

۱- مقدمه

تأمین انرژی الکتریسیته همواره یکی از دغدغه‌های اصلی بشر در امر توسعه آبادانی و شهرنشینی بوده و خواهد بود، از این رو توسعه هم‌زمان نیروگاه‌ها نیز یکی از مهم‌ترین اقدامات در این حوزه هست. این امر با توجه به پتانسیل انرژی موجود در هر منطقه و توان موردنیاز ساکنان، صنایع و مصرف‌کنندگان ارزیابی و برآورد شده و یک یا چند گزینه به‌عنوان اولویت‌های تأمین انرژی موردنیاز معرفی می‌شود.

پروژه طراحی و ساخت مبدل انرژی امواج، با رویکرد ایجاد زمینه توسعه دانش فنی نیروگاه‌های تجدید پذیر از سال ۹۳ آغاز گردید. این سامانه که تحت عنوان پلتفرم هیدرولیکی نیز شناخته می‌شود از انواع مبدل‌هایی می‌باشند که در دسته‌بندی تضعیف‌کننده‌ها و از دیدگاه دیگر زیرمجموعه مبدل‌های بالا و پایین‌رونده قرار می‌گیرد. همچنین به لحاظ محل نصب، این سامانه در نزدیکی ساحل قرار گرفته و می‌توان آن را جزء سامانه‌های خط ساحلی در نظر گرفت. این مبدل جزء مبدل‌های کمتر پیچیده و به نسبت سایر مبدل‌ها، دارای ابعاد کوچک‌تری هست. عمده علت آن نیز نزدیک بودن به ساحل و استفاده از خط ساحل برای نگهداری و تجهیز سایر ادوات و سامانه‌های وابسته همچون سامانه تبدیل انرژی و سامانه‌های کنترلی هست. لذا این سامانه به‌خودی‌خود دارای ابعاد به‌مراتب کوچک‌تر از سامانه‌های دیگر هست از طرفی نزدیک بودن سامانه موج گیر به ساحل خود عامل ایجاد موج‌های با دامنه کوتاه‌تر و به طبع چگالی انرژی کمتری نیز هست، لذا ابعاد این شناور و انرژی قابل استحصال از آن محدودتر شده و در صورت نیاز به استحصال انرژی بالاتر می‌بایست تعداد این سامانه‌ها را بیشتر نمود. اما از طرف مقابل نصب تجهیزات و سامانه‌های وابسته در ساحل هزینه تولید انرژی را به نسبت سامانه‌های دورتر از خط ساحلی کمتر می‌نماید. همچنین دسترسی به سامانه به جهت تعمیرات و یا بازدید به دلیل نزدیک بودن به خط ساحلی مناسب‌تر بوده که خود عامل ایجاد قابلیت اطمینان هست.

۲- سابقه کار در دنیا

استفاده از انرژی امواج در دنیا به‌صورت جدی در حال پیگیری هست. از کشورهای پیشرو در این صنعت می‌توان به کشورهای دانمارک، چین، انگلستان، ژاپن، ایالات‌متحده آمریکا، رژیم اشغال گر قدس و ... اشاره داشت. از میان انواع مبدل‌های موجود نوع مبدل ساحلی که هزینه پایین‌تری نسبت به انواع دیگر دارد انتخاب گردیده است. این سامانه هم‌اکنون در دریای سیاه توسط رژیم اشغال گر قدس در حال به‌کارگیری هست. نیروگاه اولیه آن به میزان ۵ کیلووات احداث گردیده و در جنوب کشور اسپانیا نیز همین سامانه در حال نصب هست که در فاز ۱ آن، نیروگاه ۱۰۰ کیلوواتی با ۸ ماژول شناور احداث گردیده است و تا پایان سال جاری میلادی قرار است تا ۵ مگاوات گسترش یابد. همچنین کشور چین نیز در حال ساخت نیروگاه امواج با همین روش هست.

