بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه

جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی شیمی

عنوان:

مدلسازی ضریب هدایت حرارتی مخلوط گازها

استاد راهنما:

دکتر ابراهیم نعمتی لای

توسط:

سجاد شبانی قهرودی

بهمن ۱۳۹۳

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: سجاد شبانی قهرودی — شماره دانشجویی: ۹۱۱۳۵۴۰۰۱۱

رشته: مهندسی شیمی — دانشکده: مهندسی

عنوان پایان نامه: مدلسازی ضریب هدایت حرارتی مخلوط گازها

تعداد واحد پایان نامه: ۶ — تاریخ دفاع: ۹۳/۱۱/۲۱

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارایه می‌گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۱ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۱۹/۶۱ و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضای هیئت داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر ابراهیم نعمتی لای	استادیار	
۲- استاد داور داخل دانشگاه	دکتر محمد مهدی ابوالحسنی	استادیار	
۳- استاد داور داخل دانشگاه	دکتر رضا گل حسینی	استادیار	
٤- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر رضا گل حسینی	استادیار	

دکتر محمدرضا منصور نیا

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه کاشان

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی

آدرس: کاشان- بلوار قطب راوندی
کدپستی ۵۱۱۶۷-۸۷۳۱۷
تلفن: ۵۵۵۹۹۳۰- دورنگار: ۵۵۵۹۹۳۰
http: www.kashanu.ac.ir

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

دانشگاه کاشان

تعهدنامه

در این پایان نامه با عنوان: مدلسازی مزیب هدایت حرارتی مخلوط گازها

۱- مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می باشد و در مواردی که از یافته‌های علمی و پژوهشی دیگر محققان تحت عنوان کتاب، پایان‌نامه، مقاله و غیره استفاده نموده‌ام؛ رعایت کامل امانتداری را در ذکر مشخصات و منابع و مآخذ استفاده شده نموده و آن را در فهرست مربوطه‌اش درج کرده‌ام.

۲- تمامی یا بخشی از پایان‌نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی یا امتیازی (هم سطح، پایین‌تر یا بالاتر) در سایر دانشگاهها و موسسات آموزش عالی توسط اینجانب و یا فرد دیگری ارائه نگردیده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

۳- مقالات مستخرج از این پایان‌نامه/ رساله کاملاً حاصل پژوهش اینجانب بوده و از هرگونه جعل در داده ها و یا تغییر پرهیز شده است.

۴- کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج، مطالعات، اختراعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه برای دانشگاه کاشان محفوظ است. نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

۵- درصورت اثبات تخلف در هر زمان مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه کاشان از درجه اعتبار ساقط و با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات مربوط رفتار خواهد شد.

نام و نام خانوادگی استاد راهنما:

امضاء

نام و نام خانوادگی دانشجو:
سجاد شیانی فرد

امضاء

آدرس: کاشان- بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن ۵۹۱۲ - دورنگار ۵۵۱۱۱۲۱
www.kashanu.ac.ir

تقدیم به:

پدر، مادر و برادران عزیزم

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او نتوانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند؛ و سلام و دورد بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگارم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین می‌کند؛ بر حسب وظیفه و از باب «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق»، از **پدر** و **مادر** عزیزم...این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده‌اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر **ابراهیم نعمتی لای** که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ و از اساتید فرزانه و گرامی؛ جناب آقایان دکتر **رضا گل حسینی** و دکتر **محمد مهدی ابوالحسنی** که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.
همچنین باید از برادرانم **سبحان** و **سلمان** که من را در انجام این رساله یاری کردند تشکر ویژه بنمایم.

سجاد شبانی قهرودی

چکیده

تخمین دقیق خواص انتقالی در طراحی، شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و کنترل فرآیندهای مهندسی شیمی، بسیار مهم است. ضریب هدایت حرارتی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در مبحث انتقال حرارت، از حدود ۵۰ سال پیش تا به امروز مورد توجه دانشمندان و محققان بوده است؛ و همواره سعی بر تعیین روش‌هایی برای اندازه‌گیری این پارامتر بوده است.

