بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

بررسی تعدادی از عوامل مؤثر در تشدید ناپایداری فون-کارمن

پایان نامه کارشناسی ارشد فرآوری و انتقال گاز

امین زکریایی کرمانی

اساتید راهنما

دکتر سید حسین نوعی

دکتر عطاءالله کامیابی

استاد مشاور

دکتر سید مصطفی نوعی

۱۳۹۲

تشکر و قدردانی می کنم از:

جناب آقای دکتر سید حسین نوعی و جناب آقای دکتر سید مصطفی نوعی که حمایت‌های معنوی ایشان صمیمانه در مراحل انجام پروژه همراه بنده حقیر بود.

جناب آقای دکتر عطاءالله کامیابی به خاطر حمایت های بی دریغ و دلسوزانه ای که در راهنمایی این پروژه داشتند و با تمام مشغله‌ای که داشتند هیچ گاه در حمایت و حل مشکلات، بنده حقیر را تنها نگذاشتند.

اساتید شایسته و محترمی که زحمت داوری این پایان نامه را برعهده دارند.

ریاست محترم پژوهشسرای ابن سینا جناب آقای سعیدیان و ریاست محترم هنرستان شهید شبستری جناب آقای فریزنی که با در اختیار گذاشتن واحد کامپیوتر مراکز خود کمک بسیار زیادی به بنده حقیر کردند.

آقایان مهندس شمس الدینی و مهندس صادقی و مهندس پوست فروش که در طول انجام پروژه اینجانب را یاری رساندند.

اینجانب امین زکریایی کرمانی دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پایان نامه: «بررسی تعدادی از عوامل مؤثر در تشدید ناپایداری فون-کارمن»، تحت راهنمایی آقای دکترسید حسین نوعی و دکتر عطاءالله کامیابی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج درپایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه فردوسی مشهد و یا Ferdowsi University of Mashhad به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر گردد.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

متن این صفحه باید در ابتدای تمام نسخه های تکثیر شده وجود داشته باشد.

تاریخ

امضای دانشجو

این اثر ناچیز را تقدیم می‌کنم به:

کسی که سخنوران از ستودن او عاجزند و حسابگران از شمارش نعمت‌های او ناتوان و تلاشگران از ادای حقوق او درمانده‌اند. کسی که افکار ژرف‌اندیش، ذات او را درک نمی‌کنند و دست غواصان دریای علوم به او نخواهد رسید. کسی که برای او صفات حد و مرزی ندارد و تعریف کاملی نمی‌توان یافت و برای او وقتی معین و سرآمدی مشخص نمی‌توان تعیین کرد و کسی که مخلوقات را با قدرت خود آفرید، با رحمت خود بادها را به حرکت درآورد و به وسیله کوه‌ها اضطراب و لرزش زمین را به آرامش تبدیل کرد.

امید است تا این اثر مملو از خطا را از این حقیر قبول نماید.

