

طراحی و ساخت مبدل آزمایشگاهی به منظور استخراج و تبدیل انرژی امواج دریا به انرژی الکتریکی

اسماعیل شفیع زاده^۱، محمدرضا نگهداری^۲، حسین دلایلی^۳

۱. دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، دانشکده مهندسی دریا، Shafizadeh@cmu.ac.ir

۲- دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر، Negahdari@cmu.ac.ir

۳- دانشگاه صنعتی مالک اشتر- مجتمع دانشگاهی مکانیک هوافضا، شاهین شهر

چکیده

امروزه بیش از ۸۰ درصد انرژی های تولیدی در جهان از سوخت های فسیلی بدست می آیند. یکی از منابع مهم انرژی، دریاها و آبها می باشند که در صورت وجود آبهای وسیع در یک کشور و بهره برداری از آنها، منبعی موثر در تولید انرژی خواهد بود. امواج دریا از منابع مهم تولید انرژی هستند که با استفاده از تکنولوژی و وسایل مدرن می توان آن را به انرژی مورد نیاز جهت مصارف مختلف تبدیل نمود. در این مقاله نیز با بهره گیری از این موضوع، به طراحی و ساخت وسیله ای می پردازیم که بتوان از انرژی حاصل از امواج دریا و تبدیل آن به انرژی الکتریکی، جهت مصارف مختلف به خصوص در حوزه فعالیت های مربوط به صنایع دریایی استفاده نمود.

واژه های کلیدی: انرژی امواج دریا، روش ارتعاشی تبدیل انرژی موج، تبدیل انرژی امواج دریا

* Corresponding author
Email: Negahdari@cmu.ac.ir

مقدمه

نیاز روز افزون به انرژی در کلیه صنایع و هزینه های بسیار بالا مربوط به تولید انرژی، بشر را به استفاده استفاده از انرژی های طبیعی و خدادادی در مصارف و کاربردهای مختلف، به جای انرژی های مصنوعی و ساخت انسان سوق داده است. در این میان امواج دریا به عنوان یکی از منابع مهم انرژی مورد توجه محققان قرار گرفته و مطالعات اساسی پیرامون روش های استفاده از این انرژی انجام شده است. امواج دریا در اثر جریان باد روی سطح آبها بوجود می آید. تاکنون مطالعات مختلفی در این زمینه توسط تئوری های مربوط به حرکت امواج انجام گرفته است. [۱] استفاده از روش های مختلف در سال های اخیر به منظور تبدیل انرژی امواج به انرژی الکتریکی توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از روش های عددی در این زمینه به عنوان نمونه ای از این فعالیت ها می باشد. [۲] مطالعات تئوری و کاربردی موضوع تا اواخر دهه ۹۰ میلادی ادامه داشت. اولین نتایج در سال ۱۹۷۶ توسط نیومن^۴ و همکارانش مورد بحث و بررسی قرار گرفت. [۳] این نتایج از روش های عددی و تحلیلی ادامه یافت و بعد از آن نیز ساخت مدل به عنوان موثرترین فعالیت عملی و کاربردی در این زمینه مورد توجه قرار گرفت. اساس و ساختار این مدل ها به گونه ای می باشد که امواج دریا را دریافت کند و با استفاده از تولید انرژی و انتقال به انرژی به ژنراتور، انرژی مورد نیاز را برای مصارف مختلف فراهم کند. در این مقاله ضمن بررسی فرآیند تولید انرژی از امواج دریا به بررسی روش های ممکن جهت تبدیل انرژی فوق می پردازیم. اساس و ساختار این وسایل ساده بوده و روش عملکرد اکثر آنها بر مبنای روش های ارتعاشی تبدیل انرژی موج^۵ و حرکت یک درجه آزادی می باشد. به این ترتیب که این وسایل با استفاده از یک حرکت ارتعاشی و با روشی که در ادامه به آن خواهیم پرداخت، در انجام هدف یاد شده عمل خواهند کرد. غیر از روش های ارتعاشی مانند روش ارائه شده در این مقاله می توان از روش های دیگری نیز استفاده کرد، به عنوان مثال با استفاده از یک ژیرسکوپ^۶ با قابلیت اینرسی خاص و دوران در جهات مختلف حول محور خود و با دریافت انرژی امواج، می توان انرژی جنبشی تولید کرد. [۴] اولین مدل در سال ۱۹۹۷ در دانمارک ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت. بعد از آن نیز ساخت مدل به عنوان موثرترین فعالیت عملی و کاربردی در این زمینه مورد توجه قرار گرفت. [۵] این فعالیت ها به صورت تکاملی تا سال ۲۰۰۵ با ساخت مدل در ابعاد نمونه آزمایشگاهی ادامه یافت. [۶] روند تغییرات تکاملی بیشتر بر اساس نحوه عملکرد مدل ها در تولید انرژی با وسایل مختلف

