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

مهدی نظری برنجکوب*[۱]، حسن قاسمی[۲]

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 رزوناس 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 توان۱۰ 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

۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر. mehdi.nazari83@yahoo.com
۲) دانشیار دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر gasemi@aut.ac.ir
* نویسندهٔ مسئول

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

مقدمه

انـرژی امـواج دریـا بواسـطه روش هـای استحـصال آن، پـاک تـرین و غیرآلاینـده تـرین نـوع انـرژی در بـین انـرژی‌هـای دریـایی اسـت و بـرای استحـصال ایـن انـرژی از دو قـرن گذشـته راه هـای مختلفـی ارائـه گردیـده اسـت. اولـین قـدم در سـال ۱۹۶۵مـیلادی توسـط ژاپنـی هـا بـا سـاختن ده هـا فـانوس دریـایی کـه بـا انـرژی امـواج کـار میکردند، صورت گرفت[۲].

دسـتگاه هـای مبـدلی ماننـد سـتون نوسـانگر آب[۱]، نوسـانگر مـوج ارشـمیدس[۲]، جـاذب نقطـه ای انـرژی امـواج[۳] و دسـتگاه مبـدل پلامـیس[۴] را مـی‌تـوان نمونـه هـای مـوفقی دانـست کـه بـا جـذب انـرژی تغییـرات دامنـه مـوج و در منـاطقی بـا تـوان متوسـط ۴۰ کیلـووات در واحـد عـرض تـاج هـر مـوج و در سـواحل اقیانوسـی امریکـا، اسـترالیا، اسکاتلند، پرتغال و انگلستان کار می کنند[۷].

دستگاه مبدل طراحـی شـده بـا نمونـه هـای جـاذب نقطـه ای انـرژی امـواج کنـونی در سـطح دنیـا، از نظـر بدنـه و شکل ظـاهری تـشابه زیـادی دارد، ولـی بـا توجـه بـه ارتفـاع کـم امـواج در خلـیج فـارس و تـوان متوسـط بـین ۳ تـا ۵ کیلـووات در منطقـه عـسلویه کـه جـزو منـاطق آرام خلـیج اسـت، سیـستمی طراحـی گردیـد کـه قابلیـت جـذب انـرژی امواج ارتفاع کوتاه و ذخیره سازی آن را داشته باشد.

ارزیابی مشخصات امواج خلیج فارس در منطقه عسلویه

منطقـه عـسلویه در شـرق خلـیج فـارس واقـع شـده اسـت و جـزو منـاطق آرام خلـیج فـارس از منظـر بلنـدی و تلاطم امـواج اسـت. بویـه انـدازه گیـری مشخـصات امـواج دریـایی سـازمان بنـادر و دریـانوردی ایـران در $۵۲,۵^{o}$ طـول جغرافیـایی و $۲۵,۵^{o}$ عـرض جغرافیـایی و در منطقـه ای بـا ژرفـای ۲۵ متـر قـرار دارد و از حـدود سـال ۱۳۸۵مشخـصه امواج منطقه را اندازه گیری و ثبت نموده است[۳].

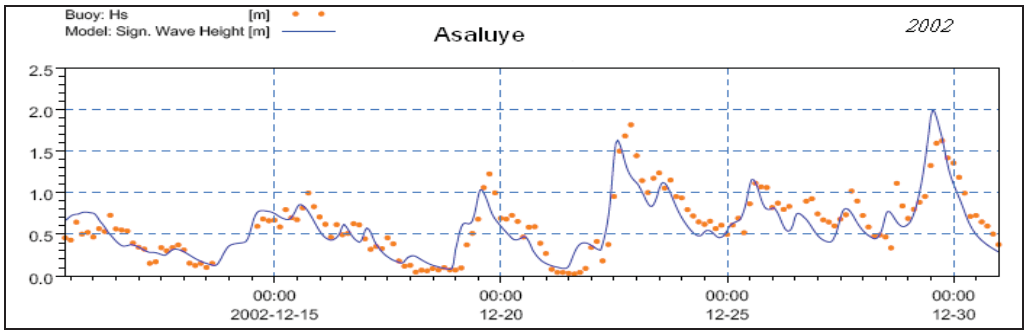
پـروژه ای تحـت عنـوان مـدل‌سـازی امـواج دریاهـای ایـران[۵] (ISWM) بـه کمـک اطلاعـات موجـود بـاد منـاطق مختلف ساحلی کشور و اندازه گیری انجـام شـده بویـه مـوج نِگـار سـازمان هواشناسـی و شـرکت نفـت، توسـط سـازمان

---

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)

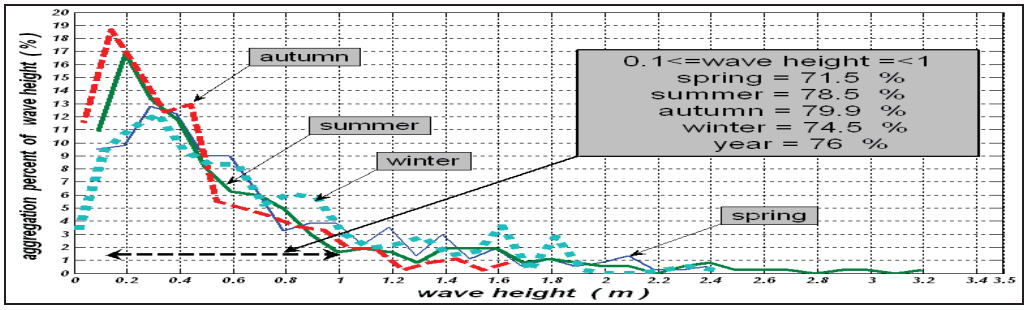
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

