بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده :فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مکانیک گرایش: تبدیل انرژی

عنوان پایان نامه:

شبیه سازی عددی توزیع آلودگی در جریان هوای آشفته اطراف ساختمان در مقیاس مایکرو

نام دانشجو:

امیر عبدالهی

استاد راهنما:

دکتر قاسم حیدری نژاد

تیر ۹۳

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای امیر عبدالهی پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان شبیه سازی عددی توزیع آلودگی در جریان هوای آشفته اطراف ساختمان در مقیاس مایکرو در تاریخ ۱۳۹۳/٤/۷ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر قاسم حیدری نژاد	استاد	
استاد ناظر	دکتر هادی پاسدارشهری	استادیار	
استاد ناظر	دکتر علی اشرفی زاده	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر هادی پاسدارشهری	استادیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب امیر عبداری دانشجوی رشته مهندسی مالی - تبدیل انرژی ورودی سال تحصیلی ۹۵
مقطع کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مالی متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:

تاریخ: ۹۳/۵/۷

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی مکانیک است که در سال ۱۳۹۳ در دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر قاسم حیدری نژاد از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

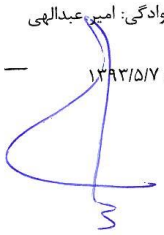
ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب امیر عبدالهی دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: امیر عبدالهی

تاریخ و امضا: ۱۳۹۳/۵/۷



صفحه اهدا

تقدیم به:

پدر گرانقدرم، او که چون کوه ایستاد تا استوار گردم وپرنده خیالم در سایه پشتیبانی‌اش به اوج قله‌های رفیع موفقیت و کامیابی پرواز کرد.

مادر مهربانم که پلک‌هایش روی هم قرار نگرفت تا آرام بخوابم، عزیزی که آسمان محبتش را انتهایی نیست.

مهرشان در قلبم جاودانه است. به امید آنکه گوشه‌ای از الطاف بی‌دریغشان را جبران کنم.

تقدیر و تشکر

اکنون که در پایان دوره‌ی کارشناسی ارشد خود هستم، بر خود لازم می‌دانم از زحمات و حمایت‌های همه‌ی کسانی که در طول دوران تحصیلم مرا یاری کرده‌اند سپاس‌گزاری و قدردانی کنم.

در ابتدا مایلم از جناب آقای دکتر حیدری‌نژاد که همواره با زحمات و دلسوزی‌های بی‌دریغ خود راه را برای به انجام رسانیدن این پایان‌نامه بر من روشن نمودند، صمیمانه قدردانی کنم. همچنین از جناب آقای دکتر به علت در اختیار قرار دادن امکانات آزمایشگاه CFD بی‌نهایت سپاسگزارم.

از کلیه‌ی اساتید گروه تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس، به علت آموزه‌ها و راهنمایی‌هایشان در طول دوره سپاسگزارم.

از پدر و مادر عزیزتر از جانم که همه‌ی داشته‌هایم را مدیونشان هستم و همواره در طول دوران زندگی و تحصیلم با زحمات و حمایت‌های بی‌دریغ خود مرا همراهی کردند، از صمیم قلب تشکر می‌کنم و امیدوارم روزی بتوانم اندکی از این زحمات را جبران نمایم.

از خواهر و برادرم عزیزم که همواره به خاطر داشتنشان در زندگی خدا را شاکرم، سپاس‌گزاری می‌کنم که در طول دوران تحصیلم با همدلی‌هایشان همواره مرا حمایت کردند.

در نهایت از کلیه‌ی دوستان خوبم که همواره در زندگی حامی و موجب دلگرمی بنده بوده‌اند نیز صمیمانه تشکر می‌کنم و امیدوارم بتوانم حق این دوستی را به خوبی به جای بیاورم.

