

به نام خدایی که همین نزدیکیست

۱۱۵۲۶۳



دانشکده مهندسی

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

بررسی انتقال حرارت جابجائی طبیعی و تقطیر در جریان آرام هوا

روی لوله سرد افقی

توسط:

همایون همایونی

کمیته دفاعات مدرک علمی نوبت
شهر شاهرود

۱۳۸۸ / ۱ / ۲۳

استاد راهنما:

دکتر محمود یعقوبی

مهر ماه ۱۳۸۷

۱۱۵۲۶۳

به نام خدا

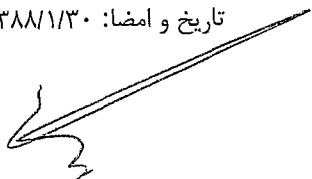
اظہارنامہ

اینجانب همایون همایونی دانشجوی رشته ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشکده ی مهندسی اظہارمی کنم کہ:

این پایان نامہ حاصل پژوهش خودم بودہ و در جاهایی کہ از منابع دیگران استفادہ کردہ ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشتہ ام. همچنین اظہارمی کنم کہ تحقیق و موضوع پایان نامہ ہم تکراری نیست و تعہد می نمایم کہ بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننمودہ و یا در اختیار غیر قرار ندم. کلیہ حقوق این اثر مطابق با آیین نامہ مالکیت فکری و معنوی متعلق بہ دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: همایون همایونی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۸/۱/۳۰



به نام خدا

بررسی انتقال حرارت جابجائی طبیعی و تقطیر در جریان آرام هوا روی لوله سرد افقی

به وسیله‌ی:

همایون همایونی

پایان نامه

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

در رشته‌ی:

مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

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

دکتر خسرو جعفر پور، دانشیار بخش مهندسی مکانیک

دکتر همایون امداد، استاد یار بخش مهندسی مکانیک

مهر ماه ۱۳۸۷

تقدیم بہ

مادر و خواہر عزیزم
کہ یاریگر من در تمام دوران تحصیل بودند

با سپاس از تمام بلند اندیشانی که در انجام این پروژه از هیچ هم‌فکری
کوتاهی نکردند و عزیزانی که خاطره خوش در کنارشان بودن فراموش
نشدیمت.

چکیده

بررسی انتقال حرارت جابجائی طبیعی و تقطیر در جریان آرام هوا روی لوله سرد افقی

به وسیله ی

همایون همایونی

در این پژوهش انتقال حرارت جابجائی طبیعی به همراه تغییر فاز از بخار به مایع در هوای مرطوب اطراف یک لوله سرد افقی بررسی گردیده است. مطالعات برای شرایط مختلف هوا و لوله انجام گرفته است. برای انجام شرایط متفاوت رطوبت هوا از ۴۰٪ تا ۱۰۰٪، دمای هوا از ۵ تا ۳۰ درجه، دمای سطح لوله از ۰ تا ۱۰ درجه سانتیگراد و فشار هوا یک اتمسفر در نظر گرفته شده است. برای بررسی انتقال حرارت جابجائی طبیعی سه روش نیمه تشابهی، نیمه تشابهی اصلاح شده و روش حجم محدود استفاده و مقایسه گردیده است. برای محاسبه تقطیر روی لوله در شرایط آزاد از تشابه انتقال جرم و انتقال حرارت استفاده گردیده است. نتایج بدست آمده از روش نیمه تشابهی اصلاح شده که با استفاده از روش پرتوبریشن بدست آمده است با نتایج موجود تجربی و محاسباتی برای لوله های گرم همخوانی بسیار عالی نشان می دهد. دو روش اول نشان دهنده ناتوانایی روشهای نیمه تشابهی در جریانهای موافق می باشند. به همین دلیل روش حجم محدود نیز برای مدل سازی لوله های با سطح سرد به کار گرفته شده است. نتایج برای قسمت تقطیر شامل تغییرات ضخامت لایه مایع تشکیل شده روی سطح استوانه، تغییرات دمای سطح فیلم، تغییرات محلی شار جرمی و نرخ تقطیر بر حسب عدد رایلی کمتر از 10^8 ارائه گردیده است. نتایج بدست آمده برای میزان آب تقطیر شده و ضریب گرمایی با وجود تغییر فاز روی سطح لوله برای طراحی دستگاههای آزمایشگاهی شبیه ساز تقطیر و همچنین سیستمای تهویه مطبوع استفاده می گردد. نتایج وابستگی بالای نرخ تقطیر به میزان رطوبت هوا را نشان می دهد، البته ضخامت لایه تقطیر شده بسیار کم و چسبیده به سطح می باشد و در حدود زاویه 170° درجه از سطح جدا می شود.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول.....	۱.....
۱-۱-مقدمه.....	۲.....
۲-۱-پیشینه تحقیق.....	۳.....
۳-۱-اهداف این پژوهش:.....	۱۱.....
فصل دوم.....	۱۲.....
۱-۲-مقدمه.....	۱۳.....
۲-۲-انتقال گرمای جابجائی.....	۱۳.....
۱-۲-۲-مقدمه.....	۱۳.....
۲-۲-۲-لایه مرزی حرارتی.....	۱۴.....
۳-۳-۲-جابجایی طبیعی:.....	۱۵.....
۱-۳-۲-۲-تقریب بوسینیسکی برای لایه مرزی:.....	۱۸.....
۳-۲-تقطیر.....	۱۹.....
۱-۳-۲-مکانیزم های فیزیکی.....	۱۹.....
۲-۳-۲-تقطیر لایه ای آرام روی یک سطح قائم.....	۲۱.....
فصل سوم.....	۲۷.....
۱-۳-مقدمه.....	۲۸.....
۲-۳-انتقال حرارت جابجائی.....	۲۹.....

