





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی مکانیک

برآورد تأثیر تخریبی پدیده کاویتاسیون به شیوه عددی

دانشجو:

سعید عشقی

استاد راهنما:

دکتر علی سررشته‌داری

استاد مشاور:

دکتر مجتبی قطعی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیرماه ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مکانیک

گروه : تبدیل انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سعید عشقی

تحت عنوان:

بر آورد تأثیر تخریبی پدیده کاویتاسیون به شیوه عددی

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر مجتبی قطعی		نام و نام خانوادگی : دکتر علی سررشته‌داری
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر محمود نوروزی
	دکتر محمد محسن شاهمردان		نام و نام خانوادگی : دکتر محمود چهارطاقی
		نام و نام خانوادگی :	
		نام و نام خانوادگی :	

تقدیم بہ

پدر مہربان

و

مادر دلسوزم

تشکر و قدردانی

ضمن سپاس خداوند، که هر آن چه داریم از فضل بیکران اوست و هر آن چه که نداریم از حکمت بی‌پایان اوست. در ابتدا لازم می‌دانم از تمامی اساتیدی که در این مدت افتخار شاگردی ایشان را داشتیم، به ویژه آقای دکتر علی سررشته‌داری استاد راهنمای پایان‌نامه‌ام که با راهنمایی‌های مدبرانه خود، نظارت و سرپرستی این پایان‌نامه را به عهده داشتند، نیز از آقای دکتر مجتبی قطعی استاد مشاور پایان‌نامه، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین باید مراتب قدردانی خود را از آقای مهندس وحید نجفی از فارغ‌التحصیلان مقطع کارشناسی ارشد که بدون هیچ چشم‌داشتی، برادرانه در صدد یاری اینجانب در حل مشکلات مواجهه در این پایان‌نامه داشته‌اند، بیان کنم.

همچنین از زحمات و راهنمایی‌های دلسوزانه برادر عزیزم آقای مهندس وحید عشقی، برادران دو قلویم آقایان، مهندس نوید و فرید عشقی که همیشه بعنوان راهنما، مشوق و پشتیبان علمی بنده در دوران تحصیلی‌ام بوده‌اند، تشکر می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب سعید عشقی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک- گرایش تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان " برآورد تأثیر تخریبی پدیده کاویتاسیون به شیوه عددی " تحت راهنمایی دکتر علی سررشته‌داری متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده‌است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده‌است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده‌است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده‌است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

پدیده تشکیل کاویتاسیون و اثرات ناشی از آن در بسیاری از جریان‌ها دارای اهمیت ویژه ای است. لیکن هزینه بسیار بالای کارهای آزمایشگاهی از یک طرف و زمان‌بر بودن مشاهده آثار این پدیده از طرف دیگر، موجب افزایش روزافزون برتری حل عددی در این حوزه شده است.

هدف این پایان‌نامه مطالعه و بررسی برآورد تأثیر تخریبی پدیده کاویتاسیون به شیوه عددی می‌باشد بمنظور برآورد تأثیر تخریبی پدیده کاویتاسیون به محاسبه کمیتی به نام نرخ خوردگی کاویتاسیون^۱ پرداخته شده است. در این تحقیق پس از تعریف پدیده کاویتاسیون، معادلات اساسی حاکم برای تحلیل این پدیده آورده شده است و در ادامه مدل موجود که برای حل تحلیلی و عددی این پدیده مورد استفاده قرار می‌گیرد، معرفی شده است. با در نظر گرفتن دو حالت سرعت ثابت و حالت اصل انتقال نرخ خوردگی و نیز حالت سوم که سرعت متغیر نام دارد و در واقع بعنوان یک هدف برای توسعه کد استفاده شده است به محاسبه نرخ خوردگی پرداخته شده است. وارد کردن کدهای عددی با استفاده از زبان برنامه نویسی C++ تحت لینوکس بوده که از آن نسبت به تهیه حلگرهای عددی که توانایی شبیه‌سازی و محاسبه کمیت نرخ خوردگی مورد استفاده در تحقیق را دارد اقدام شده است و در ادامه برای اجرای کدهای عددی از نرم‌افزار آپن‌فوم^۲ استفاده گردیده است.