4 - Newman

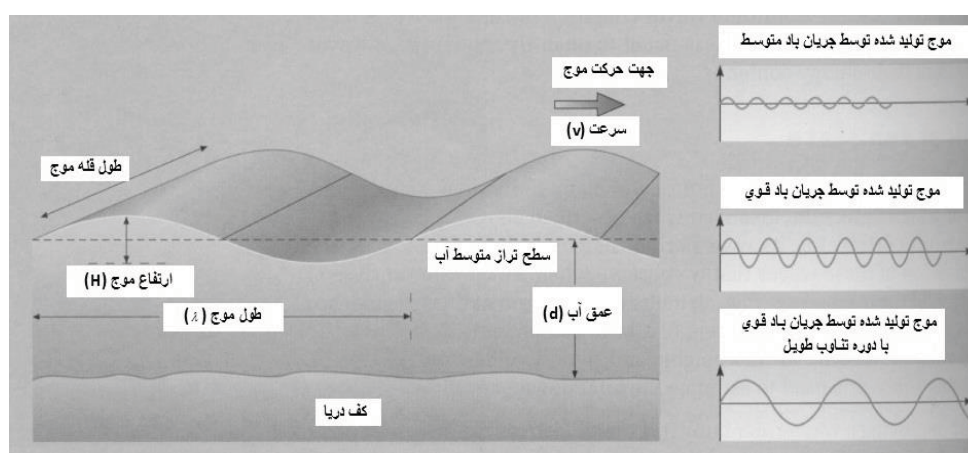
5 - Pendulum Wave Energy Converter

6 - gyroscope

بوده است. مزیت استفاده از این روش ها بدلیل جایگزینی آن با تکنولوژی های خاص و تجهیزات پیچیده و در عین حال ارزان بودن و قابل دسترس بودن آن در مقایسه با سایر روش ها است.

انرژی امواج

همانطور که اشاره گردید امواج دریا به عنوان یکی از منابع مهم انرژی دارای اهمیت زیادی می باشد. در این قسمت با استفاده از تئوری موج خطی به بررسی و محاسبه انرژی حاصل از امواج دریا می پردازیم. همانگونه که در شکل (۱) می بینید، مشخصات اصلی یک موج نشان داده شده است.



شکل (۱) : مشخصات اصلی یک موج [۱۱]

پارامترهای موثر در این بررسی عبارتند از:

f : فرکانس موج^۷ در ارتباط با طول موج (λ) و سرعت افقی (v)

λ : طول موج^۸ بر حسب (m)

T : دوره تناوب^۹ (s)

7 - Wave frequency

8 - wave length

A: دامنه موج (m)

H: فاصله قله تا قعر موج که برابر $2A$ می باشد.

(معمولا $A < \lambda/10$)

v: سرعت افقی پیشرفت موج

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (\text{in m/s}) \quad (1)$$

و فرکانس زاویه ای برابر است با [۸]

(۲)

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (\text{rad/s})$$

آزمایش ها نشان داده است که مقدار طول موج در سطح مطابق رابطه زیر می باشد:

$$\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2} \quad (\text{in m}) \quad (3)$$

از روابط فوق می توان نوشت: [۸]

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \quad (s) \quad (4)$$

که مقدار g برابر 9.81 m/s^2 می باشد.

