

Preliminary System Design - Plamis Instruments as Marine Renewable Energy Generator

Mehdi Islami  *

Graduated in shipbuilding engineering from Malik
Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

Mohammad Torabi 

Graduated in ship engineering, Chabahar University
of Maritime and Marine Sciences, Sistan and
Baluchistan, Iran

Abstract

Energy today plays an essential role in human life, which plays an important role in all the conflicts of the world, on the other hand, renewable energy is over, and the world is about to find suitable alternatives for its energy needs. One of these alternatives is wave energy, due to the abundant water borders of our country, there is potential for using this energy in our country. Accordingly, in this thesis, we study the wave energy and how it is used. Nowadays, the increasing speed is observed in the expansion of its use, then we introduce and investigate the types of wave energy converters and their categorization. Is. Regarding the wave energy condition of Iran's open water, pelamis is selected as an appropriate wave energy converter. Modeling and solving governing equations for modeling based on the Newmark beta method are used to obtain the values for the initial design used. And make structural calculations.

Keywords: Wave Energy Converter, Pelamis, Hydraulic System, Transformer, Buckling, Newmark's Numerical Method.

The responsible author is a graduate of shipbuilding engineering at Malik Ashtar University of Technology

*Corresponding Author: mzt110313@gmail.com

How to Cite: Islami, M. Torabi, M. (2024). Preliminary System Design - Plamis Instruments as Marine Renewable Energy Generator. *Marine and Port Servicesch*, 1(3), 173-237.

Original research


Accepted: 06 April 2024

Review: 01 April 2023


Received: 22 August 2023

طراحی مقدماتی سامانه‌ای - سازهای پلامیس به‌عنوان مولد انرژی تجدیدپذیر دریایی

دانش‌آموخته مهندسی کشتی‌سازی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

*  مهدی اسلامی

دانش‌آموخته مهندسی کشتی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، سیستان و بلوچستان، ایران

 محمد ترابی

چکیده

انرژی امروزه نقش اساسی را در زندگی بشر دارد به‌طوری‌که نقش مهم و اساسی را در تمامی مناقشات جهان ایفا می‌کند، از سوی دیگر انرژی‌های تجدید ناپذیر رو به اتمام هستند و دنیا بر آن است تا جایگزین‌های مناسبی برای نیاز انرژی خود پیدا کند که یکی از این جایگزین‌ها انرژی موج است که با توجه به مرزهای آبی فراوان کشور ما پتانسیل استفاده از این انرژی در کشور ما وجود دارد. بر همین اساس در این نوشتار به بررسی انرژی موج و نحوه‌ی استفاده از آن پرداخته شده است که امروزه سرعت روزافزایی در گسترش و پیشرفت استفاده از آن مشاهده می‌شود، سپس به معرفی و بررسی انواع مبدل‌های انرژی موج^۱ و دسته‌بندی آن‌ها پرداخته شده است. با توجه به شرایط انرژی موج حاصل از آب‌های آزاد ایران پلامیس^۲ به‌عنوان یک مبدل مناسب انرژی موج انتخاب شده است و مدل‌سازی دینامیکی آن انجام شده و معادلات حاکم بر آن استخراج شده است، سپس حل معادلات حاکم بر مدل‌سازی بر اساس روش عددی نیومارک^۳ بتا^۴ انجام شده است تا مقادیر حاصل برای طراحی اولیه مورد استفاده قرار گیرد و محاسبات سازهای انجام شود و در نهایت با شبیه‌سازی مدل بدنه ضخامت لازم برای مدل به‌دست آمده است.

کلیدواژه‌ها: مبدل انرژی موج، پلامیس، سیستم هیدرولیکی، ترانسفورماتور^۴، روش عددی نیومارک، کماتش^۱.

* نویسنده مسئول: mzt110313@gmail.com

- 1 Wave energy converter
- 2 Pelamis
- 3 Newmark Beta
- 4 Transformer

۱- مقدمه

امروزه انرژی برای تمام انسان‌ها مسئله‌ای اساسی است. انرژی در تمام شئون جامعه انسانی رسوخ کرده و جنبه‌های مختلف آن از زندگی روزانه افراد گرفته تا سیاست‌های جهانی و بین‌المللی و طرح‌های توسعه ملی را تحت تأثیر قرار داده است. انرژی در سال‌های اخیر به‌علت پدیده‌هایی که بحران جهانی انرژی نام گرفته، اهمیت زیادی کسب کرده است. از سویی بحران نفت و از سویی دیگر آلاینده‌گی ناشی از استفاده انرژی‌های تجدیدناپذیر همه را بر آن داشت تا از انرژی‌های پاک استفاده کنند، بر این اساس استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در اولویت قرار گرفت و کشورهای پیشرفته دنیا به استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی روی آوردند، در این میان کشورهایی که مرز آبی گسترده دارند به این فکر افتادند که از انرژی موج دریا برای تولید انرژی استفاده نمایند.

کارشناسان بعد از قرن هجده به دریافت انرژی موجود در اقیانوس علاقه‌مند شده‌اند. آقای جیرارد در سال ۱۷۹۹ اولین ثبت اختراع در مورد تبدیل انرژی امواج را ثبت کرد. وسیله اختراع شده شامل یک کشتی بود که به یک سازه دریایی متصل شده بود به طوری که امواج، انرژی پمپ و ماشین‌های دیگر را تأمین می‌کرد. در بین سال‌های ۱۸۰۰ تا ۱۹۶۰ توجهات کمی بر روی بهره‌برداری از اقیانوس صورت گرفت. باین حال در سال ۱۹۶۶ بزرگ‌ترین ایستگاه تولید توان نیروی جزر و مد در جهان، در مالو فرانسه ساخته شد. این ایستگاه تا به امروز حدود 240 (MWh) مگاوات ساعت برق هر ساله تولید کرده است. حدود ۷۰ درصد سطح زمین را دریاها و اقیانوس‌ها تشکیل می‌دهند، باد باعث به وجود آمدن موج می‌گردد. توان انرژی موج در طول ۱ کیلومتر ساحل حدود ۸۰۰ کیلووات می‌باشد. مولدهای برق در طول ساحل می‌توانند این انرژی را به انرژی الکتریکی تبدیل کنند. بازده چنین ژنراتورهایی حدود ۵۰٪ است، بنابراین یک نیروگاه موجی به طول ۲۵ کیلومتر، توانایی تولید ۱۰۰۰ MW برق دارد. از مزایای استفاده از انرژی موج می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- انرژی موج دریا از نوع تجدیدپذیر می‌باشد.
 - چنین منابعی نیاز به میلیون‌ها سال زمان برای به وجود آمدن ندارند و بی‌پایان می‌باشند.
 - تولید انرژی به این روش آلودگی دربر ندارد. این نیروگاه‌ها در طول زمستان می‌توانند بیش‌ترین میزان انرژی را تولید کنند و خوشبختانه در چنین زمان‌هایی به انرژی بیشتری نیازمند هستیم.
 - مولدهای کوچک موجی می‌توانند در نواحی دوردست ساحلی که انتقال برق مقرون‌به‌صرفه نیست استفاده شوند.
 - و غیره (شیخ احمدی و زرگزاده، ۱۳۸۳: ۱-۵۸).
- گستره تنوع انرژی‌های دریایی نظیر انرژی حرارتی^۱، انرژی جریان‌های دریایی^۲، انرژی جزرومد^۳، انرژی امواج و انرژی باد دریا^۴ محققان عرصه انرژی و دریا را از گذشته تاکنون به خلاقیت واداشته است تا هر کدام وسیله‌ای را برای استفاده از این انرژی‌های بی‌کران و تمام‌نشده ارائه کنند؛ که امروزه سازه‌های پیشرفته و قدرتمندی در عرصه تبدیل انرژی امواج وجود دارد.

مبدل‌های انرژی موج

مبدل‌های انرژی موج را می‌توان به طرق مختلفی دسته‌بندی کرد که معمولاً به چند طریق زیر دسته‌بندی می‌شوند (Burman, K.; Walker, A., 2009: 1-32 pp):

۱-۱. دسته‌بندی به لحاظ تأثیر بر موج

الف) تضعیف‌کننده^۵

این نوع دستگاه‌ها معمولاً بر موج سوار شده و معمولاً روی موج کار می‌کنند و با تضعیف موج، انرژی موج را دریافت و تبدیل می‌کنند. از نمونه پیشرفته این دستگاه‌ها می‌توان به

1 Thermal energy
2 Ocean current energy
3 Tidal energy
4 Ocean wind energy
5 Attenuator

پلامیس اشاره کرد.

ب) جذب‌کننده نقطه‌ای^۱

این نوع دستگاه‌ها دارای ابعاد کوچک‌تری نسبت به طول موج هستند و معمولاً یا روی آب قرار دارند و با بالا و پایین شدن توسط موج در یک نقطه کار می‌کنند و یا زیر سطح آب قرار دارند و بر اساس اختلاف فشار ناشی از رفت و آمد موج کار می‌کنند. نمونه‌ای از این دستگاه‌ها بویه‌های جذب انرژی موج^۲ هستند.

ج) تخریب‌کننده موج^۳

این دستگاه‌ها به‌صورت عمود بر روی مسیر موج قرار می‌گیرند و با تخریب موج انرژی موج را دریافت کرده و تبدیل می‌کنند، نمونه اولیه از این دستگاه‌ها بادامک مبدل انرژی موج^۴ است.

۱-۲. دسته‌بندی به لحاظ مکان قرارگیری

الف) مبدل‌های سطحی

این مبدل‌ها به روی سطح بوده و عملکرد آن‌ها با موج‌های سطحی می‌باشد، مانند پلامیس‌ها.

ب) مبدل‌های میانی یا زیرسطحی

این دسته از مبدل‌ها در پایین سطح آب قرار گرفته و با لایه‌های زیرین موج کار دارند، مانند بویه‌های جذب انرژی.

ج) مبدل‌های کف یا بستری

این مبدل‌ها در بستر دریا مستقر شده و با جریانات روی کف دریا کار می‌کنند و معمولاً در

1 Point absorber

2 Powerbuoy

3 Terminator

4 Salter's Duck

جاهای کم عمق که رفت و آمد آب زیاد است استفاده دارند مانند جک‌های هیدرولیکی کف‌نشین اویستر^۱.

۱-۳. دسته‌بندی بر اساس نوع عملکرد مبدل‌های انرژی موج

الف) جسم متحرک^۲:

این روش از انرژی موج برای حرکت دادن یک جسم و تبدیل حرکت آن به انرژی الکتریکی بهره می‌جوید.

ب) ستون نوسانگر آب^۳:

سطح فشرده شونده: از تغییرات فشار آب برای ایجاد هوای فشرده درون یک سیستم مستغرق استفاده می‌کند. این فشار می‌تواند تبدیل به جریانی از هوا یا آب شود و به انرژی الکتریکی تبدیل گردد.

ج) دستگاه سرریز کننده موج^۴:

در این روش ارتفاع موج با کم کردن عمق آب افزایش پیدا کرده و آب تا ارتفاع بیشتری به بالا پمپ می‌شود.

د) دستگاه‌های متمرکز کننده موج^۵:

تراز متوسط آب دریا را در نقاط مشخص به روش سازه‌های قیفی شکل و به تله انداختن امواج بلند افزایش می‌دهند.

معرفی انواع مبدل‌های انرژی موج دریا

همان‌طور که مشاهده شد مبدل‌های انرژی موج دسته‌بندی‌ها و انواع متنوع و مختلفی دارند

1 Oyster

2 Oscillating wave surge converter

3 Oscillating water column

4 Overtopping device

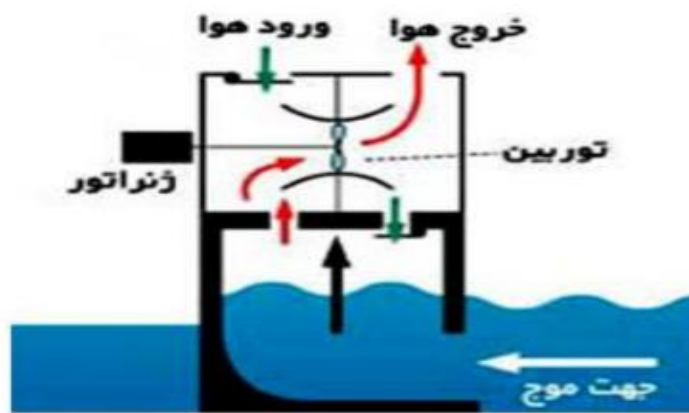
5 Overtopping device

که در این قسمت به‌صورت اجمالی به معرفی و شرح تعدادی از آن‌ها پرداخته شده است:

الف) ستون نوسانگر آب^۱

امواج متحرک اقیانوس دارای انرژی جنبشی هستند. از این انرژی می‌توان جهت چرخش یک توربین استفاده نمود. در تصویر، مثال ساده‌ای از این نوع انرژی را می‌بینید. همان‌طوری که در تصویر نشان داده شده است، موج در محفظه به‌طرف بالا حرکت نموده و باعث خروج هوا از طرف دیگر آن می‌شود. سپس هوای متحرک باعث چرخش توربین شده و در نتیجه ژنراتور را به گردش درمی‌آورد. زمانی که موج پایین می‌رود، جریان هوا از توربین عبور کرده و مجدداً از طریق درهایی که معمولاً بسته‌اند، وارد محفظه می‌شود. این صرفاً یکی از سیستم‌های تولید انرژی از موج است (Al Karim, M., Noor, M.H., (Nasim, 2015).

شکل شماره ۱. ستون نوسانگر آب



اصول کارکرد این دستگاه همان‌طور که در شکل شماتیک بالا می‌بینید به‌صورت فوق است، این دستگاه‌ها در دو نوع ساحلی^۲ و فراساحلی^۳ هستند که نمونه‌ای از هر کدام معرفی شده است.

1 Oscillating column

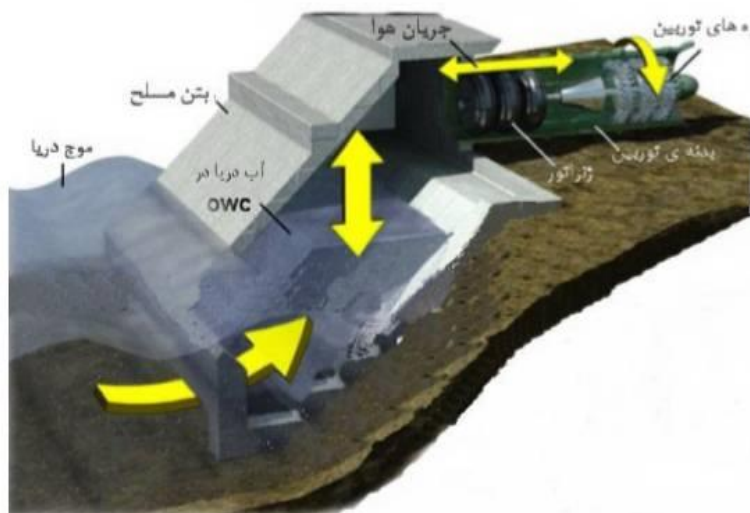
2 onshore

3 offshore

- مبدل ساحلی انرژی موج وویس^۱

این دستگاه که توسط شرکت اسکاتلندی هیدرو وویس^۲ ساخته شده است که در زمینه ساخت تجهیزات انرژی بخصوص انرژی موج دریا فعالیت دارد. دستگاه همانطور که در شکل مشاهده می کنید از یک سازه موج شکن بتنی تشکیل شده است که داخل آن ستون نوسانگر آب تعبیه شده است و در قسمت بالایی این ستون قسمت‌های تبدیلی که شامل توربین دور بالای هوا و ژنراتور تعبیه شده برای تبدیل انرژی حاصل به انرژی الکتریسیته قرار دارد. ستون نوسان آب ارتفاعی حدود ۷ متر را دارد ژنراتور تولید انرژی این دستگاه به توربین ولز^۳ (توربین کم فشار دو کاناله با قابلیت چرخش مدام) معروف است که بهینه سازی شده و امروزه قدرت آن تا ۵۰۰ کیلووات نیز رسیده است. از مزیت‌های این دستگاه این است که می توان آن را با موج شکن‌های ساحلی طراحی و ادغام کرد که باعث کارایی بیشتر و چندگانه موج شکن‌ها و همچنین کاهش ساخت هزینه این مبدل انرژی موج خواهد شد (By Paul A. Lynn,2014).

شکل شماره ۲. اجزای سازنده دستگاه انرژی موج وویس



1 Voith Hydro Wavegen

2 Voith Hydro

3 Wells turbine

نمونه اولیه این دستگاه در سیستم برقی انگلستان در سال ۱۹۹۱ نصب و به کار گرفته شده است که انرژی تولیدی اولیه آن ۷۵ کیلو وات بوده است، پروژه‌ی دوم این دستگاه در جزیره ایلیله^۱ اسکاتلند در سال ۲۰۰۰ میلادی با ظرفیت بالغ بر ۵۰۰ کیلووات بهره‌برداری شده است. از این دستگاه در نیروگاهی در جزیره لوئیس^۲ اسپانیا با ظرفیت مجموع ۴ مگاوات نیز در سال ۲۰۱۲ استفاده شده است.

شکل شماره ۳. نمونه دستگاه وویس در حال بهره‌برداری در جزایر اسکاتلند



- مبدل فراساحلی اوشن لینکس^۳

اساس کار این دستگاه نیز مانند نمونه ساحلی آن بر پایه نوسان آب در ستون تعبیه‌شده و به حرکت درآوردن پره‌های توربین به‌وسیله هوای محبوس در ستون نوسان می‌باشد، با این تفاوت که این دستگاه شناور بوده که قابلیت حمل در نقاط مختلف دریا را دارد، این امر یک مزیت برای جابجایی از نقاط کم موج به نقاط پر موج در فصول مختلف سال می‌باشد.

این دستگاه اولین بار در استرالیا در سال ۲۰۱۲ ساخته شده که اولین دستگاه مبدل انرژی موج تا سقف یک مگاوات در جهان است، امروزه این دستگاه بهینه‌سازی شده و

1 Hyle

2 Luis

3 Oceanlinx

بیش از ۱,۵ مگاوات تولید انرژی دارد (Taylor, J. 2008).

