



بک

۱۴۹۳۹۱

بسمه تعالی



دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده فناوری های نوین

پایان نامه:

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته فضا

عنوان

حل تقریبی جریان لزج بر روی بدنه های با دماغه های مخروطی پخ و محاسبه

نرخ انتقال حرارت وارد بر سطح

نام دانشجو

وحیده دشتی رحمت آبادی

استاد راهنما:

دکتر علیرضا طلوعی، دکتر سحر نوری

استاد مشاور:

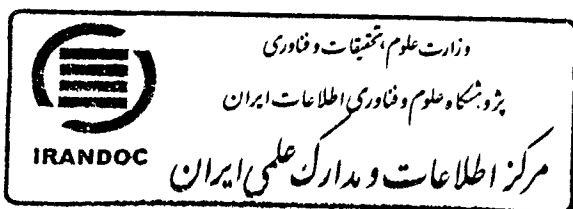
دکتر سجاد قاسملوی

استاد داور:

دکتر مسعود میرزایی

۸۹/۶/۱۷

لر



۱۴۹۳۹۱

۱۳۸۹/۱۰/۱۹

قدردانی:

در اینجا لازم است از زحمات بی دریغ جناب آقای دکتر قاسملوی تشکر و قدردانی نمایم که در انجام این پروژه، از راهنمایی ها و کمک های بی دریغ ایشان بهره برده ام. ایشان در این کار فراتر از یک استاد بوده و برایم نقش یک راهبر را داشته اند؛ و همچنین سرکار خانم دکتر نوری که ایشان نیز، همانند همسر گرامیشان، در پیشبرد این کار، مرا یاری کرده اند. در نهایت نیز از جناب آقای دکتر طلوعی تشکر می نمایم که نظرات ایشان، در بهتر کردن این کار، به من کمک های بسیاری کرد.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه شهید بهشتی
می باشد.

به نام خدا

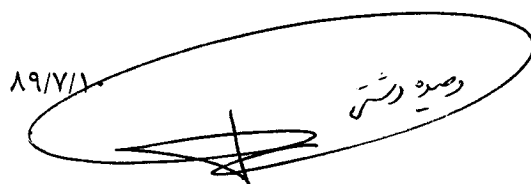
نام و نام خانوادگی: وحیده دشتی رحمت آبادی
عنوان پایان نامه: حل تقریبی جریان لزج بر روی بدنه های با دماغه های مخروطی پخ و
محاسبه نرخ انتقال حرارت وارد بر سطح

استاد/اساتید راهنما: دکتر علیرضا طلوعی، دکتر سحر نوری

اینجانب وحیده دشتی رحمت آبادی تهیه کننده پایان نامه کارشناسی ارشد/دکتری حاضر خود را ملزم به حفظ امانت داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان بنا بر قانون حق انحصاری (Copyright) می دانم. بدین وسیله اعلام می نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینجانب می باشد و در صورت استفاده از اشکال؛ جداول، و مطالب سایر منابع، بلافاصله مرجع آن ذکر شده و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج گشته است و امانتداری را به صورت کامل رعایت نموده ام. در صورتی که خلاف این مطلب ثابت شود، مسئولیت کلیه عواقب قانونی با شخص اینجانب می باشد.

وحیده دشتی رحمت آبادی

۸۹/۷/۱
رسیده رشتی



تقدیم به:

این اثر را به فرزندان کوچکم تقدیم می‌کنم که شیرینی وجودشان، سختی این کار را بر من آسان کرد و همسر مهربانم که پشتوانه محکمی برای انجام این کار بود.

فهرست:

دوازده	فهرست اشکال
هفده	فهرست جداول
هیجده	فهرست علائم
۱	فصل اول، مقدمه
۴	۱-۱- ویژگی های جریان ابرصوتی
۴	۱-۱-۱- لایه شوک نازک (Thin Shock Layer)
۵	۱-۱-۲- لایه انتروپی (Entropy Layer)
۵	۱-۱-۳- تداخل لزجت (Viscous Interaction)
۷	۱-۱-۴- جریانهای با درجه حرارت بالا (High – Temperature Flows)
۸	۱-۱-۵- جریان با چگالی کم (Low density flow)
۱۰	۱-۲- روش های کلی جریان ابرصوتی
۱۲	۱-۲-۱- معادلات ناویراستوکس
۱۴	۱-۲-۲- معادلات ناویر استوکس سهموی شده
۱۶	۱-۲-۳- معادلات لایه شوک لزج
۲۴	۱-۲-۴- معادلات لایه مرزی
۲۶	فصل دوم، معادلات لایه شوک لزج و روابط مورد نیاز برای حل این معادلات
۳۹	۱-۲- خط سکون
۴۱	۲-۲- رابطه فشار مزین

