

حساسیت‌سنجی توان خروجی مبدل انرژی پیزوالکتریکی امواج دریا نسبت به طیف‌های مختلف امواج ورودی

جواد امیراحمدی^{۱*}

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۰۴

*نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۹

© نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی ۱۳۹۸، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل‌ونقل دریایی است.

چکیده

کشور ایران با بهره‌گیری از دریای خلیج فارس و دریای خزر می‌تواند از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر دریایی در کاربردهای خاص استفاده کند. با استفاده از طرحی خلاقانه برای تولید انرژی الکتریسیته از امواج دریا، با جذب انرژی امواج و انتقال آن به صورت بار فشاری بر مواد فشاربرقی / پیزوالکتریکی، الکتریسیته تولید می‌شود. این مبدل که در مقیاس آزمایشگاهی تولید شده است، یک صفحه ثابت اتصال به اسکله یا سکو و یک صفحه متحرک پیزوالکتریکی از جنس کوارتز به ضخامت نیم میلی‌متر برای جذب نیروی موج و همچنین، یک صفحه میخ‌دار دارد. ضربه‌های وارد بر مواد پیزوالکتریکی، در آنها شوک ایجاد می‌کند و سبب قطبیده شدن مواد و تولید الکتریسیته می‌شود. آزمون میدانی و اندازه‌گیری توان خروجی از مبدل در شرایط نسبتاً آرام دریای خلیج فارس، طی سه مرحله در روزهای مختلف انجام‌پذیر شد که اقدام گردید. ولتاژ و جریان تولیدشده توسط مبدل با مقادیر به دست‌آمده توان خروجی از دستگاه محاسبه شد، که بیانگر قابلیت این دستگاه در تولید انرژی الکتریسیته از امواج دریای خلیج فارس می‌باشد. استفاده از این مبدل‌ها در قالب مزرعه یا پایگاه‌های تولید توان الکتریکی در خلیج فارس، ممکن است در تأمین انرژی بویه‌های دریایی، مصرف برق شهری، روشنایی خط ساحلی و تأمین انرژی الکتریکی در جزایر سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: مبدل انرژی امواج، پیزوالکتریک، کوارتز سکه‌ای، خلیج فارس.

