J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 4, 2023: 59-70

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص: ۵۹- ۷۰

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8

مدلینگ و شبیه سازی ژنراتور به روش المان محدود جهت تولید برق ازامواج دریا

عبدالکریم افروزه [۱و*]، رضا یزدان‌پناه [۲]

*۱- دانشیار فیزیک، مجتمع آموزش عالی لارستان، لار، ایران. afroozeh@lar.ac.ir

۲- استادیار مهندسی برق، مجتمع آموزش عالی لارستان، لار، ایران. ryazdanpanah@lar.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۲۲، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۳

چکیده

در این مطالعه برای مدل سازی ژنراتوراز روش المان محدود به عنوان یکی از دقیق‌ترین روش‌های شبیه‌سازی برای محاسبات مورد نظر استفاده شده است که می تواند در سواحل و بندرگاهها و بدنه کشتی ها استفاده شود و حرکات نوسانی امواج آب رابه راحتی تبدیل به انرژی برق کند. در این مقاله مکانیزم این نوع مولد مدل سازی و شبیه سازی گردیده است. نتایج شبیه سازی ها نشان داد پیاده سازی و ساخت این مولد ها دارای بازدهی مناسب و صرفه اقتصادی بالایی است. ادر این مطالعه طراحی ژنراتور شامل روتور، استاتور و سیم‌بندی طور کامل بررسی خواهد شد. بدین منظور ابتدا روابط ریاضی مربوط به ژنراتور بیان گردیده و در انتها طراحی تحلیلی یک نمونه ژنراتور مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این مطالعه بازده ژنراتور در حدود ۹۱/۸ درصد است. ژنراتور مورد نظر در سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه توانی معادل با ۱ کیلو وات تحویل می‌دهد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** afroozeh@lar.ac.ir

کلمات کلیدی: انرژی تجدید پذیر، امواج دریا، انرزی موج

۱- مقدمه

انرژی ناشی از امواج دریا ، یکی از انواع انرژی های تجدیدپذیر است که در کنار منابع دیگری نظیر انرژی خورشیدی و باد، مورد توجه قرار گرفته است. انرژی امواج و انرژی جزر و مد را می توان مهمترین زیر مجموعه های انرژی های دریایی به شمار آورد. به دلیل تفاوت های موجود در ویژگی ها و روش های فنی جذب آن ها ، توسعه این دو منبع راه متفاوت و مستقلی را طی کرده است .نیروگاه های جزر و مدی به علت شباهت با نیروگاه های آبی واستفاده از فناوری های نو ، به پیشرفت های شگرفی نایل آمده است . اما بروزمشکلات زیست محیطی باعث شده است که تحول و ایجاد تغییرات اساسی در روش کار ضروری شود[۱].

نیروگاه های امواج از تنوع زیادی برخوردار هستند. برخی بر روی آب شناورند و برخی دیگر در ساحل نصب می شوند. همچنین نحوه درگیری آن ها با امواج و درنتیجه نوع حرکتی که جذب می کنند با هم تفاوت بسیار دارد. علاوه بر کارهای مطالعاتی،نمونه های کوچکی نیز از برخی سیستم های موجی در نقاط مختلف جهان ساخته شده و موردآزمایش قرار گرفته است.

امواج توسط ارتفاع، طول موج و دوره تناوبشان مشخص می شوند. قدرت امواج معمولاً بر حسب کیلووات بر متر بیان می شود که نمایانگر شدت انتقال یا عبورانرژی از یک خط فرضی به طول یک متر و موازی با جبهه موج است. امروزه فناوری

نحوه استناد به این مقاله: عبدالکریم افروزه، رضا یزدان‌پناه. مدلینگ و شبیه سازی ژنراتور به روش المان محدود جهت تولید برق ازامواج دریا. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۴) : ۵۹-۷۰.

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]

تولیدانرژی از موج اقیانوس ها وجود دارد، به طوری که بیش از ۴۰۰ اختراع در این زمینه به ثبت رسیده است که از آن ها به سه روش اصلی استفاده از کانالی به شکل مخروط ناقص ،استفاده از حرکت عمومی امواج اقیانوس توسط مکانیزم های گوناگون و استفاده از یک ستون نوسانی آب می توان اشاره کرد[۲] .

تولید انرژی از حرکتهای نوسانی امواج دریا در سواحلی که سرعت باد زیاد هست توجیه پذیر است لذا جغرافیای محل نیز برای احداث این نوع مولدها مهم می باشد. چنین مکان هایی در همه جایافت نمی شوند. اما تا به حال تعداد نسبتاً زیادی شناسایی شده اند.

در حال حاضرتعداد کمی نیروگاه جزر و مدی در جهان احداث شده است .نخستین و بزرگ ترین آن ها که از نوع تک حوضچه ای و دو اثری بوده،با ظرفیت ۲۴۰ مگاوات در لارانس فرانسه تأسیس شده است که جنبه تجاری دارد. به غیر ازآن، نیروگاه ۲۰ مگاواتی آناپولیس در کانادا، نیروگاه آزمایشی ۴۰۰ کیلوواتی کیسلایاگوبا در شوروی سابق و نیروگاه ۳/۲ مگاواتی جیانگزیا در چین را می توان نامبرد. همچنین چند ایستگاه کوچک چند منظوره در چین احداث شده است. علاوه بر انرژی جزر و مد و امواج، انرژی حرارتی اقیانوس ها یا دریاها که از اختلاف دمای آب های سطحی و آب های عمق ۱۰۰۰ متری دریاهای بزرگ استفاده کرده و یک سیکل کم راندمان و دما پایین ترمودینامیکی را بین این دو منبع حرارتی سردو گرم برقرار می کند نیز مورد توجه و بهره برداری آزمایشی قرار گرفته است[3].

