مقایسه عملکرد سه نوع سیستم جاذب انرژی امواج برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز یک روستا در ترکیب با سایر منابع تجدیدپذیر (مطالعه موردی)

محمد حسین جهانگیر[۱*]، حمید فرج‌پور[۲]، علی شهابی‌نژاد[۳]

[۱] دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، mh.jahangir@ut.ac.ir
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، hamid_farajpour@ut.ac.ir
[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، alishahabi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴

کلمات کلیدی:
جاذب انرژی امواج
سیستم هیبریدی
سیستم فتوولتائیک
ژنراتور دیزل
باتری

چکیده

تأمین الکتریسیته روستاهای دورافتاده که دسترسی به شبکه برق سراسری ندارند همواره چالش بزرگی بوده است. یک راه‌حل برای این چالش هیبریدسازی منابع تجدیدپذیر قابل دسترسی در آن منطقه روستایی برای تأمین الکتریسیته می‌باشد. در این پژوهش با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و همجواری به دریای عمان و دسترسی به انرژی امواج مناسب، برای تأمین برق منطقه سه نوع سیستم جاذب انرژی امواج در شرایطی مشابه با سایر سیستم های خورشیدی، ژنراتور دیزل و باتری در نرم‌افزار هومر هیبرید شده و با مقایسه آن‌ها سیستم جاذب انرژی امواج برتر انتخاب شده است. سه نوع سیستم جاذب امواج شامل پلامیس، ویودراگون ، و آکوابوی در سیستمی شامل ۴۰۸۵ کیلووات سیستم فتوولتاییک، ۹۰۰۰ کیلووات ژنراتور دیزل و ۱۹۷ باتری ۱۰۰کیلووات‌ساعتی برای تأمین میزان بار الکتریکی مشخص با یکدیگر مقایسه شدند و نهایتاً سیستم شامل ویودراگون با هزینه تولید انرژی ۰.۲۴۰ دلار بر کیلووات‌ساعت به عنوان سیستم اقتصادی‌تر انتخاب شد.

Performance Comparison of Three Wave Energy Converters Types to Supply Electricity Required by a Village in Hybrid with Other Renewable Sources (A Case Study)

Mohammad Hossein Jahangir[1*], Hamid Farajpour[2], Ali Shahabi Nejad[3]

[1] Associate Professor, Department of Renewable Energies, University of Tehran; mh.jahangir@ut.ac.ir
[2] MSc Student, Department of Renewable Energies, University of Tehran; hamid_farajpour@ut.ac.ir
[3] MSc Student, Department of Renewable Energies, University of Tehran; alishahabi@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 20 Jun. 2021
Accepted: 15 Dec. 2021

Keywords:
Wave Energy Converter
Hybrid System
Photovoltaic System
Diesel Generator
Battery

ABSTRACT

Supplying electricity to remote villages that do not have access to the electricity grid has always been a major challenge. Hybridization of renewable resources available in that rural area can be considered as a solution to this challenge. In the present study, due to the proximity of the study area to Oman Sea and access to suitable wave power for supplying electricity, three types of Wave Energy Converters have been hybridized in Homer Software with solar systems, diesel generators, and batteries. Then, by comparing them, the superior Wave Energy Converter is selected. These Wave Energy Converters, including Pelamis, Wave Dragon, and AquaBuoy, were compared on a 4085 kW photovoltaic system, 9,000 kW diesel generator, and 197 100 kWh batteries to provide a certain amount of electrical load. Finally, the system including Wave Dragon with the energy production cost of 0.240 $ / kWh was chosen as a better economic system.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

۱ – مقدمه

افزایش روزافزون مصرف انرژی در دنیا و تکیه بر روش‌های سنتی تولید انرژی منجر به بروز مشکلات زیست محیطی بسیار و افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای شده است. در چنین شرایطی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین مانند انرژی خورشیدی و انرژی امواج، کمکی بسیاری به حل این معضل و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه گاز کربن‌دی‌اکسید می‌کند. اگرچه منابع ذکر شده هم اکنون بخش کوچکی از انرژی جهانی را تولید می‌کنند اما انتظار می‌رود در آینده نقش پررنگ‌تری در تأمین انرژی در دنیا داشته باشند[۱].

در بین منابع تجدید پذیر، انرژی امواج یکی از مهم‌ترین منابع می‌باشد. امواج دریا منبع پاک و پایداری از انرژی با چگالی بالا و تأثیرات محیطی کم هستند که همچنان در ایران و بسیاری دیگر از نقاط جهان استفاده کافی و مناسبی از آن نمی‌شود[۲]. تحقیقات مختلفی در زمینه بهره‌وری از انرژی دریاها در ایران نیز صورت گرفته و به پتانسیل بالای آن تأکید دارند. برای مثال سلیمانی و همکاران[۳]، انرژی جزر و مد و امواج را برای دریاهای ایران بررسی کرده و سیستم‌هایی متناسب با هر بخش پیشنهاد داده‌اند. طبق این تحقیق برای سایت‌های امیرآباد دریای خزر و بندر عسلویه آرایه‌هایی از بویه‌های شناور و برای سایت جزیره فارور واقع در خلیج فارس، جاذب انرژی امواج از نوع ستون نوسان‌گر آب پیشنهاد شده است. محمودی و همکاران[۴] نیز متوسط انرژی سالانه، فصلی و ماهانه امواج را برای خلیج فارس براساس بازنگری ERA5 ارائه داده و معادله جدیدی برای ارزیابی انرژی امواج برای آب های کم‌عمق و عمیق استخراج نمودند. انرژی امواج به‌طور غیر همسان در دریاهای جهان توزیع شده و میزان آن بسته به منطقه جغرافیایی و زمان دارد. پتانسیل انرژی امواج در سراسر دنیا در آب‌های عمیق بین ۱ تا ۱۰ تراوات می‌باشد که قابل مقایسه با توان مصرفی کل دنیاست[۵]. با توجه به مشکلات برق‌رسانی به روستاهای دورافتاده و مزایای ذکرشده برای منابع تجدیدپذیر، یکی از راه‌های مناسب تأمین برق چنین مناطقی توجه به پتانسیل منابع تجدیدپذیر هر منطقه است[۶].

سیستم هیبریدی[1] مورد استفاده در این پژوهش شامل سیستم خورشیدی، ژنراتور دیزل، باتری و یک نوع از سه سیستم جاذب امواج پلامیس، ویودراگون و آکوابوی می‌باشد که در هر بخش به‌طور جداگانه به توضیح آن پرداخته می‌شود.

۲ – اطلاعات منطقه مورد مطالعه و پارامترهای ورودی

۲-۱- موقعیت جغرافیایی

روستای کمبل سلیمان از توابع شهرستان چابهار واقع در جنوب استان سیستان و بلوچستان با عرض جغرافیایی ۲۵.۳۸ درجه و طول جغرافیایی ۶۰.۸۷ درجه می‌باشد. طبق آخرین سرشماری‌های انجام شده جمعیت این منطقه ۳۸۲۶۸ نفر (۹۵۶۷ خانوار) می‌باشد. موقعیت جغرافیایی این منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است[۷].



شکل ۱- موقعیت روستای کمبل سلیمان در نقشه ایران

۲-۲- بار الکتریکی مورد نیاز

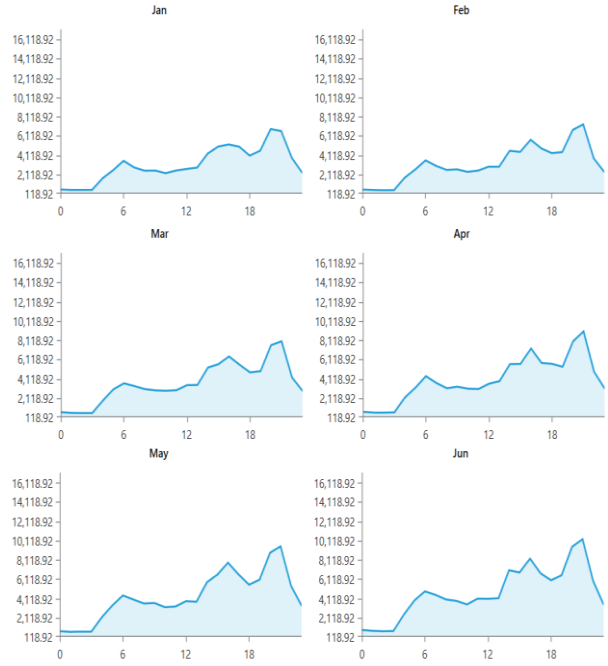
پروفایل مصرف روزانه بار الکتریکی خانگی روزانه برای هر ماه به‌طور جداگانه در اشکال۲ و ۳ برحسب کیلووات نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است این پروفایل در تمامی ماه ها در ساعات ۱۶ و ۲۰ دارای پیک یا نقطه اوج مصرف می‌باشد و این پروفایل برای هر روز نسبت به روز مجاور ۱۰٪ قابلیت تغییر دارد. شکل ۴ نیز میزان میانگین بار مصرفی ماهانه در طول سال را برای این روستا نشان می‌دهد که بر اساس آن میانگین بار مصرفی ماهانه معادل ۳۹۸۶.۲ کیلووات و پیک آن برابر ۱۷۱۵۹ کیلووات (مربوط به ماه جولای در تابستان) می‌باشد. مقدار بار الکتریکی مصرفی ساعتی بطور پیوسته نیز در نمودار شکل ۵ قابل مشاهده است.

