



دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

مطالعه تجربی- عددی سه بعدی جریان متلاطم هوا اطراف شکل های گنبدی

توسط

محمد مهدی توکل

استاد راهنما

دکتر محمود یعقوبی

مهرماه ۱۳۸۸

تقدیم به:

پدری مهربان که همواره سرلوحه زندگی ام بوده و هست،

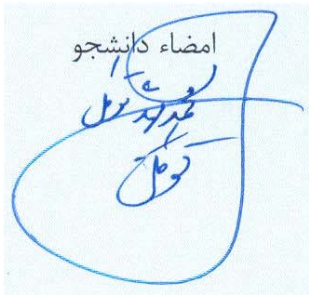
مادری دلسوز که مهرش بی انتها و وصف ناشدنی است.

بنام خدا

اظہار نامہ

اینجانب محمد مهدی توکل (۸۵۰۵۰۷) دانشجوی رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک اظہار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کردم نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظہار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

امضاء دانشجو
محمد مهدی توکل



به نام خدا

مطالعه تجربی - عددی سه بعدی جریان متلاطم هوا اطراف شکل های گنبدی

به وسیله:

محمد مهدی توکل

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیت های لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی مکانیک

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر محمود یعقوبی، استاد مهندسی مکانیک (رئیس کمیته)

دکتر ابراهیم گشتاسی راد، استادیار مهندسی مکانیک

دکتر محمد هادی اکبری، استادیار مهندسی مکانیک

مهر ماه ۱۳۸۸

چکیده

مطالعه تجربی - عددی سه بعدی جریان متلاطم هوا اطراف شکل های گنبدی

به وسیله ی:

محمد مهدی توکل

مطالعه جریان اطراف اجسام سه بعدی پخ واقع بر سطح زمین با بسیاری کاربردها در مهندسی مرتبط است. جریان پیچیده ای از ساختارهای چند گردابه ای در ناحیه دنباله جسم برای چنین آرایشی ایجاد می شود. تحقیق در مورد ساختار دنباله چنین اجسامی برای شناخت پدیده هایی نظیر انتقال حرارت، انتقال جرم، بارهای آئرو دینامیکی و تهویه مطبوع اهمیت دارد. در این تحقیق جریان متلاطم هوا اطراف نیمکره واقع بر سطح برای دو نوع لایه مرزی نازک و ضخیم به صورت تجربی و عددی بررسی شده است. نیمکره به عنوان شکل نمونه گنبد انتخاب شده است که شکل مرسوم سقف برای ساختمان های مسکونی، بازارهای قدیمی، مسجدها و سازه های سنتی در اغلب مناطق خاور میانه می باشد. بررسی جریان هوا اطراف شکل های گنبدی به منظور یافتن بار وارده از سوی باد به گنبد، محاسبه تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی برای تخمین بار گرمایش و سرمایش بنا و همچنین پیش بینی محل نشست ذرات معلق هوا در قسمت جلویی و در پشت گنبد مهم است. بر اساس اندازه گیری های صورت گرفته توزیع سرعت در چندین مقطع در راستای جریان و در راستای عمود بر جریان برای دو نوع لایه مرزی نازک و ضخیم ترسیم شده اند. میدان جریان برای عدد رینولدز ۳۲۰۰۰ که بر اساس ارتفاع نیمکره و سرعت جریان آزاد محاسبه شده، بررسی شده است. نقطه جدایش جریان، طول اتصال مجدد و گردابه نعل اسبی شکل اطراف نیمکره برای هر دو حالت لایه مرزی نازک و ضخیم نشان داده شده اند. تغییرات شدت تلاطم بر روی نیمکره در چندین مقطع از دامنه جریان ترسیم شده اند. با استفاده از حل عددی صورت گرفته تغییرات ضریب فشار بر روی نیمکره ترسیم شده و برای دو نوع لایه مرزی با هم مقایسه شده اند. علاوه بر این، در چندین موقعیت از میدان جریان توزیع سرعت بدست آمده از شبیه سازی عددی با نتایج تجربی مقایسه شده اند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول - مقدمه
۱	۱-۱- معرفی پایان نامه
۱	۲-۱- جریان باد
۶	۳-۱- جریان باد اطراف ساختمان ها
۱۳	۴-۱- اهداف پژوهش
	فصل دوم - مروری بر تحقیقات انجام شده
	۱-۲- تحقیقات پیشین
	فصل سوم - اندازه گیری با سیم داغ
۳۶	۱-۳- مقدمه
۳۹	۲-۳- ویژگی های دستگاه جریان سنج سیم داغ
۴۲	۳-۳- اجزای تشکیل دهنده دستگاه جریان سنج سیم داغ / فیلم داغ
۴۳	۱-۳-۳- شاخک سیم داغ
۴۴	۲-۳-۳- حسگر سیم داغ
۴۵	۳-۳-۳- شاخک فیلم داغ
۴۷	۴-۳-۳- شاخک یک بعدی
۴۸	۵-۳-۳- شاخک دو بعدی
۴۹	۶-۳-۳- مدار الکترونیکی دما ثابت
۵۱	۷-۳-۳- تطبیق دهنده سیگنال
۵۳	۴-۳- جمع آوری و دریافت داده ها
۵۴	۱-۴-۳- تعداد کانال های ورودی و خروجی
۵۴	۲-۴-۳- نرخ نمونه برداری
۵۵	۳-۴-۳- دقت تفکیک پذیری