۱- مقدمه

انرژی به صورت‌های مختلفی از جمله گرما، نور، مکانیکی، الکتریکی، شیمیایی و هسته‌ای وجود دارد، اما بهره‌وری از انرژی‌های تجدیدپذیر دریایی در سراسر جهان در حال افزایش است. در سال ۲۰۱۴ میلادی، ایران با جمعیت ۷۸/۵ میلیون نفر ۹۹۹۶ گیگاوات‌ساعت انرژی مصرف کرده است، که این مقدار برابر با ۳۱ درصد از کل انرژی مصرفی در خاورمیانه در همان سال است. در صورتی که ایران در تأمین انرژی خود، کاملاً خودکفا است (مقبلی و همکاران، ۱۳۹۵). میزان الکتریسیته تولیدی ایران در سال ۲۰۱۴ میلادی ۲۷۶ تراوات ساعت بوده، که نسبت به سال پیش از آن، ۴/۸ درصد افزایش یافته است. میزان الکتریسته مصرفی در داخل کشور در سال ۲۰۱۴ میلادی ۲۲۶ تراوات ساعت بوده، که در مقایسه با سال ۲۰۰۰، این میزان ۶/۳ درصد رشد داشته است (روحانی و فرخ‌نیا، ۱۳۹۲). سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید الکتریسته در سال ۲۰۱۴ میلادی ۵/۵ درصد بوده است. این میزان نسبت به سال ۲۰۰۰ میلادی، ۴/۳ درصد افزایش داشته، اما در مقایسه با سال پیش از آن، رشد منفی ۲/۲ درصدی را به خود اختصاص داده است. بیشترین میزان مشارکت در زمینه تولید انرژی به کمک انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۰۶ میلادی برابر با ۹/۵ درصد بوده است. این میزان مشارکت به گونه‌ای است، که ایران در سال ۲۰۱۲ میلادی مبلغی در حدود ۱۶۰ میلیون دلار صرف سرمایه‌گذاری در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر کرده است. مبدل‌های انرژی دریایی براساس نوع کارکرد می‌توانند از منابع گوناگون برای تولید انرژی استفاده کنند. این منابع شامل موارد مختلفی مانند امواج ساحلی و فراساحلی، جریانات جزرومدی، شیو/گردان‌های گرمایی و چگالی، نیروی جاذبه و موارد دیگر می‌شود، بر این مبنا مبدل‌های انرژی دریایی مختلفی تاکنون توسعه یافته‌اند. سامانه‌های تبدیل انرژی امواج دریا به الکتریسته انواع مختلفی دارند، که در داخل یا خارج از کشور تولید می‌شوند و به کار می‌روند. برخی از این سامانه‌ها شناوه^۱ انرژی، ستون نوسانی آب، سامانه آونگی، مبدل ارشمیدسی و مبدل انرژی موج پلامیس هستند. برای مثال، بویه انرژی سامانه‌ای مبتنی بر چند بویه مجزا است، که در آن حرکت نوسانی امواج موجب حرکت سازه بویه می‌گردد و حرکت رفت و برگشتی بویه توسط سیم‌پیچ تعبیه‌شده در آن، باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی و جریان الکتریکی درون سیم‌پیچ می‌شود. مبدل انرژی موج پلامیس یک مبدل موج اسکاتلندی است، که از شش قطعه سیلندر به قطر ۳/۵ متر و به طول ۳۰ متر و قطعات متصل به چهار سیلندر به قطر ۳/۵ متر و طول ۵ متر (ماژول‌های انرژی) تشکیل شده است. هر یک از چهار ماژول یک مولد الکتریکی ۲۵۰ کیلوواتی دارد، که توان کلی ۷۵۰ کیلووات را برای هر واحد پلامیس به ارمغان می‌آورد. مبدل ارشمیدسی یک سیلندر شبیه به بویه است، که حداقل در عمق شش متری در زیر سطح دریا مهار شده است، موج‌گذرنده، هوای انباشته‌شده در بالای پوشش را در خلاف سیلندر مهارشده کم‌ارتفاع‌تر به حرکت در می‌آورد، و در نهایت، حرکت نوسانی (بالا-پایین) به ایجاد انرژی مکانیکی می‌انجامد.

با پیشرفت علم، و دخیل شدن علم مواد در زمینه تولید انرژی، از مواد پیزوالکتریکی^۲ نیز در زمینه تولید انرژی استفاده شده است. مدل تیر با صفحات پیزوالکتریکی: پژوهشگران با پیاده‌سازی صفحات پیزوالکتریکی بر روی مدل تیر برنولی و تیر تیموشینکو با محاسبه ولتاژ و قدرت مولد/ژنراتور و بررسی پاسخ فرکانسی از ارتعاش تیر، مدل تیر تیموشینکو را برای آزمایش‌های خود انتخاب کردند، که در پی آن مدل L شکل تیر پیزوالکتریکی ارائه گردید. تولید انرژی از صفحات ساکن پیزوالکتریکی در آب: در این روش، در حالت اول صفحات پیزوالکتریکی به صورت افقی (موازی بستر آب) و در حالت دوم، صفحات به صورت عمودی (عمود بر بستر آب) قرار داده می‌شوند. بر همین مبنا، تلاش شده است تا با یک طراحی کاملاً نوآورانه مبدلی ساخته شود، که بتواند در ساحل فعالیت کند و انرژی امواج را جذب و به الکتریسته تبدیل نماید.

در ادامه، به بررسی مواد پیزوالکتریکی، روابط حاکم بر آنها و روش به کارگیری آنها در تولید انرژی امواج دریا و شرایط محیطی خلیج فارس و فیزیک محیط فعالیت مبدل پرداخته می‌شود.

۱-۲- مبانی نظری پژوهش

۱-۱-۲- خاصیت فشاربرقی / پیزوالکتریکی

دو متغیر تعیین کننده در میزان انرژی نهفته در امواج، طول موج و ارتفاع موج است. باتوجه به اینکه در خلیج فارس طول موج، زیاد و ارتفاع موج، کم است، انرژی موجود برای بهره‌برداری نیز کوچک خواهد بود. به همین دلیل، سعی شده است که از خاصیت فشاربرقی / پیزوالکتریکی مواد استفاده شود.