شکل شماره ۴. نمونه‌ی دستگاه فراساحلی در حال بهره‌برداری در سواحل استرالیا



ب) استفاده از بادامک‌های شناور^۱

این دستگاه که در سال ۱۹۷۴ در کشور انگلستان و در دانشگاه ادینبورگ^۲ اختراع شده و جزء اولین دستگاه‌های قدرت موج است، یک دستگاه بادامکی (تخم مرغی) شکل است که با گذر موج حرکت می‌کند، سازنده آن استفان سالتر^۳ می‌باشد، دلیل نام‌گذاری این دستگاه به این اسم شناور بودن آن مانند اردک بروی آب است که آن را به افتخار سازنده‌اش به اسم اردک سالتر (Salter's Duck) نام‌گذاری کرده‌اند. از سال ۱۹۸۰ به بعد سرمایه‌گذاری روی این دستگاه متوقف شد اما بعد از بحران گرانی نفت در دهه‌های اخیر کشور انگلستان دوباره بر روی این دستگاه سرمایه‌گذاری خود را شروع کرد که در سال ۲۰۰۸ نمونه‌ی بزرگ آن در این کشور ساخته و بهره‌برداری شده است.

این دستگاه حرکت موج‌ها را متوقف و یا کند می‌کند و تا ۹۰ درصد انرژی موج را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. نسخه‌های مختلف این دستگاه با کمی تفاوت برای تبدیل

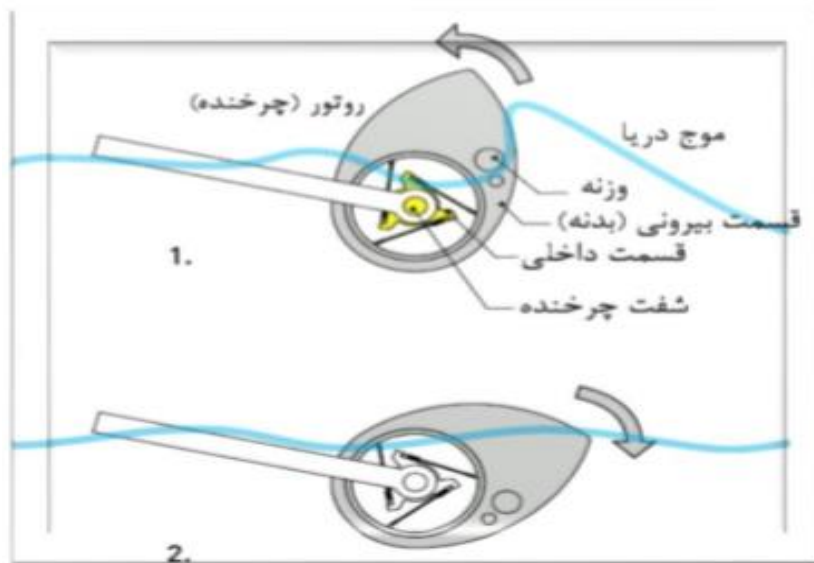
1 Salter's Duck

2 Edinburg university

3 Stephen Salter

انرژی مکانیکی به الکتریکی، مانند یک پاندول یا روتور، برای حرکت ژنراتور استفاده می‌کنند.

شکل شماره ۶. اجزای اصلی بادامک شناور



رفت و برگشت موج بادامک‌ها را می‌چرخاند و این حرکت چرخشی را به ژنراتور وصل می‌کنند. در واقع تعداد زیادی از این بادامک‌ها را توسط میله‌ای به هم وصل می‌کنند و مجموعه را در نزدیکی ساحل روی امواج می‌گذارند، این سیستم‌ها برای امواج سنگین کاربرد دارند.

این دستگاه را معمولاً به صورت سری‌های خطی کنار هم استفاده می‌کنند، قطر دایره بادامک آن‌ها امروزه تا ۳۰ متر و عرض آن‌ها نیز تا ۵۰ متر میرسد و هر دستگاه قدرتی معادل ۵۰ کیلووات را دارد.

شکل شماره ۷. شماتیک یک بادامک شناور



ج) کانال تجمیع کننده^۱

کانالی به شکل مخروط ناقص، آب را در مخزنی مرتفع ذخیره کرده و این آب در بازگشت به سطح دریا توربینی را به حرکت درمی آورد. این سیستم‌ها مانند سیستم ستون نوسانگر آب (OWC) به دودسته ساحلی و فراساحلی تقسیم می‌شوند.

- کانال تجمیع کننده ساحلی اسلات کان ژنراتور^۲

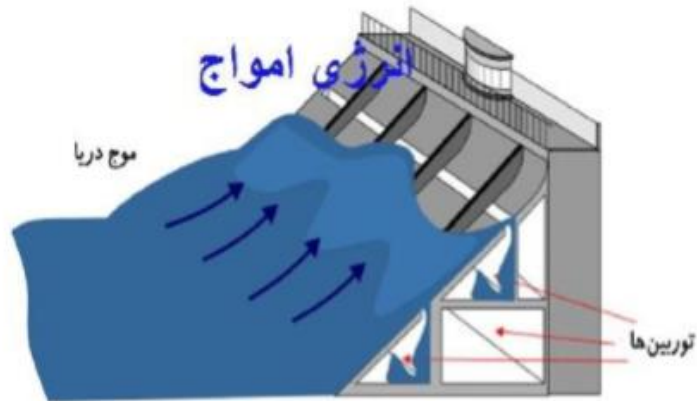
این سیستم مبدل انرژی موج اولین بار در سایت تاپچان^۳ که از سال ۱۹۸۵ تا ۱۹۸۸ در نروژ فعال بوده است، ساخته و به بهره‌برداری رسیده است که ظرفیت تولیدی تا ۵۰۰ کیلووات را داشته است.

1 Overtopping

2 Sea wave Slot cone Generator SSG

3 Tapchan

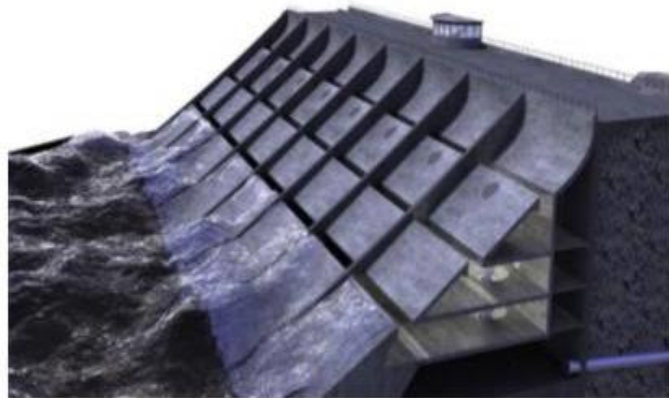
شکل شماره ۷. کانال تجمیع کننده ساحلی (Onshore)



این سیستم معمولاً در کنار موج‌شکن‌های ساحلی طراحی و استفاده می‌شود که یکی از مزیت‌های مهم آن به شمار می‌آید.

انرژی حاصل از آن به انرژی موج و ارتفاع موج در منطقه و همچنین به طول موج شکنی که ساخته می‌شود بستگی دارد، برای مثال برای موج‌های با انرژی ۲۰ کیلووات و همچنین برای سازه‌های با طول ۵۰ متر ظرفیت برق تولیدی بالغ بر یک مگاوات را دارد که رقم قابل توجهی است.

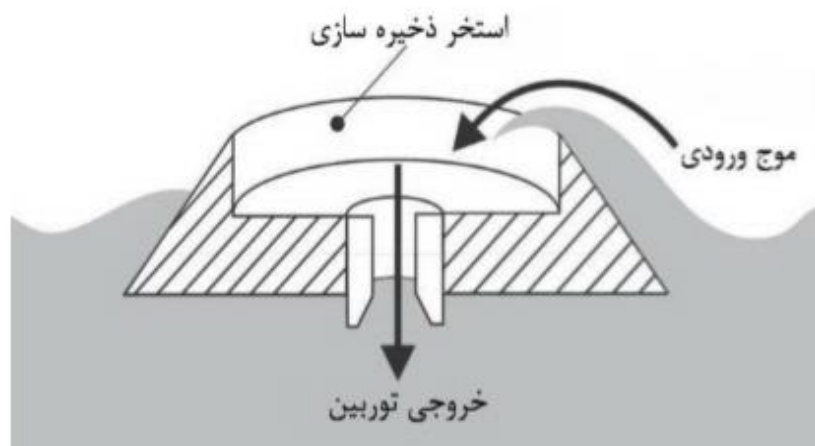
شکل شماره ۸ نمونه‌ای از سیستم SSG طراحی و ساخته شده برای ساخت



- کانال تجمیع کننده فراساحلی

نمونه این سیستم را می توان در یک ساحل مصنوعی شناور به نام مری مک^۱ که توسط آمریکایی ها ساخته شده است، مشاهده نمود. شکل آن به صورت یک برش از یک مخروط می باشد که آب می تواند از اطراف آن به داخل استخر ذخیره ای که طراحی شده است داخل شود و با حرکت از محفظه توربین و به حرکت درآوردن آن خارج شده و به دریا بریزد.

شکل شماره ۹. کانال تجمیع کننده Offshore



از نمونه های امروزی این دستگاه ها به دستگاه اژدهای دریا^۲ می توان اشاره کرد که تغییرات ظاهری اساسی نسبت به نمونه اولیه طراحی شده دارد اما اساس کار آن به همان شکل گفته شده است. این دستگاه دارای دو بازوی موج گیر به طول ۱۰۰ متر در جلو می باشد که موج را به داخل مجموعه هدایت می کند. رمپ^۳ ذخیره آب این دستگاه نیم دایره ای به شعاع حدود ۹۰ متر و دهانه بین دو بازو حدود ۳۰۰ متر است، در قسمت وسط سازه اصلی رمپ چندین توربین آبی قرار دارد که آب از آن ها خارج می شود، بازده الکتریکی این دستگاه به انرژی و شدت موج بستگی دارد و در آب و هوایی نسبتاً آرام و با موج با انرژی

1 Merrimack

2 Wave Dragon

3 Ramp

۱۲ کیلووات می‌تواند انرژی تا ۱,۵ مگاوات را نیز تولید کند (H. Sarlak, M. S. Seif, (M. Abbaspour, S. Abshenas, 2013).

شکل شماره ۱۰. تصویری از حوضچه جمع‌آوری موج ازدهای دریا



د) فناوری ستو^۱

این دستگاه از دستگاه‌های جذب نقطه‌ای می‌باشد، این فناوری یکی از فناوری‌های مورد استفاده برای تبدیل انرژی امواج به الکتریسیته است. در این فناوری دستگاه در زیر آب عمل می‌کند و در کف اقیانوس محکم شده است. در این سیستم چندین شناور به واحدهای پمپ مستقر در بستر دریا متصل شده‌اند. این شناورها با حرکت امواج، تکان می‌خورند و پمپ‌ها را به حرکت در می‌آورند. پمپ‌های مستقر در بستر دریا آب را تحت فشار قرار می‌دهند در نتیجه آب از طریق یک لوله زیرآبی به سمت ساحل برده می‌شود و در ایستگاه ساحلی توربین را به حرکت در می‌آورد که موجب تولید الکتریسیته می‌شود. در نمونه‌ی ستو ۵، این آب پرفشار که پمپ می‌شود به‌طور مستقیم و به روش اسمز معکوس به آب شیرین تبدیل می‌شود (De Backer, Griet. 2009).

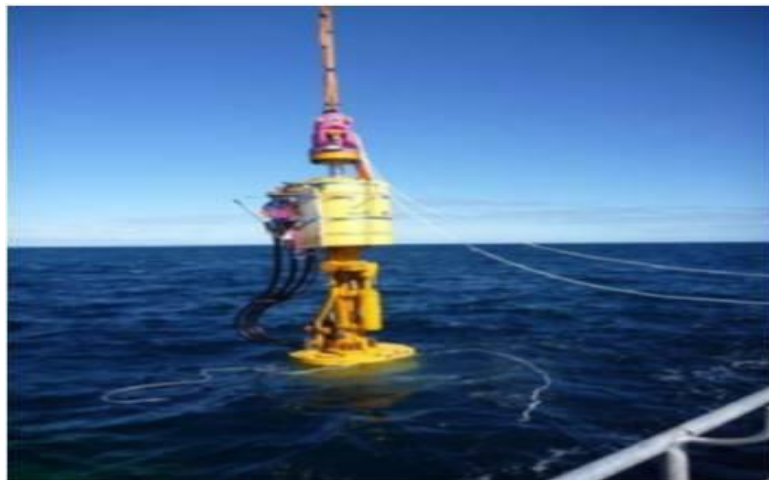
شکل شماره ۱۱. فناوری ستو (CETO)



این دستگاه در سال ۲۰۱۶ در کشور استرالیا و در بندر معروف فریمنتال^۱ ساخته شده است که جزء دستگاه‌های جدید در زمینه انرژی دریایی می‌باشد. انرژی تولیدی برای نمونه ستو ۳ در شرایط مطلوب ۷۸ کیلووات برای هر دستگاه ثبت شده است، با بهره‌گیری از این دستگاه یک نیروگاه دریایی به ظرفیت ۵ مگاوات در استرالیا در حال بهره‌برداری است. امروزه نمونه‌های ستو ۵ و ستو ۶ نیز ساخته شده است که ظرفیت به نسبت بالاتری نسبت به نمونه‌های اولیه خود دارند و استفاده از آن‌ها همه‌روزه در حال گسترش است. این دستگاه در پروژه‌هایی جداگانه در کشورهای فرانسه، کلمبیا و ایرلند در حال ساخت، تحقیقات و بهره‌برداری است. گفته می‌شود که کشور استرالیا در حال راه‌اندازی مجموعه‌ای از این دستگاه‌ها برای تأمین برق سواحل شرقی خود است.

1 Fremantle

شکل شماره ۱۲. یک دستگاه ستو در حال نصب در دریا



هـ) فناوری بویه انرژی^۱

این دستگاه از شرکت آمریکایی تولیدکننده انرژی اقیانوس^۲ که مجموعه‌ای از بویه‌های شناور هماهنگ باهم است. اولین بار در سال ۲۰۰۴ ساخته شده و مورد تست و بهره‌برداری قرار گرفته است. بالا و پائین رفتن ساختارهای بویه‌ای شکل تولید انرژی مکانیکی می‌نماید که به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. این پروژه در ایالت اورگان^۳ نصب شده است. این دستگاه نیز مانند نمونه فناوری ستو یک جذب‌کننده نقطه‌ای است با این تفاوت که نوسانات حاصل را با مبدلی که درون خود دارد به الکتریسیته تبدیل می‌کند و نیازی به تجهیزات و سایت ساحلی برای تبدیل انرژی ندارد، مبدل این دستگاه عموماً کویل الکترومغناطیسی است. این دستگاه در نمونه اولیه خود دارای ارتفاعی حدود ۷ متر و بویه‌ای به قطر ۲٫۵ متر بوده است که قدرت اولیه‌ی تولید انرژی آن ۱٫۵ کیلووات بوده و به‌وسیله بهینه‌سازی‌های اولیه تا ۱۵ کیلووات نیز بالا برده شده است، نمونه‌های بعدی با ابعاد بزرگ‌تر و به ترتیب ۴۰ و ۱۵۰ کیلووات برق تولید کرده‌اند، امروزه سازندگان این دستگاه بر آن هستند تا بویه انرژی‌ای با ظرفیت بالغ بر ۵۰۰ کیلووات را ساخته و راه‌اندازی کنند (Falcão, António FO. 2013).

1 Power Bouy

2 Pacific Northwest Generating Cooperative

3 Oregon

این دستگاه امروزه در اروپا، استرالیا، ژاپن و آمریکا در مزارع انرژی دریایی مورد استفاده است.

و) سیستم تایدگن^۱

این سامانه مهندسی موسوم به سیستم تایدگن که با مشخصات ۳۰ متر ارتفاع و ۹,۵ متر عرض برای محیط‌های کشندی مانند خلیج فارس با عمق بین ۱۸ تا ۴۵ متر ساخته شده است. ژنراتور مغناطیسی نصب شده بین چهار توربین آن می‌تواند ۱۵۰ کیلووات انرژی تولید کند. توربین‌های حلزونی شکل آن ورقه‌های اشکی شکلی هستند که صرف نظر از جهت، در یک جهت واحد می‌چرخند. مجموعه‌ای از چند ده واحد از این سیستم می‌تواند با کابل به سیستم انتقال نیرو وصل شود و برق قابل توجهی را به شبکه تزریق کند.

ز) دستگاه اویستر^۲

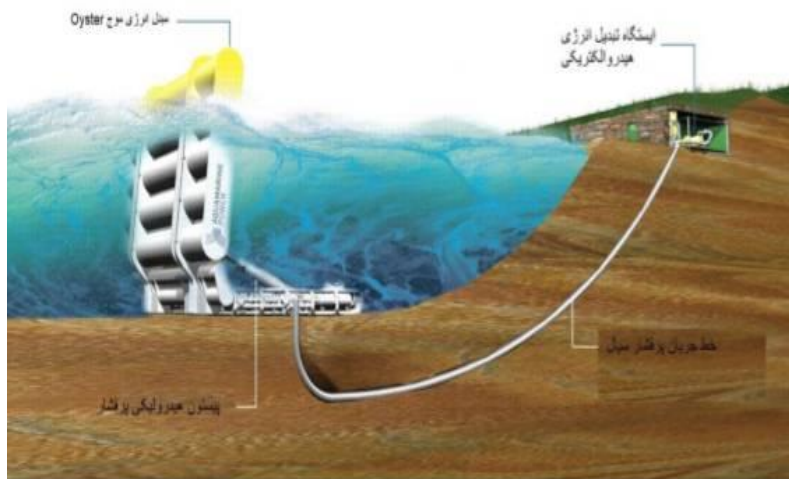
دستگاه اویستر همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است، یک دستگاه مولد انرژی مبتنی بر حرکات نوسانی است که عمدتاً در نزدیکی سواحل دریایی نصب می‌شود. عملکرد اصلی دستگاه آن است که از یک پمپ پیستونی پر قدرت دوطرفه برای پمپ آب دریا به ایستگاه ساحلی تولید انرژی استفاده می‌کند. حجم آب پرفشار پمپ شده برای تولید جریان الکتریکی توسط یک سیستم قدرت آبی استفاده خواهد شد. همچنین می‌توان از این سیستم برای تولید آب شیرین در ساحل طبق پدیده اسمز فشار معکوس^۳ نیز استفاده کرد.