۵۵	۵-۳- کالیبراسیون و پاسخ فرکانسی
۵۶	۳-۵-۱- دستگاه های کالیبراتور
۵۸	۳-۵-۱-۱- مکانیزم انتقال دهنده شاخک
۶۰	۳-۵-۱-۲- دستگاه های اندازه گیری سرعت جریان سیال
۶۱	۳-۵-۲- روش های کالیبراسیون یک بعدی
۶۲	۳-۵-۳- کالیبراسیون برای سرعت های پایین
۶۲	۳-۵-۳-۱- استفاده از اتاق آرامش تونل باد
۶۳	۳-۵-۳-۲- استفاده از روش گردابه های منظم
۶۵	۳-۵-۳-۳- کمترین سرعت برای کالیبراسیون
۶۶	۳-۵-۴- معادله های کالیبراسیون
۶۷	۳-۵-۴-۱- تقریب نمودن با روش معادله توانی
۶۷	۳-۵-۴-۲- تقریب نمودن با روش چند جمله ای
۶۸	۳-۵-۴-۳- دقت معادله های کالیبراسیون
۶۸	۳-۶- پاسخ فرکانسی حسگر سیم داغ/ فیلم داغ
۶۹	۳-۶-۱- پاسخ فرکانسی حسگر سیم داغ
۷۲	۳-۶-۲- پاسخ فرکانسی حسگر فیلم داغ
۷۳	۳-۶-۳- بهینه سازی پاسخ فرکانسی حسگر سیم/فیلم داغ
۷۴	۳-۷- اندازه گیری سرعت لحظه ای
۷۴	۳-۷-۱- تبدیل ولتاژ به سرعت لحظه ای و تجزیه و تحلیل آن
۷۵	۳-۷-۲- تجزیه و تحلیل سرعت لحظه ای اندازه گیری شده
۷۶	۳-۷-۳- بررسی اثر شدت اغتشاش های جریان سیال در اندازه گیری سرعت جریان
۷۸	۳-۸- بررسی اثر دما بر روی اندازه گیری دستگاه جریان سنج سیم داغ
۷۹	۳-۸-۱- تاثیر دما در منحنی کالیبراسیون جریانسنج سیم داغ
۸۱	۳-۸-۲- جبران اثر دما به صورت نرم افزاری
۸۱	۳-۹- اندازه گیری جریان معکوس با استفاده از دستگاه جریان سنج سیم داغ
۸۳	۳-۱۰- آزمایش به کمک دستگاه جریان سنج سیم داغ
۸۸	۳-۱۱- کالیبراسیون حسگر فیلم مجزا
	فصل چهارم- روش حل عددی
۹۲	۴-۱- مقدمه

۹۳	۲-۴- معادلات حاکم
۹۵	۳-۴- روش های مختلف حل عددی میدان جریان متلاطم
۹۵	۱-۳-۴- روش مدل سازی تلاطم
۹۶	۱-۳-۳-۴- مدل های دو معادله ای
۱۰۰	۲-۳-۴- روش شبیه سازی مستقیم عددی
۱۰۰	۳-۳-۴- روش شبیه سازی گردابه های بزرگ
۱۰۱	۴-۳-۴- روش شبیه سازی گردابه های مجزا
۱۰۲	۴-۴- روش حل معادلات حاکم
۱۰۴	۱-۴-۴- شبکه
۱۰۶	۲-۴-۴- روش حل
۱۰۹	۳-۴-۴- حل معادلات
۱۱۰	۵-۴- فرآیند حل عددی به کمک نرم افزار فلوئنت
۱۱۰	۱-۵-۴- دامنه محاسباتی و شرایط مرزی