بنـادر و دریـانوردی ایـران تعریـف گردیـد و توسـط مرکـز ملـی اقیـانوس شناسـی و مؤسـسه تحقیقـات هیـدرولیک دانمـارک (DHI) بـا موفقیـت انجـام شـد و ۸۰ درصـد صـحت مـدل‌سـازی هـا توسـط مؤسـسه تحقیقـات هیـدرولیک دانمارک تائید گردیده است[۳]. شـکل (۱) مقایـسه اسـت بـین ارتفـاع مشخـصه امـواج انـدازه گیـری شـده توسـط بویـه مـوج نگـار سـازمان هواشناسـی و مقـادیر حاصـل از مـدل‌سـازی امـواج در پـروژه iswm در سـاحل عـسلویه خلـیج فارس[۳].



شکل۱) 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 یکساله‌ای 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[۱] برای پذیرش نامحـدود داده‌هـای (امـواج) ورودی طراحـی 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 شـرایط جغرافیـایی آن است. شکل (۲) درصد تجمعی ارتفاع امواج (H_w) در فصول مختلف سال ۱۳۸۱ را نشان می دهد.



شکل۲) درصد تجمعی ارتفاع امواج در فصول مختلف سال ۱۳۸۱ در منطقه عسلویه

۱) MATLAB

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

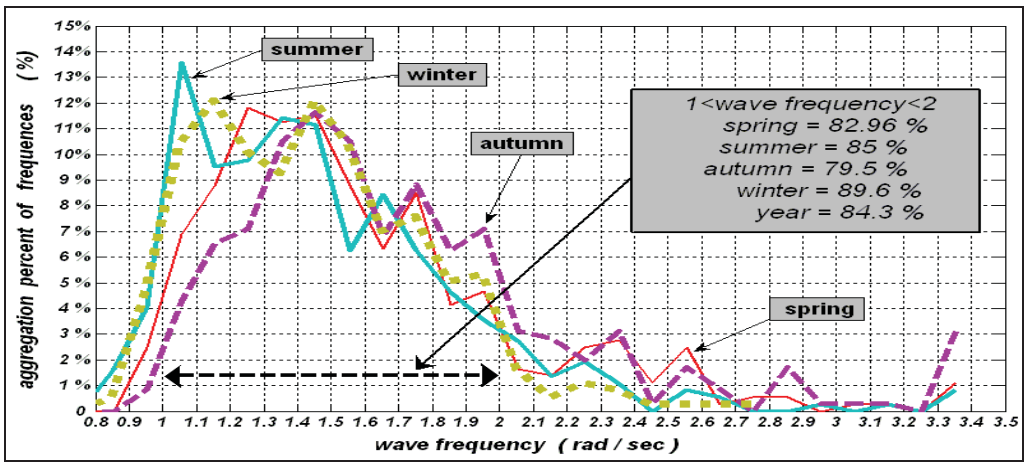
با کنترل نسبت عمق متوسط دریا (dw) در منطقه، به زمان تناوب تمامی امواج، به کمک روابط ۱ حاکمیت فرض عمیق بودن دریا [۸]، با ۹۲٫۶ درصد کل اوقات سال تائید می گردد. ضمن آنکه، شرایط فوق هیچگاه در موقعیت آب کم عمق قرار نمی گیرد.

با معلوم بودن ارتفاع مشخصه (H_S) و پریود موثر (T_e)، توان امواج (P_e) را می توان با رابطه۲ 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.

$$\frac{dw}{g.T_n^{\,2}} > 0.0792 \qquad \text{or} \qquad \frac{dw}{\lambda_n} > 0.5 \tag{۱}$$

$$P_e = 0.42.H_s^{\,2}.T_e \qquad (kw/m) \tag{۲}$$

پیش بینی توان متوسط ۳٫۲۷ kw/m بیانگر عدم توجیه پذیری استحصال انرژی امواج در این منطقه با استفاده از سیستم‌های کنونی است، اکثر دستگاه های 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[۱]) می تواند یک راه حل منطقی باشد. در نتیجه، فرکانس امواج منطقه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید امواجی با فرکانس های بین ۱ تا ۲ رادیان بر ثانیه در بیش از ۸۴٫۳ درصد اوقات سال حاکم هستند. شکل(۳)، درصد تجمعی فرکانس امواج (ω) را در فصول مختلف سال ۱۳۸۱ نشان می دهد.



شکل۳) درصد تجمعی فرکانس امواج در فصول مختلف سال ۱۳۸۱ در منطقه عسلویه

۱) Resonant

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

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

با توجه بـه غالـب بـودن امـواج ارتفـاع کوتـاه در منطقـه (امـواجی بـا ارتفـاع بـین ۰٫۲ تـا ۰٫۸ متـر)، سیـستم هـای الکترومغناطیسی تبدیل کنندهٔ حرکت هیو[۱] بویه جاذب انرژی مبدل های متعارف، قابلیت خود را جهت جـذب انـرژی پـاک امواج منطقه از دست می‌دهد. در نتیجه، سیستمی هیدرولیکی طراحی گردید که با عملکردی مداوم و آهسته، قابلیـت جمـع آوری انرژی امواج ارتفاع کوتاه را به صورت انباشته ای از فشار هیدرولیکی داشته باشد. سپس جهت تولید روغـن پـر فـشار 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 اتفـاق افتـاده و در نتیجه، جک هیدرولیکی که با یک میله (شافت[۲]) به بویه متصل است با همان فرکـانس شـروع بـه نوسـان در جهـت قـائم می‌نماید. این نوسان، روغن را از مخزن به انباره پمپاژ نموده و در نهایت، روغن پر فشار، هیدروموتور کوپله شده بـا ژنراتـور دورانی را به کار خواهد انداخت. تصویر سمت راست شکل۴، این الگوریتم کار سیستم را تشریح می نماید.