۲- اصول عملکرد مولد های انرژی از امواج

انرژی امواج عمدتاً ناشی از تاثیر باد روی سطح دریا است و باد، خود حالت خاصی از انرژی خورشیدی است که به عنوان منبع انرژی پاک و تجدیدپذیر می‌تواند نقش مهمی در تامین نیازهای روزافزون انرژی جهان ایفا نماید .انرژی موج نامنظم، نوسانی و دارای فرکانس پایین است که قبل از اضافه شدن به شبکه باید به فرکانس ۶۰ هرتز تبدیل شود. بر اساس برآوردهای انجام شده، کل انرژی امواج در جهان ۲ تراوات (۲ میلیون مگاوات) انرژی الکتریکی باشد. به طور تقریبی حداکثر ۲۰ درصد از این انرژی قابل استحصال است. تا اواسط دهه ۹۰ بیش از ۱۲ سامانه متمایز برای استحصال این انرژی پیشنهاد شده و اکنون تعداد بیشتری از سامانه های جدید معرفی شده اند که تنها تعداد کمی از آن ها از نظر اقتصادی و فنی امکانپذیر هستند .انرژی موج را نمی توان در هر نقطه ای استحصال کرد . بهترین مناطق جهت احداث نیروگاه، نقاطی است که ارتفاع موج زیاد باشد بنابراین مناطق بادخیز که عموما بین عرضهای جغرافیایی ۴۰ و ۶۰ درجه هستند، یا تنگه های باریک، حاشیه جزایر و قطعات خشکی مرتفع کنار دریا مناطق مناسبی محسوب می شوند. سواحل غربی اسکاتلند، شمال کانادا، جنوب آفریقا، و سواحل شمال شرقی و شمال غربی ایالات متحده آمریکا از نظر پتانسیل انرژی امواج غنی هستند. برآوردها حاکی از آن است که تنها در شمال غربی اقیانوس آرام امکان تولید ۴۰ تا ۷۰ کیلووات انرژی الکتریکی از هر متر از سواحل غربی وجود دارد. این سواحل بیش از 1600 کیلومتر طول دارند که به طور متوسط از هر کیلومترسواحل لااقل می توان ۱۰ مگاوات انرژی تولید کرد [۴]. مروری بر ژنراتورهای بسیار کوچک برای استحصال انرژی از جزر و مد و امواج چه در رودخانه ها و چه در اقیانوسها در [۵] آمده است. همچنین می توان به سایر ملاحظات سیستم توبید برق از انرژی موج به عنوان مثال بحث الکترونیک قدرت آن اشاره نمود [۶]. مطالعاتی درخصوص تبدیل انرژی امواج در نقاط خاصی از زمین و با درنظر گرفتن ملاحظات و امکانات خاص نیز گزارش شده است [۷].

۳- مدل ریاضی

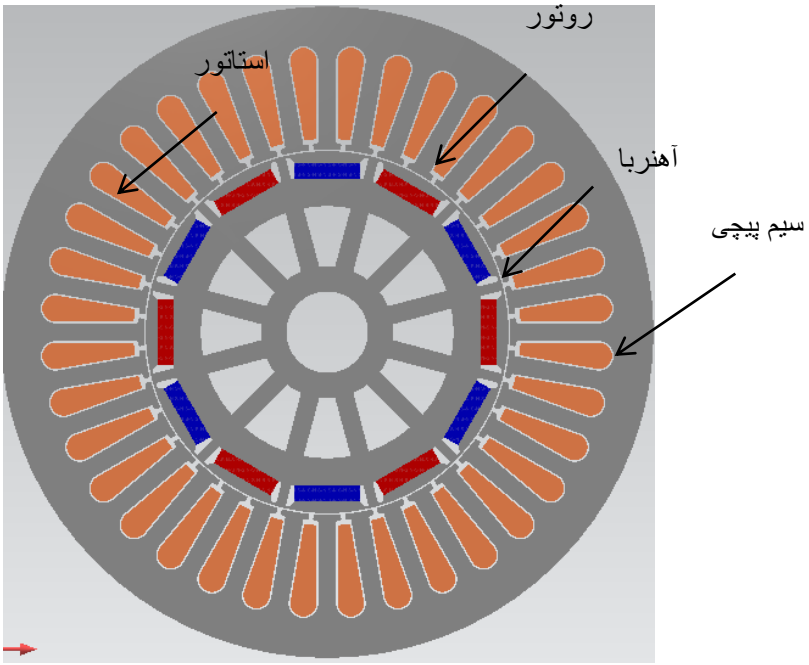
با توجه به اینکه مبدل دارای یک توربین می‌باشد که به یک ژنراتور سنکرون کوپل گردیده است در اینجا به بررسی این ژنراتور می‌پردازیم. مولدهای سنکرون طبق تعریف، سنکرون همزمان هستند، به این معنی که فرکانس الکتریکی تولید شده با سرعت چرخش مکانیکی مولد همزمان است. در این قسمت روابط ریاضی برای طراحی روتور و استاتور بیان شده است. هر ژنراتور الکتریکی متناسب با کاربردی که دارد، دارای مقادیر نامی و برخی ملاحظات طراحی می‌باشد برخی از مقادیر نامی ژنراتور به طور خلاصه در جدول (۱) آورده شده است. نمایی دو بعدی از ژنراتور مورد نظر در شکل (۱) نشان داده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]

