حل معادلات حاکم بر امواج دریا به صورت غیر خطی و طراحی دستگاه استحصال انرژی از نوع CETO از امواج جزایر لارک و فارور

جلال قاسمی'*، عاطفه ملکی^۲

^۱ استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان؛ j.ghasemi@znu.ac.ir ۲ دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان؛ Atefeh.malekiz@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیدہ
<i>تاریخچه مقاله:</i> تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۲۳	در این مقاله، معادلات حاکم بر امواج دریا به صورت غیر خطی تحلیل و استحصال انرژی از امواج جزایر لارک و فارور در خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس اطلاعات ۳۱ سال اخیر، امواج این دو جزیره دارای بیشترین رویداد برای دامنه امواج ۰/۰m تا ۰/۰۳ و ۰/۴۳ تا ۸۸/۰ به ترتیب در دورههای تناور ، ۲/۴۶ تا ۳۵ و ۳۵ تا ۳/۶۶ است اذا بهطور متوسط نوان تناور ، ۳۵ دادامنه ۵/۰ برای طراح
<i>کلمات کلیدی:</i> استحصال انرژی امواج دریا جزیره لارک مکانیزم CETO	در نظر گرفته شد. مکانیزم CETO ^۱ برای تولید انرژی انتخاب و طراحی مفهومی با استفاده از برنامه کامپیوتری تهیه شده، انجام شد، به طوریکه نتایج آن دارای دقت مناسب در مقایسه با نتایج تجربی است. بررسیها نشان میدهد که برای تولید توان بهینه، باید نسبت ارتفاع بویه به شعاع آن در محدوده ۲/۸ تا ۳/۲ باشد. همچنین با توجه به شرایط امواج، امکان دستیابی بهینه از هر مکانیزم در حدود ۲۵ kW

Solving the Governing Equations of Sea Waves Nonlinearly and Designing A CETO Mechanism for Energy Extraction from the Waves of Larak and Faror Islands

Jalal Ghasemi^{1*}, Atefe Maleki²

¹ Assistant Professor, Engineering Department, University of Zanjan; j.ghasemi@znu.ac.ir ² BS Student, Engineering Department, University of Zanjan; Atefeh.malekiz@yahoo.com

ABSTRACT

ARTICLE INFO

Article History: Received: 2 Apr. 2018 Accepted: 13 May 2019

Keywords: Sea wave's extraction energy Larak Island Farur Island CETO mechanism In this paper, the governing equations of sea waves are analyzed nonlinearly and the energy extraction from the waves in the Lark and Faror islands in the Persian Gulf is determined. According to the data in the last 31 years, the waves of these two islands have the most incidence for the height of 0-0.4 m and 0.4-0.8 m corresponding for the time periodicity of 2.4-3 s and 3-3.6 s, respectively. Therefore, waves with an average period of 3 s and a height of 0.5 m are used in the design process. The Cylindrical Energy Transfer Oscillatory (CETO) mechanism is chosen and the conceptual design is carried out with an in-house FORTRAN code, in which the results are in favorable agreement with the available experimental data. Investigations show that optimum power production requires the range of 2.8 to 3.2 for the ratio of the height to the radius of the buoy. Also, it is possible to access 25 kW power for each mechanism in the optimum conditions.

۱ – مقدمه

امروزه بدلیل کاهش ذخایر سوختهای فسیلی و گرانی آن و همچنین آثار سوء ناشی از استفاده از آن بر محیط زیست، اهمیت دستیابی هر چه بیشتر به انرژیهای نو نظیر استحصال انرژی از امواج دریاها را نمایان ساخته است. از طرفی در مناطق و جزایر دورافتاده که امکان استفاده از شبکه برق وجود ندارد، اهمیت استحصال چنین انرژیهای جهت تولید انرژی الکتریکی، بسیار حائز اهمیت است. اولین مکانیزم تولید برق از امواج دریا به صورت علمی از سال ۱۹۴۵ آغاز گردید. در نقاط مختلف جهان، مکانیزمهای متعددی برای تولید انرژی الکتریکی از امواج دریا استفاده گردیده است. این مکانیزمها بر اساس محل قرار گیری و نحوه انتقال قدرت آنها دسته بندی میشوند. از انواع متداول آنها میتوان به مکانیزمهای سـتو۲، پلامـیس۳، پاور بویـه۴، سـتون نوسانگر آب^۵، نوسانگر موج ارشمیدسی²، اژدهای امواج^۷ ، آناکوندا^۸ و ستاره موج^۹ اشاره نمود[1]. در زمینه تولید برق از امواج تحقیقات و پژوهشهای متعددی صورت گرفته است. ذبیحیان و فونگ[۲] ضمن معرفی روشهای مختلف استحصال از انرژی امواج دریاها و اقیانوسها، بهره گیری از انرژی موج را در سواحل دریای عمان و جزایـر دور دست آن امکان پذیر دانستهاند. در تحقیق دیگری برای دریای مازندران نشان داده شده است که تولید برق از انرژی امواج در مقایسه با انرژی جزر و مدی دریای مازندران کارایی بهتری خواهد داشت و در عین حال به موانع و مشکلات نصب سیستمهای تولید برق از امواج در بستر این دریا پرداخته شده است [۳]. دشتی و همکاران[۴] دو عامل مهم دوره تناوب و ارتفاع موج را برای تولید توان از امواج را مورد مطالعه قرار دادهاند. همچنین در این تحقیق، مكانيزم ستاره موج را با توجه به شرايط ميانگين ارتفاع موج و میانگین پریود موج پیشنهاد کردهاند. سایبانی و همکاران [۵] ضمن معرفی چند روش بهرهبرداری از انرژی دریا، برای دریای خزر با توجه به عمق و ارتفاع موج بلندتر، استفاده از روش های مکانیکی پلامیس و روش ارتعاش ستون آب را مقرون به صرفه و مناسب تر دانسته و برای خلیجفارس با توجه به عمق دریا و طول امواج و ارتفاع آنها روشهای ستون نوسانگر آب و صفحات شناوری را مطلوبتر معرفی نمودهاند. نظری و همکاران[۶] به طراحی دستگاه تولید برق از امواج دریا در بندر عسلویه پرداختهاند. در این تحقیق به استفاده از پاور بویه و قرارگیری آن در حالت تشدید پرداخته شده و امکان دستیابی به توان بالاتر از ۱۰ کیلو وات به ازای هر از این دستگاه را امکان پذیر دانستهاند. در تحقیق حاضر با استفاده از اطلاعات موسسه ملي اقيانوسشناسي كشور، به امكانسنجي و مقدار استحصال انرژی پایدار الکتریکی از امواج سواحل جزیرههای لارک و فارور که از جزایر خلیج فارس میباشند، پرداخته شده است. از مکانیزم CETO به دلایلی چون سادگی ساختمان، استقلال

