

بنام خدا

فرانس، ژان - پیر	سرشناسه
Franc, Jean-Pierre	عنوان و نام پدیدآور
مبانی کاویتاسیون / تالیف جین پیر فرانک، جین ماریه میشل؛ ترجمه موسی فرهادی، ابراهیم علیزاده، حمیدرضا ابراهیمی کبریا.	مشخصات نشر
ساری: آویدا، ۱۳۹۲.	مشخصات ظاهری
۴۰۸ ص: مضموره، جدول، نمودار.	شابک
5-28-7002-600-978	وضعیت فهرست نویسی
قیما	یادداشت
Fundamentals of cavitation, c2004	یادداشت
عنوان اصلی:	یادداشت
چاپ قبلی: کانون پژوهش، ۱۳۹۱.	یادداشت
کتابنامه.	موضوع
حفره زایی	شناسه افزوده
میشل، ژان ماری، ۱۹۲۷ - م.	شناسه افزوده
Jean-Marie, Michel	شناسه افزوده
فرهادی، موسی، مترجم	شناسه افزوده
علیزاده، ابراهیم، ۱۳۵۲ - م، مترجم	شناسه افزوده
ابراهیمی کبریا، حمیدرضا، مترجم	رده بندی کنگره
TA 357/51 ج 4 ف 7 ح 1392	رده بندی دیویی
620/1064	شماره کتابشناسی ملی
۳۴۱۱۲۴۰	

مبانی کاویتاسیون	عنوان
موسی فرهادی، ابراهیم علیزاده، حمیدرضا ابراهیمی کبریا	ترجمه
انتشارات دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل	ناشر
1392 (چاپ اول)	تاریخ انتشار
بایلسر	محل انتشار
408	تعداد صفحات
2000 نسخه	تیراژ
110000 ریال	قیمت
مؤسسه چاپ، نیما	چاپ و صحافی
«کلیه حقوق برای دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل محفوظ است.»	

پیشگفتار مترجمین

حمد و سپاس خداوند دانا و بلند مرتبه را که به مترجمان این توفیق را عطا نمود تا کاری هرچند کوچک در راستای خدمت رسانی به جامعه علمی و دانشگاهی کشور بردارند. کتاب حاضر ترجمه کتاب Fundamentals of Cavitation، تألیف جین پیر فرانک و جین ماریه میشل است که در سال ۲۰۰۴ توسط موسسه انتشاراتی Kluwer Academic Publishers به چاپ رسیده است. نگاه ساده به تئوری کاویتاسیون، روانی مطالب، به روز بودن و کامل بودن اطلاعات مربوط به پدیده کاویتاسیون از جمله مواردی است که موجب انتخاب این کتاب برای ترجمه گردید. مطالب این کتاب برای دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، مهندسی عمران، مهندسی کشتی سازی و دیگر علاقه مندان مفید بوده و از سویی دیگر می تواند به عنوان یک مرجع مناسب برای محققان و پژوهشگران در این زمینه نیز مورد استفاده قرار گیرد. وجود منابع و اطلاعات بسیار مفید آزمایشگاهی، روابط تئوری مناسب برای بیان فیزیک کاویتاسیون موجب شده تا کتاب حاضر یکی از معتبرترین کتب در زمینه کاویتاسیون باشد.

جهت تهیه متن مناسب برای محققین محترم و دانشجویان عزیز، مترجمین ضمن تلاش در رعایت امانت، ترجمه محتوایی را مد نظر قرار داده و از ترجمه لغت به لغت اجتناب نموده اند. با توجه به چاپ نخستین ویرایش این کتاب و علی رغم تلاش مترجمین، امکان وجود اشکالاتی در متن کتاب می باشد که ضمن پوزش از تمامی خوانندگان محترم، مجدانه درخواست میگردد تا نظرات اصلاحی خویش را به اطلاع مترجمان رسانده تا انشاء الله در چاپ های بعدی اصلاح گردد.

شایسته است که از تمامی عزیزانی که ما را در تهیه این کتاب یاری نمودند سپاسگزاری نماییم. مترجمین از خانواده های خود که در تمامی مراحل مشوق و پشتیبانشان در انجام این کار بوده اند صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و این اثر هرچند ناچیز را به تمامی شهدای سنگر علم و دانش و بالخصوص شهدای والامقام هسته ای و امام بزرگوار راحل تقدیم می نمایند.