۱. معادل‌های "شناوه" و "بویه" هر دو در برابر واژه buoy، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی هستند.

۲. معادل‌های "پیزوالکتریکی" و "فشاربرقی" هر دو در برابر واژه Piezoelectric، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی هستند.

تولید اختلاف پتانسیل الکتریکی در برخی از بلورهای نارسا مانند کوارتز تحت کشش یا فشار، اثر پیزوالکتریکی است. قطبیت پتانسیل دو وجه بلور در دو حالت تنش و کرنش، اختلاف پتانسیل تولید شده به صورت خطی را بیشتر خواهد کرد. اثر معکوس پیزوالکتریکی نیز در این معنی، تغییر شکل بلور میزان الکتریکی بین دو وجه روبه روی آنها است. اثر فشار برقی یا پیزوالکتریکی، خاصیت برخی از سرامیک‌ها، کریستال‌ها و بسپارها است، تا به کمک آن انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی و انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل شود. این خاصیت حاصل از قطبی شدن ساختار این نوع مواد است. از آنجاکه در ساختار این نوع مواد، تقارن مرکزی وجود ندارد، نیروی خارجی اعمال شده سبب قطبش می‌شود؛ به گونه‌ای که قطب مثبت در یک سو، و قطب منفی در سوی دیگر قرار می‌گیرد. در نتیجه این قطبش، یک میدان الکتریکی به وجود می‌آید. عکس این رفتار نیز، جزئی از خاصیت فشار برقی است؛ به طوری که با اعمال اختلاف پتانسیل به موادی که خواصی از این دست دارند، عکس‌العمل‌های مکانیکی ایجاد می‌شود. در شکل (۱)، سازوکار اثر پیزوالکتریکی به صورت طرح‌واره‌ای نشان داده شده است.



شکل (۱): اثر پیزوالکتریک

ماده پیزوالکتریکی به کاررفته در مبدل انرژی موج ابداعی کوارتز (سکه‌ای) به ضخامت ۵/ میلی‌متر است. دلیل انتخاب کوارتز، قیمت ارزان و قابلیت دسترسی آسان به آن و همچنین، وجود رابطه مستقیم بین تنش/ فشار وارده از موج با بزرگی الکتریسیته تولیدی است. به این معنا، که هر چه میزان کشش یا فشار بیشتر باشد، جریان الکتریکی تولیدی نیز بیشتر خواهد شد. به دلیل خاصیت کشسانی، این ماده در مقابل جذب ضربه و کرنش زیاد خروجی بیشتری در تولید الکتریسته، به‌ویژه در این مبدل انرژی موج خواهد داشت. کوارتز در مکانی که عمود بر محور منشوری خود باشد، اثر فشار برقی نسبتاً زیادی دارد. شایان ذکر است، الکتریسته تولیدی توسط کوارتز، متناوب است و ممکن است بدون نیاز به صرف هزینه اضافه به مصرف شهری یا صنعتی برسد. در حقیقت، این خود مزیتی است که بر ارزش استفاده از این مواد می‌افزاید. در شکل زیر، نوع کوارتز استفاده شده به نمایش درآمده است. هر یک از کوارتزهای نشان داده شده در شکل (۲) به‌طور میانگین ۳/۸ ولت در ازای اثر نیروی ۱۲ نیوتونی تولید می‌کند.