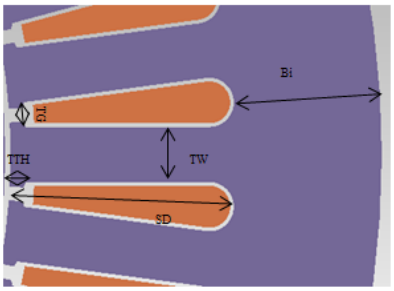
جدول ۱ : مفروضات طراحی

پارامتر	مقدار
توان الکتریکی خروجی	W۱۰۰۰
ولتاژ خروجی	V۲۲۰
فرکانس کاری	Hz ۵۰
سرعت نامی	۵۰۰rpm
گشتاور نامی	N.m۱۹/۱



شکل ۱: ژنراتور مورد نظر

طراحی استاتور شامل محاسبه‌ی قطر خارجی، قطر داخلی و ابعاد اساسی دندانه آن می‌باشد. قسمتی از استاتور به همراه ابعاد اساسی آن، که در شکل (۲) نشان داده شده است[۵].



شکل ۱: ابعاد اساسی استاتور

به‌منظور محاسبه‌ی قطر و طول محوری ژنراتور از رابطه‌ی (۱) استفاده می‌شود[۸].

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]

$$P = C_0 {D_o}^2 Lw \quad (۱)$$

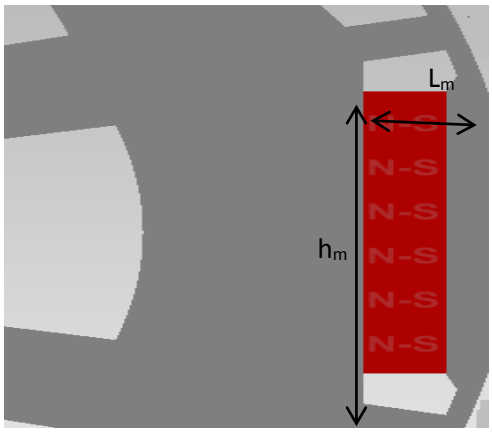
در این رابطه P توان خروجی ژنراتور (W)، D قطر ژنراتور (m)، L طول محوری ژنراتور (m)، w سرعت ژنراتور (rad/s) و C_0 از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$C_0 = 10.9624 \times B_{av} \times \ ac \ \times k_{sw} \quad (۲)$$

در این رابطه B_{av} بارگذاری مغناطیسی (T)، ac بارگذاری الکتریکی (A/m) و k_{sw} ضریب سیم‌پیچ است. ضریب سیم‌پیچ معیاری است برای نشان دادن زاویه‌ی انحراف محور سیم‌پیچ‌های مربوط به هر فاز و درصورتی‌که ژنراتور شیار صحیح باشد برابر با ۱ است. مقدار بارگذاری الکتریکی با توجه به اطلاعات تجربی در نظر گرفته می‌شود[۹]. بعد از محاسبه‌ی C_0 از رابطه‌ی (۲) و جایگذاری در (۱) و با توجه به مقادیر معلوم توان و سرعت ژنراتور خواهیم داشت:

$${D_o}^2 L = K \quad (۳)$$

در این حالت با توجه به ملاحظات طراحی نسبتی برای قطر ژنراتور و طول محوری آن در نظر گرفته شده و مقدار آن‌ها با توجه به (۳) محاسبه خواهد شد. درنتیجه قطر خارجی استاتور و طول محوری ژنراتور بدین‌صورت محاسبه خواهد شد. تصویری از روتور ژنراتور رلوکتانسی سنکرون به همراه ابعاد اساسی آن در شکل (۳) نشان داده شده است. در این بخش روش محاسبه‌ی ابعاد مختلف روتور مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل ۲: بخشی از روتور

اصولا در طراحی ژنراتورهای الکتریکی با توجه به تعداد قطب ، یک نسبتی برای قطر استاتور به روتور در نظر گرفته می‌شود و با توجه به آن قطر خارجی روتور محاسبه می‌شود. برای محاسبه ضخامت آهنربا ابتدا باید مدار معادل مغناطیسی مناسب آن تشکیل شود. مدار معادل مغناطیسی یک قطب ژنراتور به صورت نشان داده شده در شکل (۴) خواهد بود. با توجه به این شکل Rg رلوکتانس فاصله هوایی، Rm رلوکتانس آهنربا، Rl رلوکتانس نشتی و ϕ_r شار پسماند آهنربا است. لازم به ذکر است که به دلیل بالا بودن رلوکتانس فاصله هوایی در برابر رلوکتانس هسته، از مقدار رلوکتانس های هسته روتور و استاتور در این مدار صرف نظر شده است. از طرفی رلوکتانس نشتی مقدار بسیار زیادی دارد و زمانی که به صورت موازی با یک رلوکتانس قرار می گیرد

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]