9 - time period	
1 - amplitude	0
1 - Angular frequency	1

$$\begin{aligned}
 v &= \lambda f = \frac{\omega \lambda}{2\pi} \\
 v &= \lambda f = \frac{2\pi g}{\omega^2} * f = \frac{2\pi g \omega}{\omega^2 2\pi} = \frac{g}{\omega} = \frac{g}{2\pi f} = \frac{gT}{2\pi} \\
 &= g \sqrt{\frac{2\pi \lambda}{(2\pi)^2 g}} = \sqrt{\frac{\lambda g}{2\pi}}
 \end{aligned} \tag{5}$$

که نشان می دهد سرعت v مستقل از مقدار H است. [۸]

انرژی و توان موج

حال باید دید که مقدار انرژی کل حاصل از موج چه مقدار می باشد. مقدار دانسیته انرژی موج بر حسب مشخصات موج به صورت زیر محاسبه می گردد: [۸]

$$E_{\text{density}} = \frac{\rho_{\text{water}} g H^2}{8} = \frac{\rho_{\text{water}} g A^2}{2} \quad (\text{J/m}/\lambda) \tag{6}$$

و توان معادل آن برابر است با:

$$P_{\text{density}} = \frac{E_{\text{density}}}{T} = \frac{\rho_{\text{water}} g H^2}{8T} = \frac{\rho_{\text{water}} g A^2}{2T} \tag{7}$$

در شکل (۲) نمودار مربوط به دانسیته توان موج^۳ بر حسب دامنه و دوره تناوب موج نشان داده شده است. مطابق تئوری موج خطی، مقدار انرژی کل ناشی از انرژی پتانسیل و جنبشی برای یک موج منحصر به فرد در هر طول موج به ازای عرض واحد از قله موج^۴ برابر است با: [۸]

$$E = \frac{\rho g H^2 \lambda}{8} \quad (\text{J} / \text{m}) \tag{8}$$

1 - energy density of a wave 2
 1 - wave power density 3
 1 - wave energy per unit crest width

و با جایگذاری مقدار λ از رابطه (۳) خواهیم داشت:

$$E_{\text{wave front}} = \frac{\rho g H^2}{8} \frac{2\pi g}{\omega^2} \quad (\text{J/m}) \quad (9)$$

$$E_{\text{wave front}} = \frac{\pi \rho g^2 H^2}{4\omega^2} \quad (\text{J/m})$$

از رابطه (۲) می توان مقدار ω را در رابطه فوق قرار داد. بنابراین خواهیم داشت: [۸]

$$E_{\text{wave front}} = \frac{1}{16\pi} \rho g^2 H^2 T^2 \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{m}}\right) \quad (10)$$

مقدار توان حداکثر در شرایط ایده آل (P_{ideal}) متناسب با انرژی کل حاصل از موج می باشد که به ازای عرض واحد قله موج^۵ از رابطه زیر بدست می آید:

$$P_{\text{ideal}} = \frac{1}{16\pi} \rho g^2 H^2 T \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}}\right) \quad (11)$$

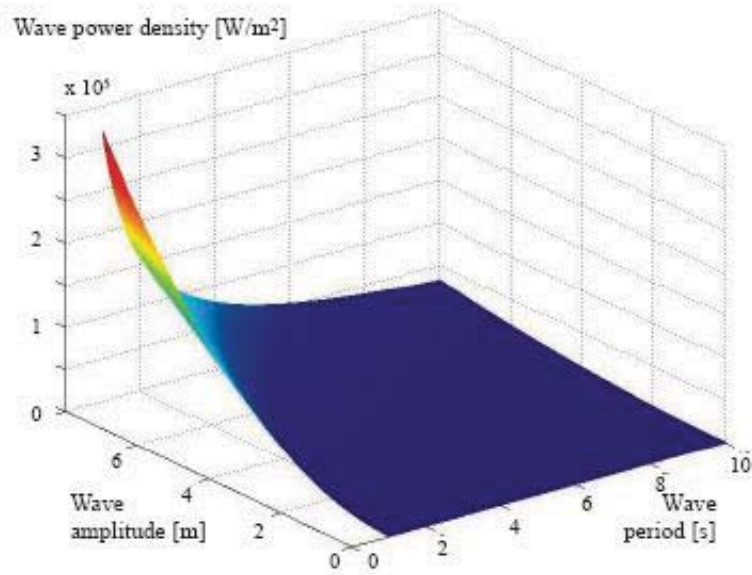
با جایگذاری مقادیر مربوط به $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ در این رابطه، مقدار توان مطابق رابطه

