



دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی، گروه مکانیک

عنوان پایان نامه:

بررسی عددی و آزمایشگاهی اثر متقابل امواج آب بر اجسام جامد غوطه ور
به منظور تولید انرژی

نگارش:

مرتضی عنبرسوز

ارائه شده جهت اخذ درجه دکتری تخصصی در رشته
مهندسی مکانیک گرایش حرارت و سیالات

اساتید راهنما:

دکتر محمد پسندیده فرد

دکتر محمد مقیمان

دی ماه ۱۳۹۲

تقدیم به:

مادر،

که هیچ چیز در این دنیا حاشی را جبران نخواهد کرد،

وپدر،

که همیشه در حسرت دیدار دوباره او هستم.

فهرست

صفحه	عنوان
۲	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه
۴	۲-۱ تجهیزات تبدیل انرژی امواج دریا
۴	۱-۲-۱ تجهیزات ستون آب نوسان کننده
۶	۲-۲-۱ سامانه‌های اجسام نوسان کننده
۱۴	۳-۲-۱ تجهیزات سرریز آب
۱۴	۳-۱ سامانه مورد بررسی در این پایان‌نامه
۱۵	۴-۱ ساختار پایان‌نامه
۱۸	فصل دوم: مروری بر کارهای انجام شده
۱۸	۱-۲ مقدمه
۱۹	۲-۲ مروری بر روش‌های مختلف تولید موج در تانک‌های موج عددی
۲۰	۱-۲-۲ مدل‌های تحلیلی
۲۱	۲-۲-۲ مدل‌های عددی با فرض سیال غیر لزج
۲۱	۳-۲-۲ مدل‌های عددی با فرض سیال لزج
۲۸	۴-۲-۲ بررسی روش‌های مختلف تولید موج با فرض سیال لزج
۳۰	۳-۲ مروری بر روش‌های مختلف بررسی اندرکنش امواج و اجسام جامد متحرک
۳۰	۱-۳-۲ روش‌های تحلیلی بر مبنای تئوری امواج خطی
۳۵	۲-۳-۲ روش‌های عددی مبتنی بر تئوری جریان پتانسیل
۳۸	۳-۳-۲ روش‌های عددی مبتنی بر حل معادلات ناویر-استوکس
۴۵	۴-۲ مروری بر پژوهش‌های انجام شده در مورد استوانه بریستول
۴۹	۵-۲ نوآوری‌های پایان‌نامه حاضر
۵۳	فصل سوم: معادلات حاکم و مدلسازی عددی
۵۳	۱-۳ مقدمه
۵۳	۲-۳ فرضیات و معادلات حاکم

۵۳	..... فرضیات	۱-۲-۳
۵۴	..... معادلات ناویر استوکس	۲-۲-۳
۵۵	..... روش نسبت حجمی سیال	۳-۲-۳
۵۸	..... مدلسازی نیروی کشش سطحی	۴-۲-۳
۶۰	..... شرایط مرزی جریان سیال	۵-۲-۳
۶۱	..... مدلسازی جسم جامد	۶-۲-۳
۶۴	..... مدلسازی نیروهای خارجی وارده به جسم جامد	۷-۲-۳
۶۵	..... گسسته‌سازی معادلات حاکم	۳-۳
۶۵	..... روش تجزیه سه مرحله‌ای	۱-۳-۳
۷۰	..... گسسته‌سازی ترم جابه‌جایی	۲-۳-۳
۷۲	..... گسسته‌سازی ترم لزجت	۳-۳-۳
۷۴	..... اعمال نیروی کشش سطحی	۴-۳-۳
۷۶	..... معادله تفاضلی فشار	۵-۳-۳
۷۸	..... ردیابی حجمی	۶-۳-۳
۸۰	..... سرعت جسم جامد	۷-۳-۳
۸۱	..... نمودار مراحل انجام محاسبات	۸-۳-۳
۸۱	..... ملاحظات پایداری	۹-۳-۳
۸۴	فصل چهارم: تانک موج آزمایشگاهی	
۸۴	..... مقدمه	۱-۴
۸۴	..... تولید امواج	۲-۴
۸۷	..... جذب امواج	۳-۴
۸۸	..... موج‌سنج و تجهیزات ثبت کننده	۴-۴
۹۰	..... مدل استوانه بریستول	۵-۴
۹۲	..... طراحی فنر	۶-۴
۹۳	..... طراحی میراگر	۷-۴
۹۴	..... اندازه‌گیری ثابت فنر و ضریب میرایی	۸-۴
۹۶	..... پردازش تصویر	۹-۴
۹۷	..... عدم قطعیت‌ها	۱۰-۴