برای عملی شدن الگوریتم فوق، دستگاه مبدلی مطابق تصویر سمت چپ شکل۴ شامل سه بخش اصـلی؛ بویـه شـناور جاذب انرژی امواج[۳]، استوانه بدنه اصلی[۴] و صفحه مهار خیز هیو[۵] طراحی گردید. مجمـوع ایـن سـه قـسمت بـه ترتیـب بـا شماره‌های ۸، ۹، ۱۰ در شکل۴ مشخص است. این سه قسمت می بایست به شکلی هماهنگ با هم کار کنند کـه سیـستم 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 حرکـت هیـو توسط ادامه استوانه بدنه اصلی مهار گردیده است.

قسمت دوم؛ یک استوانه نسبتاً لاغر دو قسمتی بنام اسپار است که دستگاه های هیدرولیکی شـامل جـک هیـدرولیکی، هیدروموتور، انباره تحت فشار، مخزن روغن، شیرهای کنترل فشار و دیگر قطعـات هیـدرولیکی و الکترونیکـی و همچنـین سیستم کوپلینگ و ژنراتور را در خود جا داده است. وظیفه دیگر این بدنه مهارِ حرکت‌های بویه و انتقال نیروهـا بـه صـفحه مهارخیز هیو دستگاه که حکم تگیه گاه دستگاه را برعهده دارد، می باشد.

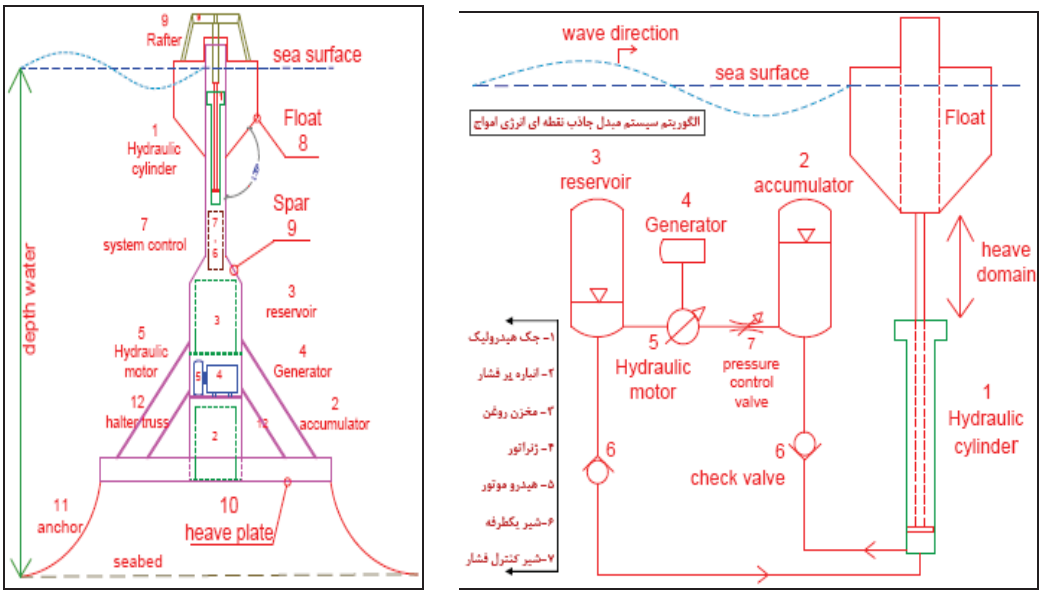
قسمت سوم؛ یک استوانه کاملاً پهن است با ارتفاع کم و قطر بسیار زیاد به نام صفحه مهار خیز هیو که وظیفه کنترل

---

۱) heave
۲) Shaft
۳) float
۴) Spar
۵) Heave Plate

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

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



شکل٤) 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 ١٣٨١ 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

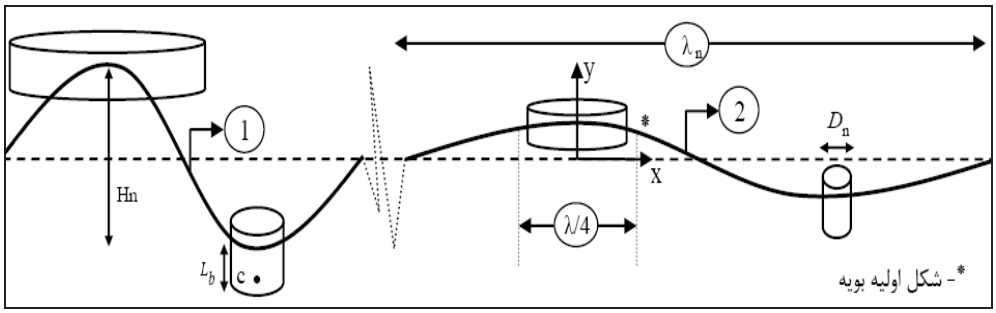
موج به دست می‌آید، باید قطرها به گونه ای انتخاب گردد تا همواره فشار حاصل از موج، تمام سطح بویه را به طور یکنواخت در برگیرد. در این صورت، حداکثر نیرو جذب خواهد شد.