۲۹	..... ۳-۲-۱-روش نیمه تشابهی
۳۲	..... ۳-۲-۲-روش نیمه تشابهی اصلاح شده:
۳۷	..... ۳-۲-۳-روش حل دستگاه معادلات دیفرانسیل
۳۷	..... ۳-۲-۱-روش رانج-کوتا
۳۹	..... ۳-۲-۲-معادلات دیفرانسیل همزمان و کوپل
۴۱	..... ۳-۲-۳-مسائل با مقادیر مرزی:
۴۳	..... ۳-۲-۳-روش حجم محدود:
۴۵	..... ۳-۲-۲-وابستگی فشار-سرعت
۴۶	..... ۳-۳-تقطیر
۴۹	..... فصل چهارم
۵۰	..... ۴-۱-مقدمه
۵۱	..... ۴-۲-شرایط مسأله
۵۲	..... ۴-۳-بررسی نتایج
۵۲	..... ۴-۳-۱-روش نیمه تشابهی
۵۹	..... ۴-۳-۲-روش نیمه تشابهی اصلاح شده (MNS)
۷۱	..... ۴-۳-۳-روش حجم محدود:
۷۹	..... ۴-۳-۴-تقطیر
۸۳	..... ۴-۳-۵-نتایج تقطیر
۹۶	..... ۴-۴-جمع بندی
۹۷	..... ۴-۵-پیشنهادات
۹۸	..... پیوست
۱۰۶	..... مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ جریان اجباری روی صفحه تخت	۴
شکل ۱-۲ جریان جابجائی اجباری و طبیعی روی دیواره عمودی	۵
شکل ۱-۳ تقطیر روی صفحه سرد عمودی	۶
شکل ۱-۴ دستگاه مختصات در کار یه	۹
شکل ۱-۵ دستگاه مختصات در کار مولا و همکاران	۱۰
شکل ۲-۱ لایه مرزی دما روی صفحه تخت	۱۴
شکل ۲-۲ جریان طبیعی روی دیوار عمودی	۱۶
شکل ۲-۳ تقطیر همگن با تشکیل مه	۱۹
شکل ۲-۴ تقطیر تماس مستقیم	۱۹
شکل ۲-۵ تقطیر روی یک سطح قائم	۲۰
شکل ۲-۶ لایه مرزی مایع روی سطح قائم	۲۱
شکل ۲-۷ شرایط مرزی روی لایه مایع	۲۲
شکل ۳-۱ مدل فیزیکی در روش نیمه تشابهی و روش نیمه تشابهی اصلاح شده	۳۰
شکل ۳-۲ نمایش سعی وخطا در مسائل مقادیر مرزی	۴۳
شکل ۴-۱ تغییرات خطای نسبی $\theta'(\eta)$ در مقایسه با (OSTERACH 1952)	۵۴
شکل ۴-۲ تغییرات f' بر حسب η در زوایای مختلف و $Pr=1$	۵۵
شکل ۴-۳ تغییرات سرعت بر حسب η در زوایای مختلف و $Ra_D = 10^7$	۵۵
شکل ۴-۴ تغییرات پارامتر بدون بعد دما بر حسب η در زوایای مختلف $Pr=1$	۵۷
شکل ۴-۵ خطوط همدمای از زاویه صفر تا ۹۰ با $Pr=1$	۵۸
شکل ۴-۶ تغییرات θ' بر حسب η در زوایای مختلف در $Pr=1$	۵۸
شکل ۴-۷ مقایسه عدد ناسلت محلی از روش نیمه تشابهی با نتایج تهور و یعقوبی ۲۰۰۸	۵۹