شکل (۲): کوارتز سکه‌ای به کار گرفته شده در نمونه آزمایشگاهی مبدل

۲-۱-۲- روابط حاکم بر مواد پیزوالکتریکی

روابط موجود بین خواص مکانیکی و الکتریکی عناصر تشکیل دهنده مواد پیزوالکتریکی، که توسط استاندارد IEEE ارائه شده است، به صورت روابط (۱) و (۲) بیان می‌شوند:

$$S_{ij} = s_{ijkl}^E T_{kl} + d_{kij}^E E_k \quad (1)$$

$$D_i = e_{ikl} S_{kl} + \epsilon_{ik}^T E_k \quad (2)$$

تعریف نمادهای به کاررفته در این رابطه‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است:

جدول (۱) "تعریف نمادها"

نماد	تعریف
S_{ij}	کرنش کل در طول یک محور خاص
s_{ijkl}^E	ضریب الاستیک ماده پیزوالکتریک
T_{kl}	تنش وارده در یک جهت خاص
d_{kij}	ضریب کرنش پیزوالکتریک
E_k	میدان الکتریکی
D_i	جابه‌جایی الکتریکی
e_{ikl}	ضریب پیزوالکتریک
ϵ_{ik}^T	گذردهی الکتریکی دیسک

شاخص‌ها/ اندیس‌های i, j, k و l جهت بردار را در مجموعه سه محور متعامد X, Y و Z بیان می‌کنند. در اینجا، Z جهت قطبش الکتریکی است. با توجه به آزمایش‌های انجام شده توسط پژوهشگران و اندازه‌گیری جابه‌جایی الکتریکی با توجه به کرنش صفحات پیزوالکتریکی موردنظر، در بسیاری از مقالات از PZT4 به‌عنوان ماده اصلی آزمایش استفاده می‌شود.

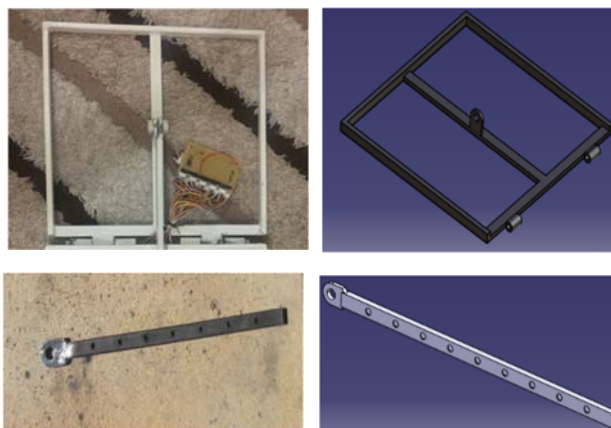
۲-۱-۳- فرایند ساخت و تولید مبدل

در طراحی و ساخت مبدل انرژی موج با استفاده از مواد پیزوالکتریکی، در ابتدا همه اجزای دستگاه شامل صفحه ثابت اتصال به اسکله یا سکو، صفحه متحرک جاذب نیروی موج که پیزوالکتریک‌ها به آن متصل می‌گردند، و صفحه نیمه‌متحرک نگهدارنده گل‌میخ‌ها طراحی شده‌اند. این سه صفحه از نظر ابعاد و چیدمان عمومی سازه‌ای یکسان هستند، و تنها تفاوت آنها در محل اتصال اجزای جانبی سازه است. هر سه صفحه حول یک محور مجازی دوران دارند و برای نصب در نقاط متخلف ساحل، اسکله و سازه‌های فراساحلی قابل تنظیم هستند.



شکل (۳): (الف) نمای طراحی شده در نرم‌افزار کتیا (ب) نمایی از صفحه ساخته شده

همان‌گونه که در صفحه‌ها نیز نشان داده شده است، به همه صفحه‌ها دو عدد لولا متصل شده است، که وظیفه آنها اتصال سه صفحه ثابت، نیمه متحرک و متحرک به یکدیگر است. دوران صفحه نیمه‌متحرک و متحرک نیز، حول محور آنها انجام می‌شود.

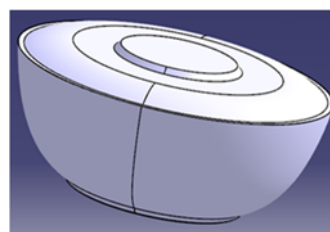


شکل (۴): الف) نمای طراحی شده در نرم افزار کتیا ب) نمایی از بازوی ساخته شده

در طراحی و ساخت مبدل انرژی امواج با استفاده از مواد پیزوالکتریکی، از دو بازو، یکی برای کنترل و میرایی (damping) حرکت پدال نیمه‌متحرک و یک بازوی قابل تنظیم برای اتصال به بویه شناور و انتقال حرکت خطی موج به پدال متحرک استفاده شده است.