زیر بدست می آید: [۸]

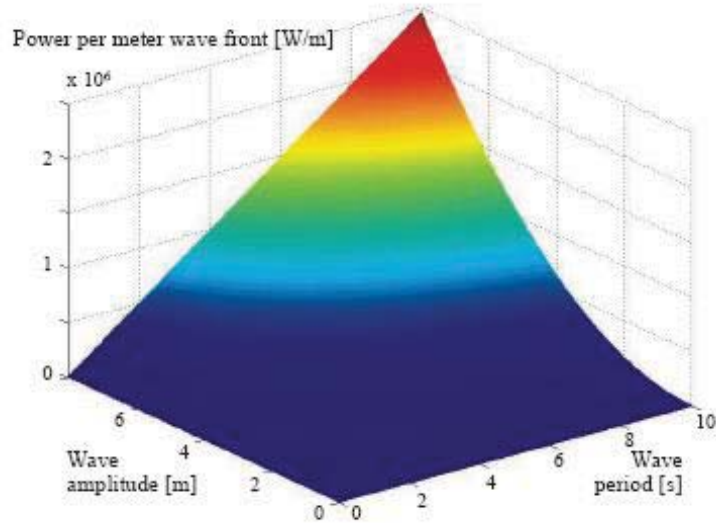
$$P_{\text{ideal}} = 1915 H^2 T \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}}\right) \quad (12)$$

از رابطه فوق چنین بر می آید که توان تولیدی حاصل از انرژی امواج به دوره تناوب (T) و دامنه موج ($A=H/2$) بستگی دارد. در شکل (۳) همانطور که دیده می شود میزان توان تولیدی بر حسب دوره تناوب و دامنه موج به صورت نمودار نشان داده شده است.

1 - power per meter of wave front (wave crest)



شکل (۲): نمودار دانسیته توان موج (P_{density}) بر حسب دامنه و دوره تناوب موج

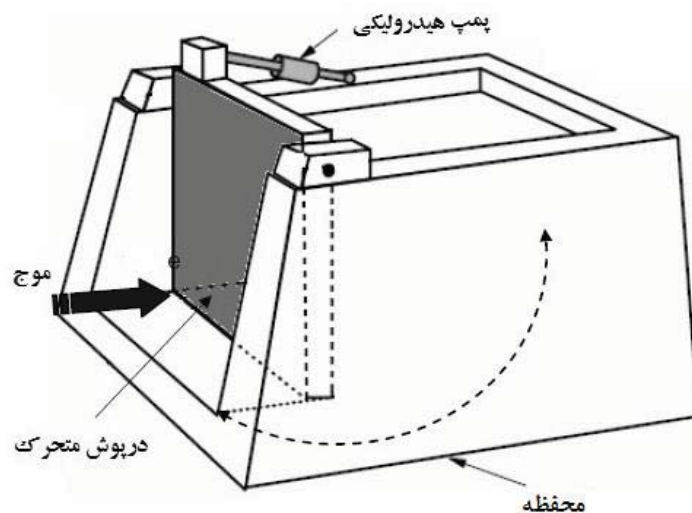


شکل (۳): نمودار توان تولیدی موج ($P_{\text{wave front}}$) بر حسب دامنه و دوره تناوب موج