فصل پنجم: نتایج ۱۰۱

۱-۵ مقدمه ۱۰۱

۲-۵ تانک موج عددی ۱۰۱

۳-۵ شرایط مرزی و اولیه ۱۰۲

۴-۵ اعتبار سنجی روش استفاده شده برای تولید امواج ۱۰۳

۱-۴-۵ تولید موج تنها با استفاده از موج‌ساز پیستونی ۱۰۳

۲-۴-۵ تولید امواج پیش‌رونده با استفاده از موج‌ساز پیستونی ۱۰۹

۵-۵ تولید امواج پیش‌رونده با استفاده از موج‌ساز پارویی ۱۱۴

۶-۵ اعتبار سنجی روش اعمال نیروهای خارجی به جسم جامد ۱۲۱

۷-۵ نوسان آزاد یک استوانه روی سطح آب ۱۲۶

۸-۵ استوانه بریستول ۱۲۸

۱-۸-۵ رژیم جریان‌های نوسانی اطراف استوانه ۱۲۸

۲-۸-۵ بازه آزمایش‌های انجام شده ۱۳۱

۳-۸-۵ مقایسه نتایج عددی با نتایج تجربی و تحلیلی موجود ۱۳۴

۴-۸-۵ بررسی عملکرد استوانه بریستول در امواج تیزتر ۱۴۳

۵-۸-۵ مقایسه نتایج عددی با نتایج تجربی پژوهش حاضر ۱۴۶

۶-۸-۵ بررسی اثر ثابت فنر و ضریب میرایی بر راندمان ۱۵۲

جمع بندی و ارائه پیشنهاد ۱۵۵

فصل ششم: جمع بندی و ارائه پیشنهاد ۱۵۶

۱-۶ جمع بندی ۱۵۶

۲-۶ ارائه پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده ۱۵۸

منابع و مآخذ ۱۶۰

پیوست ۱۶۹

پیوست الف - تحلیل تئوری استوانه بریستول ۱۷۰

پیوست ب - برنامه پردازش تصویر ۱۷۴

پیوست پ - مقادیر جرم اضافه و ضریب میرایی استوانه مغروق ۱۷۶

نمادها

a, b, c	ضرایب ثابت در معادلات ضمنی
A	اندازه سطح آزاد سیال موجود در هر سلول اندازه موج (برابر با نصف ارتفاع موج، $H=2A$)
c	ضریب میرایی
c_g	سرعت گروه موج
d	عمق آب (m)
D^*	سمت راست معادله ضمنی ترم لزجت (معادله ۲-۶۲)
F	نسبت حجمی مایع
\bar{F}	مقدار میانی نسبت حجمی مایع
\vec{F}_b	نیروی حجمی (N)
\vec{F}_{ST}	نیروی سطحی معادل در هر سلول سطح
\vec{g}	شتاب جاذبه (m/s^2)
I_s	ممان اینرسی جسم جامد
k	عدد موج ($1/m$)
KC	عدد کولگان-کارپنتر
k_s	ثابت فنر (N/m)
L	طول موج (m)
M_s	جرم جسم جامد (kg)
\hat{n}_\perp	بردار یکه عمود بر سطح
n_i, n_k	مؤلفه‌های بردار یکه عمود بر سطح
p	فشار (Pa)
p_v	فشار بخار (Pa)
\vec{r}	بردار مکان نسبت به مرکز جرم جسم جامد (m)
Re	عدد رینولدز
S_u	تابع پله بر اساس شار سرعت در جهت افقی
S_v	تابع پله بر اساس شار سرعت در جهت عمودی
t	زمان (s)
\hat{t}_\perp	بردار یکه موازی سطح
T	دوره تناوب موج
u	مولفه افقی سرعت (m/s)
u^{fl}	شار سرعت افقی (m/s)

v	مولفه عمودی سرعت (m/s)
v^n	شار سرعت عمودی (m/s)
\vec{V}	بردار سرعت (m/s)
\vec{V}	بردار سرعت میانی (m/s)
\vec{V}^*	بردار سرعت میانی (m/s)
\vec{V}_s	بردار سرعت جسم جامد (m/s)
$\vec{V}_{Solid\ Zone}$	بردار سرعت برای سلول‌های موجود در جسم جامد (m/s)
x	محور مختصات افقی (m)
y	محور مختصات عمودی (m)

علائم یونانی

α	پارامتر متغیر بین صفر تا ۱ در روش ون لیر
$\bar{\nabla}$	عملگر دلتا
Δx	ضخامت سلول در امتداد محور افقی (m)
Δy	ضخامت سلول در امتداد محور عمودی (m)
Δt	گام زمانی (s)
Ω	حجم سلول (m^3)
Ω', Ω''	حجم سلول پس از انتقال تابع F (m^3)
σ	کشش سطحی (N/m)
∂	نشانگر مشتق جزئی
κ	شعاع انحنا
μ	لزجت دینامیکی ($kg/m.s$)
ν	لزجت سینماتیکی (m^2/s)
ρ	چگالی (kg/m^3)
$\bar{\tau}$	تانسور تنش (N/m^2)
$\tau_{i,k}$	مؤلفه‌ای از تانسور تنش (N/m^2)
$\vec{\omega}_s$	بردار سرعت چرخشی جسم جامد (Rad/s)
\forall	حجم اشغال شده توسط جسم جامد (m^3)
φ_s	نسبت حجمی جسم جامد
\sum	علامت مجموع