هندسه مورد استفاده یک نازل است که متناسب با نتایج آزمایشگاهی موجود انتخاب شده است. به‌منظور محاسبه کمیت نرخ خوردگی کاویتاسیون در حالات بیان شده از جنس‌های استیل و آلومینیوم در فشارهای مختلف استفاده شده است. در حالات سرعت ثابت و اصل انتقال نرخ خوردگی، نرخ خوردگی حاصل از نتایج عددی و به کمک روابط بیان شده در فصل سوم، بدست آمده و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی موجود، بررسی و مقایسه شده است. نیز در پایان بمنظور توسعه کد عددی و با هدف توسعه مدل خوردگی، نتایج نرخ خوردگی در حالت سرعت متغیر بدست آمده و نتایج حاصل از حل عددی با

¹ Pitting rate

² Openfoam

نتایج آزمایشگاهی موجود برای حالت سرعت ثابت مقایسه شده است. در پایان روش اصل انتقال نرخ خوردگی برای ادامه تحقیقات توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی:

کاویتاسیون، نرخ خوردگی کاویتاسیون، اصل انتقال خوردگی کاویتاسیون.

فهرست مطالب

فصل ۱. معرفی پدیده کاویتاسیون	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- نحوه شکل‌گیری پدیده کاویتاسیون	۴
۱-۳- عدد کاویتاسیون	۷
۱-۴- فشار داخل حفره کاویتاسیون	۹
۱-۵- چرخه تشکیل ابر کاویتاسیون ثابت و جت بازگشتی	۹
۱-۶- انواع کاویتاسیون	۱۲
۱-۶-۱- کاویتاسیون متحرک یا حبایی	۱۲
۱-۶-۲- کاویتاسیون صفحه‌ای	۱۳
۱-۶-۳- کاویتاسیون ابری	۱۴
۱-۶-۴- سوپر کاویتاسیون	۱۵
۱-۶-۵- کاویتاسیون گردابه‌ای	۱۵
۱-۷- کمیت‌های موثر در مدل‌سازی تغییر فاز در کاویتاسیون	۱۶
۱-۷-۱- خصوصیات جریان‌های کاویتاسیون	۱۷
۱-۷-۲- عوامل موثر بر پدیده کاویتاسیون	۲۲
۱-۸- خوردگی کاویتاسیون	۲۶
۱-۹- روش‌های کاهش کاویتاسیون در صنعت	۲۸
۱-۱۰- روش‌های بررسی کاویتاسیون	۲۹
۱-۱۰-۱- تحقیقات آزمایشگاهی و تجربی	۳۰
۱-۱۰-۲- روش‌های تحلیلی	۳۶
۱-۱۰-۳- شبیه‌سازی عددی	۳۸
فصل ۲. بررسی معادلات اساسی حاکم بر پدیده کاویتاسیون	۴۱