چکیده

مطالعه حاضر، شاخه‌ای از فیزیک شهری می‌باشد که در آن شبیه‌سازی آلودگی اطراف یک محیط شهری در مقیاس مایکرو (مقیاس‌های کوچکتر از 2km) با کمک CFD انجام می‌شود. محیط شهری انتخاب شده، دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد که تاثیر آلودگی ناشی از تردد خودروها در قسمتی از بزرگراه چمران (حدود 600m) که در غرب دانشگاه واقع شده است، بر آن بررسی می‌شود. آلاینده مورد بررسی در این تحقیق گاز CO می‌باشد که علت انتخاب آن، حجم بالای آن در مقایسه با آلاینده‌های دیگر می‌باشد. به منظور تخمین توزیع آلایندگی خودروها در این قسمت از بزرگراه از گزارش ارائه شده توسط شرکت کنترل ترافیک تهران استفاده می‌شود. با داشتن توزیع آلایندگی خودروها، با استفاده از استاندارد پیارک، دبی جرمی و غلظت آلاینده‌های خروجی از این بخش از بزرگراه بدست می‌آید. برای شبیه‌سازی جریان آشفته در این هندسه از یک مدل ترکیبی URANS/LES استفاده می‌شود که در این تحقیق از مدل ترکیبی ارائه شده توسط اسپالارت و آلماراس که به DES معروف است، استفاده می‌شود. همچنین برای انجام محاسبات عددی، از کد منبع باز OpenFOAM، که یک کد بر پایه‌ی روش حجم محدود است، استفاده گردیده است. کد PisoFoam موجود در OpenFOAM راستای انجام این پایان‌نامه توسعه داده می‌شود. اضافه بر این برای تصحیح میدان فشار از روش پیزو استفاده می‌شود. برای گسسته‌سازی فضایی کلیه‌ی جمله‌های جابجایی از روش پاد بادسو مرتبه دوم و از روش ضمنی اویلر برای گسسته‌سازی زمانی همه‌ی جمله‌ها استفاده می‌گردد. به منظور صحت آزمایی مدلسازی انجام شده و فرضیات در نظر گرفته شده، شبیه‌سازی بر روی یک ساختمان که داده‌های تجربی برای آن موجود است انجام می‌شود. در این پایان‌نامه نشان داده می‌شود که تاثیر بزرگراه بر دانشگاه تا چه اندازه است و همچنین حضور ساختمان‌ها تا چه اندازه بر پیچیدگی توزیع آلودگی می‌افزاید.

لغات کلیدی : فیزیک شهری، توزیع آلودگی، دانشگاه تربیت مدرس، بزرگراه چمران، استاندارد پیارک، گاز CO، OpenFOAM، CFD، مدل توربولانسی ترکیبی URANS/LES.

