



دانشگاه گیلان  
دانشکده مهندسی  
گروه مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

**تحلیل نرم‌افزاری بازدارنده‌های شتاب  
در رینولدزهای متفاوت**

استاد راهنما:

**دکتر محسن گودرزی**

نگارش:

**سید عماد شریعتی**

۱۳ مهر ۱۳۹۰

الحمد لله  
الذي هدانا لهذا  
الذي كنا لنهتدي لولا  
أن هدانا الله

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی‌سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

....., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

مقالات داخلی

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا همدان،

# به یاد پدرم

و تقدیم به

## مادرم

علی و آسیه



دانشگاه بوعلی سینا  
مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

تحلیل نرم‌افزاری بازدارنده‌های شتاب در رینولدزهای متفاوت

نام نویسنده: سیدعماد شریعتی

نام استاد راهنما: دکتر محسن گودرزی

نام استاد مشاور: -

دانشکده: مهندسی

گروه آموزشی: مهندسی مکانیک

رشته تحصیلی: مهندسی مکانیک

گرایش تحصیلی: تبدیل انرژی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ تصویب پروپوزال: ۱۳۸۷/۰۴/۰۹

تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۰۷/۱۳

تعداد صفحات: ۱۴۲

چکیده:

بازدارنده‌های شتاب نقش مهمی در ورود، نزول و نشست کاوشگرهای سیاره‌ای ایفا می‌کنند. نقش بازدارنده‌های شتاب در عملیات کاوش عبارت است از: کاهش سرعت (معمولاً از یک سرعت فراصوتی به فروصوتی)، کوچک کردن سرعت نزول (فرود)، ایجاد پایداری (برای جلوگیری از لغزش وسیله)، فراهم آوردن سرعت‌های نزول مشخص و فراهم آوردن ارتفاع و زمان‌بندی مشخص برای مراحل مختلف فرود. علاوه بر آن کاربردهای نظامی، ورزشی و تفریحی نیز برای این بازدارنده‌ها عملیاتی شده‌اند. در این تحقیق جریان سیال اطراف بازدارنده‌ی شتاب که اصطلاحاً پاراشوت نامیده می‌شود، مدل‌سازی شده است. برای این منظور از سه مدل  $k-\epsilon$  تحقق‌پذیر، اسپالارت-آلماراس و  $sst\ k-\omega$  استفاده شده است. تحلیل عددی برای نیمکره‌ی صلب در چهار حالت بدون حفره در رأس و با حفره‌ی با قطر ۵٪، قطر نیمکره، ۱۰٪ و ۱۵٪ و سرعت‌های ورودی ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ متر بر ثانیه انجام شده است. نتایج حاصل از حل جریان شامل نیروی وارد بر چتر، ضریب پسا، شدت تلاطم و کانتورهای سرعت و فشار آورده شده‌اند. همچنین برای اعتبارسنجی داده‌ها، ضریب پسای عددی حاصل از سه مدل حل جریان با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردیده‌اند که مشخص شد روش  $k-\epsilon$  تحقق‌پذیر در پیش‌بینی ضریب پسا دقت بیشتری نسبت به دو مدل دیگر دارد. از نظر زمان اجرای حل با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام‌شده بیشترین زمان اجرا و تعداد تکرار برای مدل اسپالارت-آلماراس و کمترین زمان اجرا مربوط به مدل  $sst\ k-\omega$  می‌باشد. از نظر حافظه‌ی کامپیوتری با توجه به حل دو معادله‌ی اضافی در مدل‌های  $k-\epsilon$  تحقق‌پذیر و  $sst\ k-\omega$  و حل یک معادله در مدل اسپالارت-آلماراس بیشترین میزان حافظه‌ی مورد استفاده در مدل  $sst\ k-\omega$  و کمترین میزان توسط مدل اسپالارت-آلماراس مورد استفاده قرار می‌گیرد. اقدام دیگری در تنظیم پارامترهای نرم‌افزار به صورت فرض ناپایداری جریان در روش  $k-\epsilon$  تحقق‌پذیر نیز انجام شد که بعد از مدت زمان بسیار اندک، داده‌های نیروی پسا نوسان حول مقدار مشخصی را نشان داد و نتایج جریان پایدار را تأیید نمود. تأثیر قطر حفره و سرعت ورودی بر پارامترهای جریان از جمله سرعت و فشار نیز به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: پاراشوت،  $k-\epsilon$  تحقق‌پذیر، اسپالارت-آلماراس،  $sst\ k-\omega$ ، ضریب پسا.

