

طراحی دستگاه مبدل انرژی امواج (پلامیس) بر اساس مشخصات امواج در منطقه‌ی چابهار

اکبر محمدی احمر^۱، کیوان یزدانی^۲، سیدمصطفی سیادت موسوی^{۳*}، سیدمحمد طاهری^۴

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، پست الکترونیکی: akbar_mohammadi@mecheng.iust.ac.ir
۲- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، پست الکترونیکی: yazdani.keyvan@gmail.com
۳- استادیار، دانشکده‌ی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، پست الکترونیکی: siadatmousavi@iust.ac.ir
۴- کارشناس فیزیک، مرکز علوم و فناوری‌های نوین، سازمان تحقیقات ناسا، تهران، پست الکترونیکی: sm.taheri59@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۱

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۳۱

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس شناسی ۱۳۹۳، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس شناسی است.

چکیده

با مطالعه و بررسی نیروهای اعمالی از طرف امواج خطی، یک دستگاه جاذب انرژی امواج به نام پلامیس به منظور تولید الکتروسیته طراحی گردید. اساس کار این دستگاه بر مبنای حرکت دورانی بازوها و تبدیل این حرکت به حرکت خطی پیستون‌ها در داخل سیلندر و ایجاد فشار در یک مدار هیدرولیکی است که نتیجه آن تولید برق متناوب بدون تغییر فرکانس است. در این کار طراحی‌های مختلفی برای مشخصات امواج در منطقه‌ی چابهار انجام شد که در حالت بهینه می‌توان به توانی حدود ۱۶ کیلووات دست یافت.

کلمات کلیدی: انرژی امواج، پلامیس، منطقه‌ی چابهار، تولید الکتروسیته.

۱. مقدمه

جهان تشکیل می‌داند، در آینده‌ای نه چندان دور تمام خواهند شد. در این زمان تناسب بین کشف ذخایر سوخت‌های فسیلی و رشد مصرف سوخت به هم خورد و محاسبات علمی چشم جهانیان را باز کرد که تا یک نسل دیگر این ذخایر به پایان خواهد رسید (شیخ احمدی و زرگزاده، ۱۳۸۳).

متخصصان بر این باورند که با استفاده از انرژی‌های پاک نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، هیدروژنی، امواج دریا و غیره به جای انرژی‌های حاصل از سوخت‌های فسیلی از آلودگی‌های زیست محیطی و خطرات ناشی از آن جلوگیری خواهد شد. انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه برای کشورهای در حال توسعه از جاذبه‌ی بیشتری برخوردار است، لذا در برنامه‌ها و

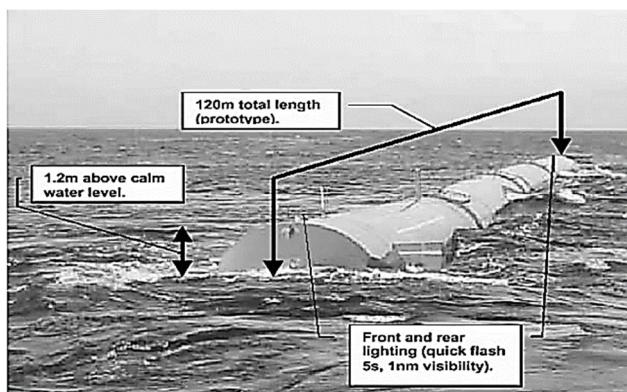
با افزایش روز افزون جمعیت جهان و محوری بودن منابع انرژی، کلیه‌ی کشورها با مشکل انرژی روبه‌رو هستند. انرژی برای تمام انسان‌ها مسئله‌ای اساسی است. انرژی در تمام شئون جامعه انسانی رسوخ کرده و جنبه‌های مختلف آن از زندگی روزانه افراد گرفته تا سیاست‌های جهانی و بین‌المللی و طرح‌های توسعه ملی را تحت تاثیر قرار داده است. انرژی در سال‌های اخیر به‌علت پدیده‌ای که بحران جهانی انرژی نام گرفته، اهمیت زیادی کسب کرده است. اوایل دهه ۱۹۷۰ آشکار شد که سوخت‌های فسیلی که از سال‌ها پیش پایه و اساس موازنه انرژی را در اقتصاد

سواحل سانفرانسیسکو در منطقه‌ای که دستگاه پلامیس در آن به آب انداخته شد دارای مشخصات ارائه شده در جدول ۱ بود:

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ناحیه‌ی مورد استفاده برای جذب انرژی در سواحل سانفرانسیسکو (Roger, 2004)

عمق (متر)	طول جغرافیایی (W)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع موج بیشینه (متر)	پریود بیشینه موج (ثانیه)
۵۲	۱۲۳°۵۰'۰۰"	۳۷°۴۵'۳۲"	۷/۹	۱۶/۷

این دستگاه شامل چهار بازوی استوانه‌ای شکل فولادی است که در بین این بازوها جعبه‌ای قرار گرفته که قطعات مدار هیدرولیکی در آن قرار گرفته است. جنس بازوها و جعبه از فولاد ضد زنگ است که در واقع یک استوانه فولادی توخالی با ضخامت کم است در شکل ۱ نمونه‌ای از این دستگاه نمایش داده شده است.



