بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکز

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.Sc"

گرایش: مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

عنوان :

طراحی و ساخت یک تونل آب (کاویتاسیون) نسبتا ساده وانجام آزمایشات کاویتاسیون

استاد راهنما :

دکتر محمد افتخاری یزدی

استاد مشاور :

دکتر منوچهر راد

پژوهشگر:

محمد کشانی

بهمن ۱۳۹۲

Islamic Azad University
Central Tehran Branch

Mechanical Engineering Department
Energy Conversion Field
Master of Science Thesis

Subject:
Design and Construction of a Relatively Simple Water Tunnel (Cavitation) and Conducting Cavitation Experiments

Advisor:
Dr. Mohammad Eftekhari Yazdi

Consultant:
Dr. Manucher Rad

By:
Mohammad Keshani

February 2014

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را، آنکه ذره ذره وجودم از لطف و کرم اوست.

خدا را سپاس می گویم که به من قدرت خواندن و نوشتن آموخت و فرصتی داد تا بتوانم ذره ای از دریای بیکرانه ی علم را درک نمایم. حال که به لطف او توفیق تحصیل علم و کسب دانش را پیدا نمودم ، از خداوند متعال می‌خواهم مرا در راهی قرار دهد که خود صلاح می داند همانطور که همواره توکلم بر او بوده است.

در پایان بر خود لازم می‌دانم از پدر و مادر و همسر مهربانم که همواره مشوق اصلی من بودند و استاد محترم جناب آقای دکتر محمد افتخاری یزدی و دکتر منوچهر راد که دلسوزانه و با قدرت علمی، راهنمایی و ارشاد اینجانب را بر عهده گرفتند، صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

تقدیم به:

پدر، مادر و همسر عزیزم، تنها کسانی که هیچ گاه چهره ای از ناامیدی نسبت به خود در آنان ندیدم وهمواره مشوق من بودند.

