



مرکز بررسی اطلاعات و پژوهش

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



ICOPMAS

بررسی استفاده از نیروگاههای امواج با عملکرد ستون نوسانگر آب در جذب انرژی از امواج دریا

*Oscillating Water Column (OWC) wave power plants
and its application in wave energy absorption*

مهندس مرتضی منشی‌زاده - دکتر مجید عباس‌پور

مرکز تحقیقات آب (وابسته به وزارت نیرو)

● چکیده:

در این گفت‌وگو، حاصل یک دوره مطالعه‌ی کاربردی بر روی نمونه‌ای از واحدهای نیروگاهی امواج با عملکرد ستون نوسانگر آب، از نوع نصب ثابت در کرانه‌ی ساحلی^۱ ارائه گردیده‌است. این مطالعه با هدف دستیابی به راهبردهای طراحی واحدهای مزبور انجام گرفته‌است و طی آن، علاوه بر تلاش در جهت حل (صریح) معادلات ساختاری مربوط به پاسخ شاره‌پویایی (هیدرودینامیکی) دستگاه، از طریق تحلیل حرکتی رفتار نوسانی ستون سیال، مشخصه‌های لازم جهت حصول به کارکرد بهینه‌ی واحد تعیین می‌گردد. محورهای اصلی تحقیق مزبور عبارتند از:

۱. اجمالی از تاریخچه‌ی فنی واحدهای OWC
 ۲. تحلیل معادلات عمومی حاکم بر رفتار دستگاه در شرایط مفروض
 ۳. تعیین شاخص‌های مهم در تحلیل عملکرد دستگاه
 ۴. حل معادلات ریاضی حاکم و بررسی پاسخ‌های بدست‌آمده
 ۵. ارائه‌ی نتایج در قالب بحث کارشناسی
- همچنین در پایان، بعنوان یک مطالعه‌ی موردی، به مراحل پیشرفت طرح مدل‌سازی واحد نیروگاهی امواج از نوع ستون نوسانگر آب، با سرپرستی معاونت امور انرژی وزارت نیرو و همکاری این مرکز اشاره خواهد شد.

۱. مقدمه‌ی فنی :

رشد روبه‌تزايد مصرف منابع غيرقابل تجديد انرژی و افزایش آلودگی‌های ناشی از بهره‌برداری‌های بی‌رویه، توازن این ذخائر پایان‌پذیر را به مخاطره افکنده و در این رابطه، بررسی راهکارهای عملی استفاده از منابع جدید انرژی را در دستورکار محققان قراردادده‌است. حفظ سلامت محیط زیست و قابلیت بازیافت طبیعی، دو خصوصیت مهمی است که در گزینش نهایی این منابع مورد توجه بوده و در این راستا، جذب انرژی مفید از اقیانوسها بعنوان یکی از پاکیزه‌ترین منابع بکر به جهان معرفی گردیده‌است.

در میان منابع متعدد انرژی‌های اقیانوسی، انرژی حمل‌شده توسط امواج دارای بیشترین درصد انباشتگی است. بعنوان نمونه، انرژی مؤثر موج در حالت‌های عمومی، نسبت به انرژی حاصل از تابش مستقیم خورشید در شدیدترین تابش‌ها، از تراکم بسیار بالاتری برخوردار است. بنابراین ابزاری که بعنوان مبدل‌های انرژی امواج مورد استفاده قرار می‌گیرند، انرژی خود را با چگالی بمراتب بالاتری نسبت به تجهیزات انرژی خورشیدی تولید و عرضه می‌نمایند.

روش‌های متنوعی با هدف جذب انرژی از امواج دریا در کشورهای مختلف دنیا ابداع گردیده و مورد مطالعه قرار گرفته‌است. در همین رابطه طرح استفاده از نیروگاه‌های موجی با عملکرد ستون نوسانگر آب (*OWC or Oscillating Water Column method*) بعنوان یکی از رضایت‌بخش‌ترین روش‌های استحصال انرژی اقیانوسی، گزینه‌ای است که در سال‌های اخیر فعالیت‌های دامنه‌داری در جهت اجراء و بهینه‌سازی آن صورت پذیرفته‌است. در این روش، از تولید جریان هوای فشرده توسط حرکت رفت و بازگشتی سطح مؤثر موج، بعنوان عامل محرک یک توربین هوای متصل به مولد الکتریکی استفاده می‌شود.

هندسه‌ی عمومی در طرح‌های مختلف واحدهای نیروگاهی با ستون نوسانگر آب عبارتست از محفظه‌ای با دو انتهای باز که بصورت قائم در معرض امواج قرار می‌گیرد. سطح آزاد آب، حجم داخلی استوانه را به دو ناحیه تقسیم می‌کند، بگونه‌ای که هر دو ناحیه در یک انتهای خود، دارای بازشدگی‌ای با ابعاد مشخص می‌باشند. وضعیت نصب سازه به شکلی است که جهت بازشدگی تحتانی بسمت امواج قرار داشته و در نتیجه، در هنگام کار نیروگاه، سطح آب داخل محفظه متأثر از تلاطم خارجی امواج، بصورت واداشته به نوسان درمی‌آید. در اثر حرکت رفت و بازگشتی سطح آب داخل محفظه، حجم ناحیه‌ی فوقانی متناوباً تغییر نموده و متأثر از آن، فشار نسبی هوای محصور در این قسمت - متناسب با تابع تغییرات حجم مزبور - بصورت ضربانی حول مقدار فشار سطح آزاد نوسان می‌نماید. مجرای تعبیه‌شده در منتهی‌الیه ناحیه‌ی فوقانی، جریان تحت فشار هوای داخل محفظه را بسمت یک توربین هوا هدایت می‌سازد. حاصل این فرایند، انتقال انرژی جنبشی جریان هوای مزبور به محور یک مولد الکتریکی و در نتیجه، تولید الکتریسیته خواهد بود.

هرچند سازوکار عمومی واحدهای نیروگاهی ستون نوسانگر آب یکسان است، ولی به تفکیک اشکال هندسی و نیز کیفیت نصب و محل قرارگیری، طرح‌های مختلفی از این سامانه پیشنهاد گردیده که از آنجمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود :

۱. ستون‌های نوسانگر آب با محفظه‌ی ثابت^۱
۲. ستون‌های نوسانگر آب با محفظه‌ی شناور^۲
۳. ستون‌های نوسانگر آب با محفظه‌ای بشکل هندسی « J »^۳
۴. ستون‌های نوسانگر آب با محفظه‌هایی با مقاطع غیریکنواخت
 ۱. ۴. دیواره‌های شیب‌دار با شیب خطی^۴
 ۲. ۴. دیواره‌های شیب‌دار با شیب منحنی^۵