قابل صرف نظر کردن است. در نتیجه می‌توان مدار معادل شکل ۴ را به صورت شکل ۵ ساده کرد. با دقت در این شکل شار فاصله هوایی برابر است با:

$$\phi_g = \frac{R_m}{R_m + R_g}\phi_r \quad (۴)$$

برای محاسبه عرض آهنربا با توجه به نسبت سطح مقطع آهنربا به فاصله هوایی داریم:

$$\frac{A_m}{A_g} = c_\emptyset \rightarrow \frac{h_m L}{\frac{2\pi R_o L}{p}} = c_\emptyset \rightarrow h_m = c_\emptyset \frac{2\pi R_o}{p} \quad (۵)$$

جریان نامی ژنراتور با توجه به توان ورودی و ولتاژ ژنراتور محاسبه می‌شود.

$$I = \frac{P_{out}}{3\eta V_{in}\cos\varphi} \quad (۶)$$

بعد از محاسبه‌ی جریان با توجه به نوع خنک‌کنندگی ژنراتور چگالی جریانی برای آن در نظر گرفته می‌شود که مقدار آن با توجه به جدول (۲) انتخاب می‌گردد. بعد از انتخاب چگالی جریان سطح مقطع هادی شیار از رابطه‌ی (۷) بدست می‌آید.

$$A_w = \frac{I}{J} \quad (۷)$$

در نتیجه قطر هادی به کار رفته در استاتور برابر خواهد بود با:

$$d_w = \sqrt{\frac{4A_w}{\pi}} \quad (۸)$$

۴-مراحل پیاده سازی در اجزای محدود

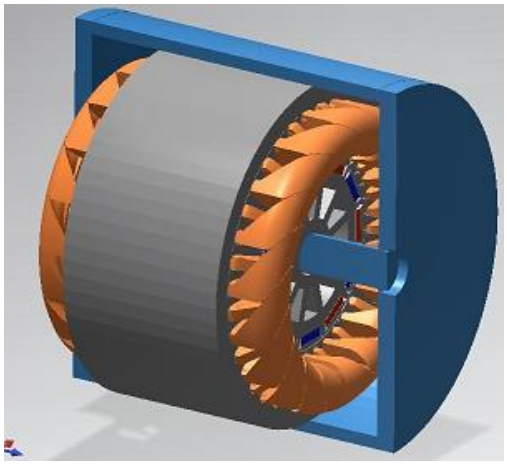
در اولین قدم می‌بایست نوع پروژه را مشخص نمود. انواع پروژه‌هایی که می‌توان تعریف کرد شامل طراحی دوبعدی، طراحی سه‌بعدی است. طراحی ۲ بعدی همان‌طور از نام آن پیداست، مختص تحلیل‌های در فضای دوبعدی است. بنابراین مش بندی‌ها در آن نیز به‌صورت دو بعدی خواهد بود. طراحی ۳ بعدی نیز برای شبیه‌سازی اشکال ۳ بعدی استفاده می‌شود. در گام اول با توجه به ابعاد قسمت‌های مختلف ماشین الکتریکی مورد نظر ساختار آن ترسیم می‌گردد. مدل دو بعدی از ژنراتور در شکل ۴ نشان داده شده است. با دقت در این شکل استاتور شامل ۳۶ شیار و روتور شامل ۱۲ آهنربا به صورت دفن شده است.

تصویری از استاتور ژنراتور به همراه ابعاد اساسی آن در شکل ۴ نشان داده شده است. این ابعاد شامل ارتفاع کفشک دندانه‌ی استاتور (Tth)، طول فاصله‌ی هوایی بین دو دندانه‌ی استاتور (Tg) ، عرض دندانه‌ی استاتور (TW) ، عمق شیار (SD) و ضخامت استاتور (BI) می‌باشد. با توجه به اینکه شبیه‌سازی مورد نظر دوبعدی بوده است هندسه‌ی نشان داده شده در شکل ۴ دوبعدی می‌باشد. علاوه بر این ابعاد اساسی روتور در شکل ۴ نشان داده شده است. برای ترسیم هندسه‌ی موردنظر می‌توان از ابزارهای

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]

موجود در نرم‌افزار استفاده کرد. علاوه بر این می‌توان ابتدا هندسه‌ی مورد نظر را در نرم‌افزار دیگری مانند اتوکد[1] کشید و سپس به واسطه‌ی ابزارهای موجود به نرم‌افزار اصلی واردکرد. اندازه‌ی پارامترهای مختلف نشان داده شده در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۴: مدل سه‌بعدی ژنراتور

جدول ۲: پارامترهای اساسی روتور و استاتور

پارامتر	مقدار
BI	20 mm
Tth	1.2 mm
SD	32 mm
TW	5.5 mm
Tg	1.1 mm
W_{th}	3 mm
B	0.8 mm
M_L	20 mm
M_w	3 mm
P_{th}	1.75 mm

۵-راستی آزمایی طراحی و نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت، به بررسی برخی از نتایج حاصل از شبیه سازی و مقایسه‌ی آن با مقادیر نامی می‌پردازیم. لازم به توضیح است که هدف این بخش از مقاله، راستی آزمایی نتایج تئوری حاصل از معادلات تحلیلی ساده شده با یک روش عددی است که نتایج بسار نزدیک به واقعیت را ارایه می‌دهد. چنان که می دانیم در بسیاری از سیستمهای مکانیکی، الکتریکی و ... به دلیل پر هزینه بودن ازمون بر روی نمونه واقعی و ساخته شده، از روشهای عددی مانند اجزا محدود و تفاضل محدود برای راستی آزمایی طرح اولیه استفاده می شود. این روشها با درنظر گرفتن شرایط و ابعاد واقعی مساله، شبیه سازی سیستم را با نتایج بسیار نزدیک به عملکرد واقعی سیستم با همان شرایط درنظر گرفته شده را ارایه می دهند. بنابراین انتظار می رود که نتایج شبیه سازی عددی،