موسی فرهادی، ابراهیم عزیزاده و حمیدرضا ابراهیمی کبریا

پیشگفتار

این کتاب رفتار کاویتاسیون را که یک پدیده منحصر به فرد در زمینه علم هیدرودینامیک می باشد مورد بررسی قرار داده، هرچند می توان آن را در هر ماشین آلات هیدرولیکی مانند پمپ ها، ملخ هواپیما، قلب مصنوعی، و غیره مشاهده نمود. کاویتاسیون نه تنها در آب، بلکه در هر نوع مایع، مانند هیدروژن مایع نیز می تواند ایجاد شود. تولید کاویتاسیون می تواند باعث آسیب شدید در ماشین آلات هیدرولیک گردد. بنابراین، پیشگیری از کاویتاسیون از نگرانی های مهم برای طراحان ماشین آلات و تجهیزات هیدرولیکی است. برعکس، پتانسیل بسیار زیادی برای استفاده از کاویتاسیون در برنامه های کاربردی مهم مختلف مانند حفاظت از محیط زیست وجود دارد.

کتابهای متعددی در زمینه کاویتاسیون منتشر شده که از جمله می توان به یکی از کتابها که توسط همین نویسندگان نوشته شده اشاره نمود. این کتاب در مقایسه با کتاب قبلی متفاوت بوده و دارای مفاهیم بیشتر فیزیکی و نظری است. بیان تئوری از پدیده کاویتاسیون نسبتاً دشوار است، اما نویسنده در توضیح آن بسیار موفق بوده و خواننده می تواند معادلات را به راحتی دنبال کند. این یکی از مزایای کتاب بوده که درک مناسبی از فیزیک کاویتاسیون به خواننده می دهد. از این رو، یک کتاب مقدماتی نبوده و مناسب برای مطالعات پیشرفته است.

با این حال، این بدان معنا نیست که این کتاب برای یک مبتدی بیش از حد دشوار است، زیرا پدیده کاویتاسیون را با استفاده از اشکال مختلف توضیح می دهد. بنابراین، حتی یک مبتدی در مطالعه پدیده کاویتاسیون می تواند آن را بخواند و درک نماید که کاویتاسیون چیست. دانشجویان با مطالعه این کتاب (با تامل و دقت)، می توانند به یک متخصص در فیزیک کاویتاسیون تبدیل شوند.

در نتیجه، این کتاب مرجع بسیار جامع و آموزنده ای برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی، دانشمندان و مهندسانی که می خواهند درک درستی از ماهیت واقعی کاویتاسیون داشته باشند، می باشد.

نویسنده، دکتر ژان ماری میشل^۱ و دکتر ژان پیر فرانک^۲، استادان دانشگاه گرونوبل، هر چند دکتر میشل به تازگی بازنشسته شده است. آنها تجربه بسیاری در زمینه آموزش و مطالعه کاویتاسیون دارند. دکتر میشل و دکتر فرانک دارای مقالات بسیار مهمی در مجلات بین المللی به رسمیت شناخته شده دانشگاهی مانند مجله مکانیک سیالات می باشند، که در این کتاب به آنها اشاره شده است.

دکتر میشل و دکتر فرانک مناسب ترین افراد برای نوشتن یک کتاب در زمینه کاویتاسیون مانند این می باشند. این افتخار بزرگی برای من است که اولین تبریک گوینده به آنها برای تهیه چنین مجموعه بسیار منحصر به فرد و شگفت انگیزی باشم.

مارس ۲۰۰۳، توکیو، ژاپن

دکتر هیروهارو کاتو^۳

استاد ممتاز، دانشگاه توکیو

^۱ -Jean-Marie MICHEL

^۲ -Jean-Pierre FRANC

^۳ -Hiroharu KATO

مقدمه نویسندگان

کتاب حاضر با هدف آرایه جامع از پدیده کاویتاسیون تهیه شده است. مرکز اصلی در این کتاب بر روی کاویتاسیون هیدرودینامیک بوده که غالباً در جریان سیال رخ می دهد و بر خلاف کاویتاسیون صوتی است که با فشار یک میدان نوسانی در یک مایع تقریباً ساکن بوجود می آید. با این وجود، اصول حاکم بر حباب هیدرودینامیک و حباب آکوستیک دارای اساس یکسانی است.

به طور خلاصه کاویتاسیون، وقوع حفره های بخار در داخل یک مایع است. این مطلب به خوبی شناخته شده است که در شرایط سکون، تغییر مایع به بخار زمانی رخ می دهد که فشار سیال از فشار بخار آن کمتر گردد. در جریان مایع، این تغییر فاز به طور کلی در نواحی دارای سرعت بالا و طبیعتاً دارای فشارهای پایین بوجود می آید. محیط مایع به یک یا چند نقطه تقسیم شده و حفره ها در آن بوجود می آیند که شکل آنها بستگی به ساختار جریان دارد.

این کتاب انواع کاویتاسیونهایی را که در جریان مایع واقعی رخ می دهد، مورد بررسی قرار خواهد داد. این مطالب شامل حباب کاویتاسیون (حباب های کروی در ساده ترین حالت)، کاویتاسیون لایه ای، سوپر کاویتاسیون و ابرتخلیه، کاویتاسیون در جریان برشی و گردابی و برخی از الگوهای دیگر است. این مطالب آغاز و همچنین توسعه کاویتاسیون را که در هیدرولیک پیشرفته با سرعت بالا بوجود می آید پوشش می دهد.

