

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

گرایش آیرودینامیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی ارتعاشات القا شده توسط گردابه روی استوانه‌های عمود بر جریان در اعداد رینولدز پایین

استاد راهنما: دکتر مسعود میرزایی

استاد مشاور: دکتر سعید ایرانی

دانشجو: سینا وکیلی تهامی


۸۷۰۱۲۲۴

شهریور ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به پدر عزیز و مادر فداکارم

بسمه تعالی

شماره: تاریخ:	تأییدیه هیأت داوران	 تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
------------------	---------------------	---

هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان: بررسی ارتعاشات القا شده توسط گردابه روی استوانه‌های عمود بر جریان در اعداد رینولدز پایین توسط آقای سینا و کیلی تهمی صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش آیرودینامیک در تاریخ مورد تأیید قرار می‌دهند.

امضاء	جناب آقای دکتر مسعود میرزایی	۱- استاد راهنمای اول
امضاء	جناب آقای دکتر سعید ایرانی	۲- استاد مشاور
امضاء	جناب آقای دکتر رضا ابراهیمی	۳- ممتحن داخلی
امضاء	جناب آقای دکتر مانی فتحعلی	۴- ممتحن داخلی
امضاء	جناب آقای دکتر مانی فتحعلی	۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده

بسمه تعالی


شماره: تاریخ:	اظهارنامه دانشجو	 تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
------------------	------------------	---

اینجانب سینا وکیلی تهامی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش آیرودینامیک دانشکده هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان بررسی ارتعاشات القا شده توسط گردابه روی استوانه‌های عمود بر جریان در اعداد رینولدز پایین با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر مسعود میرزایی توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ‌جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

بسمه تعالی

شماره: تاریخ:	حق طبع و نشر و مالکیت نتایج	 تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
------------------	-----------------------------	---

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی باشد.

با تقدیر و تشکر از جناب آقای دکتر مسعود میرزایی

که بنده را در انجام این پروژه یاری فرمودند.

بررسی ارتعاشات القا شده توسط گردابه روی استوانه‌های عمود بر جریان در اعداد رینولدز پایین

چکیده

در این پایان نامه، با استفاده از روش‌های عددی به بررسی پدیده ارتعاشات القا شده توسط گردابه‌های جدا شده از جسم استوانه‌ای شکل متصل به فنر پرداخته شده است. برای انجام این تحقیقات از نرم افزار تجاری Fluent برای انجام محاسبات میدان سیال استفاده گردیده است و برای حل معادلات سازه‌ای ارتعاش، یک برنامه در قالب UDF در زبان برنامه‌نویسی C توسعه یافته و به نرم افزار Fluent اضافه شده است. تحلیل‌ها برای سه هندسه مختلف با یک استوانه و دو استوانه با فواصل مختلف در اعداد رینولدز ۱۰۰ و ۲۰۰ انجام پذیرفته است. نمودارهای ضریب برآ و پسا و جابجایی برای هر کدام از حالات استخراج گردید. مشاهده گردید که با اضافه شدن استوانه پایین دست به میدان حل دامنه ارتعاشات استوانه بالادست افزایش می‌یابد و با افزایش فاصله دو استوانه دامنه ارتعاشات کاسته می‌شود.

کلمات کلیدی: تداخل سیال سازه، بررسی عددی، ارتعاشات القایی، گردابه، استوانه، جریان خارجی آرام،

