بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

# شبیه سازی جریان لزج آشفته در اطراف یک بالواره هوشمند و بررسی اثر آن بر ضرایب آیرودینامیکی

نگارنده:

علی اسماعیلی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی هوا فضا گرایش آیرودینامیک

استاد راهنما:

دکتر محمد حسن جوارشکیان

شهریورماه ۱۳۹۰

بسمه تعالی

دانشگاه فردوسی مشهد

# صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه آقای/خانم علی اسماعیلی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا گرایش آیرودینامیک در ساعت ۱۲ روز ۱۳۹۰/۶/۳۰ در محل کلاس ۲۱۲ دانشکده مهندسی با حضور امضا کنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی های لازم، هیأت داوران پایان نامه نامبرده را با نمره به عدد ۲۰ ، به حروف بیست و با درجه عالی مورد تأیید قرار داد / نداد.

## عنوان رساله

**شبیه سازی جریان لزج آشفته در اطراف یک بالواره هوشمند و بررسی اثر آن بر ضرایب آیرودینامیکی**

هیئت داوران امضا

- **داور: دکتر محمود پسندیده‌فرد**

  **دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد**

- **داور: دکتر احسان روحی**

  **استادیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد**

- **داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر محمد پسندیده‌فرد**

  **دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد**

- **استاد راهنما: دکتر محمدحسن جوارشکیان**

  **دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد**

- **مدیر گروه: دکتر حمید نیازمند**

  **دانشیار گروه مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد**

## اظهارنامه

اینجانب علی اسماعیلی دانشجوی دوره دکتری/کارشناسی ارشد رشته مهندسی هوافضا-آیرودینامیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده رساله/پایان نامه شبیه سازی جریان لزج آشفته در اطراف یک بالواره هوشمند و بررسی اثر آن بر ضرایب آیرودینامیکی تحت راهنمایی دکتر محمدحسن جوارشکیان متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این رساله/پایان نامه 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 رساله/پایان نامه 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 فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه فردوسی مشهد » و یا « Ferdowsi University of Mashhad » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله/پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله/ پایان نامه رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله/پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله/پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۰/۶/۳۰ امضای دانشجو

## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله/پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما: دکتر محمدحسن جوارشکیان

تاریخ: ۱۳۹۰/۶/۳۰

سپاس برای خداست، او که آموخت سپاسگزاری را؛ شاید که شکرگزار باشیم...

ما همواره می نویسیم، می شنویم و می بینیم؛ از میان این همه فعل چرا معنای یکی را نمی دانیم آن طور که باید؟! شاید به خاطر این است که می نویسیم بی آنکه ببینیم. شاید هنوز به این حرف شهید همت نرسیده ایم که؛

«باشیم برای رضای خدا».

و اما پنجره باز است، خورشید در جریان است، نردبان استوار ایستاده است؛ همه ملتمسانه برای تو ست. همه آکنده از برای تو بودن و برای تو ماندن است.

قلم! آرامش بگیر. با نقش های مرکب خود گزاره ها را به هم پیوند ده، و مصمم به حرکت در آی.

پروردگارا باز شاکرم که به من قلم دادی و دستی برای نوازش آن؛ برای راندن آن. به امید آنکه پنجره را تصویر کند نردبان و پله هایش را نقاشی نماید و التماس امید و فروغ نگاه را توصیف؛ تو به آن جان بده و بر تاثیر آن بیفزای.

اکنون که با یاری پروردگار متعال نگارش این پژوهش به اتمام رسیده بر خود واجب می دانم صمیمانه از استاد ارجمندم که در طول تحصیل و انجام این تحقیق همواره اینجانب را یاری نمودند؛ صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. مراتب سپاس و تقدیر خود را از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر حوار شکیان که در طول این تحقیق با عنایت و راهنمایی های ارزشمند خود راه گشای کارم بوده اند، اعلام می دارم و سلامتی و سرافرازی را برایشان آرزومندم.

تقدیم به

# پدر و مادر عزیزم

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است.

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید.