شکل (۵) تاثیرات قطر بویه در یکنواختی فشار زیر سطح بویه و جذب حداکثری نیرو موج را نشان می دهد. بویه ای با قطر زیاد در موج های تیز، مانند موج شماره۱ در شکل (۵) ،قادر به جذب حداکثری نیرو موج نبوده و همچنین بویه های کم قطر نیز در موج های نرم، مانند موج شماره۲ در شکل (۵)، به علت مساحت کم آنها، نیروی حداقلی را جذب می نمایند و بهینه نیستند.

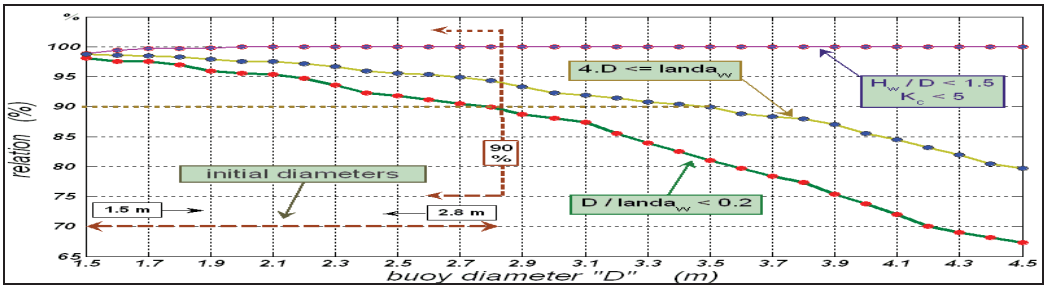
به منظور جذب حداکثری نیروی تمامی امواج دریا در سال طرح (۱۳۸۱) با یک فرض مهندسی، محدودیت برای قطرهای بزرگتر از یک چهارم طول موج تمامی امواج، مطابق رابطه۳ اعمال گردید و جهت حذف پدیده تفرق محدودیت قطر با روابط۴ [۸]، در برنامه بهینه سازی بویه با فرض اولیه قطرهای ۱,۵ تا ۴,۵ متر با بازه ۱۰سانتی متری منظور شد. نتایج در شکل۶ 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.

$$\frac{\lambda_n}{4} > D_n \qquad (۳)$$

$$\frac{D_n}{\lambda_n} < 0.2 \qquad \frac{H_n}{D_n} < 1.5 \qquad (۴)$$



شکل۵) تاثیرات قطر بویه در یکنواختی فشار زیر سطح بویه و جذب حداکثری نیرو موج



شکل٦) تاثیرات اندازه قطر بویه بر کنترل های رابط ۳ و ٤

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

نیروی امواج

با صادق بودن فرضیات تئوری امواج خطی در شرایط فوق، روابط فشار دینـامیکی و شـتاب ناشـی از مـوج، بـه ترتیـب مطابق روابط ۵ و ۶ است[۸]. از آنجایی که فقط جذب حداکثری نیرو موج در جهت y مَد 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 جهـت y (m_{22})، از رابطـه۷ بـه دست می‌آید [۱۰].

$$P = \frac{g.\rho}{2}.H_w.e^{ky}.\cos(kx-\omega t) \qquad (۵)$$

$$\dot{U}_x = \frac{H_w}{2}.\omega^2.e^{ky}.\sin(kx-\omega t) \quad , \quad \dot{U}_y = -\frac{H_w}{2}.\omega^2.e^{ky}.\cos(kx-\omega t) \qquad (۶)$$

$$m_{22} = 0.167.\rho.D^3 \qquad (۷)$$

نیروی ناشی از شتاب سیال (موج) که به نیروی فرود_کریلو[۱] معروف است در جهت (y) برای بویه استوانه ای، برابر بـا رابطه ۸ است و نیرو حاصل از شتاب نسبی بین بویه و سیال که به نیـروی شـتاب[۲]معـرف اسـت در جهـت (y) از رابطـه ۹ حاصل می گردد [۹]. نیروی حاصل از سرعت سیال (نیروی درگ[۳]) براساس شرایط اولیه ابعاد بویه و مشخصه هـای امـواج در بیش از ۹۰ درصد اوقات ناچیز می باشد (کنترل روابط ۴)، لذا میتوان از مقدار آن در محاسبات صـرفنظر کـرد و نیـروی اعمالی از سمت موج به بویه را همان نیروی اینرسی (F_I) مجموع نیروی فرود_کریلو و نیروی شتاب دانست.

$$F_{fy} = P_c.A_c = [\frac{g.\rho}{2}.H_w.e^{ky}.\cos(kx-\omega t)].A_c \qquad x=0 \quad y=y(n)\,, \qquad (۸)$$

$$F_{ay} = \frac{m_{22}}{2}.\dot{U}_y = \frac{m_{22}}{2}.[-\frac{H_w}{2}.\omega^2.e^{ky}.\cos(kx-\omega t)] \quad F_I = F_{fy} + F_{ay}\,, \;,\; x=0 \quad y=y(n)\,, \qquad (۹)$$