شکل ۱: نمونه‌ی ساخته شده دستگاه پلامیس

۲. مشخصات امواج در بندر چابهار

بندر چابهار با وسعتی بالغ بر یازده کیلومتر مربع در ۶۰ درجه و ۳۷ دقیقه‌ی طول شرقی و ۲۵ درجه و ۱۷ دقیقه‌ی عرض شمالی قرار دارد. بندر چابهار هم‌عرض جغرافیایی بندر میامی در شبه‌جزیره فلوریدای آمریکا است و دارای شرایط آب و هوایی کاملاً همانند بندر میامی است. مشخصات جغرافیایی منطقه‌ی چابهار در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مشخصات جغرافیایی منطقه‌ی چابهار (گلشنی و همکاران، ۱۳۸۵)

عمق متوسط آب عمیق (متر)	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	وسعت (km ²)
۵۰	۶۰° ۳۷'	۲۵° ۱۷'	۷	۱۱

مشخصات امواج در قسمت آب عمیق در محدوده‌ی بندر چابهار که بر اساس مقادیر مشخصه‌های آماری حاصل از

سیاست‌های بین‌المللی از جمله در برنامه‌های سازمان ملل متحد در راستای توسعه‌ی پایدار جهانی نقش ویژه‌ای به منابع تجدیدپذیر انرژی محول شده است، اما سازگار کردن این منابع انرژی با سامانه‌ی فعلی مصرف انرژی جهانی هنوز با مشکلاتی همراه است که بررسی و حل آن‌ها حجم مهمی از تحقیقات علمی جهان را در دهه‌های اخیر به خود اختصاص داده است (شیخ احمدی و زرگر زاده، ۱۳۸۳).

دولت ایران اقدامات مثبتی را برای توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر در پیش گرفته است. انرژی بادی و خورشیدی، زمین گرمایی، انرژی امواج، انرژی هیدروژنی و انرژی هسته‌ای نمونه‌هایی از منابع انرژی تجدید پذیر و پاک به‌شمار می‌روند که پتانسیل مناسبی در کشور در به‌کارگیری این منابع انرژی وجود دارد (آزاد و همکاران، ۱۳۸۶).

کارشناسان بعد از قرن هجده به دریافت انرژی موجود در اقیانوس علاقه‌مند شده‌اند. آقای جیرارد در سال ۱۷۹۹ اولین ثبت اختراع در مورد تبدیل انرژی امواج را ثبت کرد. وسیله‌ی اختراع شده شامل یک کشتی بود که به یک سازه‌ی دریایی متصل شده بود به‌طوری که امواج، انرژی پمپ و ماشین‌های دیگر را تامین می‌کرد. در بین سال‌های ۱۸۰۰ تا ۱۹۶۰ توجهات کمی بر روی بهره‌برداری از اقیانوس صورت گرفت. با این حال در سال ۱۹۶۶، بزرگترین ایستگاه تولید توان نیروی جزر و مد در جهان در مالو^۱ در کشور فرانسه ساخته شد (Gary and Gashus, 1972). این ایستگاه تا به امروز حدود ۲۴۰ مگاوات ساعت (MWh) توان در هر سال تولید کرده است.

از جمله‌ی دستگاه‌هایی که قابلیت جذب انرژی از امواج دریا را دارند می‌توان به نوسان‌کننده‌ی موج ارشمیدس^۲، ستوا^۳، پلامیس^۴، بویه‌ی آکیا^۵، و بویه‌ی توانی اشاره نمود که در کشورهای همچون پرتغال، استرالیا، انگلستان و آمریکا مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Burman and Walker, 2009).

اولین دستگاه پلامیس در سال ۲۰۰۸ توسط مهندس اسکاتلندی به نام ریچارد یم طراحی و ساخته شد. یک نمونه از این دستگاه برای سواحل سانفرانسیسکو طراحی شده است.

¹ Mallo

² Archimedes Wave Swing

³ CETO

⁴ Pelamis

⁵ AquaBuoy

دارای انواع مختلفی شامل پیستونی، دیافراگمی و کیسه‌ای است که پرکاربردترین آن‌ها در سامانه‌های هیدرولیک آکومولاتور کیسه‌ای است. در آکومولاتور کیسه‌ای واسطه‌ی بین روغن و گاز، یک کیسه الاستیک است. به‌هنگام انبساط کامل کیسه، مجرای ورودی روغن توسط یک سوپاپ فنردار مسدود می‌گردد. این سوپاپ مانع خروج کیسه از دهانه‌ی ورودی روغن می‌شود (Rydberg, 2004).

با ورود روغن به آکومولاتور شارژ شده با فشار (P_0)، فشار گاز افزایش یافته و از مقدار (P_1) که حداقل فشار سامانه است تا حداکثر فشار سامانه (P_2) افزایش می‌یابد. حجم گاز نیز از مقدار V_1 به V_2 کاهش می‌یابد.

در سامانه‌های هیدرولیک مختلف بسته به نیاز، مقدار فشار شارژ گاز (P_0) متفاوت است. این فشار با توجه به حداقل و حداکثر فشار کاری سامانه‌ی هیدرولیکی تعیین می‌گردد. فشار شارژ اولیه را معمولاً ده درصد کمتر از حداقل فشار سامانه‌ی هیدرولیکی در نظر می‌گیرند (Rydberg, 2004).

$$P_0 \leq 0.4 \times P_1 \quad (1)$$

از سوی دیگر معمولاً در بیشتر آکومولاتورها جهت ایمنی، حداکثر فشار سامانه (P_2) نباید بیش از چهار برابر فشار شارژ گاز (P_0) در نظر گرفته شود.

$$P_2 \leq 4 \times P_0 \quad (2)$$

۳-۱-۱. ظرفیت نامی آکومولاتور

حداکثر حجم گاز در آکومولاتور V_0 نامیده می‌شود. این حجم تقریباً برابر ظرفیت نامی آکومولاتور فرض می‌شود. انتخاب ابعاد آکومولاتورها معمولاً بر اساس حجم V_0 آنها انجام می‌شود. مقدار این حجم در شرایط تراکم و انبساط آدیاباتیک از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است (Rydberg, 2004).