## تقدیر و تشکر

آنچه هم اکنون به عنوان پایان نامه جهت دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک در گرایش تبدیل انرژی ارائه می‌شود، چیزی نیست جز حاصل زحمات و راهنمایی‌های روشنگر استاد عزیز و گرامی مرحوم آقای دکتر محمد جواد ایزدی و همچنین آقای دکتر محسن گودرزی که پس از ایشان افتخار بهره‌مندی از یاری و راهنمایی‌شان را داشتیم.

همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمدرضا حسنی آهنگر و آقای دکتر عقیلی و همکارانشان آقایان مهندس شمسعلی، ربیعی و کمال در مرکز تحقیقاتی آیرودینامیک قدر دانشگاه امام حسین (ع) که برای انجام آزمایش‌های تونل باد نهایت همکاری را با اینجانب داشتند، کمال تشکر و سپاس را دارم و دوستان خوبم آقایان مهندس محمدمهدی توکل و مهندس رضا روحی، که در شبیه‌سازی‌های عددی کمک شایانی نمودند و مهندس علی‌اکبر پاشازانوسی، مهندس میلاد برادران رزاز و مهندس پژمان حاذق فطرت‌جو، که در ویرایش این پایان نامه یار و یاورم بودند و بهترین‌ها را از خداوند متعال برایشان خواستارم.

عنوان	صفحه
<b>فصل اول: مقدمه و تاریخچه</b>	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- معنای لغوی	۲
۱-۳- هندسه و اجزای تشکیل دهنده	۳
۱-۴- تاریخچه‌ی ابداع و کاربردهای گذشته	۳
۱-۵- تقسیم‌بندی کلی پراشوت‌های کنونی	۷
۱-۶- انواع پراشوت‌ها	۸
۱-۶-۱- پراشوت‌های مدور	۸
۱-۶-۲- پراشوت‌های مکعب‌مسطی	۹
۱-۶-۳- پراشوت‌های حلقوی (بار متصل به رأس)	۱۰
۱-۶-۴- پراشوت‌های متورم Ram-Air	۱۱
۱-۷- تقسیم‌بندی انواع جریان‌های سیال	۱۳
۱-۷-۱- جریان‌های داخلی و خارجی	۱۳
۱-۷-۲- جریان‌های تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر	۱۴
۱-۷-۳- طبقه‌بندی اجسام	۱۵
۱-۷-۳-۱- طبقه‌بندی اجسام با مشخصه‌های میدان جریان	۱۶
۱-۷-۴- جریان‌های آرام و مغشوش	۱۹
۱-۸- مروری بر تحقیقات انجام شده	۲۱
۱-۹- هدف و مراحل انجام پروژه	۲۳
<b>فصل دوم: معادلات حاکم</b>	۲۵
۲-۱- مقدمه	۲۶
۲-۲- معادلات حاکم بر جریان سیالات (معادله‌ی پیوستگی و معادله‌ی ناویر-استوکس)	۲۶
۲-۳- ویژگی‌های کلی جریان‌های آشفته در مقایسه با جریان‌های آرام	۲۷
۲-۴- مدل‌های دو معادله‌ای دیفرانسیلی	۳۱
۲-۴-۱- مدل $k-\epsilon$	۳۱
۲-۴-۱-۱- معادلات مدل $k-\epsilon$	۳۳
۲-۴-۲- مدل $k-\epsilon$ استاندارد	۳۴
۲-۴-۳- مدل $k-\epsilon$ تحقق‌پذیر	۳۶
۲-۴-۴- مدل $k-\omega$ SST	۳۹
۲-۴-۵- مدل اسپالارت آماراس	۴۰
<b>فصل سوم: شبکه‌بندی</b>	۴۱
۳-۱- مقدمه	۴۲
۳-۲- روش حل عددی	۴۲
۳-۳- گسسته‌سازی میدان حل	۴۴
۳-۴- گسسته‌سازی معادلات حاکم	۴۴
۳-۵- روش خطی‌سازی ضمنی در مقابل روش صریح	۴۷
۳-۶- انفصال معادلات	۴۸