فصل پنجم - نتایج

۱۱۳	۱-۵- مقدمه
۱۱۳	۲-۵- جریان در تونل باد و ایجاد لایه مرزی
۱۱۶	۱-۲-۵- ایجاد لایه مرزی نازک
۱۱۷	۲-۲-۵- نتایج اندازه گیری در لایه مرزی نازک
۱۲۳	۳-۲-۵- ایجاد لایه مرزی ضخیم
۱۲۹	۴-۲-۵- نتایج اندازه گیری در لایه مرزی ضخیم
۱۳۸	۵-۲-۵- عدم قطعیت در اندازه گیری
۱۴۱	۳-۵- شبیه سازی عددی
۱۴۱	۱-۳-۵- مطالعه شبکه
۱۴۲	۲-۳-۵- نتایج شبیه سازی عددی
۱۴۹	۴-۵- مقایسه نتایج شبیه سازی عددی با نتایج تجربی

فصل ششم - نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۵۷	۱-۶- نتیجه گیری
۱۵۹	۲-۶- پیشنهادات

مراجع

۱۶۰

فهرست جداول

صفحه	عنوان	شماره جدول
۱۵	مشخصات دو نوع لایه مرزی در تحقیق توی و همکاران [۹]	۱-۲
۱۵	شدت اغتشاش ورودی در دو نوع لایه مرزی در تحقیق توی و همکاران [۹]	۲-۲
۲۴	مشخصات سه نوع لایه مرزی در تحقیق ساوری و توی [۱۳]	۳-۲
۷۸	نسبت سرعت اندازه گیری شده به سرعت واقعی در شدت اغتشاش های مختلف جریان	۱-۳
۹۸	مقایسه بین ثابت های موجود در معادلات دو مدل $k-\varepsilon$ و $RNG\ k-\varepsilon$	۱-۴
۱۳۰	نتایج تجربی پارامتر های مختلف جریان حاصل از این تحقیق و سایر محققین	۱-۵
۱۴۴	نتایج عددی پارامتر های مختلف حاصل از این تحقیق و نتایج سایر محققین	۲-۵
۱۵۵	نتایج تجربی و عددی پارامتر های جریان حاصل از تحقیق حاضر و نتایج سایر محققین	۳-۵

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان	شماره شکل
۳	نمونه ای از توزیع ویبول [۱]	۱-۱
۶	نمونه ای از توزیع لگاریتمی برای سرعت باد [۲]	۲-۱
۸	سقف قوسی با قابلیت ایجاد مکش هوای گرم داخل به بیرون [۵]	۳-۱
۸	نمونه ای از سقف های گنبدی شکل در بنای مساجد و بازار، (a) مسجدی در شهر بخارا، (b) نمایی از بالای بازاری در ایران	۴-۱
۱۰	نمونه ای از سقف های گنبدی و قوسی شکل در ایران، (a) روستای گلی در نزدیکی اردستان یزد، (b، c) نمایی قدیمی از شهر قم	۵-۱
۱۱	جریان الحاقی در اطراف نیم کره [۶]	۶-۱
۱۲	شماتیک الگوی جریان در اطراف یک مکعب [۷]	۷-۱
۱۴	کانتورهای فشار برای نیمکره با سطح صاف از نتایج ماهر [۸]	۱-۲
۱۶	نمودار تغییرات ضریب فشار اطراف گنبد در دو نوع لایه مرزی [۹]	۲-۲
۱۶	توزیع سرعت متوسط در ناحیه دنباله نیمکره در لایه مرزی مسطح و زبر اندازه گیری شده با سیم ضربانی [۹]	۳-۲
۱۷	پروفیل سرعت ورودی و شدت اغتشاش بدون بعد در محل قرار گیری نیمکره [۱۰]	۴-۲
۱۸	توزیع حالت گردابه ای در میدان جریان با عدد رینولدز $10^3 \times 1/6$ در اطراف نیمکره [۱۰]	۵-۲
۱۹	خطوط جریان متوسط در صفحه تقارن در ناحیه دنباله نیمکره برای سه نوع لایه مرزی نازک، ضخیم (صاف) و ضخیم (زبر) [۱۰]	۶-۲
۲۰	توزیع فشار بر روی صفحه تقارن طولی گنبد برای سه نوع لایه مرزی مختلف [۱۰]	۷-۲
۲۱	شماتیک نیمکره و پارامترهای هندسی در میدان جریان [۱۲]	۸-۲
۲۲	جریان اطراف نیمکره با گردابه ثابت و گردابه سنجاق مویی [۱۲]	۹-۲
۲۲	مکانیزم تشکیل گردابه های ثابت و سنجاق مویی در اطراف نیمکره	۱۰-۲