فهرست مطالب

فهرست مطالب..... أ

فهرست شکل‌ها..... ه

فهرست جدول‌ها..... ح

فهرست علائم و نشانه‌ها..... ذ

۱- مقدمه و مروری بر کارهای گذشته..... ۲

۱-۱- تعریف فیزیک شهری..... ۲

۱-۲- مقیاس‌های مورد بررسی در فیزیک شهری..... ۳

۱-۲-۱- مقیاس سیناپتیک..... ۴

۱-۲-۲- مقیاس مزو..... ۴

۱-۲-۳- مقیاس مایکرو..... ۵

۱-۲-۴- مقیاس‌های کوچکتر..... ۵

۱-۲-۵- مدل‌های موجود برای پژوهش در هر مقیاس..... ۷

۱-۳- روش‌های کلی مورد استفاده برای فیزیک شهری در مقیاس مایکرو..... ۸

۱-۴- لایه مرزی اتمسفریک..... ۸

۱-۴-۱- تغییرات لایه مرزی اتمسفریک در طول یک شبانه روز..... ۱۱

۱-۴-۲- اثرات حرارتی در سرعت‌های بالای باد..... ۱۴

۱-۴-۳- پروفیل سرعت باد در لایه مرزی اتمسفریک..... ۱۴

۱-۴-۴- شدت آشفتگی در لایه مرزی اتمسفریک..... ۱۵

۱-۵- مروری بر کارهای گذشته..... ۱۷

۲- معادلات حاکم و مدل آشفتگی..... ۲۴

۲-۱- معادلات حاکم وابسته به زمان ۲۴
۲-۱-۱- فرض جریان تراکم ناپذیر ۲۴
۲-۲- انتخاب روش برای حل جریان مغشوش ۲۶
۲-۲-۱- روش شبیه‌سازی عددی مستقیم (DNS) ۲۶
۲-۲-۲- روش شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) ۲۶
۲-۲-۳- روش متوسط گیری زمانی معادلات ناویر استوکس (RANS) ۲۷
۲-۲-۴- مقایسه سه روش حل جریان مغشوش ۲۷
۲-۲-۵- کاربرد ۳ روش کلی بررسی آشفتگی در فیزیک شهری در مقیاس مایکرو ۲۸
۲-۲-۶- روش URANS (RANS ناپایا) ۲۹
۲-۲-۷- روش ترکیبی URANS / LES ۲۹
۲-۳- متوسط گیری زمانی از معادلات حاکم ۳۰
۲-۴- متوسط گیری مکانی از معادلات حاکم ۳۳
۲-۴-۱- فیلتر جعبه‌ای ۳۴
۲-۵- مدل آشفتگی یک معادله ای SPALART-ALLMARAS ۳۶
۲-۶- مدل ترکیبی URANS/LES اسپالارت آلماراس ۳۹
۲-۷- مدل سازی رفتار سیال آشفته در نزدیکی دیواره ۴۱

۳- روش عددی حل معادلات حاکم ۴۵

۳-۱- کد منبع باز OPENFOAM ۴۶
۳-۲- گسسته‌سازی فضایی در OPENFOAM ۴۷
۳-۲-۱- برنامه کاربردی SnappyHexMesh ۴۸
۳-۳- گسسته‌سازی معادلات در OPENFOAM ۴۹
۳-۴- پردازش موازی ۵۱

۴- شبیه‌سازی آلودگی اطراف یک ساختمان ۵۵

۴-۱- هدف از انجام شبیه‌سازی ۵۵

۴-۲- تعریف مسئله ۵۶
۴-۲-۱- مشخصات هندسی ۵۶
۴-۲-۲- مشخصات در ورودی ۵۷
۴-۳- ناحیه محاسباتی ۵۸
۴-۴- شرایط مرزی ۵۹
۴-۵- شبکه محاسباتی ۶۲
۴-۶- حل ناپایا ۶۳
۴-۷- نتایج ۶۴
۴-۷-۱- مقایسه با نتایج تجربی ۶۴
۴-۷-۲- سرعت و غلظت میانگین ۶۸
۴-۷-۳- سرعت و غلظت لحظه‌ای ۷۰

۵- شبیه‌سازی آلودگی اطراف دانشگاه تربیت مدرس ۷۳

۵-۱- دانشگاه تربیت مدرس ۷۴
۵-۱-۱- مشخصات هندسی ۷۵
۵-۲- بزرگراه چمران ۷۷
۵-۳- ناحیه محاسباتی ۸۰
۵-۴- شرایط مرزی ۸۱
۵-۵- شبکه محاسباتی ۸۳
۵-۶- نتایج ۸۶
۵-۶-۱- استقلال از شبکه محاسباتی ۸۶
۵-۶-۲- سرعت باد اطراف ساختمان‌ها ۸۶
۵-۶-۳- $y+$ بر روی ساختمان‌ها ۸۷
۵-۶-۴- بررسی غلظت CO در نقاط مختلف دانشگاه ناشی از بزرگراه ۸۸
۵-۶-۵- غلظت آلودگی اطراف دانشکده فنی و مهندسی ۸۸

۵-۶-۶- مقایسه غلظت آلودگی بین دانشکده فنی و دانشکده علوم پایه ۹۱
۵-۶-۷- غلظت آلودگی در اطراف بلندترین ساختمان ۹۵
۵-۶-۸- تاثیر عدد اشمیت آشفته بر پخش آلودگی ۹۷
۵-۶-۹- تاثیر سرعت ورودی جریان بر پخش آلودگی ۹۷