۴۹.....	۳-۷- میان یابی فشار.....
۵۰.....	۳-۸- وابستگی سرعت- فشار.....
۵۱.....	۳-۹- قراردادن فاکتورهای زیرتخفیف.....
۵۲.....	۳-۱۰- محاسبه گر یکدفته و دودفته.....
۵۲.....	۳-۱۱- توپولوژی شبکه.....
۵۳.....	۳-۱۲- انتخاب شبکه‌ی مناسب.....
۵۴.....	۳-۱۳- شبیه‌سازی اغتشاشات.....
۵۵.....	۳-۱۴- تعریف مانده‌ها (به عنوان معیاری برای همگرایی).....
۵۵.....	۳-۱۵- تعیین پارامترهای اغتشاشی.....
۵۶.....	۳-۱۵-۱- شدت اغتشاش.....
۵۶.....	۳-۱۵-۲- مقیاس طول اغتشاش و قطر هیدرولیکی.....
۵۷.....	۳-۱۵-۳- نسبت لزجت اغتشاش.....
۵۷.....	۳-۱۵-۴- روابط موجود برای محاسبه‌ی کمیت‌های اغتشاشی.....
۵۷.....	۳-۱۵-۵- محاسبه‌ی انرژی جنبشی اغتشاشی از شدت اغتشاش.....
۵۸.....	۳-۱۵-۶- محاسبه نرخ اتلاف اغتشاش از مقیاس طول.....
۵۸.....	۳-۱۷- ایجاد شبکه برای هندسه‌ی جریان مورد حل.....
۵۹.....	۳-۱۸- روش حل و شرایط مرزی.....
۶۱.....	۳-۱۹- تعریف مسأله.....
۶۴.....	<b>فصل چهارم: نتایج و بحث</b> .....
۶۵.....	۴-۱- مقدمه.....
۶۵.....	۴-۲- کانتورهای سرعت.....
۶۹.....	۴-۳- کانتورهای فشار.....
۷۱.....	۴-۴- مطالعه‌ی شبکه.....
۷۲.....	۴-۵- نتایج حاصل برای نیروهای وارده با استفاده از سه مدل تلاطم.....
۸۳.....	۴-۶- بررسی شدت تلاطم.....
۹۱.....	۴-۷- مقایسه‌ی مدل‌ها از نظر زمان اجرا و حافظه‌ی مورد نیاز.....
۹۱.....	۴-۸- اعتبارسنجی با نتایج عددی.....
۹۴.....	۴-۹- اعتبارسنجی با نتایج آزمایشگاهی و تست‌های تونل باد.....
۹۹.....	۴-۱۰- تحلیل خطای حاصل از سه روش حل در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی.....
۹۹.....	۴-۱۱- نتایج حاصل از فرض ناپایداری جریان.....
۱۰۱.....	<b>فصل پنجم: نتیجه‌گیری</b> .....
۱۰۲.....	۵-۱- خلاصه‌ی نتایج حل نرم‌افزاری.....
۱۰۴.....	۵-۲- پیشنهاد جهت ادامه‌ی کار.....
۱۰۵.....	<b>پیوست</b> .....
۱۳۹.....	<b>منابع</b> .....



## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: تصویر مربوط به پاراشوت فاوست و رانکیچ.....	۴
شکل ۱-۲: تصویر مربوط به پرواز اندرو گارنرین.....	۵
شکل ۱-۳: تصویر سه‌نمایی مربوط به پاراشوت اندرو گارنرین.....	۵
شکل ۱-۴: نمونه‌ای از یک پاراشوت ورزشی.....	۷
شکل ۱-۵: پاراشوت مدور از نوع <i>MCI-IC</i> مورد استفاده در کاربرد نظامی.....	۹
شکل ۱-۶: پاراشوت مدور از نوع <i>T-10</i> مورد استفاده در کاربردهای نظامی.....	۹
شکل ۱-۷: پاراشوت مکعب‌مستطیلی از نوع <i>T-11</i> مورد استفاده در کاربردهای نظامی.....	۱۰
شکل ۱-۸: نمونه‌ای از پاراشوت حلقوی.....	۱۱
شکل ۱-۹: نمونه‌ای از پاراگلایدر.....	۱۲
شکل ۱-۱۰: نمونه‌ای از پاراشوت متورم.....	۱۲
شکل ۱-۱۱: طرح شماتیکی از میدان جریان اطراف یک جسم سه‌بعدی <i>Bluff</i> .....	۱۶
شکل ۱-۱۲: نمونه‌ای از اجسام: (راست) آیرودینامیک و (چپ) <i>Bluff</i> .....	۱۸
شکل ۱-۱۳: میدان جریان اطراف: (راست) ایرفویل و (چپ) سیلندر.....	۱۸
شکل ۱-۱۴: رشد لایه‌ی مرزی در جریان روی یک صفحه‌ی تخت.....	۱۹
شکل ۲-۱: لایه‌ی مرزی آشفته و چگونگی تعیین ضخامت آن.....	۲۷
شکل ۲-۲: سرعت لحظه‌ای برای جریان آشفته بر روی یک صفحه‌ی تخت.....	۲۸
شکل ۲-۳: گردابه‌ها در یک جریان آشفته و چگونگی توزیع کمیت‌های فیزیکی در داخل جریان.....	۲۹
شکل ۲-۴: پروفیل سرعت جریان بر روی یک صفحه‌ی تخت.....	۳۰
شکل ۲-۵: پروفیل سرعت جریان در داخل لوله.....	۳۰
شکل ۳-۱: المان‌های سه‌بعدی بهکار رفته در شبکه‌بندی هیبرید به ترتیب از چپ به راست مکعبی، منشوری و هرمی.....	۴۴
شکل ۳-۲: شبکه‌بندی چتر (نیم‌گِره‌ی صلب).....	۶۱
شکل ۳-۳: (چپ) نمای برش‌خورده شبکه‌بندی میدان جریان در صفحه‌ی $x-z$ و (راست) نمای بزرگ‌شده برای چتر بدون حفره.....	۶۲
شکل ۳-۴: (چپ) نمای برش‌خورده شبکه‌بندی میدان جریان در صفحه‌ی $x-z$ و (راست) نمای بزرگ‌شده برای چتر شامل حفره.....	۶۲
شکل ۳-۵: نمای برش‌خورده‌ی شبکه‌بندی میدان جریان در صفحه‌ی $x-y$ در قسمت پشت چتر.....	۶۳
شکل ۴-۱: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۰٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش $k-\epsilon$ تحقق‌پذیر.....	۶۶
شکل ۴-۳: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش $sst\ k-\omega$ .....	۶۷
شکل ۴-۴: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس.....	۶۷
شکل ۴-۵: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش $k-\epsilon$ تحقق‌پذیر.....	۶۸
شکل ۴-۶: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۵٪ در سرعت ۳۰ متر بر ثانیه با روش $sst\ k-\omega$ .....	۶۸
شکل ۴-۷: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۰٪ در سرعت ۳۰ متر بر ثانیه با روش $sst\ k-\omega$ .....	۶۸
شکل ۴-۸: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش $sst\ k-\omega$ .....	۷۰
شکل ۴-۹: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس.....	۷۰
شکل ۴-۱۰: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش $k-\epsilon$ تحقق‌پذیر.....	۷۰
شکل ۴-۱۱: نمودار مطالعه‌ی شبکه بر اساس نیروی وارده به چتر بدون حفره در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش $k-\epsilon$ تحقق‌پذیر.....	۷۲
شکل ۴-۱۲: نمودار مقایسه‌ی نیروی کل بر حسب روش حل برای چتر بدون حفره در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه.....	۷۳