فهرست مطالب

چکیده ۱

فصل ۱- مقدمه ۲

۱-۱- تاریخچه ۳

۱-۲- کارهای انجام شده ٤

۱-۲-۱- بررسی حول اجسام با مقطع غیر دایروی ۵

۱-۲-۲- بررسی حول اجسام استوانه‌ای با مقطع دایروی ۶

۱-۲-۳- بررسی اثر برهم کنشی چندین جسم ۸

۱-۲-۴- بررسی تشکیل گردابه‌های ثانویه ۹

۱-۳- بیان اهمیت موضوع ۱۰

۱-۴- ارتباط با کارهای قبل ۱۰

۱-۵- اهداف پروژه ۱۱

فصل ۲- مفاهیم اولیه ۱۲

۲-۱- جریان خارجی ۱۳

۲-۲- مفهوم لایه مرزی ۱۳

۲-۳- اثر گرادیان فشار بر پدیده جدایی جریان ۱٤

۲-۴- عدد استروهال ۱٦

۲-۵- مکانیسم گردابه جاری شونده از دیدگاه جرارد ۱٦

۲-۶- حرکت گردابه‌ها حول یک استوانه دایروی ۱۷

۲-۶-۱- فرمول‌بندی تعادل فوپل ۱۸

۲-۶-۲- دینامیک در زیرفضای متقارن ۲۰

۲-۶-۳- دینامیک نامتقارن ۲۰

۲-۷- نقش ناحیه سکون در رهایی گردابه‌های کارمن ۲۳

۲-۷-۱- مدل بیرخوف ۲۴

۲-۸- رژیم های جریان بر روی سیستم های تک استوانه ۲٦

۲-۸-۱- اعداد رینولدز بسیار کوچک ۲۶

۲-۸-۲-اعداد رینولدز کوچک ۲۷
۲-۸-۳-اعداد رینولدز متوسط ۲۷
۲-۸-۴-اعداد رینولدز بالا ۲۸
۲-۸-۵-اعداد رینولدز بسیار بالا ۲۹
۲-۸-۶-اعداد رینولدز فوق‌العاده بالا ۲۹
۲-۹-نیروهای وارد بر استوانه ۲۹

فصل ۳- فرمول‌بندی و شرایط حل در نرم‌افزار ۳۳

۳-۱- تعریف مسئله ۳٤

۳-۲-فرمول‌بندی ریاضی مسئله ۳٤

۳-۲-۱-معادله‌های کلی حاکم بر جریان سیال ۳۴
۳-۲-۲-معادله بقای جرم ۳۵
۳-۲-۳-معادله‌های بقای اندازه حرکت ۳۵
۳-۲-۴-فرضیات مدل ۳۵
۳-۲-۵-بی بعد سازی ۳۶
۳-۲-۶-شرایط مرزی ۳۷
۳-۳-شرایط حل در نرم‌افزار ۳۹

۳-۳-۱-مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی ۳۹
۳-۳-۲-مبنای حل نرم‌افزار فلوئنت بر اساس روش حجم محدود ۴۰
۳-۳-۳-روش‌های حل معادله‌های جبری در فلوئنت ۴۰
۳-۳-۴-تولید مدل هندسی ۴۱
۳-۳-۵-شرایط مرزی تحت نرم‌افزار ۴۳
۳-۳-۶-انتخاب روش‌های حل عددی ۴۳
۳-۳-۷-انتخاب گام زمانی ۴۴
۳-۳-۸-آزمون همگرایی ۴۵
۳-۳-۹-استقلال حل از شبکه ۴۵

فصل ۴- ارزیابی و صحه‌گذاری ٤۷

۴-۱-راستی‌آزمایی روش شبیه‌سازی ٤۸

۴-۲- تعریف مسئله ٤۸

۴-۳-گذری اجمالی بر چندین پژوهش انجام شده برای سیستم‌های تک استوانه‌ای ٤۹

۴-۴-شرایط مرزی ٤۹

۴-۵-نتایج شبیه‌سازی برای یک استوانه ۵۱

۴-۵-۱-حالت اول ۵۱
۴-۵-۲-حالت دوم ۵۲
۴-۶-نتیجه‌گیری ۵۳

فصل ۵- نتایج شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل آنها ٥٤

۵-۱- شرایط شبیه سازی ۵۵

۵-۲- حالت های مختلف شبیه سازی ۵۵

۵-۲-۱- حالت اول ۵۵
۵-۲-۲- حالت دوم ۶۰
۵-۲-۳- حالت سوم ۶۴
۵-۲-۴- حالت چهارم ۶۸
۵-۲-۵- حالت پنجم ۷۱