۴۲	..... ۳-۲- مشخصات هندسی لایه شوک
۴۳	..... ۱-۳-۲- حالت کلی شکل شوک
۴۴	..... ۲-۳-۲- شکل شوک در ناحیه زیرصوت جریان متقارن محوری
۴۵	..... ۳-۳-۲- شکل بدنه
۴۶	..... ۴-۳-۲- محاسبه ضخامت
۴۷	..... ۵-۳-۲- شکل شوک در ناحیه مافوق صوت جریان متقارن محوری
۴۸	..... ۶-۳-۲- فاصله گذاری در لایه شوک
۵۲	..... ۴-۲- محاسبه گرادیان فشار
۵۳	..... ۵-۲- حل جریان با فرض گاز کامل
۵۳	..... ۱-۵-۲- معادله حالت
۵۴	..... ۲-۵-۲- خواص ترمودینامیکی و انتقالی
۵۵	..... ۳-۵-۲- خواص شوک
۵۶	..... ۴-۵-۲- شرایط مرزی
۵۶	..... ۶-۲- اغتشاش
۵۹	..... ۱-۶-۲- معادلات حاکم
۶۳	..... ۲-۶-۲- مدل اغتشاش
۶۶	..... ۷-۲- روش حل
۷۰	..... فصل سوم، نتایج
۷۲	..... ۱-۳- مشخصات هندسی بدنه و شوک
۷۶	..... ۲-۳- توزیع فشار

- ۳-۳- تغییرات ضریب اصطکاک سطحی ۷۶
- ۳-۴- توزیع انتقال حرارت به بدنه ۸۰
- ۳-۵- پروفیل فشار در ناحیه سکون ۸۳
- ۳-۶- پروفیل چگالی در ناحیه سکون ۸۳
- ۳-۷- پروفیل سرعت مماسی در ناحیه سکون ۸۴
- ۳-۸- پروفیل سرعت عمودی در ناحیه سکون ۸۵
- ۳-۹- پروفیل انتالپی در ناحیه سکون ۸۶
- ۳-۱۰- پروفیل فشار در ناحیه $s_b \approx 40$ ۸۸
- ۳-۱۱- پروفیل فشار در ناحیه $s_b \approx 1125$ ۸۹
- ۳-۱۲- پروفیل سرعت عمودی در ناحیه $s_b \approx 40$ ۸۹
- ۳-۱۳- پروفیل سرعت عمودی در ناحیه $s_b \approx 1125$ ۹۰
- ۳-۱۴- پروفیل سرعت مماسی در ناحیه $s_b \approx 40$ ۹۰
- ۳-۱۵- پروفیل سرعت مماسی در ناحیه $s_b \approx 1125$ ۹۲
- ۳-۱۶- نرخ انتقال حرارت با $R_{nose} = 0.229m$ ۹۲
- ۳-۱۷- توزیع فشار بر روی بدنه با $R_{nose} = 0.229m$ ۹۳
- ۳-۱۸- توزیع فشار به صورت با بعد در جریان آرام ۹۵
- ۳-۱۹- توزیع فشار به صورت با بعد در جریان مغشوش ۹۵
- ۳-۲۰- توزیع چگالی به صورت با بعد در جریان آرام ۹۶
- ۳-۲۱- توزیع چگالی به صورت با بعد در جریان مغشوش ۹۸