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{1.4} - \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{1.4}} \quad (3)$$

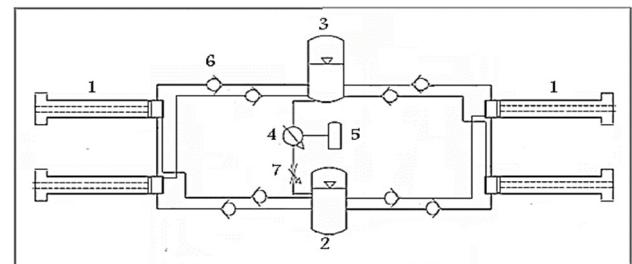
مدل‌سازی دوازده ساله‌ی آب‌های ایران صورت گرفته است در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: مشخصات امواج در قسمت آب عمیق بندر چابهار (گلشنی و همکاران، ۱۳۸۵)

پارامتر	مینیمم	ماکزیمم	متوسط
ارتفاع موج (متر)	صفر	۲/۹۶	۰/۹۴
زمان تناوب بیشینه موج (ثانیه)	صفر	۱۸/۱۸	۹/۴۶
زمان تناوب متوسط موج (ثانیه)	صفر	۱۱/۰۵	۴/۷۳
سرعت باد (متر بر ثانیه)	صفر	۱۵/۵	۳/۴۶
جهت باد (درجه)	-	-	۲۱۱

۳. سامانه‌ی هیدرولیک دستگاه پلامیس

الگوریتم عملکردی سامانه در نقشه‌ی مدار هیدرولیکی شکل ۲ تشریح شده است و قسمت‌های مختلف این شکل که با شماره‌ها در شکل مشخص است عبارتند از:



شکل ۲: نقشه‌ی مدار هیدرولیکی جعبه و الگوریتم عملکردی سامانه در مدل پلامیس

۱. سیلندر هیدرولیکی
۲. آکومولاتور^۱ هیدرولیکی
۳. مخزن روغن هیدرولیک بدون فشار
۴. هیدروموتور
۵. ژنراتور دورانی
۶. شیرهای یک‌طرفه
۷. شیرهای کنترل فشار و دبی

۳-۱-۱. آکومولاتور

مهمترین کاربرد آکومولاتور در سامانه‌های هیدرولیکی، تامین جریان روغن تحت فشار به‌صورت پیوسته است. آکومولاتورها

^۱ Accumulator

۲-۳. هیدروموتور

موتورهای هیدرولیک عملگرهایی با دوران مداوم هستند که جهت ایجاد گشتاور لازم برای دوران بار چرخشی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Dunn, 2003).

از جمله‌ی پارامترهای مهم در انتخاب هیدروموتور، حجم جابه‌جایی روغن در هیدروموتور و گشتاور هیدروموتور است که از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$Vg(\text{cm}^3) = \frac{1000 \times Q(\text{lit} / \text{min})}{N_m(\text{rpm})} \quad (4)$$

تعیین گشتاور و سایز هیدروموتور:

$$T(N.m) = 0.016 \times \Delta P(\text{bar}) \times Vg(\text{cm}^3) \quad (5)$$

در روابط فوق، Vg حجم جابه‌جایی روغن در هر کارکرد هیدروموتور، Q دبی ورودی به هیدروموتور، N_m سرعت دورانی هیدروموتور، T گشتاور هیدروموتور و ΔP اختلاف فشار ورودی و خروجی است. توان هیدروموتور نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$P(Kw) = T(N.m) \times N(\text{rpm}) / (9550) \quad (6)$$

۳-۳. ژنراتور

در سامانه‌ی هیدرولیک تولید الکتریسیته به‌وسیله ژنراتور انجام می‌شود. ژنراتور گشتاور مورد نیاز برای دوران را از هیدروموتور دریافت می‌کند. اگرچه ژنراتورهای جریان مستقیم پایداری خوبی دارند، اما به‌علت هزینه‌ی بالای سرویس و نگهداری زیاد قابل انتخاب نیستند. با توجه به اینکه در سامانه‌ی هیدرولیکی طراحی شده با استفاده از اکومولاتور یک فشار هیدرولیکی ثابت ایجاد می‌شود، در نتیجه نیروی محرک ژنراتور ثابت بوده و تغییرات فرکانس در برق خروجی ژنراتور نخواهیم داشت، و نیازی به مبدل تنظیم فرکانس یا سرعت نیست (قرشی، ۱۳۸۰).

از آنجا که دستگاه پلامیس در شرایط نامساعد محیطی (مواج) در دریا کار می‌کند، لذا ژنراتور باید به گونه‌ای انتخاب شود که

در این شرایط بتواند عملکرد مناسبی داشته باشد. در ژنراتورهای سنکرون حلقه‌های اصطکاک و جاروبک‌ها قطعات مضاعفی هستند، که مستلزم سرویس و نگهداری است، که باید در انتخاب و یا طراحی نهایی به آن‌ها توجه داشت. بدنه‌ی ژنراتور باید قادر به محافظت بخش‌های داخلی از رطوبت بالای محیط دریا و ریزش آب باشد (طبق استاندارد IP-55) (قرشی، ۱۳۸۰).