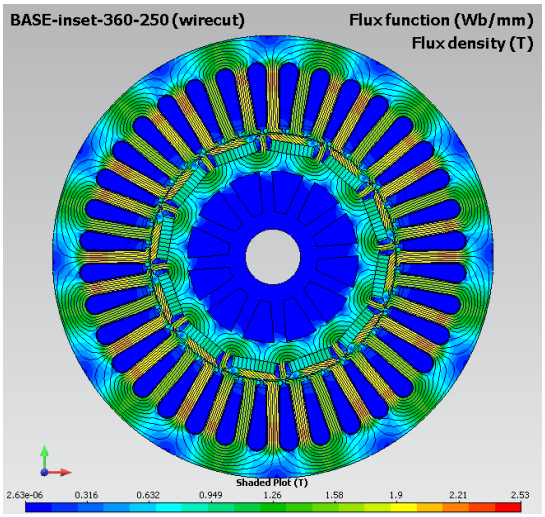
[1] Auto Cad

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]

به سیستم واقعی ساخته شده بسیار نزدیک باشد [۱۰]. انواع مختلفی از ژنراتورهای استحصال انرژی از امواج دریا در مقالات مختلف شبیه سازی شده اند که می توان به مقالات [۱۱]- [۱۳] اشاره کرد.

توزیع چگالی‌شار و مسیر حرکت شار ژنراتور در نشان داده شده است. با توجه شکل ۵ مشاهده می‌شود که چگالی شار برای نقطه داغ[1] استاتور حدود ۲/۴ T می‌باشد که مربوط به نقطه‌ی تیز روتور است. علاوه بر این مشاهده می‌شود که چگالی‌شار هسته در حدود ۱/۷ T می‌باشد که کمتر از مقدار اشباع هسته است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌گردد که هشت حلقه‌ی شار در ساختار ژنراتور تشکیل شده است (ژنراتور دوازده قطب).



شکل ۵: چگالی و مسیر شار ژنراتور

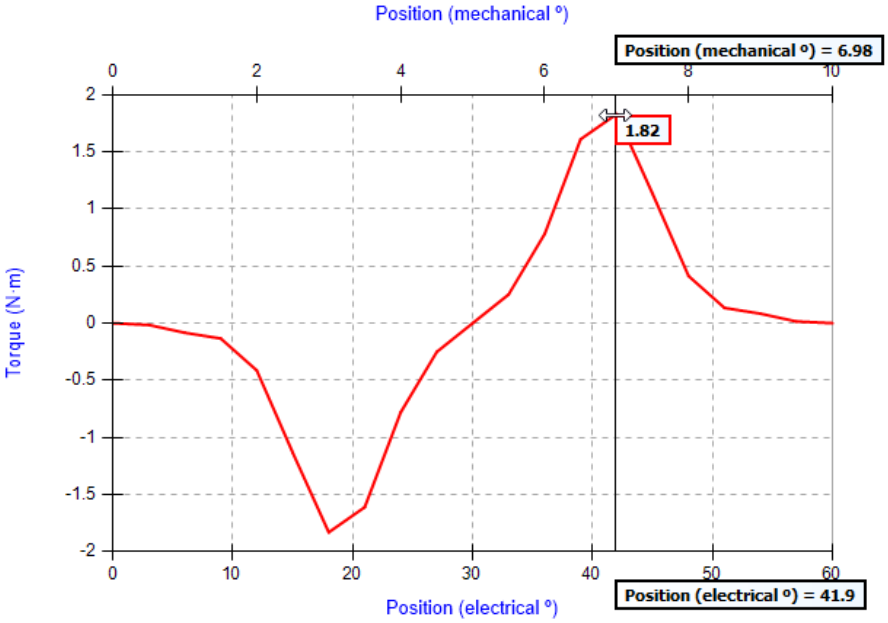
در ماشین‌های آهنربای دائم به‌واسطه‌ی برهم‌کنش بین میدان مغناطیسی آهنربا و دندانه‌های استاتور گشتاور مزاحمی به وجود می‌آید که به آن گشتاور دندانه‌ای گفته می‌شود. باتوجه به اطلاعات موجود در مراجع مقدار بیشینه‌ی گشتاور دندانه‌ای باید کمتر از ۱۰ درصد گشتاور نامی باشد. جهت محاسبه‌ی این گشتاور تحریک سیم‌پیچ‌های استاتور را صفر می‌کنیم و روتور را با سرعت کمی می‌گردانیم و گشتاور را به ازای موقعیت‌های مختلف روتور محاسبه می‌کنیم. گشتاور دندانه‌ای ژنراتور به ازای تغییرات موقعیت روتور در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مقدار بیشینه ی گشتاور دندانه ای کمتر از ۸/۶ درصد گشتاور نامی می‌باشد که مقدار قابل قبولی است.