مکانیزم از راستای موج، نداشتن اثر بصری، مقاومت مناسب در مقابل طوفانهای دریایی و تطبیق پذیر بودن آن با توجه به شرایط محل برای تولید انرژی الکتریکی انتخاب گردیده است. جهت دستیابی به نتایج دقیقتر و امکان اعمال فرضیات واقعبینانه در، معادلات حاکم بر امواج به صورت غیرخطی به شکل تئوری حل گردیده است. لازم به ذکر است که با بررسیهای صورت گرفته تا زمان تدوین این مقاله، پژوهشی که به مطالعه تخصصی استفاده از مکانیزم CETO در ایران پرداخته باشد یافت نگردید.

۱- اطلاعات و مشخصات امواج در سواحل جزایر لارک و فارور

لارک جزیرهای در خلیج فارس و جزء استان هرمزگان است که در ۲۶/۵۱ درجه خط عرض شمالی و در ۵۶/۲۱ درجه خط طول شرقی و جزیره فارور نیز در خلیج فارس در ۲۶/۱۵ درجه خط عرض شمالی و در۵۴/۲۵ درجه خط طول شرقی قرار دارند. شکل ۱ موقعیت این جزایر را در خلیج فارس نشان میدهد.



شکل ۱- موقعیت جزایر لارک و فارور در خلیج فارس

با توجه به مسائل استراتژیک نیاز به برق در این دو جزیره وجود دارد و به لحاظ موقعیت جغرافیایی امکان احداث و دسترسی به شبکه برق با موانع اساسی همراه است. لذا استفاده از انرژی امواج، جایگزین مناسبی به لحاظ هزینه و فنی در این جزایر میباشد. با تحلیل آماری صورت گرفته بر اساس اطلاعات دریافتی از موسسه ملی اقیانوس شناسی امواج این منطقه بین سالهای ۱۹۸۱ تا ملی اقیانوس شناسی امواج این منطقه بین سالهای ۱۹۸۱ تا مواج و زمان تناوب به همراه درصد وقوع آنها به ترتیب در جداول ۱و ۲ آورده شده است.

Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-12

جدول۱- ارتفاع امواج در جزیره لارک و فارور

ارتفاع موج	درصد وقوع	درصد وقوع
(متر)	(جزيره لارک)	(جزيره فارور)
• / • - • / ٢	777	7. I Y
•/۲-•/۴	·/.ΨΔ	% ٣٣
• / ۴- • /۶		7.19
• /۶- • / λ	7.λ	·/. \ •
• /A- ۱ / •	<u>٪۴</u>	·/.۶
1/+-1/7	7.7	۲.۳
1/7-1/4	7.1	7.7
ساير موجها	<u>/۱</u> ۰	·/. \ •

جدول۲- زمان تناوب امواج در جزیره لارک و فارور

زمان تناوب ،T	درصد وقوع	درصد وقوع
(ثانيه)	(جزيره لارک)	(جزيره فارور)
۰/۶–۱/۲	·/.•	· <u>/.</u> •
١/٢-١/٨	·/. •	۲./
۱/۸–۲/۴	7.10	7.17
۲/۴-۳/۰	·/.۲۵	% ۲۲