در این راستا، به‌منظور جذب انرژی امواج دریاهای کشور برای تولید برق و همین‌طور تهیه آب شیرین پس از مطالعه، شرایط منطقه و محدوده امواج خلیج فارس و دریای عمان، از سال ۱۳۹۳ طراحی نمونه آزمایشگاهی مبدل انرژی در نرم‌افزارهای تخصصی آغاز گردید و پس از تحلیل مقدماتی اقدام به ساخت نمونه آزمایشگاهی شد. پس از ساخت نمونه آزمایشگاهی در مقیاس ۱۰۰ وات غیریپوسته، برای تست عملکرد دستگاه مذکور اقدام شد و نتایج خروجی تست جهت تصحیح و تأیید نهایی بررسی شدند. پس از نهایی شدن و اثبات عملکرد مبدل انرژی امواج،

جهت تولید نمونه نیمه صنعتی آن برنامه ریزی صورت پذیرفت. در سال ۱۳۹۴ طراحی و ساخت مبدل انرژی در مقیاس متوسط با توان نامی یک کیلووات آغاز گردید و هم‌اکنون پس از تکمیل فرایند ساخت، تست‌های آن با موفقیت انجام شده است.

در گام نهایی پس از تست عملکرد نمونه مقیاس متوسط مبدل انرژی امواج، اقدام به برنامه ریزی برای تولید یک نمونه صنعتی آن صورت پذیرفته است. نمونه صنعتی مبدل انرژی از نوع ساحلی بوده و توان خروجی آن ۱۰ کیلووات است. این مبدل پس از ساخت، در انواع آزمایشات محیطی قرار خواهد گرفت تا با بررسی‌های عملی روند تولید نمونه‌های صنعتی با تعداد بالا تبیین گردد.

۳- مراحل انجام کار

مراحل مختلف انجام پروژه به صورت مختصر به ترتیب زیر می‌باشند:

۱- پتانسیل سنجی انرژی امواج

جدول زیر برآوردهای اولیه از نصب سامانه بر روی خطوط ساحلی و بنادر جنوب کشور، علی‌الخصوص چابهار، بندرلنگه و بندر بوشهر را مورد اشاره قرار می‌دهد. همچنین مشخص است که امواج اغلب مناطق جنوب کشور به بالای ۳ کیلووات بر متر انرژی خواهند داشت. با این وجود، با سهم تقریباً ۳۰ درصدی از کل پتانسیل امواج در ایران، چابهار بهترین گزینه برای استحصال انرژی امواج در ایران است. با توجه به اینکه اطلاعات دقیقی از امواج جزیره خارک وجود ندارد، با توجه به نزدیکی این جزیره به بندر بوشهر، پتانسیلی در حدود ۲,۴ کیلووات بر متر دارد که در نوع خود قابل توجه است.

جدول ۱. توان و انرژی میانگین در طول سواحل شمال و جنوب ایران

نام ساحل	توان در واحد طول (kW/m ساحل)	(km طول ساحل)	(MW توان کل)	انرژی کل سالیانه (GWh)
آبادان	۲,۹	۳۲,۸	۹۵,۱۲	۰,۸۳۳۲۵۱
ابوموسی	۵,۱	۵	۲۵,۵	۰,۲۲۳۳۸
انزلی	۳,۲	۱۲۴,۵	۳۹۸,۴	۳,۴۸۹۹۸۴
آستارا	۰,۶	۸۳,۱	۴۹,۸۶	۰,۴۳۶۷۷۴
بابلسر	۲,۲	۱۵۵	۳۴۱	۲,۹۸۷۱۶
بندرعباس	۰,۹	۲۳۲,۹	۲۰۹,۶۱	۱,۸۳۶۱۸۴
بندرلنگه	۳,۴	۳۵۹,۵	۱۲۲۲,۳	۱۰,۷۰۷۳۵
بندر بوشهر	۲,۴	۴۷۴,۸	۱۱۳۹,۵۲	۹,۹۸۲۱۹۵
چابهار	۵,۸	۲۶۵,۳	۱۵۳۸,۷۴	۱۳,۴۷۹۳۶
جاسک	۳,۲	۲۸۹,۲	۹۲۵,۴۴	۸,۱۰۶۸۵۴
ماهشهر	۱,۷	۲۲۳,۴	۳۷۹,۷۸	۳,۳۲۶۸۷۳
نوشهر	۱,۱	۹۹,۹	۱۰۹,۸۹	۰,۹۶۲۶۳۶
رامسر	۱,۴	۱۰۰,۶	۱۴۰,۸۴	۱,۲۳۳۷۵۸

سیری	۵,۴	۵	۲۷	۰,۲۳۶۵۲
------	-----	---	----	---------

۲- طراحی، ساخت (یا تهیه) اجزاء

A. جاذب انرژی: (شناور)

شناور در این سامانه به موج گیر و یا جاذب انرژی گفته می‌گردد. این بخش اصلی‌ترین و مهم‌ترین بخش در جهت افزایش بازده سیستم و تبدیل انرژی از موج هست.