مطالب مطرح شده در این کتاب برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی، محققین و مهندسی که با مشکلات کاویتاسیون مواجه می گردند، به ویژه در زمینه های ماشین آلات هیدرولیک صنعتی و نیروی محرکه دریایی مفید می باشد. تلاش ویژه ای برای توضیح فیزیک کاویتاسیون در ارتباط با پدیده های مختلف از قبیل کشش سطحی، گرما و انتقال جرم، ویسکوزیته و لایه مرزی، تراکم، محتوای هسته، تلاطم، و غیره صورت گرفته است. علاوه بر مبنای فیزیکی پدیده های مختلف، روش های مختلف تحقیقاتی تجربی و یا محاسباتی آرایه شده و مورد بحث قرار گرفته، به طوری که خواننده می تواند مشکلات اصلی در این راستا را مرتفع نماید.

کتاب حاصل نتایج مطالعات صورت گرفته در حدود ۴۰ سال از تحقیقات دانشگاه گرونوبل در زمینه های مختلف علوم کاویتاسیون می باشد که با حمایت مالی شرکت ها و نهادهای مختلف، به ویژه نیروی دریایی فرانسه صورت گرفته است. در ابتدا، دو عامل مهم و تاثیر گذار اصلی که موجب تشکیل گروه پژوهشی کاویتاسیون شده توسط پروفیسور جی دادو^۱ شده، عبارتند از: تجربه های هیدرولیک قوی از شرکت های خصوصی در گرونوبل و مشاوره از دانشمندان مشهور خارجی (پلس^۲، تولین^۳، پارکین^۴، اکوستا^۵ و بسیاری دیگر) که توسط کار هنرمندانه پروفیسور جی به اجرا در آورده شدند. بسیاری از کسانی که سالها روابط اولیه علمی و صنعتی آنها، فعال باقی مانده است. در اینجا ما به خصوص مایل به اذعان سهم بسیار موثر آقای لکفره^۶، چه در طراحی سکوهایی تجربی و یا شروع برنامه های تحقیقاتی جدید می باشیم. ما همچنین باید نام پروفیسور روه^۷ را به یاد داشته باشیم، کسی که بینش بالا در هیدرودینامیک و کار پیشگام او در مدل سازی عددی جریان کاویتاسیون، هنوز هم در ذهن ما باقی مانده است.

این کتاب از فصل های نسبتاً کوتاه، هر یک مطابق با یک یا دو درس تهیه شده است. این نتیجه از برنامه های آموزشی داده شده در طول سالها و از جمله تعدادی از سمینارها گرفته شده است. فهرست منابع (در پایان هر فصل) تنها به مباحث اصلی محدود شده است، در حالی که مطالب بسیار فراوان اختصاص داده شده به کاویتاسیون را می توان از بررسی مقالات به دست آورد.

پس از یک فصل مقدماتی، مطالب کلاسیک در ارتباط با شکست مایع در فصل ۲ یاد آوری می گردد. نشان داده می شود که یک مایع می تواند واقعا در فشار مطلق کمتر از فشار بخار (و حتی تنش ها) بدون کاویتاسیون، پایدار باشد. این امر به ایده هسته (یعنی نقاط ضعف در زنجیره مایع) که در آن مفهوم اساسی کاویتاسیون می باشد، منجر می شود. فیزیک میکروحباب به

¹ - J. DODU

² - M.S. PLESSET

³ - M.P. TULIN

⁴ - B.R. PARKIN

⁵ - A.J. ACOSTA

⁶ - Y. LECOFFRE

⁷ - A. ROWE

عنوان هسته با جزییات با تاکید ویژه ای بر پایداری ارایه شده است. فصل ۲ با تعریف کیفیت از نمونه مایع در شرایط استفاده از حجم هسته، یک مفهوم کلیدی برای پیش بینی الگوهای کاویتاسیون در جریان واقعی مایع به پایان می رسد.

فصل ۳ تا ۵ در ارتباط با حباب جدا شده است. در فصل ۳، نتایج اولیه بر روی دینامیک حباب کروی ارایه شده و معادله معروف رایلی-پلست^۱ بدست آمده است. در سراسر این کتاب، این معادله اساسی برای روشن شدن مسایل ضروری همچون اثرات اندازه مورد استفاده قرار گرفته است. تکامل حباب در یک محیط غیر متقارن که منجر به انحراف از کرویت خواهد شد، در فصل ۴ به همراه معادله مسیر یک حباب در یک جریان مایع مطرح شده است. اثر تراکم پذیری مایع و انتشار حرارتی در فصل ۵ ارایه شده است.