تا به امروز روش‌های متفاوتی جهت اندازه‌گیری این پارامتر ارائه شده است که در کار حاضر این روش‌ها با دسته‌بندی‌های متفاوت بر اساس نوع روش (تجربی، نظری و نوین)، نوع گاز (خالص یا مخلوط) و فشار گاز (کم، متوسط و زیاد) ارائه شده است؛ و در ادامه یکی از روش‌های نوین و کارآمد با استفاده از شبکه‌های عصبی با هدف برآورد ضریب هدایت حرارتی گازها در زمان کم و با دقت بالا بیان شده است.

در این تحقیق ۱۱۳۸۳ داده تجربی برای گازها (۵۵۵۸ داده مربوط به گازهای خالص، و ۵۸۲۵ داده مربوط به مخلوط گازها) در محدوده فشاری ۰/۱ مگا پاسکال تا ۳۰۰۰ مگا پاسکال و محدوده دمایی ۲۰ درجه کلوین تا ۵۰۰۰ درجه کلوین گردآوری شده است. سپس با استفاده از شبکه عصبی رابطه این داده‌های تجربی مدلسازی شده است؛ و در ادامه نیز یک معادله ساده حاصل از برازش داده‌های تجربی جهت تقریب ضریب هدایت حرارتی ارائه شده است. شبکه عصبی مدلسازی شده از ۵ ورودی دما، فشار، دمای بحرانی، فشار بحرانی و وزن مولکولی برای مدلسازی ضریب هدایت حرارتی استفاده می‌کند و از یک لایه پنهان با ۱۶ نرون که از تابع انتقال تانژانت سیگموئید (تابع اس شکل) استفاده می‌کنند و یک لایه خروجی که از تابع انتقال خطی بهره می‌برد، استفاده می‌کند. میانگین مربعات خطای شبکه عصبی مدلسازی شده $۰/۸۸۸\times۱۰^{-۵}$ و برای معادله برازش شده $۴/۸۰۲۹\times۱۰^{-۵}$ می‌باشد که نشان می‌دهد شبکه عصبی عملکرد خوبی در پیش‌بینی ضریب هدایت حرارتی دارد. همچنین به علت اینکه نمی‌توان خطای حاصل از مجموع داده‌ها را به علت نبود چنین معادله‌ای با معادله دیگری مقایسه کرد؛ به اجبار خطای شبکه عصبی و معادله برازش شده با معادلات نیمه‌تجربی در محدوده‌های فشاری مختلف (برای گاز خالص و مخلوط گازها) و همچنین معادلات حالت PR و SRK (فقط برای گاز خالص) مقایسه گردیده است که در همه موارد شبکه عصبی مدلسازی شده جواب قابل قبولی را ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: ضریب هدایت حرارتی- مخلوط گازها- شبکه‌های عصبی مصنوعی- مدلسازی

عنوان **فهرست مطالب** **صفحه**

فصل اول ۱

مفاهیم و کلیات هدایت حرارتی ۱

۱-۱-مکانیسم‌های انتقال حرارت ۲

۱-۲-انتقال حرارت هدایتی ۳

۱-۳-ضریب هدایت حرارتی ۴

۱-۳-۱-هدایت حرارتی در جامدات ۵

۱-۳-۲-هدایت حرارتی در مایعات ۵

۱-۳-۳-هدایت حرارتی در گازها ۶

فصل دوم ۹

روش‌های تجربی اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی گازها ۹

۲- روش‌های تجربی اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی گازها ۱۰