- شکل ۱۳-۴: نمودار مقایسه‌ی نیروی کل بر حسب روش حل برای چتر بدون حفره در سرعت ۳۰ متر بر ثانیه. .... ۷۵
- شکل ۱۴-۴: نمودار مقایسه‌ی نیروی کل بر حسب سرعت برای چتر بدون حفره با روش  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر. .... ۷۵
- شکل ۱۵-۴: نمودار مقایسه‌ی ضرایب پسا بر حسب سرعت برای چتر بدون حفره با روش  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر. .... ۷۶
- شکل ۱۶-۴: نمودار مقایسه‌ی نیروی کل بر حسب روش حل برای چتر با سوراخ با نسبت قطر ۵٪ در سرعت جریان ۱۰ متر بر ثانیه. .... ۷۸
- شکل ۱۷-۴: نمودار مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر با سوراخ با قطر سوراخ ۵٪ قطر چتر در سرعت‌ها و روش‌های مختلف. .... ۷۹
- شکل ۱۸-۴: نمودار مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر با سوراخ با قطر سوراخ ۱۰٪ قطر چتر در سرعت‌ها و روش‌های مختلف. .... ۸۰
- شکل ۱۹-۴: نمودار مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر با سوراخ با قطر سوراخ ۱۵٪ قطر چتر در سرعت‌ها و روش‌های مختلف. .... ۸۱
- شکل ۲۰-۴: نمودار بررسی اثر قطر حفره بر نیروهای وارده به چتر در سرعت‌های مختلف با استفاده از روش  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر. .... ۸۲
- شکل ۲۱-۴: نمودار بررسی اثر قطر حفره بر نیروهای وارده به چتر در سرعت‌های مختلف با استفاده از مدل اسپالارت-آلماراس. .... ۸۳
- شکل ۲۲-۴: نمودار بررسی اثر قطر حفره بر روی نیروهای وارده به چتر در سرعت‌های مختلف با استفاده از مدل  $k-\omega$  SST. .... ۸۳
- شکل ۲۳-۴: نمودار مقایسه‌ی شدت تلاطم به‌دست آمده از مدل  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر برای چتر بدون سوراخ در سرعت‌های مختلف. .... ۸۵
- شکل ۲۴-۴: مقایسه‌ی شدت تلاطم برای چتر بدون حفره و با حفره در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با استفاده از مدل  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر. .... ۸۶
- شکل ۲۵-۴: مقایسه‌ی شدت تلاطم برای چتر بدون حفره و با حفره در سرعت ۳۰ متر بر ثانیه با استفاده از مدل  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر. .... ۸۷
- شکل ۲۶-۴: مقایسه‌ی شدت تلاطم برای چتر بدون سوراخ و چتر سوراخ دار در سرعت ۳۰ متر بر ثانیه با استفاده از مدل  $k-\omega$  SST. .... ۸۸
- شکل ۲۷-۴: مقایسه‌ی شدت تلاطم برای چتر حفره‌دار با قطر متفاوت در سرعت ۵۰ متر بر ثانیه با استفاده از مدل  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر. .... ۸۹
- شکل ۲۸-۴: مقایسه‌ی شدت تلاطم برای چتر با قطر سوراخ ۱۵٪ قطر در سرعت‌های مختلف با استفاده از مدل  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر. .... ۹۰
- شکل ۲۹-۴: نمودار ضریب پسا بر حسب نسبت قطر حفره به قطر نیمکره بر اساس داده‌های عددی مرجع (۲۸). .... ۹۲
- شکل ۳۰-۴: نمودار ضریب پسا بر حسب قطر حفره در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه. .... ۹۲
- شکل ۳۱-۴: نمودار ضریب پسا بر حسب قطر حفره در سرعت ۳۰ متر بر ثانیه. .... ۹۳
- شکل ۳۲-۴: نمودار ضریب پسا بر حسب قطر حفره در سرعت ۵۰ متر بر ثانیه. .... ۹۳
- شکل ۳۳-۴: نمودار ضریب پسا بر حسب قطر حفره در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه. .... ۹۳
- شکل ۳۴-۴: نمای بالایی و جانبی مدل چتر صلب. .... ۹۴
- شکل ۳۵-۴: بالانس برای اندازه‌گیری نیروهای وارده بر مدل. .... ۹۴
- شکل ۳۶-۴: نمایی از محفظه‌ی خروجی تونل باد. .... ۹۵
- شکل ۳۷-۴: مدل متصل به بالانس، آماده برای انجام تست از نمای جانبی. .... ۹۵
- شکل ۳۸-۴: مدل متصل به بالانس، آماده برای انجام تست از نمای پشت. .... ۹۶
- شکل ۳۹-۴: مدل متصل به بالانس، آماده برای انجام تست از نمای روبرو. .... ۹۶
- شکل ۴۰-۴: مدل دارای زاویه حمله در سرعت‌های بالاتر از ۲۰ متر بر ثانیه. .... ۹۷
- شکل ۴۱-۴: نمودار ضریب پسای آزمایشگاهی بر حسب سرعت و مقایسه با داده‌های نرم‌افزاری در سرعت معادل ۱۰ متر بر ثانیه. .... ۹۸
- شکل ۴۲-۴: نمودار تغییرات نیرو بر حسب زمان برای چتر با حفره‌ی ۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه. .... ۱۰۰
- شکل ۴۳-۴: نمودار تغییرات نیرو بر حسب زمان برای چتر با حفره‌ی ۱۰٪ در سرعت ۵۰ متر بر ثانیه. .... ۱۰۰
- شکل پ-۱: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\omega$  SST. .... ۱۰۶
- شکل پ-۲: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس. .... ۱۰۶
- شکل پ-۳: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر. .... ۱۰۷
- شکل پ-۴: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۰٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\omega$  SST. .... ۱۰۷
- شکل پ-۵: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۰٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس. .... ۱۰۷
- شکل پ-۶: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۱۰٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\varepsilon$  تحقق‌پذیر. .... ۱۰۸
- شکل پ-۷: کانتور سرعت چتر با حفره‌ی ۵٪ در سرعت ۷۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\omega$  SST. .... ۱۰۸