فصل ۶ تا ۹ در ارتباط با کاویتاسیون لایه ای، که به نظر می رسد بر روی تیغه های پروانه، ورقه از قایق، و یا پشت اجسام متقارن مانند اژدر رخ می دهد، صحبت شده است. همچنین فصول ۶ و ۹ به مشکلات مربوط به سوپر کاویتاسیون و ابرتخلیه نیز پرداخته است. تلاش ویژه ای برای ارایه روش تحلیلی توسط همکاران ما از روسیه و اوکراین بر اساس روشی که به اصلاح "اصل گسترش مستقل حفره لوگینوویچ" نامیده می شود، در مورد حفره های متقارن محوری ساخته شده است. ما تشکر ویژه ای از پروفسور سربریکف^۲، پروفسور ساوچنکو^۳ و همکارانشان در دانشگاه کیف داریم. از طریق آنها، ما از تحقیقات بسیار مهمی که سالها در این کشورها انجام شده است، اطلاع یافتیم. به عنوان نمونه (فصل ۹) به مدل سازی نظری از تخلیه ضربانی حفره که توسط پروفسور پاریشف^۴ از دانشگاه مسکو ارایه شده، می توان اشاره نمود.

کاویتاسیون جزئی لایه ای در فصل ۷ با توجه ویژه به کاویتاسیون ابری، جت بازگشتی و به طور کلی به ناپایداریهای کاویتاسیون پرداخته شده است. زیرا به دلیل اهمیت کاربردی آنها، این موضوعات در سالهای اخیر توسط تعدادی از محققین در آزمایشگاههایی در اروپا، ژاپن و ایالات متحده آمریکا مورد مطالعه قرار گرفته است. ما همچنین تشکر ویژه ای از پروفسور تسوجیموتو^۵

¹ -RAYLEIGH-PLESSET

² -V. V. SEREBRYAKOV

³ -Y. N. SAVCHENKO

⁴ -E. V. PARISHEV

دشوار ویراستاری زبان انگلیسی را پذیرفت و صرف زمان قابل توجهی را در بهبود مطالب ما صرف نمود، بسیار سپاسگزاریم که این مسأله بسیار فراتر از مسایل مربوط به شکل خالص است. همچنین از همکارانمان در گروه پژوهشی کلویتاسیون گرونوبل (جی^۱)، مارچادیر^۲، رویندت^۳ و وردیس^۴ که ما را در به دست آوردن تعداد قابل توجهی از نتایج تجربی معتبر آرایه شده در این کتاب یاری نمودند، تشکر می نمایم.

سرذیران ما، کلوئر^۵ و علوم گرونوبل، شایسته قدردانی ویژه ای می باشند. ما به خصوص، از از پروفیسور موریو^۶، ویراستار علمی سری مکانیک سیالات و کاربردهای آن و همچنین تیم محلی علوم گرونوبل پروفیسور جین بورنارل^۷ (دانشگاه گرونوبل) که حمایت خود را از اولین سال شروع این پروژه ابراز داشته، نیکول ساوال^۸ مسئول امور اداری، سیلویه بوردیج^۹، جولی ریدارد^{۱۰} و تیری مورتوریر^{۱۱} برای مراقبت ثابت و استثنایی خود در تهیه متن کتاب، صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

در نهایت، ما دوست داریم که یک بار دیگر از همکار و دوستان هیروکاتو، کسی که فعالیتهای علمی او در بسیاری از موارد دارای همخوانی با تحقیقات ما شده و پذیرفت تا مقدمه ای برای این کتاب بنویسد.

جی. پی. فرائنک و جی. ام. میشل

نوامبر، ۲۰۰۳

¹ - J.C. JAY

² - M. MARCHADIER

³ - M. RIONDET

⁴ - J.F. VERDYS

⁵ - Kluwer

⁶ - Rene' MOREAU

⁷ - Jean BORNAREL

⁸ - Nicole SAUVAL

⁹ - Sylvie BORDAGE

¹⁰ - Julie RIDARD

¹¹ - Thierry MORTURIER

تسوجیموتو^۱ از دانشگاه اوزاکا بدلیل بحثهای متعدد و پربراشان درارتباط با ناپایداریهای کاویتاسیون داریم. تعامل بین حرکت حباب و حفره های لایه ای چسبیده در پیوست فصل ۸ مطرح شده است. تحقیقات نشان داده که لایه مرزی بر روی دیوار همراه با مقدار هسته آب، به شدت نوع کاویتاسیونی که می تواند رخ دهد را، تحت تاثیر قرار می دهد. اصول اساسی برای پیش بینی الگوهای کاویتاسیون بر روی هیدروفویل یا پره های پمپ ها ارایه شده است.