1 . Fixed - Bottom standing OWC

2 . Floating (onshore) OWC

3 . J type OWC

4 . Linear inclined walled OWC

5 . Exponentially varying walled OWC

۲. مرور برخی از مزایای کاربردی

اصلی‌ترین مزیت انرژی حاصل از امواج، تجدیدپذیری آن است. علاوه بر این، در نصب مبدل‌های انرژی امواج - بر خلاف تجهیزات مهار انرژی‌های جزرومد و خورشید - به فضای زیادی نیاز نیست. از دیگر مزایای عمومی این منبع انرژی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. نسبت به سایر منابع تجدیدپذیر نوین^۱، از درصد ناآلایی بیشتری برخوردار است.
 ۲. بدلیل چگالی مناسب آب، شار انرژی بالایی توسط امواج منتقل می‌شود. آنچه از فیزیک امواج اقتباس می‌گردد گویای آنست که توان در دسترس حاصل از یک موج پیوسته (بر واحد طول موج آن) تابعی است از زمان تناوب موج و توان دوم دامنه‌ی آن که در ضریبی معادل $3/979 \rho_w$ ضرب می‌گردد. به این ترتیب برای یک دسته امواج متوالی با دامنه‌ی $0/75$ و طول موج 100 متر، نرخ توان حمل‌شده بر واحد جبهه‌ی موج معادل $18/7 \text{ kW/m}$ خواهد بود. این مقدار در مواردی که دامنه‌ی موج - در مواقع نسبتاً متلاطم دریا - به $1/5$ متر می‌رسد، به بیش از 78 kW/m بالغ می‌گردد.
 ۳. از آنجاکه اساس کار واحدهای نیروگاهی مزبور جذب انرژی حمل‌شده توسط امواج می‌باشد، در اثر نصب این وسایل، از میزان خساراتی که عموماً در اثر برخورد امواج با ساحل ایجاد می‌گردد کاسته می‌شود. به عبارت دیگر با استفاده‌ی مناسب از یک مجموعه‌ی بهم‌پیوسته از واحدهای نیروگاهی موج می‌توان علاوه بر تولید الکتریسیته، از مزایای کاهش فرسایش خط ساحلی، قابلیت حفاظت سواحل و نیز امکان توسعه‌ی مصنوعی بنادر بهره‌مند گردید.
 ۴. در کشورهایی که دارای مرزهای آبی گسترده بوده و پراکندگی جغرافیایی این مناطق، دسترسی یکنواخت به زنجیره‌های متداول تأمین انرژی مورد نیاز را مشکل می‌سازد، با ایجاد یک هماهنگی فنی و بذل سرمایه‌ی تحقیقاتی لازم می‌توان از انرژی امواج بعنوان یک انتخاب جایگزین بهره جست.
- در همین رابطه برخی از مزایای اختصاصی و درخور توجه روش ستونهای نوسانگر آب نسبت به سایر روشهای متداول نیروگاهی امواج عبارتند از:
۱. سازه‌ی اصلی که بصورت یک محفظه‌ی صلب، فضای لازم جهت نوسان ستون سیال را فراهم می‌سازد دارای ساختاری ساده است.
 ۲. جرم سیال درون محفظه بصورت یک صافی طبیعی، تلاطم نامنظم سطح امواج را به مجموعه‌ای از رفتارهای ساده‌ی نوسانی و نسبتاً منظم تبدیل می‌سازد.
 ۳. ستون نوسانگر هوا با تبدیل ضربه‌ی کند ولی پرقدرت موج ورودی، به یک رشته ضربه‌های منظم با بسامد بالا و انرژی متعادل، بعنوان یک عامل تعدیل‌کننده عمل نموده و ترکیب نامطلوب انرژی تصادفی امواج را با یک حالت همگن‌تر جایگزین می‌نماید.
 ۴. با استفاده از ایجاد یک دروازه‌ی تنظیم‌کننده، در شرایط بحرانی می‌توان محدوده‌ی ورودی سازه و تأسیسات داخلی آنرا از خطر آسیب‌دیدگی مصون داشته و بازه‌ی کارکرد نیروگاه را متناسب با شرایط محیطی تنظیم و کنترل نمود.
 ۵. از آنجاکه قطعات متحرک سازه در تماس مستقیم با آب دریا نیست، معضل خوردگی ناشی از اثر الکترولیتی آب و فلز به حداقل رسیده و خدمات نگهداری تأسیسات در مقایسه با سایر روشهای نیروگاهی دریایی بمراتب کاهش می‌یابد.
 ۶. لختی ناشی از سرعت دورانی بالای توربین، تغییرات منحنی تولید توان را در حدفاصل گروههای امواج هموارتر می‌سازد.
 ۷. دانش روز نیازهای فنی طرح را در مراحل مختلف طراحی، ساخت و اجرا براحتی تأمین می‌نماید.
 ۸. بعلت عدم وجود قطعات سنگین و نیز عدم بهره‌گیری از سازوکارهای متراکم در فرایند جذب و تبدیل انرژی، بازده این روش نسبت

به سایر روشها بصورت بالقوه افزایش می‌یابد. در نتیجه در مقایسه با روشهای مکانیکی و به لحاظ ماهیت عملکرد، شاخص تعیین‌کننده‌ی فضای اشغالی بمنظور استحصال ظرفیت معینی از انرژی، بمراتب پایین‌تر خواهد بود.

۹. خصوصیت ایستایی سازه‌ی اصلی نیروگاه در انواع ستونهای نوسانگر ثابت، استفاده از آنها را در بدنه‌ی حفاظهای ساحلی، دیواره‌های موجگیر و یا موج‌شکن بنادر عملی ساخته و از این طریق، توجیه‌پذیری اقتصادی آنها را تقویت می‌نماید.

۲. تاریخچه‌ای از مطالعات انجام‌شده

ابتدایی‌ترین مطالعات موضوعی انجام‌شده در زمینه‌ی ستونهای نوسانگر آب، مطالعاتی است که توسط اوانس^۱ در سال ۱۹۸۲ م. انجام‌گردید. به دنبال آن، مطالعات دیگری توسط فالکائو و سارمنتو^۲ در سال ۱۹۸۰ م. و همچنین خود اوانس در سال ۱۹۸۲ م. جنبه‌های تحلیلی دیگری از انواع مختلف این سامانه‌ها را با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار داد.

همگام با مطالعات پایه‌ی مزبور، فصل دیگری از تحقیقات نظری، با ایده‌ی افزایش قابلیت و ارتقاء توانایی فنی این سامانه‌ها، به بررسی اثرات دیواره‌های جانبی و چگونگی بهینه‌سازی آن در ترکیب با بدنه‌ی دستگاه معطوف گردید که از آن‌جمله می‌توان به تحقیقات امبلی^۳ و فعالیت‌های مشترک کنت^۴ و اوانس بترتیب در سالهای ۱۹۸۲ و ۱۹۸۴ م. اشاره نمود.

در سال‌های اخیر نیز مطالعات دیگری با استفاده از روش‌های تحلیلی، عددی، آزمایشگاهی و یا تلفیقی از آنها، با هدف بررسی راه‌های عملی افزایش ظرفیت و کارایی طرح‌های مختلف این سامانه انجام پذیرفته‌است.

در رابطه با طرحهای نیروگاهی اجرایی نیز در کشورهای نظیر ژاپن، انگلستان، نروژ، پرتغال و ایرلند، واحدهای آزمایشی و نمونه‌ی مختلفی با سازوکار ستون نوسانگر آب بمرحله‌ی اجرا درآمده‌است. در حال حاضر هند تنها کشوری است که برق حاصل از نیروگاه موجی خود را به شبکه‌ی برق سراسری متصل نموده و طرحهای کاربردی دیگری را در دست اجرا دارد.

۳. تشریح عملکرد سامانه

بمنظور آشنایی با عملکرد واحدهای نیروگاهی *O.W.C* (ستون نوسانی آب) با هدف تبیین راهبردهای طراحی سامانه‌های مزبور، تحلیل روابط ریاضی حاکم بر طبیعت رفتاری ستونهای نوسانگر - چه از لحاظ ساختاری و چه از حیث عملکرد آنها در قالب واحدهای مبدل انرژی - الزامی و راهگشا است. بهمین منظور در این قسمت، فرایند جذب انرژی توسط یک واحد نیروگاهی ستون نوسانگر ساحلی از نوع ثابت، با استفاده از مبانی فیزیکی و ریاضی تشریح گردیده‌است.

کیفیت نوسان ستون آب در داخل محفظه‌ی اصلی سامانه، معلول قوانین شارهای مربوط به محیطهای پیوسته‌ی سیالاتی با حجمهای مرتبط می‌باشد. در این محیطها، پیوستگی سیال در مرز تلاقی حجمهای داخلی با حجم معیار اولیه^۵، علاوه بر ایجاد زمینه‌ی لازم جهت توزیع و تعادل مشخصه‌های درونی سیال (نظیر دما و چگالی)، هرگونه انعطاف ایجادشده در مجاورت مرزهای خارجی محیط - تحت تأثیر فرایندهای نیرویی - را به سرتاسر محیط پیوسته منتقل می‌نماید. حفاصل زمانی تأثیرپذیری و نیز عکس‌العمل سیال محصور در مرز فیزیکی هر حجم درونی از محیط مزبور تابعی است از: موقعیت مکانی حجم نسبت به مختصات تحریک اولیه^۶، نوع تحریک، هندسه‌ی مرزهای داخلی آن نسبت به حجم معیار اولیه و همچنین شرایط مرزی موجود در مرزهای اختصاصی حجم موردنظر.

با لحاظ این نکته که ماهیت میدان شارهای در پدیده‌ی امواج یک ماهیت حداقل دوبردی بوده و توزیع افقی سرعت سیال در

1. Evans

2. Falcao & Sarmiento

3. Ambli

4. Cont

1. Main control volume

2. Initial impuls function

میدان مزبور تابع روابط حرکتی (سینماتیکی) و پویایی (دینامیکی) است، تعمیم کلیت فوق در مورد یک واحد ستون نوسانگر به همراه محدوده‌ای از حریم پیرامونی تأثیرگذار بر آن نیز صادق می‌باشد.

۱.۳. هندسه‌ی طرح

مشخصه‌های کلی دستگاه و ابعاد هندسی طرحی از یک سامانه‌ی O.W.C از نوع ثابت و یا فرض نصب در ساحل در شکل (۱) نشان داده شده است.