مقادیر جدول ۱ نشان میدهد که در جزیره لارک و فارور امواج با دامنه موثر بین ۰/۲ تا ۰/۴ متر بیشترین درصد وقوع را داراست و اغلب امواج دارای ارتفاع زیر یک متر می باشند. همچنین مقادیر جدول ۲ نشان میدهد که امواج با زمان تناوب ۲/۴ تا ۳/۶ ثانیه بیشترین درصد وقوع را دارند. به منظور دستیابی به حداکثر انرژی ممكن، لازم است محتمل ترين امواج كه داراى دامنه بيشينه با زمان تناوب بیشینه هستند تعیین گردیده و در طراحی مکانیزم جهت استحصال انرژی مد نظر قرار گیرد. بدین منظور تحلیلهای لازم آماری بر روی اطلاعات موجود صورت گرفته و تعداد ساعات رویداد یک موج با زمان تناوب و ارتفاع همان موج برای جزایر لارک و فارور به ترتیب در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. مقادیر این جداول نشان میدهد که برای هر دو جزیره در بازههای زمان تناوب ۲/۴ تا ۳ ثانیه و ۳ تا ۳/۶ ثانیه به ترتیب دامنه امواج ۰/۰ تا ۴/۰ و ۰/۴ تا ۰/۸ متر، بیشترین تعداد رویداد را دارند. لذا در این مقاله، محاسبات بر اساس زمان تناوب ۳ ثانیه با دامنه موج ۰/۵ متر در نظر گرفته خواهد شد. ضمن آنکه عمق آب با توجه به مطالب قبلی، ۸۹ متر برای جزیره فارور و ۱۰۰ متر برای جزیره لارک خواهد بود.

۳- مبانی تئوری و معادلات حاکم

در این بخش به بررسی مبانی تئوری و معادلات حاکم بر تحلیل امواج پرداخته می شود. جهت افزایش دقت محاسبات و اعمال شرایط مرزی واقعی تر، معادلات موج به صورت غیرخطی تحلیل

خواهد شد. شکل ۲ پارامترها و محورهای مختصاتی در نظر گرفته شده در این تحلیل را نشان میدهد.



شکل۲- پارامترها و محورهای مختصاتی برای تحلیل موج

با در نظر گرفتن سیال تراکم ناپذیر و با صرفنظر از اثرات لزجت می توان نوشت:

$$\nabla \vec{u} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla)\vec{u} = -\frac{1}{\rho}\nabla p - g\vec{k}$$
(7)

با فرض جریان غیر چرخشی که فرض واقع گرایانه ای نیز میباشد، معادلات فوق به صورت زیر تبدیل خواهد شد:

$$\vec{\mathbf{u}} = \nabla \phi \tag{(7)}$$

$$\phi_{xx} + \phi_{zz} = 0, -d < z < \eta;$$

$$\phi_{t} + \frac{1}{2} (\nabla \phi)^{2} = -\frac{p - p_{0}}{\rho} - g z$$
 (f)

در روابط (۳) و (۴)، η و ϕ به ترتیب به صورت سریهای (۵) و (۶) قابل بیان است[۸،۷].

$$\eta = a\cos\theta + \mu_2 a^2 \cos 2\theta + \dots, \theta = kx - \omega t$$
 (Δ)

$$\phi(x.z.t) = \gamma_0 a^2 t + \gamma_1 a \cosh k (z+d) \sin \theta + \gamma_2 a^2 \cosh 2k (z+d) \sin 2\theta + \dots$$
(8)

با در نظر گرفتن دو جمله اول سریهای فوق و صرفنظر از جملات بعدی به دلیل همگرا بودن آنها، مجهولات μ_2 , γ_0 , γ_0 و همچنین فرکانس موج، ω را میتوان با اعمال شرایط مرزی و اولیه و با انجام عملیات ریاضی به صورت زیر تعیین نمود.

$$\mu_{2} = \frac{1}{2} \text{k.coth(kd)} (1 + \frac{3}{2 \sin h^{2} (\text{kd})})$$

$$\gamma_{0} = -\frac{\text{g.k}}{2 \sin(2\text{kd})} \qquad (Y)$$

$$\gamma_{1} = \frac{\omega}{\text{k.sinh(kd)}}$$

$$\omega = \sqrt{\text{g.k.tanh(kd)}}$$

		ار تفاع موثرموج[m]H _{sig}							
		•/•-•/۴	۰/۴-۰/۸	 √∧− ۱ / ۲ 	۱/۲–۱/۶	۱/۶-۲/۰	۲/۰-۲/۴	۲/۴-۲/λ	۲/۸–۳/۲
	•/•-•/۶	•	•	•	٠	٠	•	•	•
	۰/۶–۱/۲	۱۲۳	•	•	•	٠	•	•	•
	١/٢-١/٨	9477	•	•	•	٠	•	•	•
	۱/۸–۲/۴	47107	١٢	•	٠	٠	•	•	•
	۲/۴-۳/۰	91841	٩۶۳۵	•	•	•	•	•	•
زمان تناوب [ا	۳/۰-۳/۶	۳۶۸۶۹	37700	۱۳۳۵	١	٠	•	•	•
	٣/۶-۴/۲	۹۱۰۸	١١٩٧٩	۶۹۷۵	٩۵	•	•	•	•
	۴/۲-۴/۸	4040	VV9V	۶۷۴۹	7987	۲۸	•	•	•
eak [5	۴/۸–۵/۴	1444	5851	7984	8707	۱۹۰۸	٨٩	•	•
\mathbf{T}_{p}	۵/۴-۶/۰	٧۶٩	7497	1409	٨٠٨	1414	1477	7 • 9	۵
	&/•-&/&	•	•	•	•	•	•	•	•
	۶/۶-۷/۲	818	844	۶86	317	101	3117	۶۸۱	۳۹۰
	V/Y-V/A	141	٣٢	۳۵	۵۹	49	378	44	184
	۲/۸–۸/۴	•	•	•	•	•	•	•	•
	٨/۴-٩/٠	144	۵	•	•	•	٣	٢	•