در فصل های ۱۰ و ۱۱ به کاویتاسیون گردابه ای، کاویتاسیون گردابه نوک و کاویتاسیون برشی پرداخته شده است. نتایج مختلف ارایه شده در فصل ۱۰، در چارچوب یک برنامه پیوسته با حمایت نیروی دریایی فرانسه به دست آمده است. ما به خصوص از پروفیسور فرومن^۲ به پاس مدیریت برنامه های تحقیقاتی و همکاری آزمایشگاههای:

Bassin Bassin d' Essais des Carenes (Val de Reuil, France), Ecole Navale (Brest, France), Institut de Machines Hydrauliques (Lausanne, Switzerland)).

صمیمانه سپاسگزاریم. موضوع دشوار کاویتاسیون برشی در فصل ۱۱ با تاکید ویژه ای در تجزیه و تحلیل فیزیکی که توسط پروفیسور آرندت^۳ بدست آمده (از دانشگاه مینه سوتا)، همراه شده است. اثرات اصلی کاویتاسیون در تجهیزات هیدرولیک نیز در این کتاب مورد بررسی قرار قرار گرفته است. مروری بر فرسایش حفره در فصل ۱۲ ارایه شده و این در صورتی است که خواننده اطلاعاتی در مورد سر و صدای کاویتاسیون را می تواند در فصل های مختلف بدست آورد.

ما بسیار مدیون پروفیسور کاتو (استاد بازنشسته دانشگاه توکیو) H، پروفیسور رزدستونسکی^۴ (دانشگاه ایالتی فنی و مهندسی دریایی سن پترزبورگ) و پروفیسور استفان^۵ (دانشگاه علم و صنعت دارمشتات) که با گشاده رویی بررسی نسخه های خطی ما را پذیرفت و نظرات گرانبها و پیشنهادات ارزشمندی را ارایه نمود. ما همچنین از همکار مان پروفیسور مکگلایسکی^۶ که کار

¹ -Y. TSUJIMOTO

² -D.H. FRUMAN

³ -R.E.A. ARNDT

⁴ -K.V. ROZHDESTVENSKY

⁵ -B. STOFFEL

⁶ -F. MCCLUSKEY

فهرست مطالب	صفحه
فهرست علایم	۲۱
فصل ۱- مقدمه	۲۵
۱-۱- پدیده فیزیکی	۲۵
۱-۱-۱- تعریف	۲۵
۱-۱-۲- فشار بخار	۲۶
۱-۱-۳- اشکال اصلی حفره‌های بخار	۲۹
۱-۲- کاویتاسیون در جریان‌های مایع واقعی	۳۰
۱-۲-۱- رژیم‌های کاویتاسیون	۳۰
۱-۲-۲- موقعیت‌های نمونه سازگار با کاویتاسیون	۳۱
۱-۲-۳- اثرات (اصلی) کاویتاسیون در هیدرولیک	۳۲
۱-۳- خصوصیات ویژه جریان کاویتاسیونی	۳۳
۱-۳-۱- فشار و گرادیان فشار	۳۳
۱-۳-۲- سطوح مشترک بخار-مایع	۳۵
۱-۳-۳- اثرات دمایی	۳۷
۱-۳-۴- اندازه برخی از مرتبه‌ها	۳۷
۱-۴- پارامترهای بی بعد	۳۸
۱-۴-۱- عدد کاویتاسیون σ_v	۳۸
۱-۴-۲- عدد کاویتاسیون در شروع σ_{vi}	۳۹
۱-۴-۳- یک حفره تحت فشار نسبی σ_v	۴۰
۱-۵- برخی جنبه‌های تاریخی	۴۱
مراجع	۴۳
فصل ۲- هسته و کاویتاسیون	۴۵
۲-۱- مقدمه	۴۵