- شکل پ-۸۴: کانتور فشار چتر بدون حفره در سرعت ۳۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\varepsilon$  تحقق پذیر. .... ۱۳۴
- شکل پ-۸۵: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\omega$  SST. .... ۱۳۴
- شکل پ-۸۶: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس. .... ۱۳۴
- شکل پ-۸۷: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۱۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\varepsilon$  تحقق پذیر. .... ۱۳۵
- شکل پ-۸۸: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۱۰٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\omega$  SST. .... ۱۳۵
- شکل پ-۸۹: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۱۰٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس. .... ۱۳۵
- شکل پ-۹۰: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۱۰٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\varepsilon$  تحقق پذیر. .... ۱۳۶
- شکل پ-۹۱: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\omega$  SST. .... ۱۳۶
- شکل پ-۹۲: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس. .... ۱۳۶
- شکل پ-۹۳: کانتور فشار چتر با حفره‌ی ۵٪ در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\varepsilon$  تحقق پذیر. .... ۱۳۷
- شکل پ-۹۴: کانتور فشار چتر بدون حفره در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\omega$  SST. .... ۱۳۷
- شکل پ-۹۵: کانتور فشار چتر بدون حفره در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس. .... ۱۳۷
- شکل پ-۹۶: کانتور فشار چتر بدون حفره در سرعت ۱۰ متر بر ثانیه با روش  $k-\varepsilon$  تحقق پذیر. .... ۱۳۸

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱: مطالعه‌ی شبکه (شبکه دارای ۸۰۰,۰۰۰ سلول) بر اساس نیروی وارده به چتر.....	۷۱
جدول ۴-۲: مطالعه‌ی شبکه (شبکه دارای ۱,۱۰۰,۰۰۰ سلول) بر اساس نیروی وارده به چتر.....	۷۱
جدول ۴-۳: مطالعه‌ی شبکه (شبکه دارای ۱,۴۰۰,۰۰۰ سلول) بر اساس نیروی وارده به چتر.....	۷۲
جدول ۴-۴: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر بدون سوراخ در سرعت جریان ۱۰ متر بر ثانیه با روش $k-\varepsilon$ تحقق‌پذیر.....	۷۳
جدول ۴-۵: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر بدون سوراخ در سرعت جریان ۱۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس.....	۷۳
جدول ۴-۶: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر بدون سوراخ در سرعت جریان ۱۰ متر بر ثانیه با روش $k-\omega$ SST.....	۷۳
جدول ۴-۷: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر بدون سوراخ در سرعت جریان ۳۰ متر بر ثانیه با روش $k-\varepsilon$ تحقق‌پذیر.....	۷۴
جدول ۴-۸: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر بدون سوراخ در سرعت جریان ۳۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس.....	۷۴
جدول ۴-۹: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر بدون سوراخ در سرعت جریان ۳۰ متر بر ثانیه با روش $k-\omega$ SST.....	۷۴
جدول ۴-۱۰: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر بدون سوراخ در سرعت‌های مختلف.....	۷۵
جدول ۴-۱۱: مقایسه‌ی ضریب درگ برای چتر بدون سوراخ در سرعت‌های مختلف با روش $k-\varepsilon$ تحقق‌پذیر.....	۷۶
جدول ۴-۱۲: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر با سوراخ با نسبت قطر ۵٪ در سرعت جریان ۱۰ متر بر ثانیه با روش $k-\varepsilon$ تحقق‌پذیر.....	۷۷
جدول ۴-۱۳: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر با سوراخ با نسبت قطر ۵٪ در سرعت جریان ۱۰ متر بر ثانیه با روش اسپالارت-آلماراس.....	۷۷
جدول ۴-۱۴: مقایسه‌ی نیروهای وارده به چتر با سوراخ با نسبت قطر ۵٪ در سرعت جریان ۱۰ متر بر ثانیه با روش $k-\omega$ SST.....	۷۸
جدول ۴-۱۵: مقایسه‌ی کل نیروهای وارده به چتر با سوراخ با قطر سوراخ ۵٪ قطر چتر در سرعت‌های مختلف.....	۷۸
جدول ۴-۱۶: مقایسه‌ی کل نیروهای وارده به چتر سوراخ‌دار با قطر ۱۰٪ قطر چتر در سرعت‌های مختلف.....	۷۹
جدول ۴-۱۷: مقایسه‌ی کل نیروهای وارده به چتر سوراخ‌دار با قطر ۱۵٪ قطر چتر در سرعت‌های مختلف.....	۸۰
جدول ۴-۱۸: بررسی اثر قطر سوراخ بر روی نیروهای وارده به چتر در سرعت‌های مختلف با استفاده از مدل $k-\varepsilon$ تحقق‌پذیر.....	۸۱
جدول ۴-۱۹: بررسی اثر قطر سوراخ بر روی نیروهای وارده به چتر در سرعت‌های مختلف با استفاده از مدل اسپالارت-آلماراس.....	۸۲
جدول ۴-۲۰: بررسی اثر قطر سوراخ بر روی نیروهای وارده به چتر در سرعت‌های مختلف با استفاده از مدل $k-\omega$ SST.....	۸۲
جدول ۴-۲۱: نیروی خالص تجربی وارد بر چتر، خوانده‌شده از خروجی بالانس.....	۹۸
جدول ۴-۲۲: درصد خطای ناشی از روش‌های حل در مقایسه با نتیجه‌ی آزمایش تجربی در سرعت معادل ۱۰ متر بر ثانیه.....	۹۹