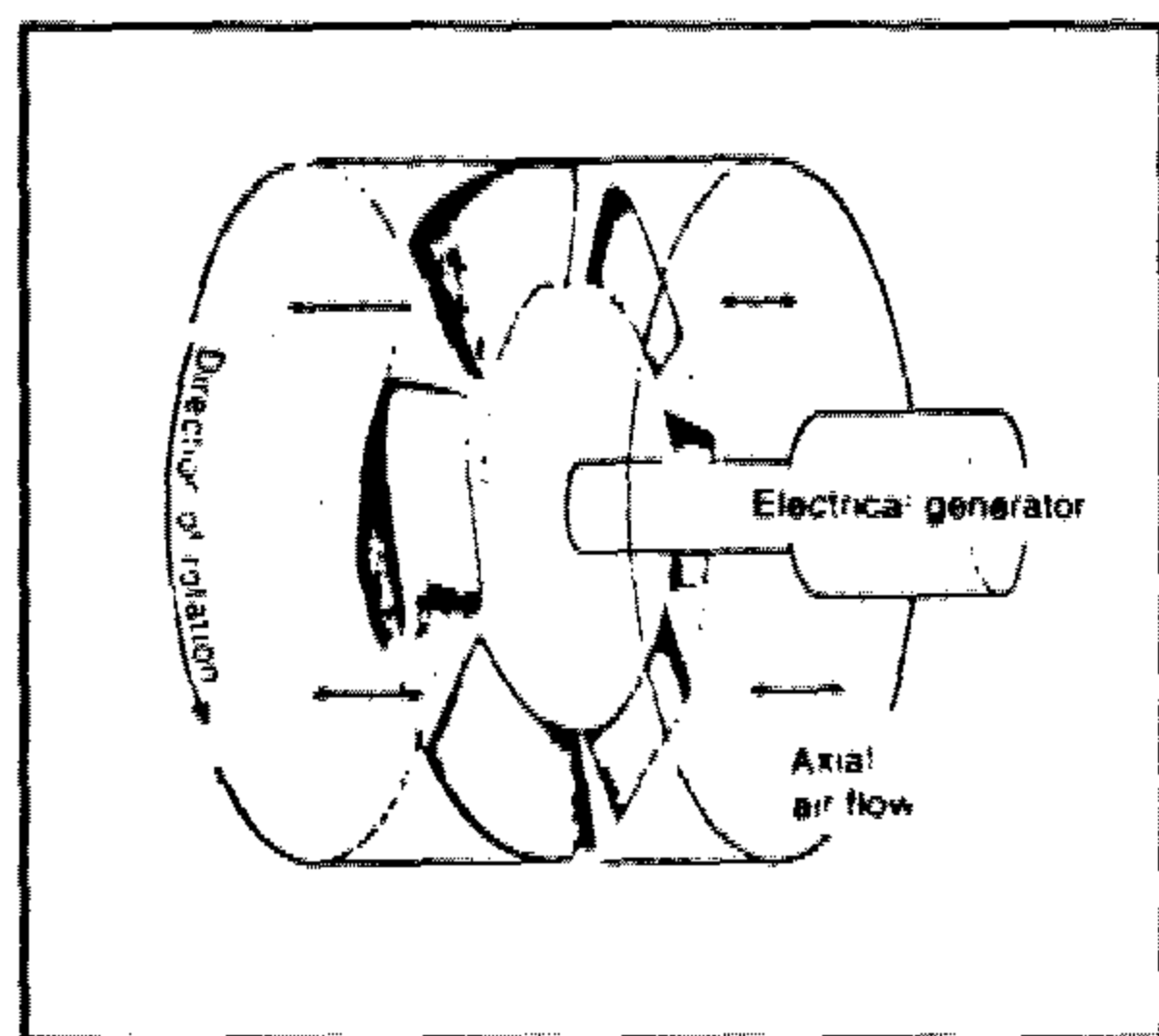
محفظه‌ی فشار دستگاه دارای طول X_0 (در امتداد خط تراز آب)، پهنای $2b$ و ارتفاع D_0 (بالاتراز خط تراز آب) می‌باشد که در نقطه‌ی $x = X_0$ با یک نیم صفحه‌ی مایل (در اینجا با ضخامت ناچیز) با شیب ثابت β و عمق ترشدگی d_s از فضای آبگیر جدا شده است. دهانه‌ی موجگیر (شامل بازشدگی مفروق) نیز دارای پهنای $2b$ (برابر با پهنای محفظه‌ی فشار) در نظر گرفته شده که مجموعه‌ی آنها به شکلی متقارن در انتهای یک مجرا با پهنای ثابت جاسازی گردیده است. برای آب داخل آبگیر و مجرا نیز عمقی برابر با مقدار ثابت h در نظر گرفته می‌شود. در این حالت ابعاد دهانه‌ی موجگیر $2b.(h - d_s)$ خواهد بود.

فضای جانبی و منطقه‌ی پشت دستگاه یا می‌تواند در معرض امواج داخل آبگیر قرار گیرد و یا بسویله‌ی استفاده از شیب‌های مستهلک‌کننده و یا دیواره‌های قائم، از ورود موج محافظت گردد.

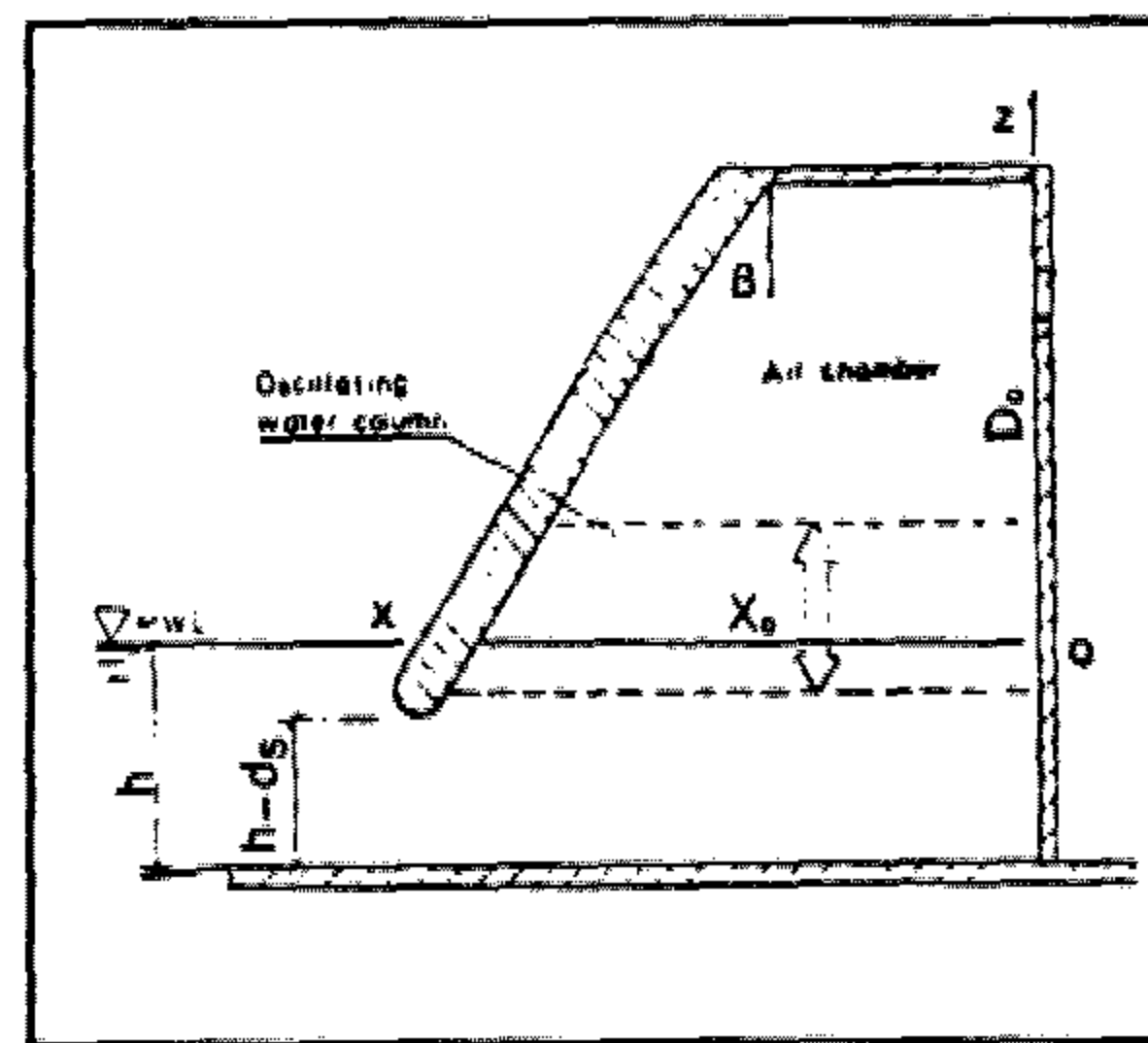
قطر مجرای فوقانی در مقطع خروج هوا d_h در نظر گرفته می‌شود. در شرایط واقعی این مجرا به توربوژنراتوری مجهز به یک توربین جریان محوری طرح ولز^۱ متصل می‌باشد.