۲۳	بخش های مختلف گردابه سنجاق مویی [۱۲]	۱۱-۲
۲۴	توزیع سرعت و اغتشاشات در مقطعی از صفحه تقارن طولی در ناحیه دنباله نیمکره، $x/R = 4$ ، $Re = 750$ [۱۲]	۱۲-۲
۲۵	الگوی جریان در صفحه تقارن طولی نیمکره بدست آمده از آزمایش در تونل باد [۱۳]	۱۳-۲
۲۵	الگوی جریان در صفحه $Z/H = 0.17$ بدست آمده از آزمایش در تونل باد [۱۳]	۱۴-۲
۲۶	شکل گنبد مورد مطالعه [۱۴]	۱۵-۲
۲۶	نمودار توزیع فشار لحظه ای بر روی گنبد در دو مقدار عدد رینولدز [۱۴]	۱۶-۲
۲۶	نمودار تغییرات خطوط جریان بر روی گنبد در دو مقدار عدد رینولدز [۱۴]	۱۷-۲
۲۷	دو نوع مجموعه مانع و تولید کننده حالت گردابی در تحقیق مانهارت [۶]	۱۸-۲
۲۸	پروفیل سرعت و شدت اغتشاش ورودی شبیه سازی شده توسط مانهارت [۶] و مقایسه آن با پروفیل ساوری و توی [۱۳]	۱۹-۲
۲۸	نمودار خط جریان تقسیم کننده و زاویه جدایش روی نیمکره در صفحه تقارن [۶]	۲۰-۲
۲۹	نمودار توزیع ضریب فشار بر روی نیمکره در صفحه تقارن [۶]	۲۱-۲
۲۹	نمودار توزیع شدت اغتشاش طولی در چندین مقطع در صفحه تقارن [۶]	۲۲-۲
۳۰	کانتور نقاط هم سطح با سرعت صفر و محل این نقاط در صفحه تقارن [۶]	۲۳-۲
۳۱	شبکه مورد استفاده در تحقیق مرونی و همکاران برای یک گنبد [۱۵]	۲۴-۲
۳۲	توزیع ضریب فشار بر روی گنبد در صفحه تقارن طولی در جهت جریان [۱۵]	۲۵-۲
۳۲	توزیع ضریب فشار بر روی گنبد در جهت عمود بر جریان [۱۵]	۲۶-۲
۳۳	هندسه قوسی شکل و پارامترهای هندسی میدان جریان [۱۶]	۲۷-۲