با توجه به مشخصات سامانه‌ی هیدرولیکی و قدرت هیدروموتور، یک ژنراتور سنکرون چهار پین با دور ۱۵۰۰ rpm با توان نود درصد باید انتخاب شود (قرشی، ۱۳۸۰). این ژنراتور با توجه به راندمان آن و ثابت بودن گشتاور و دور موتور هیدروموتور دوران‌دهنده‌ی آن، قادر خواهد بود با توان حدود شانزده کیلووات ساعت تولید انرژی الکتریسیته نماید.

۴. عملکرد پلامیس در گذر هر موج

طبق شکل ۳، با گذر هر موج از پلامیس، نوسان بازوها در پلامیس اتفاق افتاده و در نتیجه پیستون سیلندر هیدرولیکی که با یک میله (شافت) به پلامیس متصل است، شروع به حرکت رفت و برگشتی می‌کند.

به‌هنگام بالا و پایین رفتن بازو در اثر اوج (بالاترین نقطه‌ی تراز آب در یک پریود موج) و حضیض موج (پایین‌ترین نقطه‌ی تراز آب در یک پریود موج)، شفت سیلندر هیدرولیکی به‌سمت جلو و عقب رفته و در پیستون عمل تزریق و مکش انجام می‌شود و روغن هیدرولیک که در مخزن ذخیره شده است، به‌وسیله شیرهای شماره ۶ به داخل سیلندر در حالت مکش هدایت می‌گردد.

هنگامی که جعبه‌ی پلامیس در اثر گذر موج در اوج قرار می‌گیرد، در یک پیستون عمل مکش و در دیگری عمل پمپاژ اتفاق می‌افتد و در هنگام برگشت بازو در اثر گذر موج و قرار گرفتن جعبه در حضیض موج، عملی مخالف حالت قبل در پیستون‌ها اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی حرکت بالا و پایین بازو، روغن هیدرولیک را از مخزن بدون فشار دریافت و با فشار به اکومولاتور پمپاژ می‌کند و در نهایت روغن هیدرولیک پرفشار پس از عبور از شیر شماره ۷ در شکل ۲، وارد هیدروموتور درگیر با ژنراتور دورانی شده و با از دست دادن انرژی پتانسیل خودش، دوران و گشتاور لازم را جهت راه‌اندازی هیدروموتور ایجاد می‌نماید.

می‌رسیم که شرط عمیق بودن دریا برای امواج منطقه‌ی چابهار (آب عمیق) برقرار بوده و می‌توان سرعت گروهی امواج (C_g) را برابر نیمی از سرعت موج (C) در نظر گرفت که بر اساس رابطه‌ی پراکنش امواج خطی در آب عمیق به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$C_g = \frac{c}{2} = \frac{g}{2 \times \omega} \quad (۸)$$

لازم به توضیح است که در رابطه‌ی ۸، ω فرکانس زاویه‌ای امواج بوده و از زمان تناوب امواج به دست می‌آید که مقدار آن در جدول ۳ برای منطقه‌ی چابهار ارائه شده است.

۵-۱. نیروی امواج

نیروهای اعمال شده از طرف امواج به سه دسته شامل نیروهای ناشی از فشار سیال، نیروهای ناشی از شتاب نسبی بین سازه و سیال و نیروهای ناشی از سرعت سیال (نیروی درگ) تقسیم می‌شوند (Wilson, 2002).

۵-۱-۱. نیروهای ناشی از فشار سیال

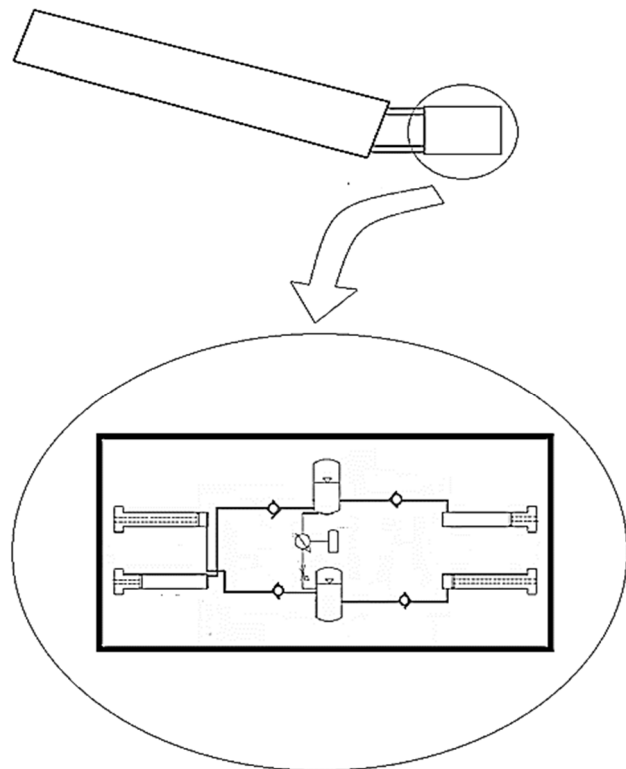
نیروهای ناشی از فشار سیال را می‌توان از نظریه فرود-کریلف به دست آورد که بر اساس این نظریه، نیروی تحریک معادل با نیروی فروید-کریلف به صورت زیر است:

$$F^{FK}(t) = -\rho \iint \frac{\partial \phi_I}{\partial t} n ds \quad (۹)$$

که در رابطه‌ی فوق $F^{FK}(t)$ نیروی فروید-کریلف، ϕ_I تابع پتانسیل موج برخوردی، ρ چگالی سیال، n بردار نرمال و ds المان سطح است (Tchet, 2005).