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

چکیده ۱

مقدمه ۲

فصل اول : کاویتاسیون ۳

۱-۱)تاریخچه ۴

۱-۲)تعریف و اساس فرایند کاویتاسیون ۷

۱-۳)شکل گیری کاویتاسیون ۱۰

۱-۴)تقسیم بندی کاویتاسیون ۱۱

۱-۵)اندیکس کاویتاسیون ۱۵

۱-۶)اثرها و اهمیت کاویتاسیون ۱۷

۱-۷)روش های مطالعه کاویتاسیون ۱۹

۱-۸)تشخیص کاویتاسیون ۲۱

۱-۸-۱)روش های تشخیص کاویتاسیون ۲۱

۱-۸-۲)روشی جدید برای تشخیص کاویتاسیون در توربین های آبی و پمپ ها ۲۲

۱-۹)روش کاهش خسارات کاویتاسیون ۲۳

۱-۱۰)کاربردهای کاویتاسیون ۲۶

۱-۱۰-۱)اژدر اسکوال ۲۷

۱-۱۰-۲)گلوله های ضد مین سوپر کاویتاسیون ۳۱

۱-۱۰-۳)قایق سوپر کاویتاسیون ۳۱

۱-۱۰-۴)شستشوی آلتراسونیک ۳۲

فصل دوم:تونل های کاویتاسیون ۳۶

۲-۱)مقدمه ۳۷

۲-۲)مدل های مختلف تونل کاویتاسیون ۳۸

۲-۲-۱)تونل کاویتاسیون امرسون ۳۸

۲-۲-۲) تونل کاویتاسیون MARIN ۴۲

۲-۲-۳) تونل کاویتاسیون MARINTEK ۴۵

۲-۲-۴) تونل کاویتاسیون EPFL ۴۶

۲-۲-۵) تونل کاویتاسیون K 15 B ۴۷

۲-۲-۶) تونل کاویتاسیون CTO ۵۰

۲-۲-۷) تونل کاویتاسیون NRC ۵۲

۲-۲-۸) تونل کاویتاسیون SSPA ۵۳

۲-۲-۹) تونل کاویتاسیون NSTL ۵۵

۲-۳) تونل های کاویتاسیون موجود در ایران..... ۵۷
۲-۳-۱) تونل کاویتاسیون دانشگاه صنعتی شریف..... ۵۷
فصل سوم:تونل کاویتاسیون پیشنهادی..... ۵۹
۳-۱)مقدمه..... ۶۰
۳-۲)تعریف مسئله..... ۶۱
۳-۲-۱)بررسی تئوری مسئله..... ۶۲
۳-۳)معادله برنولی..... ۶۲
۳-۴)افت فشار در لوله و اتصالات..... ۶۳
۳-۵)محاسبات..... ۷۲
۳-۵-۱)مسیر رفت..... ۷۲
۳-۵-۲)مسیر برگشت..... ۷۷
۳-۶)نکات طراحی..... ۷۸
۳-۷)طرحی ساده تر..... ۷۹
فصل چهارم:بررسی عددی طرح پیشنهادی..... ۸۱
۴-۱)مقدمه..... ۸۲
۴-۲)شرح مدل های جریان آشفته..... ۸۲
۴-۲-۱) شبیه سازی مستقیم عددی..... ۸۲
۴-۲-۲) مدل های مبتنی بر متوسط گیری زمانی..... ۸۳
۴-۲-۳) مدل های جبری..... ۸۳
۴-۲-۴) مدل های یک معادله ای..... ۸۴
۴-۲-۴-۱) اسپالارت آلماراس..... ۸۴
۴-۲-۵) مدل های دو معادله ای..... ۸۴
۴-۲-۵-۱) مدل $K-\varepsilon$..... ۸۵
۴-۲-۵-۲) مدل $K-\omega$..... ۸۷
۴-۲-۶) روش های تنش رینولدز..... ۸۷
۴-۲-۷) شبیه سازی گردابه های بزرگ..... ۸۸
۴-۳)هندسه و شبکه بندی..... ۸۹
۴-۴)شبیه سازی در فلوئنت..... ۹۰
فصل پنجم:انجام آزمایش،تاثیر کاویتاسیون بر دبی..... ۹۳
۵-۱)مقدمه..... ۹۴
۵-۲)شرح دستگاه..... ۹۵

۵-۳)آزمایش۱ ..... ۱۰۰
۵-۴)آزمایش۲ ..... ۱۰۵
فصل ششم:نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۸
۶-۱)نتایج ۱۰۹
۶-۲) پیشنهادات ۱۱۱
منابع ۱۱۲

فهرست جدول ها

جدول(۲-۱) جدول اطلاعات تونل کاویتاسیون امرسون..... ۴۱

جدول(۳-۱) $\frac{L_e}{D}$ ۷۰

جدول(۳-۲) f_t ۷۱

جدول(۳-۳) محاسبات سرعت..... ۷۵

جدول(۵-۱) مشخصات آزمایش۱..... ۱۰۰

جدول(۵-۲) مشخصات آزمایش ۲..... ۱۰۵

فهرست نمودارها

نمودار (۳-۱) دیاگرام مودی.....۶۴
نمودار(۳-۲) نمودار K برحسب نسبت قطر لوله ها در زوایای مختلف.....۶۸
نمودار(۳-۳) نمودار K برحسب نسبت قطر لوله ها در زوایای مختلف.....۶۹
نمودار(۴-۱) فلو چارت کار عددی.....۹۲
نمودار(۵-۱) تغییرات دبی نسبت به باز شدن شیر.....۱۰۳
نمودار(۵-۲) تغییرات فشار نسبت به باز شدن شیر.....۱۰۴
نمودار(۵-۳) تغییرات دبی نسبت به بسته شدن شیر.....۱۰۷
نمودار(۵-۴) تغییرات فشار نسبت به بسته شدن شیر.....۱۰۷