۴۵	 ۱-۱-۲- کشش مایع
۴۶	 ۲-۱-۲- کاویتاسیون هسته‌ای
۴۷	 ۲-۲- تعادل یک هسته
۴۷	 ۱-۲-۲- شرط تعادل (بلیک ۱۹۴۹)
۴۹	 ۲-۲-۲- پایداری و فشار بحرانی یک هسته
۵۲	 ۳-۲-۲- تغییر تدریجی هسته در یک ناحیه کم فشار
۵۳	 ۳-۲- نفوذ جرم و حرارت
۵۳	 ۱-۳-۲- رفتار حرارتی ظرفیت گاز
۵۶	 ۲-۳-۲- نفوذ گاز و پایداری هسته
۶۲	 ۴-۲- فروانی هسته
۶۲	 ۱-۴-۲- روش‌های اندازه‌گیری
۶۶	 ۲-۴-۲- شرایط برای شروع کاویتاسیون حبابی
۶۸	 مراجع
۷۱	 فصل ۳- دینامیک حباب‌های گروهی
۷۱	 ۱-۳- معادلات اساسی
۷۱	 ۱-۱-۳- مقدمه
۷۱	 ۲-۱-۳- فرضیات
۷۲	 ۳-۱-۳- شرایط اولیه و مرزی
۷۳	 ۴-۱-۳- معادله رایلی- پلست
۷۵	 ۵-۱-۳- بیان معادله رایلی- پلست در عبارت‌های تعادل انرژی
۷۵	 ۲-۳- ترکین حباب بخار
۷۵	 ۱-۲-۳- فرضیات
۷۶	 ۲-۲-۳- سرعت سطح مشترک
۷۷	 ۳-۲-۳- میدان فشار
۸۰	 ۴-۲-۳- ملاحظه اثر کشش سطحی
۸۰	 ۳-۳- انفجار یک هسته
۸۰	 ۱-۳-۳- سرعت مرز مشترک
۸۲	 ۲-۳-۳- حالت تعادل ($p_e = p_{\infty 0}$)

۸۲	 حالت رشد هسته ($P_{\infty} < P_{\infty 0}$)
۸۳	 معیار دینامیکی
۸۴	 اظهار نظر در مورد دو حالت ویژه
۸۵	 اثر لزجت
۸۵	 نوسانات خطی یک حباب
۸۶	 اثر لزجت بر انفجار یا ترکیدن حباب‌ها
۸۷	 نوسانات غیرخطی یک حباب
۸۸	 بررسی ابعادی
۸۸	 شکل بدون بعد معادله رایلی - پلست
۹۰	 مقیاس‌های زمان مشخصه معادله رایلی - پلست
۹۱	 بحث کیفی معادله رایلی - پلست
۹۲	 حالت یک حباب انتقال یافته به نزدیک یک ورقه نازک فلزی
۹۵	 پایداری سطح مشترک کروی
۹۹	 مراجع
۱۰۱	 فصل ۴- حباب‌ها در یک محیط غیر متقارن
۱۰۱	 ۱-۴ مقدمه
۱۰۱	 ۲-۴ حرکت یک حباب کروی در یک مایع در حال سکون
۱۰۱	 ۱-۲-۴ حرکت انتقالی یک کره صلب در یک مایع در حال سکون
۱۰۳	 ۲-۲-۴ حرکت انتقالی با تغییرات لحظه‌ای حجم
۱۰۴	 ۳-۲-۴ کاربرد حباب‌ها
۱۰۵	 ۳-۴ تکامل تدریجی حباب غیر کروی
۱۰۵	 ۱-۳-۴ اصل مدل سازی عددی پلست- چاپمن
۱۰۶	 ۲-۳-۴ برخی نتایج کلی
۱۱۰	 ۳-۳-۴ روش تحلیلی بلیک
۱۱۵	 ۴-۴ مسیر یک حباب کروی
۱۲۱	 مراجع
۱۲۳	 پیوست مربوط به بخش ۳-۳-۴

۱۷۵	۵=۰	۱-۳-۴- حیره نامحدود (۵=۰) حیران نامحدود
۱۷۴	۳-۴-۵	۳-۴-۵- حیره نامحدود
۱۷۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۷۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۶۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۶۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۶۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۶۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۶۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۶۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۶۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱۰	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۹	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۸	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۷	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۶	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۵	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۴	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۳	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۲	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود
۱	۳-۲-۴-۵	۳-۲-۴-۵- حیره نامحدود

۱۷۶	۶-۳-۲- حفره محدود پشت یک جسم متقارن در یک میدان جریان نامحدود
۱۷۸	۶-۳-۳- حفره محدود پشت یک قوس دایروی در یک میدان جریان نامحدود
۱۷۹	۶-۳-۴- تغییرات ضرایب پسا و برآ با عدد کاویتاسیون
۱۸۱	۶-۳-۵- اثر عمق فرو رفتگی بر شیب منحنی $C_p(\alpha)$
۱۸۲	۶-۴- حفره‌های متقارن محوری
۱۸۲	۶-۴-۱- حل مجانبی گارابدیان برای ابر حفره‌های دایم
۱۸۳	۶-۴-۲- تعادل اندازه حرکت و نیروی پسا
۱۸۵	۶-۴-۳- حل تحلیلی، تقریبی برای ابر حفره‌های دائم
۱۹۰	۶-۴-۴- ابر حفره‌های متقارن محوری غیر دایمی
۱۹۴	۶-۵- مسایل ویژه
۱۹۴	۶-۵-۱- ابر حفره دو بعدی غیر دایم
۱۹۶	۶-۵-۲- اثرات تراکم پذیری در جریان‌های سوپرکاویتاسیونی
۱۹۷	مراجع
۲۰۰	پیوست: رفتار غیر تحلیلی در جدایی
۲۰۵	فصل ۷- حفره‌های جزیی
۲۰۶	۷-۱- حفره‌های جزیی روی فویل‌های دو بعدی
۲۰۶	۷-۱-۱- الگوهای اصلی
۲۰۸	۷-۱-۲- بسته شدن حفره
۲۱۰	۷-۱-۳- طول حفره
۲۱۲	۷-۱-۴- اثرات سه بعدی ناشی از شیب خط بسته شدن
۲۱۴	۷-۱-۵- جاری شدن سه گانه روی هیدروفویل‌های دو بعدی
۲۱۴	۷-۲- حفره‌های جزیی در جریان‌های داخلی
۲۱۷	۷-۳- ناپایداری کاویتاسیون ابری
۲۱۷	۷-۳-۱- شرایط شروع ناپایداری کاویتاسیون ابری
۲۱۹	۷-۳-۲- رفتار کلی
۲۲۱	۷-۳-۳- فرکانس ضربه‌ای
۲۲۲	۷-۳-۴- ضخامت جت
۲۲۳	۷-۴- دنباله‌های حفره‌های جزیی
۲۲۴	۷-۴-۱- توزیع فشار متوسط