زیرنویس‌ها

$cell$	سلول در حوزه محاسباتی
g	مربوط به فاز بخار

i	بردار یکه محور افقی
j	بردار یکه محور عمودی
l	مربوط به فاز مایع
nb	مخفف سلول‌های همسایه
S, s	مربوط به جسم جامد
xx, xy, yy	نشانگر مولفه‌های تنش برشی
\perp	علامت امتداد عمود بر سطح
\parallel	علامت شرط مرزی تقارن

بالانویس‌ها

fl	شار سرعت روی سطوح حجم کنترل
n	نشانگر زمان در گام قبل
R	نشانگر مولفه لزجت در سمت راست سلول
RBC, BRC	نشانگر مولفه لزجت در سمت راست و پایین سلول
RTC, TRC	نشانگر مولفه لزجت در سمت راست و بالای سلول
T	ترانهاده ماتریس
δ	نشانگر نوع مختصات (دکارتی یا استوانه‌ای)

علائم اختصاری

AWS	تاب موج ارشمیدس (Archimedes Wave Swing)
BEM	روش المان مرزی (Boundary Element Method)
CPM	روش پنل ثابت (Constant Panel Method)
CSF	نیروی سطحی پیوسته (Continuum Surface Force)
cyl	پارامتر نشانگر مختصات (cyl=1: Cylindrical, cyl=0: Cartesian)
DBEM	روش المان مرزی رفع نقطه تکین شده (Desingularized Boundary Element Method)
FEM	روش المان محدود (Finite Element Method)
FLAIR	روش تقریب خطی روی سطوح حجم کنترل (Flux Line-segment model for Advection and Interface Reconstruction)
FNPF	جریان پتانسیل کاملاً غیر خطی (Fully Nonlinear Potential Flow)
FSI	برهم‌کنش سازه-سیال (Fluid-Structure Interaction)
HOBEM	روش المان مرزی مرتبه بالا (High Order Boundary Element Method)
HOS	روش طیفی مرتبه بالا (High Order Spectral)
ICCG	روش گرادیان مزدوج ناقص چالسکی (Incomplete Cholesky Conjugate Gradient Decomposition)

IEA	آژانس بین المللی انرژی (International Energy Agency)
max	مقدار بیشینه (maximum)
MEL	روش ترکیبی اویلری-لاگرانژی (Mixed Eulerian-Lagrangian)
MFS	روش حل‌های بنیادین (Method of Fundamental Solutions)
min	مقدار کمینه (minimum)
NWT	تانک موج عددی (Numerical Wave Tank)
OWC	ستون آب نوسان کننده (Oscillating Water Column)
PLIC	تقریب قطعه به قطعه خطی سطح تماس (Piecewise Linear Interface Construction)
PPE	معادله گسسته شده پواسون فشار (Pressure Poisson Equation)
PTO	استحصال انرژی (Power Take-Off)
SLIC	روش تقریب خط راست سطح تماس (Simple Line Interface Construction)
SUMMAC	روش سلول‌های نشانه‌دار اصلاح شده توسط دانشگاه استنفورد (Stanford University Modified Marker and Cell)
TDMA	روش حل ماتریس سه قطری (Tri-Diagonal Matrix Algorithm)
VOF	نسبت حجمی سیال (Volume Of Fluid)
WEC	مبدل انرژی امواج (Wave Energy Converter)

چکیده

جذب انرژی از امواج آب که همواره مورد توجه ویژه پژوهشگران بوده است را می‌توان بر حسب نوع عملکرد به سه روش تقسیم‌بندی کرد: ستون آب نوسان‌کننده، استفاده از سرریز آب و اجسام نوسان‌کننده. طراحی بهینه سامانه‌هایی که بر مبنای نوسان اجسام کار می‌کنند به علت نیاز به پیش‌بینی اندرکنش امواج آب با اجسام متحرک غوطه‌ور یا شناور از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. استوانه بریستول که در این پژوهش به طور کامل مورد مطالعه قرار گرفته است، یکی از سامانه‌هایی است که بر مبنای نوسان یک استوانه مغروق با دو درجه آزادی کار می‌کند. در این ارتباط به کمک اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و توسعه یک برنامه عددی، اندرکنش امواج با اجسام جامد غوطه‌ور با تمرکز ویژه روی استوانه بریستول مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی در تانک موج موجود در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است. این تانک موج مجهز به یک موج‌ساز پارویی است که توانایی تولید امواجی با دوره تناوب 0.7 تا $2/1$ ثانیه و با ارتفاع 10 تا 100 میلی‌متر را داراست. در این پژوهش، مدلی از استوانه بریستول با میراگرهای اصطکاکی طراحی و ساخته شده و عملکرد آن در برابر امواج غیرخطی در این تانک موج بررسی شده است. در روش عددی، معادلات جریان سیال لزج و معادله انتقال کسر حجمی سیال برای شبیه‌سازی جریان دو فازی با استفاده از روش تجزیه سه مرحله‌ای حل گردیده است. همچنین از روش حل حوزه مجازی برای مدلسازی حرکت اجسام جامد در سیال لزج استفاده شده است. تولید امواج در این تانک موج عددی، با شبیه‌سازی حرکت موج‌سازهای پیستونی و پارویی درون سیال انجام شده است. به منظور اعتبارسنجی روش استفاده شده برای تولید امواج، بازه‌ی وسیعی از امواج خطی و غیرخطی که توسط موج‌سازهای پیستونی و پارویی تولید شده‌اند، با نتایج آزمایشگاهی و عددی موجود مقایسه شده که تطابق خوبی بین آن‌ها مشاهده گردیده است. راندمان جذب انرژی توسط استوانه بریستول در شرایط مختلف از جمله در برابر امواج با تیزی‌های مختلف و با ثابت‌های فنر و میراگر مختلف، با استفاده از شبیه‌سازی عددی محاسبه شده است. نتایج به دست آمده با نتایج تئوری و نتایج آزمایشگاهی این پژوهش و نتایج عددی و آزمایشگاهی سایر محققان مقایسه گردیده که تطابق خوبی مشاهده شده است. برخلاف روش‌های عددی که تاکنون برای پیش‌بینی راندمان استوانه بریستول استفاده شده‌اند، مدل عددی گسترش یافته در این پایان‌نامه توانایی پیش‌بینی رفتار استوانه بریستول در برابر امواج بسیار غیرخطی را نیز دارا می‌باشد. نتایج عددی و آزمایشگاهی نشان می‌دهند با افزایش ارتفاع امواج، تئوری خطی اعتبار خود را در پیش‌بینی راندمان جذب انرژی و همچنین تنظیم ثوابت فنر و میراگر برای دستیابی به راندمان حداکثر از دست می‌دهد. اثر این ثوابت بر راندمان جذب انرژی استوانه بریستول در برابر امواج با تیزی‌های مختلف توسط تانک موج عددی گسترش یافته بررسی شده است. نتایج همچنین نشان می‌دهند، با افزایش ارتفاع امواج، حداکثر راندمان جذب انرژی در ضرائب استهلاکی بیشتر از آنچه تئوری خطی پیش‌بینی می‌کند اتفاق می‌افتد. درحالی که این مطلب در مورد ثابت فنر برعکس می‌باشد و با کاهش ثابت فنر، می‌توان راندمان جذب انرژی در امواج تیز را افزایش داد.