شناور از طریق نوسانات همسانی که نسبت به موج انجام می‌دهد می‌تواند انرژی موج را به دو صورت دریافت کند. طبق مطالعات و تست‌های صورت پذیرفته در شناورهای با اصول کارکرد مشابه و متداول قبلی، قادر بودند که میزان محاسبه شده از نیروی بالابرنده^۱ را در حالت ایده آل جذب نمایند. درحالی که امکان استفاده از جریان‌های اتفاقی^۲ را نداشته‌اند. درنتیجه طرح اولیه سیستم با تمرکز بر روی توسعه شکل و پروفیل شناور به گونه‌ای که قابلیت جذب انرژی از جریانات و نیز نیروی شناوری را نیز داشته باشد آغاز گردید. همچنین ایجاد قابلیت عملکرد و تطبیق با ارتفاع‌های مختلف موج نیز در دستور کار قرار گرفت.

B. سامانه انتقال توان

انتقال نوسانات شناور توسط سامانه انتقال توان صورت می‌پذیرد. این سامانه متشکل از چند بازو و سازه‌های افقی هست که از یکسر آن به تکیه‌گاه و طرف دیگر به شناور متصل شده است. همچنین عملگر هیدرولیک نیز بافاصله معین و محاسبه شده‌ای به این سامانه متصل شده که وظیفه تبدیل نوسانات به فشار روغن و دبی را عهده‌دار است.

C. سامانه هیدرولیکی

انتقال نوسانات توسط سامانه انتقال توان نهایتاً به سامانه هیدرولیک منتقل خواهد شد و عملگر هیدرولیک را وادار به نوسان می‌کند. با هر بار بسته شدن عملگر هیدرولیک (بالا آمدن شناور) مقدار مشخصی از روغن هیدرولیک به درون سامانه هیدرولیک تزریق می‌گردد. فشار کاری سامانه هیدرولیک ارتباط مستقیمی با میزان توان استحصال از موج دارد.

D. سامانه تولید برق و کنترل

سامانه مانیتورینگ و کنترل از طریق حس گرهای نصب شده بر روی شناور و تخمین وضعیت شناور و موج، فرکانس مبدل و جریان مصرف الکتریسیته از ژنراتور به کنترل دقیق سیستم می‌پردازد و در صورت لزوم دستورات موردنیاز را جهت افزایش و یا کاهش انرژی دریافتی از طریق سیستم هیدرولیک و همچنین جریان هیدرولیک در مخزن ذخیره می‌پردازد.

طراحی انعطاف پذیر مائول سازه‌ای در این سامانه امکان این را فراهم می‌آورد که با تغییر جهت امواج، کل سازه را به سمت جبهه‌ای امواج متمایل نماید تا بتواند از راندمان بهتری برخوردار باشد.

