

# طراحی دستگاه مبدل ۱۰ کیلوواتی جاذب نقطه‌ای انرژی امواج دریا در منطقه بندر عسلویه خلیج فارس

مهدی نظری برنجکوب<sup>۱\*</sup>، حسن قاسمی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۰/۳/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۹۰/۶/۲۵

چکیده:

منطقه بندر عسلویه خلیج فارس با داشتن ارتفاعات کوتاه امواج دریایی که ناشی از کم بودن طول باد خیزی و شرایط جغرافیایی آن است، دارای توان پتانسیلی کمی در حدود ۳,۲۷ کیلووات در واحد عرض تاج موج، جهت استحصال و تولید برق می‌باشد، ولی همین شرایط باعث پدیداری امواجی کوتاه ولی مداوم گشته است که در بیش از ۴۰ درصد اوقات سال، دارای فرکانسی بین ۱,۳ تا ۱,۵ رادیان بر ثانیه هستند. در این مقاله، پس از بررسی و آنالیز مشخصه های امواج منطقه و مشخص شدن فرکانس غالب امواج در طول سال با رعایت اصول طراحی جهت پدیداری رزونانس و کنترل دمپینگ در سیستم بویه شناور جاذب انرژی، طراحی یک دستگاه مبدل جاذب نقطه ای انرژی امواج صورت گرفته است. انرژی جذب شده توسط بویه دستگاه بوسیله سیستم های داخلی هیدرولیکی دستگاه جذب و تبدیل به فشار هیدرولیکی ثابتی در انباشتگر می گردد که نتیجه آن، تولید برق متناوب بدون تغییرات فرکانسی با توان ۱۰ کیلووات است. دستگاه طراحی شده قابلیت ذخیره سازی مطلوب انرژی را دارد و جهت استحصال انرژی امواج ارتفاع کوتاه منطقه، طراحی گردیده است.

کلمات کلیدی:

جاذب نقطه‌ای انرژی امواج، بندر عسلویه، تولید الکتریسیته، خلیج فارس

mehdi.nazari83@yahoo.com  
gasemi@aut.ac.ir

(۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.  
(۲) دانشیار دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
\* نویسنده مسئول

## مقدمه

انرژی امواج دریا بواسطه روش های استحصال آن، پاک ترین و غیرآلاینده ترین نوع انرژی در بین انرژی های دریایی است و برای استحصال این انرژی از دو قرن گذشته راه های مختلفی ارائه گردیده است. اولین قدم در سال ۱۹۶۵ میلادی توسط ژاپنی ها با ساختن ده ها فانوس دریایی که با انرژی امواج کار میکردند، صورت گرفت [۲].

دستگاه های مبدلی مانند ستون نوسانگر آب<sup>۱</sup>، نوسانگر موج ارشمیدس<sup>۲</sup>، جاذب نقطه ای انرژی امواج<sup>۳</sup> و دستگاه مبدل پلامیس<sup>۴</sup> را می توان نمونه های موفق دانست که با جذب انرژی تغییرات دامنه موج و در مناطقی با توان متوسط ۴۰ کیلووات در واحد عرض تاج هر موج و در سواحل اقیانوسی امریکا، استرالیا، اسکاتلند، پرتغال و انگلستان کار می کنند [۷].

دستگاه مبدل طراحی شده با نمونه های جاذب نقطه ای انرژی امواج کنونی در سطح دنیا، از نظر بدنه و شکل ظاهری تشابه زیادی دارد، ولی با توجه به ارتفاع کم امواج در خلیج فارس و توان متوسط بین ۳ تا ۵ کیلووات در منطقه عسلویه که جزو مناطق آرام خلیج است، سیستمی طراحی گردید که قابلیت جذب انرژی امواج ارتفاع کوتاه و ذخیره سازی آن را داشته باشد.

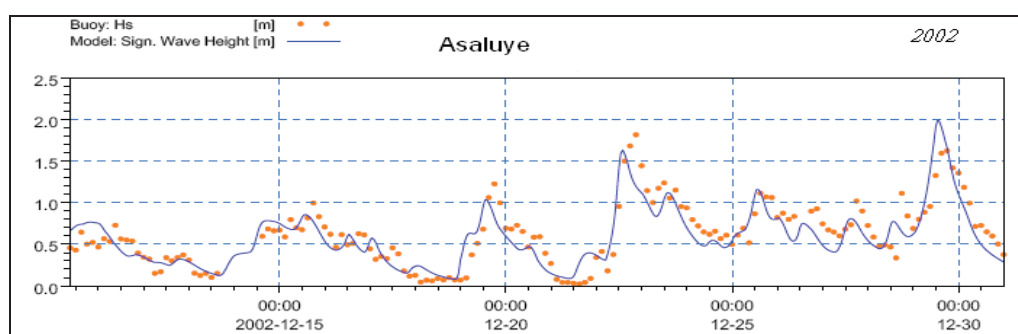
## ارزیابی مشخصات امواج خلیج فارس در منطقه عسلویه

منطقه عسلویه در شرق خلیج فارس واقع شده است و جزو مناطق آرام خلیج فارس از منظر بلندی و تلاطم امواج است. بویه اندازه گیری مشخصات امواج دریایی سازمان بنادر و دریانوردی ایران در ۵۲,۵<sup>۰</sup> طول جغرافیایی و ۲۵,۵<sup>۰</sup> عرض جغرافیایی و در منطقه ای با ژرفای ۲۵ متر قرار دارد و از حدود سال ۱۳۸۵ مشخصه امواج منطقه را اندازه گیری و ثبت نموده است [۳].

پروژه ای تحت عنوان مدل سازی امواج دریا های ایران<sup>۵</sup> (ISWM) به کمک اطلاعات موجود باد مناطق مختلف ساحلی کشور و اندازه گیری انجام شده بویه موج نگار سازمان هواشناسی و شرکت نفت، توسط سازمان

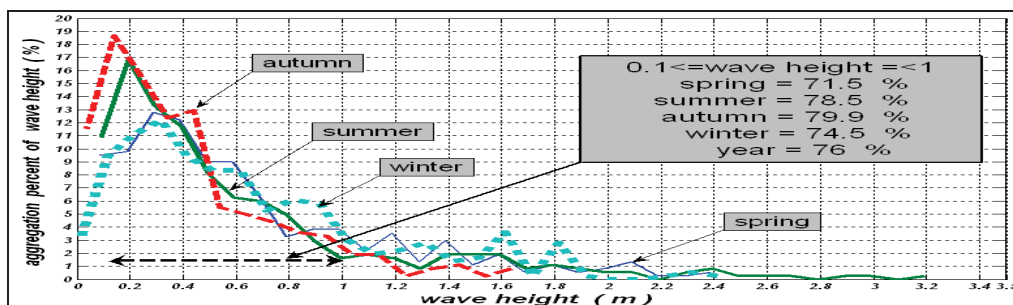
- 
- ۱) Oscillating Water Column (OWC)
  - ۲) The Archimedes Wave Swing (AWS)
  - ۳) Point- absorber Wave Energy Converter
  - ۴) Pelamis Wave Energy Converter
  - ۵) Iranian Sea Wave Modeling – (ISWM)

بنادر و دریانوردی ایران تعریف گردید و توسط مرکز ملی اقیانوس شناسی و مؤسسه تحقیقات هیدرولیک دانمارک (DHI) با موفقیت انجام شد و ۸۰ درصد صحت مدل سازی ها توسط مؤسسه تحقیقات هیدرولیک دانمارک تأیید گردیده است [۳]. شکل (۱) مقایسه است بین ارتفاع مشخصه امواج اندازه گیری شده توسط بویه موج نگار سازمان هواشناسی و مقادیر حاصل از مدل سازی امواج در پروژه ISWM در ساحل عسلویه خلیج فارس [۳].