## فهرست علائم

علامت	شرح
$P$	فشار
$\rho$	چگالی
$R$	ثابت جهانی گازها
$T$	دمای مطلق
$a$	سرعت صوت
$\gamma$	نسبت ظرفیت‌های گرمایی گاز
$M$	عدد ماخ
$V$	سرعت جریان آزاد
$\mu$	لزجت سینماتیکی
$\mu_t$	لزجت اغتشاش
$D$	قطر نیمکره
$x$	طول مشخصه
$Re$	عدد رینولدز
$u$	سرعت در راستای $x$
$v$	سرعت در راستای $y$
$w$	سرعت در راستای $z$
$B$	نیروی شناوری
$\delta_{ij}$	دلتای کرونیکر
$\zeta$	ضریب دوم لزجت
$k$	انرژی جنبشی لحظه‌ای اغتشاش
$K$	انرژی جنبشی متوسط اغتشاش
$\varepsilon$	نرخ انرژی استهلاکی
$C_\mu$	ثابت
$\sigma_k$	ثابت
$\sigma_\varepsilon$	ثابت
$C_{1\varepsilon}$	ثابت
$C_{2\varepsilon}$	ثابت
$e_{ij}$	تانسور نرخ تغییر شکل لحظه‌ای اغتشاش
$E_{ij}$	تانسور نرخ تغییر شکل متوسط
$\ell$	طول مشخصه اغتشاش
$\Omega_{ij}$	تانسور نرخ چرخش متوسط
$G_k$	نرخ تولید انرژی جنبشی متلاطم

# فصل ۱

## مقدمه و تاریخچه



### ۱-۱- مقدمه

در آغاز، تاریخچه‌ی ابداع و ساخت پاراشوت‌ها معرفی خواهند شد. سپس مختصری درباره‌ی کاربردهای کنونی و گونه‌هایی از انواع آن آورده خواهد شد. در ادامه به تقسیم‌بندی جریان‌های سیال و مقدمات مرتبط با مطالبی که بیان خواهند شد پرداخته می‌شود. سپس به کارهایی که در مطالعه و تحلیل جریان‌های اطراف پاراشوت در قالب کارهای عددی و آزمایشگاهی انجام شده است، اشاره گردیده و در پایان فصل، هدف و مراحل انجام پروژه بیان می‌شوند.

### ۱-۲- معنای لغوی

در فرهنگ لغت معنای لغوی پاراشوت اینگونه است:

وسيله‌ای است متصل به اشخاص یا اشیاء برای اینکه هنگامی که از یک هواپیما رها می‌شوند، آرام و با اطمینان (بدون خطر) سقوط کنند و متشکل از قطعه‌ای بزرگ با پارچه‌ای نازک است که با باز شدن در هوا شکلی چترگونه را پدید می‌آورد.

### ۳-۱- هندسه و اجزای تشکیل دهنده

هر پاراشوت متشکل از سه قسمت که در تمام پاراشوت‌ها مشترک می‌باشند، به عنوان اجزای اصلی تشکیل دهنده می‌باشد که عبارتند از: ۱- چتر<sup>۱</sup> ۲- نوارهای آویز<sup>۲</sup> و ۳- جسم پرنده<sup>۳</sup> که توسط آن سقوط می‌کند و می‌تواند شخص یا اشخاصی نیز باشد. قابل ذکر است که حفره‌ای به عنوان جزء چهارم ولی غیر مشترک در تمام انواع، در چتر می‌تواند تعبیه می‌شود که هدف آن پایداری و کاهش نوسانات هنگام سقوط است.