۲۲۵	 ۷-۴-۲- تولید حباب‌های بخار
۲۲۷	 ۷-۴-۳- نوسانات فشار
۲۲۷	 ۷-۴-۴- پالس‌های فشار دیواره در بسته شدن حفره
۲۳۰	 ۷-۴-۵- مقیاس گذاری طیف ضربه
۲۳۲	 ۷-۴-۶- خصوصیات اصلی سروصدای منتشر شده توسط حفره‌های جزئی
۲۳۳	 ۷-۵- اثرات حرارتی در کاویتاسیون جزئی
۲۳۴	 ۷-۵-۱- ضربه B استپاتوف
۲۳۶	 ۷-۵-۲- روش کشیدن
۲۴۱	 ۷-۶- ناپایداری سیستم
۲۴۴	 ۷-۷- مدل سازی حفره‌های جزئی
۲۴۶	 مراجع
۲۵۰	 پیوست: سرعت صوت در یک مخلوط مایع / بخار با تغییر فاز

فصل ۸- حباب‌ها و حفره‌ها روی فویل‌های دوبعدی ۲۵۳

۲۵۳	 ۸-۱- کاویتاسیون چسبیده
۲۵۳	 ۸-۱-۱- شروع کاویتاسیون روی یک سیلندر دایروی
۲۵۶	 ۸-۱-۲- الگوهای حفره‌ای روی یک فویل دوبعدی
۲۵۹	 ۸-۱-۳- ویژگی‌های لایه مرزی روی یک فویل نازک
۲۶۱	 ۸-۱-۴- ارتباط میان جدایش آرام و جدایی
۲۶۵	 ۸-۲- کاویتاسیون در حال حرکت حبابی
۲۶۵	 ۸-۲-۱- اثر کیفیت آب و دانه بستن هسته
۲۶۸	 ۸-۲-۲- اصل مقیاس گذاری برای کاویتاسیون توسعه یافته حبابی
۲۷۰	 ۸-۲-۳- اشباع
۲۷۳	 ۸-۳- برهم‌نهی میان حباب‌ها و حفره‌ها
۲۷۳	 ۸-۳-۱- اثر حباب‌های در حال انفجار روی یک حفره
۲۷۵	 ۸-۳-۲- تجمع بحرانی هسته برای گذار بین کاویتاسیون چسبیده و کاویتاسیون در حال حرکت حبابی
۲۷۶	 ۸-۳-۳- پیش‌بینی الگوهای حفره
۲۷۷	 ۸-۴- زبری و شروع کاویتاسیون
۲۸۱	 مراجع