ب) نمایی از بویه ساخته شده



شکل (۵): الف) نمای طراحی شده در نرم افزار کتیا

برای جذب انرژی امواج و انتقال آن به مبدل جهت تولید الکتریسیته، سازه باید در مقابل خوردگی آب دریا مقاوم باشد. در این راستا، برای جذب انرژی با استفاده از قانون شناوری ارشمیدس از یک بویه شناور از جنس لیف شیشه/ فایبرگلاس استفاده شده است. این بویه بر روی آب شناور می‌ماند و انرژی جذب شده از امواج را به پدال متحرک انتقال می‌دهد. انرژی از طریق برخورد با پدال نیمه‌متحرک به مواد پیزوالکتریکی منتقل می‌شود و فرایند تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی در آنها انجام می‌شود. باتوجه به سطح خیس بویه، که در معرض امواج قرار گرفته است، می‌توان انرژی جذب شده توسط بویه را برای امواجی با دامنه‌های مختلف محاسبه کرد.

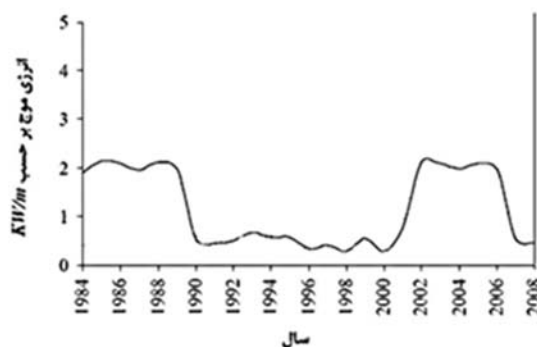
۲-۱-۴- شرایط حاکم بر فیزیک مسئله

مبدل ابداع شده برای شرایط دریایی خلیج فارس طراحی شده است، و هدف اصلی آن به کارگیری مبدل در ساحل و کاربردهای خاصی مانند تأمین انرژی بویه‌های دریایی و روشنایی خطوط ساحلی است. از آنجاکه خلیج فارس دارای پتانسیل‌های مختلف انرژی است، و شرایط جوی در سراسر آن در بازه گسترده‌ای در حال تغییر است، فقط داده‌های پایگاه ثبت اطلاعات مطابق با شکل (۶) در استان بوشهر مورد توجه قرار گرفته است.



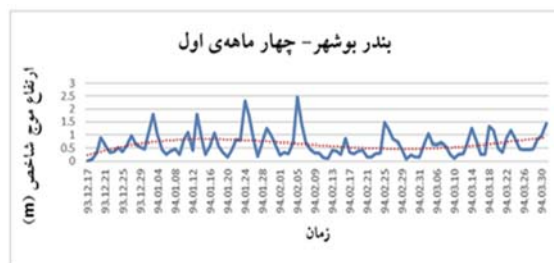
شکل (۶): موقعیت بندر بوشهر و پایگاه ثبت امواج در خلیج فارس

در این پایگاه، انرژی موج در طی ۲۴ سال متمادی در محل قرارگیری پایگاه ثبت شده است. همان گونه که در شکل (۷) مشاهده می شود، در بین سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ میلادی، انرژی موج در ناحیه موردنظر کاهش چشم گیری داشته است. البته، این روند نزولی ادامه پیدا نکرده و از سال ۲۰۰۰ میلادی به بعد، سیر صعودی داشته است. تا جایی که این میزان انرژی به طور میانگین به 2 kW/m در سال ۲۰۰۶ رسیده است. شکل (۴)، میزان انرژی امواج را در طی سال های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۸ نشان داده است.