1 Tid Gen

2 Oyster

3 Reverse osmose

شکل شماره ۱۶. شکل شماتیکی از مجموعه اویستر



این دستگاه اولین بار در سال ۲۰۰۹ و در اسکاتلند ساخته و بهره‌برداری شده است، عمق آب طراحی شده برای این دستگاه ۱۲ متر می‌باشد، نمونه اولیه آن که به اویستر ۱ نام گذاری شده است قادر به تولید انرژی بالغ بر ۳۰۰ کیلووات بوده است، در نمونه دوم موسوم به اویستر ۲ این انرژی تا ۵۰۰ کیلووات نیز رسیده است و سازندگان این دستگاه در صدد آن برآمده‌اند تا نمونه‌ای با ظرفیت توان تولیدی ۸۰۰ کیلوواتی از این دستگاه را نیز ساخته و وارد چرخه انرژی کشورشان نمایند.

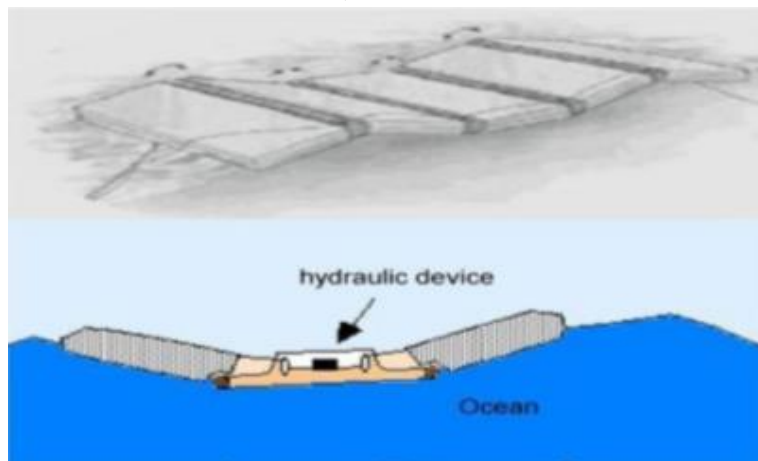
شکل شماره ۱۷. دستگاه اویستر در حال بهره‌برداری در دریا



ح) سیستم کوکرل راف^۱

این سیستم مطابق شکل زیر به صورت چند پانتون متصل به هم است که شناور در سطح آب می‌باشد، بین این پانتون‌ها جک‌های هیدرولیکی به منظور تبدیل نیروی موج به نیروی مکانیکی و در نهایت الکتریکی تعبیه شده است. این دستگاه در سال ۱۹۸۴ در کشور انگلستان ساخته و تست شده است اما امروزه استفاده از آن به دلیل کارایی کم آن منسوخ شده است. می‌توان گفت که این دستگاه جزء اولیه‌های دستگاه‌های جک هیدرولیکی در سطح آب بوده است. به نوعی می‌توان سیستم‌های جدید تضعیف کننده موج مانند پلامیس را از گونه‌های امروزی این دستگاه به حساب آورد.

شکل شماره ۱۸. سیستم کوکرل راف



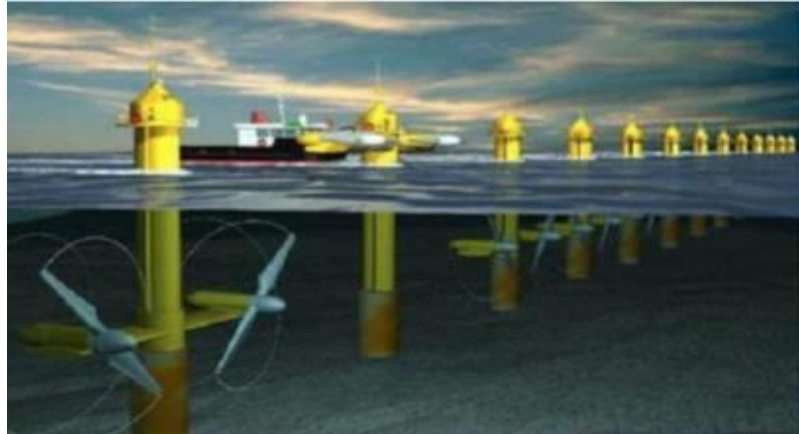
ط) مبدل انرژی جزر و مدی^۲

اساس کار این سیستم همان‌طور که از اسمش پیداست بر پایه رفت و آمد موج و پدیده جزر و مد است، از این لحاظ کارایی این دستگاه در جاهایی زیاد است که جریان رفت و برگشتی بالایی وجود داشته باشد (مانند دهانه تنگه هرمز در خلیج فارس یا کناره‌های پر جزر و مد جزیره قشم و ...).

1 Cockerell Raft

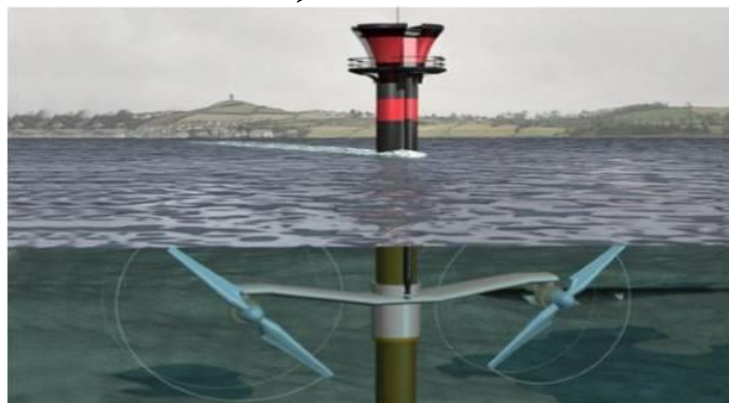
2 Tidal power

شکل شماره ۱۹. نمایی از دستگاه انرژی جزر و مدی



پیدایش این دستگاه در سال ۲۰۰۳ توسط شرکت انگلیسی اسکاتلندی موسوم به European Marine Energy Centre (EMEC) می‌باشد که اولین نوع از این دستگاه را در سواحل اورکنی در معرض آزمایش قرار داد. از آن‌پس در آمریکا و اروپا پروژه‌های زیادی از این قبیل انجام شده است که هر کدام بسته به نوع طراحی دارای یک توربین یا دو توربین هستند و این توربین‌ها طبق طراحی انجام شده بسته به شرایط جزر و مد منطقه می‌توانند در حالت عمودی یا افقی یا حتی مورب کارایی داشته باشند، از این‌رو این دستگاه مورد توجه کشورهای پیش‌تاز در عرصه انرژی‌های دریایی قرار گرفته است.

شکل شماره ۲۰. شمایی از اولین دستگاه انرژی جزر و مدی طراحی شده



اجزا اصلی آن مانند توربین‌های بادی است به طوری که داری یک پره بزرگ و یک توربین و در نهایت یک ژنراتور متصل به آن برای تبدیل انرژی است، این دستگاه امروزه انواع و اقسام مختلفی دارد که بسته به عمق‌های مختلف و شرایط جزر و مدی مختلف به صورت کاملاً متفاوت از هم طراحی شده‌اند. نمونه‌ی اولیه‌ی این دستگاه انرژی چندانی نداشته است اما نمونه‌های امروزی آن حتی تا ۱,۵ مگاوات برق را نیز تولید می‌کنند.

شکل شماره ۲۱. نمونه‌ی جدید از دستگاه‌های انرژی جزر و مدی



ی) سیستم پلامیس

این سیستم به مار دریایی بالا و پائین رونده نیز معروف است. این دستگاه تکامل یافته اجداد خود یا همان کوکرل راف می‌باشد که متشکل از چند استوانه متصل به هم با جک‌های هیدرولیکی^۱ فشار بالا است، ظرفیت هر واحد شناور ۷۵۰ کیلووات است، مجموعه‌ای از این دستگاه‌ها در اسکاتلند با ظرفیت ۳ مگاوات به صورت تجاری مورد بهره‌برداری قرار گرفته است، تاریخچه و مشخصات این دستگاه در فصل بعد توضیح داده خواهد شد. در ادامه به بررسی پیدایش مبدل انرژی موج پلامیس پرداخته شده و سپس به بررسی اجزاء اصلی این دستگاه و همچنین مشخصات و نحوه کارکرد آن اشاره شده است.

1 Hydraulic ramp

شکل شماره ۲۲- مزرعه پلامیس‌ها (Pelamis)



۲- پلامیس و زیر سیستم‌های تشکیل دهنده آن

مبدل انرژی موج پلامیس یک تکنولوژی استفاده از حرکات سطحی دریا برای تولید انرژی الکتریکی است. این دستگاه از نمونه‌های تضعیف‌کننده موج است و انرژی لازم را از قوس موج می‌گیرد نه ارتفاع آن، دستگاه از بخش‌هایی به هم متصل تشکیل شده است به گونه‌ای که با گذر موج جابه‌جا می‌شوند و همین جابه‌جایی است که به کمک جک‌های هیدرولیکی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

دستگاه پلامیس، ساخته کمپانی اسکاتلندی انرژی موج پلامیس (شرکت انتقال انرژی اقیانوس سابق) در سال ۲۰۰۴ که برای اولین بار به خط انتقال نیروی بریتانیا متصل شد اولین دستگاه تبدیل انرژی موج دریا به الکتریسیته بود که خارج از ساحل و در دل دریا کار تبدیل انرژی را انجام می‌داد. از آن تاریخ تاکنون شرکت پلامیس بیش از پنج نمونه از دستگاه تبدیل انرژی خود را ساخته و آزمایش کرده است. سه نمونه از این دستگاه از نوع نسل اول P1 بودند که در یک منطقه تبدیل انرژی، سال ۲۰۰۹ در سواحل پرتغال نصب شدند و دو نمونه دیگر از نسل دوم P2 هستند که از سال ۲۰۱۰ شروع به کار آزمایشی‌شان را در سواحل اورکنی آغاز کردند (Mork, Gunnar, et al. 2010).

پلامیس دستگاه تبدیل انرژی موج به‌صورت تضعیفی است. ساختار بلند و باریک و

طرح کم اصطکاک آن در برابر نیروهای سنگین هیدرودینامیکی مانند نیروی ایستایی، درگ^۱ و نیروی کوبشی^۲ که به وسیله موج‌های بزرگ ایجاد می‌شوند محافظت می‌کند [۱۰]. دستگاه تأثیر خود را از قوس موج می‌گیرد نه از ارتفاع آن. چنانکه هر موج تا حد مشخصی به قوس می‌رسد و در نهایت فرومی‌پاشد می‌توان محدوده حرکتی دستگاه و میزان جابجایی اهرم‌ها را مشخص کرد که حرکت موج‌های کوچک را نیز دربر گیرد. دستگاه دارای مفاصل نوینی است که واکنش در برابر نیروی چند طرفه در آن‌ها افزایش یافته است. این مقاومت در شرایط عادی و موج‌های کوچک باید در بالاترین حد و در شرایط بحرانی و دریا‌های خروشان در کمترین حد باشد تا به مفاصل خسارتی نرسد.

دستگاه تبدیل انرژی پلامیس در مناطقی کاربرد دارد که عمق دریا بیشتر از ۵۰ متر باشد. دستگاه از تعدادی بخش شبه زیرسطحی استوانه‌ای شکل تشکیل شده که به وسیله رابط‌هایی به هم متصل‌اند. با گذر موج در طول دستگاه این بخش‌ها از هم دور یا به هم نزدیک می‌شوند و نسبت به هم حرکت زاویه‌ای پیدا می‌کنند. سیلندرهای هیدرولیکی با این حرکات رقابت می‌کنند که روغن‌های پرفشار را به انباشتگر^۳ (اکومولاتور) هیدرولیکی می‌فرستند و از آنجا به موتوری هیدرولیکی هدایت می‌کنند. این موتورهای هیدرولیکی ژنراتورهایی را فعال می‌کنند و در نتیجه انرژی الکتریسته تولید می‌شود. تمام برق تولیدشده از حرکت سیلندرهای هیدروموتورها به وسیله ترانس مرکزی کنترل‌شده و در نهایت به کابلی مرکزی منتقل شده و از طریق آن به خط اتصال ساحل منتقل شده و وارد شبکه می‌شوند. به وسیله یک کابل در کف دریا می‌توان چندین دستگاه را به خط اصلی متصل کرد (Henderson, Ross. 2006).

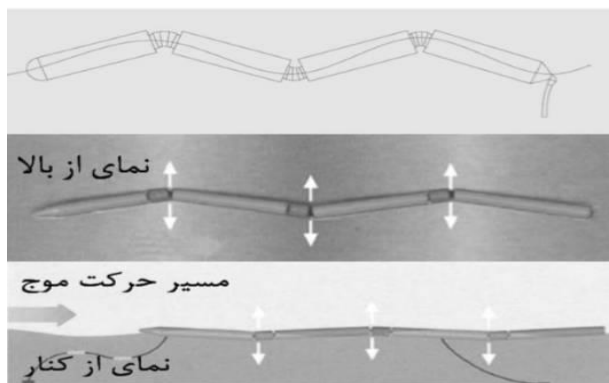
شکل زیر شمای کلی از پلامیس و نحوه عملکرد آن است.

1 Drag

2 Slamming

3 Accumulator

شکل شماره ۲۳. شمای کلی از پلامیس



الف) مشخصات فنی مبدل انرژی پلامیس P1

در جدول زیر مشخصات کلی نمونه اولیه مبدل انرژی موج پلامیس گنجانده شده است:

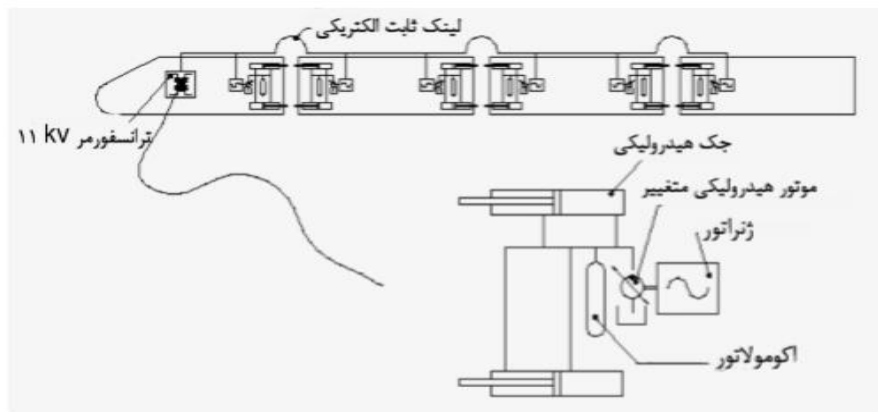
سازه‌ای	
طول نهایی	۱۲۳ متر
قطر	۴٫۶ متر
وزن	۷۰۰ تن
سیستم هیدرولیک	دارای ۳ بخش سیستم تبدیل قدرت مستقل از هم
وزن فولاد به‌کاررفته	۳۸۰ تن
سیستم تبدیل نیرو در هر بخش	
سیستم تبدیل قدرت	۴ بازوی هیدرولیکی (۲ تا هیو، ۲ تا سوی)
سرعت عملکرد بازوها	۰٫۱ - ۰ متر بر ثانیه
سیستم تعدیل فشار	اکومولاتور فشار بالا
فشار سیستم هیدرولیکی	۱۰۰ - ۳۵۰ بار
مبدل انرژی	۲ موتور دور متغیر
ژنراتور	۲ تا ۱۲۵ کیلووات
سرعت ژنراتور	۱۵۰۰ دور در دقیقه
سیستم قدرت	
توان اسمی دستگاه	۷۵۰ کیلووات
نوع ژنراتور	آسینکرون ^۱

مشخصات برق خروجی	۳ فاز، ۶۹۰/۴۱۵ ولت AC ۶۰/۵۰ هرتز
ترانسفورمر	۹۵۰ کیلو ولت آمپر قابل تغییر به ولتاژ مورد نیاز
شرایط محل نصب	
عمق آب	بیشتر از ۵۰ متر
سرعت جریان	کمتر از یک گره دریایی
نوع مهار	مهار به صورت نیمه آزاد با کابل متصل به کف دریا

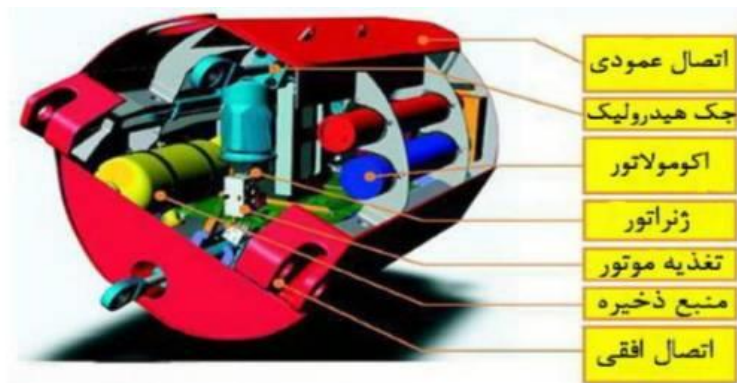
ب) جانمایی اجزاء اصلی دستگاه

شکل زیر شماتیکی از اجزاء داخلی پلامیس و نحوه قرار گیری آن‌ها و همچنین سیستم جک‌های هیدرولیکی را نشان می‌دهد:

شکل شماره ۲۴. شکل شماتیک اجزاء داخلی و نحوه قرار گرفتن آن‌ها



شکل شماره ۲۵. نمای داخلی از اجزای یک پلامیس



ج) اجزاء اصلی یک پلامیس

- ۱- سیلندرها یا بازوهای (جک) هیدرولیکی
- ۲- اکومولاتور
- ۳- هیدروموتور
- ۴- ژنراتور
- ۵- مخزن ذخیره روغن
- ۶- ترانسفورماتور
- ۷- بدنه، اتصالات و ...