فصل اول

مقدمه

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه

در طبیعت به ندرت می‌توان بستری از آب را پیدا کرد که روی سطح آن موج وجود نداشته باشد. این امواج نمودی از نیروهای اعمالی به سیال هستند که تمایل به تغییر شکل سطح آزاد آب را دارند؛ برخلاف آن نیروهای گرانش و کشش سطحی باهم تمایل به حفظ سطح آزاد بستر آب به صورت افقی و صاف را دارند. بنابراین تولید امواج نیاز به نوعی نیرو مانند نیروی وزش شدید باد، حرکت جسمی درون یا روی سطح آب و یا حتی افتادن سنگی درون آن را دارد. پس از این‌که موج ایجاد شد، نیروهای گرانش و تنش سطحی به موج اجازه حرکت روی سطح آب را می‌دهند.

با توجه به شدت نیروی اعمال شده به سیال، امواجی در اندازه‌ها و اشکال مختلف می‌توانند ایجاد شوند. به عنوان مثالی ساده می‌توان به تفاوت موج‌های حاصل از افتادن سنگی کوچک و یا صخره‌ای بزرگ در آب اشاره کرد. همچنین سرعت‌های متفاوت برخورد، امواجی با اندازه‌های مختلف ایجاد خواهند

کرد که نشان‌دهنده این مطلب است که نیروهای فشاری که روی سطح سیال اعمال می‌شوند نیز همچون حجم سیال جابجا شده در شکل موج حاصله اهمیت دارند.

واضح است که دریاها و اقیانوس‌ها اصلی‌ترین منبع امواج آب در طبیعت هستند. امروزه امواج دریا یکی از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر محسوب می‌شوند و تاکنون روش‌های مختلفی برای استفاده از این منبع انرژی خدادادی مورد استفاده قرار گرفته است، به طوری‌که تا سال ۱۹۸۰ بیش از هزار اختراع در این زمینه ارائه شده است [۱] و این تعداد از آن زمان به‌طور پیوسته در حال افزایش است. کتاب‌های متعددی که در این زمینه چاپ شده‌اند، سندی بر این مدعی می‌باشند [۲-۶]. در سال ۲۰۰۱ آژانس بین‌المللی انرژی (IEA^۱) یک توافق‌نامه اجرایی در زمینه سیستم‌های انرژی دریا با ۱۷ کشور تنظیم کرد که مأموریت آن آماده‌سازی، گسترش و هماهنگ‌کردن پروژه‌های جذب انرژی دریا و همچنین تبادل اطلاعات در این زمینه بود. در گزارش سالانه این آژانس در سال ۲۰۰۸ مروری بر فعالیتهای جاری در مناطق مختلف جهان در زمینه جذب انرژی امواج انجام شده است [۷].