با جایگذاری مقدار ϕ_I از نظریه موج مرتبه‌ی اول استوکس برای امواج پیش‌رونده، و مقادیر n و ds در رابطه‌ی فوق و پس از ساده سازی، مقدار نیروی ناشی از فشار المان سیال بر سطح بازوی پلامیس (شکل ۴) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$dF(t) = \rho R \frac{a\omega^2}{k} e^{kz} \cos(\omega t - kx) \sin \theta dx d\theta \quad (۱۰)$$



شکل ۳: قرار گرفتن جعبه‌ی پلامیس در حوض موج

۵. طراحی پلامیس

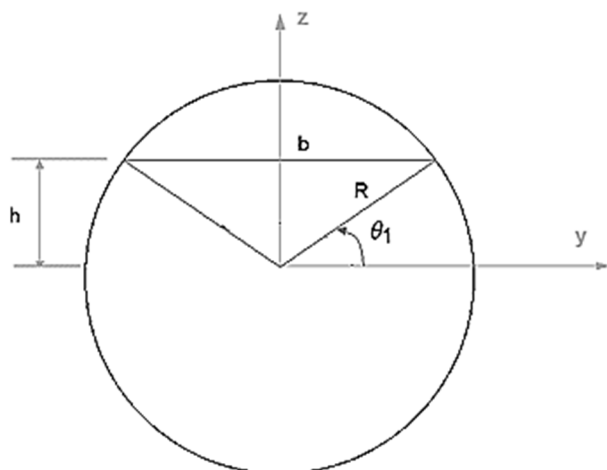
در طراحی سامانه‌ی جاذب انرژی امواج باید شناخت دقیقی از مشخصات دریا و امواج آن داشت. در واقع سامانه‌های مورد استفاده در دریاهای مختلف با توجه به مشخصات امواج در آن دریاها متفاوت بوده و نمی‌توان یک سامانه‌ی واحدی را طراحی و در دریاهای مختلف به‌طور بهینه استفاده نمود.

یکی از مشخصه‌های تاثیرگذار دریا بر طراحی دستگاه‌هایی همچون پلامیس جهت گرفتن انرژی از امواج، عمق محل نصب دستگاه است. رابطه‌ی زیر (که معادل نسبت عمق دریا به طول موج بزرگ‌تر از ۰/۵ است) بیان‌کننده‌ی حاکمیت عمیق بودن دریا است. در این رابطه (dw) عمق متوسط دریا و (T_n) زمان تناوب موج است (نظری و همکاران، ۱۳۹۰).

$$\frac{dw}{g.T_n^2} > 0.0792 \quad (۷)$$

با استخراج مقادیر مورد استفاده در رابطه ۷ از جداول ۲ و ۳ برای عمق متوسط دریا و زمان متوسط تناوب موج به این نتیجه

$$B = \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{k^2} \cos(kl) - \frac{l}{k} \sin(kl) \right) \cos(\omega t) + \left(\frac{1}{k^2} \sin(kl) - \frac{l}{k} \cos(kl) \right) \sin(\omega t) \quad (14)$$



شکل ۵: سطح مقطع پلامیس و پارامترهای مورد استفاده در محاسبات

در شکل فوق h تراز آب دریا نسبت به مرکز مقطع است.

۵-۱-۲. نیروهای ناشی از شتاب نسبی بین سازه و سیال

مقدار این نیرو از حاصل ضرب شتاب نسبی سیال و جرم سیال جابه‌جا شده توسط پلامیس به دست می‌آید:

$$dF = \dot{w}(t) dm \quad (15)$$

با توجه به نظریه موج استوکس مرتبه‌ی اول برای امواج پیش‌رونده، مقدار شتاب نسبی سیال از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{w}(t) = -a\omega^2 e^{kz} \cos(\omega t - kx) \quad (16)$$

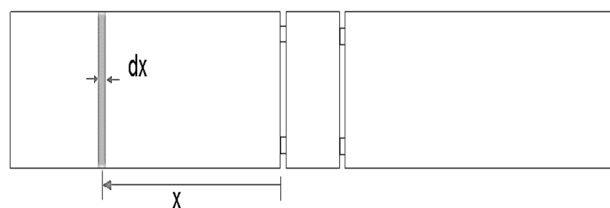
در نهایت مقدار گشتاور حاصل برابر است با:

$$M = -\rho a \omega^2 \frac{b}{h} BC - \rho a \omega^2 e^{kR \sin \theta_1} B \int_{-\theta_1}^{\pi + \theta_1} \int_0^R r e^{-kr \sin \theta_1} dr d\theta \quad (17)$$

گشتاور حاصل از نیروهای ناشی از شتاب سیال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$dM = x \times dF(t) \quad (11)$$

$$M = \rho R \frac{a \omega^2}{k} B \int_{\pi + \theta_1}^{2\pi - \theta_1} e^{kR \sin \theta} \sin \theta d\theta \quad (12)$$



شکل ۴: نمای پلامیس از روبه‌رو

که در رابطه‌ی فوق a برابر نصف ارتفاع موج، R شعاع بازو، ω فرکانس زاویه‌ای امواج، k عدد موج، و θ_1 زاویه‌ای است که محل تراز سطح آب نسبت به محور y می‌سازد که در شکل ۵ نشان داده شده است.