- ۴۲-۱-۲- معادلات حاکم.....
- ۴۳-۲-۲- معرفی جریان‌های کائیتاسیون از دیدگاه مدل‌سازی عددی.....
- ۴۴-۳-۲- مدل انتقال کسر حجمی.....
- ۴۶-۴-۲- مدل ردیابی مرز مشترک.....
- ۴۷-۵-۲- مدل ریاضی کائیتاسیون بر اساس رویکرد حجمی مدل‌سازی.....
- ۴۸-۶-۲- تأثیر آشفتگی در پدیده ابرکائیتاسیون.....
- ۴۹-۷-۲- مدل‌های آشفتگی کلاسیک.....
- ۵۰-۱-۷-۲- مدل $K - \epsilon$
- ۵۰- فصل ۳. شبیه‌سازی عددی کائیتاسیون.....
- ۵۲-۱-۳- پیش درآمدی بر انواع مدل‌های موجود.....
- ۵۳-۱-۱-۳- مدل کانز.....
- ۵۴-۲-۳- معرفی نرخ خوردگی.....
- ۵۴-۱-۲-۳- معرفی رابطه کمیت نرخ خوردگی مقاله تجربی.....
- ۵۴-۳-۳- نحوه مدل‌سازی خوردگی در مقاله تجربی.....
- ۵۷-۴-۳- نحوه مدل‌سازی خوردگی در تحقیق.....
- ۵۷-۱-۴-۳- معرفی رابطه کمیت نرخ خوردگی تحقیق.....
- ۵۸-۲-۴-۳- شرح فیزیکی کمیت‌های δ^* و τ^*
- ۵۸-۵-۳- شرح فیزیکی کمیت‌های δ و τ
- ۵۸-۱-۵-۳- بدست آوردن رابطه بین فشار و سرعت سیال.....
- ۵۹-۲-۵-۳- محاسبه کمیت‌های δ و τ برای استیل و آلومینیوم.....
- ۶۰-۶-۳- بدست آوردن رابطه نرخ خوردگی برای استیل و آلومینیوم.....
- ۶۱-۷-۳- اصل انتقال نرخ خوردگی برای استیل و آلومینیوم.....
- ۶۲-۸-۳- بدست آوردن رابطه نرخ خوردگی استیل و آلومینیوم در حالت سرعت متغیر.....

- ۳-۸-۱- محاسبه کمیت‌های δ و τ استیل و آلومینیوم در حالت سرعت متغیر..... ۶۳
- ۳-۹- تشریح چگونگی بدست آوردن نرخ خوردگی حاصل از حل عددی..... ۶۴
- فصل ۴. کد عددی و نتایج شبیه‌سازی عددی..... ۶۵
- ۴-۱- ویژگی‌های حل عددی..... ۶۶
- ۴-۲- مدل‌سازی نرخ خوردگی کاپیتاسیون..... ۶۶
- ۴-۳- جریان همراه با پدیده کاپیتاسیون در نازل..... ۶۶
- ۴-۳-۱- شرایط مرزی..... ۶۷
- ۴-۳-۲- مدل کانز..... ۷۲
- ۴-۴- نرخ خوردگی برای استیل در حالت سرعت ثابت..... ۷۲
- ۴-۴-۱- نتایج عددی نرخ خوردگی برای استیل در فشار ۱۰ بار..... ۷۲
- ۴-۴-۲- نتایج عددی نرخ خوردگی برای استیل در فشار ۱۵ بار..... ۷۴
- ۴-۴-۳- نتایج عددی نرخ خوردگی برای استیل در فشار ۴۰ بار..... ۷۶
- ۴-۴-۴- نتایج عددی نرخ خوردگی برای آلومینیوم در فشار ۱۰ بار..... ۷۸
- ۴-۴-۵- نتایج عددی نرخ خوردگی برای آلومینیوم در فشار ۴۰ بار..... ۸۰
- ۴-۵- بحث روی نمودارهای نرخ خوردگی استیل و آلومینیوم در حالت سرعت ثابت..... ۸۳
- ۴-۶- نتایج عددی اصل انتقال نرخ خوردگی استیل و آلومینیوم..... ۸۴
- ۴-۶-۱- نتایج عددی اصل انتقال نرخ خوردگی استیل و آلومینیوم در فشار ۱۰ بار..... ۸۴
- ۴-۶-۲- نتایج عددی اصل انتقال نرخ خوردگی استیل و آلومینیوم در فشار ۴۰ بار..... ۸۷
- ۴-۷- نرخ خوردگی برای استیل در حالت سرعت متغیر..... ۹۰
- ۴-۷-۱- نتایج عددی نرخ خوردگی برای استیل در فشار ۱۰ بار..... ۹۰
- ۴-۷-۲- نتایج عددی نرخ خوردگی برای فلز استیل در فشار ۱۵ بار..... ۹۱
- ۴-۷-۳- نتایج عددی نرخ خوردگی برای استیل در فشار ۴۰ بار..... ۹۲
- ۴-۷-۴- نتایج عددی نرخ خوردگی برای آلومینیوم در فشار ۱۰ بار..... ۹۳