این منبع انرژی بسیار عظیم است، به طوری‌که انرژی امواجی که در مناطق ساحلی مختلف دنیا می‌شکنند حدود ۲ تا ۳ میلیون مگاوات تخمین زده شده است. علاوه بر این، هزینه تولید برق از این روش به شدت در حال کاهش است، به طوری‌که در طراحی‌های اخیر به عدد ۵ سنت به ازاء هر کیلو وات ساعت رسیده است. یکی از دشواری‌های طراحی تجهیزات جذب انرژی امواج، به شدت متغیر بودن منبع این انرژی در مقیاس زمانی است، از موج به موج، با وضعیت دریا، از ماه به ماه و از فصل به فصل (البته انرژی امواج آب نسبت به انرژی باد قابلیت پیش‌بینی بسیار بهتری دارد [۸]). بنابراین بررسی منبع انرژی امواج یکی از مهمترین پیش‌نیازهای برنامه‌ریزی‌های استراتژیک به منظور طراحی صحیح تجهیزات جذب انرژی است. مروری بر مشخصه‌های منابع انرژی امواج توسط پونتس^۲ و همکاران [۸] ارائه شده است.

^۱ International Energy Agency (IEA)

^۲ Pontes

مسئله‌ی مهم دیگر، طراحی تجهیزات استحصال انرژی (PTO^۱) و لزوم بهینه‌سازی آنها به منظور استخراج حداکثر انرژی است. تجهیزاتی که انرژی امواج دریا را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند، بصورت اختصار WEC^۲ نام دارند که در ادامه به بررسی آنها می‌پردازیم.

۲-۱ تجهیزات تبدیل انرژی امواج دریا

تقسیم‌بندی‌های مختلفی برای این تجهیزات تاکنون ارائه شده است که یک نمونه از آنها که در آن تقسیم‌بندی بر مبنای اصول عملکرد انجام شده، در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. سه دسته کلی این تجهیزات عبارتند از: ستون آب نوسان‌کننده (OWC^۳)، اجسام نوسان‌کننده^۴ و تجهیزات سرریز آب^۵ که در ادامه به تفکیک معرفی شده‌اند.

۱-۲-۱ تجهیزات ستون آب نوسان‌کننده

الف) ستون آب نوسان‌کننده با سازه ثابت: شامل یک سازه بتونی یا فولادی نیمه مغروق است که از زیر سطح آزاد آب، باز است و هوا درون آن و در بالای سطح آزاد آب محبوس می‌شود (شکل ۱-۲). حرکت نوسانی سطح آزاد داخل سازه که در اثر امواج ایجاد می‌شود، باعث ایجاد جریان هوا از درون توربین شده که ژنراتور الکتریکی را می‌چرخاند. این تجهیزات در ابعاد واقعی در مناطق مختلف جهان از جمله نروژ (۱۹۸۵)، ژاپن (۱۹۹۰)، هند (۱۹۹۰)، پرتغال (۱۹۹۹) و انگلستان (۲۰۰۰) ساخته شده است و توان تولیدی آنها در بازه ۶۰ تا ۵۰۰ کیلووات است.

این تجهیزات اغلب نزدیک به ساحل ایجاد می‌شوند و بر پایه‌ای ثابت و یا به صخره‌ای سنگی متصل می‌گردند. تجهیزاتی که نزدیک به ساحل ایجاد می‌شوند به جهت نصب و نگهداری آسان، عدم نیاز

^۱ Power Take-Off (PTO)

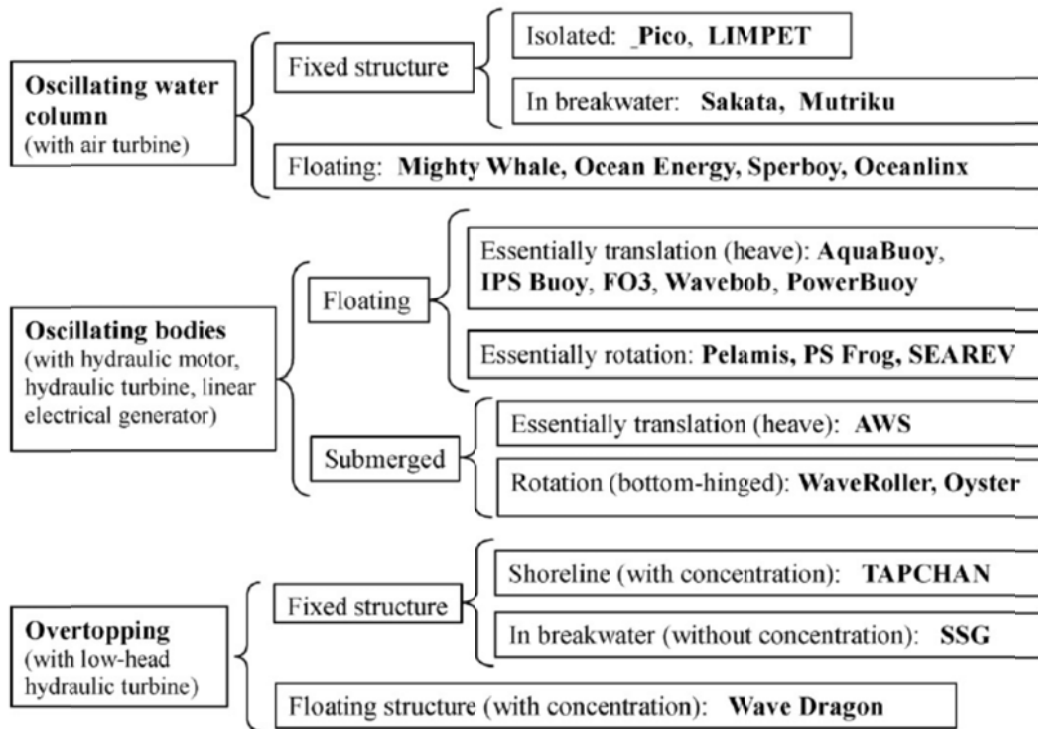
^۲ Wave Energy Converters (WEC)

