بسم الله الرحمن الرحیم

اندازه‌گیری تجربی جریان درهم همراه با چرخش اطراف صفحات ضخیم توسط دستگاه سیم‌داغ

۱۳۸۱ /۸/ ۷

بوسیله

مسعود سیدمحمودی

پایان‌نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیتهای لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی مکانیک ـ تبدیل انرژی

از

دانشگاه شیراز

شیراز، ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه : عالی

امضای اعضای کمیته پایان‌نامه :

دکتر محمود یعقوبی، استاد مهندسی مکانیک (رئیس کمیته).....

دکتر ابراهیم گشتاسبی‌راد، استادیار مهندسی مکانیک .....

دکتر خسرو جعفرپور، استادیار مهندسی مکانیک .....

۳۰۲۳۰۱

تیرماه ۱۳۸۱

سپاسگزاری

الحمد لله الذي هدانا و ما كنا لنهتدي لولا ان هدانا الله

اکنون که به یاری و لطف ایزد متعال این پژوهش به پایان رسیده است، بر خود لازم می‌دانم از کلیه بزرگوارانی که مرا در انجام آن یاری نموده‌اند بخصوص جناب آقای دکتر محمودیعقوبی، استاد راهنما که همواره مشوق و امیدبخش اینجانب بوده‌اند قدردانی نمایم. راهنماییها و برخوردهای حکیمانه و صبورانه ایشان در حل مشکلات بوجود آمده برای اینجانب مهمترین عامل به اتمام رساندن این تحقیق بوده است.

همچنین لازم می‌دانم از زحمات اساتید محترم کمیته پایان‌نامه، آقایان دکتر ابراهیم گشتاسبی‌راد و دکتر خسروجعفرپور تقدیر نمایم.

از آقای حمیدرضاعلیشاهی نیز که بنحوی در به انجام رسیدن این پروژه متحمل زحمت گردیده‌اند تشکر می‌نمایم.

۴۲۳۰۱

تقـدیم به :

همسر مهربانم، کمال خوبیها

و

مادر صبور

و

روان پاک پدر

و

همه اعضای خانواده

که

در تمامی مراحل تحصیل مرا حمایت کردند.

چکیده

اندازه گیری تجربی جریان درهم همراه با چرخش اطراف صفحات ضخیم توسط دستگاه سیم داغ

به وسیله‌ی:

مسعود سید محمودی

مطالعه جریان اطراف صفحات ضخیم با طول محدود از جهت کاربردهای متنوع و پیچیدگی حرکت سیال مورد توجه بسیاری طی دهه اخیر قرار گرفته است. در این پژوهش آزمایشات دیگری جهت توسعه دانش و ارائه ویژگیهای بیشتری از این جریان انجام شده است. برای این منظور صفحات ضخیم با طول محدود در جهت جریان و عرض زیاد عمود بر جریان درداخل تونل باد قرار داده شده و با استفاده از دستگاه سیم داغ اندازه‌گیریهای متنوعی انجام شده است. ابتدا تونل باد مورد آزمایش برای داشتن جریان با شدت تلاطم کم بازبینی و آماده سازی شده است، سپس دستگاه سیم داغ که قبلا دارای نواقصی بود بررسی و راه‌اندازی شده و پایه‌های جدیدی برای نصب سیستم حرکت دهنده شاخک ساخته و روی تونل باد نصب شده است.

بلوکهای مورد آزمایش از جنس پلکسی‌گلاس با نسبت منظری ۴، ۵، ۶ و ۹ متناسب با عرض تونل باد بنحوی ساخته شده که بسادگی قابل نصب در زاویه دلخواه باشد. برای آزمایش ابتدا سیستم سیم داغ درجه بندی شده و چگونگی جریان از نظر سرعت و شدت درهمی قبل