در ساده‌ترین حالت، چرخنده‌ی (روتور) این توربینها شامل تعدادی از بالکهای با مقطع متقارن است که با رعایت اصول پایایی دورانی (بالانسینگ)، در محیط یک صفحه‌ی مرکزی نصب گردیده‌اند (*Monoplane wells turbine*). این توربین می‌تواند در هر دو سمت خود دارای بالکهای راهنما باشد^۲ (*Biplane wells turbine*).

دراثر چرخش توربین، جریان هوا تحت یک زاویه‌ی نفوذ مشخص، از حدفاصل بالکها عبور نموده و متناسب با زاویه‌ی مزبور، دو بردار نیرویی بترتیب در دو امتداد موازی و عمود بر امتداد جریان ایجاد می‌گردد (شکل ۲). مؤلفه‌ی نیروی مماسی در امتداد مختصه‌ی سطحی صفحه‌ی دوران برای هر دو جهت مثبت و منفی جریان هوا، یک جهت داشته و منجر به دوران مشابه توربین در هر دو نیم چرخه‌ی دم و بازدم از نوسان ستون هوا خواهد شد^۳.



شکل (۲)



شکل (۱)

1 . Wells turbine

۲. از این طرح در مواردی استفاده می‌شود که تفاضل فشار موجود بین دو سطح توربین، بمراتب بیش از مقدار لازم جهت کارکرد بهینه‌ی آن در حالت منفرد باشد.
۳. توربینهای ولز از نیمه‌ی دوم دهه‌ی هشتاد میلادی با هدف ارتقاء بازده کاری روشهای هوایی (پنوماتیکی) نیروگاهی امواج، پیشنهاد و طراحی گردیده است. بدیهی است چنانچه در روشهای نیروگاهی مزبور از چنین توربینهایی است نشود، بمنظور یکسوسازی جهت جریان عبوری از توربین دستگاه، نیاز به استفاده از دریچه‌های تنظیمی خواهد بود.

۲.۳. معادلات عمومی

همانگونه که بیان شد، آنچه در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، تحلیل معادلات مربوط به یک واحد نیروگاهی ساحلی از نوع ثابت می باشد. در محل نصب، شکل بستر و عمق اولیه ی آب دلخواه بوده و در محاسبه ی روابط اصلی، از فرضیات مربوط به نظریه ی خطی امواج استفاده شده است.

حالتی را در نظر می گیریم که طی آن یک رشته امواج منظم با ضابطی (۳:۱)، پس از حرکت از مبدأ $x = -\infty$ با برخورد به محفظه ی فشار دستگاه، منجر به تولید فشار نوسانی $p(t)$ در داخل محفظه می گردد.

$$\eta_i(x, t) = A \cdot \sin(\omega t - kx) \quad (1:3)$$

در این حالت فشار هوای داخل محفظه (فشار کاری توربین) در هر لحظه از زمان تناوب موج^۱، با عبارت (۳:۲) بیان می شود که در آن، p_a فشار هوا در بیرون از محفظه می باشد.

$$p^*(t) = p(t) - p_a \quad (2:3)$$

چنانچه $V(t)$ حجم لحظه ای هوای داخل محفظه در نظر گرفته شود، نرخ جریان حجمی هوا (جابجاشده توسط سطح داخلی موج) برابر است با $q(t) = -\frac{dV}{dt}$. براین اساس، شار جرمی هوای عبوری از مقطع توربین، بعنوان تابعی از مقدار $p^*(t)$ بصورت زیر خواهد بود:

$$M(t) = \psi [p^*(t)] = \psi \{ p(t) - p_a \} \quad (3:3)$$

از سوی دیگر چنانچه دیواره های جانبی، سطح آزاد موج را در مختصات $y = \pm b$ قطع نموده و در عین حال بر آن عمود و یا حداقل با یکدیگر موازی باشند، مقدار $V(t)$ را می توان با رابطه ی زیر بیان نمود:

$$V(t) = A(t) \cdot \{ D_0 - z(t) \} = A(t) \cdot D(t) \quad (4:3)$$

که در آن $A(t) = 2b \cdot x(t)$ سطح مقطع لحظه ای ستون هوا و $z(t)$ متوسط تراز لحظه ای موج در حد فاصل $0 \leq x \leq X_0$ می باشد. مشخصه ی زمانی $x(t)$ بیانگر تغییرات سطح مقطع محفظه در امتداد تغییرات تراز آب می باشد. بدیهی است چنانچه در حالت هندسه ی شکل، مقدار $x(t)$ بر اساس رابطه ی زیر بدست می آید:

$$x(t) = \left[D + \frac{L}{\tan(\beta)} \cdot \eta(t) \right] \cdot \tan(\beta) \quad (5:3)$$

بدیهی است اگر $x(0) = X_0$ ، $A(0) = A_0$ ، $V(0) = V_0$ ، آنگاه $V_0 = A_0 \cdot X_0$ برابر با حجم نامی محفظه ی هوا با توجه به تراز سطح آزاد آب داخل آن بوده و $V(t) = A(t) \cdot z(t)$ حجم کاهش یافته ای است که در فرآیند تراکم هوای محفظه مؤثر است. چنانچه $\rho_c(t)$ بیانگر چگالی هوای داخلی محفظه باشد، با توجه به رابطه های (۳:۳) و (۴:۳) می توان نوشت:

$$\psi \{ p(t) - p_a \} = -\frac{d}{dt} [\rho_c(t) \cdot V(t)] = M(t) \quad (6:3)$$

که پس از جاگذاری خواهیم داشت:

$$\psi \{ p(t) - p_a \} = A(t) \cdot \left\{ \frac{d\rho_c(t)}{dt} [D_0 - z(t)] - \rho_c(t) \frac{dz(t)}{dt} \right\} \quad (7:3)$$

در این حالت تغییرات چگالی هوا بصورت تابع مشخصی از مقدار فشار محفظه در نظر گرفته شده است و این حالت دقیقاً منطبق با رفتار واقعی کمیت مزبور می باشد^۲.

1. Wave period

۲. شایان ذکر است، در واحدهای نیروگاهی بزرگ با محفظه ی نسبتاً حجیم، اثر تراکم پذیری هوای محفظه تأثیری قابل اغماض بر عملکرد نیروگاه دارد.

براساس نتایج مطالعات اوانس در سال ۱۹۸۲ م.، بمنظور تخمین میزان انرژی جذب شده توسط یک سامانه‌ی ستون نوسانگر، با فرض امواج خطی و برای یک ارتفاع موج ورودی معین، احتیاج به سه دسته اطلاعات زیر می‌باشد:

۱. شار حجمی هوای تخلیه شده از محفظه در حالتی که مجرای فوقانی کاملاً باز و بدون هرگونه عامل افت باشد
۲. رفتار سامانه در برخورد با تغییرات هماهنگ فشار محفظه

۳. تابع رفتار توربین (نسبتی از شار حجمی هوای عبوری به فشار کاری توربین)

براساس روابط بدست آمده در بالا و باتوجه به عوامل و متغیرهای مؤثر در رفتار سامانه می‌توان نتیجه گرفت که در حالت کلی، مسئله‌ی جذب انرژی امواج توسط فشار نوسانی داخل محفظه، از جهات متعدد از جمله: تغییرات لحظه‌ای $\rho_c(t)$ و همچنین اثر غیرخطی بودن تابع رفتار توربین (ψ) ، یک پدیده‌ی غیرخطی است^۱.