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۹

۷- فهرست مراجع ۱۰۱

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ – سایکلون در مقیاس سیناپتیک [۳] ۴
شکل ۱-۲ - سایکلون در مقیاس مزو [۴] ۴
شکل ۱-۳ – بررسی آسایش بادی اطراف ساختمان های بلند توسط جانسن و همکاران [۵] ۵
شکل ۱-۴ – مقیاس‌های کوچکتر از مقیاس مایکرو ۶
شکل ۱-۵ – مقیاس‌های زمانی و مکانی پدیده های اتمسفریک مختلف [۶] ۷
شکل ۱-۶ – لایه‌های مختلف اتمسفر [۷] ۹
شکل ۱-۷ – لایه مرزی اتمسفریک حدود ۱۰٪ لایه تروپوسفر [۸] ۱۰
شکل ۱-۸ – لایه مرزی اتمسفریک در روز [۹] ۱۲
شکل ۱-۹ - لایه مرزی اتمسفریک در شب [۹] ۱۲
شکل ۱-۱۰ – تغییرات لایه مرزی اتمسفریک در طول یک شبانه روز [۹] ۱۳
شکل ۱-۱۱ - پروفیل سرعت میانگین و شدت آشفتگی در لایه مرزی اتمسفریک ۱۵
شکل ۱-۱۲ – انواع زمین با زبری‌های مختلف ۱۶
شکل ۲-۱ – مقایسه سه روش RANS و LES و DNS در حل گردابه‌های جریان ۲۷
شکل ۲-۲ - نمودار تغییرات سرعت لحظه ای، سرعت متوسط و نوسانات سرعت در طی زمان ۳۱
شکل ۳-۱ – مراحل تولید شبکه محاسباتی برای ناحیه حل در برنامه SnappyHexMesh ۴۹
شکل ۳-۲ – تقسیم بندی شبکه محاسباتی به ۵۶ قسمت به منظور پردازش موازی در مسئله تربیت مدرس ۵۳
شکل ۴-۱ - ساختمان مورد بررسی - نمای سه بعدی و دو بعدی ۵۶
شکل ۴-۲ – پروفیل سرعت اندازه گیری شده در ورودی [۲۸] ۵۷
شکل ۴-۳ – شدت آشفتگی اندازه گیری شده در ورودی ۵۸
شکل ۴-۴ – ناحیه محاسباتی به منظور حل عددی ۵۹
شکل ۴-۵ – مقایسه شدت آشفتگی بدست آمده از فرمول با مقدار تجربی ۶۰
شکل ۴-۶ – انرژی جنبشی آشفتگی ۶۱

فهرست شکل ها

شکل ۴-۷ – شبکه محاسباتی به منظور حل عددی ۶۲
شکل ۴-۸ – تعداد سلول در خروجی دودکش ۶۳
شکل ۴-۹ – مقادیر سرعت U و V در سطح ورودی همراه با ایجاد نوسانات ۶۴
شکل ۴-۱۰ – خطوطی که توزیع آلودگی بر روی آنها بررسی میشود ۶۴
شکل ۴-۱۱ - نمودار غلظت بی بعد بر حسب فاصله بی بعد بر روی خط $z = ۰/۳۷۵$M ۶۶
شکل ۴-۱۲ - نمودار غلظت بی بعد بر حسب فاصله بی بعد بر روی خط $z = ۰/۰۲۵$M ۶۷
شکل ۴-۱۳ – نمودار غلظت بی بعد بر حسب فاصله بی بعد بر روی خط $y = ۱/۷۵$M ۶۸
شکل ۴-۱۴ – کانتور سرعت میانگین در جهت x برای صفحه $y = ۱/۷۵$ M ۶۹
شکل ۴-۱۵ – کانتور غلظت میانگین برای صفحه $y = ۱/۷۵$ M ۶۹
شکل ۴-۱۶ - کانتور غلظت میانگین برای صفحه $y = ۱/۷۵$ M برای مقادیر کوچک غلظت ۶۹
شکل ۴-۱۷ - کانتور سرعت لحظه ای در جهت x برای صفحه $y = ۱/۷۵$ M برای مقادیر کوچک غلظت ۷۰
شکل ۴-۱۸ - کانتور غلظت لحظه ای برای صفحه $y = ۱/۷۵$ M برای مقادیر کوچک غلظت ۷۰
شکل ۴-۱۹ – سطوح با غلظت آلودگی یکسان کم از نمای بالا ۷۱
شکل ۵-۱ – نمایی از دانشگاه تربیت مدرس ۷۴
شکل ۵-۲ – عکسی ماهواره‌ای از دانشگاه تربیت مدرس ۷۴
شکل ۵-۳ – نقشه هوایی دانشگاه تربیت مدرس. موقعیت برخی از ساختمانهای مهم ۷۵
شکل ۵-۴ – دانشکده فنی و مهندسی دارای پیچیده ترین ساختمان ۷۶
شکل ۵-۵ – نمای سه بعدی از دانشگاه تربیت مدرس ۷۷
شکل ۵-۶ – نمای دو بعدی از کنار ۷۷
شکل ۵-۷ – نمایی از اتوبان چمران ۷۸
شکل ۵-۸ – نمایی از بزرگراه چمران و دانشگاه تربیت مدرس ۷۸
شکل ۵-۹ – ناحیه محاسباتی برای بررسی آلودگی در دانشگاه تربیت مدرس ۸۰
شکل ۵-۱۰ – نوع زمین در ۱۰KM بالادست جریان ۸۲
شکل ۵-۱۱ – نمای دو بعدی و سه بعدی ناحیه محاسباتی و ساختمان‌های دانشگاه ۸۲
شکل ۵-۱۲ - نمای دو بعدی از بالا از محیط مورد بررسی و مشخص کننده موقعیت بزرگراه چمران و جهت باد. ۸۳