از اطلاعات مرکز محاسبات

از نصب صفحه ضخیم اندازه‌گیری و مشخص گردیده است. آزمایشات با دقت لازم انجام شده و در هر مورد توزیع سرعت و توزیع شدت درهمی اندازه‌گیری و بصورت یک مجموعه داده‌ها در داخل رایانه تهیه شده است. مدت زمان اندازه‌گیری‌ها قابل کنترل بوده ولی اغلب ۷/۵ ثانیه برای هر نقطه بوده است. هر آزمایش طی حدود ۱/۵ تا ۲/۵ ساعت انجام شده است. در اندازه‌گیری‌ها از شاخک نوع یک سیمه استفاده شده و در ناحیه اطراف صفحه با حرکت شاخک در فاصله‌های دلخواه اندازه‌ها مشخص و اطلاعات حاصله توسط نرم‌افزار رایانه‌ای مربوطه ضمن انجام محاسبات آماری ذخیره شده است. عملیات گرفتن اطلاعات و پردازش آنها و همچنین حرکت شاخک توسط رایانه و نرم‌افزار Streamline انجام شده است. سیم داغ بکار رفته فقط قادر به اندازه‌گیری مقدار سرعت و تلاطم آن بوده و قابلیت تشخیص جهت جریان را نداشته و به‌خصوص در شدت درهمی بالا دقت اندازه‌گیری آن به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. اندازه‌گیری‌ها برای صفحه با نسبت منظری ۹ در چهار شدت درهمی ۱/۸، ۱، ۰/۹ و۰/۵۶ درصد با زاویه حمله صفر و برای نسبت منظری ۶ سه آزمایش که دو تای اول در زاویه حمله صفر و آزمایش آخر در زاویه حمله ۵- درجه صورت گرفته است. آزمایشات مشابه برای نسبت منظری ۴ و۵ در زاویه حمله صفر و شدت درهمی جریان ۰/۶ درصد صورت گرفته است. در آزمایشات فوق عدد رینولدز $\mathrm{Re}_D = \frac{U_\infty D}{\upsilon}$ در محدوده ۱۵۱۰۰ تا ۳۶۰۰۰ تغییر داشته است، که D ضخامت صفحه، U_∞سرعت سیال دور از صفحه و ν لزجت سینماتیکی سیال می‌باشد.

ویژگیهای قابل توجهی از نظر توزیع سرعت در فاصله نزدیک به صفحات، توزیع شدت درهمی در ناحیه چرخشی و موقعیت نقطه اتصال مجدد مشاهده شده و طول نقطه اتصال مجدد با چندین روش محاسبه و برای هر آزمایش بطور متوسط ارائه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که نسبت منظری و شدت درهمی جریان آزاد اثر قابل توجهی در طول ناحیه بازگشتی در اطراف صفحه داشته و پارامترهای جریان مانند ضخامت جابجایی δ^* ، ضخامت مومنتوم θ ، ضریب شکل H و ضریب اصطکاک سطحی C_f تابعی از نسبت منظری و چگونگی جریان می‌باشند. دقت اندازه‌گیری‌ها با تکرار پذیری و مقایسه با نتایج تحقیقات مشابه قبلی ارزیابی و میزان خطاها مشخص گردیده است. نتایج بدست آمده با کارهای سایر محققین مقایسه و دستاوردهای جدید از نظر حرکت جریان و دینامیک سیال در نمودارهای مختلف نشان داده شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جداول ذ

فهرست تصاویر ر

نشانه‌های اختصاری ق

فصل اول: جریانهای چرخشی اطراف صفحات ضخیم ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- اهداف این پژوهش ۵