جدول۳- فراوانی مربوط به ترکیب دامنه و زمان تناوب برای جزیره لارک

جدول۴- فراوانی مربوط به ترکیب دامنه و زمان تناوب برای جزیره فارور

		$\mathbf{H}_{ ext{sig}}[\mathbf{m}]$ ار تفاع موثر موج							
		•/•-•/۴	۰/۴-۰/۸	 √/۸– ۱/۲ 	۱/۲–۱/۶	۱/۶-۲/۰	۲/۰-۲/۴	۲/۴-۲/λ	۲/۸–۳/۲
	•/•-•/۶	•	•	•	•	•	•	•	•
	۰ <i>/۶</i> –۱/۲	۱۳۸	•	•	•	•	•	•	•
	١/٢-١/٨	۲۱۹۱	•	•	•	•	•	•	•
	۱/۸–۲/۴	۳۳۴۳۸	١٢	•	•	•	•	•	•
	۲/۴-۳/۰	54540	۵۹۸۸	•	•	•	•	•	•
	۳/۰-۳/۶	۳۲۵۱۴	34379	۷۲۷	•	•	•	•	•
زمان	٣/۶-۴/٢	1.487	12097	8.14	١٢	•	•	•	•
تناوب	۴/۲-۴/۸	۵۰۰۲	11442	۶۵۸۶	171.	١	•	•	•
S	۴/۸–۵/۴	١١٨٢	12.22	۵۱۷۱	***	499	•	•	•
$\mathbf{T}_{\mathrm{peak}}$	۵/۴-۶/۰	۳۱۳	8779	۵۷۲۸	8.48	۲۰۷۱	431	۵	•
-	81818		•	•	•	•	•	•	•
	۶/۶-۷/۲	٣٠	٩۴٣	۳۰۵۳	5184	١٣٧۵	١١٧٢	۳۸۵	18
	V/Y-V/A	۱.	٨٨	۳۲۰	490	۳۹۶	۳۳۹	۳۰۵	١٣٣
	۷/۸–۸/۴		•	•	•	•	•	•	•
	٨/۴-٩/٠	•	•	٣٠	١	۵٨	۲۹	٢۵	١٧

[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.29.1.9]

 $\frac{d}{g.T^2} > 0.0792$ (14)

که با توجه به عمق ۸۹ و ۱۰۰متری به ترتیب در جزایر لارک و فارور و زمان تناوب ۳ ثانیه برای هر دو جزیره، شرط عمیق بودن دریا در این جزایر برقرار میباشد. سرعت گروهی امواج، C_q از رابطه (۱۵) محاسبه می گردد.

$$C_q = \frac{g}{2 \times \omega} \tag{10}$$

انرژی هر موج، E_t در واحد سطح نیز از رابطه(۱۶) به دست می آید. $E_t = \frac{1}{8} \rho g H^2$ (۱۶)

که در این رابطه H ارتفاع موج است. در نهایت توان موج از رابطه(۱۷) تعیین می گردد:

$$P_{W} = E_{t} \cdot \frac{\lambda}{T}$$
(1V)

۴-معرفی مکانیزم CETO و طراحی آن

مکانیزم CETO یکی از روشهای مدرن در استحصال انرژی از امواج میباشد. شماتیک این دستگاه در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل۳- شماتیک مکانیزم ستو

این مکانیزم به دو بخش اصلی تقسیم می شود، بخش اول در دریا و بخش دوم در ساحل قرار دارد. شناور محرک (بویه) کاملاً مغروق بوده و ۱ تا ۲ متر زیر سطح آب قرار دارد و به وسیله کابلی به پمپ، که در کف دریا تثبیت شده است متصل می گردد. روش های متداول استفاده از انرژی تولید شده توسط امواج با استفاده از این دستگاه در شکل های ۱۴لف تا ۴ج نشان داده شده است. مطابق مکانیزم نشان داده شده در شکل ۱۴لف سیال پر فشار تولید شده توسط دستگاه از طریق لوله هایی که در کف دریا نصب شدهاند به که در روابط فوق k عدد موج می باشد. با جایگذاری این روابط در معادلات (۵) و (۶) و استفاده از معادلات (۳) و (۴) سرعت افقی و عمودی امواج و فشار دینامیکی به ترتیب طبق روابط (۸) تا (۱۰) تعیین می گردد.