- شکل ۴-۸ خطوط همدم از زاویه صفر تا ۱۸۰ درجه در $Pr=1$ ۶۲
- شکل ۴-۹ خطوط جریان از صفر تا ۱۸۰ درجه با $Pr=1$ ۶۲
- شکل ۴-۱۰ تغییرات $f'(x, y)$ در زاویه $\frac{\pi}{6}$ برای جریانهای با پرانتل‌های مختلف داخل لایه مرزی ۶۳
- شکل ۴-۱۱ تغییرات $f'(x, y)$ در زاویه $\frac{2\pi}{3}$ برای جریانهای با پرانتل‌های مختلف داخل لایه مرزی ۶۳
- شکل ۴-۱۲ پروفیل سرعت بدون بعد در راستای مماس بر سطح لوله در زاویه $\frac{\pi}{6}$ برای جریانهای با پرانتل‌های مختلف داخل لایه مرزی ۶۵
- شکل ۴-۱۳ پروفیل سرعت بدون بعد در راستای مماس بر سطح لوله در زاویه $\frac{2\pi}{3}$ برای جریانهای با پرانتل‌های مختلف داخل لایه مرزی ۶۵
- شکل ۴-۱۴ تغییرات $\theta'(\eta)$ در زاویه $\frac{\pi}{6}$ برای جریانهای با پرانتل‌های مختلف ۶۶
- شکل ۴-۱۵ تغییرات $\theta'(\eta)$ در زاویه $\frac{2\pi}{3}$ برای جریانهای با پرانتل‌های مختلف ۶۶
- شکل ۴-۱۶ تغییرات ضریب اصطکاک پیرامون لوله افقی در جریان آزاد ۶۷
- شکل ۴-۱۷ تغییرات پارامتر بدون بعد $C_r Gr^{-1/4}$ روی سطح لوله ۶۸
- شکل ۴-۱۸ تغییرات عدد ناسلت روی لوله افقی در جریان طبیعی ۶۹
- شکل ۴-۱۹ تغییرات پارامتر بدون بعد $Nu Gr^{-1/4}$ محلی روی لوله افقی در جریان طبیعی ۶۹
- شکل ۴-۲۰ دامنه محاسباتی مورد استفاده در روش حجم محدود ۷۳
- شکل ۴-۲۱ شبکه محاسباتی استفاده شده در اطراف لوله با قطر ۴ اینچ ۷۳
- شکل ۴-۲۲ کانتورهای سرعت در اطراف یک لوله با قطر ۴ اینچ ۷۴
- شکل ۴-۲۳ کانتورهای دما در اطراف یک لوله با قطر ۴ اینچ ۷۵
- شکل ۴-۲۴ کانتورهای دما در اطراف یک لوله با قطر ۲ اینچ ۷۵
- شکل ۴-۲۵ کانتورهای سرعت در اطراف یک لوله با قطر ۲ اینچ ۷۶
- شکل ۴-۲۶ مقایسه مقدار عدد ناسلت محلی برای عدد رایلی 10^6 با دو حل موجود برای لوله گرم و سرد ۷۷
- شکل ۴-۲۷ عدد ناسلت محلی برای اعداد رایلی مختلف در جریان آزاد اطراف لوله سرد ۷۸
- شکل ۴-۲۸ مقایسه مقدار عدد ناسلت متوسط برای اعداد رایلی مختلف با دو حل موجود برای لوله گرم و سرد ۷۸