$\rho_c(t)$ به لحاظ ماهیت، تابعی است از چگالی جو (ρ_a) ، فشار جو (p_a) و افتهای اصطکاکی و تراکمی ناشی از لزجت هوای عبوری از توربین و مجاری ارتباطی آن. یک تخمین قابل قبول از مقدار $\rho_c(t)$ مربوط به حالتی است که کلیه‌ی فرآیندهای مربوط به چرخه‌ی هوا، شامل عبور هوا از مجاری توربین و داخل محفظه، بصورت بازگشت پذیر فرض شود. با استفاده از فرض بازگشت پذیری نسبت چگالی - فشار، تغییرات چگالی هوای داخل محفظه کوچک خواهد بود. در نتیجه با استفاده از یک تقریب تفاضلی (دیفرانسیلی) می‌توان تغییرات چگالی را بصورت تابعی خطی از فشار لحظه‌ای محفظه بصورت زیر فرموله نمود:

$$\rho_c(t) = \rho_a \{ 1 + p(t) \cdot (\gamma p_a)^{-1} \} \quad (۸:۳)$$

که در آن $\gamma = c_p / c_v$ نسبت گرمای ویژه هوا است. نکته‌ی قابل ذکر آنکه این تقریب، منطبق با فرض نظریه‌ی خطی امواج می‌باشد. با این فرض، نرخ جریان حجمی عبوری از توربین برابر است با:

$$q_t = \frac{M_t}{\rho_a} = q(t) \cdot V_0 (\gamma p_a)^{-1} \frac{dp}{dt} \quad (۹:۳)$$

از سوی دیگر توان لحظه‌ای جذب شده توسط توربین (با فرض تابع تراکم پذیری خطی) برابر است با حاصلضرب شار حجمی هوا در فشار لحظه‌ای محفظه.

$$W_t = q_t \cdot p(t) \quad (۱۰:۳)$$

این مقدار در حالت عمومی با مقدار انرژی حمل شده توسط امواج مساوی نیست. دلایل عمده‌ی این تفاوت عبارتند از:

۱. تغییرات انرژی داخلی هوا به علت اثرات تراکمی

۲. افتهای موضعی و اصطکاکی در قسمت مجاری عبور هوا

۳. افتهای موضعی و اصطکاکی ناشی از تلاطم آب در محفظه‌ی تلاطم آب

به لحاظ ساختاری آنچه پاسخ سیالاتی محفظه (شامل دامنه‌ی تغییرات تراز آب و همچنین فشار جریان هوا) را با مشخصه‌های امواج برخوردی مرتبط می‌سازد، کمیت $q(t)$ است. مقدار نهایی $q(t)$ معلول یک فرایند ترکیبی - تعادلی است که در صورت فرض نظریه‌ی خطی - و استفاده از اصل برهم‌نش آثار - مؤلفه‌های کمیت مزبور بشکل زیر خواهد بود:

$$q(t) = q_d(t) + q_r(t) \quad (۱۱:۳)$$

از جاگذاری این مقادیر در معادله‌ی (۹:۳) نتیجه می‌شود:

$$q_t(t) = \frac{M_t}{\rho_a} = q_d(t) + q_r(t) - V_0 (\gamma p_a)^{-1} \frac{dp}{dt} \quad (۱۲:۳)$$

۱. البته در طرح مورد بررسی، مقطع غیریکنواخت محفظه نیز رفتار غیرخطی معادلات را تشدید می‌نماید.

$q_d(t)$ مؤلفه‌ی جریان ناشی از موج منعکس شده به داخل محفظه است^۱ (با فرض شرایط مرزی موج در بیرون و فشار جو در سطح آزاد داخل محفظه). $q_r(t)$ نیز جریان تشعشعی ناشی از نوسانات فشار داخلی محفظه می‌باشد^۲ (تحت شرایط عدم حضور نموج خارجی در محدوده‌ی سامانه). تابع $q_r(t)$ پاسخ محفظه‌ی سامانه به فشار افزوده‌ی داخلی محفظه است (ماهیت فیزیکی این پدیده باعث گردیده‌است که بعنوان یک گزینه، می‌توان از ایجاد فشار سطحی بعنوان یک روش عملی در تولید امواج آزمایشگاهی استفاده نمود). در حالت ایده‌آل و بدون احتساب افت‌های عمومی، جریان تشعشعی را می‌توان بصورت انتگرال پیچشی^۳ مشتق زمانی فشار هوا (مقدار $p^*(t)$) در تابع تحریک^۴ (تابع $\delta(t)$) بیان نمود. با لحاظ این نکته که پیش از اعمال نیروی فشار، جریانی رخ نخواهد داد، مقدار تابع δ در بازه‌ی زمانی $t < 0$ برابر صفر خواهد بود و در نتیجه حدود انتگرال مزبور بصورت زیر خواهد بود:

$$q_r(t) = \int_{-\infty}^t \delta(t-\tau) \cdot p^*(\tau) d(\tau) \quad (13:3)$$

انتظار می‌رود که با افزایش مقدار مشتق زمانی فشار، انحراف‌های غیرخطی در تابع δ ایجاد گردد.

تابع ψ در توربین‌های طرح ولز نمایشی از رفتار خطی است، بگونه‌ای که نسبت شار حجمی هوای عبوری از توربین، به فشار کاری متناظر با شار هوا، شیب خط مزبور را مشخص می‌نماید.

در تجربیات آزمایشگاهی رفتار توربین غالباً توسط ابزاری نظیر صفحات منفذدار^۵ شبیه‌سازی می‌شود که در آن، میان شار حجمی هوا و فشار کاری دستگاه رابطه‌ی تخمینی $q_t = k_t \cdot p$ ^۵ برقرار است. همچنین در صورتی که از الیاف لایه‌ای^۶ استفاده شود، رابطه‌ی خطی $q_t = k_t \cdot p$ ، مشخصات جریان را به فشار هوا مرتبط می‌سازد.

در هر حال بنا به نوع مشخصه‌های دستگاه، با جاگذاری مقادیر q_t و $q_r(t)$ در رابطه‌ی (۱۲:۳)، معادله‌ای بدست می‌آید که با حل آن در هر لحظه، مقدار $p(t)$ برای هر بازه‌ی زمانی مشخص از عملکرد دستگاه تعیین خواهد شد.

در شبیه‌سازی رفتار اصلی دستگاه از مشخصه‌های واقعی توربین استفاده می‌شود. در این حالت نرخ جریان حجمی هوا تابعی است از فشار کاری محفظه و سرعت دورانی توربین (Ω). کمیت اخیر را می‌توان از طریق معادله‌ی بقای انرژی حرکتی توربین بصورت زیر بدست آورد (در این رابطه I گشتاور ماند یا لختی توربین می‌باشد):

$$I \frac{d^2\Omega}{dt^2} = P - (P_m + P_g) \quad (14:3)$$

توان محوری توربین (P) براساس مقادیر گشتاور پیچشی^۷ ایجادشده و سرعت دورانی محور محاسبه می‌گردد. گشتاور پیچشی تابعی است از دو مشخصه‌ی سرعت دورانی و جریان هوای عبوری از مقطع توربین که مقدار آنرا می‌توان از طریق کاربرد منحنی‌های مشخصه‌ی توربین تعیین نمود. افت‌های مکانیکی (P_m) بستگی تام به مقدار Ω دارد. درعین حال متناسب با دستورالعمل‌های کنترلی بکار رفته، بخشی از توان محور (P_g) از طریق مدارهای کنترلی و شبکه‌ی الکترونیکی به مصرفی می‌رسد. در نتیجه از جاگذاری معادله‌ی (۱۴:۳) در معادله‌ی (۱۲:۳) و استفاده از رابطه‌ی (۱۴:۳) بهمراه معادلاتی که تعیین‌کننده‌ی منحنی‌های مشخصه‌ی توربین می‌باشند، دستگاه معادلات غیر خطی‌ای حاصل خواهد شد که با استفاده از حل همزمان آن، مقادیر مجهول q_t ، $p(t)$ و Ω بصورت همزمان بدست می‌آید.

1. Diffraction flow

2. Radiation flow

3. Convolution integral

4. Impulse Response Function (IRF) or Delta function

5. Orifice - Plate

6. Carpet tissues

7. Torque

۲. تلاش در جهت حل صریح معادلات

تحلیل رفتار سامانه با استفاده از معادلات فوق، نیازمند استفاده از روشهای آزمایشگاهی و یا بهره‌گیری از روشهای عددی است. با این وجود در این قسمت با استفاده از یک ترتیب استنتاجی، در جهت حل صریح معادلات ساختاری مسئله تلاش گردیده و با استفاده از شیوهی حل تقریبی، برخی از نتایج مربوط به رفتار شاره‌پویای سامانه بدست آمده‌است.