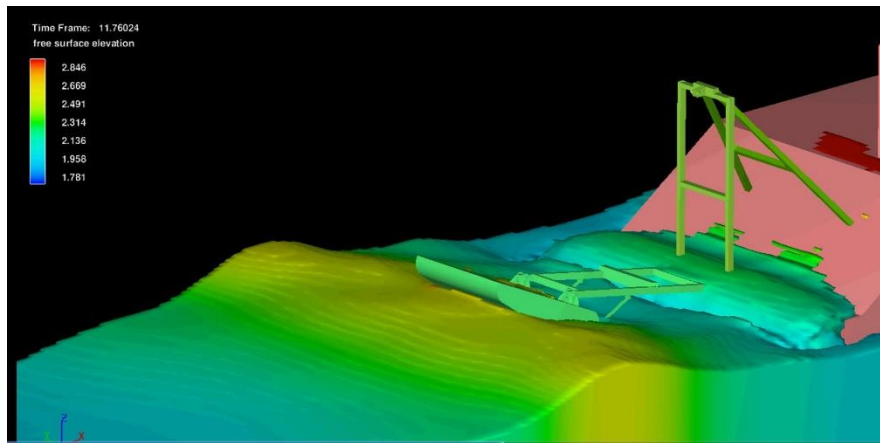
^۱ Lifting Force

^۲ Incident Flow

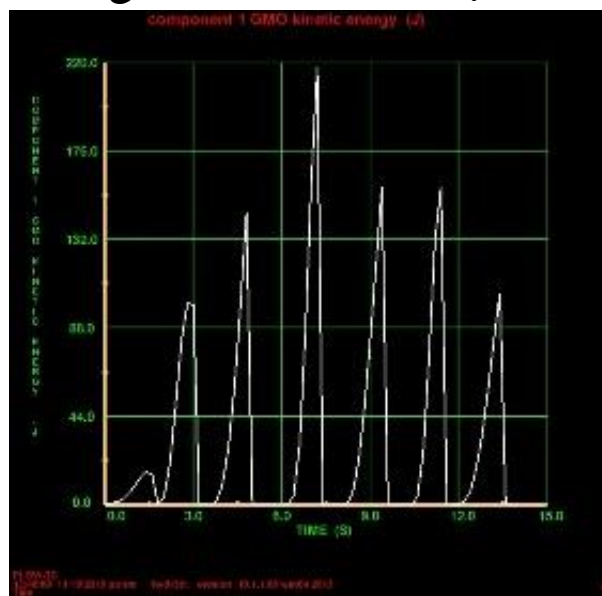
۴- نتایج کارهای قبلی

۱- مدل سازی و شبیه سازی رایانه ای

به منظور اصلاح و سنجش رفتار شناور در امواج مختلف، مدل سه بعدی شناور طراحی و سپس با نرم افزار تحلیلی هیدرودینامیکی مورد ارزیابی اولیه قرار گرفت. در این مرحله با ایجاد اصلاحات در میزان نیروی شناوری، زوایای حمله، مرکز جرم و دوران و نیز میزان اینرسی شناور، نسبت به افزایش بازدهی شناور در امواج دریاهای ایران اقدام گردید.



شکل ۲. نمای شبیه سازی رایانه ای امواج

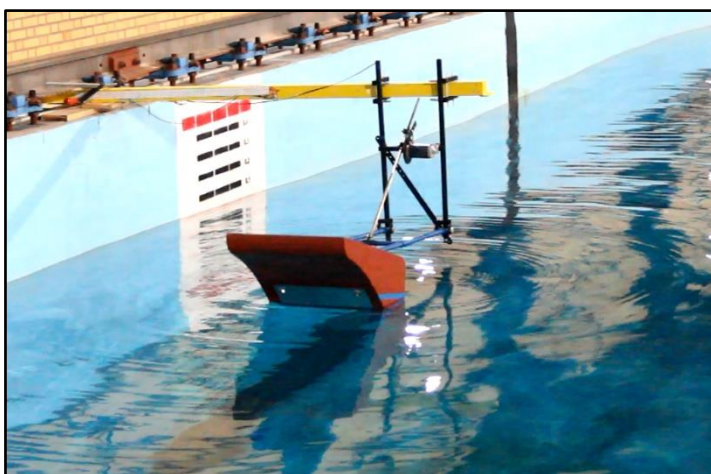


شکل ۳. الگوی حرکتی شناور

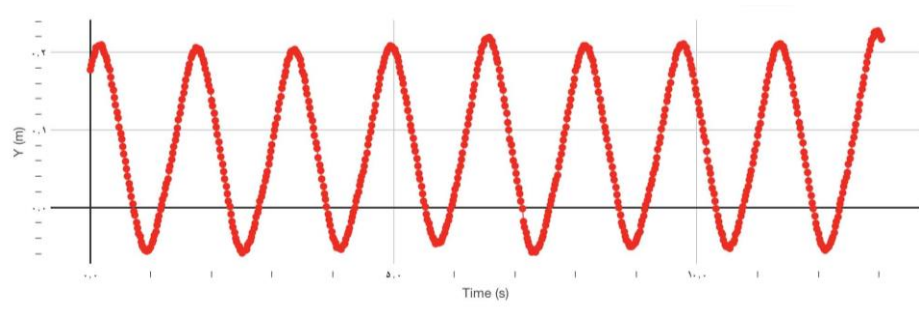
۵- ساخت و تست نمونه مقیاس کوچک (Small scale)