فصل ۶- جمع‌بندی و پیشنهادها ٧٦

۶-۱- جمع‌بندی و پیشنهادها ۷۷

۶-۱-۱- نتیجه گیری ۷۸
۶-۱-۲- پیشنهادات ۸۰

مراجع ۸۱

چکیده

در این پروژه حرکت سیال نیوتنی بر روی دو استوانه پشت سرهم در یک محدوده عدد رینولدز در پنج حالت از تغییر قطر به کمک تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه سازی‌های انجام شده بر اساس تغییر قطر استوانه جلویی و استوانه عقبی انجام گرفته است. بررسی‌ها در محدوده جریان آرام و بر روی اعداد رینولدز ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ انجام شده، به طوری که تمرکز عمده شبیه سازی‌ها در پژوهش‌های صورت گرفته بر روی ناپایداری جریان و مشاهده پدیده فون کارمن در محدوده جریان مغشوش و بر روی سیستم‌های تک استوانه‌ای بوده است. معیار ناپایداری جریان به دلیل دامنه نوسانات بیشتر و نوسانات ضریب لیفت حول صفر، ضریب لیفت کل در طول زمان قرار داده شده است. در ابتدا با قرار دادن دو استوانه با قطر یکسان در حالت ناپایا تحقیق شده است که جریان به ازاء چه عدد رینولدزی ناپایدار می‌شود و با چه فرکانسی نوسان می‌کند. سپس با تغییر قطر استوانه در جلو و عقب، ناپایداری جریان و مسئله تشدید بررسی شده است. جهت بررسی صحت مدل مورد استفاده، سیستم تک استوانه را در رینولدزهای ۲۰۰ و ۳۰۰ شبیه‌سازی کرده و سپس با مقایسه نتایج با داده‌های مقالات، مدل مورد استفاده تأیید شد. برای سیستم دو استوانه شبیه‌سازی‌ها برای پنج حالت انجام شد. در تمامی اعداد رینولدز به جز ۱۰۰ ضمن بروز ناپایداری، با تشدید پدیده ریزش گردابه‌ای مواجه شدیم. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در اغلب موارد با افزایش عدد رینولدز، ضریب لیفت و فرکانس رهایی گردابه‌ها افزایش می‌یابد و همچنین قرار گرفتن استوانه بزرگ در جلو ضریب لیفت را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد ولی پاسخ سیستم کندتر می‌شود، در حالی که با قرارگرفتن استوانه کوچکتر در جلو پاسخ سیستم سریع‌تر و با کاهش نسبت قطر استوانه جلو به عقب سیستم به سمت سیستم تک استوانه‌ای میل می‌کند.

کلمات کلیدی : گردابه‌های فون کارمن، دینامیک سیالات محاسباتی، سیال نیوتنی، ناپایداری

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- تاریخچه

شاید بتوان آغاز مطالعه جریان سیال های ویسکوز را در زمان های بسیار دور جستجو کرد، زیرا بر اساس یافته ها و کشفیات باستان شناسان یکی از ابزارها و آلات جنگی که در دوران باستان مورد استفاده قرار می‌گرفته، تیرهای کشیده و پردار بوده است و این حاکی از این مسئله است که انسان های اولیه پی به مقاومت جریان های ویسکوز و روش حل تجربی آن برده اند.

حل دقیق مسئله سیال ویسکوز در ابتدا توسط ارشمیدس در حدود دویست سال قبل از میلاد در دو اصل شناوری وی ارائه شد و بعد از آن برای به دست آوردن نیروی شناوری روی اجسام مختلف نسخه‌ای از حساب دیفرانسیل را ایجاد کرد. تا قرن پانزدهم میلادی تقریباً پیشرفت خاصی در زمینه تحلیل سیالات ویسکوز صورت نگرفت. در قرن شانزدهم میلادی معادله بقای جرم برای جریان ویسکوز (لزج) یک بعدی تراکم ناپذیر توسط لئوناردو داوینچی بدست آمد. نوشته های لئوناردو همچنین شامل طرح ها و توضیحاتی از حرکت موج، پرش هیدرولیکی، جهت های آزاد، تشکیل گردابه در پشت اجسام دوار، کاهش پسا با بررسی خطوط جریان و توزیع سرعت در یک گرداب می باشد.

اولین مطالعه مستقیم بر روی اصطکاک سیال لزج یا واقعی احتمالاً توسط ماریوت در قرن هفده میلادی صورت گرفت، او یک سیستم متعادل برای اندازه گیری پسای یک مدل ثابت که در یک جریان متحرک قرار داشت ایجاد کرد (اولین تونل باد) و مشاهدات خود را یک سال قبل از نیوتن در سال ۱۶۸۶ م منتشر ساخت. در سال ۱۶۸۷ نیوتون اصل خود را بدین صورت بیان کرد : « مقاومت ایجاد شده در اثر فقدان روان بودن یک سیال با سرعتی که اجزای سیال با آن سرعت از یکدیگر جدا می شوند، متناسب است ». امروزه سیالاتی نظیر آب و هوا به احترام او سیال نیوتنی نامیده می شوند. با قانون لزجت خطی پیشنهاد شده، نیوتن اولین تحلیل جریان ویسکوز را همراه با پروفایل درست سرعت در اطراف یک استوانه

چرخان انجام داد. اما عصر نیوتن هنوز آمادگی ارائه چنین تئوری را نداشت. بنابراین تلاش‌هایی برای حل جریان های سیال به طرف سیالات ایده آل بدون اصطکاک متمرکز شد. اولین کسی که موفق به ارائه رابطه‌ای بین گرادیان فشار و شتاب در یک جریان غیر لزج شد برنولی بود و به دنبال آن اولر در سال ۱۷۵۵ معادله مشهور جریان بدون اصطکاک را بدست آورد، که امروزه بعضی آن را به نام برنولی می شناسند. به موازات اولر، دالامبر نشان داد که یک جسم دریک جریان بدون اصطکاک دارای نیروی پسای صفر می‌باشد.