با رجوع به هندسه‌ی شکل (۳)، محیط مسئله را می‌توان به دو ناحیه با مرزبندی زیر تقسیم نمود:

ناحیه‌ی « ۱ » : با مشخصه‌ی $x < 0$

ناحیه‌ی « ۲ » : حد فاصل $0 < x \leq x_0$

هوا بصورت گاز کامل در نظر گرفته شده که مقادیر فشار، حجم و دمای مطلق آن بترتیب p_a ، V_a و T_a است. معادله‌ی حالت گاز کامل بصورت می‌باشد. R ثابت عمومی گازها است که در دستگاه آحاد بین‌المللی برابر است با 0.2872 kJ/kgK . با استفاده از دو اصل کلی بقاء جرم و انرژی می‌توان نسبت به تحلیل پدیده‌های سیالاتی سامانه اقدام نمود. حاصل توسعه‌ی معادلات مزبور برای ستون نوسانگر هوا عبارت است از:

$$\frac{d}{dt} [\rho_c(t) \cdot V(t)] + M(t) = 0 \quad (1:4)$$

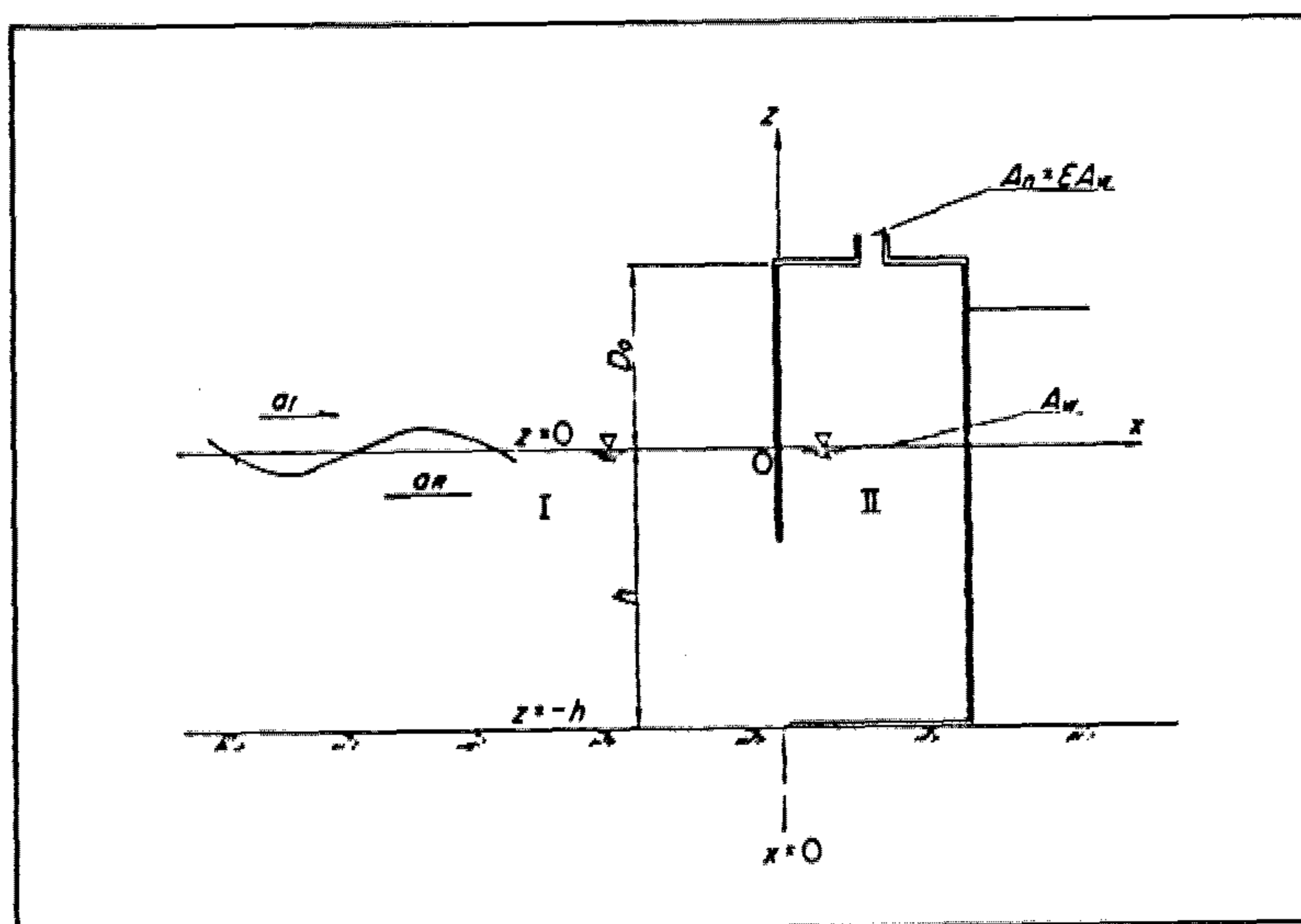
$$p_a(t) \frac{d}{dt} [V_a(t)] + \frac{c_v}{R} \frac{d}{dt} [p_a(t) \cdot V_a(t)] + M(t) \cdot c_p \cdot T_{i,e} = 0 \quad (2:4)$$

در اینحالت رفتار توربین با استفاده از یک دهانک^۱ با سطح گنواگه A_n و مشخصه‌ی رفتاری معین شبیه‌سازی گردیده‌است. دمای $T_{i,e}$ دمای مطلق جریان عبوری از دهانک می‌باشد (در نیم‌چرخه‌ی زانش هوا $T_e = T_a$ و در نیم‌چرخه‌ی مکش هوا $T_i = T_0$). همچنین شار هوای عبوری از دهانک با رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$M(t) = \rho_{i,e} \cdot c_d \cdot \phi \cdot A_n \cdot \{ 2c_p \cdot \text{abs}(T - T_a) \}^{0.5} \quad (3:4)$$

$\rho_{i,e}$ چگالی جریان عبوری از دهانک است که در حالت زانش $\rho_e = \rho_a$ و در حالت مکش $\rho_i = \rho_0$ می‌باشد.

در نخستین برخورد با معادلات بقاء، مجهولات مسئله عبارتند از p_a ، T_a و $V(t)$ که از این بین $V(t)$ از طریق معادله‌ی حرکت سطح آب داخل محفظه قابل محاسبه بوده و بنابراین در نهایت، T_a و p_a از طریق حل همزمان معادلات فوق بدست خواهند آمد.



شکل (۳)

1. Nozzle

۱.۴. تأثیر امواج بر نوسان تراز آب داخل محفظه (تعبیری از جریان انعکاسی)

همانگونه که بیان شد حل معادلات (۱:۴) و (۲:۴) تنها از طریق حل عددی عملی است. با این وجود چنانچه از فرضهای ساده‌کننده‌ی زیر استفاده شود، در حالت‌های معینی از وضعیت امواج در محدوده‌ی موجگیر می‌توان برای این معادلات حل تحلیلی (تقریبی) نیز ارائه نمود.

۱. سطح آزاد موج در ناحیه‌ی «۲» تحت تأثیر تلاطم ناحیه‌ی «۱» در شرایط آرام و با دامنه‌ی a_0 (بگونه‌ای که نسبت $\frac{a_0}{D_0}$ به اندازه‌ی کافی کوچک است) نوسان می‌نماید.

۲. در نتیجه‌ی تغییرات آرام فوق، تغییرات p_a و T_a در مقایسه با مقادیر p_0 و T_0 بحد کافی محدود است.

۳. تابع تغییرات p_a و T_a بصورت سینوسی است.

مالمو^۱ در مطالعات خود در سال ۱۹۸۵ م. پس از ارائه‌ی موضوع «جذب انرژی امواج توسط یک ستون نوسانگر آب»، در قالب یک منطقی ریاضی و براساس ماهیت معادلات بدست‌آمده، به وجود یک کمیت تأخیر زمانی میان شار حجمی عبوری از مقطع توربین فرضی و فشارکاری محفظه‌ی هوا اشاره می‌نماید.

از این نتیجه استفاده نموده و در تکمیل بند «۳» از فرضیات فوق، ضابطه‌ی تغییرات $V(t)$ ، p_a و T_a بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$V(t) = V_0 \cdot \left\{ 1 - \frac{a_0}{D_0} \sin \omega t \right\}$$

$$p_a = p_0 \cdot \left\{ 1 - \lambda \sin \omega(t + \tau) \right\} \quad (4:4)$$

$$T_a = T_0 \cdot \left\{ 1 - \alpha \sin \omega(t + \tau) \right\}$$

در این روابط $\omega = 2\pi / Tw$ بسامد زاویه‌ای موج، α و λ ضرایبی با مقادیر کوچک و τ تأخیر زمانی پیش‌بینی شده بین تغییرات متناظر $V(t)$ ، p_a و T_a می‌باشد.

با جاگذاری معادلات فوق در معادلات (۱:۴) و (۲:۴) و بهره‌گیری از یک مجموعه عملیات ریاضی، مقادیر α ، λ و τ بصورت زیر بدست می‌آیند (ر.ک. مرجع ۷):

$$\alpha = (\gamma - 1) \frac{a_0}{D_0} \cos \omega \tau \quad (5:4)$$

$$\lambda = \gamma \frac{a_0}{D_0} \cos \omega \tau \quad (6:4)$$

$$(\cos \omega \tau + K)^2 = 1 + K^2 \quad (7:4)$$

$$K = \varepsilon_e^2 (\gamma - 1) \frac{cvT_0}{(\omega D_0)^2} \frac{D_0}{a_0} \quad (8:4)$$

در این روابط ε_e نسبت مقطع مؤثر دهانک است که برابر است با $\varepsilon_e = cd \cdot \phi \cdot \varepsilon$ و در آن $\varepsilon = \frac{A_n}{A_w}$ که A_w سطح مقطع ستون هوا است^۲.

