژی و ارتفاع معادل فشار می‌شود. با افزایش ۳۵ و ۷۱ درصدی عرض صفحه، فشار خروجی به ترتیب ۱.۵۸ و ۲.۸۲ برابر شده است.

۲. افزایش عمق آب تا حد مشخصی باعث افزایش فشار تولیدی توسط دستگاه شده و بعد از آن شروع به کاستن از فشار دستگاه می‌کند. با افزایش ۱۳ و ۲۷ درصدی، به ترتیب ابتدا منجر به افزایش حداکثر ۳.۴۴ برابری فشار آب و سپس منجر به کاهش حداکثر ۱.۶۸ برابری فشار آب شده‌است.

۳. آزمایشات مربوط به ارتفاع صفحه نشان دادند، زمانی‌که صفحه متحرک غیرمستغرق باشد، فشار آب دستگاه، حداقل ۲.۰۵ برابر بیشتر از حالت مستغرق آن خواهد بود.

۴. در ارتباط با شیب ساحل، نتایج نشان داد که با ٪۶۳ افزایش شیب (از شیب ۱:۵ به شیب ۱:۳)، فشار ٪۴۷.۲۵ درصد افزایش یافته و به ازای ۵ برابر شدن شیب (از شیب ۱:۵ به شیب قائم) نیز فشار، ۲.۱۴ برابر شده است.

۵. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بین دوره تناوب موج، و ارتفاع معادل فشار، رابطه عکس وجود دارد، به‌طوری‌که با ٪۱۵ افزایش دوره، فشار ٪۱۷.۰۲ کاهش یافته و به ازای ٪۲۵ افزایش دوره نیز، فشار ٪۸۱.۵۸ کاهش یافته‌است.

از نتایج این تحقیق می‌توان جهت ساخت مبدل‌های انرژی امواج در آب‌های کم‌عمق، به منظور انتقال آب دریا به سواحل و تامین آب ورودی تصفیه‌خانه‌های آب بهره برد. حسن استفاده از روش مورد تحقیق، حذف انرژی الکتریکی پمپ به منظور انتقال آب و جایگزین شدن نیروی امواج می‌باشد. شبیه‌سازی عددی مبدل انرژی موج از نوع صفحه‌ای و صحت‌سنجی آن با نتایج تحقیق حاضر، به عنوان یک پیشنهاد ارائه می‌گردد. در این صورت سناریوی های مختلفی در محیط دریا نیز قابل شبیه سازی و بررسی خواهد بود. در ادامه تحقیق حاضر می‌توان سایر پارامترهایی که در افزایش راندمان دستگاه موثر می‌باشند را مورد بررسی قرار داد. مثلا کارگذاری باله[x] در بالای صفحه متحرک، می‌تواند مورد آزمایش قرار گیرد. ترکیب عوامل بررسی شده در این پژوهش و اضافه نمودن باله به آن ها نیز می تواند مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گیرد. همچنین بررسی فواصل کارگذاری دستگاه های مبدل انرژی صفحه‌ای از یکدیگر و تاثیر متقابل آن ها در بعد طولی و عرضی، می تواند یکی از موضوعات تحقیقاتی باشد.

۵- کلید واژگان

1. seawater transfer
2. wave energy converter
3. water depth
4. paddle width
5. wave period
6. coast slope

۶- فهرست علائم

فشار خروجی کل	P_T
متوسط ارتفاع موج	$\overline{H}$
عرض صفحه	W_P
عرض فلوم	W_F
عمق آب ساکن	h
ارتفاع صفحه	h_p
شیب انتهای فلوم	s
دوره تناوب موج	L
هد (ارتفاع قله تا قعر موج)	H
دامنه	a
چرخه موج کامل	k
فرکانس زاویه ای	σ

۷ – مراجع

1. Ketabdari, M. and Ahmadi, M., (2012), *Feasibility study of energy absorption from sea waves in the southern coasts of Iran with the help of numerical modeling*, Journal of Marine Science and Technology, vol. 15, p. 20-29. (In Persian)
2. Masoudi, H., (2016), *Methods of generating electricity from sea water waves*, Journal of renewable and new energy, vol.3. (In Persian)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]