دامنه حرکت بویه

قبل از محاسبه دامنه حرکت بویه، نیاز به به دست آوردن مقادیر فرکانس طبیعی (ω_n)، ضریب میرایی (c) و سـختی 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

ضمن آنکه، برای محاسبه نسبت میرایی (η) که بیانگر نسبت میرایی (c) بـه میرایـی بحرانـی(c_c) اسـت، بـه روش سعی و خطا عملیات ریاضی آن محاسبه گردید، به این ترتیب که ابتدا ضریب میرایی (c) حاصل از فرض جابجـایی بویـه به اندازه دامنه موج در نیمی از زمان پریود موج، مطابق با رابطه میانی شماره۱۰ محاسبه گردید و براساس آن، مقدار نـسبت میرایی اولیه (η) به دست آمد، سپس با قرار گیری این مقدار η در رابطه ۱۱[۹]، مقدار جابجـایی اولیـه (Δy) بـا فـرض فوق محاسبه شد، پس از آن با معلوم بودن جابجایی و زمان آن، سرعت هیو بویه ($\dot{y}_{\max}$)، به دست آمده و با جایگـذاری این مقدار در رابطه ضریب میرایی (c)، مقدار نسبت میرایی (η) تصحیح می گردد و این حلقه محاسباتی ادامه داده شد تـا رسیدن به سرعت هیو بویه نزدیک به سرعت هیو بویه مرحله محاسباتی قبلی این سیکل، در پایـان ایـن حلقـه محاسـباتی دامنه حرکت هیو بویه با تصحیحات مکرّر نسبت میرایی به دست می آید.

$$\omega_n=\sqrt{\frac{K_y}{m+m_{22}}} \quad , \quad c=\frac{8}{3.\pi}.[\dot{y}_{MAX}].[\frac{1}{2}\rho.c_d.L_b.D] \;\; , \; K_y=\rho.g.A_{wp} \qquad c_d \propto L_b, D, \qquad (۱۰)$$

$$\Delta y=\frac{F/k_y}{\sqrt{[1-(\frac{\omega}{\omega_n})^2]^2+[2.\eta.\frac{\omega}{\omega_n}]^2}} \qquad \eta=\frac{c}{c_c}, \qquad c_c=2.(m+m_{22}).\omega_n, \qquad (۱۱)$$

عملکرد بویه در تولید روغن پر فشار

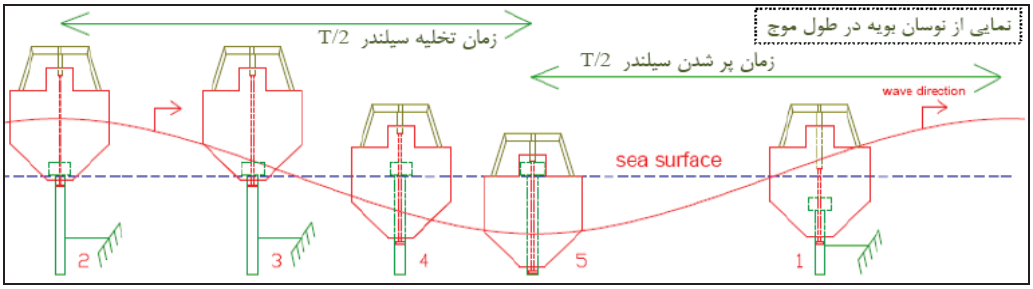
با برخورد موج به بویه، ابتدا بویه به سمت بالا (+y) حرکت کرده و در طول این حرکت، روغن از داخل مخزن به سمت زیر شافت جک هیدرولیکی مکش می شود و با رسیدن موج به قله خود (نقطه۲ شکل۷)، سیلندر جک دستگاه، پر از روغـن خواهد بود.

با گذر موج، بویه تمایل به بازگشت دارد ولی فشار روغن داخل سیلندرکه به انباره پر فشار متصل اسـت اجـازه نخواهـد 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 رابطـه۱۲ بتواننـد در سـیلندر فشاری بیش از فشار موجود در انباره ایجاد نمایند(نقطه۳ شکل۷). این اتفاق امکان دارد بلافاصله پس از گـذر مـوج از قلـه خود اتفاق بیفتد و یا چند ثانیه پس از آن و حتی امکان دارد در لحظه رسیدن موج به قعـر آن(نقطـه۵ شـکل۷) کـه جهـت 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 می‌تـوان با رابطه۱۲ بیان نمود. هر گاه فشار سیلندر از فشار انباره بیشتر شود، حرکت رو به پـایین بویـه آغـاز خواهـد شـد. بنـابراین، بایستی وزن واحد طول بویه (m/l) زیاد باشد تا با اندکی جابجایی و حذف شدن نیروی شناوری بویانسی در اثر گذر مـوج فشار مورد نیاز در نیمه اول زمان پریود موج حاصل شود.