شکل (۱) مقایسه ارتفاع مشخصه امواج اندازه گیری شده توسط بویه و مقادیر حاصل از ISWM (عسلویه) [۳].

مشخصه امواج استفاده شده در این طراحی براساس فرایند یکساله ای از پروژه ISWM است که توسط سازمان فوق در اختیار قرار گرفته است. هر چند اطلاعات یادشده برای طراحی بسیار ناچیز است، اما فقط امکان دسترسی به آن مقدور بوده است. به هرحال، برنامه نوشته شده در محیط نرم افزاری متلب<sup>۱</sup> برای پذیرش نامحدود داده های (امواج) ورودی طراحی شده است. با آنالیز داده های فوق الذکر در فصول مختلف سال و در مجموع فرایند یکساله می توان نتیجه گرفت که غالب امواج منطقه، ارتفاعی کمتر از ۸۰ سانتی متر دارند. این امر به دلیل کوتاهی طول بادخیزی منطقه و شرایط جغرافیایی آن است. شکل (۲) درصد تجمعی ارتفاع امواج ( $H_w$ ) در فصول مختلف سال ۱۳۸۱ را نشان می دهد.



شکل (۲) درصد تجمعی ارتفاع امواج در فصول مختلف سال ۱۳۸۱ در منطقه عسلویه

۱) MATLAB

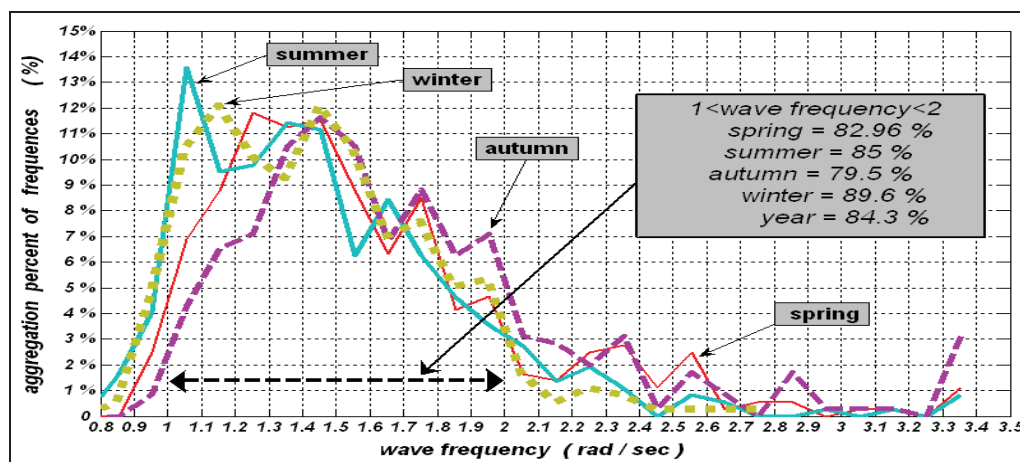
با کنترل نسبت عمق متوسط دریا ( $dw$ ) در منطقه، به زمان تناوب تمامی امواج، به کمک روابط ۱ حاکمیت فرض عمیق بودن دریا [۸]، با ۹۲٫۶ درصد کل اوقات سال تائید می گردد. ضمن آنکه، شرایط فوق هیچگاه در موقعیت آب کم عمق قرار نمی گیرد.

با معلوم بودن ارتفاع مشخصه ( $H_s$ ) و پریود موثر ( $T_e$ )، توان امواج ( $P_e$ ) را می توان با رابطه ۲ در واحد عرض تاج و در شرایط آب عمیق به دست آورد [۵]. به کمک این رابطه که در شرایط آب عمیق حاکم است، توان ۳٫۲۷ کیلووات در واحد عرض تاج را می توان برای این منطقه پیش بینی نمود.

$$\frac{dw}{g.T_n^2} > 0.0792 \quad \text{or} \quad \frac{dw}{\lambda_n} > 0.5 \quad (1)$$

$$P_e = 0.42.H_s^2.T_e \quad (kw/m) \quad (2)$$

پیش بینی توان متوسط  $3.27 \text{ kw/m}$  بیانگر عدم توجیه پذیری استحصال انرژی امواج در این منطقه با استفاده از سیستم‌های کنونی است، اکثر دستگاه‌های مبدل انرژی امواج دریا برای مناطق اقیانوسی با توان متوسط ۴۰ کیلووات طراحی شده اند، لذا جهت استحصال این انرژی پاک و غیرآلاینده، بهره بردن از پدیده تشدید (رزونانس) می تواند یک راه حل منطقی باشد. در نتیجه، فرکانس امواج منطقه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید امواجی با فرکانس‌های بین ۱ تا ۲ رادیان بر ثانیه در بیش از ۸۴٫۳ درصد اوقات سال حاکم هستند. شکل (۳)، درصد تجمعی فرکانس امواج ( $\omega$ ) را در فصول مختلف سال ۱۳۸۱ نشان می دهد.



شکل ۳) درصد تجمعی فرکانس امواج در فصول مختلف سال ۱۳۸۱ در منطقه عسلویه

۱) Resonant

### اساس کار مبدل جاذب نقطه ای انرژی امواج ارتفاع کوتاه (منطقه عسلویه)

با توجه به غالب بودن امواج ارتفاع کوتاه در منطقه (امواجی با ارتفاع بین ۰٫۲ تا ۰٫۸ متر)، سیستم های الکترومغناطیسی تبدیل کننده حرکت هیو<sup>۱</sup> بویه جاذب انرژی مبدل های متعارف، قابلیت خود را جهت جذب انرژی پاک امواج منطقه از دست می دهد. در نتیجه، سیستمی هیدرولیکی طراحی گردید که با عملکردی مداوم و آهسته، قابلیت جمع آوری انرژی امواج ارتفاع کوتاه را به صورت انباشته ای از فشار هیدرولیکی داشته باشد. سپس جهت تولید روغن پر فشار بیشتر بویه شناور دستگاه به شکلی بهینه سازی گردید که فرکانس طبیعی اش نزدیک به فرکانس امواج غالب اوقات دریای واقعی باشد که حاصل آن اتفاق رزونانس در بویه و افزایش حرکت هیو و تولید روغن پر فشار بیشتر در انباره ها خواهد شد.