- شکل ۴-۲۹ مقایسه مقدار عدد ناسلت متوسط برای اعداد رایلی مختلف با دو حل موجود برای لوله گرم و سرد..... ۷۸
- شکل ۴-۳۰ لایه مرزی غلظت روی صفحه تخت..... ۸۱
- شکل ۴-۳۱ نمودار سایکومتريک..... ۸۴
- شکل ۴-۳۲ تغییرات ضخامت لایه مایع تشکیل شده روی سطح استوانه در زاویه ۵ درجه... ۸۵
- شکل ۴-۳۳ تغییرات ضخامت لایه مایع تشکیل شده روی سطح استوانه در زاویه ۴۰ درجه ۸۵
- شکل ۴-۳۴ تغییرات ضخامت لایه مایع تشکیل شده روی سطح استوانه در زاویه ۹۰ درجه ۸۶
- شکل ۴-۳۵ تغییرات ضخامت لایه مایع تشکیل شده روی سطح استوانه در زاویه ۱۶۰ درجه ۸۶
- شکل ۴-۳۶ لایه مایع تشکیل شده در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد برای لوله ۱ اینچ..... ۸۷
- شکل ۴-۳۷ تغییرات دمای سطح فیلم آب تشکیل شده روی سطح استوانه در زاویه ۵ درجه روی سطح استوانه در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۸۸
- شکل ۴-۳۸ تغییرات دمای سطح فیلم آب تشکیل شده روی سطح استوانه در زاویه ۳۰ درجه روی سطح استوانه در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۸۹
- شکل ۴-۳۹ تغییرات دمای سطح فیلم آب تشکیل شده روی سطح استوانه در زاویه ۱۰۰ درجه روی سطح استوانه در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۸۹
- شکل ۴-۴۰ تغییرات دمای سطح فیلم آب تشکیل شده روی سطح استوانه در زاویه ۱۶۰ درجه روی سطح استوانه در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۹۰
- شکل ۴-۴۱ تغییرات محلی شار گرمای جابجائی در زاویه ۵ درجه در رطوبت های نسبی مختلف نسبت به عدد بدون بعد رایلی در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۹۱
- شکل ۴-۴۲ تغییرات محلی شار گرمای نهان در زاویه ۵ درجه در رطوبت های نسبی مختلف نسبت به عدد بدون بعد رایلی در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۹۱
- شکل ۴-۴۳ تغییرات محلی شار گرمای جابجائی در زاویه ۹۰ درجه در رطوبت های نسبی مختلف نسبت به عدد بدون بعد رایلی در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۹۲

شکل ۴-۴۴ تغییرات محلی شار گرمی گرمای نهان در زاویه ۹۰ درجه در رطوبت های نسبی مختلف نسبت به عدد بدون بعد رایلی در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۹۳

شکل ۴-۴۵ تغییرات محلی شار گرمای جابجائی در زاویه ۱۷۰ درجه در رطوبت های نسبی مختلف نسبت به عدد بدون بعد رایلی در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۹۳

شکل ۴-۴۶ تغییرات محلی شار گرمی گرمای نهان در زاویه ۱۷۰ درجه در رطوبت های نسبی مختلف نسبت به عدد بدون بعد رایلی در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۹۴

شکل ۴-۴۷ تغییرات گرمای نهان آزاد شده در کل فیلم آب در رطوبتهای نسبی مختلف نسبت به عدد بدون بعد رایلی در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۹۵

شکل ۴-۴۸ میزان کل تقطیر از یک نیمه استوانه در دمای سطح ۱۰ درجه سانتیگراد و دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد..... ۹۶

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۴ پارامترهای انتخاب شده برای بررسی جریان اطراف لوله سرد.....	۵۹
جدول ۲-۴ شرایط در نظر گرفته شده برای حل عددی.....	۶۰
جدول ۳-۴ مقایسه مقدار $\theta'(0)$ با کار (Osterach 1952) و میزان خطا برای هر مقدار انتخابی $\Delta\eta$	۶۱
جدول ۴-۴ مقایسه مقادیر $\theta'(0)$ در زوایای مختلف با مقادیر ارائه شده توسط مرکین.....	۶۹
جدول ۵-۴ مقادیر ثابت رابطه مورگان برای جابجائی آزاد روی استوانه افقی.....	۷۸
جدول ۶-۴ مقایسه عدد ناسلت متوسط با نتایج چرچیل و مورگان.....	۷۹
جدول ۷-۴ مقایسه مقدار ناسلت متوسط در شبکه بندی های متفاوت برای استوانه‌ای با قطر ۱ اینچ.....	۸۰
جدول ۸-۴ تعداد شبکه مورد استفاده در هر هندسه.....	۸۰
جدول ۹-۴ ضخامت فیلم آب روی لوله ۱ اینچی در رطوبت نسبی ۱۰۰٪.....	۹۴