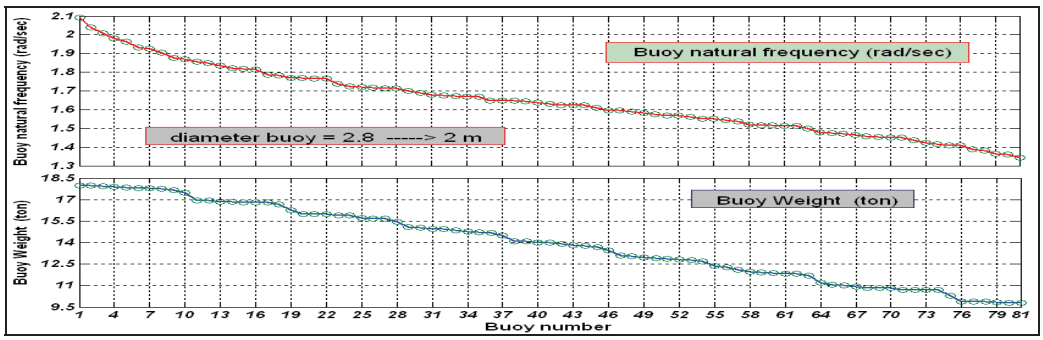
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

$$P_{Cylinder}(t) = \frac{[F_I(t) + F_{weight_buoy}(t) + F_{buoyancy}(t)]}{A_{shaft_cylinder}} \geq P_{accumulator} = Fix \qquad (١٢)$$



شکل۷) 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 حدود 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 رزوناس در بویه ها، 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 مهاری دستگاه نزدیک باشند. با این محدودیت ها، 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.



شکل۸) 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

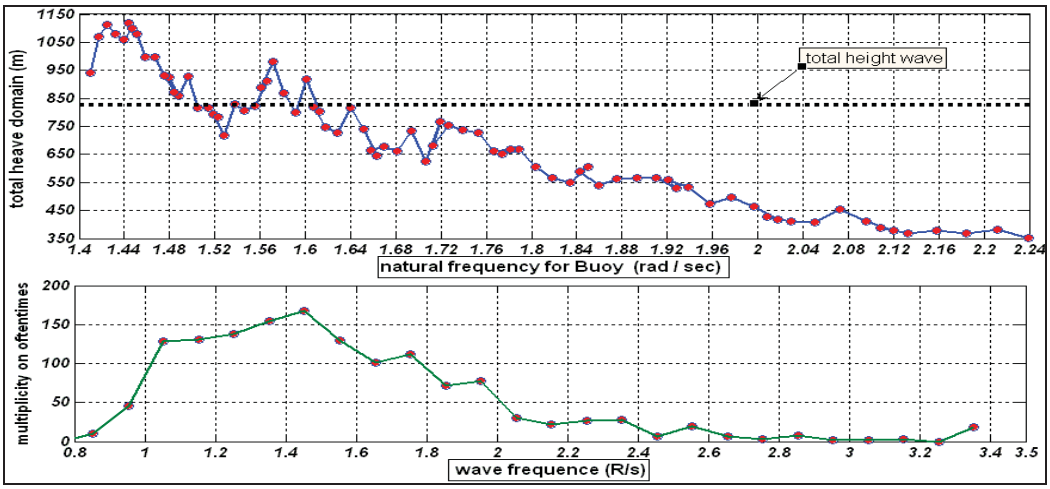
به کمک کد نویسی در محیط متلب، کلیه امواج ثبت شده منطقه به ۸۱ بویه انتخابی اعمال گردید و پاسخ های دامنه هیو، تعدد پیدایش فشار موثر (P=50 bar) در طول سال و همچنین توان تولید دبی متوسط روغن پر فشار برای تک تک بویه ها به دست آمد و با توجه به اهمیت پدیده تشدید و دمپینگ بر میزان جذب انرژی امواج، آنالیزهایی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

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

رابطه۱۱ بیان می کند با نزدیک شدن فرکانس طبیعی بویه به فرکانس موج اعمالی، دامنه تغییرات افزایش می‌یابد. در فرایند انتخاب و بهینه سازی بویه جاذب انرژی فوق نتیجه نیز همین گونه بوده است. همانطور که در تصویر فوقانی شکل۹ 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 شکل۹) بویه ها دارای جابجایی بیشتری شده اند.

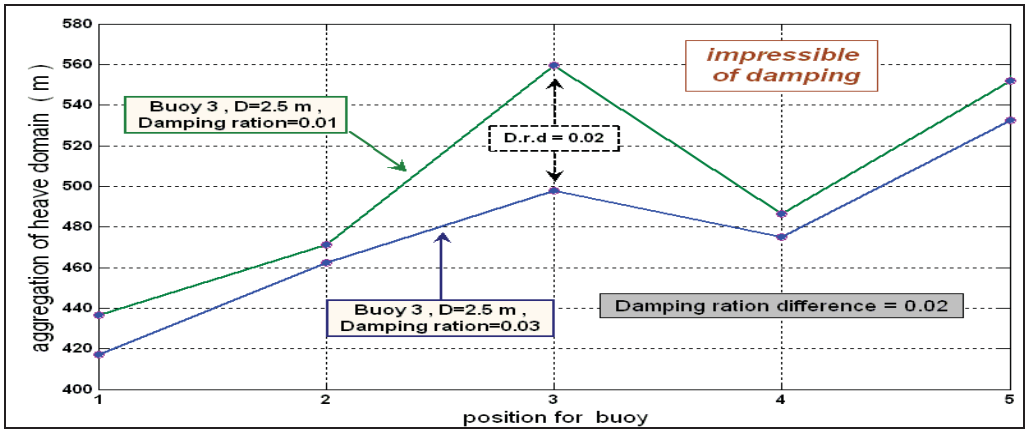
در بویه هایی با فرکانس ۱,۴۵ (با فرض نسبت میرایی۰,۰۰۱)، مجموع جابجایی در طول سال بیش از۱۳۰درصد کل ارتفاع امواج اعمالی است، این در حالی است که مساحت تاثیر گذاری موج بر بویه (قطر بویه) به شدت در حال کاهش است و می توان نتیجه گرفت که در جذب انرژی از امواج پارامتر فرکانس طبیعی تاثیر بیشتری نسبت به سطح بویه (بزرگی بویه) دارد.