همین‌طور که در شکل بالا مشاهده می‌شود، پلامیس از اجزاء مختلفی تشکیل شده است که در این بخش به معرفی و بررسی هر یک از اجزاء آن به‌طور مفصل پرداخته خواهد شد.

سیلندرهاى هیدرولیکی

سازه‌ی پلامیس متشکل از چند واحد تولید برق است که هر واحد از آن شامل چهار بازوی (جک) هیدرولیکی می‌باشد که دو بازو در طرفی برای حرکت هیو و دو بازو در طرف دیگر برای حرکت سواى تعبیه شده است. در این بخش به معرفی اجمالی جک‌های هیدرولیکی پرداخته شده است.

سازه‌ی پلامیس دارای دو نوع سیلندر هیدرولیکی یک‌طرفه و دوطرفه هستند؛ سیلندر یک‌طرفه تنها در یک جهت به وسیله‌ی فشار سیال جابجا می‌شود و در جهت برگشت آن معمولاً با اعمال نیروی خارجی (مانند وزن، فنر و ...) حرکت می‌کند. در این سیلندرها به جهتی که سیلندر اعمال نیرو می‌کند و توسط سیال حرکت دارد جهت فعال سیلندر گفته می‌شود. سیلندر دوطرفه می‌تواند هم در جهت رفت و هم در جهت برگشت توسط سیال اعمال شده به حرکت درآید و اعمال نیروی آن دوطرفه می‌باشد. میزان نیرویی که یک سیلندر هیدرولیکی می‌تواند تولید کند، تابع فشار کاری و سطح پیستون آن می‌باشد. هرچه قطر پیستون بزرگ‌تر در نظر گرفته شود نیرویی که سیلندر می‌تواند تولید کند بزرگ‌تر خواهد بود. این موضوع برای سطح میله پیستون به صورت معکوس است یعنی هر چه قطر میله پیستون بیشتر باشد سطح مؤثر اعمال نیرو در جلوی سیلندر کاهش می‌یابد و سیلندر در برگشت نیروی کمتری تولید می‌کند.

اکومولاتور

در یک سیستم هیدرولیکی اکومولاتور جزء اصلی سیستم برای ذخیره‌سازی است، عملکرد آن در سیستم مانند عملکرد باتری یا خازن در سیستم‌های الکتریکی است، همان‌طوری که باتری شارژ شده و در مواقع نبود جریان الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد اکومولاتور نیز در سیستم هیدرولیکی به این صورت عمل می‌کند. به لحاظ عملکردی اکومولاتورها به سه دسته وزنه‌ای، فنری و گازی تقسیم می‌شوند که در اینجا بنابر کاربرد اکومولاتور گازی در این مسئله به این مهم پرداخته شده است (Drew, Benjamin, A. R. Plummer, and M. Necip Sahinkaya, 2009: 1-87 pp).

الف) اکومولاتور گازی

اکومولاتور گازی که نوع هیدروپنوماتیک نیز نامیده می‌شود نسبت به دو نوع وزنه‌ای و فنری دارای کاربردهای بیشتری است. عملکرد این نوع اکومولاتور بر اساس قانون بویل در گازها می‌باشد. (در دمای ثابت، فشار گاز به نسبت عکس حجم آن تغییر می‌نماید).

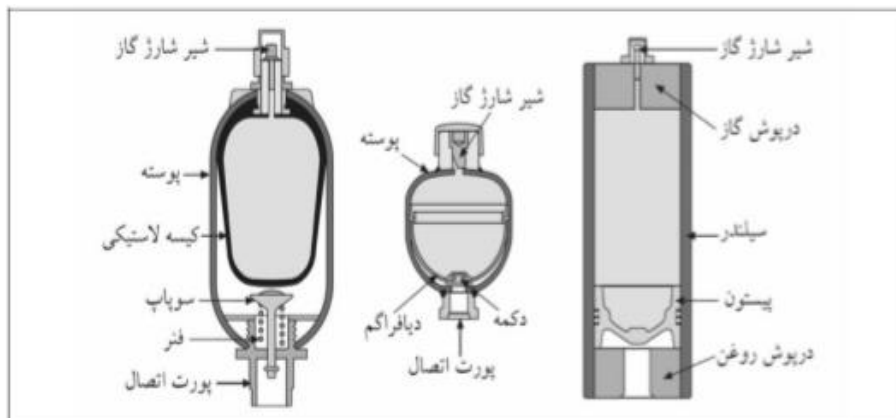
طراحی مقدماتی سامانه‌ای - سازهای پلامیس به‌عنوان مولد انرژی تجدیدپذیر دریایی؛ اسلامی و ترابی | ۲۰۱

خاصیت تراکم‌پذیری گاز، امکان ذخیره‌سازی انرژی پتانسیل در اکومولاتور گازی را فراهم نموده است.

کاهش فشار سیستم موجب انبساط مجدد گاز و آزاد شدن انرژی ذخیره‌شده می‌گردد که این امر رانده شدن سیال به داخل سیستم هیدرولیک را در پی خواهد داشت. اکومولاتورهای گازی به سه دسته کلی زیر تقسیم می‌گردد:

۱- پیستونی ۲- دیافراگمی ۳- کیسه‌ای

شکل شماره ۲۶. نمایی از اجزاء یک اکومولاتور



ب) اکومولاتور پیستونی

در نوع پیستونی، پیستون به‌عنوان جداکننده گاز از روغن عمل می‌کند. عیب اکومولاتورهای پیستونی، گران بودن هزینه‌های ساخت و محدودیت‌های ابعادی می‌باشد. قابلیت کاربرد در سیستم‌های عمل‌کننده در دماهای بسیار بالا و بسیار پایین (با بهره‌بردن از ا - رینگ‌های آب‌بندی مناسب) از مزایای اصلی آن‌ها بشمار می‌آید. در سیستم‌های عمل‌کننده در فشار پایین، اصطکاک در آب‌بندها مسئله‌ساز می‌باشد. این نوع اکومولاتور (به‌خاطر وجود نشتی) باید در فواصل زمانی زیاد شارژ گردد. به دلیل اینرسی پیستون و اصطکاک در آب‌بندها، از این نوع اکومولاتور به‌عنوان جاذب ضربه و جبران‌کننده ضربان‌های فشار استفاده نمی‌گردد.

ج) اکومولاتور دیافراگمی

در اکومولاتور دیافراگمی، دیافراگم جداکننده الاستیک بین روغن و گاز می‌باشد. هنگام شارژ کامل، زائده تعبیه شده در کف دیافراگم، ضمن مسدود نمودن دریچه روغن، از کشیده شدن دیافراگم به داخل آن مجرا جلوگیری می‌نماید. شارژ و کنترل فشار اکومولاتور از طریق سوپاپ تعبیه شده در بالای آن صورت می‌گیرد. روغن ارسالی از پمپ به اکومولاتور، موجب تغییر شکل دیافراگم و ذخیره انرژی گشته که هنگام نیاز، این انرژی آزاد شده و روغن اضافی جهت استفاده به سیستم برمی‌گردد. مهم‌ترین مزیت این نوع اکومولاتور، وزن کم نسبت به حجم سیال خروجی می‌باشد که موجبات کاربرد وسیع آن را در سیستم‌های هوانوردی باعث گردیده است.

د) اکومولاتور کیسه‌ای

لاستیک دمنده^۱ در اکومولاتور نوع کیسه‌ای به منظور جداسازی گاز از روغن از یک کیسه استفاده شده است. به هنگام انبساط کامل کیسه، مجرای ورودی روغن، به واسطه یک شیر سوپاپی (محافظت شده در مقابل عملکرد سریع کیسه) مسدود می‌گردد. مزیت عمده این نوع اکومولاتور، آب‌بندی کامل بین محفظه‌های گاز و روغن می‌باشد. پاسخ سریع کیسه به نوسانات فشار (در نتیجه وزن سبک) موجب کاربرد مناسب این نوع اکومولاتور در سیستم‌های جاذب ضربه و تنظیم فشار گردیده است.

ه) کاربردهای اکومولاتور

- به‌عنوان منبع قدرت
- خنثی‌کننده ضربات پمپ
- خنثی‌کننده ضربات فشار
- منبع قدرت اضطراری یا آماده‌بکار
- جبران‌کننده انبساط حرارتی

- جبران‌کننده نشتی
- متعال‌کننده
- استفاده در سیستم تعلیق خودرو

و) شارژ و اندازه اکومولاتورها

فشار اولیه شارژ اکومولاتور باید به‌اندازه‌ای باشد که تقریباً کل سیال هیدرولیک شارژ‌کننده اکومولاتور، هنگام تخلیه مجدد به سیستم، توانایی انجام کار مفید را داشته باشد. در اکثر موارد فشار شارژ اولیه برابر با حداقل فشار موردنیاز سیستم برای انجام کار در نظر گرفته می‌شود. معمولاً از گاز نیتروژن جهت شارژ اکومولاتورها استفاده می‌شود، زیرا نسبتاً ارزان بوده و از خوردگی اجزاء اکومولاتور نیز جلوگیری می‌کند. (اکومولاتورهای با فشار کاری بالای ۲۰۰ psi باید توسط گاز نیتروژن خشک شارژ شوند). به جهت خطر انفجار هرگز نیابستی از اکسیژن برای شارژ استفاده نمود. جهت شارژ اکومولاتورهای بزرگ (اکومولاتورهای آبی) از هوا استفاده می‌شود اما هنگامی که اکومولاتور حاوی روغن‌های معدنی است توصیه نمی‌گردد.

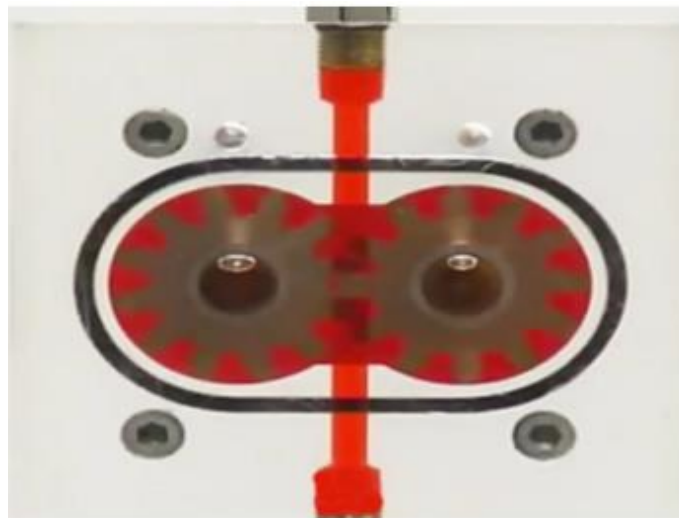
هیدروموتور

موتورهای هیدرولیک عملگرهایی با دوران مداوم هستند که جهت ایجاد گشتاور لازم برای دوران بار چرخشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع برای تبدیل انرژی هیدرولیکی ناشی از سیال درون سیستم (روغن) به انرژی مکانیکی از هیدروموتورها درون سیستم هیدرومکانیکی استفاده می‌شود، از جمله پارامترهای مهم در انتخاب هیدروموتور، حجم جابجایی روغن در هیدروموتور و گشتاور هیدروموتور است که هر کدام طی مراحل طی و توسط روابط مربوط به آن محاسبه می‌شوند.

کارکرد هیدروموتورها به این صورت است که سیال پرفشار از طرفی وارد هیدروموتور شده و پس از به حرکت در آوردن قطعات و چرخ‌دنده‌های هیدروموتور که در نهایت منجر به چرخش شفت هیدروموتور می‌شود از آن خارج می‌شود و به سمت

مخزن ذخیره سیال حرکت می‌کند.
در شکل‌های زیر نمونه‌هایی از هیدروموتورها و همچنین نحوه کارکرد آن‌ها
به صورت شماتیک آمده است.

شکل شماره ۲۷. شماتیکی از عملکرد سیستم هیدروموتور



همان‌طور که دیده می‌شود سیال (روغن) از بالا وارد شده و با به حرکت درآوردن
چرخ‌دنده‌ها از سیستم خارج می‌شود.

ژنراتور

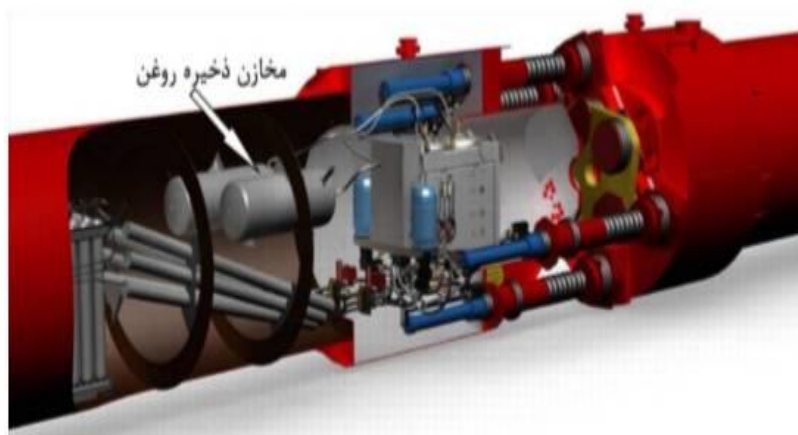
بعد از حرکت هیدروموتور و تبدیل نیروی هیدرولیکی به نیروی مکانیکی، این نیروی
مکانیکی باید به نیروی الکتریکی تبدیل شود که برای این امر، نیاز به یک ژنراتور دارد.
ژنراتورها انواع مختلفی دارند که در این سیستم از ژنراتورهای آسنکرون استفاده می‌شود
که دارای مزیت‌ها و برتری‌هایی نسبت به ژنراتورهای سینکرون و دیگر ژنراتورها می‌باشند.

مخازن ذخیره روغن

یکی دیگر از اجزاء اصلی سیستم پلامیس و مخصوصاً سیستم هیدرولیکی آن مخازن

ذخیره روغن آن می‌باشد که به دلیل فشار بالایی که سیال مورد استفاده در سیستم هیدرولیکی دارد از اهمیت بالایی برخوردار است. مخازن ذخیره روغن معمولاً در هر قسمت از پلامیس دو مخزن می‌باشد که کار رساندن روغن به جک‌ها و بعد از آن ذخیره روغن برگشتی از هیدروموتور را به عهده دارند. در شکل زیر مخازن ذخیره روغن و محل قرارگیری آن‌ها مشخص شده است.

شکل شماره ۲۸. مخازن ذخیره روغن و محل قرارگیری آن‌ها



ترانسفورماتور

یکی از کاربردی‌ترین دستگاه‌های مرسوم در مدارهای الکتریکی ترانسفورماتورها یا به اختصار ترانس‌ها می‌باشند. ترانسفورماتور عبارت است از وسیله‌ای که از طریق یک میدان مغناطیسی متغیر انرژی الکتریکی را از یک سطح ولتاژ به انرژی الکتریکی در سطحی دیگر از ولتاژ تبدیل می‌کند. لذا ترانس‌ها برای انتقال انرژی الکتریکی از یک مدار AC به مدار AC دیگر بدون تغییر فرکانس مدار بکار می‌روند. این امر در خصوص انتقال انرژی الکتریکی اهمیت زیادی دارد؛ زیرا در خطوط انتقال برای کاهش تلفات اهمی جریان الکتریسیته را با ولتاژهای زیاد ولی جریان‌های کم انتقال داده و سپس در محل مصرف مجدداً به حد دلخواه کاهش می‌دهند. با توجه به اینکه شدت جریان در مدار با توان

۲ تلفات اهمی را تحت تأثیر قرار می‌دهد لذا مثلاً با کاهش جریان به نصف (ولتاژ دو برابر) تلفات اهمی به ۴ برابر کاهش خواهد یافت. امروزه مولدهای برق به‌طور معمول جریان برق را با ولتاژی بین ۱۲ الی ۲۵ کیلوولت تولید می‌کنند. این ولتاژ توسط ترانس‌های افزایشنده به ۱۱۰ الی ۱۰۰۰ کیلوولت افزایش یافته و به نقاط دوردست منتقل می‌گردد. علاوه بر این به دلیل تنوع در مصرف‌کننده‌ها از نقطه نظر قدرت مصرفی و ولتاژ موردنیاز امروزه اکثر مصرف‌کننده‌ها به منظور تطبیق ولتاژ ورودی به ولتاژ موردنیاز مجهز به ترانس می‌باشند. امروزه به دلیل تنوع مصرف‌کننده‌ها، انواع مختلفی از ترانس‌ها از نظر مقدار ولتاژ خروجی و قدرت انتقال وجود دارد.

انواع ترانس

ترانس‌ها علاوه بر اینکه از نظر اندازه بسیار متنوع هستند از جهات مختلف دیگری نیز تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف) انواع ترانس از نظر تغییرات ولتاژ

- ترانس‌های افزایشنده که ولتاژ خروجی بیشتر از ولتاژ ورودی می‌باشد. این ترانس‌ها در ابتدای خطوط انتقال قرار می‌گیرند
- ترانس‌های کاهشنده که ولتاژ خروجی کمتر از ولتاژ ورودی می‌باشد؛ و در انتهای خطوط انتقال قرار می‌گیرند.

ب) انواع ترانس از نظر نوع جریان

- ترانس‌های تک فاز
- ترانس‌های سه فاز

ج) انواع ترانس از نظر تجارتهی

ترانس‌های قدرت که در ابتدا و یا انتهای خطوط انتقال فشارقوی قرار می‌گیرند. ترانس‌هایی که در شبکه اصلی قرار می‌گیرند، کیلوولت آن‌ها بین ۳۵ - ۱۱۰ می‌باشند.

طراحی مقدماتی سامانه‌ای - سازه‌های پلامیس به‌عنوان مولد انرژی تجدیدپذیر دریایی؛ اسلامی و ترابی | ۲۰۷

ترانس‌هایی که در خطوط فرعی قرار می‌گیرند کیلوولت آن‌ها بین ۲ - ۳۵ کیلووات قرار دارند.

ترانس‌های توزیع که در اول خطوط مصرف قرار می‌گیرند و ولتاژ خروجی آن‌ها با توجه به ولتاژ رایج هر کشوری ممکن است ۲۲۰ و ۲۰۸ و ۱۱۰ ولت باشد.