شکل (۷): میزان انرژی موج ثبت شده در پایگاه در طی ۲۴ سال

در شرایط دریایی خلیج فارس، ارتفاع موج بین 0.5 تا 1.5 متر، دوره تناوبی بین چهار تا پنج ثانیه خواهد بود. شناور موج نگار قرار گرفته در بندر بوشهر در موقعیتی با طول جغرافیایی $50^{\circ} 73' 87''$ و عرض جغرافیایی $28^{\circ} 8' 28''$ قرار گرفته است. براساس اطلاعات محیطی ارائه شده، بدیهی است که مبدل انرژی موج باید در جهت غالب انرژی امواج نصب گردد و به نحوی طراحی شود، که برای ارتفاع موج خلیج فارس مناسب باشد. شکل های (۸)، (۹) و (۱۰) نمودار مقدار متوسط ارتفاع امواج دریای خلیج فارس در بندر بوشهر را برای چهارماهه اول، دوم و سوم سال نشان می دهند.



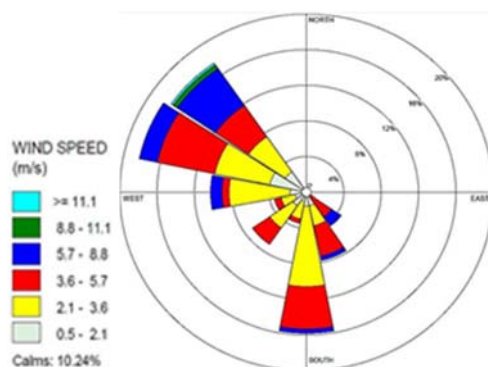
شکل (۸): متوسط ارتفاع مشخصه موج



شکل (۹): متوسط ارتفاع مشخصه موج



شکل (۱۰): متوسط ارتفاع مشخصه موج

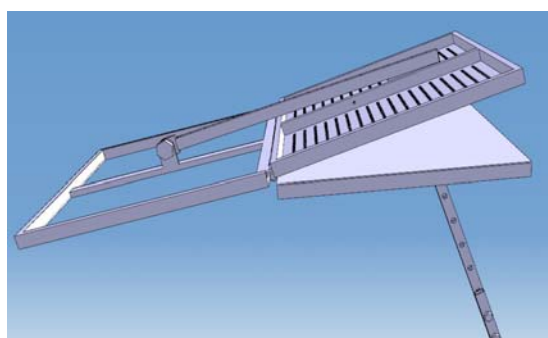


شکل (۱۱): گلباد سرعت یک ساله بوشهر

با توجه به اطلاعات بویه موج‌نگار بوشهر، سرعت باد در موقعیت این بویه در جهت شمال غربی (شکل (۱۱))، گاهی به بیش از ۱۱ متر بر ثانیه می‌رسد. می‌توان به‌وسیله اطلاعات نمودارهای گل‌باد انرژی، سرعت و همچنین، نمودارهایی که ارتفاع مشخصه موج را نشان می‌دهند و با توجه به خاصیت و مکانیک امواج، میزان انرژی امواج را محاسبه و بررسی نمود.

۲-۱-۵- طراحی مبذل انرژی موج

مبذل طراحی‌شده کاملاً خلاقانه و بر پایه نوآوری بوده، و با پتانسیل موجود در سواحل استان بوشهر و به‌ویژه شهر بوشهر، سازگار است. در طراحی این مبذل، سعی شده است که بهره‌وری به حداکثر برسد. این مبذل قابلیت این را دارد، که در مساحتی معین در قالب یک مزرعه از مبذل‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این مبذل با ابعادی در حدود $۰/۴ \times ۰/۴ \times ۱$ متر ساخته شده است. شکل‌های (۱۲) و (۱۳) به‌ترتیب طراحی انجام‌شده آن در نرم‌افزار کتیا و نمونه ساخته‌شده برای آزمایش را نمایش می‌دهند.