$$u = \frac{2\pi a}{T} \frac{\cosh(k(z+d))}{\sinh(kd)} \cos(kx - \omega t) + \frac{3H^2 \pi^2}{4T\lambda} \frac{\cosh(2k(z+d))}{\sinh^4(kd)} \times (\Lambda)$$

$$\cos(2(kx - \omega t))$$

$$v = \frac{2\pi a}{T} \frac{\sinh(k(z+d))}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) + \frac{3H^2 \pi^2}{4T\lambda} \frac{\sinh(2k(z+d))}{\sinh^4(kd)} \times$$

$$\sin(2(kx - \omega t))$$
(9)

$$p = \frac{\rho g h}{2} \frac{\cosh \left(k \left(z+h\right)\right)}{\cosh(kh)} \cos(kx - wt) + \frac{3\pi \rho g H^2}{4\lambda \sinh 2 kd} \times \left(\frac{\cosh(2k \left(z+h\right))}{\sinh^2(kh)} - \frac{1}{3}\right) \times \cos(2(kx - wt))$$
(1.)

با مشتق گیری از روابط (۸) و (۹) شتاب در جهتهای افقی و عمودی به ترتیب به صورت زیر خواهد بود که در تحلیل نیروها مورد استفاده قرار خواهد گرفت:

$$\dot{u} = \frac{4\pi^2 a}{T^2} \frac{\cosh(k(z+d))}{\sinh(kd)} \sin(kx - \omega t) + \frac{3H^2\pi^3}{T^2\lambda} \frac{\cosh 2k(z+d)}{\sin^4(kd)} \sin(2(kx - \omega t))$$
(11)

$$\dot{w} = -\frac{4\pi^2 a}{T^2} \frac{\sinh(z+d)}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t) - \frac{3H^2 \pi^3}{T^2 \lambda} \frac{\sinh(2k(z+d))}{\sinh^4(kd)} \cos(2(kx - \omega t))$$
(17)

-در روابط فوق λ طول موج میباشد که از رابطه(۱۳) محاسبه می \mathcal{R} ردد.

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \tag{17}$$

از فرضهای در نظر گرفته شده در تئوری فوق کوچک بودن نسبت دامنه موج به طول موج(کوچکتر از ۰/۵) بوده که این مقدار برای هر دو جزیره ۰/۰۳۵ است. از دیگر فرضهای مهم شرط عمیق بودن آب میباشد که:

ساحل منتقل میشود. سیال منتقل شده به ساحل توربینهای هیدرولیکی نصب شده در خشکی را به حرکت در میآورد که منجر به تولید برق می گردد. اگر هدف شیرین کردن آب باشد میتوان از این آب پر فشار مطابق شکل ۴ب برای تاسیسات آب شیرین کن استفاده نمود. اگر مسئله انتقال آب تحت فشار به ساحل با مشکلاتی روبرو باشد میتوان عملیات تولید الکتریسیته را داخل بویه و در دریا انجام داده و مطابق شکل ۴ج الکتریسیته تولیدی را از طریق کابلهایی به ساحل منتقل نمود. با حرکت موج، بویه در زیر سطح دریا مطابق شکل ۵ به حرکت در میآید به نحوی که: الف: وقتی ارتفاع آب بالای بویه به حداقل می رسد، بویه در پایین-

ترین نقطه قرار دارد و پیستون در ابتدای کورس خود در سیلندر قرار می گیرد. حالت (۴)

ب: با حرکت موج رو به جلو نیرویی رو به بالا به بویه وارد می شود که منجر به کشیده شدن کابل و حرکت پیستون در داخل سیلندر می شود، در این حالت فشار سیال در داخل سیلندر افزایش می یابد که مرحله تولید توان است حالت (۳).

پ: در ناحیه پیک موج بویه وارد مرحله میرایی شده و سیستم را در مقابل بارهای زیاد محافظت می کند حالت (۲).

ت: با گذر موج نیروی رو به پایین به بویه وارد شده و پیستون در داخل سیلندر فشرده میشود و سیال عامل را برای سیکل بعدی به سیلندر می کشد حالتهای (۱) و (۵).

با بازگشت بویه و پمپ به موقعیت اصلی خود، دستگاه آماده برای فعالیت در سیکل بعد می گردد. برای دسترسی پیوسته به انرژی تولید شده توسط بویه، مکانیزمی مطابق شکل ۶ در نظر گرفته شده است. قسمتهای مختلف این مکانیزم شامل سیلندر هيدروليكي، اكومولاتور، مخزن هيدروليك، هيدروموتور، ژنراتور دورانی و شیرهای یکطرفه میباشد. این مکانیزم در دو کورس مکش (شکل ۶الف) و تولید توان (شکل ۶ب) پیستون عملکرد متفاوتی دارد. در کورس مکش پیستون با کمک نیروی فنر به ابتدای کورس خود حرکت کرده و سیال عامل که آب دریا و یا روغن هیدرولیک است در داخل سیلندر پر می شود، در کورس تولید توان نیز با حرکت پیستون سیال عامل در سیلندر فشرده شده و دبی لازم برای دوران هیدروموتور تامین می گردد. اکومولاتور وظيفه تامين مداوم جريان روغن در هيدروموتور را بر عهده دارد كه پس از افزایش فشار سیال در سیلندر هیدرولیک به منظور تداوم چرخش هیدروموتور سیال تحت فشار در اکومولاتور ذخیره شده و کم کم به مدار هیدرولیک تزریق می شود. با ورود روغن به اكومولاتور شارژ شده با فشار P_0 ، فشار اكومولاتور از حداقل فشار سیستم P_1 ، تا حداکثر فشار سیستم P_2 ، افزایش می یابد حجم گاز نيز از مقدار V_1 به V_2 کاهش می يابد. هيدروموتورها عملگرهايی با دوران مداوم، جهت ایجاد گشتاور لازم برای دوران بار چرخشی