همان‌طور که می‌دانیم آهنرباهای دائم میدان مغناطیسی را در محیط اطراف خود ایجاد می‌کنند. زمانی که روتور می‌چرخد میدان گردانی در ساختار ماشین ایجاد می‌گردد که این میدان سیم‌پیچ‌های استاتور را قطع کرده و در آن‌ها ولتاژی را القا می‌کند. به ولتاژ القا شده در این حالت نیروی ضدمحرکه‌ی الکتریکی گفته می‌شود. منحنی توان ژنراتور به ازای تغییر سرعت در شکل ۷ نشان داده شده است. با دقت در این شکل ملاحظه می‌شود که ژنراتور مورد نظر در سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه توانی معادل با ۱ کیلووات تحویل می‌دهد. علاوه بر این مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت توان ژنراتور بیشتر می‌شود.

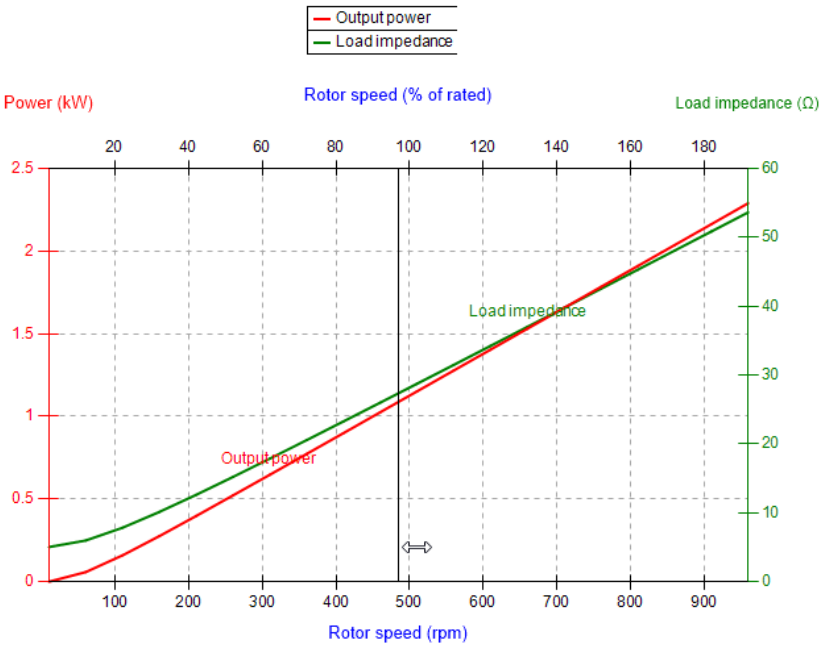
[1] Hot spot

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]



شکل ۶: گشتاور ژنراتور سنکرون آهنربای دائم

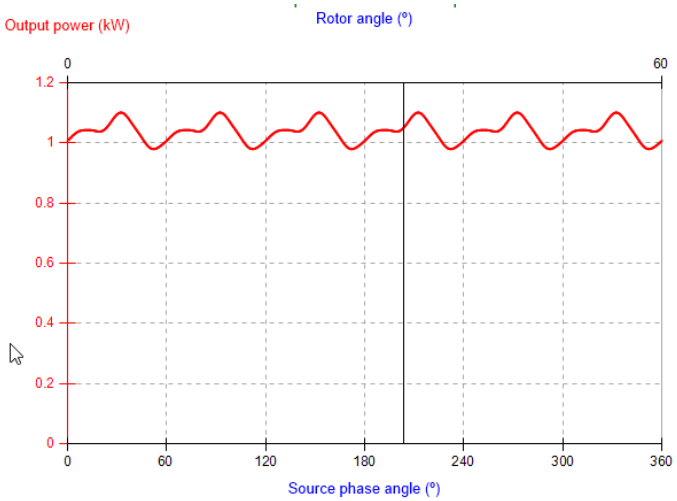


شکل ۷: توان خروجی ژنراتور بر حسب سرعت

توان خروجی ژنراتور در بار ۴۵ اهم و ضریب توان ۰/۹۶ در شکل ۸ نشان داده شده است. با دقت در این شکل میانگین توان ژنراتور در حدود ۱/۰۵ کیلووات است که نزدیک به توان نامی در نظر گرفته شده برای ژنراتور است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]



شکل ۸: توان خروجی ژنراتور

برای محاسبه بازده ژنراتور قبل از هر چیز باید تلفات ژنراتور محاسبه شود. این تلفات شامل تلفات اهمی، تلفات هسته و تلفات مکانیکی است که دو مورد اول با استفاده از روش اجزای محدود قابل محاسبه است که در ادامه به بررسی آن خواهیم پرداخت. عبور جریان الکتریکی از یک هادی منجر به تولید تلفات به فرم گرما در هادی می‌شود که به آن تلفات مسی گفته می‌شود. تلفات مسی از رابطه‌ی ۹ بدست می‌آید که در این رابطه R مقاومت DC سیم‌پیچ (Ω) و I مقدار مؤثر (rms) جریان عبوری (A) از سیم‌پیچی است.

$$P_{cu} = RI^2 \qquad (۹)$$

با توجه به مقاومت اهمی و جریان نامی دو ژنراتور، تلفات اهمی دو ژنراتور با توجه به رابطه ۲ قابل محاسبه خواهد بود. تلفات ژنراتور در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به تلفات محاسبه شده بازده ژنراتورها در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به این جدول بازده ژنراتور در حدود ۹۱/۸ درصد است.