فهرست شکل ها

شکل(۱-۱) حرکت اژدر در آب همراه با پدیده سوپر کاویتاسیون.....۲۶
شکل(۱-۲) مشخصات اژدر اسکوال.....۲۷
شکل(۱-۳) دماغه اژدر.....۲۸
شکل(۱-۴) دماغه اژدر به همراه دیسک.....۲۹
شکل (۱-۵) اژدر اسکوال با همراه چهار بالک.....۳۰
شکل (۱-۶) قایق روح.....۳۱
شکل (۱-۷) سیستم شستشوی التراسونیک.....۳۳
شکل(۱-۸) نمونه قطعه شستشو شده توسط دستگاه شستشوی التراسونیک.....۳۴
شکل(۲-۱) تونل کاویتاسیون امرسون.....۳۸
شکل(۲-۲) دانشگاه فنون دریایی محل قرار گیری تونل کاویتاسیون امرسون.....۳۹
شکل(۲-۳) شماتیک کلی تونل کاویتاسیون امرسون.....۳۹
شکل(۲-۴) قسمت تست تونل کاویتاسیون امرسون.....۴۰
شکل(۲-۵) قرار دادن مدل در قسمت تست تونل کاویتاسیون امرسون.....۴۰
شکل(۲-۶) موسسه مارین، مدل سازی قایق.....۴۲
شکل(۲-۷) تونل کاویتاسیون بزرگ، موسسه مارین.....۴۲
شکل(۲-۸) شماتیک کلی تونل کاویتاسون بزرگ موسسه مارین.....۴۳
شکل(۲-۹) شماتیک کلی تونل کاویتاسیون سرعت بالا.....۴۴
شکل(۲-۱۰) تونل کاویتاسیون موسسه مارینتک(MARINTEC).....۴۵
شکل(۲-۱۱) تونل کاویتاسیون EPFL.....۴۶
شکل(۲-۱۲) شماتیک کلی تونل کاویتاسیون K 15 B.....۴۷
شکل(۲-۱۳) تونل کاویتاسیون K 15 B.....۴۸
شکل (۲-۱۴) تونل کاویتاسیون K 15 B قسمت تست اول.....۴۸
شکل (۲-۱۵) تونل کاویتاسیون K 15 B قسمت تست دوم.....۴۹
شکل(۲-۱۶) تونل کاویتاسیونCTO.....۵۰
شکل(۲-۱۷) شماتیک کلی تونل کاویتاسیون CTO.....۵۱
شکل(۲-۱۸) شماتیک کلی تونل کاویتاسیون NRC.....۵۲
شکل(۲-۱۹) تونل کاویتاسیون SSPA.....۵۳
شکل(۲-۲۰) شماتیک تونل کاویتاسیون SSPA.....۵۴

شکل(۲-۲۱) شماتیک کلی تونل کاویتاسیون NSTL..... ۵۵
شکل(۲-۲۲) تونل کاویتاسیون برلین..... ۵۶
شکل(۲-۲۳) تونل کاویتاسیون دانشگاه صنعتی شریف..... ۵۷
شکل(۲-۲۴) شماتیک کلی تونل کاویتاسیون دانشگاه صنعتی شریف..... ۵۸
شکل(۳-۱) طرح تونل کاویتاسیون پیشنهادی..... ۶۱
شکل(۳-۲) حالت های مختلف ورود از منبع به داخل لوله..... ۶۶
شکل(۳-۳) حالت های مختلف ورود از داخل لوله به منبع ۶۷
شکل(۳-۴) افزایش تدریجی سطح مقطع..... ۶۷
شکل(۳-۵) افزایش تدریجی سطح مقطع لوله..... ۶۹
شکل(۳-۶) مسیر رفت تونل کاویتاسیون پیشنهادی..... ۷۲
شکل(۳-۷) مسیر بازگشت تونل کاویتاسیون پیشنهادی..... ۷۷
شکل(۳-۸) نکات طراحی تونل کاویتاسیون پیشنهادی..... ۷۹
شکل(۳-۹) طرح تونل کاویتاسیون ساده و ارزان..... ۸۰
شکل(۴-۱) هندسه و شبکه بندی..... ۸۹
شکل(۴-۲) نمودار خروجی از از نرم افزار فلوئنت..... ۹۱
شکل (۵-۱) دستگاه آزمایش کاویتاسیون..... ۹۶
شکل(۵-۲) شیر فلکه تنظیم دبی ورودی..... ۹۷
شکل (۵-۳) مخزن..... ۹۷
شکل(۵-۴) دبی سنج دستگاه کاویتاسیون..... ۹۸
شکل (۵-۵) فشار سنج..... ۹۸
شکل (۵-۶) گلوگاه دستگاه کاویتاسیون..... ۹۹

فهرست رابطه ها

رابطه(۱-۱).....۱۵
رابطه(۱-۲).....۱۵
رابطه(۱-۳).....۱۶
رابطه(۱-۴).....۱۶
رابطه(۱-۵).....۲۰
رابطه(۱-۶).....۲۰
رابطه(۳-۱).....۶۳
رابطه(۳-۲).....۶۳
رابطه(۳-۳).....۶۴
رابطه(۳-۴).....۶۵
رابطه(۳-۵).....۶۵
رابطه(۳-۶).....۶۵
رابطه(۳-۷).....۶۵
رابطه(۳-۸).....۷۰