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین ۷

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- پژوهشهای‌پیشین ۸

فصل سوم: روش اندازه‌گیری ۲۰

۳-۱- دستگاههای اندازه‌گیری جریان ۲۰

۳-۱-۱- معرفی مختصر روش سرعت سنجی «سیم داغ» ۲۱

۳-۱-۲- سرعت سنجی لیزری داپلری ۲۴

۳-۱-۳- مقایسه «سیم داغ»و «سرعت سنج لیزری» ۲۶

۳-۱-۴- خلاصه بخش اول ۳۰

۳-۲- دستگاه سیم داغ و اصول کاربرد آن ۳۳

۳-۲-۱- مکانیزم عملکرد دستگاه سیم داغ ۳۳

۳-۲-۲- تئوری اندازه‌گیری با روش سیم داغ ۴۰

عنوان **صفحه**

۳-۲-۳- درجه‌بندی سیم داغ ۴۱
۳-۲-۴- ملاحظات عملی راجع به درجه‌بندی ۴۴
۳-۲-۵- اثرات آلوده شدن شاخک بر درجه‌بندی ۴۵
۳-۲-۶- چک کردن درجه‌بندی شاخک ۴۶
۳-۲-۷- اثرات تغییر دما بر درجه‌بندی ۴۶
فصل چهارم: تجهیزات و روش آزمایش ۴۸
۴-۱- مقدمه ۴۸
۴-۲- تونل باد ۴۹
۴-۳- صفحات ۵۳
۴-۴- نگهدارنده صفحات ۵۵
۴-۵- اندازه‌گیر سرعت ۵۶
۴-۵-۱- تجهیزات مجموعه اندازه‌گیری دما ثابت CTA و شاخک ۵۷
۴-۵-۲- کارت رایانه‌ای آنالوگ به دیجیتال A/D ۶۰
۴-۵-۳- سیستم حرکت دهنده و کنترل مکانی شاخک (Travesing System) ۶۱
۴-۵-۴- برنامه رایانه‌ای ۶۳
۴-۶- تجهیزات نازل درجه‌بندی ۶۵
۴-۷- تجهیزات جوشکاری و تعمیر شاخک ۶۷
۴-۸- روش آزمایش ۶۹
فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری ۷۲
۵-۱- مقدمه ۷۲
۵-۲- خطاها ۷۶
۵-۲-۱- خطا در وسایل اندازه‌گیری ۷۷

عنوان	صفحه
۵-۲-۲- خطا در اندازه گیری	۷۹
۵-۳- اندازه‌گیری	۸۱
۵-۳-۱- صفحه با نسبت منظری ۹	۸۱
۵-۳-۲- صفحه با نسبت منظری ۶	۱۲۴
۵-۳-۳- صفحات با نسبت منظری ۵ و ۴	۱۳۸
۵-۴- تکرار پذیری آزمایشات	۱۴۸
۵-۵- نتایج کلی	۱۵۲
۵-۵-۱- اثر نسبت منظری در θ/d	۱۵۲
۵-۵-۲- اثر نسبت منظری درضریب اصطکاک سطحی C_f	۱۵۳
۵-۵-۳- اثر نسبت منظری در H	۱۵۴
۵-۵-۴- اثر نسبت منظری در U_{mean}/U_r	۱۵۵
۵-۵-۵- اثر نسبت منظری در U_{rms}/U_r	۱۵۵
۵-۵-۶- اثر نسبت منظری در Tu	۱۵۷
۵-۵-۷- اثر نسبت منظری در طول ناحیه بازگشتی	۱۵۸
۵-۵-۸- جمعبندی	۱۵۹
۵-۶- پیشنهادات	۱۵۹
مراجع	۱۶۰
چکیده و عنوان به زبان انگلیسی	

فهرست جداول

جدول	صفحه
جدول ۳-۱- چگونگی انتخاب سیستم اندازه‌گیری مورد نیاز	۳۲
جدول ۳-۲- مقایسه خصوصیات سیمهای مختلف مورد استفاده در حسگر سیم‌داغ	۳۹
جدول ۳-۳- ضرایب رابطه کولیس ویلیام[۱۸]	۴۲
جدول ۴-۱- ابعاد مدلها	۵۳
جدول ۴-۲- محدوده آزمایش در نسبتهای مختلف AR	۵۵
جدول ۴-۳ مشخصات فنی شاخک مدل 55p11 ساخت شرکت دانتک [۲۱]	۶۰
جدول۵-۱- ابعاد مدلها	۷۳
جدول ۵-۲-نسبت مسدودیت BR در کارهای پیشینیان	۷۴
جدول ۵-۳- محدوده آزمایش در نسبتهای مختلف AR (ابعاد به میلیمتر)	۷۵
جدول ۵-۴- محدوده جریان در نسبتهای مختلف AR	۷۶
جدول ۵-۵- شرایط آزمایش برای AR=۹	۸۲
جدول ۵-۶-تاثیر شدت درهمی در طول نقطه اتصال مجدد	۱۱۹
جدول ۵-۷- شرایط آزمایش برای صفحه با نسبت منظری ۶	۱۲۴
جدول ۵-۸- شرایط آزمایش برای صفحات با نسبت منظری ۴ و ۵	۱۳۸
جدول ۵-۹-مشخصات آزمایشات تکرارپذیری	۱۴۹

فهرست تصاویر

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱-جریان اطراف یک صفحه ضخیم نیمه بینهایت با نسبت منظری L/D>۱۰ ۱

شکل۱-۲-جریان اطراف یک صفحه ضخیم با طول محدود با نسبت منظری L/D<۱۰ ۳

شکل ۱-۳-جریان اطراف یک صفحه ضخیم با طول محدود در زاویه حمله ۴

شکل ۲-۱-تقسیم بندی مطالعات جریانهای چرخشی درهم ۷

شکل ۲-۲-جریان سیال حول صفحه ضخیم نیمه بینهایت ۸

شکل ۲-۳-طول ناحیه بازگشتی در اعداد رینولدز مختلف بدست آمده توسط روشهای: توزیع حداکثر فشار روی سطح، شاخک دکمه‌ای، ضریب اصطکاک سطحی صفر ۹