^۳ Oscillating Water Column (OWC)

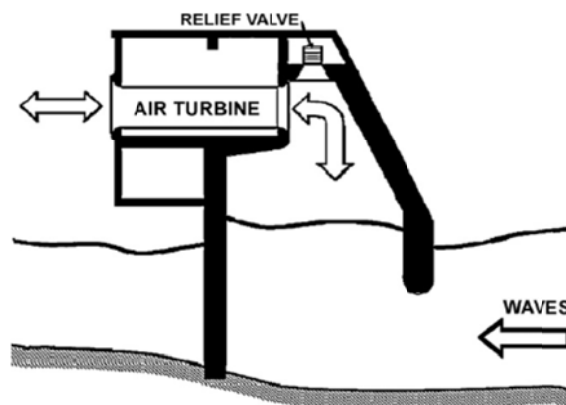
^۴ Oscillating bodies

^۵ Overtopping devices

به کابل‌های طولانی انتقال توان الکتریکی و نداشتن مشکلات مهاربندی در آب‌های پرععمق، نسبت به تجهیزاتی که دور از ساحل^۱ نصب می‌شوند، دارای مزیت هستند.



شکل ۱-۱-۱- تکنولوژی‌های مختلف جذب انرژی امواج [۹].

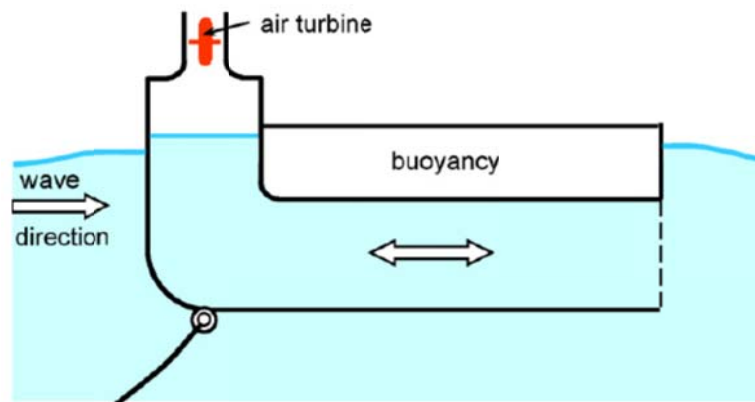


شکل ۱-۲- سطح مقطع یک ستون آب نوسان کننده با سازه ثابت.

^۱ Offshore

ب) ستون آب نوسان‌کننده با سازه شناور: اولین تجهیزات ستون آب نوسان‌کننده که در دریا نصب شدند، تجهیزات شناوری بودند که در ژاپن در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ تحت رهبری یوشیو ماسودا^۱ (پدر تکنولوژی تبدیل انرژی امواج) بکار گرفته شدند.

ماسودا هندسه‌ای تحت عنوان شناور با کانال خم‌شده به عقب^۲ را برای استفاده در OWC‌های شناور پیشنهاد کرد که شماتیکی از آن در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. با استفاده از این هندسه بدون نیاز به افزایش بیش از حد آبخور، می‌توان امکان دستیابی به رزونانس را با افزایش طول ستون آب فراهم کرد.



شکل ۱-۳- شماتیک یکی از انواع OWC‌های شناور با عنوان شناور با کانال خم‌شده به عقب.

۲-۲-۱ سامانه‌های اجسام نوسان‌کننده^۳

تجهیزاتی که دور از ساحل نصب می‌شوند، اغلب از اجسام شناور نوسان‌کننده برای تولید توان بهره می‌گیرند. آنها در معرض امواج قدرتمندتری در آب‌های عمیق (با عمق بیش از ۴۰ متر) قرار می‌گیرند. این گروه از تجهیزات نسبت به تکنولوژی‌های نسل اول (OWC‌ها) دارای پیچیدگی‌های بیشتری هستند. پیچیدگی‌های طراحی و حضور مشکلاتی همچون مهاربندی، دسترسی دشوار برای نگهداری و نیاز به کابل‌های طویل زیر دریا باعث شده که گسترش آنها با سرعت کمتری اتفاق بیفتد. انواع مختلف

¹ Yoshio Masuda

² Backward Bent Duct Buoy (BBDB)

³ Oscillating body systems

تجهیزاتی که از نوسان اجسام برای تولید توان استفاده می‌کنند را می‌توان به دو قسمت تجهیزات با جسم شناور^۱ و تجهیزات با جسم غوطه‌ور^۲ تقسیم بندی کرد.