بعد از اولر و همکارانش، پیشرفت تحلیلی بزرگ دیگر، افزودن جملات مقاومت اصطکاکی به معادلات غیر لزج بود. این کار توسط افرادی همچون ناویر، کوشی، پویرون و نانت صورت گرفت که معادلات خود را با عباراتی از یک تابع مولکولی ناشناخته نوشتند، در حالی که استوکس در سال ۱۸۴۵ اولین کسی بود که از ضریب اول لزجت استفاده کرد. امروزه این معادلات، به نام ناویر – استوکس شناخته می‌شود، در حالی که به دست آمدن این روابط بیشتر مدیون استوکس است. و اما مهم ترین اتفاق در قرن بیستم، کشف لایه مرزی نازک در جریان سیال با لزجت پایین بود که توسط پراندل انجام شد. اثرات لزجت، محدود به این لایه مرزی می‌شود که به جریان غیر لزج خارجی متصل است و برای آن تکنیک های ریاضی بسیاری به دست آمده است. آزمایشات و مشاهدات تجربی بر خلاف معمای دالامبر نشان می‌داد که سیال واقعی باعث ایجاد یک نیروی پسای فشاری روی جسم می‌شود. با بررسی جریان سیال بر روی یک استوانه توسط فون کارمن، مقاله ای توسط وی در سال ۱۹۱۱ منتشر شد. بررسی وی در واقع بر روی گردابه‌هایی بود که به طور متناوب در بالا و پایین سطح پشتی یک استوانه ایجاد می‌شد. کارمن نشان داد که این حالت یک ساختار پایدار برای جفت گردابه‌ها می‌باشد، این گردابه ها به افتخار وی به همین نام شناخته می‌شوند[۱].

۱-۲- کارهای انجام شده

تا به امروز مطالعات بسیاری به طور آزمایشگاهی و یا عددی بر روی تشکیل گردابه‌های کارمن و جریان دنباله در پشت اجسام صلب منفرد صورت گرفته است.

۱-۲-۱-بررسی حول اجسام با مقطع غیر دایروی

در پژوهشی توسط عبداللهی و عاطفی [۲] شبیه سازی پدیده رهایی متناوب گردابه‌ها در یک جریان دو بعدی حول یک مانع مربعی در یک کانال با استفاده از روش شبکه بولتزمن انجام شده است و در پایان به معادله‌ای برای تخمین طول ناحیه گردابه‌های ساکن، تعیین عدد رینولدز بحرانی (مربوط به آغاز پدیده رهایی متناوب گردابه‌ها)، تخمین فرکانس بدون بعد پدیده رهایی متناوب گردابه‌ها (عدد استروهال) و محاسبه ضریب پسا بر حسب عدد رینولدز دست یافته‌اند. به گونه‌ای که بر اساس نتایج بدست آمده در الگوی جریان دائم با گردابه‌های متقارن و ساکن در پشت سیلندر، با افزایش عدد رینولدز طول ناحیه گردابه‌ای به طور خطی افزایش می‌یابد. همچنین در الگوی جریان غیر دائم، نفوذ ناحیه جدایی از پشت سیلندر به سمت لبه جلویی تأثیرات قابل توجهی بر روند تغییرات عدد استروهال و ضریب پسا دارد.