صفحه

فهرست عناوین

۱	مقدمه.....	۲
۱.۱	اهمیت موضوع تحقیق.....	۲
۲.۱	روش و پیشینه تحقیق.....	۴
۱.۲.۱	بررسی پدیده ارتعاشات القایی و مروری بر کارهای انجام شده در این حوزه.....	۴
۳.۱	اهداف تحقیق.....	۱۱
۴.۱	مسیرنمای پروژه.....	۱۲
۲	مدل سازی و بیان روابط حاکم بر مساله.....	۱۵
۱.۲	توضیح مساله.....	۱۵
۲.۲	معادلات حاکم بر مساله.....	۱۷
۱.۲.۲	روابط سیالاتی حاکم بر مساله.....	۱۸
۲.۲.۲	روابط سازه‌ای حاکم بر مساله.....	۲۱
۳.۲	معرفی هندسه مسئله، شرایط مرزی اعمال شده بر روی دامنه حل و خصوصیات سیال.....	۲۴
۱.۳.۲	شرایط مرزی اعمال شده بر دامنه حل.....	۲۶
۲.۳.۲	خواص سیال.....	۲۸
۴.۲	نحوه انجام شبکه‌بندی میدان سیال برای حل مسئله.....	۲۸
۵.۲	تعیین مقدار باقی مانده معادلات پیوستگی و مومنتم به عنوان عامل تعیین کننده همگرایی در هر مرحله زمانی.....	۳۰
۶.۲	بدست آوردن گام زمانی مناسب برای تحلیل غیر دائم.....	۳۳
۷.۲	بحث روی اندازه شبکه‌بندی و عدم وابستگی جواب به اندازه شبکه‌بندی:.....	۳۵
۸.۲	تشریح مدل سازه‌ای مسئله و فرض های انجام گرفته.....	۳۶
۹.۲	شبکه‌بندی متحرک.....	۳۷
2.9.1	نرم‌سازی شبکه بر مبنای فنریت:.....	۳۷
۱۰.۲	تجدید شبکه‌بندی.....	۳۸
۳	نتایج و صحه‌گذاری.....	۴۱
۱.۳	بدست آوردن نتایج.....	۴۱
۱.۱.۳	نتایج حل برای ارتعاشات القا شده به یک استوانه.....	۴۱
۲.۱.۳	نتایج حل برای ارتعاشات القا شده به دو استوانه.....	۴۹
۳.۱.۳	شکل های گرافیکی.....	۶۵
۴.۱.۳	بررسی دقت محاسبات در حل معادلات سازه ای.....	۷۷
۵.۱.۳	نمودار همگرایی حل معادلات سیالاتی.....	۷۸
۲.۳	صحه گذاری.....	۷۹

۴	جمع‌بندی و نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای کارهای آتی	۸۱
۱.۴	پیشنهاد برای کارهای آتی	۸۱
۱.۱.۴	حوزه نرم‌افزاری	۸۱
۲.۱.۴	حوزه سخت‌افزاری	۸۲
۸۳	منابع و مراجع	۸۳
۸۵	Abstract	۸۵

صفحه

فهرست اشکال

- شکل ۱.۱ استفاده از فین جهت کنترل پدیده ریزش گردابه‌ای [۱]..... ۳
- شکل ۲.۱ محدوده‌های کاربرد CFD/CSD/CTD [۱]..... ۳
- شکل ۳.۱ انواع چیدمان استوانه در بررسی پدیده القای ارتعاشات [۲]..... ۵
- شکل ۱.۲ شمایی از پدیده ریزش گردابه‌ای فن-کارمن پشت استوانه [۱]..... ۱۶
- شکل ۲.۲ توضیح جداسازی معادلات حجم کنترل [۱۷]..... ۱۸
- شکل ۳.۲ هندسه و شرایط مرزی میدان حل برای حالت تک استوانه..... ۲۵
- شکل ۴.۲ هندسه و شرایط مرزی میدان حل برای حالت دو استوانه..... ۲۵
- شکل ۵.۲ نواحی تداخل جدایش و تداخل نزدیکی برای دو استوانه هم‌اندازه در جریان پایدار. [۲۰]..... ۲۶
- شکل ۶.۲ شمایی از ناحیه‌های یک و دو شبکه بندی..... ۲۹
- شکل ۷.۲ شمای ناحیه سوم شبکه بندی..... ۲۹
- شکل ۸.۲ مقایسه نتایج بدست آمده با باقی‌مانده متفاوت برای $Re = 100$ ۳۰
- شکل ۹.۲ مقایسه نتایج بدست آمده با باقی‌مانده متفاوت برای $Re = 150$ ۳۱
- شکل ۱۰.۲ مقایسه نتایج بدست آمده با باقی‌مانده متفاوت برای $Re = 200$ ۳۱
- شکل ۱۱.۲ مقایسه نتایج بدست آمده با باقی‌مانده متفاوت برای $Re = 250$ ۳۲
- شکل ۱۲.۲ مقایسه نتایج بدست آمده با باقی‌مانده متفاوت برای $Re = 300$ ۳۲
- شکل ۱۳.۲ مقایسه نتایج بدست آمده با باقی‌مانده‌های 10^{-5} و 10^{-6} ۳۳
- شکل ۱۴.۲ مقایسه اثرات گام زمانی در حل غیر دایم جریان روی استوانه متفاوت برای $Re = 100$ ۳۴
- شکل ۱۵.۲ شکل شماتیک نحوه اتصال فنر و دمپر به استوانه در امتداد محور افقی و عمودی..... ۳۶
- شکل ۱۶.۲ نحوه اعمال نیروهای میدان سیال روی استوانه..... ۳۷
- شکل ۱.۳ منحنی‌های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان در $Re = 100$ و $U^* = 6.25$ ۴۲
- شکل ۲.۳ منحنی هسترسیز حرکت تک استوانه در $Re = 100$ و $U^* = 6.25$ ۴۲
- شکل ۳.۳ منحنی‌های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۴۴
- شکل ۴.۳ منحنی هسترسیز حرکت تک استوانه در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۴۴
- شکل ۵.۳ منحنی‌های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان در $Re = 200$ و $U^* = 6.25$ ۴۶
- شکل ۶.۳ منحنی هسترسیز حرکت تک استوانه در $Re = 200$ و $U^* = 6.25$ ۴۶
- شکل ۷.۳ منحنی‌های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۴۸
- شکل ۸.۳ منحنی هسترسیز حرکت تک استوانه در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۴۸