۲-۳- تابش خورشیدی

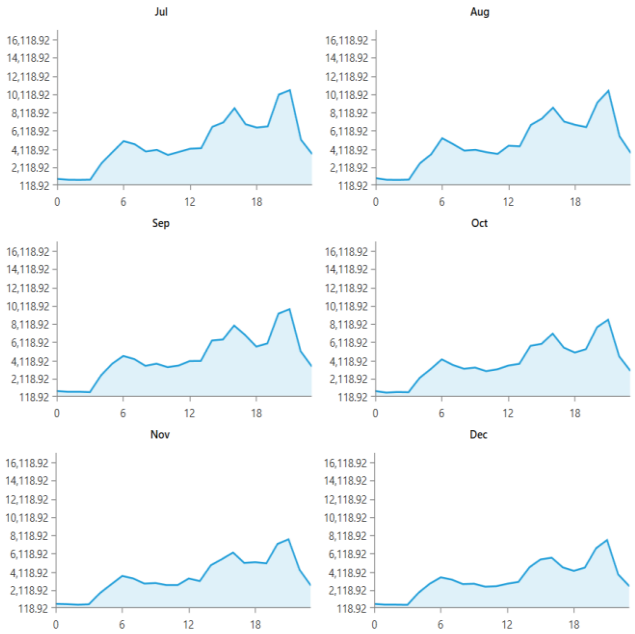
در کشور ایران به‌طور میانگین ۳۰۰ روز آفتابی در سال وجود دارد و میزان تابش مستقیم عمودی (DNI) در بسیاری از مناطق بالای ۵.۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در هر روز می‌رسد[۸]. با توجه به پتانسیل قابل توجه تابش خورشیدی در کشور ایران یکی از سیستم‌های مناسب برای تأمین برق در سیستم هیبریدی، سلول‌های فتوولتائیک می‌باشند. برای استفاده از چنین سیستمی در قدم اول لازم است اطلاعات تابش خورشیدی منطقه مورد مطالعه بررسی شوند. نرم‌افزار هومر این اطلاعات را از دیتابیس مترولوژی سطحی و انرژی خورشیدی ناسا دانلود می‌کند. این داده ها برای یک دوره ۲۲ ساله از جولای ۱۹۸۳ تا ژوئن ۲۰۰۵ میانگین‌گیری شده اند که با توجه به بلندمدت بودن آن‌ها قابل اعتبار محسوب می‌شوند. میزان تابش

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

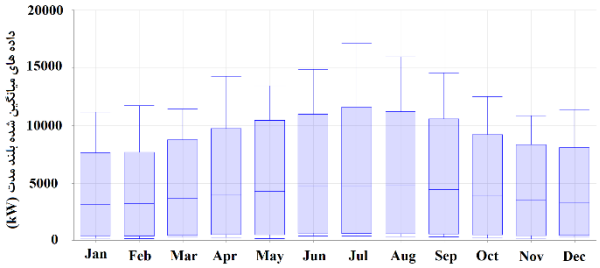
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]



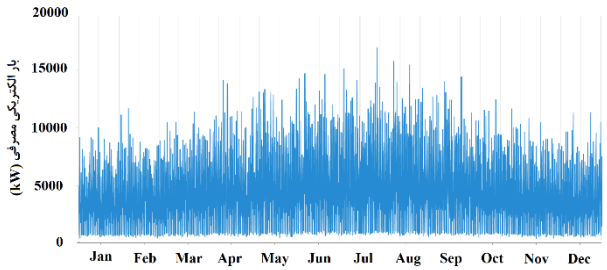
شکل ۲- پروفایل مصرف روزانه بار الکتریکی خانگی روستای کمبل سلیمان برای هر ماه به‌طور جداگانه (۶ ماه اول میلادی)



شکل ۳- پروفایل مصرف روزانه بار الکتریکی خانگی روستای کمبل سلیمان برای هر ماه به‌طور جداگانه (۶ ماه دوم میلادی)



شکل ۴- میانگین بار الکتریکی مصرفی ماهانه در طول سال

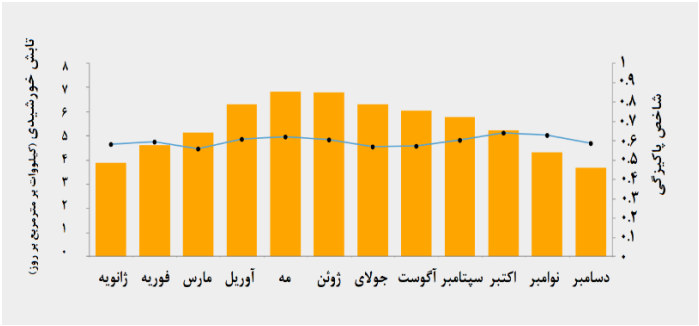


شکل ۵- نمودار پیوسته میزان بار الکتریکی مصرفی ساعتی در طول سال

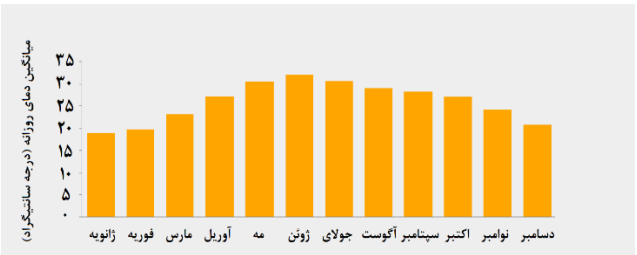
خورشیدی میانگین ماهانه و شاخص وضوح[۲] منطقه در نمودار شکل ۶ قابل مشاهده می‌باشد. بر اساس این اطلاعات میانگین تابش خورشیدی سالانه منطقه کمبل سلیمان ۵.۴ کیلووات ساعت بر مترمربع در هر روز و میانگین شاخص پاکیزگی نیز ۰.۵۹۴ می‌باشد.

۴-۲- دما

از دیگر فاکتورهای تأثیرگذار بر عملکرد سیستم‌های تولید توان در یک سیستم هیبریدی دمای هوای منطقه می‌باشد. بنابراین به‌طور مشابه اطلاعات دمای منطقه نیز توسط نرم‌افزار دریافت و در نمودار شکل ۷ ارائه شده است. بر اساس این اطلاعات میانگین دما در طول سال برای این منطقه ۲۵.۹۴ درجه سلسیوس می‌باشد.



شکل ۶- میانگین ماهانه تابش خورشیدی و شاخص پاکیزگی منطقه کمبل سلیمان



شکل۷ - نمودار دمای میانگین منطقه کمبل سلیمان

۵-۲- سوخت ژنراتور

باتوجه به وجود ژنراتور دیزل در سیستم هیبریدی و تصمیم بر تأمین بخشی از برق منطقه بدین‌وسیله، اطلاعات سوخت مورد استفاده در ژنراتور یعنی دیزل نیز مورد نیاز می‌باشد. این اطلاعات

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

مانند ارزش حرارتی پایین، چگالی، و میزان کربن و سولفور برای دیزل مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

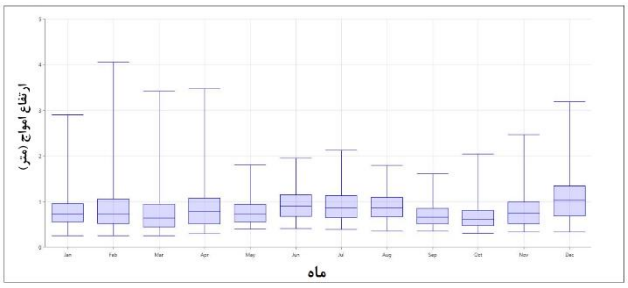
جدول۱- اطلاعات سوخت دیزل مورد استفاده در ژنراتور

خصوصیت	مقدار
ارزش حرارتی پایین (MJ/kg)	۴۳.۲
چگالی (kg/m^3)	۸۲۰
درصد کربن	۸۸
درصد سولفور	۰.۴

۲-۶- اطلاعات امواج منطقه

با توجه به وجود یک نوع سیستم جاذب امواج در سیستم هیبریدی جهت استحصال توان از انرژی امواج و بستگی توان تولیدی از سیستم جاذب به اطلاعات امواج منطقه، این اطلاعات از دیتابیس پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی برای دریای عمان دریافت شد. شکل ۸ میانگین ارتفاع امواج در هر ماه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است میانگین ارتفاع امواج دریای عمان غالباً پایین‌تر از ۱متر می‌باشد و بالاترین میانگین ارتفاع موج در بین ماه‌های سال مربوط به ماه دسامبر است. میانگین ارتفاع موج برای کل طول سال نیز ۰.۷۸ متر محاسبه شد.