فهرست علائم و اختصارات

P : فشار..... ۱۵،۱۶،۲۰،۶۳،۷۳،۷۴،۷۶،۷۸

V : سرعت جریان..... ۱۵،۱۶،۲۰،۶۳،۶۴،۶۵،۷۳،۷۴،۷۷،۷۸

Z : ارتفاع سطح آزاد مخزن نسبت به زمین..... ۱۵،۶۳،۷۳،۷۸

g : جاذبه ثقل..... ۶۲،۶۳،۶۴،۶۵،۷۳،۷۴،۷۸،۱۵،۶۱

ρ : جرم مخصوص..... ۱۵،۱۶،۲۰،۷۶،۷۸

Cp : فاکتور فشار..... ۱۵،۱۶

E : انرژی..... ۱۵

σ : عدد کاویتاسیون..... ۱۵،۲۰

Δh : افت هیدرودینامیکی..... ۲۰

H : هد کل..... ۲۰،۶۲

EPFL : تونل کاویتاسیون کشور سوئد..... ۴۶

K 15 B : تونل کاویتاسیون کشور بلغارستان..... ۴۷،۴۸،۴۹

CTO : تونل کاویتاسیون کشور لهستان..... ۵۰،۵۱

NRC : تونل کاویتاسیون کشور کانادا..... ۵۲

SSPA : تونل کاویتاسیون کشور سوئیس..... ۵۳،۵۴

NSTL : تونل کاویتاسیون کشور هند..... ۵۵

Q : دبی..... ۶۲،۷۶،۷۷

h_f : افت هد در داخل لوله..... ۶۳،۶۴،۷۳،۷۴،۷۵،۷۶

f : ضریب اصطکاک دارسی..... ۶۴،۶۵،۷۸

L : طول لوله..... ۶۴،۷۸

D : قطر لوله..... ۶۴،۶۵،۷۰،۷۸

ε : طول زبری..... ۶۴

h_k : افت هد در داخل لوله..... ۶۳،۶۵،۷۴،۷۵

k : ضریب اصطکاک اتصالات مختلف..... ۶۵،۶۶،۶۷،۶۸،۶۹،۷۰،۷۸

ΔV : تغییرات حجم..... ۷۷

t : زمان..... ۷۷

ɣ : وزن مخصوص..... ۶۳،۷۳،۷۶،۷۸

h_p : هد پمپ..... ۷۸

h : ارتفاع ..... ۷۲،۷۳

r : شعاع انحنا..... ۷۲

چکیده

در این پروژه به بررسی کاویتاسیون می پردازیم. در فصل اول به تعریف و چگونگی شکل گیری و انواع این فرایند و اهمیت و آثاری که کاویتاسیون ایجاد می کند پرداخته و معیاری برای سنجش آن به نام عدد کاویتاسیون بیان می کنیم. در ادامه به چگونگی تشخیص این فرایند و روش هایی برای کاهش خسارات ناشی از آن می پردازیم. هم چنین به بیان کاربردهای پدیده کاویتاسیون در صنعت نیز پرداخته و در فصل دوم چندین تونل کاویتاسیون که در کشور های مختلف ساخته شده و در آن آزمایشات مختلف صورت می گیرد را بررسی می کنیم.

اما به دلیل گران بودن ساخت این تونل ها، در فصل سوم یک مدل ساده پیشنهاد شده است که بتوان در اولویت اول پدیده کاویتاسیون را در آن مشاهده نموده و سپس مدلی را برای آزمایش در آن بررسی کرد.

در فصل چهارم صحت طرح و اطمینان از به وقوع پیوستن پدیده کاویتاسیون را توسط محاسبات عددی بررسی نموده ایم.

در فصل پنجم نیز یک آزمایش ساده توسط تونل کاویتاسیون آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب انجام شده است.