شکل ۳-۱- نمایش اجمالی نحوه عملکرد سیم داغ ۲۲

شکل ۳-۲- پدیده داپلر مبنای روش سرعت سنجی L.D.A ۲۴

شکل ۳-۳- شکل شماتیک اندازه‌گیری با روش L.D.A ۲۵

شکل ۳-۴- مدار الکتریکی دستگاه سیم داغ وشاخک ۳۴

شکل ۳-۵-منحنی درجه‌بندی سیم داغ ۴۳

شکل ۴-۱- نمای شماتیک ساختار یک آزمایش و نحوه اتصال و سیم‌کشی تجهیزات اندازه‌گیری ۴۹

شکل ۴-۲-تونل باد موجود در بخش مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز ۵۰

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۳-تغییرات شدت درهمی با تغییر سرعت جریان آزاد درون تونل باد قبل از تعمیر ۵۱

شکل ۴-۴-تغییرات شدت درهمی با تغییر سرعت جریان آزاد درون تونل باد بعد از تعمیر ۵۲

شکل ۴-۵-تغییرات سرعت متوسط تونل باد در یک بازه زمانی ۶۸ ثانیه ۵۲

شکل ۴-۶-تغییرات شدت درهمی تونل باد در یک بازه زمانی ۶۸ ثانیه ۵۲

شکل ۴-۷-صفحات مدل ۵۴

شکل ۴-۸- محدوده نقاطی که آزمایش در زاویه حمله صفر درجه در آنها صورت گرفته است. ۵۴

شکل ۴-۹- محدوده نقاطی که آزمایش در زاویه حمله پنج درجه در آنها صورت گرفته است. ۵۴

شکل ۴-۱۰-اجزای مکانیزم نگهدارنده صفحات ۵۶

شکل ۴-۱۱-مجموعه CTA ۵۸

شکل ۴-۱۲-نمای جلوی مدار پل وتستون ۵۸

شکل ۴-۱۳-شاخک مدل ۱۱ p ۵۵ ساخت شرکت دانتک [۲۱] ۵۹

شکل ۴-۱۴-حامل شاخک یک بعدی مدلهای 55H20، 55H21، 55H22 ساخت شرکت دانتک [۲۱] ۵۹

شکل۴-۱۵-نمای سه بعدی سیستم حرکت دهنده شاخک ۶۱

شکل ۴-۱۶-۱-نمای سه بعدی پایه و سیستم حرکت دهنده شاخک و قسمت کار تونل باد ۶۲

شکل ۴-۱۶-۲-نمای روبرو و کنار پایه و سیستم حرکت دهنده شاخک و قسمت کار تونل باد ۶۲

شکل ۴-۱۷-نمای سه بعدی دریچه بالا وشکاف ایجاد شده درون آن ۶۳

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱۸- منوی اصلی نرم‌افزار Stream line ۶۴

شکل ۴-۱۹- منوی اصلی برنامه درجه‌بندی نرم‌آفزار Stream line ۶۴

شکل ۴-۲۰-منحنی و معادله درجه‌بندی یک شاخک مورد استفاده در کار حاضر ۶۵

شکل ۴-۲۱-مجموعه تجهیزات درجه بندی ۶۶

شکل ۴-۲۲-مدار نیوماتیکی کنترل جریان نازل درجه‌بندی ۶۶

شکل ۴-۲۳-منبع تغذیه جوش نقطه‌ای ۶۸

شکل۴-۲۴-پایه نگهدارنده شاخک برای جوشکاری و یک شاخک مدل 55P11 که در آن نصب شده است. ۶۸

شکل ۵-۱- صفحات مدل ۷۳

شکل ۵-۲-۱- مدل با محدوده های آزمایش در زاویه حمله صفر ۷۴

شکل ۵-۲-۲- مدل با محدوده های آزمایش در زاویه حمله ۵- درجه ۷۵

شکل ۵-۳-خطای منحنی درجه بندی ۷۹

شکل ۵-۴-تغییرات اندازه‌گیری فاصله از صفحه در طول صفحه ۸۰

شکل ۵-۵- توزیع ضریب اصطکاک سطحی برای صفحه نیمه بینهایت AR=۲۶ ۸۴

شکل ۵-۶- توزیع ضریب اصطکاک سطحی برای استوانه نیمه بینهایت AR=۱۰ در رینولدزهای مختلف[۸] ۸۵