نمودار دیگری که در بهره‌گیری از انرژی امواج مؤثر است، ماتریس پراکندگی امواج منطقه می‌باشد. در هر منطقه امواج از لحاظ ارتفاع و پریود پراکندگی دارند و یک محدوده غالب برای این دو پارامتر وجود دارد که مبنای محاسبه توان حاصل از این امواج در دستگاه‌های جاذب موج می‌باشد. ماتریس پراکندگی امواج منطقه مورد مطالعه طبق جدول ۲ می‌باشد. از ترکیب این ماتریس و ماتریس توان خروجی دستگاه‌های جاذب موج، میزان توان خروجی میانگین هر دستگاه در صورت استفاده در منطقه مورد مطالعه به دست خواهد آمد.



شکل ۸- میانگین ماهانه ارتفاع امواج دریای عمان

۳- مدل‌سازی و شرح اجزا

شماتیک سیستم هیبریدی پیشنهادی برای تأمین انرژی الکتریسیته منطقه مورد مطالعه در شکل ۹ پیشنهاد شده است. این سیستم برای تأمین بار الکتریکیِ تعریف شده، شامل سیستم فتوولتاییک[۳]، باتری، ژنراتور دیزل، یک نوع سیستم جاذب موج و مبدل می‌باشد که در ادامه به تفسیر هر جزء پرداخته می‌شود.



شکل ۹- شماتیک سیستم هیبریدی برای تأمین برق منطقه کمبل سلیمان

۳-۱- سیستم فتوولتائیک

توان تولیدی توسط سیستم فتووتاییک هم به ضرایب محیطی و هم به ضرایب ساختاری مانند تابش خورشیدی، سرعت باد، دمای سلول و ... بستگی خواهد داشت. نرم‌افزار هومر[۴] برای محاسبه توان خروجی به‌دست آمده از آرایه‌های خورشیدی، P_{PV}، از روابط (۱) و (۲) استفاده می‌کند[۹]:

$$P_{PV} = Y_{PV}.\mathrm{F}_{PV}[1 + \alpha_P(T_C - T_{C.STC})]\left(\frac{G_T}{G_{T.STC}}\right) \quad (۱)$$

که در آن Y_{PV} ظرفیت نامی آرایه خورشیدی، f_{PV} ضریب کاهنده (که برای کاهش ظرفیت نامی آرایه بر اثر مواردی مانند سایه، گردوغبار و ... لحاظ شده است)، G_T شدت تابش خورشیدی بر آرایه خورشیدی، $G_{T.STC}$ شدت تابش در شرایط استاندارد، α_P ضریب دمایی، T_C دمای سلول خورشیدی و $T_{C.STC}$ دمای سلول خورشیدی تحت شرایط استاندارد (۲۵ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. همچنین دیگر فاکتوری که برای محاسبه توان خروجی سیستم خورشیدی بایستی در نظر گرفته شود، بازده مبدل AC-DC می‌باشد [۱۰]:

$$P_{inv.out} = \eta_{inv}.P_{PV} \quad (۲)$$

که در آن $P_{inv.out}$ توان خروجی مبدل، η_{inv} راندمان مبدل و P_{PV} توان تولیدی آرایه های خورشیدی می‌باشند.

هزینه اولیه و تعویض سیستم فتوولتاییک خورشیدی به ازای هر کیلووات ۱۳۰۰ دلار، با دمای نامی عملکرد سلول ۴۵ درجه سانتی‌گراد و عمر ۲۰ سال در نظر گرفته شده است. و از آنجایی که عموماً سیستم‌های خورشیدی نگهداری کمی مانند صرفا پاک کردن گردوغبار و برف، بازدیدهای روتین و ... نیاز دارند، هزینه تعمیر و نگهداری سیستم ۲۰ دلار در سال در نظر گرفته شد[۱۱].

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

جدول۲- ماتریس پراکندگی امواج منطقه مورد مطالعه[۱۲]

درصد وقوع												
ارتفاع موج (متر)	پریود موج (ثانیه)											
	≤۲	۲-۴	۴-۶	۶-۸	۸-۱۰	۱۰-۱۲	۱۲-۱۴	۱۴-۱۶	۱۶-۱۸	۱۸-۲۰	>۲۰	مجموع
>۸	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
۷-۸	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
۶-۷	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
۵-۶	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
۴-۵	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
۳-۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱
۲-۳	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۱۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۱۴
۱-۲	۰.۰۰	۰.۰۱	۲.۱۵	۰.۱۱	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۳۰	۰.۰۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۲.۶۸
۰.۵-۱	۰.۰۰	۱۵.۹۲	۱۳.۳۶	۲.۳۱	۳.۸۳	۵.۴۱	۰.۷۳	۰.۱۴	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۰	۴۱.۸۱
<۰.۵	۰.۰۰	۵.۶۹	۸.۵۸	۲.۶۳	۲۷.۸۴	۹.۳۹	۱.۰۰	۰.۱۴	۰.۰۰	۰.۰۸	۰.۰۰	۵۵.۳۶
مجموع	۰.۰۰	۲۱.۶۳	۲۴.۱۱	۵.۱۷	۳۱.۷۰	۱۴.۸۴	۲.۰۴	۰.۳۱	۰.۰۵	۰.۱۴	۰.۰۰	۱۰۰.۰۰

۲-۳- ژنراتور دیزل

ژنراتور دیزل معمولاً به‌عنوان یک پشتیبان برای سیستم در حالتی که منابع تجدیدپذیر کافی نیستند عمل می‌کند و همچنین از طرفی نیاز به ذخیره انرژی را کاهش می‌دهد[۱۳].

هزینه سوخت دیزل در ایران ۰.۳ دلار برای هر لیتر در نظر گرفته شد. به ازای هر کیلووات تولید توان هزینه اولیه ژنراتور ۷۵۰ دلار، هزینه تعویض ۶۰۰ دلار، هزینه تعمیر و نگهداری ۰.۰۱ دلار در هر ساعت، و طول عمر ۱۵۰۰۰ساعت لحاظ شده‌اند[۱۴].

مصرف سوخت ساعتی ژنراتور دیزل توسط رابطه (۳) محاسبه می‌شود[۱۵]:

$$FC_{Dgen}(t) = \alpha.\mathrm{P}_R + \beta.P(t) \qquad (۳)$$

که در آن $FC_{Dgen}(t)$ میزان مصرف سوخت ژنراتور دیزل $(1/h)$ و $P(t)$ توان تولیدی ژنراتور در لحظه t، P_R توان نامی ژنراتور دیزل و α و β ضرایب ثابتی هستند که به ساختار ژنراتور بستگی دارند.

۳-۳- باتری

با توجه به احتمال عدم هماهنگی بین زمان تولید و مصرف توان در یک سیستم هیبریدی شامل اجزای تجدیدپذیر استفاده از باتری برای ذخیره انرژی و مصرف آن در زمان دلخواه در سیستم پیشنهاد می‌شود. کارایی یک باتری بسته به ظرفیت نامی و ولتاژ آن می‌باشد. ولتاژ باتری، کارایی، و ظرفیت ذخیره‌سازی به ترتیب از روابط (۴) تا (۶) محاسبه می‌شوند [۹]:

$$V_{Bat} = E_0 - (R_{int}.\mathrm{I}_{Bat}) \qquad (۴)$$

$$\eta_{Bat} = 1 - \left(\frac{\mathrm{I}_{nom}.R_{int}.\mathrm{I}_{nom}}{V_{nom}.I_{nom}}\right) \qquad (۵)$$

$$P_{Bat.max} = \frac{N_{max}.I_{max}.\mathrm{V}_{Bat}}{1000} \qquad (۶)$$

که در آن‌ها V_{Bat} ولتاژ باتری، E_0 ولتاژ بی‌باری، R_{int} مقاومت درونی، I_{Bat} جریان باتری، η_{Bat} کارایی باتری، I_{nom} و V_{nom} به ترتیب جریان نامی و ولتاژ نامی، $P_{Bat.max}$ حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی باتری، N_{Bat} تعداد واحدهای باتری‌ها و I_{max} حداکثر جریان باتری می‌باشد.