با گذر موج از بویه جاذب انرژی که وزنش با نیروی بویانسی آب برابری می کند، نوسان هیو در بویه اتفاق افتاده و در نتیجه، جک هیدرولیکی که با یک میله (شافت<sup>۲</sup>) به بویه متصل است با همان فرکانس شروع به نوسان در جهت قائم می نماید. این نوسان، روغن را از مخزن به انباره پمپاژ نموده و در نهایت، روغن پر فشار، هیدروموتور کوپله شده با ژنراتور دورانی را به کار خواهد انداخت. تصویر سمت راست شکل ۴، این الگوریتم کار سیستم را تشریح می نماید.

برای عملی شدن الگوریتم فوق، دستگاه مبدلی مطابق تصویر سمت چپ شکل ۴ شامل سه بخش اصلی؛ بویه شناور جاذب انرژی امواج<sup>۳</sup>، استوانه بدنه اصلی<sup>۴</sup> و صفحه مهار خیز هیو<sup>۵</sup> طراحی گردید. مجموع این سه قسمت به ترتیب با شماره های ۸، ۹، ۱۰ در شکل ۴ مشخص است. این سه قسمت می بایست به شکلی هماهنگ با هم کار کنند که سیستم مطابق با الگوریتم فوق عمل کند. به این منظور، هر قسمت به شکل زیر طراحی گردید.

قسمت اول؛ بویه شناور استوانه ای شکل است که قسمت اعظم آن در آب غوطه ور است و توسط یک میله (شافت) به قسمت داخلی دستگاه که همان جک های هیدرولیکی است، متصل شده است و تمام جهات حرکت آن، جزء حرکت هیو توسط ادامه استوانه بدنه اصلی مهار گردیده است.

قسمت دوم؛ یک استوانه نسبتاً لاغر دو قسمتی بنام اسپار است که دستگاه های هیدرولیکی شامل جک هیدرولیکی، هیدروموتور، انباره تحت فشار، مخزن روغن، شیرهای کنترل فشار و دیگر قطعات هیدرولیکی و الکترونیکی و همچنین سیستم کوپلینگ و ژنراتور را در خود جا داده است. وظیفه دیگر این بدنه مهار حرکت های بویه و انتقال نیروها به صفحه مهارخیز هیو دستگاه که حکم تکیه گاه دستگاه را برعهده دارد، می باشد.

قسمت سوم؛ یک استوانه کاملاً پهن است با ارتفاع کم و قطر بسیار زیاد به نام صفحه مهار خیز هیو که وظیفه کنترل

۱) heave

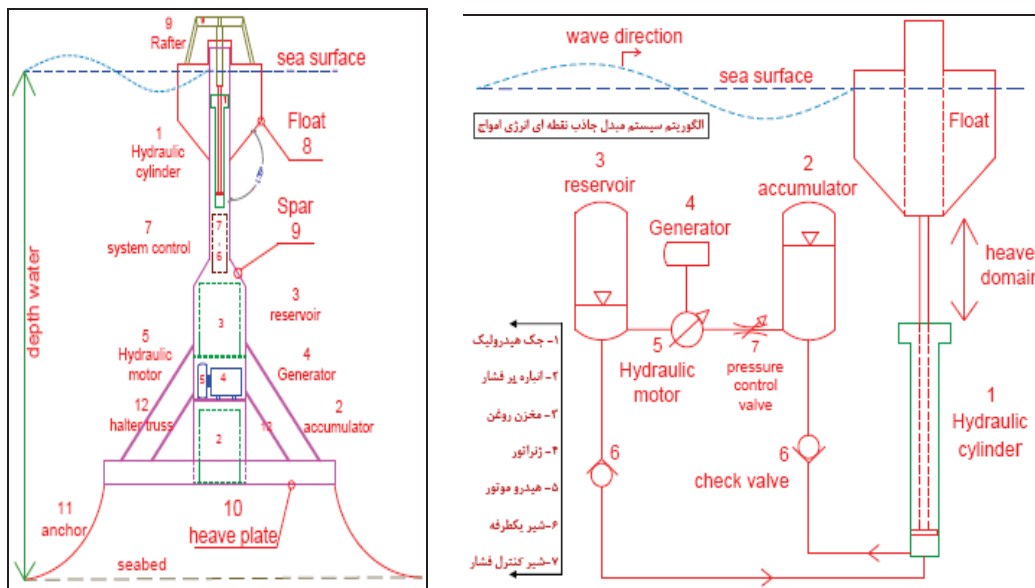
۲) Shaft

۳) float

۴) Spar

۵) Heave Plate

حرکت هیو اسپار و مهار کلی دستگاه را برعهده دارد. این تکیه گاه بزرگ توسط چهار کابل لنگر کنتری به کف دریا مهار شده است.



شکل ۴) الگوریتم عملکرد سیستم و نمایی از دستگاه مبدل جاذب نقطه ای انرژی امواج دریا

### طراحی و بهینه سازی بویه جاذب انرژی امواج دستگاه

#### تعیین مشخصات بویه

جهت تعیین مشخصات بویه همچون شکل، ابعاد، وزن، فرکانس طبیعی و ضرایب سختی هیدرولیکی، جرم اضافه و درگ و دیگر مشخصه ها ابتدا، تئوری موج حاکم بر دریا منطقه تعیین گردید و نیروهای اعمالی بر بویه براساس شرایط امواج دریایی منطقه مشخص شد و در نتیجه، عوامل مؤثر بر مشخصات فوق تعیین گردید و به کمک نرم افزار متلب، بهینه ترین ابعاد برای بویه استوانه ای جهت جذب حداکثری نیرو از امواج دریا بر اساس شرایط منطقه عسلویه خلیج فارس در سال ۱۳۸۱ و بهره بردن از پدیده تشدید (رزونانس) در بویه جاذب دستگاه مشخص گردید.

#### تعیین شکل و قطر اولیه بویه جاذب انرژی

جهت کاهش اثرات انعکاس، شکست و یکنواختی برخورد امواج به بویه دستگاه، یک بویه استوانه ای شکل انتخاب گردید و از آنجایی که نیروی اعمالی به بویه از طرف امواج، با حاصل ضرب مساحت تاثیر امواج بر بویه در فشار حاصل از

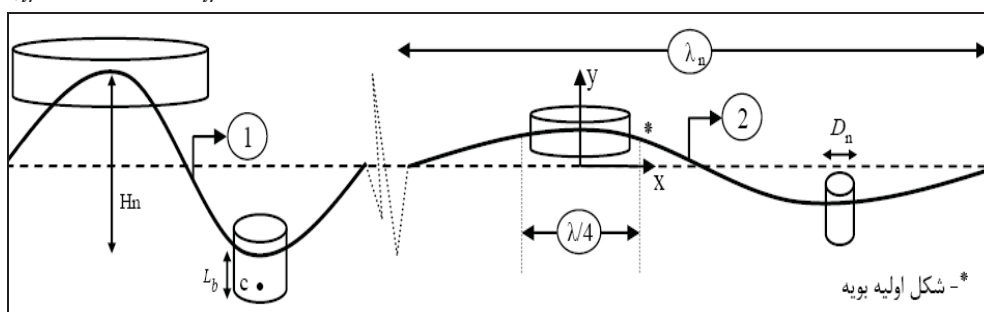
موج به دست می‌آید، باید قطرها به گونه ای انتخاب گردد تا همواره فشار حاصل از موج، تمام سطح بویه را به طور یکنواخت در برگیرد. در این صورت، حداکثر نیرو جذب خواهد شد.