فهرست شکل ها

شکل ۵-۱۳ – شبکه محاسباتی بر روی ساختمان های دانشگاه ۸۴
شکل ۵-۱۴ - شبکه محاسباتی بر روی دانشکده علوم پزشکی (بلندترین ساختمان) ۸۴
شکل ۵-۱۵ – شبکه محاسباتی بر روی دانشکده فنی ۸۵
شکل ۵-۱۶ - شبکه محاسباتی بر روی دانشکده علوم پایه ۸۵
شکل ۵-۱۷ - شبکه محاسباتی بر روی ساختمان‌های خوابگاه دختران ۸۵
شکل ۵-۱۸ - سرعت میانگین در ارتفاع ۲ متر از سطح زمین ۸۷
شکل ۵-۱۹ – کانتور مقادیر $+y$ بر روی ساختمان و زمین ۸۷
شکل ۵-۲۰ - دانشکده فنی و نقاط A , B مشخص شده در شکل ۸۹
شکل ۵-۲۱ – نمایی از دانشکده فنی – نقطه B و قسمت جداکننده بین خطوط A و B مشخص شده است ۸۹
شکل ۵-۲۲ – مقایسه غلظت در نقاط A, B برای دانشکده فنی ۹۰
شکل ۵-۲۳ - مقادیر غلظت بر روی دیواره های دانشکده فنی ۹۰
شکل ۵-۲۴ - دانشکده فنی و دانشکده علوم پایه مشخص شده در دانشگاه تربیت مدرس ۹۲
شکل ۵-۲۵ – مقایسه غلظت آلودگی بین دانشکده فنی و دانشکده علوم پایه ۹۲
شکل ۵-۲۶ – نقاط مورد بررسی در راستای دو خط طولی ۹۳
شکل ۵-۲۷ – مقایسه غلظت بر روی خطوط A,B,C,D,E,F,G,H در راستای دو خط طولی ۹۳
شکل ۵-۲۸ – کانتور غلظت عبوری از خطوط A,B,C,D ۹۴
شکل ۵-۲۹ - کانتور غلظت عبوری از خطوط E,F,G,H ۹۵
شکل ۵-۳۰ – بلندترین ساختمان در میان ساختمان‌های دانشگاه ۹۵
شکل ۵-۳۱ – بلندترین ساختمان ۹۶
شکل ۵-۳۲ – مقایسه غلظت بر روی خطوط A , B در شرق و غرب ساختمان بلند ۹۶
شکل ۵-۳۳ - مقایسه غلظت بر روی خطوط A,B,C,D برای دو عدد اشمیت آشفته ۰/۹ و ۰/۵ ..... ۹۷
شکل ۵-۳۴ - مقایسه غلظت بر روی خطوط A,B,C,D برای دو سرعت مرجع باد $2m/s$ و $5m/s$ ۹۸