در یک بررسی توسط کهرم و سایرین [۳] اثر نسبت ابعادی یک چهار گوش بر عدد استروهال و تأثیر آن در تحریک ضریب انتقال گرما از صفحه تخت مجاور آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. به گونه ای که با حرکت دادن مقطع چهار گوش به سمت صفحه تختی که با جریان اصلی در حال تبادل گرماست، اثر نسبت ابعادی و فاصله از صفحه بر پارامترهایی چون ضریب انتقال حرارت از صفحه و تأثیر لایه مرزی بر شکل‌گیری گردابه‌ها و عدد استروهال بررسی می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که تغییرات عدد استروهال تا زمانی که جسم خارج از لایه مرزی قرار دارد به صورت پله‌ای، تابعی از تغییرات نسبت ابعادی جسم است. با نزدیک شدن مقطع به دیواره، عدد استروهال به سمت صفر میل کرده و خاصیت رهایی تناوبی گردابه به حضور دائمی یک گردابه و فقط با نوسانات ابعادی، تبدیل می‌شود. ملاحظات حرارتی این طور نشان می‌دهد که نزدیک شدن مقطع به صفحه تخت موجب افزایش ضریب انتقال گرمای متوسط تا ۵۰٪ و افزایش ضریب انتقال گرمای موضعی تا ۲۰۰٪ می‌شود.

در پژوهشی که توسط نایینی و فضلی [۴] به کمک مدل سازی عددی و مشاهدات آزمایشگاهی، اثر مقاطع پایه پل ها بر روی نیروهای وارده بر آن مورد بررسی قرار گرفته است. پارامتر هایی که مورد انتظار این محققین بوده است، شکست گردابه ها و به تبع آن کاستن و یا حذف نیروهای نوسانی وارد شده بر پایه پل ها بوده است که در این راه از شبیه

سازی نرم افزاری در حالت دو بعدی استفاده شده است. جهت نزدیک شدن نتایج به حالت واقعی، اصابت مایل جریان به پایه پل نیز مورد بررسی قرارگرفته است. جهت تایید نتایج نیز از یک مدل آزمایشگاهی به صورت مشاهداتی استفاده شده است. نتایج حاصله نشان می دهد که شکل پایه مستطیلی با یک لبه گرد شده و یک لبه تیز گوشه در حالتی که سمت گردشده پایه مقابل جریان قرار گیرد، در هر دو حالت اصابت مستقیم و مایل، بهترین عملکرد را داشته و کمترین نیروها را به پایه پل وارد می‌کند و بر خلاف آن پایه مربعی تقریباً بدترین عملکرد را به عنوان پایه پل از خود نشان داد.

۱-۲-۲-بررسی حول اجسام استوانه‌ای با مقطع دایروی

جریان بر روی استوانه‌ها به دلیل کاربردهای مهم صنعتی و تأثیر به سزای آن بر آشفتگی جریان یکی از مواردی بوده است که همواره مورد توجه محققان و پژوهشگران قرار گرفته است. پدیده‌های جریان برای جریان گذرا از یک استوانه ساکن با ابعاد ثابت به پارامترهای از جمله سرعت جریان آزاد، دانسیته سیال گذرا، زبری سطح و... بستگی دارد[۵].

زنگ ونف [۶] در پژوهشی جریان‌های مغشوش گردابه‌ای را در پشت یک مانع متخلخل دو بعدی بررسی کرده، به طوری که این مانع متخلخل شامل یک آرایش منظم از دوایر کوچک بر روی یک استوانه است و در نهایت به این نتیجه رسیدند که دو ویژگی منحصر به فرد در مانع متخلخل در مقایسه با مانع صلب وجود دارد. اول اینکه، طول ناحیه پایای گردابه‌ای در پشت مانع با افزایش تخلخل مانع، افزایش می‌یابد و ثانیاً، مسیر گردابه‌ای فون کارمن تا انتهای طول ناحیه پایای گردابه‌ای به تأخیر می‌افتد.

جانسون و همکاران [۷] در بررسی‌هایی بر روی استوانه و مقاطعی که از حالت دایره به سمت بیضی میل می‌کند، ساختارهای گردابه‌ای و جریان را در حالت دو بعدی و در رینولدزهای پایین مورد مطالعه قرار داده‌اند. با تغییر نسبت‌های منظر[1] (طول به عرض) در سیلندرهای بیضی‌گون، هندسه شکل مورد نظر از یک سیلندر دایره‌ای تا یک صفحه تخت متغیر است و مشخص شد که با کاهش نسبت منظر (میل به سمت صفحه تخت)، رهایی گردابه‌ای از حالت گردابه‌های پایدار فون کارمن به طور شگفت آوری به جریانی تبدیل