شکل ۵-۷-۱- توزیع ضریب اصطکاک سطحی برای صفحه AR=۹ و Re=۲۷۶۹۰ ۸۵

شکل۵-۷-۲- توزیع ضریب اصطکاک سطحی برای صفحه AR=۹ در Re=۲۷۶۹۰ بعد از تصحیح اطلاعات ۸۵

شکل ۵-۸- توزیع $\sqrt{u'^2}/U_\infty$ در امتداد طول صفحه نیمه بینهایت AR=۳۵ در ارتفاع Y=۱mm و Re=۵۸۰۰ [۴] ۸۷

شکل ۵-۹- توزیع U_{rms}/U_∞ در امتداد طول صفحه با AR=۹ در ارتفاع Y=۱/۳mm و Y=۰/۳mm و Re=۲۷۶۹۰ ۸۷

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۱۰- پروفیل سرعت درهم $\sqrt{\overline{u'^2}}/U_r$ برای استوانه نیمه بینهایت AR=۱۰ (X_r/d=۱/۷) [۸] ۸۸

شکل ۵-۱۱- پروفیل سرعت درهم $\sqrt{\overline{u'^2}}/U_r$ در امتداد طول صفحه نیمه بینهایت AR=۱۱/۱ و Re= ۵×۱۰^۴ (نقاط توپر با سیم‌داغ اندازه‌گیری شده‌اند) ۸۸

شکل ۵-۱۲- پروفیل سرعت درهم $\sqrt{\overline{u'^2}}/U_r$ در امتداد طول صفحه نیمه بینهایت AR=۲۰ و Re= ۲/۴×۱۰^۴ (2h=d) و (X_r/d=۴_۵) [۱۱] ۸۹

شکل ۵-۱۳- پروفیل سرعت درهم $\sqrt{\overline{u'^2}}/U_r$ اندازه‌گیری شده در امتداد طول صفحه AR=۹ و Re=۲۷۶۹۰ ، Tu=%۰/۹ ۸۹

شکل ۵-۱۴- توزیع U_{mean}/U_r در امتداد طول صفحه AR=۹ در ارتفاع Y=۰/۳mm و Re=۲۷۶۹۰ ۹۰

شکل۵-۱۵- یک پروفیل سرعت نمونه در ناحیه چرخشی ۹۱

شکل ۵-۱۶-۱-خطوط سرعت صفر و $\psi=0$ در روشهای پنجم و ششم صفحه AR=۹ و Re=۲۷۶۹۰ ۹۱

شکل ۵-۱۶-۲- پروفیل سرعت U_{mean} در امتداد طول صفحه AR=۹ و Re=۲۷۶۹۰ ۹۱

شکل ۵-۱۶-۳- پروفیل شدت درهمی U_{rms}/U_{mean} در امتداد طول صفحه AR=۹ و Re=۲۷۶۹۰ ۹۲

شکل ۵-۱۷-۱-پروفیل سرعت U_{mean} در طول یک برابر ارتفاع پله و Re=۷/۹×۱۰^۴ □ :سیم داغ؛ Δ :سیم داغ متحرک [۲۴] ۹۲

شکل ۵-۱۷-۲-پروفیل سرعت U_{rms} در طول یک برابر ارتفاع پله و Re=۷/۹×۱۰^۴ □ :سیم داغ؛Δ :سیم داغ متحرک [۲۴] ۹۳

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۱۸- تابع بی‌بعد جریان(ψ) در امتداد طول صفحه نیمه بینهایت AR=۲۶ و $Re=۲/۶۹\times۱۰^{۴}$ (2h=d) [۴] ۹۳

شکل ۵-۱۹-پروفیل سرعت U_{mean} در امتداد طول صفحه نیمه بینهایت AR=۱۱/۱ و $Re=۵\times۱۰^{۴}$ [۱۳] ۹۳

شکل ۵-۲۰- پروفیل سرعت U_{mean} در امتداد طول صفحه نیمه بینهایت AR=۲۶ و $Re=۲/۶۹\times۱۰^{۴}$ (2h=d) [۴] ۹۴

شکل ۵-۲۱-آزمایش شماره سه: صفحه با نسبت منظری ۹،عدد رینولدز Re=۲۷۶۹۰ و شدت درهمی Tu=۰/۹٪ ۹۵