۹۴	۴-۷-۵- نتایج عددی نرخ خوردگی برای فلز آلومینیوم در فشار ۴۰ بار.....
۹۶	۴-۸- بحث روی نمودارهای نرخ خوردگی استیل و آلومینیوم در حالت سرعت متغیر.....
۹۷	۴-۹- بحث بر روی برتری روش اصل انتقال نرخ خوردگی کاویتاسیون نسبت به دیگر روش های محاسبه نرخ خوردگی کاویتاسیون.....
۹۸	فصل ۵. بحث، نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها.....
۹۹	۵-۱- بحث و نتیجه گیری.....
۱۰۲	۵-۲- پیشنهادها.....
۱۰۲	مراجع.....
۱۰۶	پیوست.....
۱۰۷	پیوست ۱.....
۱۱۰	پیوست ۲.....
۱۱۸	پیوست ۳.....
۱۲۸	پیوست ۴.....
۱۳۲	پیوست ۵.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ تغییرات فشار بخار آب بر حسب دما [۱] ۲
- شکل ۲-۱ مقایسه پدیده کاویتاسیون و جوشش در دیاگرام فازی [۷] ۵
- شکل ۳-۱ خوردگی پره های کشتی بواسطه کاویتاسیون ۷
- شکل ۴-۱ چرخه تشکیل و جدایی کاواک [۶] ۱۲
- شکل ۵-۱ کاویتاسیون متحرک یا حبابی [۱۶] ۱۳
- شکل ۶-۱ کاویتاسیون صفحه‌ای [۱۶] ۱۴
- شکل ۷-۱ کاویتاسیون ابری [۱۶] ۱۵
- شکل ۸-۱ سوپر کاویتاسیون [۱۶] ۱۵
- شکل ۹-۱ کاویتاسیون گردابه‌ای [۱۶] ۱۶
- شکل ۱۰-۱ منحنی سرعت صوت بر اساس کیفیت ترمودینامیکی [۱۷] ۲۱
- شکل ۱۱-۱ نحوه تعیین زاویه چسبندگی دیوار و موقعیت آن در شکل‌گیری فاز ثانویه [۹] ۲۵
- شکل ۱۲-۱ چگالش حباب کاویتاسیون در نزدیکی دیواره [۷] ۲۷
- شکل ۱۳-۱ خوردگی در اثر فروپاشی حباب‌های شکل گرفته در پره‌های خروجی یک توربین فرانسسیس [۱] ۲۸
- شکل ۱۴-۱ یک نمونه استخر دینامیکی (دانشگاه پنسیلوانیا) [۱] ۳۲
- شکل ۱۵-۱ تغییر شکل شماتیک نرخ از دست دادن جرم در برابر مدت زمان [۱۹] ۳۵
- شکل ۱-۳ دسته بندی مدل‌های مختلف مورد استفاده در مدل‌سازی کاویتاسیون ۵۲
- شکل ۲-۳ تأثیر سرعت سیال روی قطر حفره خوردگی [۲۸] ۵۵
- شکل ۳-۳ تأثیر سرعت سیال روی زمان پوشش [۲۸] ۵۵
- شکل ۴-۳ نرخ خوردگی تجمعی بر حسب قطر معادل حفره برای استیل [۲۸] ۵۶
- شکل ۵-۳ نرخ خوردگی تجمعی بر حسب قطر معادل حفره برای عنصر آلومینیوم [۲۸] ۵۶
- شکل ۱-۴ طرحی از ناحیه تحت آزمایش [۲۸] ۶۸
- شکل ۲-۴ شبکه‌بندی و شرایط مرزی نازل [۲۹] ۶۸
- شکل ۳-۴ بررسی استقلال از شبکه محاسباتی نازل ۶۹
- شکل ۴-۴ فرآیند ایجاد و جدایی کاواک ابری در نازل ۷۱
- شکل ۵-۴ نتایج بدست آمده از حل عددی برای استیل در فشار ۱۰ بار در حالت سرعت ثابت