[1] -Aspect Ratio

می‌شود که دو ناحیه متمایز و مجزا دارد. اولین ناحیه دقیقاً پشت استوانه تشکیل می‌شود و شامل دو ردیف از گردابه‌هایی است که از پشت سیلندر شروع به چرخیدن می‌کند. البته یک ناحیه که جریان در آن تقریباً حالت سکون و مرده دارد قبل ازاین ناحیه واقع شده است. با توجه به نتایج هر چه جسمی که مانع جریان است از صفحه تخت به حالت دایره نزدیک شود ضریب دراگ کمتر می‌شود. همچنین با افزایش عدد رینولدز و نسبت منظر می‌توان گفت که عدد استروهال تقریباً حالتی افزایشی دارد و در نهایت این نتیجه حاصل می‌شود که ساختارهای جریان و یک مدل فضایی پارامتری تعیین کننده نوع گردابه‌ها برای یک رینولدز و نسبت منظر مشخص است.

در مطالعه‌ای که توسط لطف اللهی و مجتهدی [۸] در دانشگاه تبریز صورت گرفته، پارامترهای هیدرودینامیکی جریان اطراف یک استوانه، به صورت عددی و تجربی در حالت جریان آشفته مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی عوامل مؤثر در مکانیسم پدیده گردابه جاری شونده، ضمن بررسی پارامترهای مربوط به هیدرودینامیک حول استوانه، با به کارگیری داده‌های تجربی مناسب و روش‌های آنالیز طیفی، به بررسی جریان اطراف استوانه واقع در معرض جریان آب در حالت جریان آشفته (با مد نظر قرار دادن نیروهای عرضی اعمال شده به آن و فرکانس پدیده گردابه جاری شونده) پرداخته شده است و سپس شرایط آزمایشگاهی مورد نظر را به کمک یک نرم افزار رایانه‌ای مدلسازی و نتایج آن با داده‌های تجربی مقایسه گردیده است. در نهایت با بکارگیری نتایج برنامه، برای دستیابی به داده‌هایی که از اندازه‌گیری‌های تجربی حاصل نگردیده، بررسی مکان‌یابی نقطه انشعاب واقع بر استوانه‌ها اقدام شده است. از جمله مشاهدات در این مطالعه، این است که با افزایش عدد رینولدز قدرت و شدت گردابه‌ها بیشتر می‌شود و مقدار فرکانس حاکم افزایش می‌یابد. همچنین این‌که زبری بدنه استوانه نیز یک عامل اثرگذار در افزایش فرکانس گردابه‌ها می‌باشد.

نیک صفت و شیرانی [۹] گردابه‌های تولیدشده را در پشت یک استوانه در یک جریان دوبعدی و تراکم‌پذیر مورد بررسی قرار داده‌اند و علاوه بر تأثیر عدد رینولدز تأثیر عدد ماخ را بر روی پارامترهای جریان و نحوه ایجاد گردابه در پشت استوانه بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که فرکانس نوسانات نه تنها به عدد رینولدز بلکه به عدد ماخ نیز بستگی

دارد. به طوری که با افزایش عدد ماخ زیاد می‌شود ولی نسبت به عدد رینولدز تغییرات چندانی ندارد و نیز همچنین مقدار ضرایب دراگ و لیفت با افزایش عدد ماخ زیاد می‌شود.

پانکانین و کولینزاک [۱۰] به کمک روش مرئی‌سازی جریان همراه با فرایند تصویر برداری، سرعت جابجایی گردابه‌های ایجاد شده در پشت یک استوانه را مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس تصاویر بدست آمده می‌توان نشان داد زمانی که از استوانه‌ای با مقطع دایره به عنوان مانع و جسم صلب در مسیر جریان استفاده شود اندازه ناحیه سکون به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد که وابسته به سرعت حرکت جریان است. اما در مورد استوانه مدور و مستطیلی شکاف دار ناحیه سکون به طرز معناداری محدود می‌شود و در تصاویر قابل رؤیت نیست.

در پژوهشی جنا و میشرا [۱۱] پدیده رهایی گردابه‌ها را در ناحیه دنباله نزدیک[2] یک استوانه در حالت دو بعدی مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش به کمک شبیه سازی نرم افزاری در حالت دوبعدی و ناپایدار پدیده رهایی گردابه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و هدف از این کار این بوده است که رابطه بین فرکانس رهایی گردابه‌ها و عدد رینولدز و همچنین رابطه بین عدد استروهال و عدد رینولدز تعیین شود. نتایج نشان می‌دهد که فرکانس رهایی گردابه‌ها با عدد رینولدز و سرعت جریان ورودی متناسب است و همچنین عدد استروهال با افزایش عدد رینولدز کاهش می‌یابد.