پس از ارزیابی ها و شبیه سازی های رایانه ای، نمونه ی مقیاس کوچک (Small Scale) با ابعاد و مشخصات دینامیکی تعیین شده، ساخته شد. سامانه انتقال قدرت این نمونه به صورت سیستم رک و پینیون و اتصال به یک

الکتروموتور (استپ موتور) جهت شبیه‌سازی ماهیت دمپینگ به سامانه متصل گردید. علاوه بر سنجش میزان نوسانات در حالت بدون بار (Free Float)، رفتار سیستم تحت اعمال بار نیز مورد مطالعه قرار گرفت. با ساخت نمونه مقیاس کوچک و نصب آن در آزمایشگاه، تست‌های متنوعی بر روی شناور انجام پذیرفت. از جمله آن تست با موج های منظم سینوسی با ارتفاع و دامنه مختلف، و نیز تست در موج های نزدیک ساحل نامنظم و شکسته که نتیجتاً علاوه بر صحت سنجی داده های شبیه‌سازی و اعمال ضرایب تصحیح و کالیبراسیون، نسبت به اصلاح برخی پارامترهای شناور از جمله مرکز جرم و زاویه حمله اقدام گردید.



شکل ۴. تست نمونه مقیاس کوچک

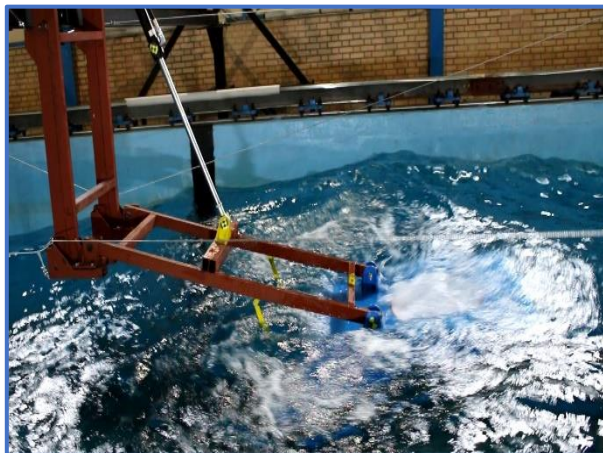


شکل ۵. میزان جابجایی شناور در راستای قائم برای آزمون شماره یک

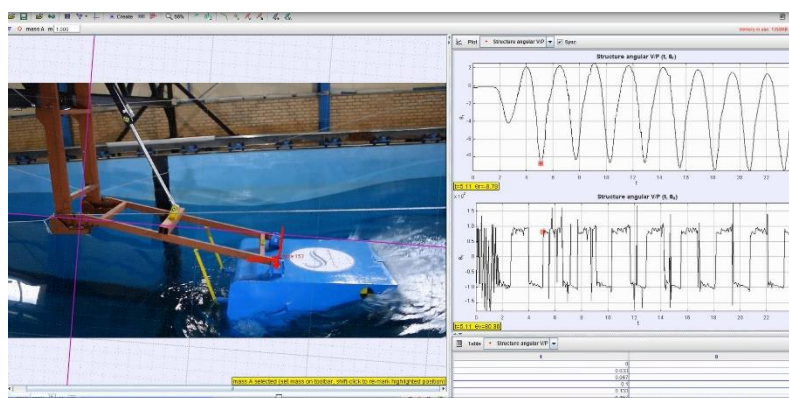
۱- ساخت نمونه نیمه‌صنعتی

ساخت نمونه نیمه‌صنعتی سیستم استحصال انرژی از امواج دریا با بهره‌گیری از سیستم انتقال و کنترل توان از نوع هیدرولیکی، در تابستان ۹۴ آغاز و تا ابتدای سال ۹۵ تکمیل گردید. در این نمونه با استفاده از سیستم هیدرولیکی فشار بالا امکان انتقال توان بالا از محل شناور به یونیت "کنترل و تبدیل" را با اتلاف کم و نیز پایدارسازی نوسانات فراهم می‌کند. سامانه مذکور با ظرفیت نامی ۱ کیلووات توانایی عملکرد در امواج از ۰,۵ تا ۱,۵ متری و نیز با دوره تناوب حداقل ۲,۶ ثانیه را دارا هست. فشار کاری نامی سیستم ۲۵ تا ۳۰ بار، و در حالت