هستند. از پارامترهای مهم در انتخاب هیدروموتورها، حجم جابه-جایی روغن، گشتاور و توان تولیدی آن میباشد که بر اساس مشخصات ارائه شده توسط یکی از سازندگان داخل کشور، به ترتیب از روابط (۱۸)تا (۲۰) به دست میآیند[۸].

$$V_g(cm^3) = \frac{1000 \times Q(lit / min)}{1500(rpm)}$$
(1A)

$$T_{m}(N.m) = 0.016 \times \Delta P(bar) \times Vg(cm^{3})$$

$$T(N.m) \times N(cmm)$$
(19)

$$P(Kw) = \frac{I(N.m) \times N(pm)}{9550}$$
(Y.)

در روابط فوق، T_m گشتاور، P توان، N سرعت دوران، ΔP آختلاف فشار ورودی و خروجی، Q دبی مورد نیاز و Vg حجم جابه جایی هیدروموتور می باشد.



شکل ۴- (الف) تولید انرژی الکتریسیته درساحل، (ب) تولید آب شیرین، (ج) تولید برق در دریا و انتقال الکتریسیته به ساحل





در معادله فوق ρ چگالی آب، A مساحت سطح در تماس با سیال، U بردار سرعت و C_D ضریب دراگ میباشد که مقدار آن با تقریب قابل قبولی برابر \mathscr{R} . تعیین شده است[۹،۱۰]. وقتی یک جسم شناور در اثر شتاب نسبی بین جسم و سیال اطراف آن تمایل به حرکت پیدا میکند جرم افزوده مطرح میشود. این شتاب نسبی منجر به اعمال نیرو بر جسم میشود که ناشی از توزیع فشار روی جسم است. در این شرایط فرض میشود که سیال اطراف به جسم چسبیده و بخشی از آن است که این همان مفهوم جرم افزوده است. رابطه مربوط به نیروی جرم افزوده به صورت معادله(۲۲) است.

$$\mathbf{F}_{AM} = (1 + \mathbf{C}_{\mathrm{m}})\rho \mathbf{V} \mathbf{U} \tag{(77)}$$

در معادله فوق $\dot{\mathbf{U}}$ بردار شتاب جسم، V حجم مرجع و C_m ضریب جرم افزوده است که بر حسب نسبت ارتفاع، H به قطر، D بویه محاسبه و به نمودار در شکل ۸ در جهتهای افقی و عمودی نشان داده شده است. لازم به توضیح است که با توجه به طول موج در نظر گرفته برای دو جزیره مورد نظر، قطر بویه نباید از ۷ متر بیشتر یاشد.



نیروی جرم افزوده تنها نیروی موثر بر جسم نیست، نیروی دیگری تحت عنوان نیروی فشار توزیع نشده یا نیروی فرود کریلو که ناشی از شتاب سیال است، روی جسم تاثیر میگذارد. علت وجود نیروی مذکور این است که وقتی توده سیال شتابدار باشد، نتیجه میشود نیرویی در سیال وجود دارد که این شتاب را پدید آورده است و حال اگر جسمی در داخل سیال قرار گیرد این نیرو به جسم نیز اعمال میگردد که نیروی فرود کریلو نامیده میشود و برابر است با [۹]:



شکل۶- فرایند کاری سیستم هیدرولیک (الف) کورس مکش ، (ب) کورس تولید توان

ابعاد اصلی و نیروهای وارد بر بویه این دستگاه شامل نیروی شناوری، نیروی وزن و نیروهای ناشی از موج میباشد. این نیروها در شکل ۷ نشان داده شده است. نیروهای ناشی از موج به سه بخش اصلی نیروی دراگ، نیروی جرم افزوده^{۱۰} و نیروی فرود کریلو^{۱۱} تقسیمبندی میشود[۹،۱۰].