۱-۲-۳-بررسی اثر برهم کنشی چندین جسم

در تعدادی از مطالعات اثر تداخل جریان دنباله سیال میان دو یا چند جسم بررسی شده است و از کاربردهای مهم و صنعتی آن می‌توان به کاربرد در صنایع هوا فضا و فن‌های خنک‌کننده و مبدل‌های حرارتی اشاره نمود.

شادآرام و همکاران [۱۲] رفتار مشخصه های جریان دنباله نزدیک را در اثر بر هم کنش استوانه پشت یک ایرفویل مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق میدان سرعت و آشفتگی دنباله نزدیک ایرفویل به همراه یک استوانه در پشت آن به وسیله جریان سنج سیم داغ مورد مطالعه قرار گرفته است. پارامترهای اساسی این تحقیق فاصله استوانه از ایرفویل در راستای افقی و عمودی و عدد رینولدز است و دو حالت به صورت تجربی بررسی شده است.

[2] -Wake

در حالت اول با جابجایی عمودی استوانه در پشت ایرفویل به طوری که استوانه در دنباله نزدیک ایرفویل قرار گرفت تا زمانی که استوانه در راستای وتر ایرفویل قرار گرفته، جریان شبه کارمن در پشت ایرفویل تشکیل نشده و برهم کنش ناشی از رهایی گردابه‌ها از سطوح بالا و پایین ایرفویل می‌باشد. در حالت دوم با دور شدن استوانه از لبه فرار ایرفویل در راستای وتر، به علت تشکیل کامل‌تر جریان گردابه‌ای در پشت ایرفویل برهم کنش قوی‌تری مشاهده می‌شود و به علت متلاشی شدن گردابه‌های بزرگ در دنباله ایرفویل و برهم کنش گردابه‌های ریز تشکیل شده با ریزش گردابه‌های استوانه، حداکثر تنش رینولدزی در دنباله افزایش می‌یابد.

۱-۲-۴- بررسی تشکیل گردابه‌های ثانویه

پیرامون بحث در مورد انواع ناپایداری‌های جریان، یک سری از ناپایداری‌ها در پایین دست بعضی از جریان‌ها باعث برهم کنش قوی بین دو ردیف از گردابه‌ها می‌شود و در نهایت به تشکیل گردابه‌های ثانویه در پایین دست جریان منجر می‌شود. مشاهده شده است که در عدد رینولدز انتقالی بین گردابه های نرمال کارمن و وقوع رهایی گردابه‌های ثانویه، یک نقطه حداکثر برای عدد استروهال و یک مینیمم محلی برای ضریب دراگ وجود دارد.

در پژوهشی توسط تاندا [۱۳] در سال ۱۹۵۹ مشاهده شد که گردابه‌های فون کارمن اولیه با افزایش فاصله از یک استوانه از بین می‌روند و با افزایش بیشتر فاصله گردابه‌های ثانویه با شدت و بزرگی بیشتر و فرکانس کمتر نسبت به گردابه‌های اولیه تشکیل می‌شود. تحلیل تاندا از مشاهده این پدیده (ایجاد گردابه های ثانویه) این بود که این رویداد ناشی از ناپایداری هیدرودینامیکی پروفایل دامنه متوسط است و در همین راستا سیمبالاو سایرین [۱۴] مطالعه‌ای را در سال ۱۹۸۸ انجام دادند و به نتایجی مشابه با تاندا دست یافتند.

ویلیامسون و پراساد [۱۵] در تحقیقی با مطالعه اثر اغتشاشات جریان آزاد را بر تشکیل گردابه های ثانویه علاوه بر تایید نظر تاندا به این نتیجه رسیدندکه دنباله دور دست خیلی به اغتشاشات جریان آزاد حساس است. در کارهایی مشابه توسط عارف و سیگیا [۱۶] و ماتسویی واکاد [۱۷] و میبرگ [۱۸] همگی به این نتیجه رسیدند که گردابه های ثانویه به دنبال ادغام گردابه های کارمن تشکیل می شوند[۱۹].