۲-۱-روش سیم داغ حالت گذرا ۱۱

۲-۲-روش استوانه‌های هم‌محور ۱۳

۲-۳-روش کره‌های هم‌محور ۱۵

۲-۴-روش صفحه موازی ۱۶

۲-۴-۱-اندازه‌گیری فاصله بین صفحات ۱۸

۲-۴-۲-اندازه‌گیری دما ۱۹

۲-۴-۳-اندازه‌گیری انرژی ۱۹

۲-۵-روش ستون نفوذ گرمایی ۲۰

۲-۶-روش لوله شک ۲۱

۲-۶-۱- نظریه لوله شک ایده‌آل ۲۳

۲-۶-۲-درجه حرارت دیوار و انتقال حرارت ۲۳

۲-۶-۳-درجه حرارت گاز ۲۴

۲-۷-روش فلش لیزر ۲۴

۲-۸-روش طیف سنجی تصویری صوتی ۲۶

۲-۹-روش 3ω ۲۸

۲-۱۰-روش TFTCM ۳۱
۲-۱۱-روش حسگر کالری‌متری ۳۱
فصل سوم ۳۳
روش‌های نظری تخمین ضریب هدایت حرارتی گازها ۳۳
۳-روش‌های نظری تخمین ضریب هدایت حرارتی گازها ۳۴
۳-۱-معادلات حالت ۳۴
۳-۱-۱-معادله حالت Soave-Redlich-Kwong ۳۴
۳-۱-۲-معادله حالت Peng-Robinson ۳۵
۳-۲-نظریه‌های علمی و معادلات نیمه‌تجربی ۳۵
۳-۲-۱- محدوده چگالی‌های کم ۳۵
۳-۲-۱-۱-نظریه‌های علمی ۳۶
۳-۲-۱-۱-۱-نظریه جنبشی گازها ۳۶
۳-۲-۱-۱-۱-۱-پویش آزاد متوسط ۳۸
۳-۲-۱-۱-۱-۲-محاسبه ضریب هدایت حرارتی ۳۸
۳-۲-۱-۱-۲-نظریه چاپمن- انسکوگ ۴۰
۳-۲-۱-۱-۲-۱-گستره چاپمن- انسکوگ ۴۱
۳-۲-۱-۲-معادلات نیمه‌تجربی برای تخمین ضریب هدایت حرارتی ۴۳
۳-۲-۱-۲-۱-گازهای خالص ۴۳
۳-۲-۱-۲-۱-۱-معادله اویکن ۴۳
۳-۲-۱-۲-۱-۲-معادله اویکن اصلاح شده ۴۴
۳-۲-۱-۲-۱-۳-معادله ساکسنا ۴۶
۳-۲-۱-۲-۱-۴-معادله ماسون و مونچیک ۴۸
۳-۲-۱-۲-۱-۵- معادله برد- هیرشفلدر ۴۹
۳-۲-۱-۲-۱-۶- معادله روی و تودوس ۵۰
۳-۲-۱-۲-۱-۷- معادله چانگ و همکاران ۵۱
۳-۲-۱-۲-۱-۸ مقایسه خطای برخی معادلات بخش۳-۲-۱-۲-۱ با مقادیر تجربی ۵۳
۳-۲-۱-۲-۲-مخلوط گازها ۵۵