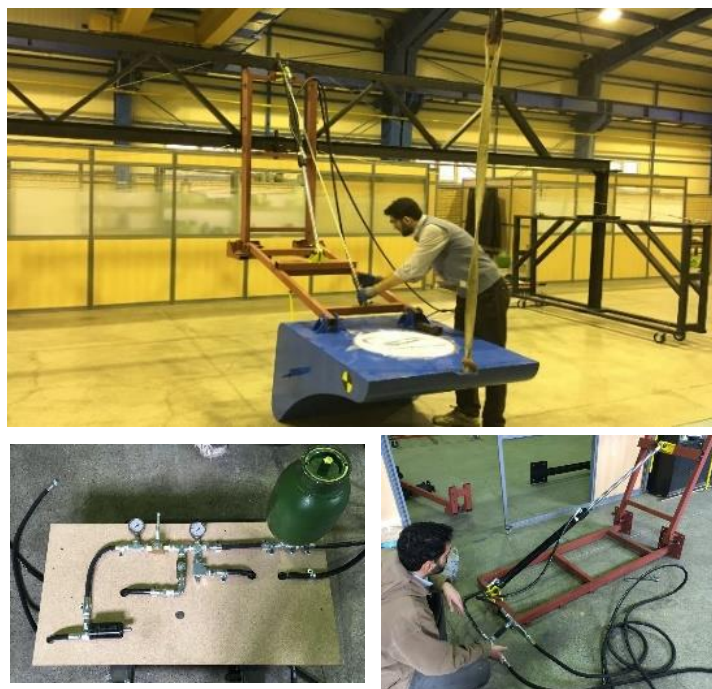
تمام بار (Full Load) تا ۴۰ بار قابل افزایش می باشد. همچنین حداکثر فشار پیک سیستم ۴۵ بار در نظر گرفته شده است. حداکثر دبی مجاز روغن بدون پایدارساز ۲۰ لیتر بر دقیقه و دبی نامی ۱۲,۸ لیتر بر دقیقه هست حداکثر افت فشار سیستم ۳,۶ بار در حداکثر دبی هست. و حداقل و حداکثر سرعت هیدروموتور به ترتیب ۴۰ تا ۱۵۵۰ دور در دقیقه بوده که ظرفیت سیستم هیدرولیکی را تا ۲,۴ کیلووات افزایش می دهد. چند نمونه از تصاویر نمونه نیمه صنعتی ساخته شده در زیر به نمایش در آمده است:



شکل ۶. تست غرق کامل (fully submerged)



شکل ۷. تست بویانسی



شکل ۸ تست خشک ارتعاش سازه - تست خشک سیستم هیدرولیک

۶- مزایای اجرای طرح

از جمله نتایج قابل ذکر در این سامانه می‌توان به موارد ذیل اشاره داشت:

- قابل استفاده در اسکله های نفتی برای تولید برق و آب شیرین و همچنین کاهش اثرات نامطلوب ناشی از امواج بر اسکله
- اهمیت ویژه در راستای اقتصاد مقاومتی در مناطق کمتر توسعه یافته جنوب
- کاهش مصرف سوخت های فسیلی
- تأمین بخشی از انرژی لازم جهت تولید آب شیرین مورد نیاز کشور در سال های آینده
- حذف هزینه حمل و نقل سوخت برای تأمین انرژی مناطق ساحلی و جزایر
- آماده سازی بستر برای طراحی و ساخت نیروگاه امواج با ظرفیت بالاتر
- بومی سازی طراحی و ساخت نیروگاه های امواج در کشور
- افزایش امنیت انرژی برای مناطق جنوب کشور
- کمک به صنعت کشاورزی و اشتغال زایی
- بازیابی زمین های بایر جهت کشت محصولات کشاورزی