۱-۲-۲-۱ سامانه های اجسام نوسان کننده ی شناور

حرکت نوسانی جسم شناور در این گروه از تجهیزات جذب انرژی امواج می‌تواند بصورت عمودی، افقی، دورانی و یا ترکیبی از آنها باشد. بر این اساس، تاکنون تجهیزات مختلفی ارائه شده‌اند که از میان آنها ویو باب^۳، آی پی اس بوی^۴، آکوآ بوی^۵ و پاور بوی^۶ از حرکت نوسانی عمودی جسم شناور، پی اس فراگ^۷، پلامیس^۸ و سی رو^۹ از حرکت نوسانی دورانی جسم شناور استفاده می‌کنند. این تجهیزات را می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم بندی کرد:

الف) تک جسم نوسان کننده در راستای عمودی^{۱۰}: این تجهیزات ساده‌ترین نوع تجهیزات اجسام نوسان کننده ی شناور هستند. در بیشتر مواقع به آنها جذب کننده نقطه‌ای^{۱۱} نیز گفته می‌شود، زیرا ابعاد آنها بسیار کوچکتر از طول موج امواج است. در شکل ۱-۴ طرحواره یکی از انواع طراحی‌های این تجهیزات نشان داده شده است. جسم شناور توسط کابل به سازه‌ای که در کف دریا ثابت شده است، متصل گردیده است. حرکت نسبی بین جسم شناور و سازه‌ی ساکن باعث تولید انرژی می‌شود. در مدل نشان داده شده، از یک ژنراتور خطی استفاده شده است و جسم شناور با کابل به بالای ژنراتور متصل شده است.

¹ Floating body

² Submerged body

³ Wave Bob

⁴ IPS Buoy

⁵ Aqua Bouy

⁶ Power Buoy

⁷ PS Frog

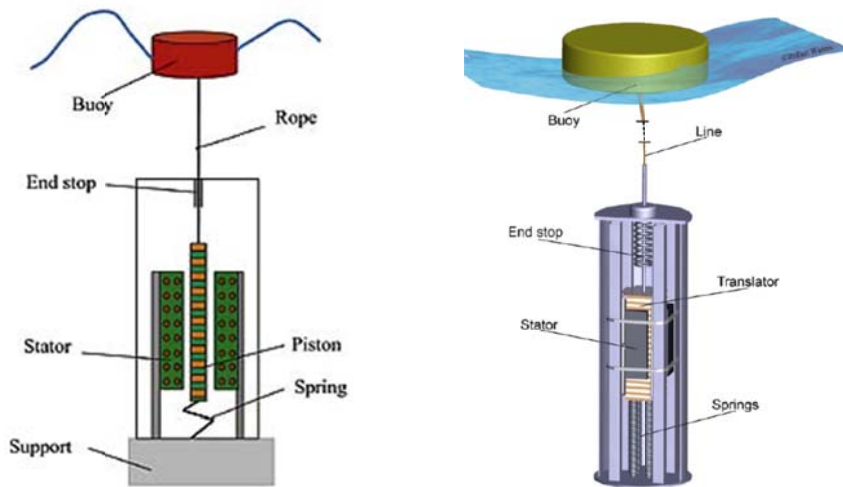
⁸ Pelamis

⁹ SeaRev

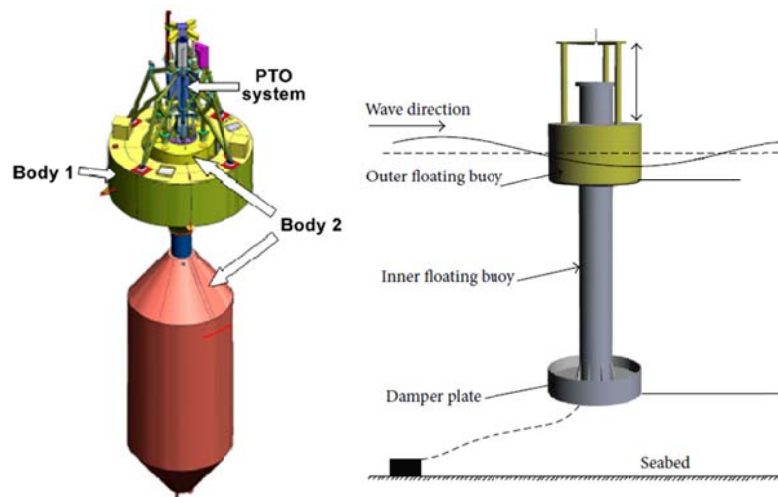
¹⁰ Single-body heaving buoys

¹¹ Point absorber

ب) دو جسم نوسان‌کننده در راستای عمودی^۱: استفاده از تک جسم نوسان‌کننده ممکن است به دلیل فاصله زیاد جسم شناور از کف دریا و تغییرات ارتفاع سطح آزاد آب باعث ایجاد مشکلاتی شود. می‌توان از دو جسم شناور استفاده کرد و از نوسان مختلف آن‌ها و حرکت نسبی بین آن‌ها برای تولید انرژی استفاده کرد. البته کنترل این تجهیزات به مراتب دشوارتر از تک جسم‌های شناور است. طرح‌های از این تجهیزات در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- طرح‌واره یک نمونه جذب‌کننده نقطه‌ای انرژی امواج با یک جسم نوسان‌کننده در راستای عمودی.