### ۴-۱- تاریخچه‌ی ابداع و کاربردهای گذشته

طبق گزارشات مندرج در سایت ویکیپدیا<sup>۴</sup> (تا پایان بخش (۶-۱)) نوشته‌های معتبر تاریخی اختراع اولین گونه‌ی عملی پاراشوت‌ها را مربوط به سباستین لنورمند<sup>۵</sup> می‌دانند که اصول آن را در سال ۱۷۸۳ معرفی و تشریح نمود. اما اول‌بار توسط لئوناردو داوینچی<sup>۶</sup> (۱۴۵۲-۱۵۱۹) طراحی و به تصویر کشیده شده بودند.

با بررسی‌های تاریخی دیده می‌شود که شخصی کروات به نام فاوست ورانکیچ<sup>۷</sup>، پاراشوت‌هایی بر اساس طراحی‌های داوینچی ساخته بود که در شکل (۱-۱) دیده می‌شود. وی از برج ونیز در سال ۱۶۱۷ توسط پاراشوتی با سایبان صلب پرید. او سپس کتابی منتشر کرد که در آن با شرح جزئیات و عکس‌هایی به معرفی اختراع خود به نام هومو-ولانس<sup>۸</sup> پرداخت.

<sup>1</sup> Canopy

<sup>2</sup> Ribs

<sup>3</sup> Object

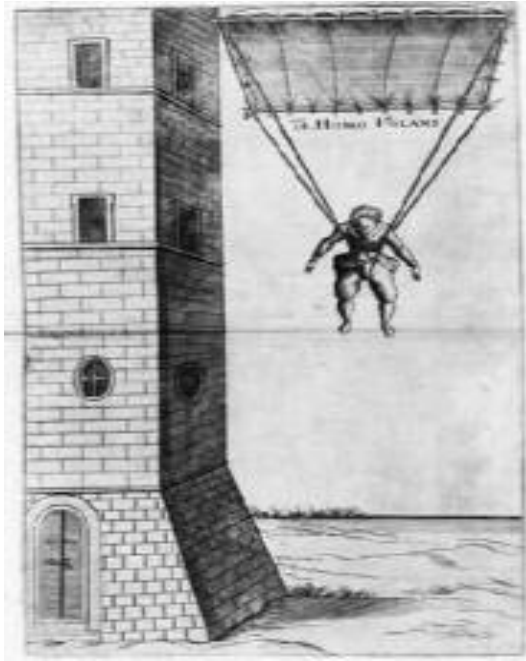
<sup>4</sup> www.wikipedia.org

<sup>5</sup> Sebastian Lenormand

<sup>6</sup> Leonardo Da Vinci

<sup>7</sup> Faust Vrankic

<sup>8</sup> Homo Volans



شکل ۱-۱: تصویر مربوط به پاراشوت فوست وراتکیچ.

در سال ۱۷۹۳ بلانشارد<sup>۱</sup> تایید کرد که با سقوط توسط پاراشوت از بالونی که دچار انفجار شده بود، به سلامت گریخته است. در حالی که این حادثه فاقد شاهدی غیر از خود وی بود. قابل توجه است که وی اولین کسی بود که پاراشوتی انعطاف‌پذیر و تاشونده را از جنس ابریشم ساخت و به کار برد.

در ۲۲ اکتبر ۱۷۹۷ اندرو گارنرین<sup>۲</sup> اولین کسی بود که بر اساس مستندات تاریخی توسط پاراشوتی غیر صلب پرید. وی از بالونی که در ارتفاع ۸۰۰۰ پایی پرواز می‌کرد، این کار را انجام داد. در شکل‌های (۱-۲) و (۱-۳) پاراشوت وی به تصویر کشیده شده است. همچنین او اولین کسی بود که حفره‌ای به عنوان مجرای عبور هوا برای کاهش نوسانات هنگام سقوط در ساخته‌ی خود تعبیه کرد. قطر سایبان پاراشوت وی حدود ۳۰ فوت و جنس آن از پارچه‌ای کتان بود.

<sup>۱</sup> Blanchard

<sup>۲</sup> Andrew Garnerin



شکل ۲-۱: تصویر مربوط به پرواز اندرو گارنرین.



شکل ۳-۱: تصویر سه‌نمایی مربوط به پاراشوت اندرو گارنرین.