د) انواع ترانس از نظر ساختمان هسته

- ترانس‌های هسته‌ای یا ستونی

- ترانس‌های جداری یا زرهی

در نوع زرهی هر دو سیم‌پیچ روی ستون وسط پیچیده می‌شوند و دو ستون کناری مانند جدار یا زرهی دور ستون وسط را می‌گیرند. بنابراین پراکندگی شار کم بوده و لذا تلفات ناشی از نشت شار به اطراف کم می‌شود به طوری که راندمان این نوع از انواع ستونی بیشتر می‌باشد. برای اینکه اندکسیون در تمام نقاط مدار مغناطیسی ثابت باشد ضخامت ستون وسط را دو برابر می‌گیرند. در نوع ستونی هسته دارای دو ستون بوده که هر کدام از سیم‌پیچ‌ها بر روی یکی از ستون‌ها پیچیده می‌شود. به طوری که اگر یکی از سیم‌پیچ‌ها بسوزد می‌توان آن را به تنهایی عوض کرد. در صورتی که در نوع زرهی اگر یکی از سیم‌پیچ‌ها بسوزد هر دو سیم‌پیچ باید تعویض گردد.

ه) انواع ترانس زرهی

- استوان‌های

- صفحه‌ای

در نوع استوان‌های سیم‌پیچ فشارقوی روی سیم‌پیچ فشار ضعیف پیچیده می‌شود. در نوع صفحه‌ای سیم‌پیچ فشارقوی و ضعیف به صورت لایه‌هایی بر روی هم قرار می‌گیرند. نوع استوان‌های چون ارتفاع کمتری دارد ارجح‌تر است.

و) انواع ترانس از نظر نحوه خنک کردن

- ترانس‌های هوا خنک یا خشک

- ترانس های روغنی

ترانس ها به دلیل داشتن تلفات اهمی در اثر جریان گردابی و تلفات مغناطیسی در اثر پدیده پس ماند گرم می شوند که بایستی به نحوی حرارت از ترانس خارج شود. در نوع خشک خنک کردن خودبه خود یا به کمک پنکه ایجاد می شود.

در ترانس های فشارقوی و پر قدرت به دلیل حرارت زیاد آن ها را در داخل روغن غوطه ور می کنند. در این حالت یک پمپ وظیفه چرخش روغن و خنک کردن آن را به عهده دارد. روغن مورد استفاده باید ضمن اینکه غیر قابل اشتعال باشد عایق نیز باشند. روغن هایی مثل کلوفن و پیرانول می توانند در ولتاژهای بالاتر از ۶۰ کیلوولت کار نمایند.

سایر موارد (بدنه و اتصالات و ...)

عمده موارد اصلی ادوات لازم برای یک مبدل انرژی موج پلامیس موارد بالا بود که به آن ها اشاره شد و باقی ملزومات شامل بدنه که متشکل از چند استوانه فلزی آب بند و اتصالات که شامل پین ها و ... و اتصالات سیستم هیدرولیکی و کابل ها و سیستم الکتریکی و همچنین سیستم لنگر و مهار پلامیس می باشد.

در ادامه مدل سازی دینامیکی مسئله انجام شده است و سپس معادلات حاکم بر ماهیت مسئله استخراج شده و روش حل عددی برای آن انتخاب شده و معادلات بر مبنای روش عددی حل شده است.

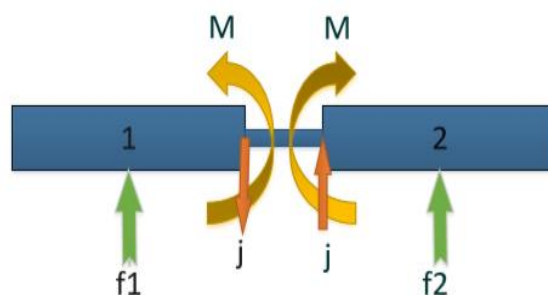
۳- مدل سازی دینامیکی مسئله و معادلات حاکم:

در ابتدا به بیان مسئله پرداخته شده است و فرضیات اولیه را برای ساده سازی حل بیان شده است، سپس دیاگرام آزاد مسئله رسم شده و معادلات دینامیکی حاکم بر مسئله استخراج شده است. بعد از بیان معادلات به روش حل عددی که روش نیومارک بتا می باشد، اشاره شده است و در آخر معادلات بر مبنای این روش ارائه و حل عددی صورت گرفته است.

برای راحت شدن مسئله و حل عددی آن، دینامیک مسئله به صورت دو بعدی در نظر گرفته شده است. همچنین به دلیل تشابه حرکت در اتصالات اصلی از شبیه سازی بقیه

قسمت‌ها صرف نظر کرده و فقط دو قسمت شبیه‌سازی شده است. هندسه مسئله به صورت زیر فرض شده است و برای ساده‌سازی و به دلیل تشابه، نیروی موج وارده به صورت عمود بر سیستم و در راستای محور عمودی در نظر گرفته شده است که در نهایت دیاگرام آزاد مسئله به صورت زیر می‌باشد.

شکل شماره ۲۹. دیاگرام آزاد و هندسه مسئله



الف) معادلات حاکم بر مسئله دارای:

معادلات حاکم بر مسئله دارای دو بخش تعادل نیرویی در راستای محور قائم و گشتاور حول محور عمود بر صفحه است. به دلیل نبود اطلاعات کافی درباره نحوه استفاده از نیروی موج و همچنین به دلیل این که استفاده از موج اصلی پیچیدگی‌های محاسباتی زیادی دارد که در این موضوع نمی‌گنجد، لذا موج را به صورت موج ساده سینوسی در نظر گرفته شده و مقدار اولیه موج متناسب با جرم خود سازه در نظر گرفته شده است، با توجه به این که کل سیستم پلامیس نوع یک بالغ بر ۷۰۰ تن وزن داشته به‌طور تقریبی مقدار اولیه موج برای حل عددی متناسب با یک چهارم وزن کل در نظر گرفته شده است.

پارامترهای موجود در شکل

$$f_1(t) = f_0 \cdot \sin(\omega t)$$

$$f_2(t) = f_0 \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$M = K(\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t))$$

تعداد نیرویی در راستای محور عمودی در نظر گرفته شده و برای هر رو جسم نوشته شده است.

$$\begin{aligned} f_1(t) - j(t) &= m\ddot{y}_1(t) \\ f_2(t) + j(t) &= m\ddot{y}_2(t) \end{aligned}$$

معادله قید حرکتی نیز در واقع معادله حرکت دو جسم نسبت به همدیگر است که به صورت زیر نوشته شده است.

$$\ddot{y}_2(t) - \ddot{y}_1(t) = \frac{L}{2}(\ddot{\theta}_1(t) + \ddot{\theta}_2(t))$$

تفاضل معادلات نیرویی و تلفیق دو معادله فوق: با تفاضل دو معادله (۳-۲) از همدیگر و جایگذاری در معادله (۳-۳) معادله زیر به دست آمده است.

$$f_2(t) - f_1(t) + 2j(t) = \frac{mL}{2}(\ddot{\theta}_1(t) + \ddot{\theta}_2(t))$$

معادلات گشتاور در راستای محور عمود بر صفحه: معادلات گشتاور حول محور عمود بر صفحه برای هر جسم به صورت زیر آورده شده است.

$$\begin{aligned} -\frac{L}{2}j(t) + K(\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)) &= I\ddot{\theta}_1(t) \\ -\frac{L}{2}j(t) - K(\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)) &= I\ddot{\theta}_2(t) \end{aligned}$$

ب) روش عددی نیومارک بتا

نیومارک یک روش گام به گام برای تحلیل پاسخ دینامیکی است که از انتگرال برای رفتن از شرایط اولیه به شرایط نهایی، در هر گام زمانی استفاده می کند. مفهوم اساسی آن در معادلات زیر نشان داده شده است (Power, Pelamis Wave. 2011).

که در آن جابه جایی و سرعت نهایی بر حسب مقادیر اولیه آن‌ها به علاوه یک عبارت

انتگرالی بیان می‌شود. تغییر سرعت بستگی به انتگرال بازه زمانی شتاب و تغییر جابه‌جایی بستگی به انتگرال سرعت متناظر با آن دارد.

برای انجام این قبیل تحلیل‌ها، لازم است که ابتدا فرض شود که شتاب چگونه در گام زمانی تغییر می‌کند. این شتاب فرضی تغییر سرعت را کنترل می‌کند و رفتن به مرحله جلوتر در گام زمانی بعدی را ممکن می‌کند.

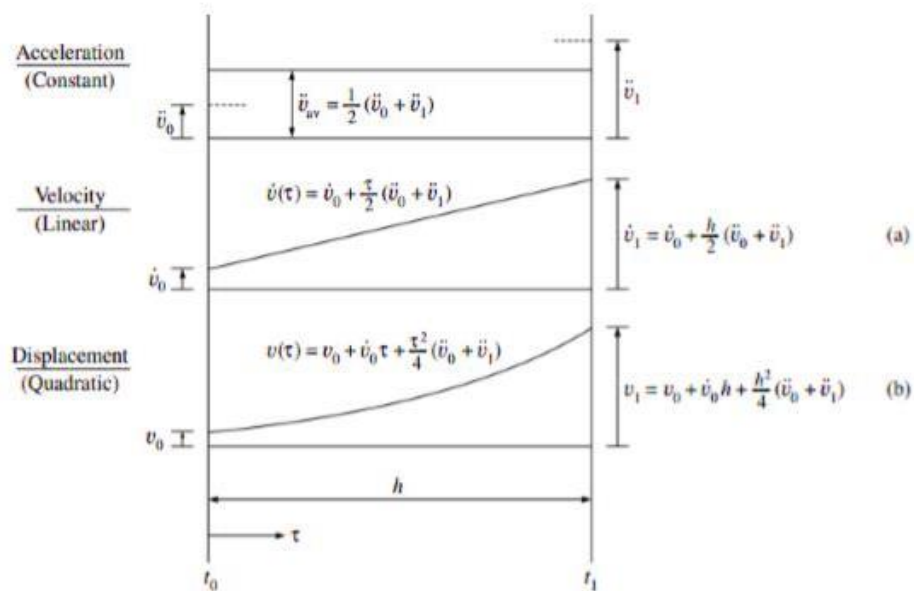
در روش نیومارک فرمول‌بندی انتگرالی (۳-۶) به صورت زیر درمی‌آید:

$$\dot{v}_1 = \dot{v}_0 + \int_0^h \dot{v}(\tau) d\tau$$
$$v_1 = v_0 + \int_0^h \dot{v}(\tau) d\tau$$

آشکار است که در رابطه‌ی (۳-۷)، فاکتور γ یک فاکتور خطی بین تأثیر شتاب اولیه و نهایی بر تغییر سرعت ایجاد می‌کند. فاکتور β به‌طور مشابه این کار را برای شتاب اولیه و نهایی بر تغییر جابه‌جایی می‌کند. با مطالعه به عملکرد این فرمول‌بندی مشخص می‌شود که فاکتور γ مقدار میرایی مصنوعی القاشده بر سیستم را در این پروسه مرحله‌به‌مرحله کنترل می‌کند.

اگر $\gamma = 0,5$ باشد هیچ میرایی مصنوعی وجود ندارد و برای تحلیل سیستم‌های یک‌درجه آزادی استاندارد توصیه شده که از این مقدار استفاده شود. با اختیار کردن فاکتور $\gamma = 0,5$ و قرار دادن $\beta = 0,25$ در معادلات (۳-۷) و (۳-۸)، فرمول‌بندی نیومارک به عبارات داده شده در شکل (۲-۳) می‌رسد؛ بنابراین نیومارک با $\beta = 0,25$ به نام روش شتاب ثابت میانگین خوانده می‌شود.

شکل شماره ۳۰. حرکت بر اساس شتاب میانگین ثابت



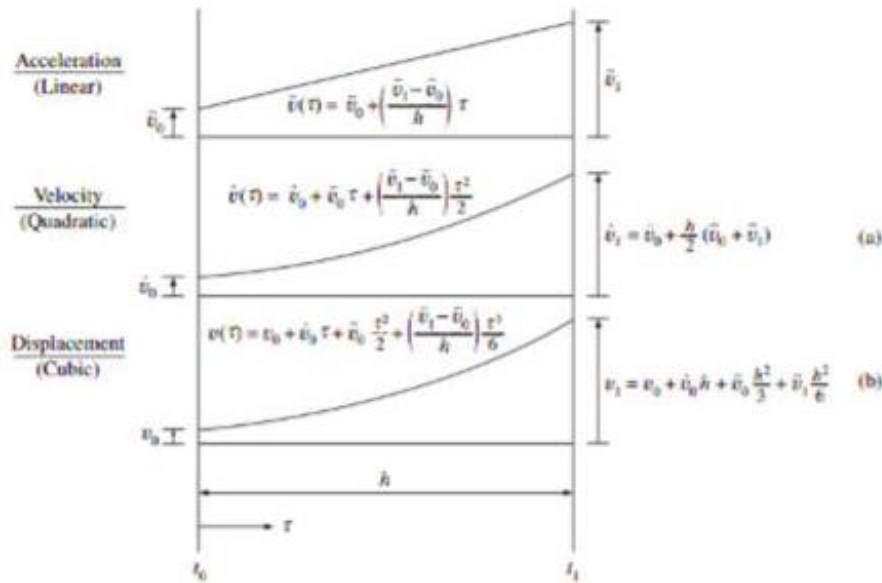
از سوی دیگر اگر $\beta = 6/1$ اختیار شود (با $\gamma = 0,5$) عبارات سرعت و شتاب نمایی به مقادیر زیر می‌رسد.

$$\dot{v}_1 = \dot{v}_0 + \frac{h}{2}(\ddot{v}_0 + \ddot{v}_1)$$

$$v_1 = v_0 + \dot{v}_0 h + \frac{h^2}{3}\ddot{v}_0 + \frac{h^2}{6}\ddot{v}_1$$

این روابط همچنین با فرض تغییر خطی شتاب در طول گام زمانی نیز استخراج می‌شود (شکل ۳-۳). از این رو نیومارک با $\beta = 6/1$ به عنوان روش شتاب خطی شناخته می‌شود. همانند روش شتاب میانگین ثابت، این روش نیز به صورت گسترده‌ای در عمل مورد استفاده واقع می‌شود؛ اما برخلاف روش $\beta = 0,25$ ، روش شتاب خطی تنها به صورت مشروط پایدار است. در این روش اگر $h/T \leq 0.55$ باشد ناپایدار خواهد بود.

شکل شماره ۳۱. حرکت بر اساس تغییر خطی شتاب



پیش از استفاده از روش نیومارک برای تحلیل دینامیکی یک سری نکات در مورد آن بیان می‌شود.

۱. به دلیل میرا نبودن و فرکانس بالای سیستم استفاده از روش شتاب خطی منجر به نتیجه نشد، بنابراین فاکتورهای $\beta = 0,4$ و $\gamma = 0,55$ استفاده شد که یک میرایی عددی به سیستم اضافه کرده و پاسخ پایدار شود.

۲. گام زمانی باید به اندازه کافی کوچک باشد تا یک بیان مناسب برای بارگذاری و تاریخچه زمانی ارائه کند چراکه یک ورودی یا پاسخ فرکانس بالا با یک بازه زمانی بزرگ توضیح داده نمی‌شود.

۳. فاکتورهایی که می‌توانند خطا وارد نتایج کنند عبارت‌اند از:

- خطای گرد کردن

- ناپایداری

- خطای برش

۴. خطاهای ناشی از هر کدام از عوامل بالا می‌توانند با یکی یا هر دو تأثیر زیر خود را نشان

دهند:

- اختلاف فاز یا تغییر مشهود در فرکانس
- میرایی مصنوعی که روش حل عددی، انرژی به پاسخ دینامیکی سیستم اضافه یا از آن کم می‌کند.

ج) بی‌بعد سازی معادلات

با توجه به این که حل معادلات اصلی مسئله با روش عددی جواب صحیح نداشته است لذا برای راحت شدن و گرفتن جواب صحیح و دقیق معادلات اصلی بی‌بعد شده و حل شده است.