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

**بسمه تعالی .**

**مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی دانشجویان .**

**دانشگاه فردوسی مشهد**

**عنوان رساله/پایان نامه: شبیه سازی جریان لزج آشفته در اطراف یک بالواره هوشمند و بررسی اثر آن بر ضرایب آیرودینامیکی**

**نام نویسنده: علی اسماعیلی**

**نام استاد راهنما: دکتر محمدحسن جوارشکیان**

| | | |
|---|---|---|
| **دانشکده : مهندسی** | **گروه: مکانیک** | **رشته تحصیلی: هوافضا-آیرودینامیک** |
| **تاریخ تصویب:** | | **تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۶/۳۰** |
| **مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد ○ دکتری ×** | | **تعداد صفحات: ۱۸۳** |

**چکیده رساله/پایان نامه:** در این تحقیق یک نرم افزار دو بعدی برای شبیه سازی جریان لزج آشفته غیر قابل تراکم در اطراف یک بالواره هوشمند نزدیک زمین توسط یک روش عددی حجم محدود با استفاده از الگوریتم فشار مبنا و با یک تکنیک مرتبه بالا بر مبنای متغیرهای بی بعد شده توسعه داده شده است. برای شبیه سازی بالواره های هوشمند از روش معادل سازی استفاده شده و مقایسه ای بین بالچه هوشمند و معمولی صورت گرفته است. همچنین این مقایسه به ازای فواصل مختلف بالواره از سطح زمین، زاویه حمله بالواره و زاویه تغییر شکل بالچه صورت گرفته و اثر آن ها بر ضرایب آیرودینامیکی بررسی شده است. نوآوری دیگر در این پایان نامه، طراحی یک سیستم معکوس می باشد که ترکیبی از مدل نیورو-فازی(Neuro-Fuzzy) و الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) می باشد. بر اساس این سیستم معکوس طراحی شده بهینه سازی انجام می شود. ابتدا از بهینه سازی برای یافتن مقطع مناسب در پدیده های اثر سطحی استفاده می شود و شرایط مناسب عملکردی وسیله پرنده در پدیده های اثر سطحی بدست می آید، به طوری که ماکزیمم عملکرد آن وسیله در این شرایط حاصل می شود. ایده دیگری که ارائه شده است، شبیه سازی جریان حول بالواره با زاویه تغییر شکل مثبت (که در اسپویلر خودرو ها استفاده می شود) می باشد، به طوری که این بالواره ها از جنس مواد هوشمند می باشند. نتایج حاکی از افزایش عملکردی بالواره های هوشمند در مقایسه با نوع معمولی است. در قسمت پیوست (الف) نیز مقایسه اثرات دوبعدی و سه بعدی جریان در زوایای حمله مختلف، فواصل مختلف و نسبتهای منظری متفاوت با یکدیگر پرداخته شده است. اثر بالچه هوشمند و معمولی در حالت دو بعدی و سه بعدی مقایسه گردیده و تاثیر استفاده از مواد هوشمند بر گردابه ها و نیرو های آیرودینامیکی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در پیوست (ب) نیز شبیه سازی جریان حول هیدروفویل غوطه ور در آب انجام شده و اثر ضخامت، انحنای هیدروفویل ها، عمق غوطه وری و زاویه حمله مورد بررسی قرار گرفته و به کمک مدل نیورو-فازی رفتار هیدروفویل پیش بینی شده است. در پایان نیز به کمک الگوریتم بهینه سازی، بهینه ترین حالت عملکردی بدست آمده است.