۳-۲-۱-۲-۲-۱-معادله واسیلجوا ۵۷
۳-۲-۱-۲-۲-۲-معادله کنارد ۵۸
۳-۲-۱-۲-۲-۳-معادله ماسون و ساکسنا ۵۸
۳-۲-۱-۲-۲-۴-معادله اتیم وآدوتک ۵۹
۳-۲-۱-۲-۲-۴-۱-رسانش حرارتی با آرایش سری ۶۰
۳-۲-۱-۲-۲-۴-۲-رسانش حرارتی با آرایش موازی ۶۱
۳-۲-۱-۲-۲-۵-معادله چانگ و همکاران ۶۴
۳-۲-۲-محدوده چگالی‌های متوسط ۶۵
۳-۲-۲-۱- نظریه رینواتر-فرند ۶۵
۳-۲-۲-۱-۱-ضریب هدایت حرارتی در چگالی متوسط ۶۶
۳-۲-۲-۱-۲-ضریب هدایت حرارتی گازهای چند اتمی وابسته به چگالی ۶۷
۳-۲-۳- محدوده چگالی‌های بالا ۶۹
۳-۲-۳-۱-نظریه رینواتر-فرند با ضرایب بیشتر ۷۰
۳-۲-۳-۲-معادلات نیمه‌تجربی برای تخمین ضریب هدایت حرارتی ۷۰
۳-۲-۳-۲-۱- گازهای خالص ۷۰
۳-۲-۳-۲-۱-۱-معادله چانگ و همکاران ۷۰
۳-۲-۳-۲-۱-۲-روش TRAPP ۷۲
۳-۲-۳-۲-۱-۳-معادله استیل و تودوس ۷۴
۳-۲-۳-۲-۲-مخلوط گازها ۷۵
۳-۲-۳-۲-۲-۱-معادله چانگ و همکاران ۷۵
۳-۲-۳-۲-۲-۲-روش TRAPP ۷۵
۳-۲-۳-۲-۲-۳-معادله استیل و تودوس ۷۶
۳-۲-۴-سایر کارهای انجام شده ۷۷
۳-۲-۴-۱-نظریه پیداک ۷۷
۳-۲-۴-۲-نظریه آبلود ۷۸
۳-۲-۴-۳-نظریه لانگوت-هیگین-پوپل ۷۸
۳-۲-۴-۴-نظریه هوروک-مسلاقلین ۷۹

۳-۲-۴-۵-نظریه داویز-رایس-سنجرز ۷۹
۳-۲-۴-۶-نظریه چوه-آلنبک-کوهین- بوگولیبو ۷۹
۳-۲-۴-۷-مدل میسیک-تودوس ۷۹
۳-۲-۴-۸-مدل برواملی-ویلک ۸۰
۳-۲-۴-۹-مدل مائو-گانگ ۸۰
۳-۲-۴-۱۰-مدل ادوارد-پلینسکی ۸۰
فصل چهارم ۸۱
استفاده از شبکه‌های عصبی برای برآورد ضریب هدایت حرارتی گازها ۸۱
۴-روش‌های نوین محاسبه‌ی ضریب هدایت حرارتی گازها ۸۲
۴-۱-شبکه‌های عصبی مصنوعی ۸۲
۴-۲-ساختار کلی شبکه عصبی ۸۳
۴-۳-نرون طبیعی و مصنوعی ۸۴
۴-۵-مراحل ساخت یک مدل با شبکه عصبی ۸۶
۴-۵-۱-مشخص کردن معماری شبکه عصبی ۸۷
۴-۵-۱-۱-شبکه‌های پیش‌خور تک‌لایه ۸۷
۴-۵-۱-۲-شبکه‌های پیش‌خور چندلایه ۸۷
۴-۵-۱-۳-شبکه‌های برگشتی (پس‌خور) ۸۷
۴-۵-۲-آموزش (یادگیری) شبکه عصبی ۸۸
۴-۵-۳-تعمیم شبکه عصبی ۸۹
۴-۵-۴-اجرا ۸۹
۴-۶-مزایای شبکه‌های عصبی ۹۰
۴-۷-معایب شبکه‌های عصبی ۹۳
۴-۸- استفاده از شبکه‌های عصبی برای مدل کردن ضریب هدایت حرارتی ۹۳
فصل پنجم ۹۶
محاسبات و نتایج ۹۶
۵-۱-داده‌های جمع‌آوری شده ۹۷
۵-۲-محاسبات خطا ۱۰۴