باتری در نظرگرفته شده در این سیستم هیبریدی از نوع لیتیم‌یونی ۱۰۰ کیلووات-ساعتی، با هزینه اولیه ۲۰۰۰۰ دلار، هزینه تعویض ۱۸۰۰۰ دلار، هزینه تعمیر و نگهداری ۲۰دلار در سال، عمر ۱۵ سال، ظرفیت نامی ۱۶۷ آمپرساعت و ولتاژ نامی ۶۰۰ ولت می‌باشد [۱۴].

۴-۳- مبدل

با توجه به وجود سیستم فتوولتاییک و باتری در سیستم هیبریدی و تولید جریان الکتریکی DC از آن‌ها و از طرفی نیاز به وجود جریان متناوب (AC) در بار الکتریسیته مصرفی منطقه، وجود مبدل در سیستم هیبریدی برای تبدیل این جریان‌ها به یکدیگر الزامی خواهد بود[۱۶]. توان خروجی مبدل، P_{out}، با توجه به توان ورودی P_{in}، و راندمان اینوتر η_{inv} از رابطه (۷) به‌دست می‌آید[۱۷]:

$$P_{out} = P_{in}.\eta_{inv} \qquad (۷)$$

برای مبدل در نظر گرفته شده در سیستم به ازای هر ۱ کیلووات توان، هزینه اولیه و تعویض مبدل ۳۰۰ دلار و هزینه تعمیر و نگهداری ۱۰ دلار در سال، طول عمر ۱۵ سال، بازده اینورتر و رکتیفایر به ترتیب ۹۵ و ۹۰ درصد لحاظ شده است [۱۴].

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

۳-۵- سیستم جاذب موج

باتوجه به پتانسیل قابل توجه امواج دریای عمان، وجود یک نوع سیستم جاذب موج در سیستم هیبریدی کمک شایانی به تأمین برق منطقه از طریق انرژی امواج می‌کند. از آنجا که هدف پژوهش مقایسه عملکرد سه نوع سیستم جاذب امواج می‌باشد، در هر سناریو با ثابت در نظر گرفتن سایر شرایط یکی از سه نوع سیستم جاذب موج پلامیس[۵]، ویودراگون[۶] و آکوابوی[۷] در سیستم هیبریدی برای تأمین برق در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است برای بررسی دقیق عملکرد که در ادامه به شرح ویژگی‌های هر دستگاه پرداخته می‌شود:

۳-۵-۱ پلامیس

دستگاه تبدیل انرژی پلامیس از تعدادی بخش زیر سطحی استوانه‌ای شکل تشکیل شده که به‌وسیله رابط‌هایی به هم متصل‌اند (شکل ۱۰). با گذر موج در طول دستگاه این بخش‌ها از هم دور یا به هم نزدیک می‌شوند. سیلندرهای هیدرولیکی با این حرکات رقابت می‌کنند که روغن‌های پرفشار را به موتوری هیدرولیکی به وسیله انباشتگر هیدرولیکی[۸] پمپ می‌کنند. این موتورهای هیدرولیکی ژنراتورهایی را فعال می‌کنند و در نتیجه انرژی الکتریسیته تولید می‌شود. تمام برق‌های تولید شده از سیلندرها به کابلی مرکزی منتقل شده و از طریق آن به خط اتصال ساحل منتقل شده و وارد شبکه می‌شوند. به وسیله یک کابل در کف دریا می‌توان چندین دستگاه را به خط اصلی متصل کرد[۱۸].



شکل۱۰ - نسل اول دستگاه تبدیل انرژی موج پلامیس، P1 [۱۹]

نسل اول پلامیس می‌تواند ۷۵۰ کیلووات توان تولید کند. این دستگاه بسته به شرایط محل استقرار، دارای ضریب ظرفیت ۲۵ تا ۴۰ درصد می‌باشد و به طور متوسط یک دستگاه پلامیس قدرت کافی برای پاسخ گویی به تقاضای برق سالانه حدود ۵۰۰ خانه را فراهم می‌کند[۲۰]. نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده بر روی این دستگاه نشان می‌دهد که توان تولید شده توسط پلامیس، به‌طور اصلی به دو فاکتور ارتفاع موج و پریود امواج بستگی خواهد داشت که این وابستگی را توسط یک ماتریس تولید توان نشان می‌دهند. ماتریس توان تولیدی پلامیس در شکل ۱۳ آورده شده است.

ارتفاع موج (متر) \ دوره تناوب موج (ثانیه)	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21	0	0	0
1,5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33
2	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59
2,5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92
3	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	167	149	132
3,5	0	270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
4	0	0	462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213
4,5	0	0	544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	356	338	300	266
5	0	0	0	739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328
5,5	0	0	0	750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	496	446	395	355
6	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415
6,5	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481
7	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	676	613	584	525
7,5	0	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	686	622	593
8	0	0	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	690	625

شکل۱۲- ماتریس توان تولیدی پلامیس در ارتفاع و پریود امواج مختلف بر حسب کیلووات[۲۱]

همان‌طور که از شکل ۱۳ مشخص است دستگاه پلامیس غالباً در ارتفاع امواج بالا (بین ۵ تا ۸ متر) تولید توان مناسبی دارد. و هرچه پریود موج کوتاه تر باشد، با ارتفاع موج کوتاه‌تری دستگاه توان نامی خود را تولید می‌کند.

به ازای هر دستگاه پلامیس هزینه اولیه ۲۳۲۳۰۰۰۰ دلار، هزینه تعویض ۱۶۶۱۸۷۰۰ دلار، هزینه تعمیر و نگهداری در هر سال ۲۰۰۰دلار و طول عمر دستگاه ۲۰ سال در نظر گرفته شده است[۲۲].

۳-۵-۲- ویودراگون

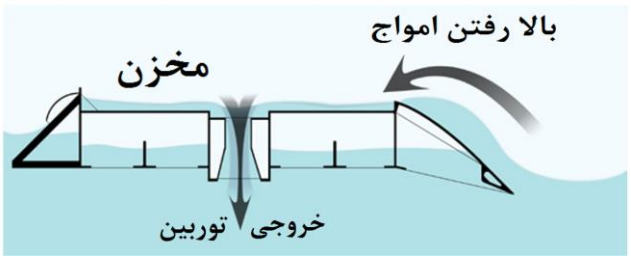
این نوع سیستم جاذب که ازنوع بالارونده[۹] می‌باشد، از انرژی امواج برای راندن سیال به ارتفاعی بیشتر استفاده می‌کنند و سپس از این انرژی ذخیره‌شده، برای تولید توان الکتریکی بهره می‌برند. در دستگاه ویو دراگون همانگونه که از شکل۱۴ برمی‌آید، با استفاده از انرژی موج، و به کمک یک سطح شیب‌دار، سیال به یک مخزن با ارتفاع بیشتر از سطح آب رانده می‌شود و پس از آن با گذر از یک مجموعه توربین با هد پائین، انرژی سیال به توربین داده‌می‌شود و در نتیجه این امر توان الکتریکی مطلوب تولیدمی‌شود. برای اینکه انرژی امواج بیشتری در دستگاه مذکور جمع‌آوری شود، این تجهیز شامل باله‌هایی است که حتی‌المقدور محدوده وسیع‌تری از امواج را مورد پوشش خود قرار بدهد[۲۳].

دستگاه ویودراگون نسبت به سایر دستگاه‌های جاذب موج توان تولیدی نامی بالایی (۷۰۰۰ کیلووات) دارد. ماتریس توان این دستگاه در شکل ۱۵ آورده شده است.

به ازای هر دستگاه ویودراگون هزینه اولیه ۱۵۶۶۲۰۰۰ دلار، هزینه تعویض ۱۱۲۰۵۰۰۰ دلار، هزینه تعمیر و نگهداری در هر سال ۲۰۰۰دلار و طول عمر دستگاه ۲۰ سال در نظر گرفته شده است[۲۲].