با توجه به روابط فوق می‌توان نسبت به چگونگی تأثیرپذیری الگوی نوسانی سیال در ناحیه‌ی «۲» (محفظه‌ی سیال) از امواج ناحیه‌ی «۱» بصورت تحلیلی اظهار نظر نمود. به این منظور دامنه‌ی امواج تابیده‌شده و بازگشتی را بترتیب با a_i و a_r نشان داده و با

2. O. Malmo

۲. شایان ذکر است، در انواع ستون‌های نوسانگر با محفظه‌های غیر یکنواخت، متناسب با منحنی تغییرات سطح مقطع محفظه، ε تابعی از مختصات دستگاه می‌باشد.

استفاده از فرض ایجاد امواج ایستا در ناحیه‌ی « ۲ »، دامنه‌ی این امواج نیز a_t در نظر گرفته می‌شود. در اینصورت روابط زیر بترتیب سرعت نقطه‌ای (اوربیتالی) موج در راستای افق و فشار آب در دو ناحیه‌ی « ۱ » و « ۲ » را نشان می‌دهد (در این تعاریف از اثر افت نمایی دامنه‌ی امواج ایستا صرف‌نظر گردیده‌است).

$$u_1 = \frac{gk}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \{ a_i \sin(\omega t - kx - \Phi_i) - a_r \sin(\omega t + kx - \Phi_r) \}$$

$$p_1 = p_0 + \rho_w g \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \{ a_i \sin(\omega t - kx - \Phi_i) + a_r \sin(\omega t + kx - \Phi_r) \}$$

(۹:۴)

$$u_2 = -\frac{gk}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \{ a_t \sin k(x - X_0) \} \cos \omega t$$

$$p_2 = p_a + \rho_w g \{ a_t \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \cos k(x - X_0) \} \sin \omega t$$

در این عبارتها $k = \frac{2\pi}{L}$ عدد موج است که در آن L طول موج و همچنین Φ_i و Φ_r بترتیب تأخیر زمانی امواج تولیدشده و بازگشتی نسبت به الگوی امواج ایجادشده در داخل ناحیه‌ی « ۲ » می‌باشد. با فرض امواج ایستا، دامنه‌ی مؤثر نوسان سطح آب در ناحیه‌ی « ۲ » برابر است با:

$$a_0 = \frac{\sin kX_0}{kX_0} a_t$$

ازسوی دیگر با اقتباس از اصل پیوستگی توزیعی جرم و فشار در مرز تلاقی دو ناحیه، روابط زیر را می‌توان نوشت:

$$\int_{-h}^0 u_1 dz (x=0) = \int_{-h}^0 u_2 dz (x=0)$$

(۱۰:۴)

$$P_1(x=0) = P_2(x=0) \quad (z = -h \text{ to } -d_s)$$

با انجام مراحل ریاضی لازم، حاصل جاگذاری عبارتهای (۹:۴) در تساوی فوق، مقادیر ضرایب نفوذ ($K_t = \frac{a_t}{a_i}$) و بازگشت

دامنه‌ی موج ($K_r = \frac{a_r}{a_i}$) و همچنین Φ_1 و Φ_2 بصورت زیر بدست می‌آیند:

$$K_t = 2 \left\{ \left(A_0 f(kh, kd_s) \sin \omega \tau \cos \omega \tau + kX_0 \right)^2 + \left(A_0 f(kh, kd_s) \cos^2 \omega \tau + \frac{kX_0}{\tan kX_0} \right)^2 \right\}^{-0.5}$$

$$K_r = \frac{1}{2} K_t \left\{ \left(A_0 f(kh, kd_s) \sin \omega \tau \cos \omega \tau - kX_0 \right)^2 + \left(A_0 f(kh, kd_s) \cos^2 \omega \tau + \frac{kX_0}{\tan kX_0} \right)^2 \right\}^{0.5}$$

(۱۱:۴)

$$\Phi_i = \tan^{-1} \left\{ -\frac{A_0 f(kh, kd_s) \sin \omega \tau \cos \omega \tau + kX_0}{A_0 f(kh, kd_s) \cos^2 \omega \tau + kX_0 / \tan kX_0} \right\}$$

$$\Phi_r = \tan^{-1} \left\{ -\frac{A_0 f(kh, kd_s) \sin \omega \tau \cos \omega \tau - kX_0}{A_0 f(kh, kd_s) \cos^2 \omega \tau + kX_0 / \tan kX_0} \right\}$$

که در آن:

$$A_0 = \frac{\gamma P_0}{\rho_w g D_0}, \quad f(kh, kd_s) = \frac{2 \cosh kh \sinh k(h-d_s)}{\cosh k(h-d_s) \sinh k(h-d_s) + k(h-d_s)}$$

با استفاده از حل این روابط، پاسخ نوسانی سامانه در برخورد با یک رشته امواج منظم (Regular waves) قابل پیش‌بینی خواهد بود.
۲.۴. کمیت‌های مؤثر در کیفیت عملکرد دستگاه

در یک طرح نمونه از واحدهای ستون نوسانگر آب، ظرفیت نهایی، متأثر از سه ضریب تعدیلی است که بترتیب عبارتند از:

۱. بازده تبدیل (تحویل) انرژی (توان) موج به هوا (η_c)

۲. بازده توربین نیروگاه (η_t)

۳. بازده مؤثر ژنراتور (η_g)

براین اساس بازده نهایی نیروگاه عبارت است از:

$$Eff_t = \eta_c \cdot \eta_t \cdot \eta_g$$

در این حالت بازده نامی نیروگاه (Eff_m) برابر است با نسبت متوسط مقدار بازیافت انرژی در آخرین حلقه‌ی تبدیل به متوسط انرژی موج ورودی (بر واحد عرض جبهه‌ی موج).

$$Eff_m = \frac{W_a}{W_i} \quad (12:4)$$

از مجموع ضرایب سه‌گانه‌ی فوق، η_c (بازده پنوماتیکی محفظه) بدلیل تأثیرپذیری مستقیم از پدیده‌های شاره‌ای، دارای بیشترین خصوصیات غیرخطی است. در عین حال غالب مطالعات انجام‌شده در جهت افزایش مقدار Eff_m ، برپایه‌ی افزایش ضرایب η_t و η_c بنا گردیده است. بصورت حاصل نسبت متوسط کار انجام‌شده توسط سطح موج داخلی بر روی ستون هوا به میانگین توان حمل‌شده توسط واحد عرض موج ورودی تعریف می‌شود. در نتیجه با استفاده از روابط بدست‌آمده در بالا، مقدار η_{cm} برابر خواهد بود با:

$$\eta_{cm} = \frac{\gamma p_0}{\rho_w g D_0} \frac{X_0 \omega}{C_g} K t^2 \sin \omega t \cos \omega t \quad (13:4)$$

در این رابطه C_g سرعت گروهی امواج ورودی است.

با استفاده از تحلیل ابعادی^۱، رابطه‌ی (۱۳:۴) را می‌توان بصورت تابعی از جملات بدون بعد زیر دانست. بدیهی است هر یک از

کمیت‌های مزبور، بنا به نوع و درجه‌ی تأثیرگذاری، در تعیین و ارتقاء بازده نهایی سامانه، مهم و اساسی می‌باشند.

$$\eta_{cm} = f \left\{ \frac{p_0}{\rho_w g D_0}, \varepsilon, \frac{h}{L}, \frac{X_0}{L}, \frac{d_s}{h}, \frac{H}{L}, \frac{cp T_0}{g D_0} \right\} \quad (14:4)$$

همانگونه که در ترکیب عناصر مجموعه‌ی فوق نشان داده شده است، فرایند جذب انرژی در یک واحد ستون نوسانگر آب، نه تنها متناسب با مشخصات موج و هندسه‌ی دستگاه تغییر می‌کند، بلکه از مقادیر دما و فشار محیط نیز تأثیر می‌پذیرد.

از آنجا که حل صریح معادلات رفتاری سامانه، با استفاده از یک دسته فرضیات ساده‌کننده انجام گرفته است، در تکمیل و تدقیق

نتایج بدست آمده - خصوصاً در تعیین η_{cm} - استفاده از نتایج مطالعات آزمایشگاهی الزامی و راهگشا است.