شکل (۵) تاثیرات قطر بویه در یکنواختی فشار زیر سطح بویه و جذب حداکثری نیرو موج را نشان می‌دهد. بویه ای با قطر زیاد در موج های تیز، مانند موج شماره ۱ در شکل (۵)، قادر به جذب حداکثری نیرو موج نبوده و همچنین بویه های کم قطر نیز در موج های نرم، مانند موج شماره ۲ در شکل (۵)، به علت مساحت کم آنها، نیروی حداقلی را جذب می نمایند و بهینه نیستند.

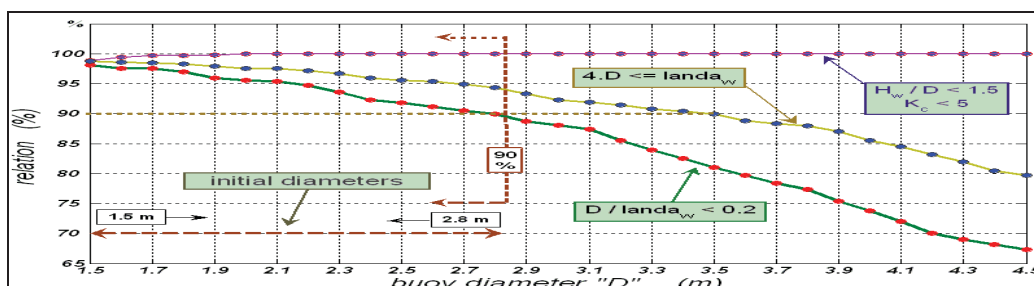
به منظور جذب حداکثری نیروی تمامی امواج دریا در سال طرح (۱۳۸۱) با یک فرض مهندسی، محدودیت برای قطرهای بزرگتر از یک چهارم طول موج تمامی امواج، مطابق رابطه ۳ اعمال گردید و جهت حذف پدیده تفرق محدودیت قطر با روابط [۸]، در برنامه بهینه سازی بویه با فرض اولیه قطرهای ۱،۵ تا ۴،۵ متر با بازه ۱۰ سانتی متری منظور شد. نتایج در شکل ۶ مشاهده می گردد که بر این اساس قطرهای بین ۱،۵ تا ۲،۸ متری که بیش از ۹۰ درصد اوقات سال طرح (۱۳۸۱) این کنترل ها را تامین می سازند، انتخاب گردیدند.

$$\frac{\lambda_n}{4} > D_n \tag{۳}$$

$$\frac{D_n}{\lambda_n} < 0.2 \quad \frac{H_n}{D_n} < 1.5 \tag{۴}$$



شکل ۵) تاثیرات قطر بویه در یکنواختی فشار زیر سطح بویه و جذب حداکثری نیرو موج



شکل ۶) تاثیرات اندازه قطر بویه بر کنترل های رابطه ۳ و ۴

## نیروی امواج

با صادق بودن فرضیات تئوری امواج خطی در شرایط فوق، روابط فشار دینامیکی و شتاب ناشی از موج، به ترتیب مطابق روابط ۵ و ۶ است [۸]. از آنجایی که فقط جذب حداکثری نیرو موج در جهت  $y$  مد نظر است، لذا بویه فقط در جهت هیو ( $y$ ) درجه آزادی دارد و مقدار جرم اضافه بویه (آب جابجا شده در اثر نوسان بویه) در جهت  $y$  ( $m_{22}$ )، از رابطه ۷ به دست می‌آید [۱۰].

$$P = \frac{g \cdot \rho}{2} \cdot H_w \cdot e^{ky} \cdot \cos(kx - \omega t) \quad (5)$$

$$\dot{U}_x = \frac{H_w}{2} \cdot \omega^2 \cdot e^{ky} \cdot \sin(kx - \omega t) \quad , \quad \dot{U}_y = -\frac{H_w}{2} \cdot \omega^2 \cdot e^{ky} \cdot \cos(kx - \omega t) \quad (6)$$

$$m_{22} = 0.167 \cdot \rho \cdot D^3 \quad (7)$$

نیروی ناشی از شتاب سیال (موج) که به نیروی فرود\_کریلو<sup>۱</sup> معروف است در جهت ( $y$ ) برای بویه استوانه ای، برابر با رابطه ۸ است و نیرو حاصل از شتاب نسبی بین بویه و سیال که به نیروی شتاب<sup>۲</sup> معرف است در جهت ( $y$ ) از رابطه ۹ حاصل می‌گردد [۹]. نیروی حاصل از سرعت سیال (نیروی درگ<sup>۳</sup>) براساس شرایط اولیه ابعاد بویه و مشخصه های امواج در بیش از ۹۰ درصد اوقات ناچیز می باشد (کنترل روابط ۴)، لذا میتوان از مقدار آن در محاسبات صرفنظر کرد و نیروی اعمالی از سمت موج به بویه را همان نیروی اینرسی ( $F_I$ ) مجموع نیروی فرود\_کریلو و نیروی شتاب دانست.

$$F_{fy} = P_c \cdot A_c = \left[ \frac{g \cdot \rho}{2} \cdot H_w \cdot e^{ky} \cdot \cos(kx - \omega t) \right] \cdot A_c \quad x = 0 \quad y = y(n) \quad , \quad (8)$$

$$F_{ay} = \frac{m_{22}}{2} \cdot \dot{U}_y = \frac{m_{22}}{2} \cdot \left[ -\frac{H_w}{2} \cdot \omega^2 \cdot e^{ky} \cdot \cos(kx - \omega t) \right] \quad F_I = F_{fy} + F_{ay} \quad , \quad x = 0 \quad y = y(n) \quad , \quad (9)$$

## دامنه حرکت بویه

قبل از محاسبه دامنه حرکت بویه، نیاز به دست آوردن مقادیر فرکانس طبیعی ( $\omega_n$ )، ضریب میرایی ( $c$ ) و سختی هیدرولیکی هیو ( $K_y$ ) برای هر بویه می باشد، این پارامترها با روابط شماره ۱۰ محاسبه می شوند [۹].