۵-۳-هدف از این تحقیق ۱۰۵
۵-۴-مدلسازی با شبکه‌های عصبی ۱۰۶
۵-۵-معادله پیشنهادی ارائه شده برای تخمین ضریب هدایت حرارتی ۱۱۲
۵-۶-مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل داده‌ها ۱۱۲
۵-۷-مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل گازهای خالص ۱۱۴
۵-۸-مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای گازهای خالص در فشار پایین ۱۱۵
۵-۹ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای گازهای خالص در فشار بالا ۱۱۷
۵-۱۰ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل مخلوط گازها ۱۱۹
۵-۱۱ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای مخلوط گازها در فشار پایین ۱۲۰
۵-۱۲ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای مخلوط گازها در فشار بالا ۱۲۲
۵-۱۳ نتایج محاسبات فصل پنجم ۱۲۴
۵-۱۳-۱ برای گازهای خالص در فشارهای مختلف ۱۲۴
۵-۱۳-۲ برای مخلوط گازها در فشارهای مختلف ۱۲۴
نتیجه‌گیری ۱۲۷
پیشنهادات ۱۲۹
منابع ۱۳۰

عنوان **فهرست شکل‌ها** **صفحه**

شکل ۱-۱ مکانیسم‌های سه گانه انتقال حرارت ۲

شکل ۲-۱ دستگاه سیم داغ گذرا ۱۲

شکل ۲-۲ نمای استفاده از پل وتستون در روش سیم داغ گذرا ۱۳

شکل ۲-۳ نمایی از استوانه‌های هم‌محور ۱۳

شکل ۲-۴ دیاگرام محفظه اندازه‌گیری شده ۱-گاز ۲-استوانه داخلی ۳-استوانه خارجی ۴-گرمکن الکتریکی ۵-عایق حرارتی چندلایه ۱۴

شکل ۲-۵ نمایی از کره‌های هم‌محور ۱۶

شکل ۲-۶ دستگاه اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی به روش صفحات موازی ۱۷

شکل ۲-۷ دستگاه پیترگیج ۱۸

شکل ۲-۸ دستگاه پتانسیل سنج ۱۹

شکل ۲-۹ لوله شوک ایده‌آل ۲۲

شکل ۲-۱۰ یک نمونه از دستگاه‌های مورد استفاده در روش فلش لیزر ۲۵

شکل ۲-۱۱ نمایی از دستگاه مورد استفاده در روش فلش لیزر ۲۵

شکل ۲-۱۲ دستگاه طیف سنجی تصویری صوتی ۲۷

شکل ۲-۱۳ هندسه‌های مختلف برای a) جامدات b) مایعات c) گازها در روش 3ω ۲۸

شکل ۲-۱۴ طرح دستگاه TFTCM ۳۱

شکل ۲-۱۵ غشای حسگر ۳۲

شکل ۳-۱ مخلوطی از دو گاز رسانای A و B ۵۹

شکل ۳-۲ آرایش سری گاز A و B ۶۰

شکل ۳-۳ آرایش موازی گاز A و B ۶۱

شکل ۴-۱ ساختمان شبکه عصبی ۸۳

شکل ۴-۲ ساختار نرون ۸۴

شکل ۴-۳ نمایی از ورودی‌ها و خروجی‌های یک نرون ۸۵

شکل ۴-۴ برخی از مهمترین توابع فعال ساز ۸۶

شکل ۵-۱ نمای کلی از شبکه عصبی آموزش داده شده ۱۰۹

شکل ۵-۲ جزئیات شبکه عصبی آموزش داده شده ۱۱۰

عنوان **فهرست نمودارها** **صفحه**

نمودار ۱-۱ تأثیر دما بر ضریب هدایت حرارتی گازها در فشار پایین ۶

نمودار ۱-۲ تأثیر دما بر ضریب هدایت حرارتی برخی مواد ۷

نمودار ۲-۱ مقایسه ضریب هدایت حرارتی اندازه‌گیری شده برای مخلوط گاز نیتروژن و هلیم با روش 3ω و مقادیر تجربی که توسط فلیتر و همکارانش اندازه‌گیری شده است ۳۰