شکل۷- ابعاد اصلی و نیروهای وارد بر بویه

بویه باید طوری طراحی شود که نیروی وزن، F_W و نیروی شناوری، F_B تقریبا همدیگر را خنثی نمایند و نیروی شناوری مقداری بزرگتر از نیروی وزن باشد که باعث شود مکانیزم در حالت عادی به صورت ایستاده و مستقیم باقی بماند. نسبت این دو نیرو به صورت زیر در نظر گرفته می شود [۱۱،۱۲].

$$F_{Fk} = \rho V \dot{q} \tag{(14)}$$

که در معادله فوق \dot{p} شتاب سیال میباشد. نیروی جرم افزوده در اثر وجود شتاب نسبی بین جسم و سیال به وجود میآید اما نیروی فرود کریلو تنها در حالتی که سیال شتابدار باشد وجود دارد. جدول ۶ نشان میدهد تحت چه شرایطی نیروی فرود کریلو ، جرم افزوده و یا هر دو وجود دارد. با مراجعه به رابطه (۱۷) توان امواج در این جزایر حدود ۱/۴۳ کیلووات بر متر خواهد بود.

جدول۶- شرایط وجود و یا عدم وجود نیروهای فرود کریلو و جرم افزوده

شتاب	شتاب	نیروی جرم افزوده	نيروى فرود
جسم	سيال		كريلو
0	0	0	0
0	ġ	$ ho C_m V \dot{q}$	ρVġ
Ú	0	$- ho C_m V \dot{U}$	0
Ú	ġ	$\rho C_m V(\dot{q} - \dot{U})$	ρVġ

این بدین معنی است که از هر یک متر عرض مکانیزم با بازدهی ۱۰۰٪ امکان استحصال توانی معادل ۱/۴۳ کیلووات وجود خواهد شد. لذا هر چه ابعاد مکانیزم بزرگتر باشد توان خروجی بیشتر میشود، اما تعیین ابعاد بویه با توجه به مشخصات امواج و شرایط منطقه با محدودیتهایی نیز همراه خواهد بود. در این مقاله برنامهای به زبان فرترن نوشته شده است که نیروهای اعمالی بر بویه را با حل معادلات (۲۲)، (۲۳) و (۲۴) در شرایط مختلف را محاسبه نموده و توان تولیدی توسط مکانیزم را تعیین می ماید. برای اعتبار بخشی به نتایج محاسبات مشخصات مکانیزم های CETO3 و CETO5 که در استرالیا ساخته شدهاند، به برنامه داده شده و نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است. نتایج جدول ۷ نشان می دهد حداکثر اختلاف بین توان تولیدی واقعی و توان محاسبه شده توسط برنامه کامپیوتری ۱۲/۵٪ می باشد.

جدول۷-مقایسه توان محاسبه شده با توان تولیدی نمونههای موجود

نام	بويه	ابعاد	توان توليدى	توان توليدى	درصد	
دستگاه	R[m]	H[m]	[KW] (واقعی)	[KW] (محاسبه شده)	اختلاف	
CETO3	۲/۵	٧	٨٠	٧٠	۱۲/۵٪.	
CETO5	٣/۵))	74.	22.	۹%.	

با توجه به دقت مناسب محاسبات در تحقیق حاضر در مقایسه با نتایج موجود برای CETO3 و CETO5، محاسبات برای طراحی مکانیزم مشابه با توجه به مشخصات امواج غالب در جزایر فارور و لارک صورت گرفته است. شکل ۹ توان تولیدی به ازای نسبت ارتفاع به شعاع بویه را برای حجم ثابت آن با در نظر گرفتن

محدودیت و شرایط امواج دو جزیره مذکور نشان میدهد. با توجه به این شکل نسبت بهینه برای H/R در محدوده ۲/۸ تا ۳/۲ است.



همچنین شکل ۱۰ برآیند هر یک از نیروهای وارد بر بویه در مرحله تولید توان به غیر از نیروهای شناوری و وزن که تقریباً همدیگر را خنثی می کنند را به ازای H/R مختلف در حجم معین و ثابت بویه برای شرایط شکل ۹ نشان می دهد. با در نظر گرفتن حالت بهینه($E = \frac{H}{R}$) طراحی های مختلفی برای دستیابی به توانهای مختلف صورت گرفته و نتایج آن در جدول ۸ ارائه شده است. لازم به ذکر است که با توجه به شرایط امواج دو جزیره مورد نظر امکان انتخاب شعاع بویه از ۲۵ متر بیشتر نبوده و توان بهینه قابل استحصال از آوردن مقدار نیروی وارد بر بویه و ابعاد آن و همچنین با انتخاب برخی تجهیزات استاندارد برای سیستم هیدرولیکی مکانیزم بر اساس معیارهای مشخص و تجربی، دیگر متغیرهای آن نظیر فشار کاری، حجم جابه جایی، گشتاور و توان هیدروموتور و بازده مکانیزم



Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-12

کلید واژگان

- 1- Cylindrical Energy Transfer Oscillatory
- 2- CETO
- 3- Pelamis
- 4-PowerBuoy
- 5- Oscillating Wave Column (OWC)
- 6- Arashmidos Wave Swing (AWS)
- 7- Wave Dragon
- 8- ANACONDA
- 9- Wave Star
- 10- Added mass force
- 11- Froude-Krylov force

مراجع

1-Joubert J. R., Niekerk J. L., Reinecke J. and Meyer I., (2013), *Wave Energy Converters (WECs)*, Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, Matieland, South Africa.