- ۷۳ آنها با نتایج آزمایشگاهی
 شکل ۴-۶ نتایج بدست آمده از حل عددی برای استیل در فشار ۱۵ بار در حالت سرعت ثابت
 و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی ۷۵
 شکل ۴-۷ نتایج بدست آمده از حل عددی برای استیل در فشار ۴۰ بار در حالت سرعت ثابت
 و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی ۷۷
 شکل ۴-۸ نتایج بدست آمده از حل عددی برای آلومینیوم در فشار ۱۰ بار در حالت سرعت ثابت
 و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی ۷۹
 شکل ۴-۹ نتایج بدست آمده از حل عددی برای آلومینیوم در فشار ۴۰ بار در حالت سرعت ثابت
 و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی ۸۲
 شکل ۴-۱۰ نتایج حل عددی برای استیل و آلومینیوم در حالت سرعت ثابت و مقایسه آنها با نتایج
 تجربی ۸۲
 شکل ۴-۱۱ نتایج اصل انتقال خوردگی استیل و آلومینیوم در فشار ۱۰ بار و مقایسه آنها با نتایج
 آزمایشگاهی ۸۲
 شکل ۴-۱۲ نتایج اصل انتقال خوردگی استیل و آلومینیوم در فشار ۴۰ بار و مقایسه آنها با نتایج
 آزمایشگاهی ۸۲
 شکل ۴-۱۳ نتایج بدست آمده از حل عددی برای استیل در فشار ۱۰ بار در حالت سرعت متغیر
 و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی ۹۰
 شکل ۴-۱۴ نتایج بدست آمده از حل عددی برای استیل در فشار ۱۵ بار در حالت سرعت متغیر
 و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی ۹۱
 شکل ۴-۱۵ نتایج بدست آمده از حل عددی برای استیل در فشار ۴۰ بار در حالت سرعت متغیر
 و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی ۹۲
 شکل ۴-۱۶ نتایج بدست آمده از حل عددی برای آلومینیوم در فشار ۱۰ بار در حالت سرعت متغیر
 و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی ۹۴
 شکل ۴-۱۷ نتایج بدست آمده از حل عددی برای آلومینیوم در فشار ۴۰ بار در حالت سرعت متغیر
 و مقایسه آنها با نتایج آزمایشگاهی ۹۵
 شکل ۴-۱۸ نتایج حل عددی استیل و آلومینیوم در حالت سرعت متغیر و مقایسه آنها با نتایج تجربی
 ۹۴

نمادها

C_{dset}	ضریب عددی ثابت در جمله تبخیر مدل کانز
C_{prod}	ضریب عددی ثابت در جمله چگالش مدل کانز
V	سرعت سیال
U_{tot}	سرعت کل
D	قطر معادل خوردگی
δ	قطر حفره خوردگی
τ	زمان پوشش
N_p	نرخ خوردگی
\dot{m}	نرخ اتلاف جرم
T_i	دوره پایدار
SS	فلزاستیل
AL	فلز آلومینیوم
f	کسر جرمی مایع
t_{∞} (s)	زمان مشخصه جریان آزاد
U_{∞}	سرعت جریان آزاد
y (m)	محور مختصات عمودی