علامتهای اختصاری

سطح انتقال حرارت	A
شعاع استوانه	A
غلظت	C
گرمای ویژه فشار ثابت	C_p
ضریب پخش جرمی	D
نیرو	F
نیرو، پارامتر بدون بعد	F
عدد گرانشف	Gr
آنتالپی ، فاصله، ضریب انتقال حرارت جابجایی	H
ضریب انتقال حرارت هدایت	K
عدد لوئیس	Le
دبی جرمی	m'
عدد ناسلت	Nu
فشار	P
عدد پرانتل	Pr
گرما بر واحد جرم، گرما	Q, q
عدد رینولدز	Re
درجه حرارت	T
سرعت	U, u
سرعت	V, v
کار بر واحد جرم، کار	W, w
جهت مختصاتی	X
جهت مختصاتی	Y

حروف یونانی

ضریب انبساط گرمایی	β
ضخامت	δ
پارامتر بدون بعد	H
زاویه، پارامتر بدون بعد دما	θ
ضریب ویسکوزیته دینامیکی	μ
چگالی	ρ

فصل اول

مقدمه و مطالعات قبلی

پیرامون انتقال حرارت و انتقال جرم

انتقال حرارت و جرم همزمان کاربردهای فراوانی در صنعت دارد. در مبدلهای حرارتی، کندانسورها، فعل و انفعالات شیمیایی و هر سیستم دیگری که عمل تقطیر در مجاورت یک گاز غیر قابل تقطیر انجام پذیرد این پدیده دارای اهمیت خواهد بود. مثلاً اگر هوای مرطوب از مجاورت سطحی سرد عبور نماید در صورتیکه دمای صفحه پایین تر از دمای نقطه شبنم هوا باشد، در مجاورت سطح لایه مرزی حرارتی و لایه مرزی مربوط به رطوبت تشکیل می شود. در داخل این لایه مرزی مقداری بخار به مایع تبدیل می شود و انرژی نهان آن آزاد می گردد که در این شرایط نقش انتقال جرم در افزایش انتقال حرارت به سطح در این پدیده بسیار قابل ملاحظه است.

انتقال حرارت جابجائی به دو مکانیزم اجباری و آزاد (ویا ترکیبی از این دو مکانیزم) صورت می پذیرد. تفاوت این دو مکانیزم در اختلاف بین حرکت سیال آنهاست. در جابجائی اجباری جریان عبوری از روی جسم دارای سرعت اولیه است، ولی در جابجائی آزاد سیال اطراف جسم ساکن است و اختلاف دمای جسم و هوای اطراف باعث تغییر در چگالی سیال شده و این اختلاف چگالی به کمک نیروی شناوری¹ باعث ایجاد جریان خفیفی می شود. در صورتی که سرعت آزاد سیال اطراف جسم کم باشد ($\frac{Ra_y^{1/4}}{Re_y^{1/2} Pr^{1/3}} \approx 1$) برای سیالات با $Pr > 1$) (Bejan, 2004) انتقال حرارت جابجائی به صورت ترکیبی از دو مکانیزم آزاد و اجباری می باشد.

برآورد انتقال حرارت و جرم همزمان با تقطیر از هوای اشباع چه از روش تئوری و چه از طریق آزمایش بر روی صفحه تخت توسط تعدادی پژوهشگر در سالهای گذشته مورد بررسی قرار گرفته است ولی آنچه تا کنون کمتر مطالعه شده است انتقال حرارت و جرم همزمان با تقطیر از هوای مرطوب روی سطوح منحنی در حالت جابجایی آزاد است.