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]



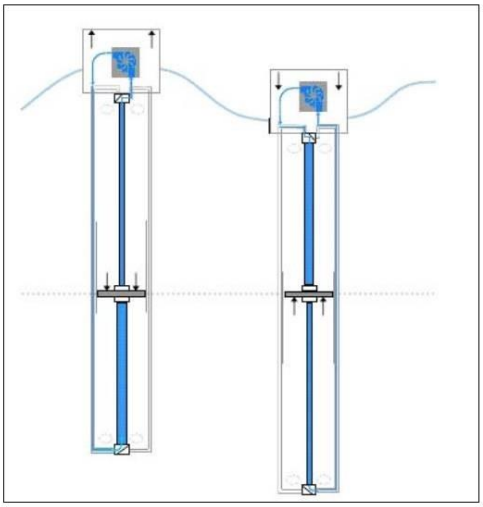
شکل ۱۳- نمایش مکانیزم عملکرد تولید توان از سیستم جاذب ویودراگون[۵]

ارتفاع موج (متر) \ دوره تناوب موج (ثانیه)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	160	250	360	360	360	360	360	360	320	280	250	220	180
2	640	700	840	900	1190	1190	1190	1190	1070	950	830	710	590
3	0	1450	1610	1750	2000	2620	2620	2620	2360	2100	1840	1570	1310
4	0	0	2840	3220	3710	4200	5320	5320	4430	3930	3440	2950	2460
5	0	0	0	4610	5320	6020	7000	7000	6790	6090	5250	3950	3300
6	0	0	0	0	6720	7000	7000	7000	7000	7000	6860	5110	4200
7	0	0	0	0	0	7000	7000	7000	7000	7000	7000	6650	5740

شکل ۱۴- ماتریس توان تولیدی ویودراگون در ارتفاع و پریود امواج مختلف بر حسب کیلووات [۲۱]

۳-۵-۳- آکوابوی

این فن‌آوری همان‌طور که از شکل ۱۶ مشخص است، از نوع جاذب نقطه ای[۱۰] بوده و شامل یک بویه شناور مهار شده بر سطح امواج است. هنگامی که بویه[۱۱] به بالا و پایین حرکت می‌کند، آب دریا در داخل یک لوله ۲۵ متری یک پیستون را می‌رلند که آن هم یک پمپ شلنگ را به کار می‌اندازد. آب دریا در داخل شلنگ طویل فشرده شده و آزاد می‌شود تا توربین پلتون[۱۲] را به کار اندازد. خطوط انتقال زیر آب نیز انرژی الکتریکی را به ساحل انتقال می‌دهند. این سامانه باید در جایی مستقر شود که عمق آب بیش از ۵۰ متر باشد[۲۴].



شکل ۱۵- شماتیک عملکرد دستگاه جاذب موج آکوابوی[۳]

به‌طور مفصل‌تر این دستگاه شامل ۴ عنصر بویه، لوله شتاب، پیستون و پمپ شلنگ است. لوله شتاب، یک استوانه توخالی و عمودی است که به‌صورت صلب در زیر بدنه بویه نصب می‌شود. دو انتهای این لوله باز است تا ورود و خروج آزادنه آب دریا در هر دو جهت امکان-پذیر باشد. پیستون که یک دیسک بزرگ و به‌صورت آزادانه شناور است، در نقطه وسط لوله شتاب قرار گرفته است. هنگامی که بویه در حال سکون است، پیستون توسط دو پمپ شلنگ که به طرفین مقابل پیستون متصل‌اند و به ترتیب به بالا و پایین لوله شتاب ادامه یافته‌اند، در وسط نگه داشته می‌شود. پمپ شلنگ یک شلنگ لاستیکی مسلح شده (با فولاد) است که وقتی کشیده می‌شود، حجم داخلی آن کاهش یافته و مانند یک پمپ عمل می‌کند. آب فشرده شده متعاقباً به سوی یک مخزن پرفشار هدایت شده و توربینی که مولد برق را به‌کار می‌اندازد را تغذیه می‌کند. سپس برق تولید شده توسط کابل زیرآبی به ساحل منتقل می‌شود[۲۲].

ماتریس تولید توان دستگاه آکوابوی با توان نامی ۲۵۰ کیلووات در شکل ۱۷ آورده شده است. همان‌طور که از این ماتریس مشخص است بهترین شرایط برای تولید توان مطلوب از این دستگاه پریود موج بین ۸ تا ۱۲ ثانیه و ارتفاع موج بین ۳.۵ تا ۵.۵ متر می‌باشد.

ارتفاع موج (متر) \ دوره تناوب موج (ثانیه)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	0	8	11	12	11	10	8	7	0	0	0	0
1,5	0	13	17	25	27	26	23	19	15	12	12	12	7
2	0	24	30	44	49	47	41	34	28	23	23	23	12
2,5	0	37	47	69	77	73	64	54	43	36	36	36	19
3	0	54	68	99	111	106	92	77	63	51	51	51	27
3,5	0	0	93	135	152	144	126	105	86	70	70	70	38
4	0	0	0	122	176	198	188	164	137	112	91	91	49
4,5	0	0	0	223	250	239	208	173	142	115	115	115	62
5	0	0	0	250	250	250	250	214	175	142	142	142	77
5,5	0	0	0	250	250	250	250	250	211	172	172	172	92

شکل ۱۶- ماتریس توان تولیدی آکوابوی در ارتفاع و پریود امواج مختلف بر حسب کیلووات [۲۱]

به ازای هر دستگاه آکوابوی هزینه اولیه ۱۸۶۴۵۸ دلار، هزینه تعویض ۱۳۳۳۹۰ دلار، هزینه تعمیر و نگهداری در هر سال ۲۰۰۰دلار و طول عمر دستگاه ۲۰ سال در نظر گرفته شده است[۲۲].

۴-۵-۳- توان قابل استحصال توسط سیستم‌های جاذب موج

برای وارد کردن مقادیر توان خروجی هر دستگاه جاذب موج در منطقه به نرم‌افزار لازم است این مقادیر بر حسب یک پارامتر یعنی ارتفاع موج در دسترس باشند که این‌کار با ترکیب ماتریس پراکندگی امواج منطقه و ماتریس توان خروجی هر دستگاه انجام می‌شود. حاصل این ترکیب در جدول ۳ نشان داده شده است.

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

جدول۳- مقادیر توان خروجی میانگین قابل استحصال توسط هر دستگاه در منطقه به ازای ارتفاع موج‌های مختلف

	ارتفاع موج (m)	دستگاه جاذب موج پلامیس	ویودراگون	آکوابوی
توان میانگین قابل استحصال به ازای هر ارتفاع موج (kW)	۰.۵	۰	۱۲۵	۰
	۱	۲۹	۲۵۰	۰
	۱.۵	۶۵	۷۰۰	۱۳
	۲	۱۱۵	۱۰۷۵	۲۴
	۲.۵	۱۸۰	۱۴۵۰	۳۷
	۳	۲۶۰	۰	۵۴
	۳.۵	۳۵۴	۰	۰
	۴	۴۶۲	۰	۰
	۴.۵	۵۴۴	۰	۰
	۵	۰	۰	۰

۶-۳- پارامترهای اقتصادی ورودی

برای این پروژه طول عمر ۲۰ سال، نرخ تنزیل نامی ۱۵٪، نرخ تورم مورد انتظار ۱۲٪ در نظر گرفته شده است. قسمت دیگری از پارامترهای اقتصادی ورودی مربوط به جریمه انتشار آلاینده‌ها می‌باشد. باتوجه به وجود ژنراتور دیزل و مصرف سوخت دیزل برای تولید توان، میزان نشر آلاینده‌ها و هزینه ناشی از آن‌ها نیز در هزینه‌های سیستم تأثیرگذار خواهد بود. این اطلاعات نیز در جدول ۴ آورده شده است.

جدول۴- جریمه انتشار انواع آلاینده[۱۱]

نوع آلاینده	جریمه انتشار آلاینده (دلار بر تن)
کربن دی‌اکسید	۲.۸۶
کربن مونوکسید	۵۴
هیدروکربن سوخته‌نشده	۶۰
ذرات معلق	۱۲۲۸.۶
سولفور دی‌اکسید	۵۲۱.۵
نیتروژن‌اکسید	۱۷۱.۵

اطلاعات اقتصادی اجزای مورد استفاده در سیستم نیز در جدول ۵ آورده شده است:

۴ - نتیجه گیری

در این قسمت نتایج تحلیل اقتصادی نرم‌افزار هومر برای سیستم هیبریدی تأمین‌کننده برق منطقه ارائه می‌شود. ازآنجایی که هدف این پژوهش مقایسه سه نوع سیستم جاذب موج در تأمین برق

جدول۵- اطلاعات اقتصادی اجزای موجود در سیستم هیبریدی

جزء		هزینه اولیه	هزینه تعمیر و نگهداری	طول عمر
سلول خورشیدی مدل Sharp-ND		۱۳۰۰$/kW	۲۰$/year	۲۰yrs
ژنراتور دیزل		۷۵۰$/kW	۰.۰۱$/h	۱۵۰۰۰h
باتری ۱۰۰ کیلوات-ساعتی لیتیوم-یونی		۲۰۰۰۰$	۲۰$/year	۱۵yrs
مبدل		۳۰۰$/kW	۱۰$/year	۱۵yrs
سیستم جاذب موج	پلامیس	۲۳۲۳۰۰۰۰$	۲۰۰۰$/year	۲۰yrs
	ویودراگون	۱۵۶۶۲۰۰۰$	۲۰۰۰$/year	۲۰yrs
	آکوابوی	۱۸۶۴۵۸$	۲۰۰۰$/year	۲۰yrs

منطقه می‌باشد، این مقایسه بایستی در شرایط یکسانی انجام شود. بنابراین در هر سناریو میزان توان تولیدی تخصیص یافته به هر جزء سیستم (سیستم فتوولتاییک، ژنراتور دیزل و باتری) به صورت ثابت و معین در نظر گرفته شد و تأمین سایر نیاز الکتریکی منطقه در هر سناریو به عهده یکی از سه نوع سیستم جاذب موج مذکور گذاشته شد. نتایج کلی حاصل از به‌کارگیری هر سیستم جاذب موج در سیستم هیبریدی در جدول ۶ آورده شده است.