۳۴	شبکه محاسباتی مورد استفاده در تحقیق رئیس زاده [۱۶]	۲۸-۲
۳۴	مقایسه طول اتصال مجدد برای قوس با شعاع انحنای مختلف [۱۶]	۲۹-۲
۳۵	مقایسه زاویه جدایش جریان بر روی سطح برای قوس با زاویه دور مختلف [۱۶]	۳۰-۲
۴۰	هیستوگرام سرعت لحظه ای اندازه گیری شده به وسیله جریان سنج سیم داغ و مقایسه با دستگاه اندازه گیری با فرکانس پایین تر فاصله بین خطوط زمان $50\ ms$	۱-۳
۴۰	مقایسه هیستوگرام جریان سنج سیم داغ، جریان سنج لیزری و جریان سنج به کمک تصویر از ذرات معلق	۲-۳
۴۲	شماتیک دستگاه جریان سنج سیم داغ به همراه تجهیزات جانبی	۳-۳
۴۶	شاخک با حسگر فیلم داغ	۴-۳
۴۷	لایه های تشکیل شده در حسگر فیلم داغ فیبری	۵-۳
۴۸	شاخک مایل	۶-۳
۴۹	شاخک دو بعدی X شکل	۷-۳
۴۹	مدار الکترونیکی دما ثابت	۸-۳
۵۲	مدار شماتیک تطبیق دهنده سیگنال	۹-۳
۵۲	منحنی کالیبراسیون و ولتاژ خروجی قسمت های مختلف تطبیق دهنده سیگنال	۱۰-۳
۵۳	نمونه ای از کارت های داده برداری	۱۱-۳
۵۷	تونل باد مدار باز دمنده	۱۲-۳
۵۸	شماتیک دستگاه کالیبراتور مخزن فشار هوا به همراه نازل	۱۳-۳
۵۹	مکانیزم انتقال دهنده شاخک	۱۴-۳
۶۱	لوله استاتیکی پیتوت	۱۵-۳
۶۳	جریان اطراف استوانه در اعداد رینولدز مختلف [۱۸]	۱۶-۳
۶۵	منحنی کالیبراسیون دستگاه جریان سنج سیم داغ [۱۸]	۱۷-۳
۷۴	پاسخ فرکانسی بهینه دستگاه جریان سنج سیم داغ نسبت به موج مربعی	۱۸-۳
۸۲	(a) تغییرات سرعت لحظه ای برای جریانی که جهت آن تغییر می کند، (b) ولتاژ خروجی دستگاه جریان سنج سیم داغ اندازه گیری	۱۹-۳

شده به شاخک SN [۱۸]

۸۴	مدل نیمکره ساخته شده برای آزمایش واقع در تونل	۲۰-۳
۸۵	حسگر فیلم مجزا ساخت شرکت دانتک	۲۱-۳
۸۶	ضرایب کالیبراسیون دماسنج در نرم افزار <i>RAKE FLOW - WARE</i>	۲۲-۳
۸۷	مشخصات حسگر (۱) در نرم افزار <i>RAKE FLOW - WARE</i>	۲۳-۳
۸۸	مشخصات پل وتستون مدار دما ثابت شامل حسگر (۱) در نرم افزار <i>RAKE FLOW - WARE</i>	۲۴-۳
۸۹	موقعیت مکانی حسگرها نسبت به استوانه در تحقیق حاضر و بررسی داده ها در حوزه فرکانس	۲۵-۳
۹۰	منحنی های کالیبراسیون بدست آمده برای شاخک فیلم داغ به کمک نرم افزار، (a) منحنی مربوط به حسگر ۱، (b) منحنی مربوط به حسگر ۲	۲۶-۳
۹۲	مانع گنبدی شکل در سطح زمین	۱-۴
۱۰۴	نمونه ای از شبکه سازمان یافته	۲-۴
۱۰۵	نمونه ای از شبکه غیر سازمان یافته	۳-۴
۱۱۱	دامنه محاسباتی مورد استفاده برای حل عددی	۴-۴
۱۱۱	شبکه تولید شده برای شبیه سازی عددی	۵-۴
۱۱۵	قسمت های مختلف اندازه گیری سرعت به کمک دستگاه جریان سنج سیم داغ در صفحه تقارن طولی کانال	۱-۵
۱۱۶	توزیع سرعت و شدت اغتشاش در لایه مرزی نازک	۲-۵
۱۱۷	توزیع سرعت بدون بعد اندازه گیری شده در راستای جریان در صفحه تقارن طولی تونل برای لایه مرزی نازک ورودی ($Re_H = 32000$)	۳-۵
۱۱۹	توزیع شدت اغتشاشات اندازه گیری شده در راستای جریان در صفحه تقارن طولی تونل برای لایه مرزی نازک ورودی ($Re_H = 32000$)	۴-۵
۱۲۱	توزیع سرعت اندازه گیری شده در جهت عرضی تونل در چهار ناحیه در دنباله جریان و در چهار ارتفاع مختلف برای لایه مرزی نازک ($Re_H = 32000$)	۵-۵