برای معادلات نیرویی ابتدا طرفین معادله بر $m\omega_n^2$ تقسیم شده است.

$$\frac{f_0}{m\omega_n^2} \sin(\omega t) - \frac{j(t)}{m\omega_n^2} = \frac{\ddot{y}_1(t)}{\omega_n^2}$$

$$\frac{f_0}{m\omega_n^2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + \frac{j(t)}{m\omega_n^2} = \frac{\ddot{y}_2(t)}{\omega_n^2}$$

که در آن:

$$\delta_{st} = \frac{f_0}{m\omega_n^2}$$

طرفین معادله بر δ_{st} تقسیم شده تا این معادلات بی‌بعد شوند.

$$\sin(\omega t) - \frac{j(t)}{\delta_{st} m \omega_n^2} = \frac{\ddot{y}_1(t)}{\delta_{st} \omega_n^2}$$

$$\sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + \frac{j(t)}{\delta_{st} m \omega_n^2} = \frac{\ddot{y}_2(t)}{\delta_{st} \omega_n^2}$$

در این مرحله، معادله قید حرکتی با تقسیم طرفین بر $\delta_{st}\omega_n^2$ بی‌بعد شده است.

$$\frac{2}{\delta_{st} \omega_n^2} (\ddot{y}_2(t) - \ddot{y}_1(t)) = \frac{L}{\delta_{st} \omega_n^2} (\ddot{\theta}_1(t) + \ddot{\theta}_2(t))$$

معادله تفاضلی نیز با تقسیم طرفین بر ω_n^2 بی‌بعد شده است.

$$\frac{2}{\delta_{st} m \omega_n^2} (f_2(t) - f_1(t) + 2j(t)) = \frac{L}{\delta_{st} \omega_n^2} (\ddot{\theta}_1(t) + \ddot{\theta}_2(t))$$

از آنجا که $I = (mL^2)/12$ است معادلات گشتاور نیز با تقسیم طرفین بر $\delta_{st} \omega_n^2 I$ بی‌بعد شده است.

$$-\frac{6L}{\delta_{st} m \omega_n^2} j(t) + \frac{12K}{mL \delta_{st} \omega_n^2} (\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)) = \frac{L \ddot{\theta}_1(t)}{\delta_{st} \omega_n^2}$$

$$-\frac{6L}{\delta_{st} m \omega_n^2} j(t) - \frac{12K}{mL \delta_{st} \omega_n^2} (\dot{\theta}_2(t) - \dot{\theta}_1(t)) = \frac{L \ddot{\theta}_2(t)}{\delta_{st} \omega_n^2}$$

با تعریف پارامترهای جدید به‌صورت زیر، معادلات اصلی بی‌بعد شده بازنویسی شده است.

$$J(t) = \frac{j(t)}{\delta_{st} m \omega_n^2}$$

$$\dot{Y}_1(t) = \frac{\ddot{y}_1(t)}{\delta_{st} \omega_n^2}$$

$$\dot{Y}_2(t) = \frac{\ddot{y}_2(t)}{\delta_{st} \omega_n^2}$$

$$\dot{T}_1(t) = \frac{\dot{\theta}_1(t)}{\omega_n}$$

$$\dot{T}_2(t) = \frac{\dot{\theta}_2(t)}{\omega_n}$$

$$\ddot{T}_1(t) = \frac{\ddot{\theta}_1(t)}{\omega_n^2}$$

$$\ddot{T}_2(t) = \frac{\ddot{\theta}_2(t)}{\omega_n^2}$$

$$F_1(t) = \frac{f_0}{\delta_{st} m \omega_n^2} \sin(\omega t) = \sin(\omega t)$$

$$F_2(t) = \frac{f_0}{\delta_{st} m \omega_n^2} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

که در نهایت معادلات به صورت زیر حاصل شده است.
معادلات نیرو

$$\sin(\omega t) - J(t) = \dot{Y}_1(t)$$

$$\sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + J(t) = \dot{Y}_2(t)$$

معادله قید حرکتی

$$2(\ddot{Y}_2(t) - \dot{Y}_1(t)) = \frac{L}{\delta_{st}} (\ddot{T}_1(t) + \ddot{T}_2(t))$$

معادله حاصل از تفاضل معادلات نیرویی و ادغام با معادله قید حرکتی

$$2(F_2(t) - F_1(t) + 2J(t)) = \frac{L}{\delta_{st}} (\ddot{T}_1(t) + \ddot{T}_2(t))$$

معادلات گشتاور

$$-6LJ(t) + \frac{12K}{mL\delta_{st}\omega_n} (\dot{T}_2(t) - \dot{T}_1(t)) = \frac{L}{\delta_{st}} \ddot{T}_1(t)$$

$$-6LJ(t) - \frac{12K}{mL\delta_{st}\omega_n} (\dot{T}_2(t) - \dot{T}_1(t)) = \frac{L}{\delta_{st}} \ddot{T}_2(t)$$

با توجه به شرایط مسئله می‌توان معادلات نیومارک را به صورت زیر به معادلات اصلی بی‌بعد شده اعمال کرد.

$$\Delta \ddot{x}(t) = \frac{6}{h^2} \Delta x(t) - \frac{6}{h} \dot{x}(t) - 3\ddot{x}(t)$$

$$\Delta \dot{x}(t) = \frac{3}{h} \Delta x(t) - 3\dot{x}(t) - \frac{h}{2} \ddot{x}(t)$$

ابتدا معادلات اصلی به صورت تفاضلی نوشته شده است.

$$\Delta F_1(t) - \Delta J(t) = \frac{6}{h^2} \Delta Y_1 - \frac{6}{h} Y_1'(t) - 3Y_1''(t)$$

$$\Delta F_2(t) + \Delta J(t) = \frac{6}{h^2} \Delta Y_2 - \frac{6}{h} Y_2'(t) - 3Y_2''(t)$$

$$2\left[\frac{6}{h^2} (\Delta Y_2 - \Delta Y_1) - \frac{6}{h} (Y_2'(t) - Y_1'(t)) - 3(Y_2''(t) - Y_1''(t))\right] = \dots$$

$$\dots \frac{L}{\delta_{st}} \left[\frac{6}{h^2} (\Delta T_1(t) + \Delta T_2(t)) - \frac{6}{h} (\dot{T}_1(t) + \dot{T}_2(t)) - 3(\ddot{T}_1(t) + \ddot{T}_2(t))\right]$$

برای خلاصه‌سازی معادلات حاضر از پارامترهای تعریف شده زیر استفاده شده است.

$$Z = \frac{12K}{mL \delta_{st} \omega_n}$$

$$O = \frac{6L}{h^2 \delta_{st}}$$

$$P = \frac{6L}{h \delta_{st}}$$

$$D = \frac{3L}{\delta_{st}}$$

که معادلات به صورت زیر تبدیل شده است.

$$\Delta F_1(t) - \Delta J(t) = \frac{6}{h^2} \Delta Y_1 - \frac{6}{h} \dot{Y}_1(t) - 3\ddot{Y}_1(t)$$

$$\Delta F_2(t) + \Delta J(t) = \frac{6}{h^2} \Delta Y_2 - \frac{6}{h} \dot{Y}_2(t) - 3\ddot{Y}_2(t)$$

$$\begin{aligned} & \frac{12}{h^2} (\Delta Y_2 - \Delta Y_1) - \frac{12}{h} (\dot{Y}_2(t) - \dot{Y}_1(t)) - 6(\ddot{Y}_2(t) - \ddot{Y}_1(t)) = \dots \\ & \dots O(\Delta T_1(t) + \Delta T_2(t)) - P(\dot{T}_1(t) + \dot{T}_2(t)) - D(\ddot{T}_1(t) + \ddot{T}_2(t)) \end{aligned}$$

$$2\Delta F_2(t) - 2\Delta F_1(t) + 4\Delta J(t) = \dots$$

$$\dots O(\Delta T_1(t) + \Delta T_2(t)) - P(\dot{T}_1(t) + \dot{T}_2(t)) - D(\ddot{T}_1(t) + \ddot{T}_2(t))$$

$$-6L\Delta J(t) + \frac{3Z}{h} (\Delta T_2(t) - \Delta T_1(t)) - 3Z(\dot{T}_2(t) - \dot{T}_1(t)) - \frac{Zh}{2} (\ddot{T}_2(t) - \ddot{T}_1(t)) = \dots$$

$$\dots O\Delta T_1(t) - P\dot{T}_1(t) - D\ddot{T}_1(t)$$

$$-6L\Delta J(t) - \frac{3Z}{h} (\Delta T_2(t) - \Delta T_1(t)) - 3Z(\dot{T}_2(t) - \dot{T}_1(t)) - \frac{Zh}{2} (\ddot{T}_2(t) - \ddot{T}_1(t)) = \dots$$

$$\dots O\Delta T_2(t) - P\dot{T}_2(t) - D\ddot{T}_2(t)$$

در فصل پیش رو این معادلات با نرم افزار متلب حل عددی شده و نتایج آن ارائه شده است

و سپس با استفاده از داده‌های به‌دست آمده شبیه‌سازی در نرم‌افزار آباکوس انجام شده و در نهایت با تحلیل‌های مکرر در ضخامت‌های مختلف حداقل ضخامت موردنیاز به دست آمده است.

۴- نتایج عددی

در ادامه نتایج کد نویسی حاصله از فرمول‌بندی‌های ارائه‌شده قسمت قبل ارائه شده است؛ که این نتایج برای استخراج گشتاور اعمال‌شده بر روی بدنه پلامیس استفاده شده است تا از این مورد در نهایت با تحلیل در نرم‌افزار آباکوس ضخامت موردنیاز برای بدنه به دست آمده است.

الف) حل معادلات اصلی مسئله

برای طراحی و تحلیل مسئله به سه پارامتر $(J(t), T_2(t), T_1(t))$ نیاز است لذا برای حل معادلات فقط معادلات (۳-۲۸) و (۳-۲۷) حل عددی شده‌اند. شرایط مرزی برای حل عددی معادلات به‌صورت زیر است.

$$T_1(0) = 0$$

$$T_2(0) = 0$$

$$T_1'(0) = 0$$

$$T_2'(0) = 0$$

مقدار اولیه پارامترهای دیگر در لحظه صفر از معادلات اصلی (۳-۱۹) و (۳-۱۸) و با قرار دادن $t = 0$ به‌دست آمده است.

$$2(F_2(0) - F_1(0) + 2J(0)) = \frac{L}{\delta_{tt}} (T_1''(0) + T_2''(0))$$

$$-6LJ(0) + \frac{12K}{mL\delta_{\pi}\omega_n}(T_2^*(0) - T_1^*(0)) = \frac{L}{\delta_{\pi}}\ddot{T}_1(0)$$

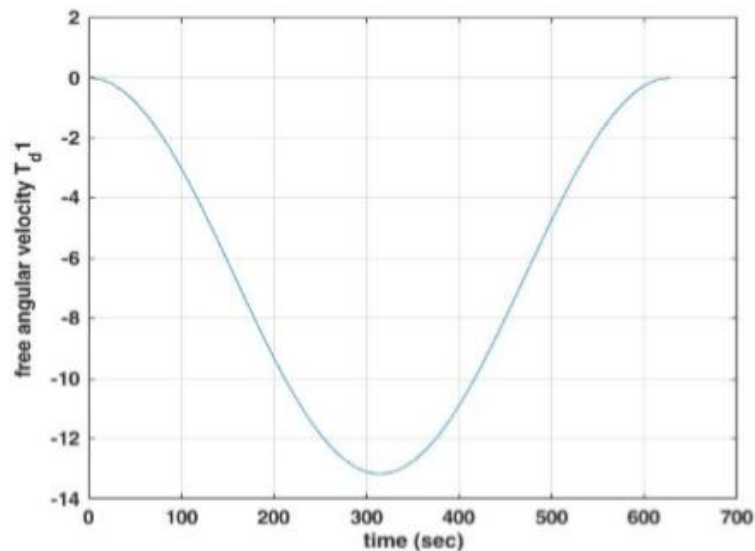
$$-6LJ(0) - \frac{12K}{mL\delta_{\pi}\omega_n}(T_2^*(0) - T_1^*(0)) = \frac{L}{\delta_{\pi}}\ddot{T}_2(0)$$

با در نظر گرفتن شرایط مرزی از حل سه معادله و سه مجهول بالا مقدار اولیه پارامترهای ... به دست آمده است.

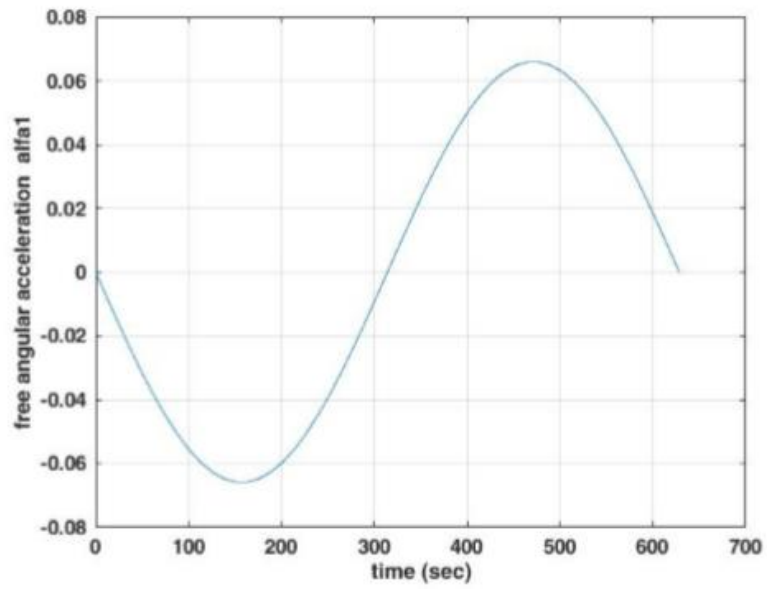
حال مسئله به روش عددی نیومارک قابل حل است که با نرم افزار متلب حل شده (کدنویسی در پیوست آمده است) و نتایج آن به صورت زیر ارائه شده است. مشاهده می شود که با توجه به شکل نیروی موج وارد شده شکل پاسخها و پارامترهای پاسخ در محدوده مورد انتظار به دست آمده است.

نتایج به دست آمده برای قسمت اول (استوانه اول):

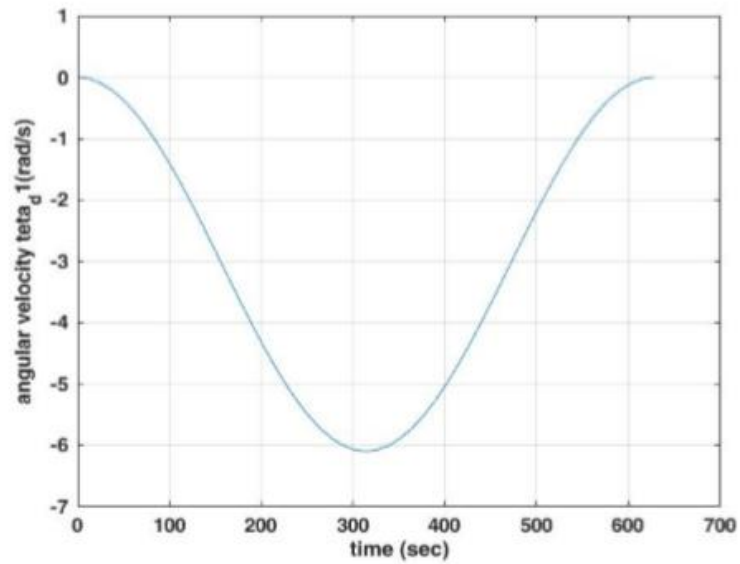
شکل شماره ۳۲. نمودار سرعت زاویه ای بدون بعد برحسب زمان برای استوانه اول



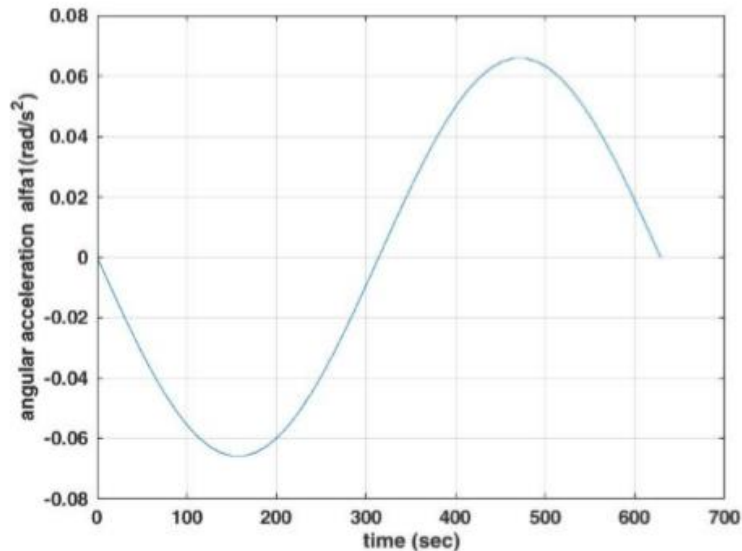
شکل شماره ۳۳. نمودار شتاب زاویه‌ای بدون بعد برحسب زمان برای استوانه اول



شکل شماره ۳۴. نمودار سرعت زاویه‌ای برحسب زمان برای استوانه اول



شکل شماره ۳۵. نمودار شتاب زاویه‌ای بر حسب زمان برای استوانه اول

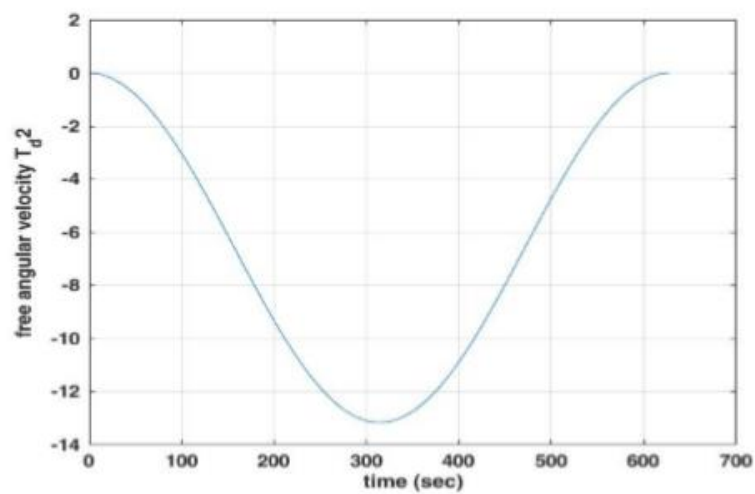


این نمودارها برای یک سیکل یا دوره تناوب ارائه شده است. با توجه به نمودار سرعت زاویه‌ای در شکل (۳۳) مشاهده شد که در لحظه صفر حرکت از حالت سکون و نقطه صفر شروع شده است و ادامه این حرکت تا لحظه نصف دوره تناوب با شیب منفی بوده است که این شیب منفی بیانگر شتاب زاویه‌ای منفی حرکت است که با توجه نمودار شتاب زاویه‌ای در شکل (۳۵) این مسئله قابل مشاهده است. در لحظه نصف دوره تناوب حرکت نمودار سرعت زاویه‌ای تغییر جهت داده است که این تغییر جهت نمایانگر شتاب صفر در لحظه نصف دوره تناوب است. از نصف سیکل به بعد حرکت سرعت زاویه‌ای شیب مثبت به خود گرفته که این امر نمایانگر شتاب زاویه‌ای مثبت است که در نمودار شتاب زاویه‌ای شکل (۳۵) شتاب مثبت مشاهده می‌شود. همچنین با بررسی نمودار پارامترهای بی بعد شتاب زاویه‌ای و سرعت زاویه‌ای با نمودارهای اصلی و همچنین دقت در روند بی بعدسازی معادلات مشاهده شد که این نمودارها رابطه مناسب و مطابق معادلات را با همدیگر دارند که این خود می‌تواند نشان از بی بعدسازی صحیح معادلات و روابط و صحت حل عددی باشد. با افزایش دوره تناوب و مشاهده سیکل‌های بعدی نمودار مشاهده شد که رفتار

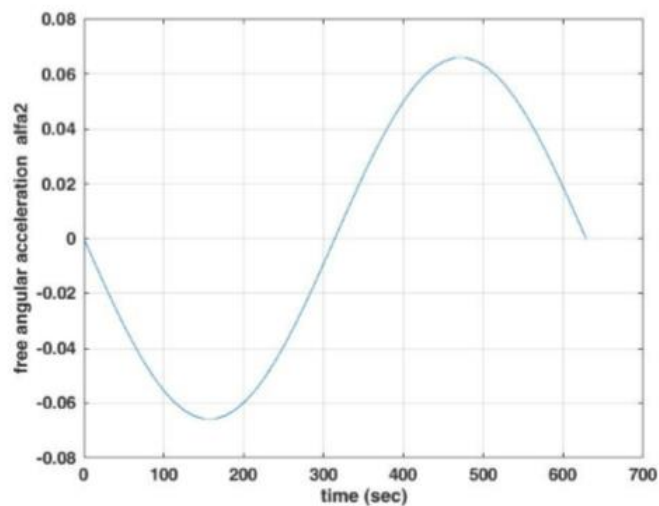
نمودار تغییری نکرده و به همین حالت باقی مانده و در همین محدوده مشاهده شده در نوسان است.