مقدمه

کاویتاسیون پدیده ای است که در سرعت های بالا باعث خرابی و ایجاد گودال در سطح می گردد. گاهی در یک سیستم هیدرولیکی به علت بالا رفتن سرعت، فشار منطقه ای پایین می آید و ممکن است این فشار به حدی پایین بیاید که برابر فشار بخار سیال در آن شرایط باشد و یا در طول مسیر در اثر وجود ناصافی ها و یا ناهمواری های خطوط جریان از بستر خود جدا شده و بر اثر این جداشدگی فشار موضعی در منطقه جداشدگی کاهش یافته و ممکن است که به فشار بخار سیال (فشار بخار فشاری است که در آن مایع شروع به جوشیدن کرده و با بخار خود به حالت تعادل می رسد) برسد. در این صورت بر اثر این دو عامل بلافاصله مایعی که در آن قسمت از سیال در جریان است به حالت جوشش درآمده و سیال به بخار تبدیل شده و حباب هایی از بخار به وجود می آید. این حباب ها پس از طی مسیر کوتاهی به منطقه ای با فشار بیشتر رسیده و منفجر می شود و تولید سر و صدا می کند و امواج ضربه ای ایجاد می کند و به مرز بین سیال و سازه ضربه زده و پس از مدت کوتاهی روی مرز جامد ایجاد فرسایش و خوردگی می کند.

از مهم ترین پیامد های کاویتاسیون در زمینه هیدرودینامیک است که به خصوص اخیراً مورد توجه بسیار قرار گرفته است. تحقیقات وسیعی در حوزه عملی و نظری در خصوص کاویتاسیون و اثرات آن (مخرب یا سودمند) در توربوماشین ها و به ویژه در کاربردهای دریایی انجام شده است. یکی از کاربردهای کاویتاسیون که عموماً در حالت ایجاد سوپرکاویتاسیون حول اجسام رخ می دهد، در زمینه کاهش نیروی درگ وارده به اجسام است. امروزه این زمینه تحقیقاتی که در کاهش سوخت، افزایش سرعت متحرک و پاکیزگی محیط زیست موثر است، رو به گسترش می باشد.

تا حدود سه دهه پیش کاویتاسیون به عنوان پدیده ای مخرب شناخته شده بود و تمام تلاش ها بر این بود که از به وجود آمدن آن جلوگیری شود. اما ناگهان نگاه ها به این پدیده عوض شد و از این پدیده برای کاهش درگ هیدرودینامیکی وارد بر اجسام متحرک در داخل آب استفاده شد. امروزه توانایی رسیدن به سرعت $100m/s$ در زیر آب با استفاده از این روش وجود دارد.

فصل اول

کاویتاسیون

۱-۱) تاریخچه

نیوتن اولین فردی بود که به صورت تصادفی در سال ۱۷۵٤ در حین آزمایش عدسی های محدب به پدیده کاویتاسیون و تشکیل حباب در مایعات برخورد کرد ولی نتوانست علت آن را شناسایی کند. او مشاهدات خود را چنین بیان کرده است:

«در مایع بین عدسی ها، حباب هایی به شکل هوا به وجود آمده و رنگ هایی شبیه به هم تولید کرده که این حباب ها نمی‌توانند از جنس هوا باشد زیرا مایع قبلاً هوا زدایی شده است.»

نیوتن تشخیص داد که این عمل نتیجه بیرون آمدن هوا در اثر کاهش فشار است و حباب ها دوباره نمی‌توانند در مایع حل شوند و در نتیجه پدیده کاویتاسیون را باعث خواهند شد.

مهندسان کشتی‌سازی در قرن نوزدهم به موضوع عجیبی برخورد کردند که پیچ های توربین ها که با آب دریا در تماس بودند بعد از مدتی باز می‌شدند. آن ها نتوانستند هیچ دلیل قانع کننده‌ای برای این عمل پیدا کنند.

رینولدز در سال ۱۸۷۵ این مشکل را حل کرد. او یک سری آزمایشات کلاسیک روی یک مدل به طول ۳۰ اینچ که دارای پیچ هایی به طول ۲ اینچ با فنر قابل تنظیم بود انجام داد. او دریافت که وقتی طول پیچ ها زیاد شود عمل باز شدن رخ نمی‌دهد. بنابراین اظهار داشت که هوای وارده به پشت تیغه پره باعث کاهش قدرت پروانه می‌شود. خودش یک مدل معروف را که شاهکاری در صنعت کشتی‌سازی است طراحی کرد که سرعت آن برابر ۲۷ گره بود.

اولین مشاهدات مکتوبی که در توربین های بخار ثبت شده توسط پارسون[1] است و در گزارشاتش چنین آورده است:

«لرزش پروانه بیشتر و راندمان آن کمتر از حدی است که محاسبات نشان می‌دهد. از بررسی روی سطوح تیغه‌ها معلوم شد که حباب هایی در پشت تیغه توربین آب را

1:Parson