- شکل ۹.۳ منحنی های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان استوانه بالادست هندسه اول در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۵۰
- شکل ۱۰.۳ منحنی هسیترسیز استوانه بالادست هندسه اول در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۵۰
- شکل ۱۱.۳ منحنی های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان استوانه پایین دست هندسه اول در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۵۲
- شکل ۱۲.۳ منحنی هسیترسیز استوانه پایین دست هندسه اول در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۵۲
- شکل ۱۳.۳ منحنی های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان استوانه بالا دست هندسه اول در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۵۴
- شکل ۱۴.۳ منحنی هسیترسیز استوانه بالا دست هندسه اول در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۵۴
- شکل ۱۵.۳ منحنی های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان استوانه پایین دست هندسه اول در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۵۶
- شکل ۱۶.۳ منحنی هسیترسیز استوانه پایین دست هندسه اول در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۵۶
- شکل ۱۷.۳ منحنی های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان استوانه بالادست هندسه دوم در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۵۸
- شکل ۱۸.۳ منحنی هسیترسیز استوانه بالا دست هندسه دوم در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۵۸
- شکل ۱۹.۳ منحنی های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان استوانه پایین دست هندسه دوم در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۶۰
- شکل ۲۰.۳ منحنی هسیترسیز استوانه پایین دست هندسه دوم در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۶۰
- شکل ۲۱.۳ منحنی های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان استوانه بالادست هندسه دوم در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۶۲
- شکل ۲۲.۳ منحنی هسیترسیز استوانه بالا دست هندسه دوم در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۶۲
- شکل ۲۳.۳ منحنی های ضریب برآ و پسآ، جابجایی در محورهای x و y نسبت به زمان استوانه پایین دست هندسه دوم در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۶۴
- شکل ۲۴.۳ منحنی هسیترسیز استوانه پایین دست هندسه دوم در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۶۴
- شکل ۲۵.۳ شکل های گرافیکی تشکیل لایه مرزی، میدان سرعت و میدان فشار در $Re = 100$ و $U^* = 6.25$ ۶۶
- شکل ۲۶.۳ شکل های گرافیکی تشکیل لایه مرزی، میدان سرعت و میدان فشار در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۶۷
- شکل ۲۷.۳ شکل های گرافیکی تشکیل لایه مرزی، میدان سرعت و میدان فشار در $Re = 200$ و $U^* = 6.25$ ۶۸
- شکل ۲۸.۳ شکل های گرافیکی تشکیل لایه مرزی، میدان سرعت و میدان فشار در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۶۹
- شکل ۲۹.۳ شکل های گرافیکی تشکیل لایه مرزی، میدان سرعت و میدان فشار در $Re = 100$ و $U^* = 8$ ۷۰
- شکل ۳۰.۳ شکل های گرافیکی تشکیل لایه مرزی، میدان سرعت و میدان فشار در $Re = 200$ و $U^* = 8$ ۷۱

- شکل ۳۱.۳ شکل‌های گرافیکی تشکیل لایه مرزی، میدان سرعت و میدان فشار در $Re = 100$ و $U^* = 8$.
 ۷۲.....
- شکل ۳۲.۳ شکل‌های گرافیکی تشکیل لایه مرزی، میدان سرعت و میدان فشار در $Re = 200$ و $U^* = 8$.
 ۷۳.....
- شکل ۳۳.۳ نحوه قرارگیری استوانه‌های هندسه دوم در $Re = 200$ و $U^* = 8$ و $t = 3s$.
 ۷۴.....
- شکل ۳۴.۳ نحوه قرارگیری استوانه‌های هندسه دوم در $Re = 200$ و $U^* = 8$ و $t = 50s$.
 ۷۴.....
- شکل ۳۵.۳ نحوه قرارگیری استوانه‌های هندسه دوم در $Re = 200$ و $U^* = 8$ و $t = 75s$.
 ۷۵.....
- شکل ۳۶.۳ نحوه قرارگیری استوانه‌های هندسه دوم در $Re = 200$ و $U^* = 8$ و $t = 86s$.
 ۷۵.....
- شکل ۳۷.۳ نمودار مقایسه جابجای در راستای Y تک استوانه با استوانه بالادست در $Re = 100$ و $U^* = 8$.
 ۷۶.....
- شکل ۳۸.۳ نمودار مقایسه جابجای در راستای Y تک استوانه با استوانه بالادست در $Re = 200$ و $U^* = 8$.
 ۷۶.....
- شکل ۳۹.۳ مقادیر خطای روش نیومارک در حل معادلات ارتعاشی جهت x در طول زمان.
 ۷۷.....
- شکل ۴۰.۳ مقادیر خطای روش نیومارک در حل معادلات ارتعاشی جهت y در طول زمان.
 ۷۸.....
- شکل ۴۱.۳ نمودار همگرایی حل معادلات سیالاتی.
 ۷۸.....