۱۲۲	توزیع شدت اغتشاشات اندازه گیری شده در جهت عرضی تونل در چهار خط در دنباله جریان و در چهار ارتفاع مختلف برای لایه مرزی نازک ($Re_H = 32000$)	۶-۵
۱۲۴	مجموعه مانع و تولید کننده حالت گردابه ای، (a) مجموعه کانیهان [۳۷]، (b) مجموعه حاضر	۷-۵
۱۲۵	پروفیل سرعت بدست آمده به کمک مجموعه مانع، تولید کننده حالت گردابه ای در فاصله ۵۰ سانتی متری از ابتدای تونل	۸-۵
۱۲۶	پروفیل سرعت بدست آمده به کمک مجموعه مانع، تولید کننده حالت گردابه ای در فاصله ۶۰ سانتی متری از ابتدای تونل	۹-۵
۱۲۷	موقعیت نیمکره در اتاق آزمایش جدید نسبت به مجموعه مانع و تولید کننده حالت گردابه ای واقع در تونل باد	۱۰-۵
۱۲۸	(a) توزیع سرعت بدست آمده در تحقیق کانیهان [۳۷]، (b) توزیع سرعت و شدت اغتشاش در لایه مرزی ضخیم در تحقیق حاضر	۱۱-۵
۱۲۹	توزیع سرعت بدون بعد شده اندازه گیری شده در راستای جریان در صفحه تقارن طولی تونل برای لایه مرزی ضخیم ورودی ($Re_H = 32000$)	۱۲-۵
۱۳۱	توزیع شدت اغتشاشات اندازه گیری شده در راستای جریان در صفحه تقارن طولی تونل برای لایه مرزی ضخیم ورودی ($Re_H = 32000$)	۱۳-۵
۱۳۲	توزیع شدت اغتشاشات در صفحه تقارن طولی ($Re_H = 32000$)، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم	۱۴-۵
۱۳۳	توزیع سرعت اندازه گیری شده در جهت عرضی تونل در سه خط در دنباله جریان و در چهار ارتفاع مختلف برای حالت لایه مرزی ضخیم ($Re_H = 32000$)	۱۵-۵
۱۳۴	توزیع سرعت اندازه گیری شده در جهت عرضی تونل در فاصله $X'/H = 1/34$ در ارتفاع های مختلف، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم	۱۶-۵
۱۳۵	توزیع شدت اغتشاشات اندازه گیری شده در جهت عرضی تونل در چهار خط در دنباله جریان و در چهار ارتفاع مختلف برای حالت لایه	۱۷-۵

	مرزی ضخیم ($Re_H = 32000$)	
۱۳۶	توزیع شدت اغتشاشات اندازه گیری شده در جهت عرضی تونل در فاصله $X'/H = 1/34$ در ارتفاع های مختلف، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم	۱۸-۵
۱۳۸	نمودارهای موسوم به کلاوزر در ناحیه دور از دنباله نیمکره، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم	۱۹-۵
۱۴۲	مقایسه ضریب فشار بر روی نیمکره برای سه شبکه با تعداد سلول های متفاوت	۲۰-۵
۱۴۳	مقایسه خطوط جریان بدست آمده از شبیه سازی عددی جریان در صفحه تقارن طولی میدان محاسباتی، $Z/H = 0$ ، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم، (c) الگوی جریان بدست آمده از نتایج تجربی ساوری و توی [۱۳]	۲۱-۵
۱۴۵	خطوط جریان بدست آمده از شبیه سازی عددی جریان در صفحه $Z/H = 0/5$ ، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم	۲۲-۵
۱۴۶	مقایسه خطوط جریان بدست آمده از شبیه سازی عددی جریان در صفحه $Y/H = 0/17$ ، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم، (c) نتایج تجربی ساوری و توی [۱۳]، (d) نتایج شبیه سازی عددی مانهارت [۶]	۲۳-۵
۱۴۷	خطوط جریان بدست آمده از شبیه سازی عددی جریان در صفحه $Y/H = 0/5$ ، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم	۲۴-۵
۱۴۸	خطوط جریان بدست آمده از شبیه سازی عددی جریان در صفحه $X'/H = 0$ ، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم	۲۵-۵
۱۴۹	خطوط جریان بدست آمده از شبیه سازی عددی جریان در صفحه $X'/H = 1/17$ ، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم	۲۶-۵
۱۵۰	مقایسه سرعت در راستای جریان بدست آمده از شبیه سازی عددی جریان و اندازه گیری در تونل باد در صفحه تقارن طولی، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم	۲۷-۵
۱۵۱	مقایسه توزیع سرعت در راستای جریان بدست آمده از شبیه سازی عددی و اندازه گیری در تونل باد واقع در پایین دست نیمکره در	۲۸-۵