۱) Froude\_Krylov Excitation Force

۲) Acceleration Force

۳) Drag Force

ضمن آنکه، برای محاسبه نسبت میرایی ( $\eta$ ) که بیانگر نسبت میرایی ( $c$ ) به میرایی بحرانی ( $c_c$ ) است، به روش سعی و خطا عملیات ریاضی آن محاسبه گردید، به این ترتیب که ابتدا ضریب میرایی ( $c$ ) حاصل از فرض جابجایی بویه به اندازه دامنه موج در نیمی از زمان پریود موج، مطابق با رابطه میانی شماره ۱۰ محاسبه گردید و براساس آن، مقدار نسبت میرایی اولیه ( $\eta$ ) به دست آمد، سپس با قرار گیری این مقدار  $\eta$  در رابطه [۹]۱۱، مقدار جابجایی اولیه ( $\Delta y$ ) با فرض فوق محاسبه شد، پس از آن با معلوم بودن جابجایی و زمان آن، سرعت هیو بویه ( $\dot{y}_{max}$ )، به دست آمده و با جایگذاری این مقدار در رابطه ضریب میرایی ( $c$ )، مقدار نسبت میرایی ( $\eta$ ) تصحیح می گردد و این حلقه محاسباتی ادامه داده شد تا رسیدن به سرعت هیو بویه نزدیک به سرعت هیو بویه مرحله محاسباتی قبلی این سیکل، در پایان این حلقه محاسباتی دامنه حرکت هیو بویه با تصحیحات مکرر نسبت میرایی به دست می آید.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_y}{m+m_{22}}} \quad , \quad c = \frac{8}{3\pi} \cdot [\dot{y}_{MAX}] \cdot \left[ \frac{1}{2} \rho \cdot c_d \cdot L_b \cdot D \right] \quad , \quad K_y = \rho \cdot g \cdot A_{wp} \quad c_d \propto L_b, D, \quad (10)$$

$$\Delta y = \frac{F/k_y}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2 \cdot \eta \cdot \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}} \quad \eta = \frac{c}{c_c} \quad , \quad c_c = 2 \cdot (m + m_{22}) \cdot \omega_n \quad , \quad (11)$$

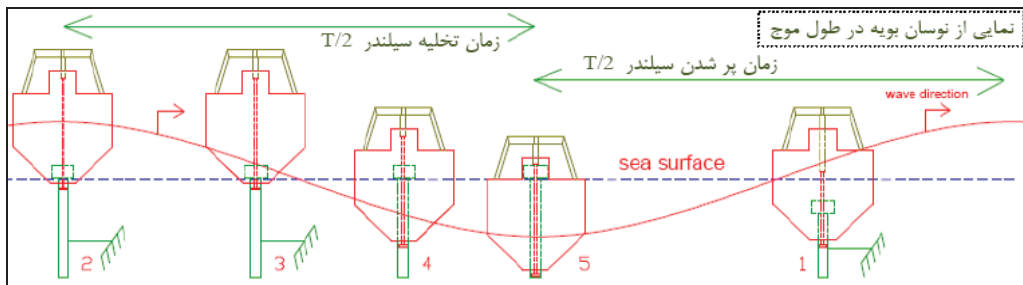
### عملکرد بویه در تولید روغن پر فشار

با برخورد موج به بویه، ابتدا بویه به سمت بالا (+y) حرکت کرده و در طول این حرکت، روغن از داخل مخزن به سمت زیر شافت جک هیدرولیکی مکش می شود و با رسیدن موج به قله خود (نقطه ۲ شکل ۷)، سیلندر جک دستگاه، پر از روغن خواهد بود.

با گذر موج، بویه تمایل به بازگشت دارد ولی فشار روغن داخل سیلندر که به انباره پر فشار متصل است اجازه نخواهد داد، پس، موج از بویه عبور نموده و بویه در ماکزیمم ترین حالت جابجایی خود خواهد ماند، این سکون تا زمانی ادامه خواهد داشت که حاصل جمع نیروی وزن بویه، نیروی بویانسی و نیروهای اعمالی توسط موج مطابق رابطه ۱۲ بتوانند در سیلندر فشاری بیش از فشار موجود در انباره ایجاد نمایند (نقطه ۳ شکل ۷). این اتفاق امکان دارد بلافاصله پس از گذر موج از قله خود اتفاق بیفتد و یا چند ثانیه پس از آن و حتی امکان دارد در لحظه رسیدن موج به قعر آن (نقطه ۵ شکل ۷) که جهت نیروی موج عکس می شود، رخ دهد.

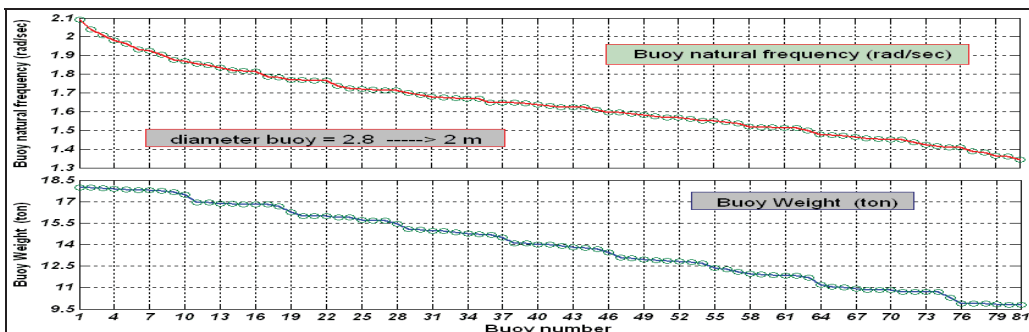
در امواج بسیار کم ارتفاع، امکان دارد موج از بویه عبور کرده و هیچ روغن پر فشاری تولید نشود. این فرایند را می توان با رابطه ۱۲ بیان نمود. هر گاه فشار سیلندر از فشار انباره بیشتر شود، حرکت رو به پایین بویه آغاز خواهد شد. بنابراین، بایستی وزن واحد طول بویه ( $m/l$ ) زیاد باشد تا با اندکی جابجایی و حذف شدن نیروی شناوری بویانسی در اثر گذر موج فشار مورد نیاز در نیمه اول زمان پریود موج حاصل شود.

$$P_{Cylinder}(t) = \frac{[F_I(t) + F_{weight\_buoy}(t) + F_{buoyancy}(t)]}{A_{shaft\_cylinder}} \geq P_{accumulator} = Fix \quad (12)$$



شکل ۷) نوسان بویه در گذر موج و نحوی کار جک هیدرولیکی متصل به آن

با فرض انتخاب قطر ۱۰ سانتی متری برای پیستون جک هیدرولیکی، جهت تولید ۵۰ بار فشار در سیلندر دستگاه، نیاز به ۳۲۰۰۰ نیوتن نیرو است که عمدتاً توسط وزن بویه ( $m$ ) تامین شود، یعنی قسمت خارج شده بویه از آب بایستی حداقل ۳,۲ تن وزن داشته باشد. برای تامین این وزن، بویه ای به قطر ۱,۵ متر می بایست حدود ۱,۸ متر از سطح آب به بیرون پرتاب شود. در منطقه‌ای که متوسط ارتفاع امواج ۰,۵۷ متر است، این اتفاق محال خواهد بود. پس جهت رفع این مشکل، محدودیت حداکثر نیاز به طول خروجی بویه از سطح آب، به اندازه ۱ متر اعمال گردید. که حاصل آن گزینش بویه‌های به قطر بین ۲ تا ۲,۸ متر است تا توان تولید فشار هیدرولیکی موثر را داشته باشند و همچنین جهت تحقق رزونانس در بویه‌ها، فرکانس طبیعی آنها می بایست به فرکانس غالب امواج دریای منطقه با محدودیت وزنی بین ۹ تا ۱۸ تن جهت کنترل لنگر واژگونی و کاهش سختی لنگرهای مهاریه دستگاه نزدیک باشند. با این محدودیت‌ها، ابتدا برای هر قطر ۹ حالت طولی متفاوت در نظر گرفته شد و در مجموع ۸۱ بویه که قطر آنها بین ۲ تا ۲,۸ متر است و بهترین توزیع وزن و فرکانس طبیعی را دارند، مطابق شکل (۸) انتخاب گردید.