**کلید واژه:**

**۱. مواد هوشمند**

**۲. بالچه**

**۳. بهینه سازی**

**۴. نزدیک سطح**

**۵. سیستم معکوس**

**امضای استاد راهنما:**

**تاریخ:**

# فهرست مطالب


**فصل ۱: مقدمه و مروری بر منابع** ۱

۱-۱- کاربرد مواد هوشمند در صنعت هوا فضا ۱

۱-۱-۱- مقدمه‌ای بر مواد هوشمند ۱

۱-۱-۲- تعریف مواد هوشمند ۲

۱-۱-۳- تاریخچه‌ی آلیاژهای حافظه دار ۳

۱-۱-۴- ویژگی‌های آلیاژهای حافظه دار و اثر حافظه شکلی ۴

۱-۱-۵- تاریخچه کاربرد مواد هوشمند در صنایع هوافضا ۵

۱-۲- پدیده اثر سطحی ۱۲

۱-۳- هدف از تحقیق پیش رو ۱۷

**فصل ۲: معادلات و گسسته‌سازی** ۱۸

۲-۱- مقدمه ۱۹

۲-۲- معادلات حاکم بر جریان سیال ۱۹

۲-۲-۱- معادلات بقاء یا انتقال ۲۰

۲-۲-۲- معادله پیوستگی، اصل بقاء جرم ۲۱

۲-۲-۳- معادله مومنتوم، معادله ناویر- استوکس ۲۱

۲-۲-۴- موقعیت متغیرها و شبکه ۲۱

۲-۲-۵- گسسته سازی معادلات حاکم ۲۲

۲-۲-۶- روش‌های درون‌یابی و برون‌یابی ۲۵

۲-۲-۷- معادلات حاکم در جریانات آشفته ۲۹

۲-۲-۸- روش حل معادلات جریان ۳۳

۲-۳- شبیه سازی مواد هوشمند ۳۷

۲-۴- مدل نیورو فازی ۴۰

۲-۵- الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ۴۳

۲-۶- طراحی سیستم معکوس ۴۷

**فصل ۳: نتایج و بحث** ۵۰

۳-۱- مقدمه ۵۱

۳-۲- حوزه حل و شبکه محاسباتی ۵۱

۳-۳- شرایط مرزی ۵۴

۳-۴- پارامترهای حل عددی ..... ۵۵
۳-۵- اعتبار سنجی و مقایسه با دادههای منتشر شده ..... ۵۶
۳-۶- بهینه سازی بالواره در نزدیکی سطح زمین ..... ۵۸
۳-۷- شبیه سازی بالواره با بالچه هوشمند و معمولی در نزدیکی سطح زمین ..... ۶۹
۳-۸- شبیه سازی بالواره به همراه بالچه معمولی و هوشمند با زاویه مثبت ..... ۸۶

**فصل ٤:** **۱۰۱**

**جمع بندی و ارائه پیشنهادات** **۱۰۱**
۴-۱- مقدمه ..... ۱۰۲
۴-۲- پیشنهادها ..... ۱۰۳

**پیوست الف** **۱۰٤**
۱-شبیه سازی بال با بالچه هوشمند و معمولی در نزدیکی سطح زمین ..... ۱۰۵
۲-حوزه حل، شبکه بندی و شرایط مرزی ..... ۱۰۵
۳-بررسی اثر بالچه هوشمند و معمولی ..... ۱۰۸

**پیوست ب** **۱۱۹**
۱-مقدمه ..... ۱۲۰
۲-روش درصد سیال ..... ۱۲۳
۳-شبکه بندی و شرایط مرزی ..... ۱۲۳
۴-تحلیل پارامترهای موثر بر عملکرد هیدروفویل ..... ۱۲۶
۵-پیشگویی رفتار هیدروفویل با استفاده از مدل نیورو فازی ..... ۱۳۵
۶-بهینه سازی هیدروفویل با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ..... ۱۴۴

**مراجع** **۱۵۱**

# فهرست اشکال

شکل (۱-۱) خاصیت حافظه‌ی شکلی آلیاژ حافظه‌دار. ۵
شکل (۱-۲) طرح کلی کنترل شکل در لبه‌های حمله و فرار یک بالواره با استفاده از مکانیزم‌های مکمل. ۷
شکل (۱-۳) سطوح کنترل لبه فرار در حالت معمولی و تغییر شکل پذیر. ۸
شکل (۱-۴) معادل سازی سطح کنترل لبه فرار. ۸
شکل (۱-۵) الهام گرفتن از پتروسر برای بال‌های هوشمند. ۹
شکل (۱-۶) نتایج حاصله در قسمت نوک بال بر حسب زاویه حمله‌های مختلف. ۹
شکل (۱-۷) تغییر شکل بالچه در اثر گرمایش فنر بالایی و قرار گرفتن فنر پایینی در محدوده دمایی تغییر شکل پذیر. ۱۰
شکل (۱-۸) خطوط جریان بالواره صلب در زمان T=۴۴. ۱۰
شکل (۱-۹) خطوط جریان بالواره غیر صلب در زمان T=۴۴. ۱۰
شکل (۱-۱۰) کانتور ضریب برا در زوایای حمله مختلف، عددهای ماخ مختلف و تغییر مکان خمیدگی. ۱۱
شکل (۱-۱۱) کانتور نسبت برا به پسا در زوایای حمله مختلف، عددهای ماخ مختلف و تغییر مکان خمیدگی. ۱۱
شکل (۱-۱۲) نمای جانبی مدل بال آزمایشگاهی. ۱۲
شکل (۱-۱۳) گردابه های نوک بال در فاصله دور از سطح و نزدیک سطح. ۱۴
شکل (۲-۱) شبکه هم محل و ترتیب متغیرها. ۲۲
شکل (۲-۲) حجم کنترل و نقاط گره ای ۲۴
شکل (۲-۳) سلول‌های مورد استفاده در نمودار متغیرهای بی بعد شده ۲۷
شکل (۲-۴) معیار محدود کنندگی روش NVD. ۲۸
شکل (۲-۵) نمودار متغیرهای بی بعد شده برای طرح تفاضلی (SBIC) ۲۸
شکل (۲-۶) مقایسه بالچه هوشمند و معمولی. ۳۸
شکل (۲-۷) تیر یکسر گیر دار و انتها غلتکی. ۳۸
شکل (۲-۸) بالواره با بالچه هوشمند. ۳۹
شکل (۲-۹) پیکره بندی مدل ANFIS. ۴۳

شکل (۲-۱۰) مسیر و سرعت ذرات در فضای جستجو، الف) حرکت اولیه، ب) حرکت حالت انتهایی. ..... ۴۵
شکل (۲-۱۱) شیوه به روز رسانی نقاط جستجو به وسیله الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات. ..... ۴۶
شکل (۲-۱۲) فرایند Neuro-Fuzzy ..... ۴۸
شکل (۲-۱۳) سیستم معکوس طراحی شده ..... ۴۹
شکل (۳-۱) میدان حل عددی. ..... ۵۲
شکل (۳-۲) شبکه جبری H مورد استفاده در شبیه سازی جریان. ..... ۵۳
شکل (۳-۳) نمودار توزیع فشار روی بالواره NACA ۰۰۱۵ در $^{\circ}$۱۰ =AOA و h/c=۰٫۲ برای تعداد سلول‌های مختلف. ..... ۵۳
شکل (۳-۴) نمودار توزیع فشار روی بالواره NACA ۰۰۱۵ در $^{\circ}$۱۰ =AOA و h/c=۰٫۸. ..... ۵۵
شکل (۳-۵) نمودار توزیع فشار روی بالواره NACA ۰۰۱۵ در $^{\circ}$۱۰ =AOA و h/c=۰٫۰۵ ..... ۵۵
شکل (۳-۶) نمودار توزیع فشار روی بالواره NACA ۰۰۱۵ در $^{\circ}$۱۰=AOA و h/c=۰٫۸ ..... ۵۶
شکل (۳-۷) نمودار توزیع فشار روی بالواره NACA ۰۰۱۵ در $^{\circ}$۱۰=AOA و h/c=۰٫۲ ..... ۵۶
شکل (۳-۸) توزیع ضریب فشار بر سطوح بالواره NACA ۰۰۱۵ در $^{\circ}$۱۰=AOA و h/c=۰٫۰۵ ..... ۵۷
شکل (۳-۹) (الف) ضریب برا، (ب) ضریب پسا برای بالواره NACA۰۰۱۵ در $^{\circ}$۵=AOA و فواصل مختلف از زمین ..... ۵۷
شکل (۳-۱۰) مقایسه شکل بالواره‌های مختلف مورد بررسی. ..... ۵۹
شکل (۳-۱۱) رفتار نسبت برا به پسا (L/D) بر حسب تغییرات ضخامت (t/c) و فواصل مختلف از زمین (h/c) برای بالواره های مورد تحقیق. ..... ۶۰
شکل (۳-۱۲) کانتور سرعت حول بالواره های (الف)NACA۰۰۰۹، (ب) NACA۰۰۱۲ و (ج) NACA۰۰۱۵ به ازای $^{\circ}$۷٫۵=AOA و h/c=۰٫۱. ..... ۶۱
شکل (۳-۱۳) توزیع ضریب فشار بر سطوح بالواره‌ها با ضخامت‌های متفاوت در زاویه حمله ۵ درجه و به ازای (الف)h/c=۰٫۱، (ب)h/c=۰٫۸. ..... ۶۲
شکل (۳-۱۴) رفتار نسبت برا به پسا بر حسب تغییرات زاویه حمله و فاصله از زمین برای (الف)NACA۰۰۰۹، (ب)NACA۰۰۱۲ و (ج)NACA۰۰۱۵ ..... ۶۳
شکل (۳-۱۵) رفتار نسبت برا به پسا بر حسب تغییرات انحنا و فاصله از زمین برای بالواره های مورد بررسی. ..... ۶۳

شکل (۳-۱۶) کانتور سرعت حول بالواره های (الف)NACA۰۰۱۵، (ب)NACA۲۴۱۵ و (ج)NACA۴۴۱۵ به ازای AOA=۷/۵° و h/c=۰/۱ ..... ۶۴
شکل (۳-۱۷) توزیع ضریب فشار بر سطوح بالواره‌ها به ازای انحناهای متفاوت در زاویه حمله ۵ درجه و (الف) h/c=۰/۱، (ب) h/c=۰/۸ ..... ۶۵
شکل (۳-۱۸) تابع سطح نسبت برا به پسا به ازای تغییرات زاویه حمله و فاصله از سطح (الف)NACA۰۰۱۵، (ب)NACA۲۴۱۵، (ج)NACA۴۴۱۵ ..... ۶۶
شکل (۳-۱۹) شکل بهینه بالواره در نزدیکی زمین. ..... ۶۸
شکل (۳-۲۰) کانتور فشار حول بالواره بهینه در شرایط بهینه AOA=۵/۵°، h/c=۰/۲ ..... ۶۹
شکل (۳-۲۱) توزیع ضریب فشار بر سطوح بالواره با بالچه هوشمند و معمولی در شرایط AOF=۵°، AOA=۲/۵° و h/c=۰/۵ ..... ۷۱
شکل (۳-۲۲) توزیع ضریب فشار بر سطوح بالواره با بالچه هوشمند و معمولی در شرایط AOF=۵°، AOA=۵° و h/c=۰/۵ ..... ۷۱
شکل (۳-۲۳) توزیع ضریب فشار بر سطوح بالواره با بالچه هوشمند و معمولی در شرایط AOF=۵°، AOA=۷/۵° و h/c=۰/۵ ..... ۷۱
شکل (۳-۲۴) مقایسه توزیع ضریب فشار روی سطوح بالواره با بالچه هوشمند به ازای زوایای حمله متفاوت در شرایط AOF=۵° و h/c=۰/۸ ..... ۷۳
شکل (۳-۲۵) مقایسه توزیع ضریب فشار روی سطوح بالواره با بالچه معمولی به ازای زوایای حمله متفاوت در شرایط AOF=۵° و h/c=۰/۸ ..... ۷۳
شکل (۳-۲۶) کانتور ضریب فشار حول بالواره با بالچه معمولی در شرایط AOF=۵°، AOA=۲/۵° و h/c=۰/۸ ..... ۷۴
شکل (۳-۲۷) کانتور ضریب فشار حول بالواره با بالچه معمولی در حالت AOA=۵°، h/c=۰/۸ و AOF=۵° ..... ۷۴
شکل (۳-۲۸) کانتور ضریب فشار حول بالواره با بالچه معمولی در حالت AOA=۷/۵°، h/c=۰/۸ و AOF=۵° ..... ۷۴
شکل (۳-۲۹) کانتور ضریب فشار حول بالواره با بالچه هوشمند در حالت AOA=۵°، h/c=۰/۸ و AOF=۵° ..... ۷۴
شکل (۳-۳۰) توزیع ضریب فشار روی سطح بالواره برای AOA=۲/۵°، h/c=۰/۸ و AOF=۲/۵° . . ۷۵
شکل (۳-۳۱) توزیع ضریب فشار روی سطح بالواره برای AOA=۲/۵°، h/c=۰/۸ و AOF=۵° ..... ۷۵

شکل (۳-۳۲) توزیع ضریب فشار روی سطح بالواره با بالچه هوشمند برای $^{\circ}$AOA=۲/۵ و h/c=۰/۲..... ۷۶
شکل (۳-۳۳) توزیع ضریب فشار روی سطح بالواره با بالچه معمولی برای $^{\circ}$AOA=۲/۵ و h/c=۰/۲..... ۷۶
شکل (۳-۳۴) کانتور ضریب فشار روی سطح بالواره با بالچه هوشمند برای $^{\circ}$AOA=۲/۵ و h/c=۰/۲ و $^{\circ}$AOF=۲/۵..... ۷۷
شکل (۳-۳۵) کانتور ضریب فشار روی سطح بالواره با بالچه هوشمند برای $^{\circ}$AOA=۲/۵ و h/c=۰/۲ و $^{\circ}$AOF=۷/۵..... ۷۷
شکل (۳-۳۶) توزیع ضریب فشار روی سطح بالواره برای $^{\circ}$AOA=۵، h/c=۰/۲ و $^{\circ}$AOF=۲/۵..... ۷۸
شکل (۳-۳۷) توزیع ضریب فشار روی سطح بالواره برای $^{\circ}$AOA=۵، h/c=۰/۵ و $^{\circ}$AOF=۲/۵..... ۷۸
شکل (۳-۳۸) توزیع ضریب فشار روی سطح بالواره برای $^{\circ}$AOA=۵، h/c=۰/۸ و $^{\circ}$AOF=۲/۵..... ۷۸
شکل (۳-۳۹) توزیع ضریب فشار روی سطح بالواره با بالچه هوشمند برای $^{\circ}$AOF=۲/۵ و $^{\circ}$AOA=۲/۵..... ۸۰
شکل (۳-۴۰) توزیع ضریب فشار روی سطح بالواره با بالچه معمولی برای $^{\circ}$AOF=۲/۵ و $^{\circ}$AOA=۲/۵..... ۸۰
شکل (۳-۴۱) توزیع ضریب فشار روی سطح زمین در شرایط بالواره هوشمند و $^{\circ}$AOF=۲/۵ و $^{\circ}$AOA=۲/۵..... ۸۰
شکل (۳-۴۲) توزیع ضریب فشار روی سطح زمین در شرایط بالواره معمولی و $^{\circ}$AOF=۲/۵ و $^{\circ}$AOA=۲/۵..... ۸۰
شکل (۳-۴۳) تغییرات ضریب برا به صورت تابعی از h/c و $^{\circ}$AOF=۲/۵..... ۸۲
شکل (۳-۴۴) تغییرات ضریب پسا به صورت تابعی از h/c و $^{\circ}$AOF=۲/۵..... ۸۲
شکل (۳-۴۵) تغییرات ضریب برا به صورت تابعی از h/c و $^{\circ}$AOF=۵..... ۸۲
شکل (۳-۴۶) تغییرات ضریب پسا به صورت تابعی از h/c و $^{\circ}$AOF=۵..... ۸۲
شکل (۳-۴۷) تغییرات ضریب برا به صورت تابعی از h/c و $^{\circ}$AOF=۷/۵..... ۸۲
شکل (۳-۴۸) تغییرات ضریب پسا به صورت تابعی از h/c و $^{\circ}$AOF=۷/۵..... ۸۲
شکل (۳-۴۹) کانتور ضریب فشار حول بالواره با بالچه هوشمند برای $^{\circ}$AOF=۵، h/c=۰/۲ و $^{\circ}$AOA=۲/۵..... ۸۳
شکل (۳-۵۰) کانتور ضریب فشار حول بالواره با بالچه هوشمند برای $^{\circ}$AOF=۵، h/c=۰/۸ و $^{\circ}$AOA=۲/۵..... ۸۳

شکل (۳-۵۱) کانتور ضریب فشار حول بالواره با بالچه هوشمند برای $AOF=5^{\circ}$، $h/c=0.2$ و $AOA=7.5^{\circ}$ ..... ۸۳
شکل (۳-۵۲) کانتور ضریب فشار حول بالواره با بالچه هوشمند برای $AOF=5^{\circ}$، $h/c=0.8$ و $AOA=7.5^{\circ}$ ..... ۸۳
شکل (۳-۵۳) توزیع تنش برشی روی سطح بالواره با بالچه هوشمند برای $AOF=5^{\circ}$ و $AOA=2.5^{\circ}$ ..... ۸۴
شکل (۳-۵۴) توزیع تنش برشی روی سطح بالواره با بالچه هوشمند برای $AOF=5^{\circ}$ و $AOA=7.5^{\circ}$ ..... ۸۴
شکل (۳-۵۵) تغییرات نسبت نیروی برا به نیروی پسا به صورت تابعی از h/c و برای $AOF=2.5^{\circ}$ .. ۸۵
شکل (۳-۵۶) تغییرات نسبت نیروی برا به نیروی پسا به صورت تابعی از h/c و برای $AOF=5^{\circ}$ ..... ۸۵
شکل (۳-۵۷) تغییرات نسبت نیروی برا به نیروی پسا به صورت تابعی از h/c و برای $AOF=7.5^{\circ}$ .. ۸۶
شکل (۳-۵۸) شبکه H حول بالواره با زاویه مثبت بالچه ..... ۸۷
شکل (۳-۵۹) حوزه حل جریان ..... ۸۷
شکل (۳-۶۰) توزیع +Y بر سطح بالایی بالواره ..... ۸۸
شکل (۳-۶۱) توزیع +Y بر سطح پایینی بالواره ..... ۸۸
شکل (۳-۶۲) اثر زمین ثابت و متحرک بر توزیع فشار روی سطح بالواره تحت شرایط $AOA=10^{\circ}$ و $h/c=0.8$ ..... ۸۸
شکل (۳-۶۳) اثر زمین ثابت و متحرک بر توزیع فشار روی سطح بالواره تحت شرایط $AOA=10^{\circ}$ و $h/c=0.05$ ..... ۸۸
شکل (۳-۶۴) توزیع ضریب فشار روی سطوح بالواره NACA۰۰۱۵ تحت شرایط $AOA=7.5^{\circ}$ و $h/c=0.8$ ..... ۹۰
شکل (۳-۶۵) توزیع ضریب فشار بر سطح بالواره هوشمند در $AOF=+5^{\circ}$ ..... ۹۲
شکل (۳-۶۶) توزیع ضریب فشار بر سطح بالواره معمولی در $AOF=+5^{\circ}$ ..... ۹۲
شکل (۳-۶۷) کانتور توزیع ضریب فشار حول بالواره هوشمند با تغییر شکل بالچه با زاویه مثبت $AOF=+2.5^{\circ}$ و تحت $h/c=0.2$ ..... ۹۳
شکل (۳-۶۸) کانتور توزیع ضریب فشار حول بالواره هوشمند با تغییر شکل بالچه با زاویه مثبت $AOF=2.5^{\circ}$ و تحت $h/c=0.5$ ..... ۹۳

شکل (۳-۶۹) کانتور توزیع ضریب فشار حول بالواره هوشمند با تغییر شکل بالچه با زاویه مثبت $AOF=+2/5^{\circ}$ و تحت h/c=۰/۸. ۹۳
شکل (۳-۷۰) کانتور توزیع ضریب فشار حول بالواره هوشمند با تغییر شکل بالچه با زاویه مثبت $AOF=+5^{\circ}$ و تحت h/c=۰/۲. ۹۴
شکل (۳-۷۱) کانتور توزیع ضریب فشار حول بالواره هوشمند با تغییر شکل بالچه با زاویه مثبت $AOF=+5^{\circ}$ و تحت h/c=۰/۸. ۹۴
شکل (۳-۷۲) پروفیل سرعت در سطح بالایی بالواره هوشمند در $AOF=+5^{\circ}$. ۹۴
شکل (۳-۷۳) پروفیل سرعت در سطح پایینی بالواره هوشمند در $AOF=+5^{\circ}$. ۹۴
شکل (۳-۷۴) پروفیل سرعت در پشت بالواره هوشمند در $AOF=+5^{\circ}$. ۹۵
شکل (۳-۷۵) توزیع ضریب فشار بر سطح بالواره هوشمند به ازای زوایای مختلف بالچه در h/c=۰/۸. ۹۶
شکل (۳-۷۶) توزیع ضریب فشار بر سطح بالواره معمولی به ازای زوایای مختلف بالچه در h/c=۰/۸. ۹۶
شکل (۳-۷۷) کانتور توزیع ضریب فشار حول بالواره معمولی تحت شرایط $AOF=+2/5^{\circ}$ و h/c=۰/۲. ۹۶
شکل (۳-۷۸) کانتور توزیع ضریب فشار حول بالواره هوشمند تحت شرایط $AOF=+2/5^{\circ}$ و h/c=۰/۲. ۹۶
شکل (۳-۷۹) مقایسه بالواره هوشمند و معمولی به وسیله پروفیل سرعت در سطح بالایی بالواره تحت h/c=۰/۵ و $AOF=+7/5^{\circ}$. ۹۸
شکل (۳-۸۰) مقایسه بالواره هوشمند و معمولی به وسیله پروفیل سرعت در سطح پایینی بالواره تحت h/c=۰/۵ و $AOF=+7/5^{\circ}$. ۹۸
شکل (۳-۸۱) مقایسه بالواره هوشمند و معمولی به وسیله پروفیل سرعت در پشت بالواره تحت h/c=۰/۵ و $AOF=+7/5^{\circ}$. ۹۸
شکل (۳-۸۲) توزیع ضریب فشار بر سطح بالواره هوشمند تحت شرایط h/c=۰/۵ و $AOF=+5^{\circ}$. ۹۹
شکل (۳-۸۳) پروفیل سرعت در سطح بالایی بالواره هوشمند تحت شرایط h/c=۰/۵ و $AOF=+5^{\circ}$ ۹۹
شکل (۳-۸۴) پروفیل سرعت در سطح پایین بالواره هوشمند تحت شرایط h/c=۰/۵ و $AOF=+5^{\circ}$. ۹۹
شکل (۳-۸۵) پروفیل سرعت پشت بالواره هوشمند در h/c=۰/۵ و $AOF=+5^{\circ}$. ۹۹

# فهرست جداول

جدول (۳-۱) مقایسه ضرایب برا و پسای تجربی و عددی برای بالواره NACA 0015 در نزدیکی سطح در زاویه حمله ۲٫۵ درجه ..... ۵۸
جدول (۳-۲) اثر تغییرات پارامترها در الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ، (الف) سرعت ذرات (Np=۲۰۰۰)، (ب) تعداد ذرات (VP=۰٫۰۰۱). ..... ۶۷
جدول (۳-۳) مشخصات بالواره بهینه. ..... ۶۸
جدول (۳-۴) شرایط شبیه سازی عددی ..... ۷۰
جدول (۳-۵) ضرایب برا (الف) و پسا (ب) و نسبت برا به پسا (ج) برای بالواره‌های با بالچه هوشمند و معمولی در حالت $^{\circ}$AOF=۵ و h/c=۰٫۵ ..... ۷۱
جدول (۳-۶) ضرایب برا (الف) و پسا (ب) و نسبت برا به پسا (ج) برای بالواره‌هایی با بالچه هوشمند و معمولی در حالت $^{\circ}$AOF=۵ وh/c=۰٫۸ ..... ۷۳
جدول (۳-۷) ضرایب برا (الف) و پسا (ب) و نسبت برا به پسا (ج) برای بالواره‌هایی با بالچه هوشمند و معمولی در حالت $^{\circ}$AOA=۲٫۵ و h/c=۰٫۸ ..... ۷۵
جدول (۳-۸) ضرایب برا و پسا و نسبت برا به پسا برای بالواره‌های هوشمند در حالت $^{\circ}$AOA=۲٫۵ و h/c=۰٫۲ ..... ۷۷
جدول (۳-۹) ضرایب برا (الف) و پسا (ب) و نسبت برا به پسا (ج) برای بالواره‌هایی با بالچه هوشمند و معمولی در حالت $^{\circ}$AOA=۵ و $^{\circ}$AOF=۲٫۵. ..... ۷۸
جدول (۳-۱۰) ضرایب برا (الف) و پسا (ب) و نسبت برا به پسا (ج) برای بالواره‌هایی با بالچه هوشمند و معمولی در حالت $^{\circ}$AOA=۲٫۵ و $^{\circ}$AOF=۵ ..... ۸۰
جدول (۳-۱۱) ضرایب برا و پسا در حالت $^{\circ}$AOF=۵ ،h/c=۰٫۲ و $^{\circ}$AOA=۷٫۵. ..... ۸۴
جدول (۳-۱۲) جدول ۱: مراحل شبیه سازی عددی. ..... ۸۹
جدول (۳-۱۳) مقایسه ضرایب برا برای بالواره NACA۰۰۱۵ در $^{\circ}$AOA=۷٫۵ ..... ۹۰
جدول (۳-۱۴) ضرایب نیروی رو به پایین (برا) و پسا و نسبت برا به پسا برای بالواره‌های هوشمند و معمولی در $^{\circ}$AOF=+۵. ..... ۹۲
جدول (۳-۱۵) ضریب نیروی رو به پایین (برا) و پسا و نسبت برا به پسا برای بالوارههای هوشمند و معمولی در h/c=۰٫۸ ..... ۹۷
جدول (۳-۱۶) دبی حجمی جریان عبوری بین سطح پایین بالواره و زمین در h/c=۰٫۲ ..... ۹۹

جدول (۳-۱۷) ضرایب برا و پسا و قدر مطلق نسبت برا به پسا بالواره هوشمند به ازای طول‌های مختلف بالچه و تحت شرایط h/c=۰٫۵ و AOF=+۵°. ..... ۱۰۰

# فهرست علائم اختصاری

## فهرست علائم رومی

| | |
|---|---|
| a | ضرایب معادله تفاضل محدود(با زیر نویس های $P, S, S_1, N, N_1, W, W_1, E, E_1$ ) |
| $a$ | سرعت انتشار صوت |
| A | مساحت سلول (زیر نویس شده با s،n،w،e) |
| D | ضریب پخش(زیر نویس شده با s،n،w،e)؛تصویر مساحت سطح سلول |
| E | تصویر سطح سلول در مورد شبکه متعامد |
| f | فاکتور وزنی مکانی |
| F | شار جرمی عبوری از سطح سلول |
| H | عملگر در معادله مومنتوم جداسازی شده |
| i,j | بردارهای واحد بترتیب در جهت های x ،y مختصات دکارتی |
| P | فشار استاتیکی |
| $P_0$ | فشار سکون |
| Pe | عدد پکلت |
| R | ثابت گاز |
| Re | عدد رینولدز |
| $S_\phi$ | جمله چشمه در معادلات دیفرانسیلی جزئی و اختلاف محدود |
| t | زمان |
| T | دما |
| v,u | مؤلفه های سرعت به ترتیب در جهات x،y |
| x,y | مختصات دکارتی |

## نمادهای یونانی

| | |
|---|---|
| فاکتور در روش بالادست(upwind) برای خاصیت در سطح سلول و روش | $\alpha$ |
| نسبت گرمای ویژه | $\gamma$ |
| پخش | $\Gamma$ |
| دلتای Kronecker | $\delta_{i,j}$ |
| گام زمانی | $\delta_t$ |
| مختصات محلی | $\eta, \xi$ |
| لزجت | $\mu$ |
| چگالی | $\rho$ |
| تنش برشی | $\tau$ |
| متغیر وابسته عمومی(با زیر نویس u،d،c،f) | $\phi$ |

## زیر نویس‌ها

| | |
|---|---|
| مراکز شرقی، غربی، شمالی و جنوبی سلول | s ,n ,w ,e |
| گره های شرقی، غربی، شمالی، جنوبی و مرکزی | P,S,N,W,E |
| علانت تانسوری در مختصات کارتزین | i,j |
| ورودی | in |
| خروجی؛ سکون | o |
| مراکز سطح سلول | f |
| گره های دوم شرقی، غربی، شمالی و جنوبی گره مرکزی P | SS,NN,WW,EE |
| گره مرکزی، گره پایین دست، گره بالادست | U,D,C |
| زیر نویس های ضرایب تصحیح E1 عقب افتاده در گره های شرقی، غربی، شمالی و جنوبی گره مرکزی P | S1, N1, W1,E1 |