نمودار۳-۱ مقایسه خطای حاصل از معادلات نیمه تجربی برای جدول (۳-۵) ۵۵

نمودار ۳-۲ ضریب هدایت حرارتی ۴ مخلوط گازی بر حسب کسر مولی ۵۶

نمودار ۳-۳ نتایج تجربی ضریب دوم ویریال حرارتی برای گازهای نجیب ۶۹

نمودار ۵-۱ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل داده‌ها ۱۱۳

نمودار ۵-۲ مقایسه درصد خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل داده‌ها ۱۱۳

نمودار ۵-۳ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل گازهای خالص ۱۱۴

نمودار ۵-۴ مقایسه درصد خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل گازهای خالص ۱۱۵

نمودار ۵-۵ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای گازهای خالص در فشار پایین ۱۱۶

نمودار ۵-۶ مقایسه درصد خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای گازهای خالص در فشار پایین ۱۱۷

نمودار ۵-۷ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای گازهای خالص در فشار بالا ۱۱۸

نمودار ۵-۸ مقایسه درصد خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای گازهای خالص در فشار بالا ۱۱۸

نمودار ۵-۹ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل مخلوط گازها ۱۱۹

نمودار ۵-۱۰ مقایسه درصد خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل مخلوط گازها ۱۲۰

نمودار ۵-۱۱ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای مخلوط گازها در فشار پایین ۱۲۱

نمودار ۵-۱۲ مقایسه درصد خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای مخلوط گازها در فشار پایین ۱۲۲

نمودار ۵-۱۳ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای مخلوط گازها در فشار بالا ۱۲۳

نمودار ۵-۱۴ مقایسه درصد خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای مخلوط گازها در فشار بالا ۱۲۳

نمودار ۵-۱۵ مقایسه درصد مجموع خطای ضریب هدایت حرارتی در محدوده‌های مختلف ۱۲۶

نمودار ۵-۱۶ مقایسه درصدی، درصد مجموع خطای ضریب هدایت حرارتی در محدوده‌های مختلف ۱۲۶

عنوان **فهرست جدول‌ها** **صفحه**

جدول ۲-۱ مقادیر ثابت K_m ۲۷

جدول ۲-۲ مقایسه ضریب هدایت حرارتی اندازه‌گیری شده برای گازهای خالص با روش 3ω و مقادیر تجربی ۳۰

جدول ۳-۱ ثوابت معادله $K=a_1+b_1T$ ۴۶

جدول ۳-۲ ثوابت معادله $K=a_q+b_qT+c_qT^2$ ۴۷

جدول ۳-۳ ثوابت معادله $K=a_c+b_cT+c_cT^2+d_cT^3$ ۴۷

جدول ۳-۴ مقادیر تابع $f(T_r)$ برای روش روی و تودوس ۵۱

جدول ۳-۵ مقایسه بین داده‌های تجربی و نیمه‌تجربی ضریب هدایت حرارتی برخی گازهای خالص در فشار ۱ بار ۵۳

جدول ۳-۶ ضریب هدایت حرارتی مخلوط گازی O_2-He در دمای ۳۰ ..... ۶۲

جدول ۳-۷ضریب هدایت حرارتی مخلوط گازی N_2-He در دمای ۳۰ و ۴۵ درجه سانتی گراد ۶۳

جدول ۳-۸ ضریب هدایت حرارتی مخلوط گازی N_2-Ne در دمای ۳۰ و ۴۵ درجه سانتی گراد ۶۳

جدول ۳-۹ جهت محاسبه مقادیر B_i ۷۱

جدول ۴-۱تناظر بین شبکه عصبی زیستی و شبکه عصبی مصنوعی ۸۵

جدول ۴-۲ معرفی برخی کارهای انجام گرفته برای مدل کردن ضریب هدایت حرارتی مواد با شبکه عصبی ۹۴