شکل ۸) ۸۱ بویه انتخابی با قطری بین ۲ تا ۲,۸ متر، وزنی بین ۹ تا ۱۸ تن با فرکانسی نزدیک به فرکانس غالب امواج منطقه

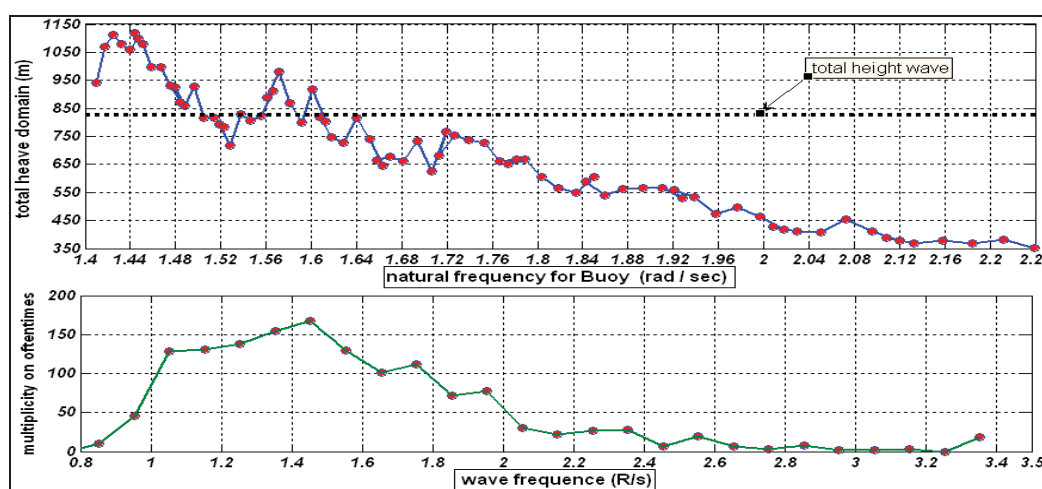
به کمک کد نویسی در محیط متلب، کلیه امواج ثبت شده منطقه به ۸۱ بویه انتخابی اعمال گردید و پاسخ های دامنه هیو، تعدد پیدایش فشار موثر ( $P=50$  bar) در طول سال و همچنین توان تولید دبی متوسط روغن پر فشار برای تک تک بویه ها به دست آمد و با توجه به اهمیت پدیده تشدید و دمپینگ بر میزان جذب انرژی امواج، آنالیزهایی در این موارد انجام گرفت.

### تاثیر پدیده رزونانس و میزان دمپینگ (میرایی) بر تغییرات دامنه حرکت هیو بویه

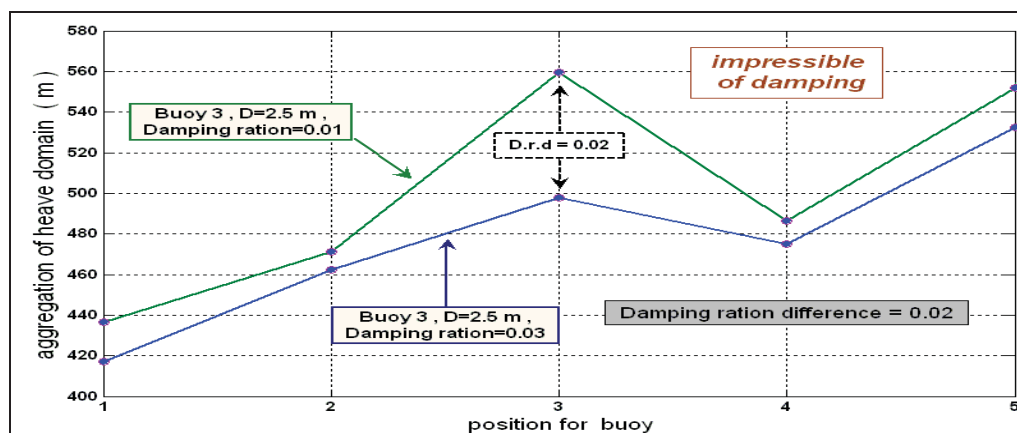
رابطه ۱۱ بیان می کند با نزدیک شدن فرکانس طبیعی بویه به فرکانس موج اعمالی، دامنه تغییرات افزایش می یابد. در فرایند انتخاب و بهینه سازی بویه جاذب انرژی فوق نتیجه نیز همین گونه بوده است. همانطور که در تصویر فوقانی شکل ۹ مشاهده می شود، با تغییر فرکانس بویه ها از ۲,۴ به ۱,۴ رادیان بر ثانیه، به علت وقوع بیشتر فرکانس های بین ۱,۴ تا ۱,۶ در دریای واقعی (تصویر پایینی شکل ۹) بویه ها دارای جابجایی بیشتری شده اند.

در بویه هایی با فرکانس ۱,۴۵ (با فرض نسبت میرایی (۰,۰۰۱)، مجموع جابجایی در طول سال بیش از ۱۳۰ درصد کل ارتفاع امواج اعمالی است، این در حالی است که مساحت تاثیر گذاری موج بر بویه (قطر بویه) به شدت در حال کاهش است و می توان نتیجه گرفت که در جذب انرژی از امواج پارامتر فرکانس طبیعی تاثیر بیشتری نسبت به سطح بویه (بزرگی بویه) دارد.

با افزایش ۱۳۰ درصد دامنه نوسانی بویه در اثر پدیده تشدید و با فرضیات فوق و بر اساس رابطه ۲، می توان توان استحصالی را تا حدود ۵,۵۳ kw/m نیز به دست آورد. اما همیشه این گونه نیست و با افزایش قطر بویه و طول آبخور ( $L_B$ ) آن، بر میزان دمپینگ افزوده شده و دامنه تغییرات هیو بویه به شدت مهار می گردد. این تاثیرات را می توان در شکل ۱۰ مشاهده نمود.



شکل ۹) فرایند تاثیر پدیده تشدید بر میزان حرکت هیو بویه ها، بر مبنای تجمع آن فرکانس ها در دریای واقعی



شکل ۱۰) تاثیر دمپینگ بر دامنه تغییرات حرکت هیو بویه

### توان بویه

تصویر فوقانی شکل (۱۱) متوسط فشار تولیدی توسط هر بویه را نشان می دهد. بویه ای با قطر ۲ متر، به دلیل کم بودن وزن واحد طولش فشار متوسط کمتری را تولید نموده است.

تصویر میانی شکل (۱۱) متوسط تولید روغن ۵۰ بار فشاری را در طول سال بر حسب لیتر بر ثانیه برای تمامی بویه ها نشان می دهد. دلیل افزایش تولید روغن بر فشار در بویه های کم قطرتر، نزدیکی فرکانس طبیعی آنها به فرکانس غالب اوقات دریای واقعی منطقه است. در این مرحله، بویه هایی با تولید بیش از ۱,۷ لیتر در ثانیه به عنوان گزینه های برتر انتخاب گردید. با مقایسه مجموع توان هیدرولیکی ( $P_b$ ) این بویه ها که از رابطه ۱۳ و بر حسب اسب بخار محاسبه گردیده [۱] و نتایج آن در تصویر پایین شکل (۱۱) بصورت نمودار مشخص است، بویه های شماره ۷۲، ۷۱، ۴۵ به ترتیب بویه های برتر خواهند بود.