- صفحه تقارن طولی، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم
مقایسه توزیع ضریب فشار بدست آمده از شبیه سازی عددی میدان
جریان و اندازه گیری ساوری و توی [۴] بر روی نیمکره در صفحه ۲۹-۵
۱۵۲
- تقارن طولی، (a) لایه مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم
مقایسه نتایج بدست آمده برای حالت گردابه ای جانبی حاصل از
شبیه سازی عددی در صفحه تقارن طولی، با نتایج تجربی (a) لایه
مرزی نازک، (b) لایه مرزی ضخیم، (c) لایه مرزی نازک ساوری و ۳۰-۵
۱۵۴
توی [۱۰]، (d) لایه مرزی ضخیم ساوری و توی [۱۰]

فهرست نشانه های اختصاری

C_p	ضریب فشار
d	قطر سیم
D	قطر نیمکره
f	فرکانس جاری شدن گردابه ها
H	ارتفاع نیمکره
Re_H	عدد رینولدز بر اساس ارتفاع نیمکره
S_N	عدد استروهمال
U	سرعت جریان آزاد
u_{rms}	سرعت میانگین مربعی
u/U	سرعت بدون بعد
u_{rms}/U	شدت اغتشاشات طولی
v	ولتاژ
X	مختصه راستای جهت جریان
X/H	فاصله بدون بعد در راستای جریان
X_{us}/H	فاصله بدون بعد جدایش در بالادست نیمکره
X_r/H	فاصله اتصال مجدد بدون بعد در دنباله نیمکره
Y	مختصه عمود بر دیواره
Y/H	فاصله بدون بعد عمود بر دیواره
y^+	عدد رینولدز بر اساس سرعت اصطکاکی
Z	مختصه در راستای عرض تونل
Z/H	فاصله بدون بعد در راستای عرض تونل
α	زاویه از ابتدای نیمکره
δ	ضخامت لایه مرزی
ν	لزجت سینماتیکی
δ/H	ضخامت لایه مرزی بدون بعد

فصل اول

مقدمه

۱-۱- معرفی پایان نامه

در پایان نامه حاضر جریان متلاطم هوا اطراف یک نیمکره به عنوان شکل گنبد به صورت تجربی و عددی بررسی می شود. بررسی تجربی در تونل باد صورت گرفته و نتایج حاصل از اندازه گیری به کمک جریان سنج سیم داغ با نتایج شبیه سازی عددی مقایسه می شوند.

۱-۲- جریان باد

انرژی خورشید عامل محرک جریان هوا و منشا ایجاد باد می باشد. فرآیند گرمایش زمین توسط خورشید سبب حرکت هوای گرم به سمت لایه های فوقانی اتمسفر می شود. هوای گرم پس از انجام تبادل حرارت با لایه های سرد تر به سطح زمین بر می گردد. نتیجه چنین فرآیندی جابجایی در مقیاس بزرگ در جو زمین می باشد که به دلیل چرخش کره زمین به شدت تحت تاثیر نیروهای کوریولیس قرار دارد. جریان های منطقه ای متاثر از پارمترهای زیادی مانند عدم یکنواخت بودن سطح زمین به دلیل وجود عوارض طبیعی نظیر کوه ها، تپه ها و یا عوارض غیر طبیعی می باشد. این پارامترها موجب پدید آمدن مقیاس های کوچکتر محلی از حرکت باد در مقایسه با مقیاس بزرگ باد می شود. سرعت باد در هر موقعیت مکانی خاص به صورت پیوسته تغییر می کند. این تغییرات به صورت ساعت به ساعت، فصل به فصل و سالانه قابل بررسی است. در بررسی جریان باد چند موضوع قابل توجه است:

۱. متوسط سرعت باد در ساعت
۲. متوسط سرعت باد در طی شبانه روز
۳. تغییرات روزانه، ماهانه و سالانه
۴. چگونگی توزیع سرعت باد در محل

اگرچه پیش بینی این تغییرات مشکل می باشد اما مدل هایی برای پیش بینی تغییرات سرعت باد در طی یک سال به کمک تابع توزیع احتمال ارائه شده اند. از جمله این مدل ها می توان به توزیع ویبول^۱ اشاره کرد. توزیع ویبول [۱] یکی از مدل هایی است که می تواند به خوبی تغییرات متوسط سرعت باد را به صورت ساعت به ساعت در طی یک سال پیش بینی کند. بیان ریاضی توزیع ویبول به صورت زیر است:

$$F(U) = \exp\left(-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right) \quad (1-1)$$