صفحه

فهرست جداول

جدول ۱.۲	جزئیات هندسی دامنه‌های حل استفاده شده.....	۲۵
جدول ۲.۲	نتایج مقایسه سه شبکه مختلف برای هندسه اول.....	۳۵
جدول ۳.۲	نتایج مقایسه سه شبکه مختلف برای هندسه دوم.....	۳۵
جدول ۴.۲	کیفیت هندسی شبکه‌بندی اعمال شده برای هندسه های شامل دو استوانه	۳۶
جدول ۱.۳	تطابق اعداد استروهاال تحقیق با مراجع معتبر	۷۹

فهرست علائم

لاتین

عدد رینولدز	Re
عدد استروهل	S
سرعت کاهیده	U^*
فرکانس اصلی گردابه	f_v
فرکانس طبیعی کاهش یافته	F_N
قطر استوانه	D
سرعت جریان	U
جرم بی بعد	m^*
نسبت دمپینگ	ξ
فاصله مرکزی دو استوانه	L
فاصله مرکز استوانه بالادست تا مرز ورودی سرعت	L_u
فاصله مرکز استوانه پایین دست تا مرز خروجی جریان	L_d
لزجت	μ
چگالی	ρ
ماتریس مشخصه	I
تانسور تنش	$\bar{\tau}$
بردار نیرو	\vec{F}
شارش جرم از صفحه	J_f
مولفه کارتیزین بردار واحد n در جهت x	n_x

n_y	مولفه کارتیزین بردار واحد n در جهت y
Γ_{cyl}	لایه مرزی استوانه
σ	تنش ویسکوز
C_D	ضریب برآ
C_L	ضریب پسا
$[M]$	ماتریس جرم سازه‌ای
$[C]$	ماتریس میرایی سازه‌ای
$[K]$	ماتریس سختی سازه‌ای
$\{\ddot{u}\}$	بردار شتاب نقطه‌ای
$\{\dot{u}\}$	بردار سرعت نقطه‌ای
$\{u\}$	بردار جابجایی نقطه‌ای
$\{F^a\}$	بردار نیروی اعمال شده
Δt	گام زمانی
α	پارامتر انتگرال گیری روش <i>Newmark</i>
δ	پارامتر انتگرال گیری روش <i>Newmark</i>
X	جابجایی استوانه در محور افقی
\dot{X}	سرعت استوانه در محور افقی
\ddot{X}	شتاب استوانه در محور افقی
Y	جابجایی استوانه در محور عمودی
\dot{Y}	سرعت استوانه در محور عمودی
\ddot{Y}	شتاب استوانه در محور عمودی

F_x	نیروی اعمال شده به استوانه در راستای محور افقی
F_y	نیروی اعمال شده به استوانه در راستای محور عمودی
\vec{F}_i	نیروی اعمال شده به گره i ام
k_{ij}	ضریب فنریت بین گره i و j
x_i	مختصات گره i ام
x_j	مختصات گره j ام

فصل اول

مقدمه

۱ مقدمه

با توجه به ایجاد شدن پدیده القای ارتعاشات توسط گردابه روی سازه های استوانه ای شکل در دامنه گسترده ای از کاربرد های مهندسی از قبیل مبدل های حرارتی، تحلیل چنین پدیده ای به عنوان هدف این پروژه انتخاب شده است. در این پروژه با حل میدان جریان سیال روی آرایش های مختلف استوانه ها، اثرات متقابل استوانه ها روی ریزش گردابه ای بوجود آمده در میدان بدست آمده و با در نظر گرفتن نیرو های آیرودینامیکی حاصل از این پدیده به عنوان عامل تحریک نوسانات سازه ای، معادلات ارتعاشات واداشته برای استوانه ها به صورت هم زمان با معادلات حاکم بر جریان سیال (ناویر - استوکس) حل خواهد شد و با تغییر سرعت در محدوده جریان آرام، بوجود آمدن پدیده تشدید مورد تحقیق قرار خواهد گرفت.