۵. ارائه‌ی نتایج در قالب بحث کارشناسی

۱. اصلی‌ترین عامل رویکرد بین‌المللی به تحقیقات در زمینه‌ی انرژیهای تجدیدپذیر و منابع جایگزین، اصل پیشگیری از تخریب بیش از پیش محیط زیست جهانی و نیز محدودیت ذخایر انرژی سنتی - سنگواره‌ای است.
۲. از مجموع روشهای مختلف جذب انرژیهای اقیانوسی، استحصال انرژی از امواج، دارای مناسبترین فراوانی و قابلیت می‌باشد.
۳. مزایای درخور توجه سازوکار ستونهای نوسانگر آب، این روش را بعنوان یکی از زمینه‌های کاربردی، محمل تحقیقات پایه و کاربردی متنوعی قرار داده‌است.
۴. در طراحی یک سامانه‌ی ستون نوسانی، لحاظ نمودن این نکته الزامی است که ساختار هندسی محفظه و توربین نصب‌شده بر آن، توانایی جذب بیشترین مقدار انرژی حمل‌شده توسط امواج را دارا باشد.
۵. طبیعت نوسانی ستونهای نوسانگر آب، مؤید این نکته است که ضمن امکان تصور یک بسامد طبیعی^۱ در تحلیل حرکتی رفتار سامانه، بمنظور دستیابی به شرایط مطلوب و بعنوان پیش‌زمینه‌ی لازم جهت قرارگیری دستگاه در شرایط کارکرد بهینه، انطباق بسامد مزبور با شرایط و مشخصات امواج منطقه‌ای در محل اجرا الزامی است.
۶. افزایش قابلیت‌های فنی تجهیزات، در بهبود بازده سامانه نقش اساسی دارد.
۷. علاوه بر افت‌های مکانیکی در بخش تجهیزات، هندسه‌ی نامطلوب و شکل نامناسب انحناهای لبه‌های فوقانی و جانبی دهانه‌ی ورود موج نیز بدلیل تأثیر در الگوی جریانهای شارهای، افت‌های ناشی از اثرات لزجی را افزایش می‌دهد^۲.
۸. مقادیر عرض دهانه‌ی موجگیری (در حالت ساده عرض ورودی موج)، هندسه‌ی مرزهای ناحیه‌ی موجگیر، طول محفظه‌ی سازه در امتداد طول موج، سطح مقطع مجرای نصب توربین، منحنی سطح مقطع محفظه‌ی ستون نوسانگر، شیب دیواره‌ی مقابل موج و همچنین شکل و کیفیت مرزهای درونی جداره‌های در تماس با حرکت جرم سیال (آب)، در افزایش بازده هندسی و شارهای سامانه مؤثر است.
۹. در کشورهایی که وضعیت امواج منطقه، بیانگر ظرفیتهای محدود از انرژیهای ساحلی و منطقه‌ای است، سرمایه‌گذاری در جهت کسب فن‌آوری کاربردی در زمینه‌ی واحدهای نیروگاهی ستون نوسانگر آب، می‌تواند به مطالعه و بهبود بازده‌های هندسی، شارهای و توربو ماشین معطوف گردد.
۱۰. از آنجا که توسعه‌ی فنی، امید بهسازی تجهیزات فنی و برطرف‌سازی موانع کاربردی موجود را تقویت می‌نماید، وجود سواحل طولانی با پراکندگی‌های ویژه‌ی جغرافیایی در کشور، انگیزه‌ای است تا به فراخور برنامه‌های توسعه، زمینه‌های فنی و مطالعاتی واحدهای نیروگاهی امواج نیز افزایش یافته و مورد عنایت بیشتر قرارگیرد.

۶. **مطالعه‌ی موردی:** اشاره به مراحل پیشرفت طرح تحقیقاتی مدل‌سازی یک واحد نیروگاهی امواج از نوع ستون نوسانگر آب، با سرپرستی معاونت امور انرژی وزارت نیرو

همزمان با اجرای برنامه‌های توسعه‌ی زیربنایی، جهت‌گیری سیاست‌های تحقیقاتی وزارت محترم نیرو (بعنوان عهده‌دار اصلی تأمین نیازهای فنی کشور در زمینه‌ی تولید و مصرف انرژی برق) در بخش انرژی‌های نوین، در قالب فعالیت‌های دفتر انرژی‌های نو این وزارت سازمان یافته و در حال حاضر، با مدیریت و نظارت بر انجام طرح‌های پیشنهادی از سوی این دفتر پی‌گیری می‌گردد.

1. Natural frequency

۲. در یکی از تحقیقات بعمل آمده، مقدار این افت تا ۸٪ کل انرژی خروجی تخمین زده شده‌است (ر.ک. مرجع ۳).

در راستای فعالیت‌های تحقیقی - کاربردی مزبور، قرارداد مطالعاتی طراحی از یک مدل نیروگاهی امواج با عملکرد ستون نوسانگر آب - با پیش‌زمینه‌ی طراحی یک نمونه‌ی نیروگاهی به ظرفیت ۱۰ کیلو وات - میان معاونت امور انرژی وزارت نیرو و مرکز تحقیقات آب (وابسته به این وزارت) منعقد گردیده‌است که محورهای اصلی مطالعات طرح مزبور عبارتند از:

۱. مطالعه‌ی پایه در زمینه‌ی رفتار سامانه‌های O.W.C بعنوان واحدهای نیروگاهی امواج

۲. طراحی و ساخت یک نمونه‌ی آزمایشگاهی از سامانه‌های O.W.C

۳. استفاده از روابط تحلیلی و روشهای شبیه‌سازی، در مطالعه و پیش‌بینی قابلیت‌های دستگاه

۴. استفاده از نتایج آزمایشگاهی در تدقیق نتایج مطالعات تحلیلی و نظری

۵. ارائه‌ی دستورالعمل‌های طراحی

هم‌اکنون از مجموع فهرست فوق، مطالعات مربوط به سه بند نخست، تکمیل گردیده که بخشی از آن مطالعات، در قالب این مقاله ارائه گردیده‌است. این درحالی‌است که همزمان، بررسی‌های مربوط به بندهای « ۴ » و « ۵ » نیز در دست پیگیری و انجام می‌باشد. در بخش مطالعات آزمایشگاهی، با ساخت یک نمونه‌ی تحقیقاتی (براساس طراحیهای بعمل آمده)، مطالعه بر روی اثرات مختلف متغیرهای هندسی و ساختاری مجموعه‌ی (۴: ۱۷)، بصورت تجربی و با رعایت معیارهای آزمایشگاهی، در دست بررسی است. شایان ذکر است، تفصیلی از نتایج نهایی، در قالب مقایسه و انطباق مشاهدات تجربی با نتایج تحلیلی و براین اساس، تدوین و ارائه‌ی شاخصهای طراحی واحدهای نیروگاهی ستون نوسانگر آب، پس از تکمیل، در قالب مقاله‌ای با همین عنوان منتشر خواهد شد.

● فهرست مراجع

1 . *Power From the Waves*, By D. Ross, 1995.

2 . *Ocean Wave Energy Conversion*, By M. E. McCormick.

3 . *Oscillating Water Column Modelling*, By I. G. Morrison, *Coastal Eng.* 92.

4 . *Dynamic Non - Linear Response Of OWC Wave Energy Devices*, By A. Clement, 1996.

5 . *Wave Interactions with an Oscillating Water Column*, By C. H. Lee, *Int. Offshore & Polar Eng.*, 1996.

6 . *an Experiment - Based Time - Domain Math. Model of OWC Power Plants*, By A. J. N. Sarmiento, 1996.

7 . *Theory & Experiments on Extractable Wave Power by an OWC Type Breakwater Caisson*, By R. Ojima.

■

A Survey on Oscillating Water Column (OWC), Wave Power Plants and Its Application in Wave Energy Absorption

M. Monshizadeh, Eng.

M. Abbaspur, Ph.D.

Water Research Center

Abstract

This research is the result of a period of an applied study on a sample of waves plant units and the static installation of water oscillating columns on the coasts. The objective of this study is achieving the modeling strategy of the mentioned units. And while trying to achieve this goal, it is tried to (accurately) solve the structural equations of the devices' hydrodynamics. By analyzing the movement of the oscillation behavior of the dynamic columns, the necessary characteristics needed to achieve the optimum unit are determined. The main research orientations are: 1) a brief review of the technical history of OWC units; 2) analyzing the general equations effecting the devices' behavior in hypothetical conditions; 3) determining the significant factors of analyzing the devices' performance; 4) solving the effective mathematical equations and studying the results; and 5) proposing the results in expert discussion. Also at the end, as a case study, the progress levels of wave plant units' in the type of water oscillating column project, with the supervision of The Energy Department of the Ministry of Energy and the cooperation of this center is pointed out.

Keywords: oscillating water column; power plants; wave energy absorption