نمادهای یونانی

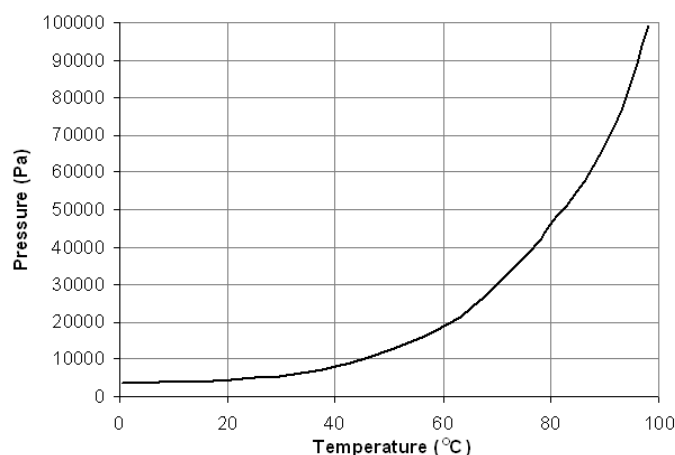
α	کسر حجمی بین ۰ و ۱
ρ_l	چگالی مایع

ρ_v	چگالی بخار
σ	عدد کاونتاسیون
μ_t	لزجت مربوط به جریان مغشوش
μ	لزجت دینامیکی سیال
γ	کشش سطحی
	زیرنویس ها و بالا نویس ها
l	فاز مایع
v	فاز بخار

فصل ۱. معرفی پدیده کاویتاسیون

۱-۱- مقدمه

هنگامی که یک جسم در داخل آب حرکت می کند محیط آب پیرامون خود را تحت تأثیر قرار می دهد. این تأثیرات در قالب گرادیان های فشار و سرعت قابل درک است. هنگامی که فشار استاتیک موضعی آب در یک ناحیه کاهش پیدا کند بطوریکه فشار آب کمتر از فشار اشباع در دمای متناظر گردد (در حالت ایده آل) ذرات آب مایع تبدیل به حباب های بخار می شوند این پدیده را کاویتاسیون می نامند. کاویتاسیون را همچنین می توان به عنوان تسلیم^۱ سیال مایع تحت فشارهای بسیار کوچک تعریف نمود. می توان مکانیزم تبخیر در کاویتاسیون را به این نحو بیان کرد که با کاهش فشار سیال به مقداری پایین تر از فشار بخار اشباع (به عنوان مثال ۲/۷۶۳ Kpa در دمای $25^{\circ}C$) یک تنش کششی حاصل از برهم خوردن تعادل نیروهای بین مولکولی، بر اجزای سیال اعمال می شود. این تنش کششی، باعث ناپیوستگی و تغییر چگالی می شود. این ناپیوستگی نیز در سیال، بصورت حباب های ریز و حباب های درشت که توسط بخار پر شده اند ظاهر می شود. از طرفی، فشار بخار اشباع، تابعی از نوع سیال و دمای آن می باشد، در شکل ۱-۱ تغییرات فشار بخار آب بر حسب دما نشان داده شده است. با توجه به روابط ترمودینامیکی، وابستگی شدیدی بین فشار بخار و دما ملاحظه می شود.



شکل ۱-۱ تغییرات فشار بخار آب بر حسب دما [۱]

^۱ Yield

اولین بار فرود^۱ این اثر را بررسی کرد و نام کاویتاسیون را که از کلمه یونانی کاویته^۲ گرفته شده بود بر آن گذارد [۲]. پدیده کاویتاسیون را عموماً می‌توان در جریان آب اطراف پره‌های چرخان، باله‌ها و گلوگاه یک نازل همگرا مشاهده نمود. کاویتاسیون همچنین در جریان‌های ساکن یا شبه ساکن نیز اتفاق می‌افتد. هنگامی که میدان فشار نوسانی به سطح آزاد یک مخزن اعمال می‌شود اگر دامنه نوسانات این میدان فشار به قدر کافی بزرگ باشد، حباب‌های کاویتاسیون در مخزن شکل می‌گیرد. این نوع کاویتاسیون را کاویتاسیون آکوستیکی^۳ می‌نامند [۳].