3. Neill, S. P., Hashemi, M. R., *Fundamentals of Ocean Renewable Energy: Generating Electricity from the Sea.*
4. Nazari Berenjkoob, M. and Ghiasi, M., (2019), *Design and analysis of a new converter in energy extraction of Persian Gulf waves*, 10th International Energy Conference. (In Persian).
5. http://www.aquaret.com/indexfca4.html?option=com_content&id=137&Itemid=280&lang=entasnimnews.com (2021)
6. Li, Q., Mi, J., Li, X., Chen, Sh., Jiang, B. and Zuo, L., (2021). *A self-floating oscillating surge wave energy converter*, *Energy*, Volume 230 ,120668.
7. Cho, Y., Nakamura, T., Mizutani, N. and Lee, K., (2020), *An Experimental Study of a Bottom-Hinged Wave Energy Converter with a Reflection Wall in Regular Waves—Focusing on Behavioral Characteristics.* Appl. Sci. 2020,10,6734.
8. Chow, Y., Chang, Y., Lin, Ch., Chen, J., and Tzang, Sh., (2018), *Experimental investigations on wave energy capture of two bottom-hinged-flap WECs operating in tandem*, Ocean Engineering, Vol. 164, P. 322-331.
9. Henry, A., Doherty, K., Cameron, L., Whittaker, T. and Doherty, R., (2010), *Advances in the Design of the Oyster Wave Energy Converter*. Marine Renewables and Offshore Wind Conference, Royal Institute of Naval Architects, At: RINA HQ, London.
10. Zhang, H., Zhou, B., Vogel, C., Willden, R., Zang, J. and Geng, J., (2019), *Hydrodynamic performance of a dual-floater hybrid system combining a floating breakwater and an oscillating-buoy type wave energy converter.* Applied Energy, Volume 259, 114212.
11. Henry, A., Josvanb't, H., Kenneth, H., (2010), *Design of the Next Generation of the Oyster Wave Energy Converter*. 3rd International Conference on Ocean Energy, 6 October, Bilbao.
12. Folley, M., Whittaker, T.J.T., Henry, A., (2007), *The Effect of Water Depth on the Performance of a Small Surging Wave Energy Convert*, Ocean Engineering, vol. 34, p. 1265–1274.
13. Soltanpour, M. and Dibajnia, M., (2015), *Field Measurements and 3D Numerical Modeling of Hydrodynamics in Chabahar Bay, Iran*, INTERNATIONAL JOURNAL OF MARITIME TECHNOLOGY. IJMT Vol.3/ Winter 2015 (49-60).
14. Saket, A., Etemad-Shahidi, A., Mazaheri, S. and Kamranzad, B., (2013*), Directional and Seasonal Investigation of Wave Power in Chabahar Zone*, Coasts & Ports 2013 Conference, Griffith University Queensland, Australia.
15. Sayehbani, M. and Ghaderi, D., (2019), *Numerical Modeling of Wave and Current Patterns of Beris Port in East of Chabahar-Iran*, International Journal of Coastal & Offshore Engineering, IJCOE Vol.3/No. 1/Spring 2019 (21-29).
16. Hua Lee, H., Chen, G. and Hsieh, H., (2021), *Study on an Oscillating Water Column Wave Power Converter Installed in an Offshore Jacket Foundation for Wind-Turbine System Part I: Open Sea Wave Energy Converting Efficiency.* Marine science and engineering. J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9(2), 133.
17. Konispoliatis, D. and Mavrakos, S., (2021), *Hydrodynamic Efficiency of a Wave Energy Converter in Front of an Orthogonal Breakwater.* Marine science and engineering, J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9(1), 94.
18. Wilkinson, L., Whittaker, T.J.T., Thies, P.R., Day, A., Ingram, D., (2017), *The power-capture of a nearshore, modular, flap-type wave energyconverter in regular waves*. Volume 137, Pages 394-403.
19. Peng, W., Zhang, Y., Yang, X., Zhang, J., He, R., Liu, Y. and Chen, r., (2020), *Hydrodynamic Performance of a Hybrid System Combining a Fixed Breakwater and a Wave Energy Converter: An Experimental Study.* Energies. 2020; 13(21):5740.

[i] paddle
[ii] Overtopping devices
[iii] Oscillating water column
iv Role surge
[v] Aqua buoy
[vi] Attenuator
[vii] OWC: Oscillating Wave Surge Converter
[viii] WEC: Wave Energy Converter
[ix]Oscillating water column
[x] Airfoile

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.7.9]