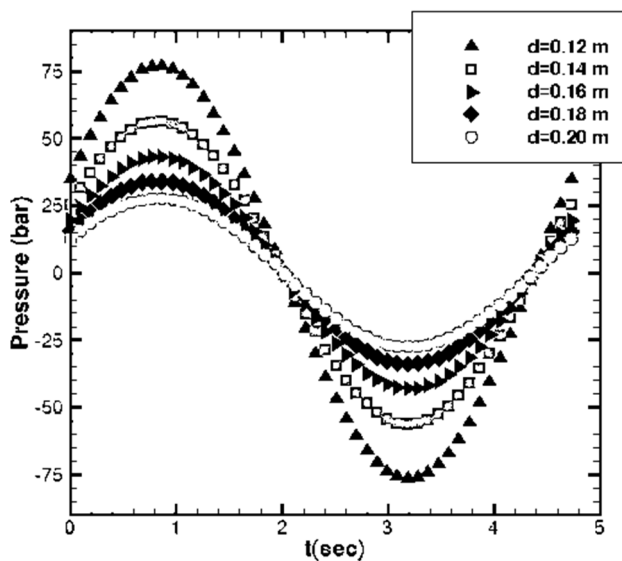
طبق رابطه‌ی ۱۲ به دلیل این که در داخل انتگرال $\sin \theta$ وجود دارد، لذا هرچه قدر ارتفاع امواج بیشتر باشد زاویه‌ی انحراف بازوها از جعبه افزایش یافته و مقدار گشتاور بیشتر می‌گردد، در نتیجه می‌توان به توان بالاتری دست یافت. برای بهینه‌سازی مبدل پلامیس پارامترهایی زیادی تاثیر دارند، همانند طول موج، زمان و ارتفاع موج و سطح عمیق بودن دریا. برای نمونه تاثیر ارتفاع امواج بدین صورت است که منطقه‌ای که بالاترین ارتفاع امواج را دارد مقدار توان تولید شده در آنجا نیز بیشینه خواهد بود. زاویه θ_1 با استفاده از نیروی بویانسی و به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$n^* F_W = F_B \quad (13)$$

در رابطه‌ی فوق، F_B نیروی شناوری، F_W نیروی وزن و n ضریب اطمینان است که مقداری بین $1/2$ تا $1/4$ برای آن در نظر گرفته می‌شود.

مقدار B در رابطه‌ی ۱۲ نیز به صورت زیر به دست می‌آید:

که حداقل فشار مورد نیاز تامین شود، لذا پس از انجام محاسبات، از میان قطرهای مختلف ذکر شده در قسمت‌های بالا مقادیر ۱۲ و ۱۴ سانتی‌متر به‌عنوان قطر پیستون مورد نظر انتخاب شده و محاسبات بر مبنای آنها انجام شد. نمودار نشان داده شده در شکل ۶ شامل تغییرات فشار برای پلامیسی با طول بازوی $L=8/1$ m و قطری برابر با $D=2/6$ m است. مشاهده می‌شود که برای قطرهای ۰/۱۶، ۰/۱۸ و ۰/۲ متر فشار بیشینه به دست آمده دارای مقدار پایینی است که این مقدار فشار مورد نظر ما نیست.



شکل ۶: تغییرات فشار بر حسب زمان برای مبدل پلامیسی با $L=8/1$ m، $D=2/6$ و قطر پیستون ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ سانتی‌متر

در طول بازوی ثابت، با افزایش قطر بازو، مقدار b (طول جعبه) کاهش یافته و مقدار فشار بیشینه افزایش می‌یابد و به دلیل اینکه هدف دستیابی به فشارهای بالا است و از طرفی مقدار b نیز دارای محدودیت بوده و باید از مقدار مشخصی کمتر نباشد، لذا مقادیری که شرایط مذکور را ارضا می‌کنند مورد تحلیل قرار گرفته‌اند که پس از بررسی طول بازوهای مختلف که نمونه‌ای از نتایج در شکل‌های ۹-۷ و جدول ۵ ارائه شده است، مشاهده شد که طول بازوی $L=8/1$ m متر دارای مقادیر مطلوبی است که نتایج تحلیل‌های انجام شده برای این طول بازو در جدول زیر مشاهده می‌شود.

طبق جدول بالا بهینه‌ترین حالت که می‌توان حداکثر انرژی را از امواج کسب نمود، در قطر بازوی $2/9$ متر اتفاق می‌افتد که ضمن ایجاد فشار بالا، طول جعبه نیز از مقدار مشخصی که ذکر شد کمتر نشده است.

در رابطه‌ی فوق مقدار B مشابه رابطه‌ی ۱۴ بوده و مقدار C نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \int_0^h e^{kz} (h-z) dz = \frac{1}{k^2} e^{kh} - \frac{h}{k} - \frac{1}{k^2} \quad (18)$$

۱-۵. نیروهای ناشی از سرعت سیال (نیروی درگ)

نیروی حاصل از سرعت سیال بر اساس شرایط سازه و مشخصه‌های امواج در بیش از ۸۵ درصد اوقات ناچیز است (Burman and Walker, 2009).

در نهایت نیروی اعمال شده بر پیستون‌ها با توجه به گشتاورهای محاسبه شده به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\sum M = Fd \quad (19)$$

در رابطه‌ی فوق F و d به ترتیب نمایانگر نیروی اعمال شده بر روی پیستون و فاصله بین دو سیلندر بوده و فشار اعمال شده در پیستون نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$P = \frac{F}{A_p} \quad (20)$$

در رابطه فوق A_p مساحت پیستون است.