۲۸۳	فصل ۹- ابرحفره‌های دمیده شده
۲۸۴	۹-۱- حفره‌های دمیده شده دوبعدی
۲۸۴	۹-۱-۱- هیدروفوئیل دمیده شده
۲۸۵	۹-۱-۲- پارامترهای اصلی
۲۸۷	۹-۳-۱- طول حفره
۲۹۰	۹-۱-۴- نرخ جریان هوا و فشار حفره
۲۹۴	۹-۱-۵- رژیم‌های نوسانی
۲۹۷	۹-۱-۶- فرکانس نوسان
۲۹۹	۹-۱-۴- در نظر گرفتن مکانیزم نوسان
۳۰۲	۹-۲- ابرحفره‌های دمیده شده متقارن محوری
۳۰۲	۹-۲-۱- رژیم‌های مختلف حفره‌های دمیده شده
۳۰۳	۹-۲-۲- تخلیه گاز از چرخش‌های مارپیچی شکل
۳۰۴	۹-۲-۳- تغییر شکل محور حفره توسط گرانش
۳۰۵	۹-۲-۴- تخلیه گاز با دو گردابه لوله‌ای توخالی
۳۰۹	۹-۳- تحلیل حفره‌های دمیده شده نوسانی
۳۰۹	۹-۳-۱- معادلات پایه‌ای
۳۱۳	۹-۳-۲- تحلیل معادله نوسان فشار
۳۱۵	۹-۳-۳- مقایسه با آزمایش‌ها
۳۱۷	مراجع
۳۱۹	فصل ۱۰- کاویتاسیون گردابی
۳۲۰	۱۰-۱- نتایج تئوری
۳۲۰	۱۰-۱-۱- قضایای پایه‌ای جریان‌های چرخشی
۳۲۱	۱۰-۱-۲- اثرات مهم کاویتاسیون روی جریان‌های چرخشی
۳۲۲	۱۰-۱-۳- گردابه کاویتاسیونی متقارن محوری
۳۲۵	۱۰-۱-۴- گردابه کاویتاسیونی مارپیچی
۳۲۹	۱۰-۲- گردابه نوک بدون کاویتاسیون
۳۲۹	۱۰-۲-۱- تشکیل گردابه نوک
۳۳۱	۱۰-۲-۲- مدل‌های گردابه در سیالات لزج

۳۳۳	 ۱۰-۲-۳- ساختمان گردابه نوک
۳۳۸	 ۱۰-۳- کاویتاسیون در گردابه نوک
۳۳۸	 ۱۰-۱-۳- قوانین مقیاس گذاری برای شروع کاویتاسیون
۳۴۰	 ۱۰-۳-۲- ارتباط داده های کاویتاسیون با ضریب برآ
۳۴۲	 ۱۰-۳-۳- اثر حجم هسته
۳۴۴	 ۱۰-۳-۴- اثر محدودیت
۳۴۷	 مراجع

۳۴۹	 فصل ۱۱- کاویتاسیون برشی
۳۵۰	 ۱۱-۱- کاویتاسیون جتی
۳۵۱	 ۱۱-۱-۱- برخی نتایج آزمایشگاهی
۳۵۵	 ۱۱-۱-۲- برخی عوامل تأثیر کاویتاسیون جتی
۳۵۶	 ۱۱-۲- کاویتاسیون دنباله
۳۵۷	 ۱۱-۲-۱- شروع کاویتاسیون در دنباله دیسک های دایروی
۳۵۸	 ۱۱-۲-۲- مدل سازی کاویتاسیون دنبال
۳۶۱	 ۱۱-۲-۳- کاویتاسیون دنباله یک گوه دو بعدی
۳۷۰	 مراجع

۳۷۳	 فصل ۱۲- فرسایش کاویتاسیون
۳۷۴	 ۱۲-۱- روش های تجربی
۳۷۵	 ۱۲-۲- برخی نتایج کلی
۳۷۵	 ۱۲-۲-۱- تأثیر سرعت جریان
۳۷۶	 ۱۲-۲-۲- تحول زمانی نرخ تلفات جرمی
۳۷۷	 ۱۲-۲-۳- تفاسیر گوناگون
۳۷۸	 ۱۲-۳- مکانیزم های اساسی هیدرودینامیکی تجمع انرژی
۳۷۸	 ۱۲-۳-۱- ترکیدن و واجهش یک حباب کروی
۳۷۹	 ۱۲-۳-۲- میکروجت
۳۸۰	 ۱۲-۳-۳- ترکیدن دسته جمعی
۳۸۰	 ۱۲-۳-۴- چرخش های کاویتاسیونی
۳۸۱	 ۱۲-۴- نفوذ یک جریان کاویتاسیونی

۳۸۲	 ۱-۴-۱۲- نفوذ یک حباب در حال ترکیدن
۳۸۳	 ۲-۴-۱۲- تست‌های سوراخ شدن
۳۸۶	 ۳-۴-۱۲- اندازه‌گیریهای نیرو
۳۹۰	 ۴-۴-۱۲- قوانین مقیاس‌گذاری برای جریان مخرب
۳۹۳	 ۵-۴-۱۲- رفتار مجانبی نرخ سوراخ شدن در سرعت‌های بالا
۳۹۵	 ۵-۱۲- نگاهی درونی به واکنش مواد
۳۹۵	 ۱-۵-۱۲- تقابل میان جریان مایع و دیواره جامد
۳۹۷	 ۲-۵-۱۲- فرسایش کاویتاسیون و نرخ کرنش
۳۹۹	 ۳-۵-۱۲- رابطه اتلاف حجم با انرژی ضربه
۴۰۰	 ۴-۵-۱۲- مدل پدیده‌شناسی برای پیش‌بینی اتلاف جرمی
۴۰۵	 مراجع