جدول ۵-۱ دسته‌بندی داده‌های استفاده شده در این تحقیق ۹۷

جدول ۵-۲ گازهای خالص استفاده شده در این تحقیق ۹۸

جدول ۵-۳ گازهای مخلوط استفاده شده در این تحقیق در فشار پایین ۱۰۰

جدول ۵-۴ گازهای مخلوط استفاده شده در این تحقیق در فشار بالا ۱۰۲

جدول ۵-۵ خطا و ضریب همبستگی بدست آمده از مدلسازی با شبکه عصبی ۱۰۷

جدول ۵-۶ خطای حاصل از مدلسازی با شبکه عصبی ۱۰۹

جدول ۵-۷ مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های شبکه عصبی مدلسازی شده ۱۱۱

جدول ۵-۸ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل داده‌ها ۱۱۲

جدول ۵-۹ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل گازهای خالص ۱۱۴

جدول ۵-۱۰ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای گازهای خالص در فشار پایین ۱۱۶

جدول ۵-۱۱ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای گازهای خالص در فشار بالا ۱۱۷

جدول ۵-۱۲ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای کل مخلوط گازها ۱۱۹

جدول ۵-۱۳ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای مخلوط گازها در فشار پایین..... ۱۲۱
جدول ۵-۱۴ مقایسه خطای تخمین ضریب هدایت حرارتی برای مخلوط گازها در فشار بالا..... ۱۲۲
جدول ۵-۱۵ مقایسه خطای روش‌ها برای تخمین ضریب هدایت حرارتی..... ۱۲۵

فصل اول

مفاهیم و کلیات هدایت حرارتی

۱-۱-مکانیسم‌های انتقال حرارت

به طور کلی انتقال حرارت توسط سه مکانیسم هدایت (رسانش)[۱]، جابجایی (همرفت)[۲] و تابشی (تشعشع)[۳] انجام می‌پذیرد که به ترتیب با سه قانون هدایت فوریه[۴]، سرمایش نیوتن[۵] و تشعشع استفان-بولتزمن[۶] بیان می‌شوند. در اکثر مسائل کاربردی، انتقال حرارت به صورت ترکیبی از دو یا سه روش فوق انجام می‌پذیرد. در شکل زیر نمایی از سه مکانیسم نشان داده شده است.

شکل ۱-۱ مکانیسم‌های سه گانه انتقال حرارت [۱].

قانون سرمایش نیوتن معرف انتقال گرما به روش جابجایی است. در این مکانیسم، گرما بین دو نقطه با دماهای مختلف به صورتی انتقال میابد که واسطه انتقال حرارت با حرکت و جابجا شدن خود باعث انتقال گرما می‌شود.

قانون سرمایش نیوتن به این شکل بیان می‌شود:

$$q = hA(T_W - T_\infty) \qquad (۱-۱)$$

[1] - Conduction
[2] - Convection
[3] - Radiation
[4] - Fouriers Law
[5] - Newtons Law Of Cooling
[6] - Stefan Boltzmann Law

در این معادله A مساحت سطح تماس، $(T_W - T_\infty)$ اختلاف دمای دیواره و سیال و h ضریب انتقال حرارت جابجایی است.

در قانون استفان-بولتزمن که مکانیسم تشعشع را بیان می‌کند، برای انتقال حرارت نه نیاز به واسطه‌ای می‌باشد و نه نیاز به تماس دو جسم است؛ و بیشترین انتقال حرارت تشعشعی بین دو جسم وقتی انجام می‌پذیرد که بین آن دو جسم خلاء کامل باشد. عامل انتقال انرژی در تشعشع، امواج الکترومغناطیسی یا همان ذرات فوتون می‌باشد.