- ۹۹ ۳-۲۲- توزیع انتقال حرارت به صورت با بعد در جریان آرام
- ۹۹ ۳-۲۳- توزیع انتقال حرارت به صورت با بعد در جریان مغشوش
- ۱۰۱ ۳-۲۴- نرخ تغییرات زاویه شوک در طول بدنه
- ۱۰۱ ۳-۲۵- تغییرات ضخامت لایه شوک
- ۱۰۱ ۳-۲۶- توزیع دما بر روی دماغه در ناحیه سکون
- ۱۰۴ ۳-۲۷- توزیع دما بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش
- ۱۰۷ ۳-۲۸- توزیع سرعت مماسی بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش
- ۱۰۹ ۳-۲۹- توزیع سرعت عمودی بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش
- ۱۱۱ ۳-۳۰- توزیع فشار بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش
- ۱۱۳ ۳-۳۱- توزیع چگالی بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش
- ۱۱۶ ۳-۳۲- تغییر زاویه نوک دماغه وسیله پرنده از ۵ درجه به ۱۵ درجه
- ۱۲۰ ۳-۳۳- تغییر شعاع نوک دماغه وسیله پرنده از ۰،۰۳۸۱ به ۰،۰۵ متر
- ۱۲۴ ۳-۳۴- تغییر سرعت جریان ورودی از ماخ ۱۵ به ماخ ۱۷ و ۸
- ۱۲۹ ۳-۳۵- شبکه بندی و استقلال از شبکه
- ۱۳۸ فصل چهارم، جمع بندی و پیشنهادات
- ۱۳۹ ۴-۱- جمع بندی
- ۱۴۱ ۴-۲- پیشنهادات
- ۱۴۳ ضمایم
- ۱۴۴ ضمیمه (الف) - پارامترهای بی بعد
- ۱۴۶ ضمیمه (ب) - مقادیر اولیه در ناحیه سکون

فهرست اشکال:

فصل اول

- شکل (۱-۱): نمایی از موشک V2 در حل پرتاب ۱
- شکل (۲-۱): با افزایش عدد ماخ، شوک به بدنه نزدیک تر می شود ۵
- شکل (۳-۱): لایه انتروپی در پشت شوک ۶
- شکل (۴-۱): مشخصات فیزیکی جریان ابرصوتی ۹

فصل دوم

- شکل (۱-۲): سیستم مختصات برای معادلات VSL ۳۰
- شکل (۲-۲): سیستم مختصات منحنی الخط شوک ۳۶
- شکل (۳-۲): رویه شوک ۴۴
- شکل (۴-۲): خطوط جریان های با فاصله گذاری های یکسان (Ψ ثابت) ۵۰
- شکل (۵-۲): خطوط با فاصله گذاری ثابت η ۵۰
- شکل (۶-۲): خطوط با فاصله گذاری ثابت η_n ۵۱
- شکل (۷-۲): نرخ انتقال حرارت سطح بر روی دماغه مخروطی ۹ درجه در جریان مغشوش ۶۰
- شکل (۸-۲): روند حل معادلات لایه شوک لزج در جریان گاز کامل ۶۹

فصل سوم

- شکل (۱-۳): مختصات بدنه و شوک در روش حاضر ۷۳
- شکل (۲-۳): شکل شوک و بدنه در ناحیه نزدیک به دماغه ۷۴
- شکل (۳-۳): مقایسه شکل شوک در کل ناحیه حل ۷۴
- شکل (۴-۳): مقایسه شکل شوک در ناحیه نزدیک به دماغه ۷۵

- شکل (۳-۵): فرم سه بعدی بدنه ۷۵
- شکل (۳-۶): مقایسه فشار بر روی بدنه در کل ناحیه حل ۷۸
- شکل (۳-۷): مقایسه فشار بر روی بدنه در ناحیه سکون ۷۸
- شکل (۳-۸): توزیع اصطکاک سطحی بر روی بدنه در کل ناحیه حل ۷۹
- شکل (۳-۹): توزیع اصطکاک سطحی بر روی بدنه در ناحیه سکون ۷۹
- شکل (۳-۱۰): توزیع انتقال حرارت سطحی بر روی بدنه در کل ناحیه حل در جریان آرام ۸۱
- شکل (۳-۱۱): توزیع انتقال حرارت سطحی بر روی بدنه در کل ناحیه حل در جریان مغشوش ۸۲
- شکل (۳-۱۲): توزیع انتقال حرارت سطحی بر روی بدنه در ناحیه سکون ۸۲
- شکل (۳-۱۳): پروفیل فشار نسبت به η_n در ناحیه سکون ۸۴
- شکل (۳-۱۴): پروفیل چگالی نسبت به η_n در ناحیه سکون ۸۵
- شکل (۳-۱۵): پروفیل سرعت مماسی نسبت به η_n در ناحیه سکون ۸۶
- شکل (۳-۱۶): پروفیل سرعت عمودی نسبت به η_n در ناحیه سکون ۸۷
- شکل (۳-۱۷): پروفیل آنتالپی نسبت به η_n در ناحیه سکون ۸۷
- شکل (۳-۱۸): پروفیل فشار در ناحیه $s_b \approx 40$ ۸۸
- شکل (۳-۱۹): پروفیل فشار در ناحیه $s_b \approx 1125$ ۹۰
- شکل (۳-۲۰): پروفیل سرعت عمودی در ناحیه $s_b \approx 40$ ۹۱
- شکل (۳-۲۱): پروفیل سرعت عمودی در ناحیه $s_b \approx 1125$ ۹۱
- شکل (۳-۲۲): پروفیل سرعت مماسی در ناحیه $s_b \approx 40$ ۹۲
- شکل (۳-۲۳): پروفیل سرعت مماسی در ناحیه $s_b \approx 1125$ ۹۴