همان‌طور که از جدول ۶ مشخص است استفاده از دستگاه ویودراگون در تأمین برق منطقه از لحاظ اقتصادی به‌صرفه‌تر بوده و هزینه تولید توان در سیستم شامل آن ۰.۲۴ دلار به ازای هر کیلووات‌ساعت می‌باشد؛ در حالی که استفاده از دستگاه پلامیس هزینه تولید توان توسط سیستم را تا نزدیک به ۵ برابر افزایش می‌دهد. دستگاه آکوابوی نیز با اختلاف کمی پس از دستگاه ویودراگون از لحاظ اقتصادی قرار دارد و هزینه تولید توان در سیستم شامل آن ۰.۲۴۳ دلار است. از آنجایی که دستگاه آکوابوی کمترین توان تولیدی نامی را در بین دستگاه‌ها دارد همان‌گونه که انتظار می‌رود تعداد دستگاه‌های مورد نیاز از این دستگاه در سیستم نسبت به سایر سناریوها بسیار بیشتر می‌باشد (۲۸۲ دستگاه آکوابوی در مقابل ۳ دستگاه ویودراگون و ۲۴ دستگاه پلامیس).

با استفاده از هر دستگاه جاذب موج و بکارگیری هر یک از سناریوهای فوق در نرم‌افزار هومر، کل توان تولیدی از هر المان مطابق جدول ۷ به‌دست می‌آید. از جدول ۷ مشخص است که باتوجه به بگارگیری مقدار ثابتی آرایه خورشیدی در هر سناریو، توان تولیدی سیستم فتوولتاییک نیز در هر سه حالت یکسان می‌باشد. اما با توجه به احتمال مصرف مقدار سوخت دیزل مختلف و به‌کارگیری دستگاه جاذب موج متفاوت، توان تولیدی از دو المان ژنراتور و جاذب موج و در نتیجه کل توان الکتریکی تولیدی در سناریوهای فوق تفاوت دارد. بیشترین میزان تولید الکتریسیته نیز

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

جدول۶- مقایسه نتایج کلی

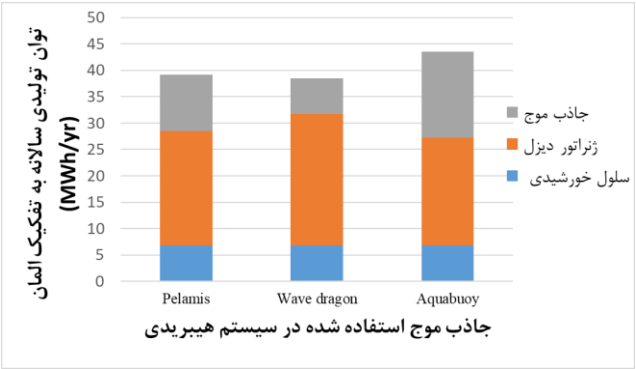
		دستگاه جاذب موج مورد استفاده		
		پلامیس	ویودراگون	آکوابوی
ظرفیت بکار گرفته شده از هر المان	سلول خورشیدی مدل Sharp-ND (کیلووات)	۴۰۸۵	۴۰۸۵	۴۰۸۵
	ژنراتور دیزل (کیلووات)	۹۰۰۰	۹۰۰۰	۹۰۰۰
	باتری ۱۰۰ کیلوات‌ساعتی لیتیوم-یونی (عدد)	۱۹۷	۱۹۷	۱۹۷
	مبدل (کیلووات)	۴۹۶۰	۸۹۱۵	۵۴۹۶
	دستگاه جاذب موج (عدد)	۲۴	۳	۲۸۲
قیمت برق تولیدی[۱۳] ($/kWh)		۱.۱۸	۰.۲۴	۰.۲۴۳
هزینه فعلی خالص[۱۴] ($)		۶۳۱میلیون	۱۲۸میلیون	۱۳۰میلیون

در سیستمِ شامل دستگاه آکوابوی مشاهده شد که با توجه به عملکرد مناسب این دستگاه در ارتفاع موج پایین قابل توجیه می‌باشد و در چنین حالتی توان تولیدی مورد نیاز از ژنراتور دیزل نیز کمتر خواهد بود که این اطلاعات در نمودار شکل ۱۷ نیز قابل مشاهده هستند. شکل ۱۸ نیز سهم هر المان از توان تولیدی ماهانه در هر سناریو را نشان می‌دهد.

در هر ماه با توجه به مناسب بودن شرایط انرژی امواج، سیستم سعی بر استفاده حداکثری از پتانسیل امواج را دارد و سپس مابقی توان مورد نیاز را از المان خورشیدی و ژنراتور دیزل دریافت می‌کند. بنابراین طبیعتاً در ماه‌هایی که میانگین ارتفاع موج در آن‌ها بالاتر می‌باشد (مانند ماه دسامبر)، سهم دستگاه جاذب موج در تولید توان در آن ماه بیش‌تر و سهم ژنراتور کم‌تر خواهد بود که این حقیقت در نمودارهای شکل ۱۸ نیز مشخص می‌باشد. در جدول ۴ هزینه کل سیستم در هر سناریو ارائه شد. تفکیک این هزینه ها برای هر جز از سیستم در جدول ۸ آورده شده است. همان‌طور که از جدول ۸ مشخص است در حالاتی که دستگاه‌های جاذب موج پلامیس یا آکوابوی در سیستم وجود داشته باشند، بالاترین بخش هزینه کل سیستم مربوط به دستگاه‌های جاذب موج فوق خواهد بود و پس از آن ژنراتور دیزل بیش‌ترین هزینه را به خود اختصاص خواهد داد؛ در حالی که باوجود دستگاه ویودراگون در سیستم، بالاترین هزینه مربوط به ژنراتور دیزل و پس از آن دستگاه جاذب موج است.

جدول۷- مقایسه توان تولیدی سالانه هر المان در وجود هر یک از دستگاه‌های جاذب موج در سیستم

		سیستم هیبریدی با حضور پلامیس	سیستم هیبریدی با حضور ویودراگون	سیستم هیبریدی با حضور آکوابوی
توان تولیدی سالانه در حضور هر سیستم جاذب موج در سیستم (kWh/yr)	سلول خورشیدی مدل Sharp-ND	۶۸۰۲۶۶۶	۶۸۰۲۶۶۶	۶۸۰۲۶۶۶
	ژنراتور دیزل	۲۱۶۵۳۳۲۳	۲۴۸۸۱۳۷۱	۲۰۴۷۱۰۲۰
	جاذب موج	۱۰۶۸۲۶۹۸	۶۸۱۰۴۰۳	۱۶۳۰۶۰۸۱
	مجموع	۳۹۱۳۸۶۸۶	۳۸۴۹۴۴۴۰	۴۳۵۷۹۷۶۶



شکل ۱۷- نمودار مقایسه سهم توان تولیدی سالانه هر المان در سناریوهای مختلف

اگرچه ظرفیت توان تولیدی از ژنراتور دیزل در تمامی سناریوها به‌طور یکسان در نظر گرفته شده است، اما بدیهی است با توجه به وجود دستگاه‌های جاذب موج متفاوت در هر سناریو و سهم تولید توان متفاوت از انرژی امواج، سهم تولید توان از ژنراتور و درنتیجه

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

میزان مصرف سوخت دیزل و انتشار آلاینده‌های ناشی از آن‌ها نیز تفاوت خواهد داشت. این اطلاعات در جداول ۸ و ۹ قابل مشاهده هستند.



شکل ۱۸- سهم هر المان از توان تولیدی ماهانه در سیستم هیبریدی با استفاده از دستگاه جاذب موج: الف.پلامیس ب.ویودراگون ج.آکوابوی

پیش از این از نتایج جدول ۵ مشخص شد سهم تولید توان از ژنراتور دیزل در سناریوی شامل دستگاه ویودراگون بیشترین، و در سناریوی شامل دستگاه آکوابوی، کمترین مقدار خود را دارد که با این نتایج، مصرف سوخت و میزان انتشار آلاینده‌های بیشتر در سناریوی شامل دستگاه ویودراگون قابل توجیه است.