تبدیل انرژی امواج به انرژی الکتریکی

در قسمت قبل به انرژی موجود در امواج دریا اشاره شد و با استفاده از روش های تئوری، مقدار این انرژی و همچنین توان موجود در آن مورد محاسبه قرار گرفت. در این بخش نحوه استفاده از این انرژی و تبدیل آن به انرژی مورد نیاز مانند انرژی الکتریکی می پردازیم. این امر توسط وسیله ای با قابلیت تغییر و تبدیل انرژی مربوط به امواج با انرژی جنبشی انجام می گیرد. در شکل (۴) شکل شماتیک وسیله ای را نشان می دهد که برای این منظور استفاده می گردد و با قرار گرفتن آن در یک مکان مناسب در معرض امواج قرار می گیرد. با تغییراتی که البته به صورت مکانیکی می باشد و با مکانیزمی که توضیح داده خواهد شد، انرژی ناشی از موج ورودی به انرژی جنبشی تبدیل شده و در نهایت توسط یک ژنراتور انرژی جنبشی به انرژی الکتریکی تبدیل خواهد شد.

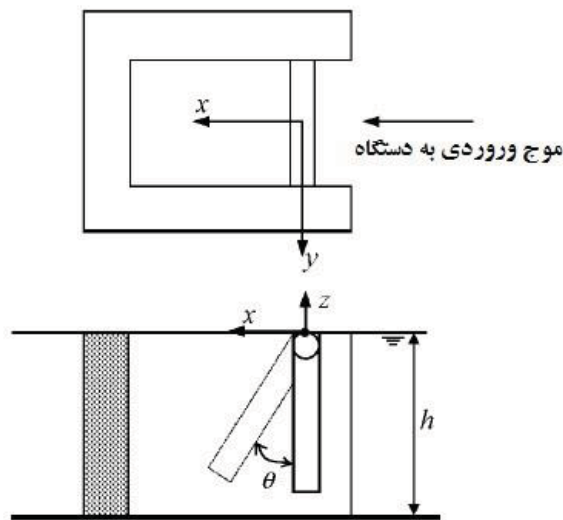
در این شکل همانگونه که دیده می شود در اثر نیروی حاصل از موج ورودی به درپوش متحرک در جلو دستگاه، این درپوش از موقعیت خود تغییر مکان داده و به عقب رانده می شود. حرکت و تغییر مکان درپوش به صورت زاویه ای و متناوب خواهد بود که در این صورت با ایجاد حرکت فوق توسط یک پمپ هیدرولیکی توان و انرژی مورد نیاز تولید و به ژنراتور منتقل می گردد. حال با استفاده از توان خروجی و انتقال آن به مولد یا ژنراتور می توان انرژی جنبشی را به انرژی الکتریکی تبدیل نمود.



شکل (۴): شکل شماتیک از دستگاه تولید انرژی از امواج دریا

نحوه عملکرد دستگاه

دستگاه فوق شامل یک محفظه U شکل و یک صفحه عمودی که همان درپوش ورودی می باشد، بین دهانه و دیواره عقب در حرکت است. این محفظه مانند یک کانال بوده و مکانیزم آن از نوع ارتعاشی بوده و مانند یک سیستم وزنه و فنر عمل می کند. همانطور که در قسمت قبل نیز توضیح داده شد، موج ورودی به این صفحه برخورد می کند. در شکل (۵) از زاویه دیگر نحوه عملکرد این دستگاه نشان داده شده است. در این شکل جهت محورهای اصلی و نیز جهت موج ورودی به دستگاه نشان داده شده است.