2-Zabihian, F., and Fung, A., (2011), *Review of marine renewable energies: Case study of Iran*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.15, p. 461–2474

3-Shafagat, R., Mehdimohammadi, P., and Safaeiyan, R., (2010), *Evaluation of power generation systems from sea waves and optimal selection for Mazandaran Sea*, The First International Conference on Modern Approaches to Energy Conservation. (In Persian)

4-Dashti, R., Khajeyan, B., and Khojastehpour, B., (2008), *Feasibility study of wave energy in Bushehr province*, 7th Conference on Quality and Productivity in the Electricity Industry. (In Persian)

5-Sayebani, M., Shervani, M., and Dehesh, S., (2010), Electricity generation methods using marine forces and adaptation to Caspian Sea and Persian Gulf, National Conference on the Exploitation of Sea Water. (In Persian)

6-Nazari, M., Ghasemi, H., and Giyasi, M., (2010), Design of 10 kilowatts of energy absorber for sea waves in Bandar-e-Aslouyeh Persian Gulf, 13th Marine Industry Conference. (In Persian)

7- Whitham G. B., (1974), *Linear and nonlinear waves*, Wiley Interscience Publication

8- Coulson C. A., Jeffrey A., and Collings Peter J., (1979), *Waves: A mathematical approach to the common types of wave motion*, Addison-Wesley Longman Ltd, 2nd edition

9- Patel, M. H., (1989), *Dynamics of Offshore Structure*, Butterworth-Heinemann

10- Bruce J. Muga and James F. Wilson, (1970), Dynamic Analysis of Ocean Structures, Plenum Press 11- James F. Wilson,(2002), Dynamics of Offshore Structures, John Wiley and sons, Inc **جدول۸**-توان خروجي مكانيزم براي ابعاد مختلف بويه

توان خروجي	مجموع نيروها	شعاع بويه	ارتفاع بويه
[kw]	[N]	[m]	[m]
۱۰/۳	88018	١/۵	۴/۵
۱۳/۵	14922	۲/۰	۶/۰
۱۶/٨	149801	۲/۵	Y/۵
۲١/۵	174321	٣/٠	٩/٠
۲۵/۳	226020	٣/۵	۱ • /۵

۵- نتیجه گیری

در این مقاله دستگاه استحصال انرژی از امواج از نوع CETO برای نصب در جزایر لارک و فارور مورد بررسی قرار گرفت. این مکانیزم به دلایلی همچون سادگی ساختمان و استقلال از راستای موج برای تولید انرژی، نداشتن اثر بصری، مقاومت مناسب در مقابل طوفان های دریایی و تطبیق پذیری سیستم برای اهداف محتلف نظیر تولید برق و استفاده در فرآیند آب شیرین کن مورد توجه است. بررسی آماری نشان داد که بازههای زمان تناوب ۲/۴ تا ۳ و ۳ تا ۳/۶ ثانیه به ترتیب دامنه امواج ۰/۰ تا ۲/۴ و ۲/۴ تا ۸/۸ متر، بیشترین تعداد رویداد را دارند و این نتایج برای هر دو جزیره صادق است. لذا در این مقاله برای طراحی مکانیزم استحصال انرژی به طور متوسط زمان تناوب ۳ ثانیه با دامنه موج ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. نتایج محاسبات نشان میدهد که توان امواج در این جزایر حدود ۱/۴۳ کیلو وات بر متر می باشد. برنامه کامپیوتری برای محاسبات لازم تهیه گردید و برای اعتباربخشی به نتایج آن، مشخصات CETO3 و CETO5 که در کشور استرالیا نصب گردیدهاند به برنامه اعمال گردید که نتایج خروجی آن همخوانی خوبي با نتايج واقعي داشته و حداكثر اختلاف آن ١٢/٥٪ مي باشد. بررسیها نشان میدهد که حالت بهینه برای تولید توان زمانی بدست می آید که نسبت ارتفاع بویه به شعاع آن در محدوده ۲/۸ تا ۳/۲ باشد که برای طرحهای مختلف ۳ در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به شرایط امواج دو جزیره مورد نظر امکان دستیابی بهینه از هر مکانیزم بیشتر از حدود ۲۵ کیلووات وجود ندارد. لازم به ذکر است که در حالت کلی استفاده از چنین مکانیزمی برای تولید برق در زمان کنونی در ایران که روشهای قابل اعتمادتر و ارزانتر وجود دارد، توجیه پذیری و برتری نسبی ندارد. ولی به دلیل موقعیت جغرافیایی و مسائل استراتژیک نیاز به برق در این جزایر وجود دارد. از طرفی این جزایر به شبکه برق دسترسی نداشته و امکان احداث آن با موانع اساسی همراه است که می توان گفت در شرایط فعلی منطقی و مقرون به صرفه نمیباشد. از این لحاظ به دلیل داشتن پتانسیل لازم، تولید برق با استفاده از انرژی امواج جایگزین مناسبی برای دستیابی به برق مورد نیاز در این جزاير است.

12- Journee J. M. J., and Massie W.W., (2001), *Offshore hydromechanics*, first edition, Delft University of Technolog