۴-۱ – مقایسه خروجی دستگاه های جاذب موج

در ادامه با تأکید بیش‌تر به دستگاه جاذب موج در هر سناریو، نتایج توان خروجی آن‌ها ارائه می‌شود. در هر سناریو تعدادی از دستگاه‌های جاذب موج در کنار یکدیگر تشکیل یک "مزرعه جاذب موج" را می‌دهند که نمودار انرژی الکتریکی میانگین ماهانه که توسط هر مزرعه در طول سال تولید شده در شکل ۱۹ و نمودار پراکندگی توان خروجی در هر ماه نیز در اشکال ۲۰ تا ۲۲ نشان داده شده‌اند.

همان‌طور که اشاره شد سهم توان تولیدی از مجموعه دستگاه ویودراگون کمترین مقدار را دارد که این نتیجه از نمودار شکل ۱۹ نیز قابل مشاهده است. البته بدیهی است در مقایسه توان خروجی از تنها یک دستگاه جاذب موج در هر سناریو دستگاه ویودراگون بالاترین توان تولیدی و دستگاه آکوابوی کمترین توان تولیدی را خواهد داشت، اما به‌کارگیری تعداد مناسبی از هر دستگاه، مزرعه دستگاه موج را شکل می‌دهد که نتایج برای آنان مقایسه شده‌اند.

جدول۸- مقایسه هزینه هر المان در هر سناریو

		سیستم هیبریدی با حضور پلامیس	سیستم هیبریدی با حضور ویودراگون	سیستم هیبریدی با حضور آکوابوی
هزینه (میلیون دلار)	جاذب موج	۵۵۸	۴۷.۱	۶۱.۲
	ژنراتور دیزل	۵۳.۳	۵۷.۲	۴۹.۱
	باتری ۱۰۰ کیلووات-ساعتی لیتم-یونی	۸.۲۴	۱۱.۱	۸.۷۷
	سلول خورشیدی مدل Sharp-ND	۶.۵۶	۶.۵۶	۶.۵۶
	مبدل	۲.۶۶	۴.۷۹	۲.۹۵
	سایر	۱.۵	۱.۷	۱.۴۱
	مجموع	۶۳۱	۱۲۸	۱۳۰

نمودار شکل ۲۳ منحنی توان مربوط به هر مزرعه از دستگاه‌های جاذب موج را در پریود امواج ۶ ثانیه نشان می‌دهد. علاوه بر مشخص بودن نتایج قبلی مربوط به سهم کل توان تولیدی هر مزرعه، از این نمودار می‌توان دریافت که دستگاه های جاذب موج ویودراگون و آکوابوی در ارتفاع موج بالای ۳.۵ متر و پربود امواج ۶ ثانیه توانی تولید نخواهند کرد؛ در حالی که دستگاه پلامیس نسبت به دو دستگاه آکوابوی و ویودراگون در ارتفاع امواج بالاتر(۴.۵ متر)، عملکرد مناسب‌تری خواهد داشت، که با توجه به میانگین ارتفاع امواج ۰.۷۸ متری منطقه، علت هزینه بسیار بالای استفاده از جاذب موج پلامیس در سیستم مشخص می‌شود.

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

جدول۹- مقایسه میزان سوخت مصرفی در هر سناریو بر حسب لیتر

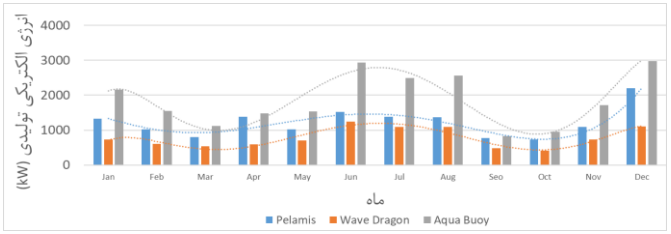
	سیستم هیبریدی با حضور پلامیس	سیستم هیبریدی با حضور ویودراگون	سیستم هیبریدی با حضور آکوابوی
کل سوخت مصرفی (لیتر)	۶۷۵۲۱۶۴	۷۶۲۶۸۸۷	۶۳۳۱۳۸۵
متوسط سوخت مصرفی در روز (لیتر بر روز)	۱۸۵۰۱	۲۰۸۹۸	۱۷۳۴۸
متوسط سوخت مصرفی در ساعت (لیتر بر ساعت)	۷۷۱	۸۷۱	۷۲۳

جدول۱۰- مقایسه میزان انتشار آلاینده‌ها در هر سناریو بر حسب کیلوگرم در سال

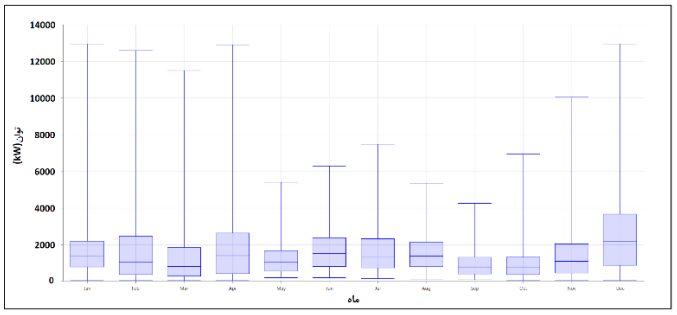
		سیستم هیبریدی با حضور پلامیس	سیستم هیبریدی با حضور ویودراگون	سیستم هیبریدی با حضور آکوابوی
مقدار آلاینده (کیلوگرم بر سال)	کربن‌دی اکسید	۱۷۶۷۶۲۶۳	۱۹۹۶۶۱۷۱	۱۶۵۷۴۷۲۱
	کربن مونوکسید	۱۱۰۳۳۰	۱۲۴۶۲۳	۱۰۳۴۵۵
	هیدروکربن-های نسوخته	۴۸۶۲	۵۴۹۱	۴۵۵۹
	ذرات معلق	۶۶۲	۷۴۷	۶۲۰
	سولفور دی اکسید	۴۳۲۸۱	۴۸۸۸۸	۴۰۵۸۴
	اکسید های نیتروژن	۱۰۳۷۰۶	۱۱۷۱۴۱	۹۷۲۴۴

۲-۴ – جمع‌بندی

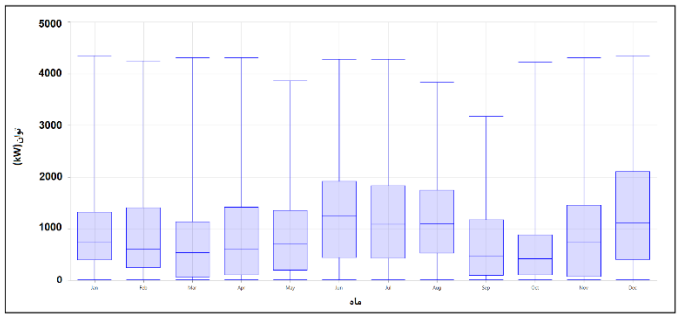
هیبریدسازی منابع از راه‌های قابل اطمینان و مؤثر برای تأمین برق مناطق دورافتاده با عدم دسترسی به شبکه برق سراسری می‌باشد. در این پژوهش امکان استفاده از سه دستگاه جاذب موج پلامیس، ویودراگون و آکوابوی در کنار یک سیستم هیبریدی متشکل از سیستم فتوولتاییک، ژنراتور دیزل و باتری برای تأمین برق یک منطقه روستایی در استان سیستان بلوچستان بررسی و نتایج مقایسه شدند. به‌منظور مقایسه مناسب بین دستگاه‌های جاذب موج در هر حالت ظرفیت تولید توان تمامی کامپونت‌های خورشیدی، ژنراتور دیزل و باتری یکسان درنظر گرفته و تأمین مابقی بار الکتریکی بر عهده مزرعه دستگاه‌های موج گذاشته شد و برای حل مسأله از نرم‌افزار هومر استفاده شد. دستگاه پلامیس یک دستگاه



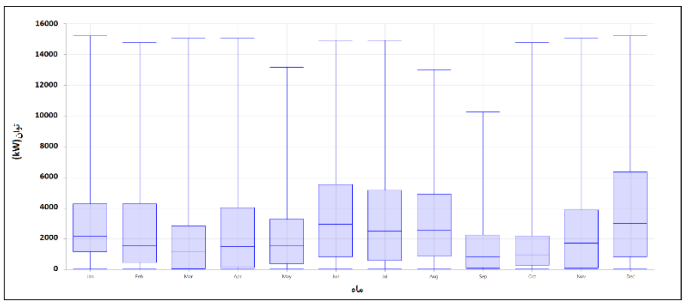
شکل ۱۹. مقایسه انرژی الکتریکی تولیدی میانگین ماهانه از مزرعه‌ی هر نوع دستگاه جاذب موج در طول سال