شکل (۵): نحوه عملکرد دستگاه از نمای دیگر

روابط حاکم

همانطور که در شکل نیز دیده می شود در اثر برخورد موج ورودی، صفحه یا درپوش به اندازه زاویه θ دوران کرده و نتیجه این حرکت ایجاد ممانی می باشد که به صفحه مربوط به درپوش وارد شده و به صورت زاویه ای بوده و مطابق با رابطه زیر می باشد: [۳]

$$I\ddot{\theta} = M \quad (13)$$

که در آن I ممان اینرسی و θ مقدار جابجایی زاویه ای درپوش و M ممان ناشی از حرکت زاویه ای فوق خواهد بود. توجه شود که این ممان شامل مولفه های مکانیکی و هیدرواستاتیکی و نیز مولفه

هیدرودینامیکی می باشد که بدلیل پیچیدگی روابط از آن صرفنظر می کنیم. که مولفه هیدرواستاتیکی آن که ناشی از تاثیر فشار هیدرواستاتیک سیال به صفحه است و توسط رابطه زیر بیان می گردد: [۳]

$$M_{hydrostatic} = \frac{1}{2}(\rho_b - \rho_{water})g.t.a.b^2.\theta \quad (14)$$

که در آن ρ دانسیته، ρ_b چگالی صفحه و t و a و b به ترتیب ضخامت، عرض و طول صفحه و g شتاب ثقلی زمین می باشد، همانطور که اشاره شد این ممان ناشی از اثرات فشار هیدرواستاتیکی سیال به صفحه می باشد. همچنین ممان مکانیکی ناشی از حرکت زاویه ای صفحه نیز مطابق رابطه زیر خواهد بود: [۳]

$$M_{mechanical} = -L_k\theta - L_d\dot{\theta} \quad (15)$$

که در آن L_k و L_d ضرایب ارتجاعی و دمپینگ ناشی از حرکت متناوب و زاویه ای صفحه درپوش هر دو مثبت بوده می باشد. این حرکت ناشی از جابجایی نوساتی صفحه بوده و مانند یک فنر عمل نموده که دارای قابلیت ارتجاعی و نیز اثرات دمپینگ دارد. توجه شود که این حرکت دائما و تا زمانی که امواج به درپوش برخورد می کند، وجود داشته و نتیجه آن انتقال انرژی و توان به قسمت هیدرولیکی و به تبع به ژنراتور برای تولید انرژی الکتریکی است که می توان از آن جهت مصارف مختلف صنعتی استفاده نمود.

اجزای دستگاه و نحوه عملکرد آن

بر اساس هدف مورد نظر طرح یعنی طراحی دستگاهی که بتواند با تولید حرکت مکانیکی و به کمک مولد برق مانند یک ژنراتور این حرکت را به انرژی الکتریکی تبدیل نماید، در ابتدا اجزای مورد نیاز برای این دستگاه شناسایی و مورد مطالعه قرار گرفته است. در این قسمت به معرفی ساختار اصلی دستگاه و نقش قسمت‌های مختلف در عملکرد آن می پردازیم.

۱- محفظه یا اتاقک دستگاه

این بخش از دستگاه ثابت و بدون حرکت می باشد. به سبب استحکام بهتر است جنس این قسمت از دستگاه از مواد بتنی تهیه نمود. در این تحقیق به سبب ساخت مدل آزمایشگاهی از مواد فلزی برای این قسمت استفاده شده است. دیواره یا پاندول در دهانه ورودی محفظه واقع خواهد شد و به جز قسمت ورودی سایر قسمت های آن بسته خواهد بود.

۲- پاندول یا دیواره

این قسمت از قسمت های اساسی دستگاه است، چرا که در اثر تحریک موج ورودی به دستگاه و حرکت این قسمت است که دستگاه تولید انرژی می کند. حرکت دیواره همانطور که بعدا نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت از نوع دورانی و متناوب خواهد بود. همچنین چنانچه از دیواره استفاده شود، ابعاد صفحه دیواره در میزان حرکت تولیدی نقش بسزایی دارد.