شکل (۱۲): طرح مدل قسمت بالایی مبذل در نرم‌افزار کتیا



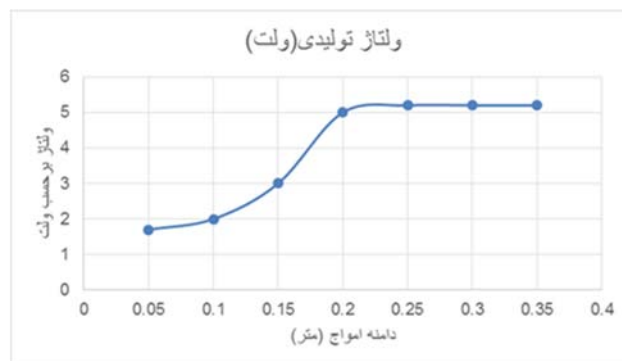
شکل (۱۳): تصویر مبدل ساخته شده

۳- تجزیه و تحلیل داده ها

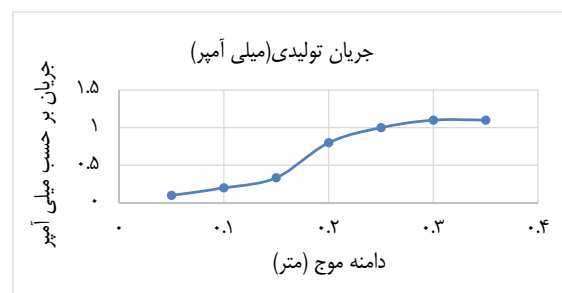
۳-۱- آزمایش میدانی در ساحل بوشهر

برای انجام آزمایش و اندازه گیری توان خروجی از مبدل، در ابتدا مکانی با ارتفاع مناسب برای نصب مبدل انتخاب شد و مانند شکل (۱۳)، در ساحل نصب گردید. بازوی متصل به بویه و پدال متحرک به نحوی تنظیم شدند، که فاصله گل میخ ها از صفحات پیزوالکتریکی یک تا هفت سانتی متر باشد. این کار منجر به آزادی عمل پدال برای ضربه زدن و فشردن صفحات پیزوالکتریکی می شود.

پس از نصب و قرارگیری مبدل در ساحل برای اندازه گیری ولتاژ و جریان بر روی برد الکتریکی، سامانه پیزوالکتریکی مبدل بسته شد. در این آزمایش، که در طی سه مرحله یک ساعته و در روزهای مختلف انجام شد، جریان و ولتاژ تولید شده توسط مبدل با ماده پیزوالکتریکی کوارتز به ضخامت نیم میلی متر بر حسب دامنه امواج به ترتیب در شکل های (۱۴) و (۱۵) نشان داده شده است.



شکل (۱۴): نمودار تولید جریان بر حسب دامنه موج (پیزوالکتریک کوارتز)



شکل (۱۵): نمودار تولید ولتاژ بر حسب دامنه موج (پیزوالکتریک کوارتز)

براساس مطالعات انجام شده بر روی مواد پیزوالکتریکی به عنوان عمل گر، تولید توان در آزمایش های وای لیاو مواد پیزوالکتریکی دارای حد تولید هستند و برای تولید توان الکتریکی نمی توان بیش از اندازه بر آنها نیروی مکانیکی اعمال نمود. زیرا علاوه بر اینکه ماده پیزوالکتریکی از دیدگاه جنس ماده و مکانیک جامدات نمی تواند در مقابل نیروی اعمالی دوام بیاورد و شکسته می شود، از نقطه نظر تولید توان و قطبیده شدن نیز، محدودیت ساختاری دارد. براساس نمودارهای ارائه شده در شکل های (۱۴) و (۱۵)، با افزایش نیروی اعمالی به مواد پیزوالکتریکی، پس از حد معینی، توان خروجی آنها تقریباً ثابت می ماند.

در صورت استفاده از مواد پیزوالکتریکی با ضریب پیزوالکتریسیته بالاتر، حداکثر توان خروجی این مبدل به ازای هر جنس از مواد پیزوالکتریکی با اندازه و ضخامت برابر، نیم میلی متر تغییر خواهد کرد. بیشترین مقدار توان تولیدی به PZN-9PT تعلق دارد، که تقریباً ۱۱۰۰ برابر کوارتز است.

۴- نتیجه گیری

استفاده از مبدل های پیزوالکتریکی می تواند بازده تولیدی فراوانی داشته باشد. در زمینه تولید الکتریسیته از امواج دریا با استفاده از مواد پیزوالکتریکی، که منبعی پاک و تجدیدپذیر هستند، که می توان پژوهش های بیشتری انجام داد. براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، بازدهی استفاده از مواد PZN-9PT به جای کوارتز، ممکن است ۱۱۰۰ برابر باشد. در این مبدل، با افزایش ارتفاع امواج، مقدار توان خروجی سامانه مبدل انرژی الکتریسیته افزایش می یابد. الکتریسیته تولیدی از مبدل پیزوالکتریکی کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف دارد.