در این پایان نامه برای مدل کردن انتقال حرارت جابجایی از دو روش نیمه تشابهی، روش نیمه تشابهی اصلاح شده استفاده شده است و سپس مطالعه فوق با کمک یک کد عددی نیز بررسی و مقایسه گردیده است. برای مدل کردن تقطیر صورت گرفته روی سطح لوله مبنای کار استفاده از تئوری ناسلت است. برای حل تمام معادلات حاکم بر مسأله با کمک حل نیمه

¹ Buoyancy Force

تشابهی معادلات به معادلات دیفرانسیل معمولی^۱ تبدیل شده و سپس حل شده‌اند. کد عددی به روش حجم محدود بوده که در فصل سوم توضیح داده خواهد شد

۱-۲- پیشینه تحقیق

انتقال حرارت به لوله های سرد ساکن در هوا در شرایط مختلفی انجام می شود. اگر دمای لوله بالاتر از نقطه شبنم هوا باشد انتقال حرارت به صورت محسوس است و اگر دمای سطح کمتر از نقطه شبنم باشد انتقال حرارت به صورت محسوس و نهان خواهد بود. مطالعات انتقال حرارت محسوس روی هندسه های مختلف از جمله لوله های افقی به طور وسیع مورد بررسی قرار گرفته است، اما مطالعات انتقال حرارت همزمان با انتقال جرم روی لوله های سرد در جریان طبیعی چندان قابل ملاحظه نیست.

در این قسمت ابتدا مطالعات انجام گرفته برای جریانهای اجباری به علت تشابه فرم معادلات پیوستگی، انرژی و غلظت مرور خواهد شد و در ادامه جریانهای طبیعی تشریح خواهد گردید و سپس به بررسی کارهای صورت گرفته برای مدل کردن تقطیر با استفاده از تئوری ذره ای می پردازیم.

اسپارو و همکاران (Sparrow et al, 1967) مطالعات انتقال حرارت و جرم همزمان با تقطیر از هوای اشباع را روی یک صفحه افقی در حالت جابجائی اجباری انجام دادند. اسپارو و همکارانش در این پژوهش از روش عددی و انتگرالی^۲ برای حل معادلات متشابه^۳ استفاده کرده اند. آنها دمای صفحه را از دمای مخلوط هوا و بخار عبوری از بالای صفحه کمتر در نظر گرفتند و با وجود عمل تقطیر در مجاورت صفحه نسبت به حل معادلات حاکم اقدام نمودند. با این فرض لایه مرزی را به دو قسمت تقسیم کردند، یک قسمت مربوط به مخلوط هوا و بخار و قسمت دیگر مربوط به فیلم مایع.

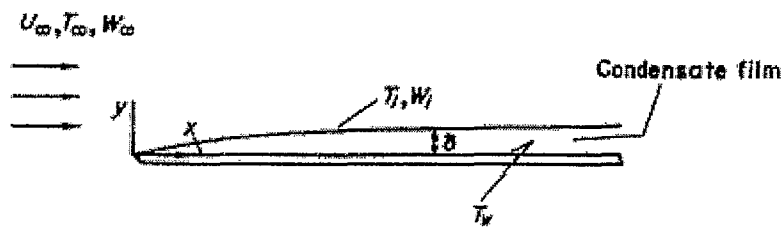
مسئله ای که اسپارو و همکارانش مدل کردند تنها در شرایطی قابل استفاده است که رطوبت نسبی پائین باشد و به عبارت دیگر بخار موجود در هوا در ناحیه ما فوق گرم باشد. در حالتی که هوا در حالت اشباع باشد یا از رطوبت نسبی بالائی برخوردار باشد فرضیات بعمل آمده چندان صحیح نیست، چون قطرات مایع بالاتر از صفحه تشکیل می شوند و دیگر نمی توان از گرمای نهان آزاد شده در قسمت بالای صفحه صرفنظر کرد.

¹ ODE: Ordinary Differential Equation

² Integral Method

³ Similar equations

شکل ۱-۱ نشان دهنده هندسه مورد بررسی در پژوهش اسپارو و همکارانش است، معادلات (۱-۱) تا (۴-۱) نیز معادلات حاکم بر مسئله است.



شکل ۱-۱ جریان اجباری روی صفحه تخت

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1-1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2-1)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (3-1)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} = D \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (4-1)$$

در روابط فوق D ضریب نفوذ جرمی^۱ و w نسبت جرم گاز به جرم کل است و به صورت زیر بیان می شود.

$$w = \frac{\rho_g}{(\rho_v + \rho_g)} \quad (5-1)$$

که ρ_v و ρ_g به ترتیب نشان دهنده چگالی گازهای قابل تقطیر و چگالی بخار آب است. هویکاتا و موری (Huikata & Mori, 1973) تقطیر هوای اشباع روی صفحه تخت عمودی در جریان اجباری را به روش عددی مورد بررسی قرار دادند. مری و هیکوتا وجود قطرات ریز

^۱ Mass diffusivity