- شکل (۳-۲۴): نرخ انتقال حرارت در $R_{nose} = 0.229m$ ۹۴
- شکل (۳-۲۵): توزیع فشار در $R_{nose} = 0.229m$ ۹۶
- شکل (۳-۲۶): توزیع فشار به صورت با بعد در جریان آرام ۹۷
- شکل (۳-۲۷): توزیع فشار به صورت با بعد در جریان مغشوش ۹۷
- شکل (۳-۲۸): توزیع چگالی به صورت با بعد در جریان آرام ۹۸
- شکل (۳-۲۹): توزیع چگالی به صورت با بعد در جریان مغشوش ۱۰۰
- شکل (۳-۳۰): توزیع انتقال حرارت به صورت با بعد در جریان آرام ۱۰۰
- شکل (۳-۳۱): توزیع انتقال حرارت به صورت با بعد در جریان مغشوش ۱۰۲
- شکل (۳-۳۲): تغییرات زاویه شوک به صورت دو بعدی بر حسب درجه ۱۰۲
- شکل (۳-۳۳): تغییرات ضخامت لایه شوک به صورت دو بعدی ۱۰۳
- شکل (۳-۳۴): توزیع دمایی به صورت با بعد در ناحیه سکون ۱۰۳
- شکل (۳-۳۵): توزیع دما بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش ۱۰۶
- شکل (۳-۳۶): مقایسه پروفیل دما در قبل و بعد از اغتشاش ۱۰۶
- شکل (۳-۳۷): توزیع سرعت مماسی بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش ۱۰۸
- شکل (۳-۳۸): مقایسه پروفیل سرعت مماسی در قبل و بعد از اغتشاش ۱۰۸
- شکل (۳-۳۹): توزیع سرعت عمودی بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش ۱۱۰
- شکل (۳-۴۰): مقایسه پروفیل سرعت عمودی در قبل و بعد از اغتشاش ۱۱۰
- شکل (۳-۴۱): توزیع فشار بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش ۱۱۲
- شکل (۳-۴۲): مقایسه پروفیل فشار در قبل و بعد از اغتشاش ۱۱۲
- شکل (۳-۴۳): توزیع چگالی بر روی بدنه در جریان های آرام، ناحیه گذر و مغشوش ۱۱۴