فهرست جدول ها

جدول ۱-۱ – معرفی مدل‌های موجود برای هر مقیاس در فیزیک شهری ۸
جدول ۱-۲ - مقادیر ZG و A برای زمین‌های مختلف ۱۶
جدول ۲-۱ – مقایسه معادلات حاکم میانگین گیری شده زمانی و مکانی ۴۰
جدول ۳-۱ – مقادیر ϕ ، Γ و S_ϕ برای معادلات حاکم بر جریان های آشفته غیر قابل تراکم ۵۰
جدول ۵-۱ – ارتفاع بلندترین ساختمان‌های دانشگاه تربیت مدرس ۷۶
جدول ۵-۲ – آلاینده‌های تولیدی برای ۱۰۰ متر از بزرگراه چمران در قسمت مورد بررسی ۷۹

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	نماد
سرعت	U
سرعت میانگین باد در ارتفاع مرجع	U_{ref}
ارتفاع مرجع	Z_{ref}
توان پروفیل توانی	α
پروفیل شدت آشفتگی در جهت عمود بر زمین	$I(Z)$
ارتفاع لایه مرزی اتمسفریک	Z_G
انرژی جنبشی آشفتگی	k
تانسور سرعت لحظه‌ای	U_i, U_j
تانسور سرعت متوسط‌گیری شده زمانی	$\overline{U_i}, \overline{U_j}$
تانسور سرعت متوسط‌گیری شده مکانی	U_i, U_j
تانسور سرعت نوسانی	u_i', u_j'
تانسور سرعت مقیاس زیرشبکه	u_i'', u_j''
فشار لحظه‌ای	p
فشار متوسط‌گیری شده زمانی	$\bar{p}$
فشار متوسط‌گیری شده مکانی	$\tilde{p}$
فشار نوسانی	p'
فشار مقیاس زیرشبکه	p''
غلظت لحظه‌ای	C
غلظت متوسط‌گیری شده زمانی	$\overline{C}$
غلظت متوسط‌گیری شده مکانی	$\tilde{C}$

غلظت نوسانی	c'
غلظت مقیاس زیرشبکه	c''
ویسکوزیته سینماتیکی	ν
ویسکوزیته سینماتیکی آشفته	ν_t
ویسکوزیته سینماتیکی مقیاس زیرشبکه	ν_{SGS}
ویسکوزیته سینماتیکی جریان آزاد	ν_∞
چگالی	ρ
ضریب پخش مولکولی گونه	D
ضریب پخش گونه آشفته	D_t
ضریب پخش مقیاس زیرشبکه	D_{SGS}
عدد اشمیت	Sc
عدد اشمیت آشفته	Sc_t
عدد اشمیت مقیاس زیرشبکه	Sc_{SGS}
مشخصه فیلتر گیری در متوسط‌گیری زمانی	Δ
تابع فیلتر در متوسط‌گیری مکانی	$G(x-\xi)$
تانسور تنش دوبعدی زیرشبکه	τ_{ij}
فاصله مرکز سلول از نزدیکترین دیواره	d
ثابت مدل DES	C_{DES}
ماکزیمم طول هر سلول در روش DES	Δ_{DES}
زمان	t, T
ترم چشمه	S
نرخ تغییر شکل سیال	S_{ij}
فاصله بی بعد از دیواره	y^+
سرعت بی بعد	U^+
سرعت سیال در جهت مماس بر دیواره در اولین سلول کنار دیواره	U_p

فاصله مرکز اولین سلول تا دیواره	y_P
انرژی جنبشی آشفتگی در اولین سلول کنار دیواره	k_P
سرعت اصطکاکی تابع دیواره	u_τ
سرعت اصطکاکی تابع دیواره	u^*
تنش بر روی دیواره	τ_w
ثابت زبری	C_s
ارتفاع زبری	Z_0
ثابت تجربی برای دیوار نرم در تابع دیواره	E
ارتفاع زبری Sand-Grain	k_s
ارتفاع زبری بی بعد Sand-Grain	k_s^+
ثابت فون کارمن	κ
ارتفاع ساختمان تک مورد بررسی	H
عدد کورانت	CFL
غلظت معیار	C_0
دبی جرمی آلاینده در خروجی از دودکش	Q_e
غلظت بی‌بعد	K
سرعت در تکرار قبل در حین حل	U^{n-1}
سرعت در جهت x	U_x
سرعت میانگین‌گیری شده در روش DES	U_{Mean}
غلظت میانگین‌گیری شده در روش DES	C_{Mean}
دبی حجم گاز CO ناشی از تردد خودروها	V_{CO}

فصل اول