جدول ۳: تلفات ژنراتور

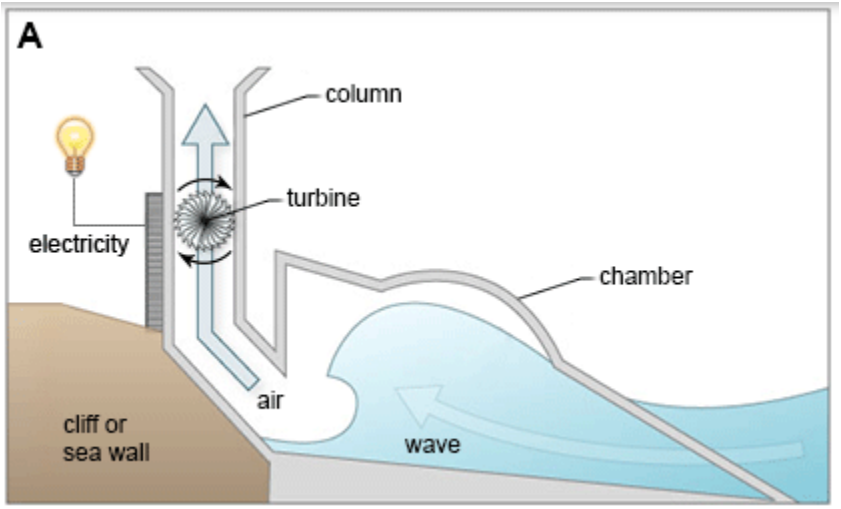
تلفات اهمی (KW)	۷۸/۴
تلفات هسته (KW)	۱۴/۶
تلفات جریان گردابی در آهنربا (KW)	۰/۰۰۱۶۴
مجموع (KW)	۹۳

۶-کاربرد

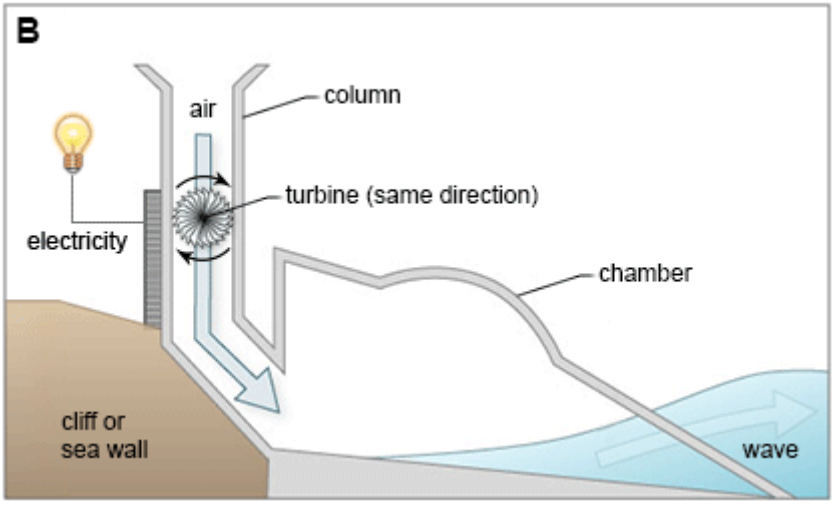
شکل ۹ و ۱۰ نشان می دهد که چگونه می توان از بالا و پایین آمدن آب ناشی از امواج دریا برق تولید کرد. فرآیند شامل سازه ای است که در کنار صخره یا دیواره دریا نصب شده است. این سازه از یک محفظه بزرگ تشکیل شده است. یک سر آن به دریا باز است، و سر دیگر به یک ستون عمودی منتهی می‌شود، که به جو باز است. در داخل این ستون یک توربین نصب شده است و برای تولید برق در دو مرحله استفاده می شود. شکل ۹ نشان می دهد که وقتی موجی به دستگاه نزدیک می‌شود، آب به داخل محفظه وارد می‌شود و به هوا در داخل ستون فشار می‌آورد. این هوا از طریق توربین به جو فرار می‌کند و در نتیجه برق تولید می‌کند. شکل ۱۰ قسمت بعدی فرآیند را هنگام عقب نشینی موج نشان می‌دهد. با پایین آمدن سطح آب، هوای خارج از ستون از طریق توربین مکیده می‌شود. در نتیجه، تولید برق همچنان ادامه دارد. توربین صرف نظر از جهت جریان هوا فقط در

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]

یک جهت می‌چرخد. در نتیجه، می‌توانیم ببینیم که این ساختار مفید است زیرا برق در هر دو مرحله ورورد و عقب نشینی آب تولید می‌شود.



شکل ۹: ساختار الف در تولید برق



شکل ۱۰: ساختار ب در تولید برق

۷-نتیجه گیری

در این مطالعه سعی شده ژنراتوری شبیه سازی شود که بیشترین بازده را داشته باشد و قابلیت نصب در مزارع های جذب انرژی مانند سواحل را داشته باشد. بازده ژنراتور در حدود ۹۱/۸ درصد است. ژنراتور مورد نظر در سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه توانی معادل با ۱ کیلو وات تحویل می‌دهد. علاوه بر این مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت توان ژنراتور بیشتر می‌شود. میانگین توان ژنراتور در حدود ۱/۰۵ کیلووات است که نزدیک به توان نامی در نظر گرفته شده است و بیشینه‌ی گشتاور دندانه‌ای کمتر از ۸/۶ درصد گشتاور نامی می‌باشد که مقدار قابل قبولی است. جذابیت یک سایت خاص به عواملی مانند ارتفاع و جهت موج بستگی دارد و همچنین به این دلیل که سایت در منطقه حفاظت شده یا نزدیک مسیرهای حمل و نقل باشد، محدود می‌شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]

از آنجا که تولید کننده انرژی امواج هنوز در مراحل ابتدایی است یک راه حل عملی استفاده از سایر پروژه های دریایی برای تسریع در توسعه صنعت است.