جانسون و همکاران [۷] در تحقیقات خود برای ضریب منظر ۰/۵ و اعداد رینولدز ۴۰، ۷۵، ۱۲۵، ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۵۰ مشاهده کردند که از عدد رینولدز ۱۵۰ به بالا بعد از طی مسافتی گردابه‌های ثانویه تشکیل می‌شوند، به طوری‌که با افزایش عدد رینولدز شدت و فرکانس گردابه‌ها بیشتر می‌شود.

۱-۳- بیان اهمیت موضوع

بررسی اثرات جریان های خارجی اطراف یک جسم صلب، یکی از مهمترین عوامل طراحی اجسام متحرک می‌باشد. از آنجایی که این جریان‌ها حول اجسام در موارد متعددی از کاربردهای صنعتی نظیر جریان طول لوله‌ها و مجراهای تبادل حرارت در مبدل‌های حرارتی، پایه پل‌ها، تکیه‌گاهها و سکوهای دور از ساحل در دریاها و اقیانوسها، لوله‌های انتقال نفت و گاز در دریاها، دودکش‌ها، برج‌های خنک‌کن، جریان عرضی حول خودرو، بالگرد و هواپیماها و... ظاهر می‌شوند، بررسی آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همان طور که در بالا ذکر شد بررسی اثرات جریان های خارجی بویژه پدیده فون کارمن از حیث طراحی و کاربرد بسیار حایز اهمیت می‌باشد. محققان بسیاری این پدیده را از منظر مطلوب بودن اثرات و نیروهای وارد شده بر اجسام مورد نظر مورد بررسی قرار داده‌اند، گروهی از پژوهشگران حذف این ناپایداری‌ها را به دلیل نیروهای ناخواسته و نامطلوبی که بر سازه‌های مورد نظر وارد می‌کنند مطالعه کرده‌اند. و گروهی دیگر به علت تاثیرات مطلوب این پدیده، از جمله مهندسین شیمی به عنوان مثال برای طراحی مبدل‌های حرارتی به دنبال تشدید ناپایداری‌های مذکور هستند.

۱-۴- ارتباط با کارهای قبل

براساس مطالعات انجام شده برروی تحقیقات انجام گرفته، تمرکز بیشتر پژوهش‌ها بر روی حذف ناپایداری‌های جریان (گردابه‌های فون کارمن) بوده است، البته بررسی عوامل مؤثر در وقوع و پیدایش این گونه ناپایداری‌ها که توسط مطالعات قبلی انجام شده برای پژوهش حاضر بسیار حایز اهمیت می‌باشد. گفتنی است که در کارهای انجام شده، در مواردی روی تشدید و یا ایجاد این ناپایدارها، مطالعاتی شده است که این مطالعات به طور کامل و همه جانبه نبوده و مواردی خاص را بیان کرده است.

۱-۵- اهداف پروژه

در پژوهش حاضر عمده تمرکز بر روی ناپایداری‌های فون کارمن و گردابه‌های ثانویه که پس از گردابه‌های اولیه تشکیل می‌شوند است. همان طور که در بخش‌های قبلی بیان شد تشکیل گردابه‌های ثانویه بسیار به تحریکات و اغتشاشات در جریان آزاد ورودی، حساس می‌باشد. در این پروژه، با قرار دادن یک استوانه سعی در تحریک و اغتشاش و به دنبال آن بررسی ناپایداری‌های ثانویه در جریان بالا دست هستیم مورد دیگری که در این پروژه مطالعه شده است بررسی تأثیر تغییرات قطر استوانه جلویی و عقبی برتشدید ناپایداری‌های جریان پس از استوانه دوم است. تشدید این پدیده از دو منظر ضریب لیفت و فرکانس رهایی گردابه‌ها بررسی می‌شود.

در این تحقیق برای شبیه سازی جریان، از دینامیک سیالات محاسباتی برای بررسی حالت دو بعدی و برای یک سیال نیوتنی در محدوده اعداد رینولدز ۱۰۰ الی ۳۰۰ کمک گرفته شده است. از جمله اهداف کلی این است که در یابیم:

۱- در چه محدوده‌ای از عدد رینولدز با شرایط جدید شاهد وقوع گردابه‌ها خواهیم بود؟

۲- چه عواملی می توانند به تشدید وقوع این ناپایداری‌ها کمک کنند؟

۳- در صورت ناپایداری گردابه‌ها با چه فرکانسی نوسان می‌کنند؟

فصل ۲- مفاهیم اولیه