۶. طراحی دستگاه و نتایج

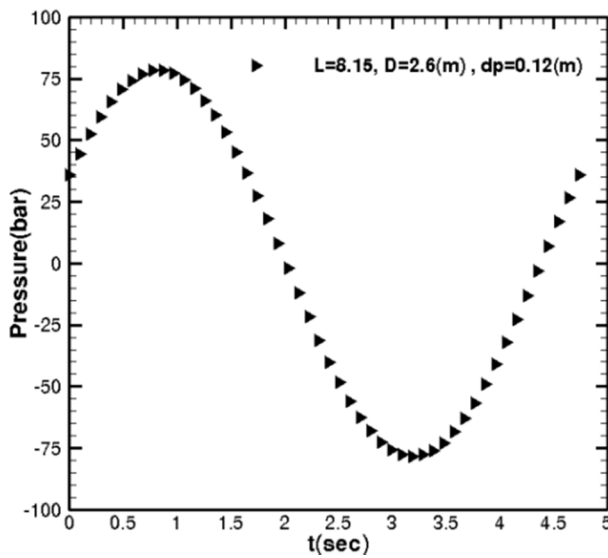
همان‌طور که در رابطه‌ی ۲۰ مشاهده می‌شود، برای مقادیر متفاوت مساحت پیستون، فشار دارای مقادیر مختلفی است. از سوی دیگر می‌دانیم که مساحت پیستون در محاسبه‌ی دبی نیز تاثیرگذار است. در واقع فشار با قطر پیستون رابطه‌ی معکوس و دبی با قطر پیستون رابطه‌ی مستقیم دارد. لذا قطر پیستون یک عامل مهم و تاثیرگذار در محاسبات است. به همین دلیل محاسبات برای مقادیر مختلفی از مساحت پیستون انجام شده است. مقادیر ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶، ۰/۱۸ و ۰/۲ متر برای قطر پیستون در نظر گرفته شده است تا پس از بررسی مقدار بهینه‌ی آن انتخاب گردد.

با توجه به اینکه به فشاری حدود ۵۰ بار در سامانه‌های هیدرولیکی نیاز است، لذا قطر پیستون باید به گونه‌ای انتخاب شود

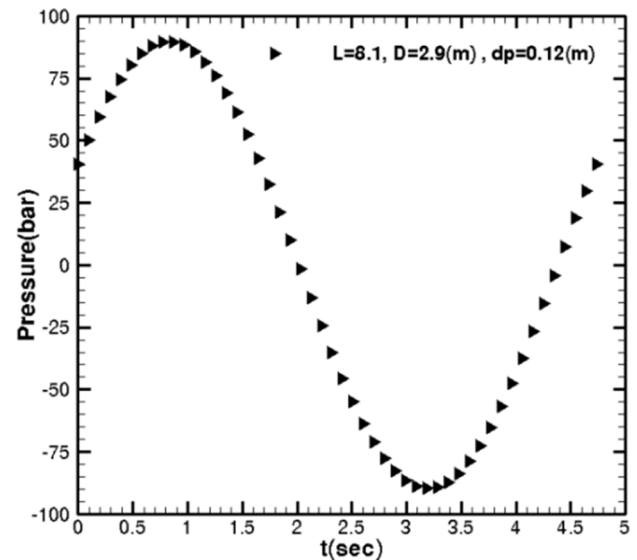
نتایج طراحی قسمت‌های مختلف شامل ابعاد دستگاه و مشخصات تجهیزات به کار رفته در سامانه‌ی هیدرولیکی برای طول و قطر بازوهای مختلف در جدول ۵ و شکل‌های ۹-۷ ارائه شده است:

جدول ۴: مقادیر b , D , P_{ave} و P_{max} برای طول بازوی $L=8/1$ m

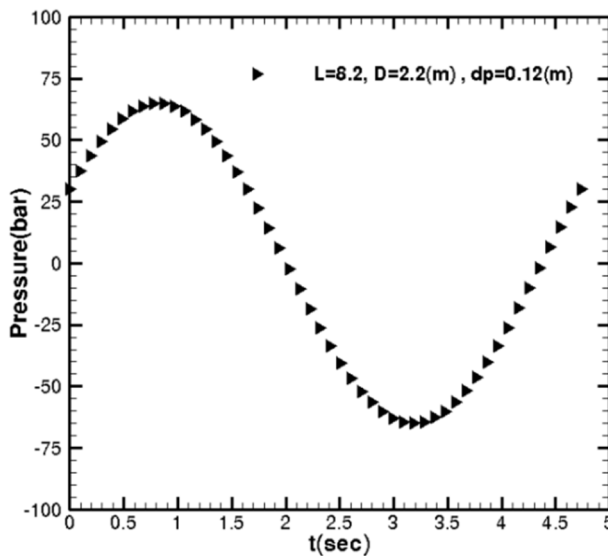
D(m)	b(m)	P_{max} (bar)	P_{ave} (bar)
۲/۲	-/۸۴	۶۲/۰۷	۴۵/۶۷
۲/۳	-/۸۳	۶۵/۳۶	۴۷/۸۲
۲/۴	-/۸۳	۶۸/۹۶	۵۰/۵۹
۲/۵	-/۸۲	۷۲/۶۵	۵۳/۴۵
۲/۶	-/۸۱	۷۶/۶۱	۵۶/۳۷
۲/۷	-/۸۰	۸۰/۸۵	۵۹/۰۹
۲/۸	-/۷۹	۸۵/۲۱	۶۲/۶۴
۲/۹	-/۷۸	۸۹/۷۶	۶۵/۹۸