با افزایش ۱۳۰ درصد دامنه نوسانی بویه در اثر پدیده تشدید و با فرضیات فوق و بر اساس رابطه۲، می توان توان استحصالی را تاحدود 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 شکل۱۰ مشاهده نمود.



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

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]



شکل ١٠) تاثیر دمپینگ بر دامنه تغییرات حرکت هیو بویه

توان بویه

تصویر فوقانی شکل (١١) متوسط فشار تولیدی توسط هر بویه را نشان می دهد. بویه ای با قطر ٢ متر، به دلیل کم بودن وزن واحد طولش فشار متوسط کمتری را تولید نموده است.

تصویر میانی شکل (١١) متوسط تولید روغن٥٠ بار فشاری را در طول سال بر حسب لیتر بر ثانیه برای تمامی بویه ها نشان می‌دهد. دلیل افزایش تولید روغن پر 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 ١,٧ لیتر در ثانیه به عنوان گزینه های برتر انتخاب گردید. با مقایسه مجموع توان هیدرولیکی (P_b) این بویه ها که از رابطه١٣ و بر حسب اسب بخار محاسبه گردیده [١] و نتایج آن در تصویر پایین شکل (١١) بصورت نمودار مشخص است، بویه های شماره ٧٢، ٧١، ٤٥ به ترتیب بویه های برتر خواهند بود.

از بین بویه های برگزیده، بویه شماره ٤٥ به واسطه داشتن طول آبخور[١] کمتر که نتیجه آن کاهش تاثیر نیروهای افقی امواج و کاهش سختی لنگرهای مهاری دستگاه خواهد بود، به عنوان بهینه ترین بویه جهت دستگاه مبدل انرژی امواج انتخاب گردید. این بویه با قطر ٢,٤ متر قادر است با نسبت میرایی(η)، حدود ٠,٠٣ بطور متوسط در هر ثانیه ١,٩٩ لیتر روغن با فشار متوسط bar ٧٦,١، تولید نماید.

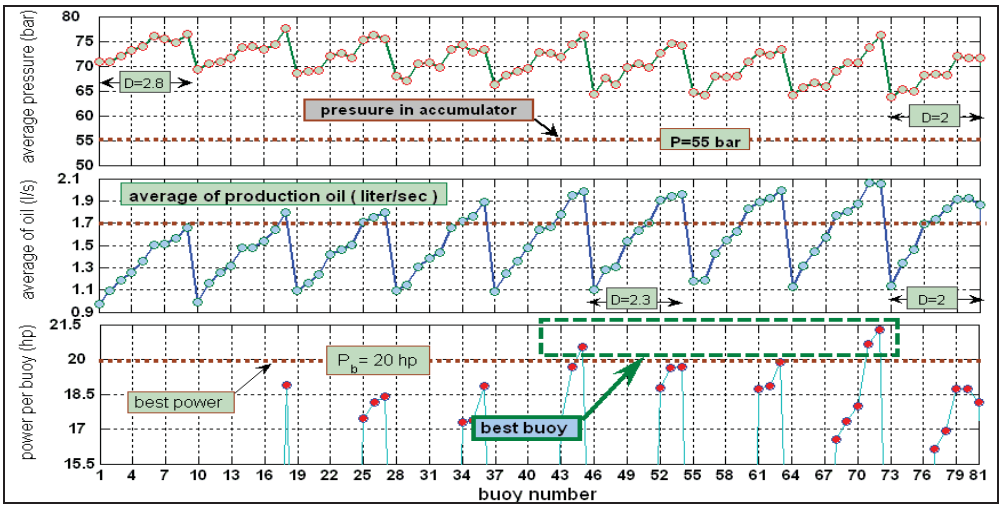
آنالیز محاسبات نشان می دهد که با کاهش نسبت میرایی(η) (دمپینگ) به ٠,٠١ تولید روغن به ٢,١٢ لیتر در ثانیه و

١) Draft

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

با فشار متوسط ۸۰٫۶ بار خواهد رسید، یعنی توان بویه با ۱۲درصد تغییر از مقدار ۲۰٫۵۵ HP به ۲۳٫۲ HP مـی رسـد. بویـه ۴۵ نسبت به بویه های ۹ و ۱۸ دارای توان تولید فشار متوسط کمتر و یا برابری اسـت، ولـی بـه واسـطه داشـتن فرکـانس طبیعی ۱٫۴۵ r/s که متوسط فرکانس امواج منطقه است، جابجایی هیو بیشتری داشته که این مزیت باعـث افـزایش تولیـد روغن پر فشار و برتری آن گشته است.

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



شکل۱۱) فشار و دبی متوسط تولیدی و توان هر بویه

طراحی هیدروموتور

با توجه به تولید متوسط فشار بویه حدود ۷۶ بار می‌توان فشار ۵۵ بار را برای انباره نوع پیستونی با حجمـی حـدود ۵۰۰ برابر دبی جریان، تامین نمود. در نتیجه، روغن از انباره پیستونی (انباشتگر[۱]) تحت فـشار (بـیش از ۵۵bar) بـا کنتـرل‌هـای تنظیم فشار، وارد هیدروموتور شده و با فشار کم از آن خارج می شـود و بـه سـمت مخـزن، جهـت اجـرای سـیکل بعـدی، ذخیره سازی می‌شود. بدین وسیله نیروی سیال به نیروی مکانیکی تبدیل می گردد.