نتایج به دست آمده برای قسمت دوم (استوانه دوم):

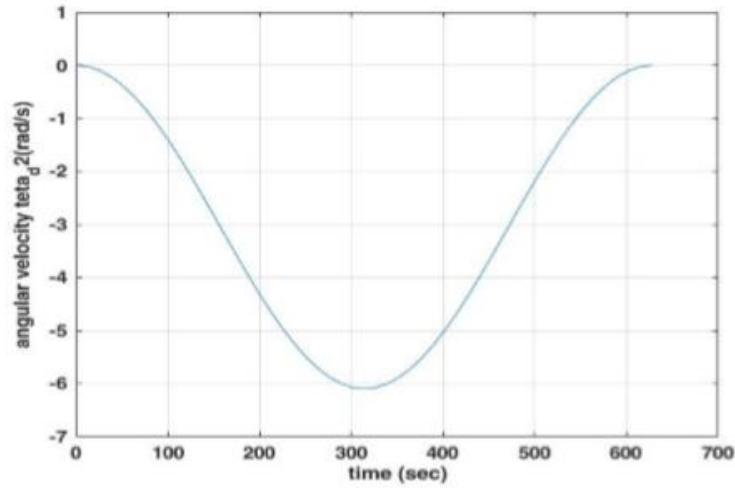
شکل شماره ۳۶. نمودار سرعت زاویه‌ای بدون بعد بر حسب زمان برای استوانه دوم



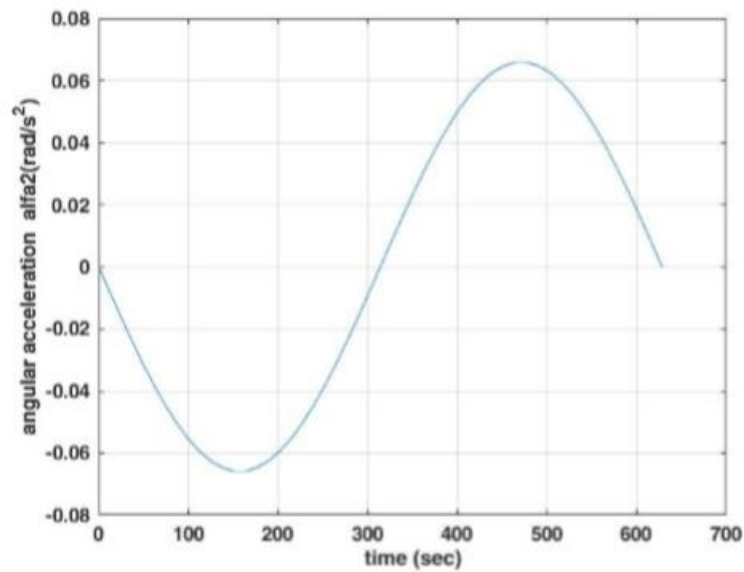
شکل شماره ۳۷. نمودار شتاب زاویه‌ای بدون بعد بر حسب زمان برای استوانه دوم



شکل شماره ۳۸. نمودار سرعت زاویه‌ای بر حسب زمان برای استوانه دوم



شکل شماره ۳۹. نمودار شتاب زاویه‌ای بر حسب زمان برای استوانه دوم

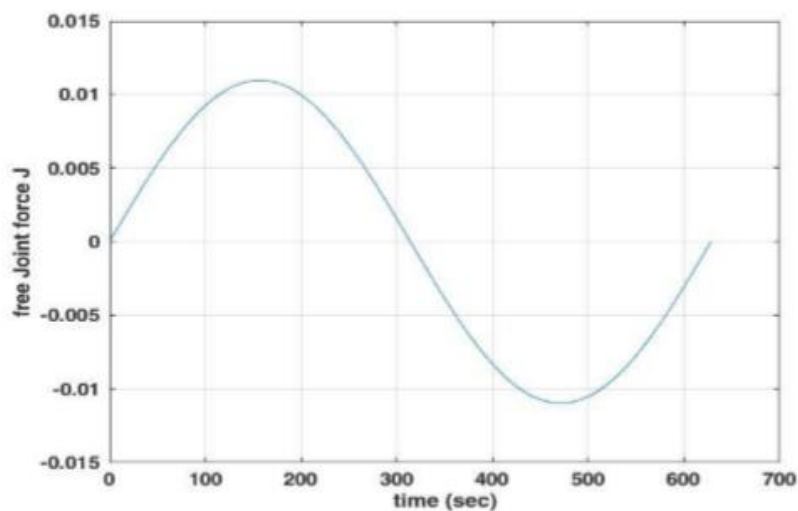


همان‌طور که مشاهده شد نمودارها برای سیکل یا دوره تناوب اول ارائه شده است. با مشاهده نمودارها این نتیجه حاصل شد که رفتار استوانه دوم همانند استوانه اول است. با

مشاهده شکل (۴-۷) سرعت زاویه‌ای نصف دوره تناوب به مقدار ماکزیمم رسیده است و در لحظه ابتدا و انتهای سیکل تناوب سرعت زاویه‌ای صفر است. همچنین با توجه به شکل (۴-۸) مشاهده شد که نمودار شتاب زاویه‌ای در لحظه یک چهارم دوره تناوب به مینیمم رسیده است که این نشان‌دهنده بیشترین مقدار شتاب منفی است و در لحظه سه چهارم دوره تناوب به ماکزیمم مقدار خود رسیده است که نشان‌دهنده بیشترین شتاب مثبت است که این نقاط به لحاظ اندازه یکسان‌اند.

نتایج به‌دست‌آمده برای محل اتصال بین دو قسمت (استوانه اول و دوم):

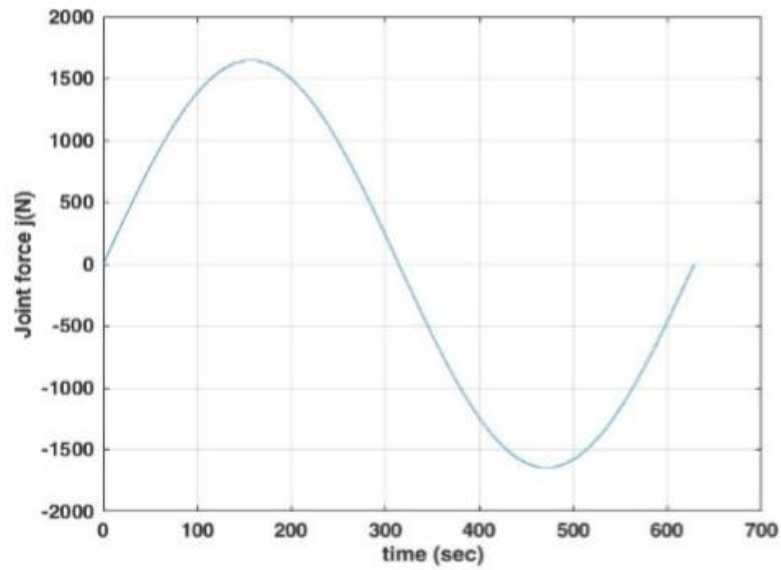
شکل شماره ۴۰. نمودار نیروی بی‌بعد شده اتصال بین دو استوانه برحسب زمان



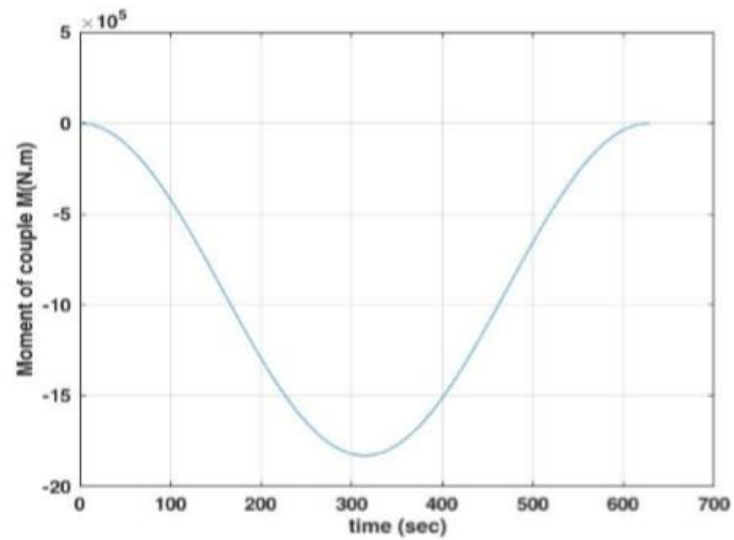
با بررسی نتایج عددی و تغییر پارامتر اولیه نیرو مشاهده شد که با افزایش مقدار نیرو مقدار سرعت زاویه‌ای و شتاب زاویه‌ای کاهش یافت، اما مقدار تفاضل بین سرعت زاویه‌ای استوانه اول و دوم که پارامتر مؤثر در به دست آوردن گشتاور حاصل از جک‌های هیدرولیکی است، افزایش داشته است و این امر باعث شده است که با افزایش مقدار اولیه نیرو مقدار گشتاور حاصل نیز افزایش یابد. همچنین با دقت در شکل نمودار پارامترها مشاهده شد که تغییر در پارامترهای اولیه شکل حرکت نتایج را دچار تغییرات آن‌چنانی

نکرده است.

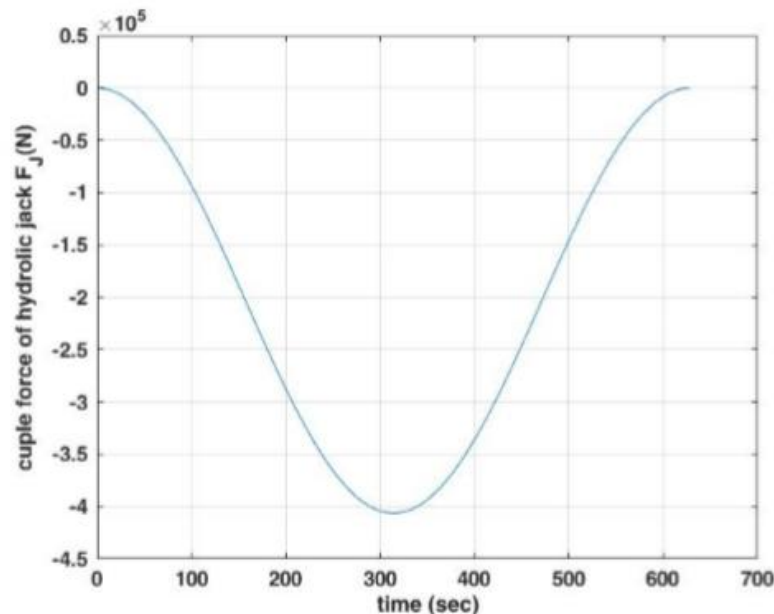
شکل شماره ۴۱. نمودار نیروی اتصال بین دو استوانه برحسب زمان



شکل شماره ۴۲. نمودار گشتاور کوپل جک‌های هیدرولیکی بین دو استوانه برحسب زمان



شکل شماره ۴۳. نمودار نیروی کوپل جک‌های هیدرولیکی بین دو استوانه برحسب زمان



با دقت به شکل (۴۳) مشاهده شد که مقدار ماکزیمم نیروی کوپل جک‌های هیدرولیکی در نیمه دوره تناوب اتفاق افتاده است که مقدار آن در نمودار بالا قابل ملاحظه است. با در نظر گرفتن این مقدار ماکزیمم برای کوپل جک‌های هیدرولیکی و با در نظر گرفتن مقدار ضریب اطمینان ۲ روند شبیه‌سازی کمانش در نرم‌افزار آباکوس به صورت زیر انجام شده است تا در نهایت به ضخامت موردنیاز برای بدنه پلامیس دست یابد.

ج) مدل‌سازی مسئله در نرم‌افزار آباکوس برای به دست آوردن ضخامت لازم بدنه: با توجه به نتایج به دست آمده از حل عددی برای به دست آوردن حداقل ضخامت موردنیاز سازه یک استوانه با ابعاد موردنیاز (قطر ۴٫۵ متر و طول ۳۰ متر) در ضخامت‌های متغیر (بین ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر) مدل‌سازی شده است و با بررسی نتایج حاصل از تحلیل این مدل‌سازی‌ها و حل عددی مسئله ضخامت مناسب برای این مورد انتخاب شده است.

بار بحرانی کمانش^۱: برای هر شکلی از ماده هنگامی که نسبت طول به ضخامت خیلی

1 Critical buckling load

زیاد شود تحت تأثیر بارگذاری نادرست ممکن است کمانش رخ دهد. بار کمانش یا به عبارتی دیگر بار بحرانی به مقدار نیرویی اطلاق می‌گردد که جسم تا مرز آن نیرو را می‌تواند تحمل کند و وارد مرحله کمانش نشود.

طبق استاندارد DNV بار بحرانی برای شناورها تحت ممان خمشی برابر است با

$$P_{cr} = 4 \frac{M}{D}$$

که در آن M ممان خمشی وارده و D قطر معادل شناور است (Clough R. W., 2003).

مدل شبیه‌سازی شده: برای به دست آوردن حداقل ضخامت موردنیاز به کمک نرم‌افزار تجاری آباکوس^۱ بدنه به صورت استوانه توخالی مدل‌سازی شده و تحت بارگذاری قرار گرفته است، این کار برای ضخامت‌های مختلف انجام شده و در نهایت حداقل ضخامت موردنیاز ضخامتی در نظر گرفته شده است که جواب حاصل از آن به جواب حاصل از حل عددی ارائه شده نزدیک‌تر است همچنین باید توجه داشت که مقدار ضریب اطمینان برای نتیجه حل عددی ۲ در نظر گرفته شده است.

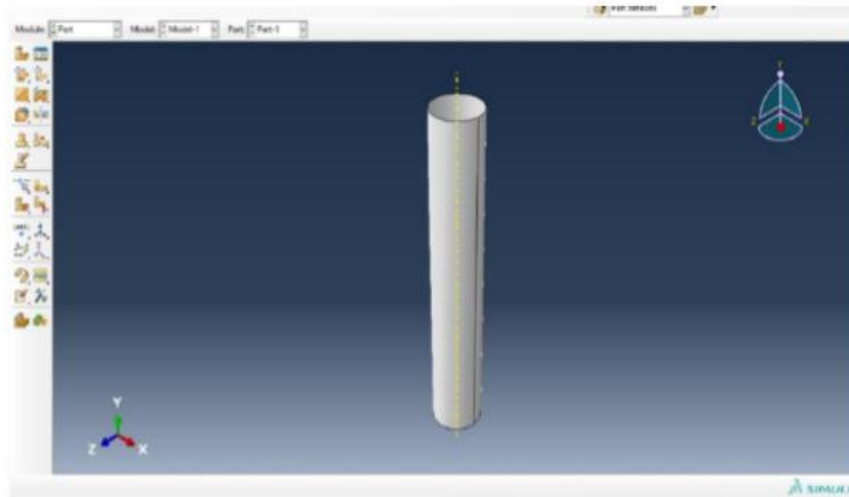
در این بخش فرایند مدل‌سازی و تحلیل به وسیله نرم‌افزار آباکوس ارائه شده است. ابتدا در قسمت ترسیم یا همان پارت^۲ یک استوانه به صورت پوسته^۳ تعریف شده و با ابعاد مدنظر رسم شده است.

1 Abaqus

2 Part

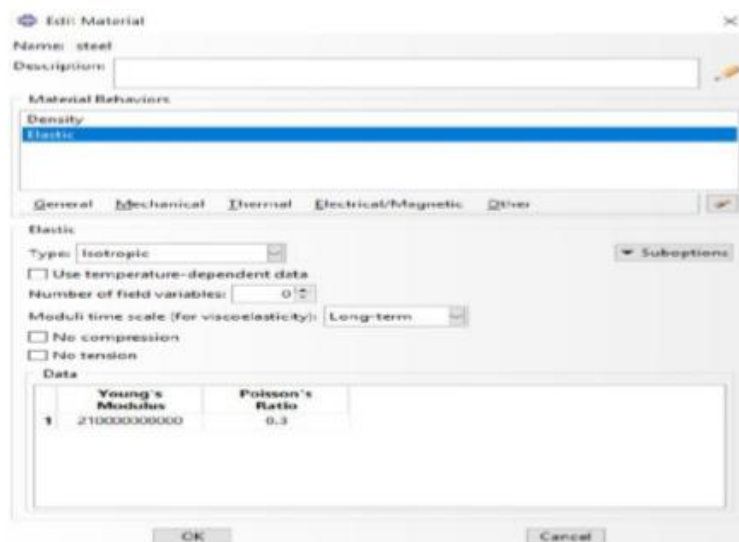
3 Shell

شکل شماره ۴۴. ترسیم استوانه مدل در قسمت ترسیم از نرم‌افزار آباکوس



سپس در قسمت ماهیت^۱ نرم‌افزار جنس مورد استفاده و خواص مکانیکی آن تعریف شده است که ماده مدنظر فولاد معمولی با تنش تسلیم ۲۱۰ مگاپاسکال است.