طبق این قانون مقدار گرمایی که از یک جسم ایده‌آل که در دمای مطلق T قرار دارد انتقال میابد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q = \sigma A T^4 \qquad (۲-۱)$$

در این معادله T دمای مطلق جسم، A سطح جسم مشعشع و σ ثابت استفان-بولتزمن است و مقدارش از این قرار است: [۱،۲].

$$\sigma = 5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2.K^4}$$

۱-۲-انتقال حرارت هدایتی

در صورت وجود اختلاف دما در جسم، انتقال گرمایی از ناحیه دما بالا به ناحیه دما پایین به وجود می‌آید که به این پدیده هدایت می‌گویند. در این پدیده انتقال انرژی حرارتی به صورت جریان الکترون-های آزاد (درجامدات فلزی) و یا انتقال انرژی ارتعاشی ذرات جسم به ذرات مجاور (در جامدات غیر-فلزی) و یا برخورد مولکول‌ها (در گازها و مایعات ساکن) می‌باشد. در این مکانیسم واسطه انتقال حرارت ساکن است؛ در این صورت انرژی به طریق هدایت انتقال یافته و آهنگ انتقال گرما به ازای واحد سطح با گرادیان دما در راستای انتقال گرما و جنس ماده متناسب است. ← (جنس ماده , گرادیان دما)$\sim \frac{q}{A}$

فوریه این تناسب را به فرم ریاضی معادله زیر بیان کرد.

$$q = -KA\frac{\partial T}{\partial x} \qquad (۳-۱)$$

$\frac{\partial T}{\partial x}$ گرادیان دما در جهت جریان گرما، q آهنگ انتقال گرما وK ضریب هدایت حرارتی با واحد $\frac{W}{m.K}$ می‌باشد. قانون فوریه، بیانگر مکانیسم انتقال حرارت به روش هدایت است. قانون فوریه مبتنی بر تحلیل نیست بلکه یک تجربه بشری است؛ همچنین علامت منفی در قانون فوریه بیانگر جهت کاهش انتقال دماست، به عبارت روشن‌تر بیانگر این است که گرما نمی‌تواند از نقطه‌ای سرد به نقطه‌ای گرم نقل مکان کند (قانون دوم ترمودینامیک). قانون فوریه برای تمامی حالت (پایدار ، ناپایدار) معتبر است [۱،۲].

۱-۳-ضریب هدایت حرارتی

ضریب هدایت حرارتی عبارت است از مقدار گرمایی که ماده می‌تواند در واحد ضخامت و در واحد زمان و دمای مشخص از خود عبور دهد. ضریب هدایت حرارتی یک خاصیت فیزیکی از ماده است که به نوع ماده و شرایط فیزیکی آن از قبیل دما و فشار بستگی دارد؛ و قابلیت آن ماده را در هدایت گرما نشان می‌دهد؛ لذا هر چه مقدار عددی ضریب هدایت حرارتی جسم بزرگ‌تر باشد جسم هادی‌تر بوده و مقدار بیشتری گرما از آن عبور می‌کند و برعکس، هر چه مقدار عددی ضریب هدایت حرارتی جسم کوچک‌تر باشد جسم عایق‌تر می‌باشد. واحد ضریب هدایت حرارتی در سیستم متریک $\frac{W}{m.K}$ و در سیستم انگلیسی $\frac{Btu}{h.ft.F}$ می‌باشد.

برای یک ماده همگن، ضریب هدایت حرارتی مستقل از جهت انتقال گرما است ($K_x = K_y = K_z = K$) به عبارت دیگر، مقدار K در هر نقطه از جسم ثابت است (مستقل از این که جهت انتقال حرارت به کدام سمت باشد).

به طور کلی ضریب هدایت حرارتی جامدات بیشتر از مایعات و مایعات بیشتر از گازها می‌باشد. همچنین در بین جامدات، ضریب هدایت حرارتی جامدات فلزی بیشتر از جامدات غیر فلزی است و در بین مایعات نیز ضریب هدایت حرارتی مایعات فلزی از مایعات غیر فلزی بیشتر است [۱،۲] بنابراین:

$K_{\text{فلزات}} > K_{\text{آلیاژها}} > K_{\text{نافلزات}} > K_{\text{مایعات فلزی}} > K_{\text{مایعات غیرفلزی}} > K_{\text{گازها}}$