در ادامه در فصل اول مفصل به معرفی پدیده کاویتاسیون، نحوه شکل‌گیری و آثار ناشی از وقوع آن پرداخته شده است. در ادامه این فصل انواع پنجگانه کاویتاسیون، خوردگی کاویتاسیون و روش‌های بررسی کاویتاسیون معرفی شده است. در انتها مروری اجمالی به کارهای انجام شده در زمینه خوردگی کاویتاسیون و لزوم انجام تحقیقاتی از این دست برای بیان نقاط ضعف و قوت هر یک از روش‌ها و بیان راهکارهایی برای تقویت نقاط قوت و بهبود نقاط ضعف هر یک بیان شده است.

در فصل دوم، معادلات اساسی جریان لزج، همچنین چگونگی بررسی جریان‌های چندفازی معرفی شده‌اند.

در فصل سوم هم شبیه‌سازی عددی کاویتاسیون به همراه معرفی مدل‌های ارائه شده برای مطالعه پدیده خوردگی آورده شده است.

در فصل چهارم در ابتدا به طور اجمالی به معرفی کدهای عددی تهیه شده، جهت محاسبه نرخ خوردگی و همچنین به بیان شرایط مرزی هندسه مورد نظر پرداخته شده و سپس نتایج بدست آمده از حل‌های عددی به همراه داده‌های آزمایشگاهی موجود برای هندسه مورد نظر بیان شده‌اند.

¹ Froude

² Cavity

³ Acoustic Cavitation

در فصل پنجم، ابتدا به بحث و نتیجه‌گیری در مورد نتایج بدست آمده که در فصل قبل آورده شده، پرداخته شده و سپس تحلیل و بررسی روی آنها انجام پذیرفته است. نیز در انتها با ارائه پیشنهادهایی برای ادامه کارهای آتی فصل به اتمام می‌رسد.

۱-۲- نحوه شکل‌گیری پدیده کاویتاسیون

همان‌طور که از تعریف کاویتاسیون هم بر می‌آید، در ماشین‌های آبی در اثر سرعت زیاد جریان و رسیدن مایع به فشارهای کمتر از فشار بخار به وجود می‌آید. همان‌گونه که می‌دانیم، یک سیستم هیدرودینامیکی شامل مایع و گاز تراکم‌ناپذیر، بایستی دارای نسبت جرمی تعادلی در دمای مفروض، متناسب با فشار جزئی گاز تراکم‌ناپذیر باشد. در نتیجه اگر فشار کل مخلوط در دما و نسبت جرمی داده شده، کمتر از مقدار تعادلی باشد، فاز گازی حل شده از مایع خارج می‌شود و بدین صورت یک کابیتی از فاز گازی به وجود می‌آید. با فرض اینکه سیال مورد بررسی همگن باشد، به آن فشار تعادلی که در آن فاز گازی پدیدار می‌شود، نقطه حباب گفته می‌شود. اگر فشار محیط کمتر از فشار نقطه حباب شود، کاویتاسیون گازی رخ می‌دهد. اگر فشار کمتر از فشار بخار سیال خالص شود، هر دو جزء گاز و بخار سیال در ناحیه کابیتی دیده می‌شوند [۴،۵].

در جدول (۱-۱) خواص آب در دمای ۳۰۰ کلوین و فشار یک اتمسفر آورده شده است.

جدول (۱-۱) خواص آب در شرایط استاندارد [۶]

مشخصات		در شرایط استاندارد (۳۰۰ کلوین)
فشار بخار (کیلوپاسکال)	p_v	۳/۵۳۱
چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)	ρ_L	۹۹۷
	ρ_v	۰/۰۲۵۶
لزجت (نیوتون ثانیه بر متر مربع)	μ_L	۰/۰۰۰۸۵۵
	μ_v	۰/۰۰۰۰۰۹۰۹
کشش سطحی (نیوتون بر متر)	σ	۰/۰۷۱۷
آنتالپی (کیلو ژول بر کیلوگرم)	h_L	۱۱۱/۷
	h_v	۲۵۵۰/۱