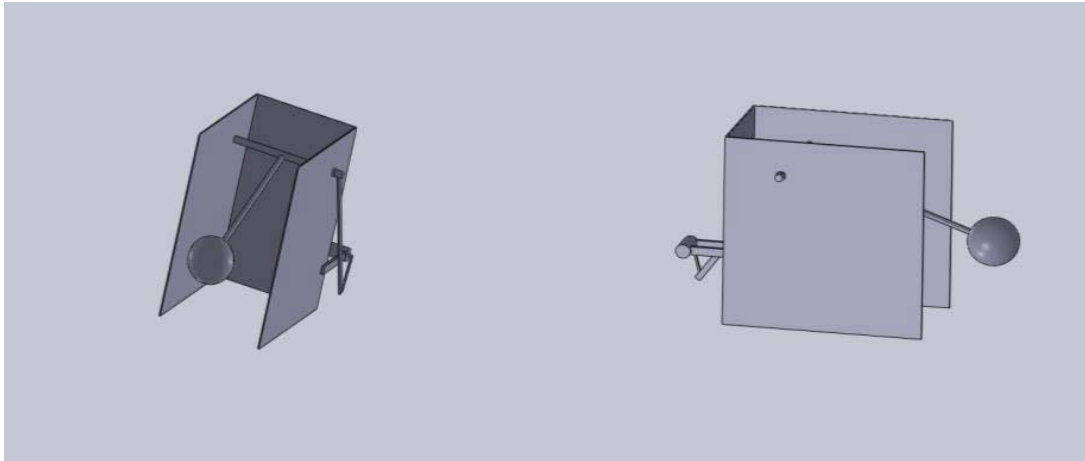
۳- لولای دیواره

توسط این قسمت دیواره حول محور قسمت لولا دوران خواهد نمود. این حرکت از نوع چرخشی یا رفت و برگشت زاویه ای خواهد بود. معادلات حرکت فوق در بخش بعد مورد مطالعه و بررسی قرار خواهد گرفت.

توجه شود که همانطور که در ادامه نیز به آن اشاره می شود، از آنجا که ژنراتور یا مولد برق توسط حرکت دورانی عمل می نماید و تولید انرژی الکتریکی می کند، با استفاده از مکانیزم طراحی شده، مولد یا ژنراتور مستقیما این نوع حرکت را از لولای دیواره دریافت نماید و تولید انرژی الکتریکی نماید. به عنوان یک ایده توسط تیم مجری این لولا توسط سیستم جقجه که تنها در یک جهت حرکت خواهد داشت و حرکت کامل دورانی را در یک جهت تامین خواهد نمود، این قسمت را تکمیل خواهد نمود.

۴- گیربکس

این قسمت تکمیل کننده اجزای دستگاه خواهد بود، چرا که تحریک دیواره توسط موج در مرحله رفت را می توان توسط یک گیربکس جهت افزایش دور حرکتی پاندول تکمیل نمود. بعبارت دیگر حرکت تناوبی دیواره و یا لولا بایستی تداوم داشته باشد و از آنجا که امواج دریا در مرحله رفت بصورت دائم با دیواره برخورد خواهند داشت، به کمک سیستم فوق می توان حرکت دورانی دیواره را در مرحله برگشت جبران نمود. این قضیه درست مانند مکانیزم ارتعاشات سیستم جرم و فنر خواهد بود. در شکل (۶) نحوه مدل سازی دستگاه نمایش داده شده است.



شکل (۶): شکل ۳ بعدی از اجزای دستگاه طراحی شده

نحوه عملکرد دستگاه

با مکانیزمی که به آن اشاره شد، پاندول یا دیواره دارای حرکت رفت و برگشت دائم خواهد بود. از آنجا که این مکانیزم بصورت رفت و برگشت می باشد و در عمل استفاده از این حرکت برای انتقال به ژنراتور با محدودیت رو به رو خواهیم بود بهتر است با مکانیزمی که در شکل (۷) نشان داده شده است و نیز در ادامه توضیح خواهیم داد از حرکت دورانی معادل با این حرکت رفت و برگشت استفاده نماییم. این ایده که ابتکاری نو از این طرح برای نحوه عملکرد دستگاه می باشد به این صورت می باشد که با بررسی ساختار این دستگاه در می یابیم که در عین حال که دیواره به صورت متناوب به جلو و عقب حرکت می کند، لولای این دیواره نیز دارای حرکت دورانی خواهد بود و همانطور که معادلات حرکت دورانی و مولفه گشتاور مکانیکی استخراج گردید با استفاده از حرکت دورانی فوق و انتقال این حرکت به یک مولد الکتریکی مانند ژنراتور یا یک دینام می توان از این حرکت بهره برداری و تولید انرژی الکتریکی نمود. (شکل ۸)