شکل ۸: تغییرات فشار بر حسب زمان برای مبدل پلامیس با $d_p=12$ cm، $L=8/15$ m و $D=2/6$



شکل ۷: تغییرات فشار بر حسب زمان برای مبدل پلامیس با $d_p=12$ cm، $L=8/1$ m و $D=2/9$



شکل ۹: تغییرات فشار بر حسب زمان برای مبدل پلامیس با $d_p=12$ cm، $L=8/2$ m و $D=2/2$

جدول ۵: مقادیر محاسبه شده برای نمونه‌های انتخاب شده پلامیس با $d_p=12$ cm

$L=8/2$ m $D=2/2$ m	$L=8/15$ m $D=2/6$ m	$L=8/1$ m $D=2/9$ m	پارامتر
۶۴/۸۸	۷۸/۳۸	۸۹/۷۹	P_{max} (bar)
۴۸	۵۷/۹۸۶	۶۶/۹	P_{ave} (bar)
۱۶/۲۲	۱۹/۵۹۵	۲۲/۴۴	P_0 (bar)
۱۸	۲/۱۸	۲۴/۹	P_1 (bar)
۳/۱۲۹	۴/۵۸۲	۵/۱۲۱	v_0 (lit)
۱/۶۱۶	۱/۹۲۸	۲/۱۶۲	d (m)
-/۱۸۸۵	-/۲۳۴۹	-/۲۵۲۲	x (m)
-/۰۷۹۷	-/۰۹۵۱	-/۰۰۶	V (m/s)
۱/۸۰۳	۲/۱۵۱۴	۲/۴۱۲	Q_t (lit/s)
۸/۷	۱۲/۵۴	۱۶/۲۲	P (kw)

در جدول ۵، P_{max} فشار بیشینه‌ی ایجاد شده در سامانه‌ی هیدرولیکی، P_{ave} فشار متوسط به کار رفته برای محاسبه‌ی توان،

۷. خلاصه و نتیجه‌گیری

برای تولید انرژی الکتریکی. کتابخانه آریا. صفحات ۱-۵۸.
قرشی، ا.م.، ۱۳۸۰. ارائه مدل و نقش ژنراتور القایی در توربین برق امواج. سومین همایش ملی انرژی، کمیته ملی انرژی وزارت نیروی جمهوری اسلامی ایران تهران. صفحات ۱۲.
گلشنی، ع.ا.؛ تائی، س.؛ چگینی، و.، ۱۳۸۵. مدل‌سازی و پیش‌یابی امواج در خلیج فارس و دریای عمان. هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بندر و سازه‌های دریایی تهران. صفحات ۶.
نظری، م.؛ قاسمی، ح.؛ ، غیائی، م.، ۱۳۹۰. طراحی یک مبدل جاذب نقطه‌ای انرژی امواج با توان ۷ کیلووات بر اساس شرایط امواج ساحل بندر عسلویه. مجله علوم و فنون دریا، ۴ (۵۹): ۱۶-۳۰.
Burman, K.; Walker, A., 2009. Ocean energy technology overview. U.S. Department of Energy, Federal Energy Management Program. 1-32 pp.
Dunn, D.J., 2003. Tutorial-hydraulic and pneumatic motors. Parker. 1-42 pp.
Gary, T.J.; Gashus, O.K., 1972. Tidal power. New York, Plenum Press. 630 p.
Roger, P., 2004. System level design, performance and costs for San Francisco California pelamis offshore wave power bedard, George Hagerman and Omar Siddiqui. Global Energy Partner, LLC. 1-73 pp.
Rydberg, K.E., 2004. Gas charged accumulators as energy storage devices in hydrostatic drives. Bosch Rexroth Corporation, 1-87 pp.
Techet, A.H., 2005. Hydrodynamics. 2: 1-14.
Wilson, J.F., 2002. Dynamic of offshore structures. second edition, 637p.

- یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در طراحی سامانه‌های جاذب انرژی دریا، عمق آب است به طوری که روابط مورد استفاده برای شرایط آب عمیق و کم عمق متفاوت است. در طراحی انجام شده برای منطقه‌ی چابهار، با توجه به روابط نظریه استوکس مرتبه‌ی اول، شرایط آب عمیق حاکم است.
- فشار با قطر پیستون رابطه‌ی معکوس و دبی با قطر پیستون رابطه‌ی مستقیم دارد. لذا قطر پیستون، عاملی مهم و تاثیرگذار در محاسبات است.
- در طول بازوی ثابت، با افزایش قطر بازو مقدار طول جعبه کاهش یافته و مقدار فشار بیشینه افزایش می‌یابد.
- با افزایش طول بازو، مقدار فشار ایجاد شده، افزایش می‌یابد، که مقدار آن باید به گونه‌ای باشد که مقدار طول جعبه از مقدار مجاز کمتر نشود.
- با افزایش قطر بازو، طول کورس افزایش و در نتیجه سرعت پیستون در داخل سیلندر افزایش می‌یابد و مقدار دبی نیز به ازای قطر پیستون ثابت افزایش می‌یابد.
- مقدار توان تولید شده بستگی به فشار ایجاد شده در سامانه، حجم جابه‌جایی روغن در هیدروموتور و سرعت دورانی هیدروموتور دارد.

منابع

آزاد، ع.؛ قائم‌مقامی، ج.؛ پناهنده، ح.، ۱۳۸۶. مبانی انرژی خورشیدی. دانشگاه تهران. صفحات ۱-۴۸۰.
شیخ احمدی، ا.؛ زرگرزاده، م.، ۱۳۸۳. بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر