بسم الله الرحمن الرحيم

**تقدیم اثر**

**درود بر هم او که آفرید ، آفرید چونان شمایی را ، پدر و مادرم تشکر از شما ،شمایی که زشتی ها و درشتی هایم را گویی هیچگاه ندیدید و ندانستید مهر ورزیدید و باز هم مهر ، هماره تکیه گاهم بودید و پلکانم برای صعود و اگر نبودید ...**

**این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم**

**به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان**
**به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است**
**به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید**
**و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند**

**نبی اله یوسفیان آبرودی**

**زمستان ۸۹**

**تقدیر و تشکر**

**نگارنده بر خود می‌داند که از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر نادر پورمحمود در راستای انجام این پروژه در طول یک سال گذشته تشکر و قدردانی نماید. همچنین از زحمات اساتید محترم و دانشجویان صمیمی و مهربان دانشگاه صنعتی ارومیه و به خصوص استاد ارجمند جناب آقای دکتر میرزایی که با راهنمایی های خود راهگشای اینجانب بوده اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.**

**نبی اله یوسفیان آبرودی**

**زمستان ۸۹**

**دانشگاه صنعتی ارومیه**
**دانشکده مکانیک**
**گروه تبدیل انرژی**

**عنوان:**

# شبیه سازی عددی لایه های اختلاط تراکم پذیر آشفته با استفاده از مدل آشفتگی شبیه سازی گردابه های بزرگ

**پژوهشگر:**

**نبی اله یوسفیان آبرودی**

**استاد راهنما:**

**دکتر نادر پورمحمود**

**پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک گرایش تبدیل انرژی**

**دی ماه ۱۳۸۹**

**کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،**

**ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع**

**این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه صنعتی ارومیه است.**

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی ارومیه

بسمه تعالی

اینجانب **نبی اله یوسفیان آبرودی** به شماره دانشجویی **۸۷۱۲۵۳۱۲۰۸** دانشجوی رشته **مکانیک – گرایش تبدیل انرژی** مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد** تایید می نمایم که کلیه نتایج این پایان نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هر گونه دخل و تصرف است و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی ،ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هر گونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می نمایم. در ضمن مسئولیت هر گونه پاسخگویی به اشخاص، اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی ) به عهده اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی :

**نبی اله یوسفیان آبرودی**

تاریخ و امضاء

**دانشگاه صنعتی ارومیه**
**دانشکده مکانیک**
**گروه تبدیل انرژی**

**پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک گرایش تبدیل انرژی**

**عنوان:**

# شبیه سازی عددی لایه های اختلاط تراکم پذیر آشفته با استفاده از مدل آشفتگی شبیه سازی گردابه های بزرگ

**پژوهشگر:**
**نبی اله یوسفیان آبرودی**

در تاریخ ۱۱ / ۱۰ / ۱۳۸۹ توسط کمیته تخصصی وهیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ..... و درجه ..... به تصویب رسید.

| هیات داوران | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
|---|---|---|---|
| ۱ـ استاد راهنما | دکتر نادر پورمحمود | استادیار | |
| ۳ـ استاد داور خارجی | دکتر ایرج میرزایی | دانشیار | |
| ۴ـ استاد داور داخلی | خانم دکتر نرمین باقرزاده | استادیار | |
| ۵- نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر عبداللهی شریف | استادیار | |

**Urmia University of Technology**
**Faculty of Mechanical Engineering**

A Thesis Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial Fulfillment

of the Requirements for the Degree of M.Sc
in Energy Conversion

# Title:
# Numerical Simulation of Compressible Turbulent Mixing Layers Using Large Eddy Simulation Turbulent Model

**By:**
**Nabiollah Yousefian Abrodi**

The above thesis was evaluated and approved by the following members of the thesis committee with mark …... and …… quality on January 1, 2011.

| Position | Title and Name | Signature |
|---|---|---|
| 1. Supervisor: | Assist. Prof. Dr. Nader Pourmahmod | |
| 2. External Examiner: | Associate. Prof. Dr. Iraj Mirzaee | |
| 3. Internal Examiner: | Assist. Prof. Dr. Narmin Bagherzadeh | |

University Manager:
Dr. Iraj Mirzaee

Deputy Dean
Faculty Postgraduate Studies Office
Dr. Abdollahi Sharif

**Urmia University of Technology**
**Faculty of Mechanical Engineering**

# Title:
# Numerical Simulation of Compressible Turbulent Mixing Layers Using Large Eddy Simulation Turbulent Model

**By:**
**Nabiollah Yousefian Abrodi**

**Supervisor:**
**Dr. Nader Pourmahmoud**

A Thesis
Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
M.Sc. in Energy Conversion

**January 1, 2011**

# چکیده

در این پژوهش، نتایج شبیه سازی عددی سه بعدی لایه های اختلاط تراکم پذیر آشفته با استفاده از مدل آشفتگی شبیه سازی گردابه های بزرگ ارائه شده است. لایه‌های برشی آزاد تراکم پذیر در بسیاری از مسائل پیچیده صنعتی اهمیت دارند. یک نمونه از جریان های برشی، لایه های اختلاط تراکم پذیر می‌باشند که یکی از بهترین موارد برای مطالعه اثرات تراکم پذیری و آشفتگی است. لایه های اختلاط از دو جریان موازی با سرعت های متفاوت تشکیل شده اند. در روش شبیه سازی گردابه های بزرگ، برای جدا سازی مقیاس های کوچک و بزرگ جریان، از معادلات ناویر- استوکس با استفاده از تابع فیلترگیری پله فیلترگیری می‌شود. معادلات ناویر- استوکس فیلتر شده که بیانگر مقیاس های بزرگ جریان هستند، با استفاده از یک الگوریتم عددی حل می‌شوند و مقیاس های کوچک جریان مدل می‌گردند. گسسته سازی زمانی معادلات ناویر – استوکس فیلتر شده توسط روش رانگ – کوتای صریح چهار مرحله ای انجام می‌گیرد. گسسته سازی مکانی به روش حجم محدود صورت گرفته و سپس با حل انتگرال به روش ذوزنقه، تبدیل به روش های مرکزی می‌گردد. این روش، باعث تولید یک روش حجم محدود قوی در مش باسازمان می‌گردد. برای گسسته سازی مکانی معادلات، ترم های جابه جایی و ویسکوز از هم جدا می‌شوند. برای گسسته سازی ترم های جابه جایی و ویسکوز به ترتیب از روش های مرکزی مرتبه چهار وزنی و مرکزی مرتبه دوم استفاده می‌گردد. برای مدل کردن مقیاس‌های کوچک ، از مدل ویسکوزیته گردابه ای دینامیک استفاده می شود. بر مبنای این مدل، انرژی جنبشی جریان توسط ویسکوزیته گردابه ای در مقیاس های کوچک به گرما تلف می‌گردد. در این مطالعه، از یک شرط اولیه آشفته بر پایه گردابه های تانسنت با استفاده از کد کامپیوتری متلب استفاده شده است. این شرط اولیه باعث وارد شدن یک میدان آشفته در میدان جریان می‌گردد و جریان سریعتر آشفته گشته و حجم محاسبات کاهش می‌یابد. نتایج حل اولیه یعنی حل در زمان صفر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. شبیه سازی عددی لایه های اختلاط که میدان اصلی جریان است، توسط کد کامپیوتری فرترن در یک مکعب روی یک مش یکنواخت با سازمان انجام می‌گیرد. پارامترهای اساسی لایه های اختلاط نظیر ضخامت ممنتوم، انرژی جنبشی کل، ضخامت ورتیسیتی و انرژی جنبشی آشفته بررسی گشته و نتایج ضخامت بدست آمده در این شبیه سازی با نتایج گرفته شده توسط ورمان مقایسه می‌شود. با گذشت زمان و افزایش آشفتگی ها، ضخامت ممنتوم و ورتیسیتی افزایش و انرژی جنبشی کل کاهش و انرژی جنبشی آشفته در کل میدان گسترده می‌شود. سرانجام، کانتورهای سه بعدی متغیرهای اصلی جریان نظیر ورتیسیتی، سرعت، فشار، چگالی و دما در زمان های مختلف نمایش داده می‌شود. این کانتورها بیانگر پخش شدن آشفتگی ها و اثرات تراکم پذیری حاصل از اختلاط لایه ها در کل میدان می‌باشند و نشانگر خصوصیت انتشار آشفتگی در میدان است. شکل ورتیسیتی ها تولید شده در کل میدان در زمان های مختلف تغییر می‌کند که این از خصوصیات ذاتی لایه های اختلاط است.

**کلمات کلیدی:** شبیه سازی گردابه های بزرگ، لایه های اختلاط تراکم پذیر آشفته، فیلترگیری پله، معادلات ناویر – استوکس فیلتر شده، مدل ویسکوزیته گردابه ای دینامیک، ضخامت ممنتوم، انرژی جنبشی کل، ضخامت ورتیسیتی، انرژی جنبشی آشفته

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**

**چکیده ..... I.**
**فهرست مطالب ..... II.**
**فهرست اشکال و جداول..... VII.**
**فهرست علائم اختصاری..... X.**

## فصل اول
## مقدمه

۱-۱ بیان اهمیت تحقیق مورد نظر و تعریف مسئله ..... ۱
۱-۲ اهداف تحقیق..... ۲
۱-۳ ساختار پایان نامه..... ۳

## فصل دوم
## مقدمه ای بر جریان آشفته و مدل‌های آن

۲-۱ تاریخچه ..... ۴
۲-۲ نمونه هایی از جریان آشفته..... ۵
۲-۳ خصوصیات جریان آشفته ..... ۷
۲-۳-۱ بی نظمی ..... ۸
۲-۳-۲ انتشار..... ۸
۲-۳-۳ عدد رینولدز بالا ..... ۸
۲-۳-۴ نوسانات سه بعدی چرخشی ..... ۹

۲-۳-۵ اتلاف ..... ۹
۲-۳-۶ پیوستگی ..... ۱۰
۲-۳-۷ آشفتگی خاصیت جریان است..... ۱۰
۲-۴ توصیف آماری جریان آشفته..... ۱۱
۲-۵ روش های بررسی جریان آشفته..... ۱۲
۲-۵-۱ روابط تجربی بین ضریب اصطکاک وضریب انتقال حرارت با مشخصه های جریان..... ۱۳
۲-۵-۲ روش های انتگرالی ..... ۱۳
۲-۵-۳ روش های متوسط گیری زمانی..... ۱۴
۲-۵-۴ روش های دو نقطه ای..... ۱۵
۲-۵-۵ روشهای مدل سازی براساس حل گردابه های بزرگ..... ۱۵
۲-۵-۶ روش های حل مستقیم..... ۱۶
۲-۶ جمع بندی ..... ۱۶

## فصل سوم
## شبیه سازی گردابه های بزرگ(LES)

۳-۱ گردابه های کوچک و بزرگ..... ۱۸
۳-۲ مروری بر کارهای انجام شده در زمینه LES ..... ۲۳
۳-۳ مراحل اصلی حل در روشLES ..... ۲۶
۳-۴ مقایسه روش های حل جریان از نظر دقت شبکه..... ۲۷
۳-۵ روند پیشرفت در زمینه حل مسائل به روشLES ..... ۲۸
۳-۶ نحوه بدست آوردن معادلات فیلتر شده..... ۲۹
۳-۷ فیلتر گیری مکانی..... ۳۰
۳-۸ خطا ها درLES ..... ۳۵

## فصل چهارم
## معادلات حاکم در روش LES


۴-۱ معادلات ناویراستوکس ..... ۳۶
۴-۲ فیلترگیری ..... ۳۷
۴-۳ معادلات ناویراستوکس فیلترگیری شده ..... ۳۷
۴-۴ معرفی ترم های مقیاس کوچک ..... ۳۹
۴-۴-۱ معرفی ترم های مقیاس کوچک معادله ممنتوم ..... ۳۹
۴-۴-۲ معرفی ترم های مقیاس کوچک معادله انرژی ..... ۳۹


## فصل پنجم
## مدل سازی مقیاس های کوچک


۵-۱ مقدمه ..... ۴۱
۵-۲ مدل اسماگورینسکی ..... ۴۱
۵-۳ مدل دینامیکی ..... ۴۲
۵-۳-۱ مدل سازی ترم های مقیاس کوچک معادله ممنتوم ..... ۴۴
۵-۳-۲ مدل سازی ترم های مقیاس کوچک معادله انرژی ..... ۴۵
۵-۴ بررسی اجمالی دیگر مدل ها ..... ۴۶
۵-۴-۱ مدل تشابهی ..... ۴۷
۵-۴-۲ مدل گرادیان ..... ۴۷
۵-۴-۳ مدل های ترکیبی ..... ۴۷


## فصل ششم
## لایه های اختلاط تراکم پذیر


۶-۱ تعریف لایه های اختلاط تراکم پذیر ..... ۴۸
۶-۲ پارامتر های موثر در نرخ رشد لایه های اختلاط ..... ۴۸

۶-۳ انواع لایه های اختلاط ..... ۴۹
۶-۴ سرعت جابه جایی و عدد ماخ جابه جایی..... ۵۰
۶-۵ ضخامت ممنتوم و ضخامت ورتیسیتی ..... ۵۱
۶-۶ انرژی جنبشی کل ..... ۵۱
۶-۷ تنسور تنش های رینولدز..... ۵۲
۶-۸ انرژی جنبشی آشفته..... ۵۲

## فصل هفتم
## شبیه سازی عددی لایه های اختلاط تراکم پذیر آشفته با استفاده از LES

۷-۱ مقدمه..... ۵۳
۷-۲ حدود محاسباتی ..... ۵۴
۷-۳ شرایط مرزی..... ۵۴
۷-۳-۱ شرط مرزی پریودیک ..... ۵۴
۷-۳-۲ دیوارهای لغزش آزاد..... ۵۵
۷-۴ حدود شبکه ..... ۵۵
۷-۵ شرایط اولیه ..... ۵۷
۷-۶ جزئیات شبیه سازی..... ۵۷
۷-۷ فیلترگیری..... ۵۷
۷-۸ معادلات حاکم ..... ۵۹
۷-۹ مدل سازی ترم های مقیاس کوچک ..... ۶۱
۷-۱۰ الگوریتم عددی ..... ۶۳
۷-۱۰-۱ گسسته سازی زمانی..... ۶۳
۷-۱۰-۲ گسسته سازی مکانی..... ۶۴

## فصل هشتم
## نتایج


۸-۱ مقدمه..... ۶۶
۸-۲ نتایج اولیه..... ۶۷
۸-۳ پارامترهای اساسی لایه های اختلاط..... ۷۱
۸-۴ کانتورهای متغیرهای اصلی جریان..... ۷۴


## فصل نهم
## نتیجه گیری و پیشنهادات


۹-۱ نتیجه گیری ..... ۱۰۳
۹-۲ پیشنهادات ..... ۱۰۴
مراجع..... ۱۰۵

# فهرست اشکال و جداول


شکل(۲-۱) نمودار سرعت متوسط جریان داخل لوله بر حسب دما در ارتفاع های مختلف.....۵
شکل(۲-۲) حرکت آشفته در ابرهای متراکم..... ۶
شکل(۲-۳) حرکت آشفته دوده های معلق در هوا برای تشخیص جهت وزش باد .....۶
شکل(۲-۴) جریان آشفته در ناحیه دنباله استوانه داخل آب به کمک آشکارساز پودر آلومینیوم.....۷
شکل(۲-۵) شبیه سازی جریان آشفته ناحیه پشت اتومبیل .....۷
شکل(۲-۶ ) توصیف تصادفی بودن جریان آشفته.....۱۱
جدول(۳-۱) مقایسه گردابه های کوچک و بزرگ در جریان آشفته.....۱۹
شکل(۳-۱) توزیع انرژی آشفته.....۲۰
شکل( ۳-۲-الف ) توزیع انرژی گردابه های کوچک و بزرگ (منحنی لگاریتمی).....۲۰
شکل( ۳-۲-ب ) توزیع انرژی گردابه های کوچک و بزرگ .....۲۱
شکل(۳-۳) جریان روی پله.....۲۳
جدول(۳- ۲) حل عددی جریان روی پله.....۲۳
شکل(۳- ۴) مقایسه روشهای مختلف در بررسی جریان آشفته.....۲۳
شکل(۳-۵) شماتیک مقیاس های طولی جریان آشفته و نمودار سرعت- زمان در یک نقطه جریان آشفته .....۲۹
شکل(۳-۶) شبکه فیلتر شده و مقایسه ابعاد گردابه ها..... ۳۰
شکل(۳-۷) مقایسه سرعت و فیلتر سرعت.....۳۱
شکل(۳-۸) میانگین گیری زمانی.....۳۲
شکل(۳-۹) فیلترکردن.....۳۲
شکل(۳-۱۰) تابع فیلترگیری پله.....۳۳
شکل(۳-۱۱) فیلتر برشی ..... ۳۳
شکل(۳-۱۲) فیلتر گووسی.....۳۴
شکل(۳-۱۳) اعمال فیلتر پله .....۳۴
جدول(۵-۱) مقادیر مختلف ثابت اسما گورینسکی .....۴۳
شکل(۶-۱) لایه های اختلاط مکانی.....۴۹
شکل(۶-۲) لایه های اختلاط زمانی.....۵۰
شکل(۶-۳) سرعت جا به جایی.....۵۰
شکل(۶-۴) ضخامت ورتیسیتی لایه های اختلاط .....۵۱
شکل(۷-۱) حدود محاسباتی و شرایط مرزی .....۵۵
شکل(۷-۲) حدود شبکه در سه بعد.....۵۶
شکل(۷-۳) حدود شبکه در دو بعد.....۵۶
شکل(۸-۱) نمودار متوسط مولفه های سرعت بر حسب بعد سوم مکان .....۶۸
شکل(۸-۲) نمودار مولفه های تنسور تنش های رینولدز (فیلترگیری اصلی) بر حسب بعد سوم مکان.....۶۸
شکل(۸-۳) نمودار مولفه های تنسور تنش های رینولدز (فیلترگیری فاور) بر حسب بعد سوم مکان.....۶۹
شکل(۸-۴) نمودار متوسط مقادیر نوسانی مولفه های سرعت بر حسب تعداد نقاط محاسباتی بعد سوم مکان.....۶۹
شکل(۸-۵) کانتور سطوح یکسان سرعت.....۷۰
شکل(۸-۶) کانتور سطوح یکسان ورتیسیتی..... .....۷۰

شکل(۸-۷) نمودار ضخامت ممنتوم بر حسب زمان.....۷۲
شکل(۸-۸) نمودار انرژی جنبشی کل بر حسب زمان.....۷۲
شکل(۸-۹) نمودار ضخامت ورتیسیتی بر حسب زمان.....۷۳
شکل(۸-۱۰) نمودار انرژی جنبشی آشفته بر حسب بعد سوم در زمان های مختلف.....۷۳
شکل(۸-۱۱) کانتور دامنه ورتیسیتی در زمان های مختلف بدست آمده توسط ورمان.....۷۵
شکل(۸-۱۲) کانتور دامنه ورتیسیتی در زمان صفر.....۷۸
شکل(۸-۱۳) کانتور دامنه ورتیسیتی در زمان بیست.....۷۸
شکل(۸-۱۴) کانتور دامنه ورتیسیتی در زمان چهل.....۷۹
شکل(۸-۱۵) کانتور دامنه ورتیسیتی در زمان هشتاد.....۷۹
شکل(۸-۱۶) کانتور دامنه ورتیسیتی در زمان صد.....۸۰
شکل (۸-۱۷) کانتور X- ورتیسیتی در زمان صفر.....۸۰
شکل (۸-۱۸) کانتور X- ورتیسیتی در زمان بیست.....۸۱
شکل (۸-۱۹) کانتور X- ورتیسیتی در زمان چهل.....۸۱
شکل (۸-۲۰) کانتور X- ورتیسیتی در زمان هشتاد.....۸۲
شکل (۸-۲۱) کانتور X- ورتیسیتی در زمان صد.....۸۲
شکل (۸-۲۲) کانتور Y- ورتیسیتی در زمان صفر.....۸۳
شکل (۸-۲۳) کانتور Y- ورتیسیتی در زمان بیست.....۸۳
شکل (۸-۲۴) کانتور Y- ورتیسیتی در زمان چهل.....۸۴
شکل (۸-۲۵) کانتور Y- ورتیسیتی در زمان هشتاد.....۸۴
شکل (۸-۲۶) کانتور Y- ورتیسیتی در زمان صد.....۸۵
شکل (۸-۲۷) کانتور Z- ورتیسیتی در زمان صفر.....۸۵
شکل (۸-۲۸) کانتور Z- ورتیسیتی در زمان بیست.....۸۶
شکل (۸-۲۹) کانتور Z- ورتیسیتی در زمان چهل.....۸۶
شکل (۸-۳۰) کانتور Z- ورتیسیتی در زمان هشتاد.....۸۷
شکل (۸-۳۱) کانتور Z- ورتیسیتی در زمان صد.....۸۷
شکل (۸-۳۲) کانتور X- سرعت در زمان صفر.....۸۸
شکل (۸-۳۳) کانتور X- سرعت در زمان بیست.....۸۸
شکل (۸-۳۴) کانتور X- سرعت در زمان چهل.....۸۹
شکل (۸-۳۵) کانتور X- سرعت در زمان هشتاد.....۸۹
شکل (۸-۳۶) کانتور X- سرعت در زمان صد.....۹۰
شکل (۸-۳۷) کانتور Y- سرعت در زمان صفر.....۹۰
شکل (۸-۳۸) کانتور Y- سرعت در زمان بیست.....۹۱
شکل (۸-۳۹) کانتور Y- سرعت در زمان چهل.....۹۱
شکل (۸-۴۰) کانتور Y- سرعت در زمان هشتاد.....۹۲
شکل (۸-۴۱) کانتور Y- سرعت در زمان صد.....۹۲
شکل (۸-۴۲) کانتور Z- سرعت در زمان صفر.....۹۳
شکل (۸-۴۳) کانتور Z- سرعت در زمان بیست.....۹۳
شکل (۸-۴۴) کانتور Z- سرعت در زمان چهل.....۹۴
شکل (۸-۴۵) کانتور Z- سرعت در زمان هشتاد.....۹۴
شکل (۸-۴۶) کانتور Z- سرعت در زمان صد.....۹۵

شکل(۸-۴۷) کانتور فشار در زمان صفر.....۹۵
شکل(۸-۴۸) کانتور فشلر در زمان بیست.....۹۶
شکل(۸-۴۹) کانتور فشار در زمان چهل.....۹۶
شکل(۸-۵۰) کانتور فشار در زمان هشتاد.....۹۷
شکل(۸-۵۱) کانتور فشار در زمان صد.....۹۷
شکل(۸-۵۲) کانتور چگالی در زمان صفر.....۹۸
شکل(۸-۵۳) کانتور چگالی در زمان بیست.....۹۸
شکل(۸-۵۴) کانتور چگالی در زمان چهل.....۹۹
شکل(۸-۵۵) کانتور چگالی در زمان هشتاد.....۹۹
شکل(۸-۵۶) کانتور چگالی در زمان صد.....۱۰۰
شکل(۸-۵۷) کانتور دما در زمان صفر.....۱۰۰
شکل(۸-۵۸) کانتور دما در زمان بیست.....۱۰۱
شکل(۸-۵۹) کانتور دما در زمان چهل.....۱۰۱
شکل(۸-۶۰) کانتور دما در زمان هشتاد.....۱۰۲
شکل(۸-۶۱) کانتور دما در زمان صد.....۱۰۲

## فهرست علائم اختصاری

| | |
|---|---|
| سرعت صوت لایه بالا | $a_1$ |
| سرعت صوت لایه پایین | $a_2$ |
| تنسور تنش ویسکوز | $\sigma_{ij}$ |
| ضریب دینامیک | $c_d$ |
| ضریب اسماگورینسکی | $c_s$ |
| گام زمانی | $\Delta t$ |
| پهنای فیلترگیری | $\Delta$ |
| ضخامت ورتیسیته | $\delta_\omega$ |
| ضخامت ممنتوم | $\delta$ |
| دلتای کرانیکر | $\delta_{ij}$ |
| چگالی انرژی کل | e |
| تابع فیلترگیری | G |
| نسبت ظرفیت حرارتی مخصوص | $\gamma$ |
| انرژی جنبشی آشفته | $ke$ |
| انرژی جنبشی کل | $E$ |
| عدد ماخ لایه بالا | $M_1$ |
| عدد ماخ لایه پایین | $M_2$ |
| عدد ماخ جابجائی | $M_c$ |

| | |
|---|---|
| مدل سازی ترم‌های مقیاس کوچک | $m_{ij}$ |
| ویسکوزیته گردابه‌ای | $\vartheta_e$ |
| عدد پرانتل | $Pr$ |
| فشار | $P$ |
| شار حرارتی | $q_{ij}$ |
| عدد رینولدز | $Re$ |
| چگالی | $\rho$ |
| تنسور نرخ کرنش | $s_{ij}$ |
| تنسورتنش آشفته | $\tau_{ij}$ |
| دما | $T$ |
| تنسور سرعت | $u_i$ |
| سرعت یکنواخت لایه بالا | $U_1$ |
| سرعت یکنواخت لایه پایین | $U_2$ |