شکل ۲۰- پراکندگی توان تولیدی از مزرعه سیستم پلامیس در هر ماه



شکل ۲۱- پراکندگی توان تولیدی مزرعه سیستم ویودراگون در هر ماه



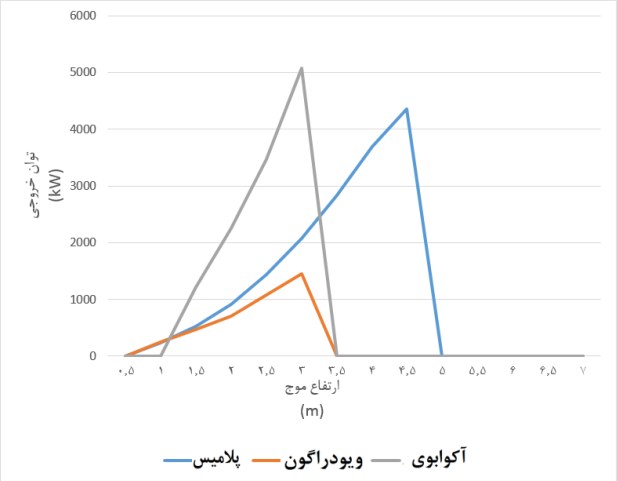
شکل ۲۲- پراکندگی توان تولیدی از مزرعه سیستم آکوابوی در هر ماه

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

کلیدواژگان

1-Hybrid System
2-Clearness Index
3-Photovoltaic System
4-Homer Software
5-Pelamis
6-Wave Dragon
7-AquaBuoy
8-Hydraulic Accumulator
9-Overtopping
10-Point Absorber
11-Buoy
12-Pelton Turbine
13-Cost of Energy (COE)
14-Net Present Cost (NPC)



شکل ۲۳- مقایسه منحنی توان هر دستگاه جاذب موج در پریود امواج ۶ ثانیه

اقیانوسی و مناسب برای تولید توان از امواج با ارتفاع بالا می‌باشد؛ در واقع با به‌کارگیری دستگاه پلامیس در سیستم در اغلب اوقات تنها حدود ۳٪ از توان نامی هر دستگاه پلامیس (حدود ۲۰ کیلووات) استفاده می‌شود که این میزان تولید توان از یک دستگاه با هزینه بالای ۲۰ میلیون دلار هزینه‌های تولید را بسیار زیاد خواهد کرد. این حقیقت با توجه به اینکه هزینه تولید توان کل سیستم در سناریوی شامل دستگاه پلامیس بالغ بر ۵ برابر سایر سناریوها می‌باشد نیز مشخص است. در مقایسه بین دو دستگاه جاذب موج ویودراگون و آکوابوی با توجه به ظرفیت تولید توان نامی بالای ویودراگون (۲۸ برابر آکوابوی)، طبیعتاً هزینه هر دستگاه ویودراگون بسیار بالاتر از آکوابوی خواهد بود اما مقایسه دقیق‌تر هزینه تولید توان از این دستگاه‌ها به شرایط محیطی و میزان بار الکتریکی تخصیص یافته به آن‌ها بستگی خواهد داشت. در کیس مورد مطالعه در سناریوی شامل دستگاه آکوابوی، ۲۸۲ عدد از این دستگاه و در سناریوی شامل دستگاه ویودراگون ۳ عدد از این دستگاه تشکیل مزرعه دستگاه امواج را دادند و با توجه به این تعداد، توان تولیدی از مزرعه دستگاه آکوابوی بیش‌تر از ویودراگون به‌دست آمد و این باعث شد میزان مصرف سوخت، انتشار آلاینده‌ها و جریمه انتشار آلاینده‌ها در حضور دستگاه آکوابوی کم‌تر از ویودراگون باشد. اما نتایج حاصل، هزینه تولید توان در دو سناریو را تقریباً نزدیک به هم نشان می‌دهد؛ ۰.۲۴۰ دلار بر کیلووات‌ساعت برای سناریوی شامل ویودراگون و ۰.۲۴۳ دلار بر کیلووات‌ساعت برای سناریوی شامل آکوابوی. بنابراین با بررسی همه این نتایج می‌توان دریافت درمجموع استفاده از دستگاه جاذب موج ویودراگون برای تأمین برق منطقه مورد مطالعه از لحاظ اقتصادی مناسب‌تر از دو دستگاه دیگر خواهد بود.

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]

۶ - مراجع

1- M. Özger, “Prediction of ocean wave energy from meteorological variables by fuzzy logic modeling,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 5, pp. 6269–6274, May 2011.

2- G. Iglesias, M. López, R. Carballo, A. Castro, J. A. Fraguela, and P. Frigaard, “Wave energy potential in Galicia (NW Spain),” *Renew. Energy*, vol. 34, no. 11, pp. 2323–2333, Nov. 2009.

3- Soleimani, Kaveh, Mohammad Javad Ketabdari, and Farzan Khorasani. "Feasibility study on tidal and wave energy conversion in Iranian seas." *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 11 (2015): 77-86.

4- Mahmoodi, Kumars, Hassan Ghassemi, and Abolhassan Razminia. "Temporal and spatial characteristics of wave energy in the Persian Gulf based on the ERA5 reanalysis dataset." Energy 187 (2019): 115991.

5- N. Panicker, “POWER RESOURCE ESTIMATE OF OCEAN SURFACE WAVES-CLOSURE.,” 1977.

6- A. D. Ondeck, T. F. Edgar, and M. Baldea, “Optimal operation of a residential district-level combined photovoltaic/natural gas power and cooling system,” *Appl. Energy*, vol. 156, pp. 593–606, Oct. 2015.

7- Website of Sistan and Baluchestan Management and Planning Organization [Online]. Available: http://www.mpo-sb.ir/. (In Persian)

8- R. Rezaei and M. Ghofranfarid, “Rural households’ renewable energy usage intention in Iran: Extending the unified theory of acceptance and use of technology,” *Renew. Energy*, vol. 122, pp. 382–391, Jul. 2018.

9- A. Singh, P. Baredar, and B. Gupta, “Techno-economic feasibility analysis of hydrogen fuel cell and solar photovoltaic hybrid renewable energy system for academic research building,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 145, pp. 398–414, Aug. 2017.

10- M. H. Jahangir, S. A. Mousavi, and M. A. Vaziri Rad, “A techno-economic comparison of a photovoltaic/thermal organic Rankine cycle with several renewable hybrid systems for a residential area in Rayen, Iran,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 195, pp. 244–261, Sep. 2019.

11- M. A. V. Rad, R. Ghasempour, P. Rahdan, S. Mousavi, and M. Arastounia, “Techno-economic analysis of a hybrid power system based on the cost-effective hydrogen production method for rural electrification, a case study in Iran,” *Energy*, vol. 190, p. 116421, 2020.

12- M. Abbaspour and R. Rahimi, “Iran atlas of offshore renewable energies,” *Renew. Energy*, vol. 36, no. 1, pp. 388–398, Jan. 2011, doi: 10.1016/J.RENENE.2010.06.051.

13- C. Bastholm and F. Fiedler, “Techno-economic study of the impact of blackouts on the viability of connecting an off-grid PV-diesel hybrid system in Tanzania to the national power grid,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 171, pp. 647–658, Sep. 2018.

14- M. K. Abd, “Economic viability and profitability assessments of WECS Wind speed,” vol. 10, no. 2, pp. 1220–1228, 2020.

15- Y. Sawle, S. C. Gupta, and A. K. Bohre, “Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81. Elsevier Ltd, pp. 2217–2235, 01-Jan-2018.

16- M. A. Moser, R. P. Mattocks, S. Gettier, and K. Roos, “Benefits, Costs and Operating Experience at Seven New Agricutural Anaerobic Digesters.”

17- A. Brka, G. Kothapalli, and Y. M. Al-Abdeli, “Predictive power management strategies for stand-alone hydrogen systems: Lab-scale validation,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 32, pp. 9907–9916, Aug. 2015.

18- P. Wave, “Pelamis : experience from concept to connection,” pp. 365–380, 2012.

19- Ocean Power Delivery Ltd, “Pelamis WEC-Conclusion of Primary R&D,” no. 02.

20- R. Gobato and L. Pr, “Study Pelamis system to capture energy of ocean wave,” pp. 1–31.

21- S. Diaconu and E. Rusu, “Evaluation of various WEC devices in the Romanian near shore 2 Wave climate in the western Black Sea 3 Conversion of the Wave Energy into Electrical Energy.”

22- D. Dunnett and J. S. Wallace, “Electricity generation from wave power in Canada,” vol. 34, pp. 179–195, 2009.

23- A. R. Bento, P. Martinho, and C. G. Soares, “Wave energy assessement for Northern Spain from a 33-year hindcast,” *Renew. Energy*, vol. 127, pp. 322–333, 2018.

24- E. Rusu and F. Onea, “Review Article A review of the technologies for wave energy extraction,” vol. 2, no. 1, pp. 10–19, 2018.

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

[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.35.1.2]