مراجع

[1] Naeeni, S. and Amini, E., "Numerical Optimization of Positioning and Performance of Oscillating Surge Wave Energy Converter, Case study: Nowshahr, Anzali and Amirabad Ports," J. Maritime Trans.Indust., 6 (2020) 25-37.

[2] De Backer, G., "Hydrodynamic Design Optimization of Wave Energy Converters Consisting of Heaving Point Absorbers", Dep. Civil Eng., Ghent Univ.: Ghent, Belgium, (2009).

[3] Masutani, S., and Takahashi, P., "Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)", Oceanography, 22 (2001) 625.

[4] Polagye, B., Copping, A., Kirkendall, K., Boehlert, G., Walker, S., Wainstein, M., "Environmental Effects of Tidal Energy Development: a Scientific Workshop", Univ. Washington, Seattle, Seattle, WA, USA, NMFS F/SPO-116, NOAA, (2010).

[5] Suwanapingkarl, P., Srivallop, K., "Reviews Existing Technologies and Proposes 'E8-PowerBuoys' Nano-Scale Generator Of Tidal And Wave Energy For River And Ocean", Int. Conf. Power, Energy and Innov. (ICPEI), (2020).

[6] Burhanudin, J., Shukri, A., Hasim, A., " Review of Power Electronics for Nearshore Wave Energy Converter Applications", IEEE Access, (2022).

[7] Aji, N., Ekawati, E., Nashirul Haq, I., "The Simulation of Wave Energy Conversion by Floating Point Absorber Buoy in Indonesian Sea Waves", Int. Conf. Instrum., Cont. Auto. (ICA), (2021).

[8] Martínez, M., Molina, M., Machado, I., Mercado, P., and Watanabe, E., "Modelling and Simulation of Wave Energy Hyperbaric Converter (WEHC) for Applications in Distributed Generation," Int. J. Hydrogen Energy, 37 (2012) 14945-14950.

[9] Zheng, C.-w., Pan, J., and Li, J.-x., "Assessing the China Sea wind Energy and Wave Energy Resources from 1988 to 2009", Ocean engineering, 65 (2013) 39-48.

[10] Naghavi, F., Sheshaprasad, Sh., Gardner, M., Meduri, A., Kang, H., Toliyat, H., "Permanent Magnet Linear Generator Design for Surface Riding Wave Energy Converters", IEEE Energy Conv. Cong. Exp. (ECCE), (2021).

[11] Curto, D., Franzitta, V., Guercio, A., Trapanese, M., "Testing a Linear Ironless Generator for the Sea Wave Energy Harvesting", OCEANS Chennai, (2022).

[12] Zhang, Z., Wu, B., Lu, Q., Xu, W., "Novel Linear Generator Concepts and Topologies for Wave Energy Conversion Systems: A Review", 13th Int. Symp. Linear Drives for Industry Appl. (LDIA), (2021).

[13] Barua, A., Pada Bhadra, G., Salauddin Rasel, Md., "Energy Harvesting From Water Wave Using Electromagnetic Generator", 2nd Int. Conf. Sustainable Tech. Industry (STI), (2020).

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]

چکیده انگلیسی:

Modeling and simulation of generators by finite element method to generate electricity from sea waves

AbdulKarim Afroozeh[1*], Reza Yazdanpanah[2]

1-Department of Physics, University of Larestan, Lar, Iran.
2-Department of Electrical Engineering, University of Larestan, Lar, Iran

Received: May 2022 Accepted: August 2022

Abstract

Coasts and harbors can be considered huge sources of energy, which can be seen in the form of waves, tides and constant surface or underwater currents, due to the temperature difference between different points. Energy production in this way does not involve pollution. These power plants can generate energy throughout the year. In this study, finite element method has been used to model the generator as one of the most accurate simulation methods for the desired calculations, which can be used on shores, ports and ship hulls, and the oscillating movements of water waves can be easily converted into energy. Lightning. In this paper, the mechanism of this type of generator is modeled and simulated. The simulation results showed that the implementation and construction of these generators have good efficiency and high economic efficiency. Reliable simulation tools are essential for studying the performance and viability of wave energy devices, as experiments are both costly and difficult. In particular, the ability to survive in nonlinear waves is one of the biggest challenges to wave energy, and since waveforms and dynamics are highly dependent on the model, each device must be studied separately with approved instruments. To take. In this study, the design of the generator including rotor, stator and wiring will be fully investigated. For this purpose, first the mathematical relations related to the generator are stated and at the end, the analytical design of a generator example will be examined. In this study, the finite element method has been used as one of the most accurate simulation methods for the calculations.

Key words: Renewable energy ,Sea waves, Wave energy.

*corresponding author: **afroozeh@lar.ac.ir**

Cite this article as: AbdulKarim Afroozeh, Reza Yazdanpanah. Modeling and simulation of generators by finite element method to generate electricity from sea waves. Journal of Energy Conversion, 2023, 9 (4), 59-70. DOR**:** **20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.4.1.8]