۱.۱ اهمیت موضوع تحقیق

امروزه بحث اندرکنش^۱ نیروهای جامداتی، سیالاتی و حرارتی و تحلیل اثرات این نیروها در بررسی رفتار اجسام بسیار گسترده می باشد؛ برخورد جریان آرام با اشیای گوناگون سبب ایجاد گردابه هایی می شود که احتساب آن پدیده برای مهندسان در طراحی پریسکوپ های زیر دریایی^۲، دودکش های بلند صنعتی^۳ و آسمان خراش ها^۴ حیاتی می باشد در شکل ۱.۱ یک راهکار کاربردی برای کاهش پدیده ریزش القایی آورده شده است (در حالت ب از یک فین برای جلوگیری از پدیده مذکور استفاده شده است). با توجه به موضوع طرح تحقیق در خصوص بررسی ارتعاشات القایی توسط گردابه و شکل ۲.۱ که نشانگر محدوده کاربرد این اندرکنش ها می باشد اهمیت تحقیق نمود بیشتری می یابد. همان طور که اشاره گردید طرح تحقیقاتی دارای کاربردهای متنوعی می باشد که در زیر به برخی از آنها اشاره شده است:

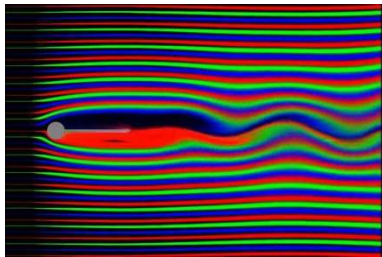
¹ Interaction

² Submarine Periscopes

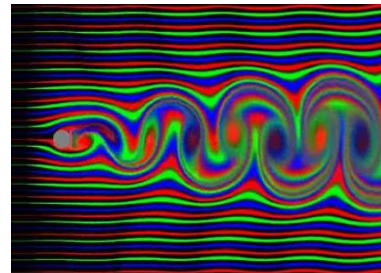
³ Industrial Chimneys

⁴ Skyscrapers

- مبدل‌های حرارتی^۱؛
- لوله‌ها و سایر هدایت‌کننده‌های جریان سیال؛
- مجاری مبدل‌های حرارتی که در میدان جریان محوری سیال ثانویه و جریان داخلی سیال اصلی قرار دارند؛
- المان‌های سوختی راکتورهای هسته‌ای؛
- پوسته‌های نازک که به عنوان سپر حرارتی در موتور هواپیماها و راکتورهای هسته‌ای استفاده می‌شوند؛
- جت پمپ‌ها؛
- انواع مختلف شیرها و سایر اجزایی که در سیستم‌های هیدرولیکی استفاده می‌شوند.

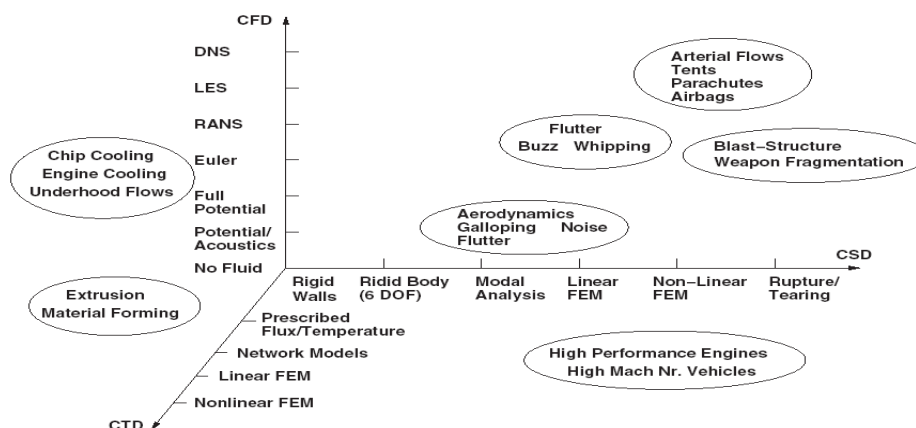


(ب)



(الف)

شکل ۱.۱ استفاده از فین جهت کنترل پدیده ریزش گردابه‌ای [۱].

شکل ۲.۱ محدوده‌های کاربرد^۲ CFD/CSD/CTD [۱].^۱ Heat Exchangers^۲ Computational Fluid Dynamics/ Computational Solid Dynamics/ Computational Thermal Dynamics