معیار سنجش نیروی دورانی محور محرک موتور را گشتاور گویند که تحت تاثیر فـشار ورودی بـه هیـدروموتور اسـت. حجم روغن ورودی به هیدروموتور فقط بر دور موتور تاثیرگذار است و بر گشتاور آن اثری ندارد. با این مقدمـه و بـا داشـتن

۱) Accumulator

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

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 کنندهٔ الکتریسیته الزامی است[۴]. با عدد گذاری در روابط زیر، گشتاور هیدروموتور ۱,۲۷ N.mبرای 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.

$$V_g(cm^3) = \frac{1000 \times Q(liter/min)}{N_m(rpm)} \tag{۱۴}$$

$$T_m(N.m) = 0.016 \times \Delta P(bar) \times V_g(cm^3) \quad , \quad P_m(Kw) = \frac{T_m(N.m) \times N_m(rpm)}{9550} \tag{۱۵}$$

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 می‌باشند.

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 بخش‌های 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

کلاس F و حرارت محیط ۴۵ درجه سانتیگراد طراحی و انتخاب شود[۶]. بـا ایـن مقـدمات و داشـتن مشخـصات و قـدرت هیدروموتور، یک ژنراتور سنکرون چهار پین با دور چرخش rpm ۱۵۰۰ که به طور مستقل با راندمان ۹۰ درصد تولید بـرق حدود ۱۰kw/hourمی نماید، انتخاب گردید.

نتیجه گیری

ساحل منطقـه عـسلویه دارای امـواج ارتفـاع کوتـاه اسـت کـه ایـن امـر بـه دلیـل یکنـواختی پـستی و بلنـدی هـای ساحلی و طول کم بادخیزی منطقه و عمق کم و تغییرات ملایم توپوگرافی بستر خلیج فارس می باشد.

وجـود امـواجی بـا زمـان تنـاوب مـشابه (فرکـانس ۱ تـا r/s ۲ در ۸۴,۳ درصـد سـال) طراحـی بویـه تـشدیدی جاذب انرژی امواج را این منطقه امکان پذیر می نماید.

پیش بینی تـوان kw/m ۳,۲۷ بـرای امـواج سـواحل عـسلویه، بیـانگر تـوان پـایین و رانـدمان کـم در استحـصال ایـن انرژی پاک بر مبنای دسـتگاه هـای مبـدل انـرژی امـواجِ متعـارف کنـونی در سـطح جهـان اسـت کـه بـا تـوان متوسـط امواج kw/m ۴۰ کار می‌کنند.

اعمـال سـه تغییـر زیـر در مبـدل هـای متعـارف جـاذب نقطـه ای انـرژی امـواج، رانـدمان دسـتگاه و استحـصال انرژی امواج دامنه کوتاه منطقه عسلویه (خلیج فارس) را توجیه پذیر می‌نماید.

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 مبـدل انـرژی امـواج دریـا، پـارامتر فرکـانس طبیعـی بویـه جـاذب انـرژی، تـأثیر بیـشتری نـسبت بـه بزرگـی بویه در جذب حداکثری انرژی دارد.

پدیده تشدید، باعث افزایش مجموع جابجایی بویه ها، با تغییر فرکانس طبیعی آنها از ۲,۴ تـا ۱,۴، بـه بـیش از ۳ برابـر می‌شود و در بهینه ترین بویه، افزایش۱۳۰درصدی ارتفاع کل حرکت هیو بویه را نسبت به مجموع ارتفاع امواج یکساله و در زمان تاثیر یک پریود برای هر موج ایجاد می‌کند.

پدیده تشدید در طراحی بویه در بهینه ترین حالت، باعث افزایش توان استحصالی از ۳,۲۷ kw/m به ۵,۵۳ kw/m بـر اساس رابطه۲می گردد.

قطر بهینه انتخاب شده بویه جاذب فوق، یکنواختی فشار زیر سطح بویه و جذب حداکثری نیرو مـوج را تـامین و اثـرات 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

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]

است.

در روند بهینه سازی بویه با کاهش قطر در انتهای عمق آبخور آن با زاویه ۴۵ درجه، اثـرات دمپینـگ کـاهش یافتـه و باعث افزایش راندمان تولید می گردد. این تغییر فیزیک استوانه ای بویه در شکل شماره۳ مشخص است.

کاهش۰,۰۲ نسبت میرایی بویه، باعث افزایش۱۲درصدی توان بویه می گردد. لذا کل سیستم بویه، بایستی بـه شـکلی 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 فـوق، نیروگـاه Mw ۱ خـواهیم 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 دریاهای ایران بـرای تولیـد الکتریـسیته، شـانزدهمین کنفـرانس بین‌المللی برق، وزارت نیرو، تهران.

[۳] سازمان بنادر و دریانوردی ایران. (۱۳۸۵)، مدلسازی امواج دریاهای ایران خلیج فارس و دریای عمان، مرکـز تحقیقـان اداره کـل 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 دریاهای 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 انـرژی، کمیتـه ملـی 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.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-12-17]