شکل ۱-۵- طرح‌واره‌ای از تجهیزات جذب انرژی امواج با دو جسم نوسان‌کننده در راستای عمودی.

¹ Two-body heaving systems

ث) تجهیزات دوران کننده^۱: تجهیزاتی که تا این جا به آن ها اشاره شد، برای تبدیل انرژی از حرکت انتقالی اجسام شناور استفاده می کردند، اما گروه دیگری از تجهیزات تبدیل انرژی امواج وجود دارند که از حرکت دورانی اجسام استفاده می کنند. یک نمونه از آن ها که در شکل ۱-۶ نشان داده شده است، در دهه ۷۰ توسط استفان سالتر^۲ ابداع گردید و آن جسم شناوری است به شکل یک بادامک، که در امواج دریا بصورت دورانی نوسان می کند (به اردک سرجنبان^۳ نیز معروف است). این حرکت نوسانی توسط یک سیستم هیدرولیکی-الکتریکی به جریان الکتریسیته تبدیل شده و به ساحل منتقل می گردد. گرچه تاکنون پژوهش های بسیاری در مورد این نوع سامانه انجام شده است، تاکنون به بهره برداری گسترده در دریا نرسیده است [۹]. سامانه های بسیاری در این زمینه ابداع شده اند که از حرکت نوسانی دورانی اجسام شناور استفاده می کنند که از آن جمله می توان به پلامیس^۴، پمپ موج مکیب^۵ و سیرو^۶ اشاره کرد.

پلامیس که در انگلستان گسترش پیدا کرده است، سازه ای شبیه به مار است که از چهار استوانه شناور تشکیل شده که به یکدیگر لولا شده اند (شکل ۱-۷) و هم راستا با امواج دریا قرار می گیرند (شکل ۱-۸). حرکتی که امواج در لولاهای این سازه ایجاد می کند محرک پمپ های هیدرولیکی است که روغن فشار بالا را در موتورهای هیدرولیکی راننده ی سه ژنراتور الکتریکی پمپ می کنند.

پمپ موج مکیب نیز سازه ای بسیار شبیه به پلامیس است که از سه جسم شناور مستطیلی که به یکدیگر لولا شده اند تشکیل شده است (شکل ۱-۹). حرکت نوسانی عمودی جسم شناور وسط، توسط صفحه ای که به پائین آن متصل شده است، میرا می شود. دو دسته پمپ هیدرولیک که بین جسم وسط و اجسام شناور جانبی قرار گرفته اند، حرکت نوسانی دو جسم جانبی را به انرژی مفید تبدیل می کنند.

سیرو از یک جسم شناور تشکیل شده است که دارای یک چرخ با محور افقی است (شکل ۱-۱۰). مرکز جرم این چرخ خارج از مرکز است و در واقع شبیه به یک پاندول است. حرکت نسبی دورانی این

¹ Pitching devices

² Stephen Salter

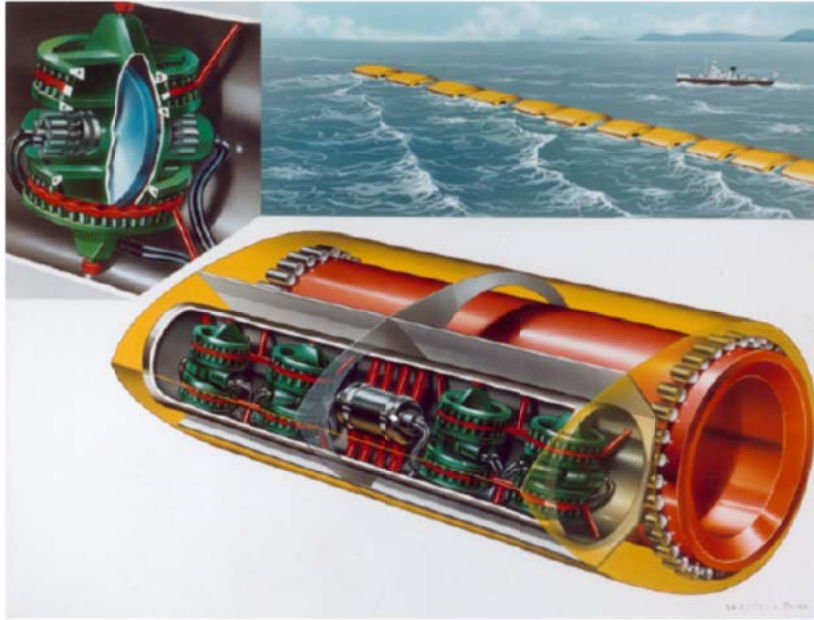
³ Nodding Duck

⁴ Pelamis

⁵ McCabe Wave Pump

⁶ Searev

پاندول نسبت به بدنه جسم شناور، محرک پمپ‌های سیستم هیدرولیکی است که ژنراتورهای الکتریکی را می‌رانند.



شکل ۱-۶- یک نمونه از تجهیزات جذب انرژی امواج با استفاده از حرکت نوسانی دورانی.



شکل ۱-۷- شماتیکی از پلامیس که از چهار استوانه شناور تشکیل شده است.