شکل ۵-۲۲-◆:توزیع پارامترهای رشد لایه مرزی بعد از نقطه اتصال مجدد در امتداد طول صفحه AR=۹ و Re=۲۷۶۹۰ ؛ O:اوتا و ایتازاکا ؛Δ:تیلمن ؛x:مولر و رابرتسون[۴] ۹۷

شکل ۵-۲۳- توزیع پارامترهای رشد لایه مرزی بعد از نقطه اتصال مجدد در امتداد طول صفحه نیمه بینهایت AR=۲۶ ؛Re ، O: $۲/۶۹\times۱۰^{۴}$، Δ: $۴/۲۴\times۱۰^{۴}$ ، □: $۵/۸۴\times۱۰^{۴}$ ؛Tillman: x ؛ ۹۸

شکل ۵-۲۴- ◆:توزیع ضریب اصطکاک سطحی برای صفحه AR=۹ و Re=۱۵۱۰۰ ؛ O:اوتا و ایتازاکا؛ Δ:تیلمن ؛x:مولر و رابرتسون [۴] ۹۹

شکل ۵-۲۵- توزیع U_{rms}/U_r در امتداد طول صفحه AR=۹ در ارتفاع Y=۰/۳mm و Re=۱۵۱۰۰ ۱۰۰

شکل ۵-۲۶- پروفیل سرعت درهم $\sqrt{u'^2}/U_r$ در امتداد طول صفحه AR=۹ و Re=۱۵۱۰۰ ۱۰۰

شکل ۵-۲۷- توزیع U_{mean}/U_r در امتداد طول صفحه AR=۹ در ارتفاع Y=۰/۳mm و Re=۱۵۱۰۰ ۱۰۱

شکل ۵-۲۸- خطوط سرعت صفر و $\psi=0$ برای صفحه AR=۹ در Re=۱۵۱۰۰ ۱۰۱

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

عنوان **صفحه**

شکل ۵-۲۹-۱- پروفیل سرعت U_{mean}/U_r در امتداد طول صفحه AR=۹ و Re=۱۵۱۰۰ ۱۰۲

شکل ۵-۲۹-۲- پروفیل شدت درهمی U_{rms}/U_{mean} در امتداد طول صفحه AR=۹ در Re=۱۵۱۰۰ ۱۰۲

شکل ۵-۳۰-آزمایش شماره یک: صفحه با نسبت منظری ۹،عدد رینولدز Re=۱۵۱۰۰ و شدت درهمی Tu=۱/۸٪ ۱۰۳

شکل ۵-۳۱- ◆:توزیع پارامترهای رشد لایه مرزی بعد از نقطه اتصال مجدد در امتداد طول صفحه برای صفحه AR=۹و Re=۱۵۱۰۰؛ O:اوتا و ایتازاکا؛ Δ:تیلمن ؛X:مولر و رابرتسون [۴] ۱۰۴

شکل ۵-۳۲-◆ توزیع ضریب اصطکاک سطحی برای صفحه AR=۹ و Re=۲۳۹۰۰ ؛ O:اوتا و ایتازاکا؛ Δ:تیلمن ؛X:مولر و رابرتسون [۴] ۱۰۵

شکل ۵-۳۳- توزیع U_{rms}/U_r در امتداد طول صفحه AR=۹ در ارتفاع Y=۱/۳mm و Y=۰/۳mm و Re=۲۳۹۰۰ ۱۰۶

شکل ۵-۳۴- پروفیل سرعت درهم $\sqrt{u'^2}/U_r$ در امتداد طول صفحه AR=۹ و Re=۲۳۹۰۰ ۱۰۶

شکل ۵-۳۵- توزیع U_{mean}/U_r در امتداد طول صفحه AR=۹ در ارتفاع Y=۱/۳mm و Re=۲۳۹۰۰ Y=۰/۳mm ۱۰۷

شکل ۵-۳۶- خطوط سرعت صفر و $\psi=0$ برای صفحه AR=۹ در Re=۲۳۹۰۰ ۱۰۸

شکل ۵-۳۷- پروفیل سرعت U_{mean}/U_r در امتداد طول صفحه AR=۹ و Re=۲۳۹۰۰ ۱۰۸

شکل ۵-۳۸- پروفیل شدت درهمی U_{rms}/U_{mean} در امتداد طول صفحه AR=۹ و Re=۲۳۹۰۰ ۱۰۸