در این رابطه $F(U)$ کسری از زمان در طی یک سال است که در آن مقدار متوسط سرعت در طی یک ساعت از مقدار U بیشتر است. در این رابطه دو پارامتر مقیاسی^۲ c و پارامتر شکل^۳ k دیده می شود که به توصیف میزان تغییرات سرعت می پردازند. پارامتر c با مقدار متوسط سالانه سرعت باد \bar{U} متناسب است. رابطه ای که برای محاسبه \bar{U} استفاده می شود به شکل زیر است:

$$\bar{U} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (2-1)$$

تابع Γ در این رابطه تابع گاما^۴ می باشد. مقدار تابع چگالی احتمال مشتق تابع F نسبت به U می باشد که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$f(U) = -\frac{dF(U)}{dU} = k \frac{U^{k-1}}{c^k} \exp\left(-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right) \quad (3-1)$$

رابطه بین مقدار متوسط سالانه و f به صورت زیر است:

$$\bar{U} = \int_0^{\infty} U f(U) dU \quad (4-1)$$

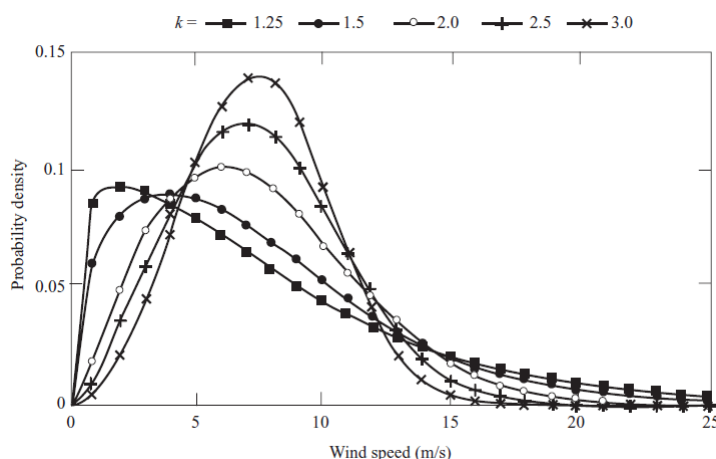
¹ Weibull

² Scale parameter

³ Shape parameter

⁴ Gamma function

حالت ویژه ای از توزیع ویبول توزیع رایلی است که در آن $k = 2$ است. توزیع رایلی در حالت عملی به عنوان توزیع نمونه سرعت باد برای بسیاری از مناطق در جهان شناخته می شود [۱]. برای توزیع رایلی مقدار $\Gamma(1 + 1/k)$ برابر 0.8862 بدست می آید. مقادیر بیشتر برای پارامتر k نشان می دهد که در منطقه مورد نظر تغییرات ساعت به ساعت متوسط سرعت باد در برابر تغییرات آن نسبت به متوسط سالانه بسیار کوچک است و مقادیر کمتر برای k برعکس حالت قبل نشان دهنده تغییرات بیشتر برای تغییرات سرعت متوسط به صورت ساعت به ساعت در مقایسه با مقدار متوسط سالانه می باشد. شکل ۱-۱ نمونه ای از توزیع ویبول را برای مقادیر مختلف k نشان می دهد. این نمودار نشان می دهد که برای مقادیر k بزرگتر از ۲ احتمال وزش باد در محدوده سرعت ۵ تا ۱۰ متر بر ثانیه بیشتر از سایر بازه های دیگر سرعت است.



شکل ۱-۱- نمونه ای از توزیع ویبول [۱]

اکثر مطالعات مرسوم در بحث مهندسی باد^۱ بر روی جریان های لایه مرزی صورت می گیرد. مطالعه جریان های لایه مرزی موجود در جو زمین با توجه به اینکه پارامترهای گوناگونی بر آن ها تاثیر می گذارند بسیار مشکل است. برخی از مهم ترین پارامترهای موثر بر این جریان ها عبارتند از اثر ناهمواری سطح زمین ناشی از عوارض طبیعی، اثرات نیروهای کوریولیس ناشی از چرخش زمین و اثرات حرارتی. براین اساس می توان اثرات حرارتی را به سه دسته پایدار، ناپایدار و خنثی^۲ در حالت لایه لایه ای^۳ تقسیم بندی کرد. شرایط ناپایدار حرارتی زمانی اتفاق می افتد که گرمایش

¹ Wind engineering

² Neutral

³ Stratification