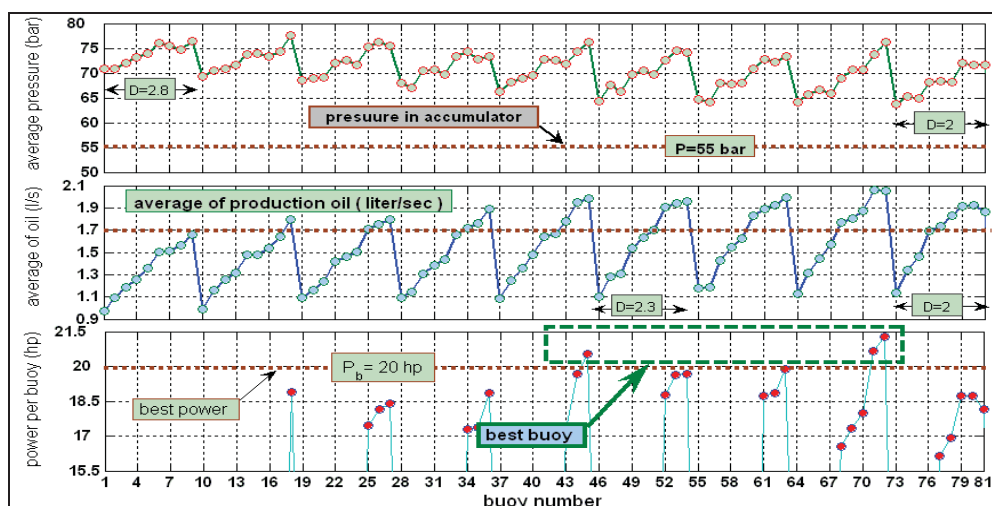
از بین بویه های برگزیده، بویه شماره ۴۵ به واسطه داشتن طول آبخور<sup>۱</sup> کمتر که نتیجه آن کاهش تاثیر نیروهای افقی امواج و کاهش سختی لنگرهای مهاریه دستگاه خواهد بود، به عنوان بهینه ترین بویه جهت دستگاه مبدل انرژی امواج انتخاب گردید. این بویه با قطر ۲,۴ متر قادر است با نسبت میرایی ( $\eta$ )، حدود ۰,۰۳، بطور متوسط در هر ثانیه ۱,۹۹ لیتر روغن با فشار متوسط ۷۶,۱ bar، تولید نماید.

آنالیز محاسبات نشان می دهد که با کاهش نسبت میرایی ( $\eta$ ) (دمپینگ) به ۰,۰۱ تولید روغن به ۲,۱۲ لیتر در ثانیه و

۱) Draft

با فشار متوسط ۸۰٫۶ بار خواهد رسید، یعنی توان بویه با ۱۲ درصد تغییر از مقدار ۲۰٫۵۵ HP به ۲۳٫۲ HP می رسد. بویه ۴۵ نسبت به بویه های ۹ و ۱۸ دارای توان تولید فشار متوسط کمتر و یا برابری است، ولی به واسطه داشتن فرکانس طبیعی ۱٫۴۵ r/s که متوسط فرکانس امواج منطقه است، جابجایی هیو بیشتری داشته که این مزیت باعث افزایش تولید روغن پر فشار و برتری آن گشته است.

$$P_b (\text{Horse} \cdot \text{power}) = \frac{P(\text{bar}) \times Q(\text{liter} / \text{min})}{442} \quad (۱۳)$$



شکل ۱۱) فشار و دبی متوسط تولیدی و توان هر بویه

### طراحی هیدروموتور

با توجه به تولید متوسط فشار بویه حدود ۷۶ بار می توان فشار ۵۵ بار را برای انباره نوع پیستونی با حجمی حدود ۵۰۰ برابر دبی جریان، تامین نمود. در نتیجه، روغن از انباره پیستونی (انباشتگر<sup>۱</sup>) تحت فشار (بیش از ۵۵bar) با کنترل های تنظیم فشار، وارد هیدروموتور شده و با فشار کم از آن خارج می شود و به سمت مخزن، جهت اجرای سیکل بعدی، ذخیره سازی می شود. بدین وسیله نیروی سیال به نیروی مکانیکی تبدیل می گردد.

معیار سنجش نیروی دورانی محور محرک موتور را گشتاور گویند که تحت تاثیر فشار ورودی به هیدروموتور است. حجم روغن ورودی به هیدروموتور فقط بر دور موتور تاثیرگذار است و بر گشتاور آن اثری ندارد. با این مقدمه و با داشتن

۱) Accumulator

حداقل فشار انباره ۵۵ bar و تزریق دبی متوسط ۱,۹۹ liter/sec توسط بویه به انباره و انتخاب یک هیدروموتور پیستون محوری، براساس رابطه ۱۴ حجم جابجایی روغن در هر کارکرد هیدروموتور ( $V_g$ ) محاسبه شده [۱] و سپس به کمک روابط ۱۵ میزان گشتاور تولیدی ( $T_m$ ) و توان موتور ( $P_m$ ) محاسبه گردید [۱]، ضمن آنکه، داشتن حداقل دور موتور ( $N_m$ ) ۱۵۰۰ دور در دقیقه برای ژنراتورهای تولید کننده الکتریسیته الزامی است [۴]. با عدد گذاری در روابط زیر، گشتاور هیدروموتور ۱,۲۷ N.m برای هر ۱ bar فشار ورودی خواهد بود. با این گشتاور توان متوسط تولیدی هیدروموتور ( $P_m$ ) را می توان حدود ۱۱ کیلووات در نظر گرفت.

$$V_g (cm^3) = \frac{1000 \times Q(\text{liter} / \text{min})}{N_m (\text{rpm})} \quad (14)$$

$$T_m (N.m) = 0.016 \times \Delta P(\text{bar}) \times V_g (cm^3) \quad , \quad P_m (Kw) = \frac{T_m (N.m) \times N_m (\text{rpm})}{9550} \quad (15)$$

### انتخاب ژنراتور

انتخاب ژنراتور در این گونه پروژه ها بسته به نوع و شیوه مصرف انرژی متفاوت است. ژنراتور یا متصل به شبکه و یا مستقل از شبکه عمل می کند و انتخاب ژنراتور از نوع جریان مستقیم و یا متناوب آسنکرون و یا سنکرونی آن از جمله مباحث مطرح در انتخاب نوع ژنراتور است [۴].

برای انتخاب بهینه یک ژنراتور برای دستگاه فوق، توجه به نحوه کارکرد دستگاه به طور مستقل و یا کوپل شدن چندین دستگاه به صورت مزرعه‌ای از مبدل های انرژی امواج، بسیار مهم جلوه می کند. به هر حال، با اینکه ژنراتورهای جریان مستقیم از پایداری خوبی برخوردارند ولی به علت قیمت بالا و هزینه سرویس و نگهداری زیاد از رده انتخاب خارج می باشند.