شکل (۷): نمای از دستگاه ساخته شده



شکل (۸): نمایش دستگاه همراه با لینک های متصل به آن

نتایج

با توجه به عملکرد و نحوه عملکرد دستگاه مدل و بسته به اندازه مدل میزان دریافت انرژی الکتریکی متفاوت خواهد بود. در این تحقیق و با توجه به مدل فوق میزان دریافت انرژی مطابق با اندازه ها و نتایج بدست آمده در جدول (۱) خواهد بود. بنابر مقیاس مدل مورد بررسی می توان میزان دریافت انرژی الکتریکی را با توجه به مدل های بزرگتر و یا در مقیاس اصلی جهت دریافت انرژی جهت فعالیت های صنعتی استفاده نمود.

جدول (۱): اندازه مدل و میزان انرژی دریافتی

طول مدل	عرض مدل	ارتفاع مدل	دوره تناوب	حداقل میزان انرژی دریافتی
۱ متر	۰,۴۵ متر	۰,۶ متر	۷ ثانیه	۱۰ وات

نتیجه گیری

امواج دریا یکی از منابع انرژی های نو به شمار می آید که با توجه به وجود آبهای یک کشور به سهولت در دسترس بوده و دارای پتانسیل و توان زیادی می باشد. در صورت استفاده از وسایل و روش های مناسب می توان با صرف هزینه های حداقل از این منبع انرژی در مصارف مختلف صنعتی استفاده نمود. در این مقاله ضمن یادآوری این منبع مهم انرژی به بررسی آن و همچنین راهکار عملی جهت استفاده و نیز تبدیل آن به انرژی مورد نیاز پرداخته شد. استفاده از روش های ارتعاشی و نیز روشهای مشابه دیگر مانند روش یاد شده در این مقاله، دارای پیچیدگی نبوده و به لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد. امیدواریم که بتوان با بکار بستن نیروها و توانایی های داخلی کشور شاهد گسترش و استفاده همه جانبه از این روش ها در استفاده و بهره برداری از انرژی های خدادادی به خصوص در سواحل آنها و دریاها باشیم.

منابع

- (1) der Meeren, D. V., and Family, J. G., "Analysis Of A Power Conversion System For A Wave Energy Converter", 2011.
- (2) Book: João Cruz, 2008, Ocean Wave Energy – Current status and future perspectives, Springer.
- (3) Alves, M., Brito-Melo, A., and Sarmiento, A. J., "Numerical Modelling of the Pendulum Ocean Wave Power Converter using a Panel Method" International Offshore and Polar Engineering Conference, 2002.
- (4) Bracco, G., "a Gyroscopic Wave Energy Converter", 2010.

- (5) Lee, Y.H., Kim, C.G., Choi, Y. D., and Hwang, Y.C “Performance of a direct drive hydro turbine for wave power generation” 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems ,2010.
- (6) Kofoed,, J.P., Frigaard,P., Friis-Madsen, E., and Sørensen, H.C “Prototype Testing of the Wave Energy Converter Wave Dragon” World Renewable Energy Congress VIII (WREC 2004).
- (7) M Alves, A. Brito-Melo and A.J.N.A., “Sarmiento Numerical Modelling of the Pendulum Ocean Wave Power Converter using a Panel Method”,2002.
- (8) Vining, J., “Ocean Wave Energy Conversion” , 2005.
- (9) Nolan, G., Ringwood, J., “Design and Control Considerations for a Wave Energy Converter” , 2004.
- (10) Goran Bjork, “Hydrodynamic Modeling of The Energy Conversion from ocean waves to Electricity”,2009.
- (11) Renewable Energy by Godfrey Boyle, Oxford University Press, 2004.