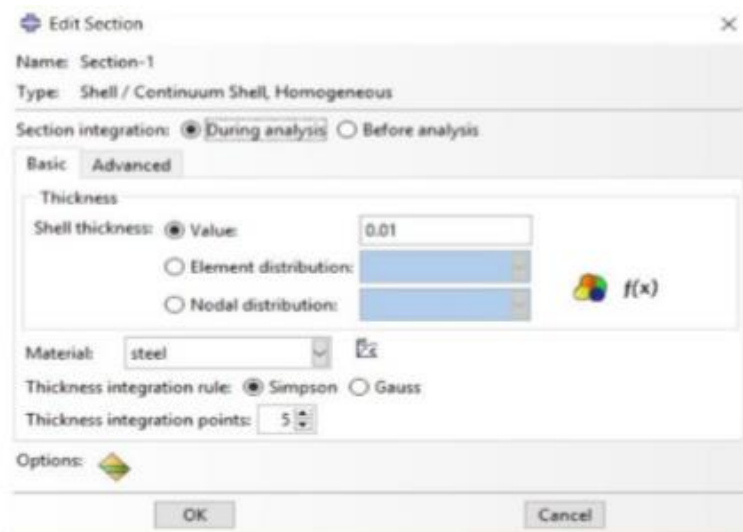
شکل شماره ۴۵. تعریف ماده و خواص آن در قسمت ماهیت نرم‌افزار آباکوس



¹ Property

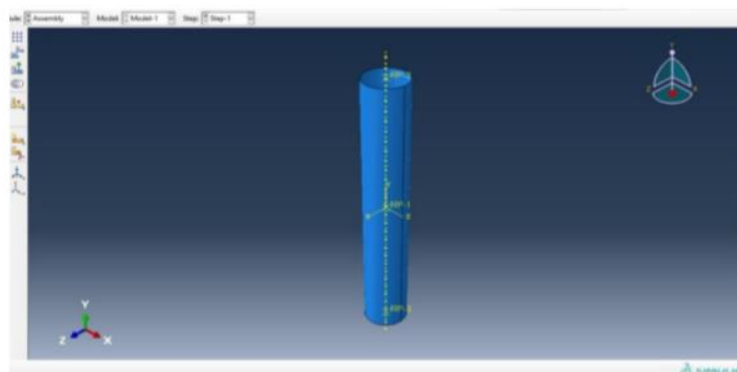
سپس در همین قسمت ماهیت، ضخامت در قسمت مدنظر تعریف شده است. باید دقت شود که این ضخامت در هر تحلیل باید تغییر یابد تا در نهایت به ضخامت مدنظر به دست آید.

شکل شماره ۴۶. تعریف مقدار ضخامت پوسته استوانه در آباکوس



در قسمت اسمبلی^۱ نرم افزار آباکوس استوانه مدنظر انتخاب شده و فرایند اسمبلی تکمیل شده است.

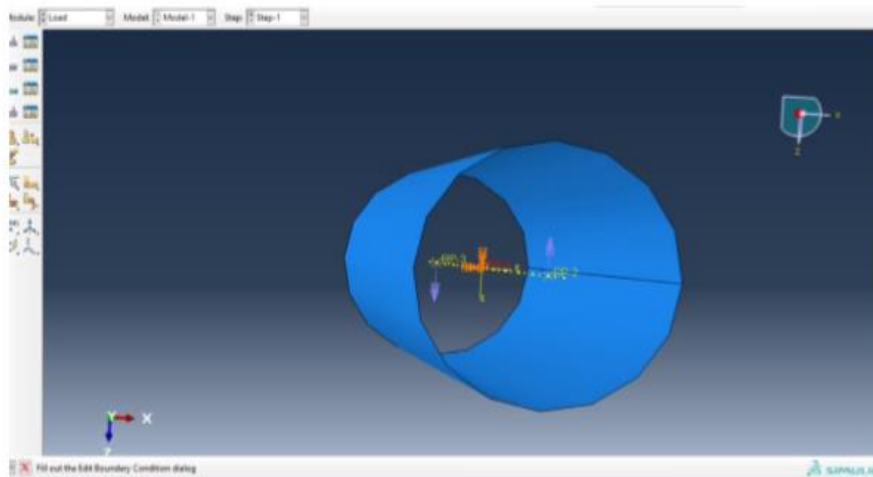
شکل شماره ۴۷. اسمبلی در نرم افزار آباکوس



در قسمت گام یا همان استپ^۱ نرم‌افزار یک گام عملیاتی برای تحلیل تعریف شده است که همان عمل کماتش است.

برای اعمال تکیه‌گاه و نیرو نقاط وسط استوانه و همچنین دو سر استوانه با استفاده از نقاط مرجع در نرم‌افزار آباکوس به بدنه استوانه کوپل شده‌اند و در نهایت بارگذاری در دو سر استوانه و تکیه‌گاه در وسط استوانه لحاظ شده است.

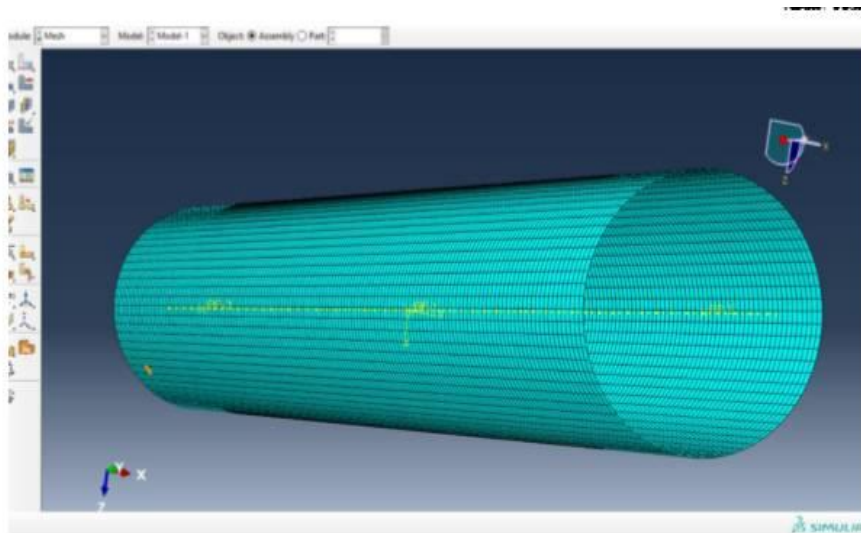
شکل شماره ۴۸. اعمال نیرو و تعیین تکیه‌گاه در تحلیل کماتش استوانه



در قسمت شبکه‌بندی^۲ نرم‌افزار آباکوس شبکه‌بندی ساده برای این تحلیل به صورت زیر لحاظ شده است.

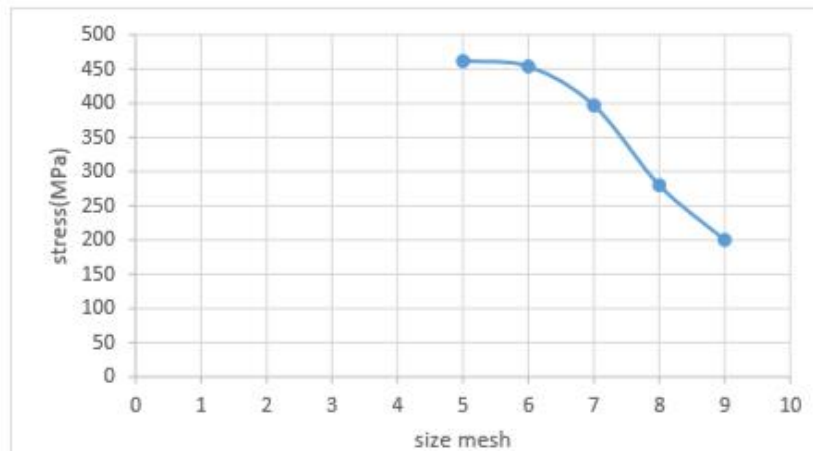
-
- 1 Step
 - 2 Mesh

شکل شماره ۴۹. شبکه‌بندی استوانه برای تحلیل استوانه در نرم‌افزار آباکوس



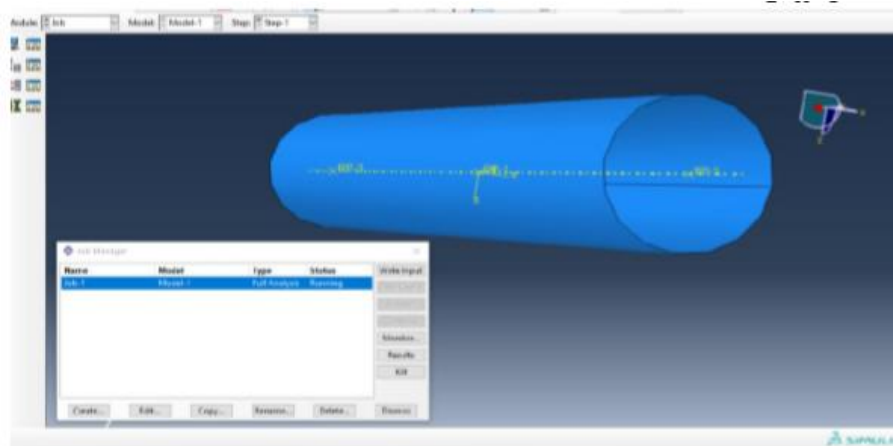
صحت سنجی شبکه‌بندی (Mesh): شبکه‌بندی روی سازه باید به گونه‌ای باشد که تنش‌های وارده به سازه را در این تحقیق با دقت مناسبی مدل کند و همچنین اعداد قابل اطمینانی را در اختیار دهد. مسئله حائز اهمیت در شبکه‌بندی هندسه تعداد بهینه گره‌های^۱ شبکه می‌باشد، درعین حال برای جلوگیری از بالا رفتن هزینه‌های محاسباتی از کم‌ترین تعداد گره در شبکه که شرط فوق را برآورده می‌نماید استفاده شود. به همین دلیل عملکرد سازه برای تعداد گره‌های مختلف شبکه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این ارزیابی برای درصد تغییرات تنش وارده و اندازه گره را در شکل زیر مشاهده می‌شود.

شکل شماره ۵۰. نمودار تأثیر تغییرات اندازه شبکه‌بندی هندسه بر تنش در سازه



در نهایت در قسمت کار^۱ نرم‌افزار آباکوس فرایند گزارش‌گیری^۲ یا همان تحلیل انجام شده و نتیجه آن بررسی شده است.

شکل شماره ۵۱. تحلیل و گزارش‌گیری در نرم‌افزار آباکوس



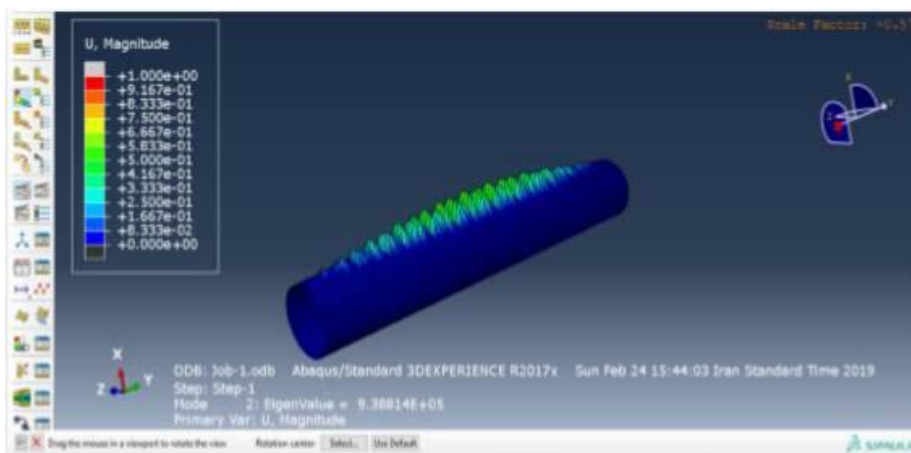
با انجام تحلیل برای ضخامت‌های مختلف در بازه معین ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر و در نهایت مقایسه بار کمانش این تحلیل‌ها (همان اندازه‌ای که در مقابل مقدار مشخصه نوشته شده است بار

1 Job

2 Submit

کمانش تحلیل است). با نتایج حاصل از حل عددی حداقل ضخامت موردنظر برای بدنه حدود ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است که با توجه به فرض‌های ساده‌سازی روند حل عددی و شبیه‌سازی به ضخامت استفاده شده در نمونه اصلی (بین ۲۰ تا ۲۵ میلی‌متر) نزدیک است.

شکل شماره ۵۲. کمانش طولی استوانه تحت بارگذاری ممان از دو سر آن



نتیجه‌گیری و پیشنهادها:

در این پژوهش در ابتدا به بررسی انرژی موج و اهمیت آن و همچنین بررسی دسته‌بندی انواع مبدل‌های انرژی موج و معرفی و نمونه‌هایی از هر کدام پرداخته شد و برای هر کدام نحوه عملکرد و اطلاعات مختصر نیز ارائه شد. سپس به بررسی مبدل انرژی موج پلامیس به‌عنوان یک مبدل انرژی موج مناسب پرداخته شد و اجزاء اصلی آن و همچنین کارکرد زیرسیستم‌های آن توضیح داده شد.

با مدل‌سازی ساده دینامیکی از سیستم شناور پلامیس و نوشتن معادلات حاکم بر آن رویه بدین صورت شد که معادلات حاکم استخراج و حل عددی شده و روش عددی نیومارک برای حل معادلات انتخاب شد. در نهایت با به دست آمدن مقادیر لازم مقدار نیروی حاصل برای تولید انرژی در جک‌های هیدرولیکی به دست آمد و همچنین با

طراحی مقدماتی سامانه‌ای - سازه‌های پلامیس به‌عنوان مولد انرژی تجدیدپذیر دریایی؛ اسلامی و ترابی | ۲۳۵

مدل‌سازی در آباکوس برای ضخامت‌های متغیر در بازه مشخص شده و مقایسه مقدار بار کمانش با مقدار حاصل از کدنویسی ضخامت لازم برای سازه بدنه انتخاب شد. با بررسی نتایج عددی دیده شد که روش عددی نیومارک قابلیت بالایی در حل مسائل وابسته به زمان را دارد.

پیشنهادها

- بهینه‌سازی عملکرد سیستم هیدرولیکی پلامیس‌ها
- امکان‌سنجی و بررسی ساخت نمونه آزمایشگاهی و کوچک و پربازده از این دستگاه برای کشور
- مطالعه بر روی دیگر دستگاه‌های مبدل انرژی موج
- ساخت نمونه اولیه پلامیس برای بهره‌برداری اولیه در شبکه برق کشور

منابع

۱. شیخ احمدی، ا.؛ زرگزاده، م.، (۱۳۸۳). بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید انرژی الکتریکی، کتابخانه آریا، صفحات ۱-۵۸
۲. استاندارد دریایی DNV

References

3. Burman, K.; Walker, A., (2009). *Ocean energy technology overview*. U.S. Department of Energy, Federal Energy Management Program. 1-32 pp.
4. Al Karim, M., Noor, M.H., Nasim, M. and Khan, S.I., (2015). Assessment of a Simplified Model of a Wave Energy Converter in Terms of Hydraulic Mechanical and Electrical Parameters. *International Journal of Energy and Power Engineering*.
5. By Paul A. (2014). *Lynn, Electricity from Wave and Tide: An Introduction to Marine Energy*(wiley).
6. Taylor, J. Ocean. (2008). *wave energy: current status and future perspectives*, (Springer, Berlin, Germany.)
7. H. Sarlak, M. S. Seif, M. Abbaspour, S. Abshenas, (nd). "Towards Renewable Energy Development, A Model-Study in Ocean Electricity Generation," 24th International Power System Conference
8. De Backer, Griet. (2009). *Hydrodynamic design optimization of wave energy converters consisting of heaving point absorbers*. Diss. ugent.
9. -Falcão, António FO. (2013) "*Modelling of wave energy conversion*." Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
10. Mořk, Gunnar, et al. (2010). "*Assessing the global wave energy potential*." ASME 2010 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers.
11. Henderson, Ross. (2006). "Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power takeoff system for the Pelamis wave energy converter." *Renewable energy* 31.2: 271283.
12. Drew, Benjamin, A. R. Plummer, and M. Necip Sahinkaya. (2009). "A review of wave energy converter technology." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: *Journal of Power and Energy* 223.8: 887-902.
13. Rydberg, K.E., (2004). Gas charged accumulators as energy storage devices in hydrostatic drives. *Bosch Rexroth Corporation*, 1-87 pp.
14. Power, Pelamis Wave. "*The Pelamis Wave Energy Converter*." (2011).
15. Clough R. W., (2003). *Dynamics of Structures*, 3rd ed,

16. Bedard, Roger, George Hagerman, and Omar Siddiqui. (2004). "*System level design, performance and costs for San Francisco California Pelamis offshore wave power plant.*" San Francisco: EPRI.
17. Energy Resources and Systems, Volume 2: Renewable Resources, Tushar K. Ghosh _ Mark A. Prelas
18. Renewable Energy Resources, Second edition, John Twidell and Tony Weir
19. Leo Rodrigues. Wave power conversion systems for electrical energy production. Faculty of Science and Technology. Department of Electrical Engineering,
20. DYNAMICS OF STRUCTURES, RayW. Clough Professor of Civil Engineering University of California, Berkeley- Joseph Penzien International Civil Engineering Consultants, Inc.
21. Wave Energy Converters (WECs), James R Joubert - Johannes L van Niekerk, October 2013
22. Wave Energy Converters and their Impact on Power Systems, Henk Polinder, Member, IEEE, and Mattia Scuotto

استناد به این مقاله: اسلامی، مهدی، ترابی، محمد. (۱۴۰۳). طراحی مقدماتی سامانه‌ای - سازهای پلامیس به‌عنوان مولد انرژی تجدیدپذیر دریایی، فصلنامه خدمات دریایی و بندری، ۱ (۳)، ۱۷۳-۲۳۷.



Marine and Port Servicesch Journalis licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.