از آنجایی که سیستم طراحی شده نیروی متغیر امواج را به یک فشار هیدرولیکی ثابت تبدیل می کند، لذا نیروی محرک ژنراتور ثابت خواهد بود، تغییرات فرکانس در ژنراتور سنکرون به وجود نخواهد آمد و نیازی به مبدل تنظیم فرکانس و یا وارونگر سرعت متغیر نیست. در ژنراتورهای سنکرون وجود حلقه های اصطکاک و جاروبک ها قطعات مضاعفی هستند که مستلزم سرویس و نگهداری می باشند که باید به آنها در طراحی توجه داشت، ضمن آنکه، بدنه ژنراتور باید طوری طراحی گردد (طبق استاندارد IP-55) که قادر به محافظت بخش های داخلی از رطوبت بالای محیط دریا و ریزش آب باشد و همچنین به علت شرایط کاری نامساعد محیطی، احتمال گرم شدن ژنراتور از حد مجاز زیاد است. لذا ژنراتور باید در

کلاس F و حرارت محیط ۴۵ درجه سانتیگراد طراحی و انتخاب شود [۶]. با این مقدمات و داشتن مشخصات و قدرت هیدروموتور، یک ژنراتور سنکرون چهار پین با دور چرخش ۱۵۰۰ rpm که به طور مستقل با راندمان ۹۰ درصد تولید برق حدود ۱۰kw/hour می نماید، انتخاب گردید.

### نتیجه گیری

ساحل منطقه عسلویه دارای امواج ارتفاع کوتاه است که این امر به دلیل یکنواختی پستی و بلندی های ساحلی و طول کم بادخیزی منطقه و عمق کم و تغییرات ملایم توپوگرافی بستر خلیج فارس می باشد.

وجود امواجی با زمان تناوب مشابه (فرکانس ۱ تا ۲ I/S در ۸۴,۳ درصد سال) طراحی بویه تشدیدی جاذب انرژی امواج را این منطقه امکان پذیر می نماید.

پیش بینی توان  $3,27 \text{ kw/m}$  برای امواج سواحل عسلویه، بیانگر توان پایین و راندمان کم در استحصال این انرژی پاک بر مبنای دستگاه های مبدل انرژی امواج متعارف کنونی در سطح جهان است که با توان متوسط امواج  $40 \text{ kw/m}$  کار می کنند.

اعمال سه تغییر زیر در مبدل های متعارف جاذب نقطه ای انرژی امواج، راندمان دستگاه و استحصال انرژی امواج دامنه کوتاه منطقه عسلویه (خلیج فارس) را توجیه پذیر می نماید.

۱- طراحی بویه تشدیدی و یا ایجاد تشدید در بویه.

۲- استفاده از سیستم مدار داخلی هیدرولیکی برای دستگاه به جای سیستم الکترومغناطیسی.

۳- کاهش اثرات میرایی هیدرودینامیکی و مکانیکی در بویه و دستگاه.

در طراحی مبدل انرژی امواج دریا، پارامتر فرکانس طبیعی بویه جاذب انرژی، تأثیر بیشتری نسبت به بزرگی بویه در جذب حداکثری انرژی دارد.

پدیده تشدید، باعث افزایش مجموع جابجایی بویه ها، با تغییر فرکانس طبیعی آنها از ۲,۴ تا ۱,۴، به بیش از ۳ برابر می شود و در بهینه ترین بویه، افزایش ۱۳۰ درصدی ارتفاع کل حرکت هیو بویه را نسبت به مجموع ارتفاع امواج یکساله و در زمان تأثیر یک پرپود برای هر موج ایجاد می کند.

پدیده تشدید در طراحی بویه در بهینه ترین حالت، باعث افزایش توان استحصالی از  $3,27 \text{ kw/m}$  به  $5,53 \text{ kw/m}$  بر اساس رابطه ۲ می گردد.

قطر بهینه انتخاب شده بویه جاذب فوق، یکنواختی فشار زیر سطح بویه و جذب حداکثری نیرو موج را تامین و اثرات تفرق آن را بسیار کم می نماید و این به واسطه حاکم بودن شروط روابط ۴ در بیش از ۹۰ درصد اوقات سال برای این بویه

است.

در روند بهینه سازی بویه با کاهش قطر در انتهای عمق آبخور آن با زاویه ۴۵ درجه، اثرات دمپینگ کاهش یافته و باعث افزایش راندمان تولید می گردد. این تغییر فیزیک استوانه ای بویه در شکل شماره ۳ مشخص است.

کاهش ۰,۰۲ نسبت میرایی بویه، باعث افزایش ۱۲ درصدی توان بویه می گردد. لذا کل سیستم بویه، بایستی به شکلی طراحی شود که کمترین میرایی را ایجاد نماید، چرا که هر چه به سمت میرایی صفر نزدیک شود، میزان جابجایی ها بشدت افزایش می یابد و عکس آن نیز صادق است.

با اجرای ۱۰۰ دستگاه به صورت مزرعه ای از مبدل های جاذب نقطه ای انرژی امواج فوق، نیروگاه ۱ Mw خواهیم داشت.

## منابع

- [۱] استوارت ، هری ل. (۱۳۷۹)، هیدرولیک و پنوماتیک، اشتری نخعی، تیمور. چاپ دوم. انتشارات فنی ایران، تهران.
- [۲] ذبیحیان، فرشید. (۱۳۸۰)، امکان استفاده از انرژیهای نهفته در دریاهاى ایران برای تولید الکتریسیته، شانزدهمین کنفرانس بین المللی برق، وزارت نیرو، تهران.
- [۳] سازمان بنادر و دریانوردی ایران. (۱۳۸۵)، مدلسازی امواج دریاهاى ایران خلیج فارس و دریای عمان، مرکز تحقیقان اداره کل مهندسی سواحل و بنادر.
- [۴] سلمون، ج.ر. استراون، ا. (۱۳۸۲)، ماشینهای الکتریکی، لسانی، حمید. چاپ ششم. مؤسسه انتشارات امیرکبیر، تهران.
- [۵] کتابداری، محمدجواد. (۱۳۸۶)، امکانسنجی جذب انرژی از امواج در آبهای دریاهاى ایران، همایش ملی فناوری و صنعت دریایی کشور، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- [۶] قرشی، امیر حسین. (۱۳۸۰)، ارائه مدل و نقش ژنراتور القایی در توربین برق امواج، سومین همایش ملی انرژی، کمیته ملی انرژی وزارت نیروی جمهوری اسلامی ایران، تهران.
- [7] Antonio, F. & deo, Falcao. 2010. " Wave energy utilization: A review of the technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 14, pp. 899–918.
- [8] Dean R. G., Dalrymple R. A. 1991. " Water wave mechanics for engineers and scientists", 1 edition, USA.
- [9] Minoo, Patel. 1989. "Dynamics of Offshore Structures", First published.
- [10] Newman J. N. 1999. " Marine Hydrodynamics ", MIT Press. Ninth edition.