باتوجه به اینکه نصب این سازه در ساحل بسیار آسان است و هزینه های نصب آن به اندازه هزینه نصب مبدل های ساحلی و فراساحلی دیگر نیست، می تواند برای تأمین انرژی بویه های دریایی، روشنایی پارک ها و خطوط ساحلی نیز استفاده شود. برتری دیگر این نوع مبدل نسبت به مبدل های ساحلی و فراساحلی دیگر، عدم نیاز به انتقال الکتریسیته تولیدی به ساحل و استفاده از آن است.

همان طور که می دانیم، یکی از روش های تسریع تکثیر و رشد سریع مرجان ها استفاده از جریان های الکتریکی ضعیف است. این نوع مبدل ها باتوجه به تولید جریان الکتریکی در مقیاس میلی آمپر کارایی بسیاری در زمینه تکثیر و رشد سریع مرجان ها دارند. به علاوه اینکه با اتصال سازه این مبدل به قفس پرورش مرجان، انرژی امواج تا اندازه ای جذب می شود و به سازه قفس آسیب کمتری می رسد.

از استفاده های دیگر این نوع مبدل، استفاده از آن در سازه های فراساحلی نفتی و غیرنفتی است. علاوه بر اینکه استفاده از این نوع مبدل مانع آسیب رساندن امواج به سازه می شود، می تواند الکتریسیته مناسب و جریان کافی را نیز برای جلوگیری از خوردگی سازه های فلزی در معرض آب تولید نماید. این نوع حفاظت در برابر خوردگی که به حفاظت آندی موسوم است، باتوجه به اینکه الکتریسیته مورد نیاز برای جلوگیری از خوردگی را از انرژی امواج تأمین می کند، بسیار مقرون به صرفه است. تولید توان این مبدل به اندازه مبدل وابسته نیست، و با تغییر در ساختار مواد پیزوالکتریکی و وزن بویه شناور می توان تولید توان را بالا برد.

مراجع

۱. مقبلی، حسن؛ اسماعیلی، هادی؛ میراشرفی، سیدابوالفضل. (۱۳۹۵). استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و چگونگی استفاده از انرژی اقیانوسی در ایران و جهان. نهمین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر، پاک و کارآمد.
۲. رنجبر، عبدالله؛ قره پتیان، گئورگ؛ وجدانی، محمدصادق. (۲۰۱۱). امکان سنجی احداث نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی جزر و مد در سواحل جنوبی ایران. بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق.
۳. روحانی، بابک؛ فرخ نیا، علی رضا. (۱۳۹۲). بررسی امکان احداث نیروگاه های اقیانوسی (جزر و مدی امواج) در ایران و پتانسیل های موجود. اولین کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر و تولید پراکنده.
۴. کاظمی پور، علی رضا؛ صفری نژاد، آرشام؛ دشتی منش، عباس. (۱۳۹۴). طراحی و ساخت مبدل انرژی موج مبتکرانه با ترکیب صفحه نوسانگر و مواد پیزوالکتریک. هفدهمین همایش صنایع دریایی کیش.
5. S.F. Ali, W.L. Friswell, S. Adhikari. (2011). Analysis of energy harvesters for highway bridges. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 22, pp: 1929–1938.
6. J. Khan, G. Bhuyan. (2009). Implementing, IEA-OES Document No.: T0104, Agreement on Ocean Energy Systems, International Energy Agency, Ocean Energy: Global Technology Development Status, pp: 10-20, March.
7. B. Drew, A. R. Plummer, M. N. Sahinkaya. (2009). Department of Mechanical Engineering. University of Bath, pp: 2-3.
8. L. Rodrigues. (2012). Wave Power Conversion Systems for Electrical Energy Production. Nova University of Lisbon, pp: 3- 6.
9. Y. Liao, H.A. Sodano. (2008). Model of a single mode energy harvester and properties for optimal power generation, Smart Materials and Structures Vol. 17, pp: 065026.