چهارده

- شکل (۳-۴۴): مقایسه پروفیل چگالی در قبل و بعد از اغتشاش ۱۱۵
- شکل (۳-۴۵): مقایسه شکل شوک در زاویه های مختلف دماغه ۱۱۸
- شکل (۳-۴۶): مقایسه فشار در زاویه های مختلف دماغه ۱۱۸
- شکل (۳-۴۷): مقایسه چگالی در زاویه های مختلف دماغه ۱۱۹
- شکل (۳-۴۸): مقایسه نرخ انتقال حرارت در جریان کاملا آرام در زاویه های مختلف دماغه ۱۱۹
- شکل (۳-۴۹): مقایسه نرخ انتقال حرارت در جریان مغشوش در زاویه های مختلف دماغه ۱۲۱
- شکل (۳-۵۰): مقایسه شکل شوک در شعاع دماغه های مختلف ۱۲۲
- شکل (۳-۵۱): مقایسه فشار در شعاع دماغه های مختلف ۱۲۲
- شکل (۳-۵۲): مقایسه چگالی در شعاع دماغه های مختلف ۱۲۳
- شکل (۳-۵۳): مقایسه نرخ انتقال حرارت در جریان کاملا آرام در شعاع دماغه های مختلف ۱۲۳
- شکل (۳-۵۴): مقایسه نرخ انتقال حرارت در جریان مغشوش در شعاع دماغه های مختلف ۱۲۴
- شکل (۳-۵۵): مقایسه شکل شوک در ماخ ها مختلف ۱۲۶
- شکل (۳-۵۶): مقایسه فشار در ماخ ها مختلف ۱۲۷
- شکل (۳-۵۷): مقایسه چگالی در ماخ ها مختلف ۱۲۷
- شکل (۳-۵۸): مقایسه نرخ انتقال حرارت در جریان کاملا آرام در ماخ ها مختلف ۱۲۸
- شکل (۳-۵۹): مقایسه نرخ انتقال حرارت در جریان مغشوش در ماخ ها مختلف ۱۲۸
- شکل (۳-۶۰): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۱۰ ناحیه ۱۳۰
- شکل (۳-۶۱): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۲۰ ناحیه ۱۳۰
- شکل (۳-۶۲): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۳۰ ناحیه ۱۳۱
- شکل (۳-۶۳): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۴۰ ناحیه ۱۳۱

- شکل (۳-۶۴): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۵۰ ناحیه ۱۳۲
- شکل (۳-۶۵): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۶۰ ناحیه ۱۳۲
- شکل (۳-۶۶): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۷۰ ناحیه ۱۳۳
- شکل (۳-۶۷): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۸۰ ناحیه ۱۳۳
- شکل (۳-۶۸): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۹۰ ناحیه ۱۳۴
- شکل (۳-۶۹): شبکه بندی در طول لایه شوک و تقسیم بندی به ۱۰۰ ناحیه ۱۳۴
- شکل (۳-۷۰): مقایسه مقادیر آنتالپی در تقسیم بندی های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ناحیه ۱۳۵
- شکل (۳-۷۱): مقایسه مقادیر آنتالپی در تقسیم بندی های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ناحیه ۱۳۵
- شکل (۳-۷۲): مقایسه مقادیر آنتالپی در تقسیم بندی های ۴۰، ۵۰ و ۶۰ ناحیه ۱۳۶
- شکل (۳-۷۳): مقایسه مقادیر آنتالپی در تقسیم بندی های ۱۰ تا ۱۰۰ ناحیه ۱۳۶

فصل چهارم

- شکل (۴-۱): مقایسه میزان خطا در دو روش حاضر و گرنتز با روش VSL ۱۴۰
- شکل (۴-۲): مقایسه زمانبری در روش حاضر و روش های مرجع ۲۸ و ۵۳ ۱۴۰

فهرست جداول:

- جدول ۱: میزان خطا در نقاط مورد بررسی در پروفیل دما ۱۰۵
- جدول ۲: میزان خطا در نقاط مورد بررسی در پروفیل سرعت مماسی ۱۰۸
- جدول ۳: میزان خطا در نقاط مورد بررسی در پروفیل سرعت عمودی ۱۱۰
- جدول ۴: میزان خطا در نقاط مورد بررسی در پروفیل فشار ۱۱۲
- جدول ۵: میزان خطا در نقاط مورد بررسی در پروفیل چگالی ۱۱۵
- جدول ۶: حداکثر پارامترهای بیان شده به صورت با بعد در زوایای دماغه متفاوت ۱۱۷
- جدول ۷: حداکثر پارامترهای بیان شده به صورت با بعد در شعاع های دماغه متفاوت ۱۲۱
- جدول ۸: حداکثر پارامترهای بیان شده به صورت با بعد در ماخ های متفاوت ۱۲۶
- جدول ۹: مقایسه میزان خطا در تقسیم بندی های مختلف ۱۳۷
- جدول ۱۰: مقایسه بین نتایج روش حاضر و نتایج روش مراجع ۲۸ و ۵۳ ۱۳۹

فهرست علائم:

ضریب میرایی	A^+
ضرایب معادله سهموی	$A_i, i=1,2,\dots$
ضریب مقطع مخروطی	b_b
پارامتر شکل شوک در ناحیه زیر صوت	b_s
ضریب اصطکاک سطح	C_f
گرمای ویژه در فشار ثابت	C_p
پارامتر شکل شوک در ناحیه زیر صوت	C_s
آنتالپی	h
متریک های دستگاه مختصات در جهت شوک	h_1, h_3
آنتالپی کل، $H = h + V^2/2$	H
ضریب هدایت حرارتی	k
عدد ماخ	M
فاصله عمودی از شوک تا نقطه مورد نظر	n
پارامتر مختصات قائم	n^+
فشار	P
عدد پراتل، $P_r = \frac{\mu C_p}{K}$	P_r
نرخ انتقال حرارت	q
شعاع	r
انحنای شوک	R
ثابت گاز، $\bar{R} = \frac{R_U}{M}$	\bar{R}
ثابت عمومی گازها	R_U
فاصله اندازه گیری شده بر روی شوک	s
دما	T
مولفه مماسی سرعت	u
مولفه عمودی سرعت	v
سرعت، $V = u^2 + v^2$	V
زاویه شوک، زاویه حمله	α

نسبت گرماهای ویژه	γ
ضریب تناوبی کلبانوف (مدل اغتشاش)	γ_{ij}
ضریب تناوبی گذر (مدل اغتشاش)	$\gamma_{i,\xi}$
ضخامت لایه مرزی	δ
ضخامت جابجایی	δ_k
پارامتر عدد رینولدز، $\varepsilon = \left(\frac{\mu_{ref}}{\rho_\infty u_\infty R_{nose}} \right)^{\frac{1}{2}}$	ε
نسبت لزجت آشفته به لزجت دینامیکی، $\varepsilon^+ = \frac{\mu_i}{\mu}$	ε^+
طول اختلاط پراتل در لایه داخلی	ε_i^+
طول اختلاط پراتل در لایه بیرونی	ε_o^+
مختصات محاسباتی، $\eta_n = 1 - \frac{n}{n_b}$	η
انحنای، $\kappa = \frac{1}{R}$	κ
مختصات محاسباتی، ξ	ξ
چگالی	ρ
	بالانویس ها
کمیت های با بعد	*
	زیر نویس ها
بدنه	b
لبه لایه مرزی	e
جزء i ام، نشان دهنده گام i در طول جریان	i
نقطه j ام در لایه شوک	j
مقدار دماغه	$Nose$
مقدار دماغه	n
مقادیر مرجع	ref
مقدار پشت شوک	s
مقدار اغتشاشی	t
دیواره	w
نقطه سکون	0
جریان آزاد	∞

نورزه

چکیده:

مساله اصلی در این پروژه، تعیین خواص جریان بر روی بدنه های با دماغه پخ با استفاده از حل معادلات لایه شوک لزج می باشد. حل این معادلات به صورت عددی و از نوع تقریبی انجام گرفته و در نهایت به محاسبه نرخ انتقال حرارت وارد بر سطح بدنه پرداخته شده است. حل تقریبی معادلات از حل همزمان همه معادلات جلوگیری کرده و بنابراین باعث افزایش سرعت حل می گردد. در حل معادلات، تنها از یک معادله تقریبی استفاده شده است. با وجود معادله تقریبی در محاسبات، خطای جواب های این پژوهش کمتر از روش های تقریبی دیگر بوده و به جواب های حل دقیق معادلات VSL نزدیک بوده است. همچنین شکل جسم در طی روند حل و از روابط دقیق VSL به دست آمده و برخلاف اکثر روش های تقریبی VSL، عاری از هرگونه خطایی است.

این کار برای اولین بار در ایران انجام پذیرفته است و بر روی دماغه های مخروطی - با مقاطع مختلف- در حالت متقارن محوری کاربرد دارد. همچنین در این روش، محدودیتی برای انواع جریان ها وجود نداشته و در تمامی جریان های لزج و غیر لزج، آرام و مغشوش صادق می باشد.

در این تحقیق، از فرض گاز کامل برای حل جریان سیال استفاده شده است. نوع سیال به کار رفته، گاز هوا است و جریان حول جسم بدون زاویه حمله مورد بررسی قرار گرفته است. در این کار، از سیستم مختصات منحنی الخط بر روی شوک استفاده شده است.

کلمات کلیدی: جریان ابرصوتی، انتقال حرارت، جریان لزج، گاز کامل، روش لایه شوک لزج