

احتراق غیر آدیاباتیک ابر ذرات

تالیف :

مہدی بیدآبادی
محمد محبتی اٹافوری

سروشنامه	: بیدآبادی، مهدی، ۱۳۳۸ -
عنوان و نام پدیدآور	: احتراق غیر آدیاباتیکی ایزدزات
مشخصات نشر	: تهران: گسترش علوم پایه، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۵۱۰ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۲۵۰۰۰ ریال 7-636-490-978:
وضعیت فهرست نویسی	: فیاپا
یادداشت	: این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
یادداشت	: کتابنامه.
شناسه افزوده	: محبی، احمد، ۱۳۶۶-
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۷۶۵۲۲۹

حقوق چاپ و نشر محفوظ و مخصوص ناشر می باشد.

فروشنده و خواننده گرایی: این کتاب دارای برجسته‌ای اصالت کلا (هولوگرام) در روی جلد است که ضمن دقت در این مورد ما را در صورت عدم وجود هولوگرام مطلع سازد. با تشکر از همکاری شما



فهرست مطالب

۱ پیشگفتار

۱ فصل ۱: تلفات حرارتی در احتراق ذرات ارگانیک

۲ مقدمه

۴ ۱-۱-۱ مدل سه ناحیه ای پیش مخلوط ابر ذرات ارگانیک

۵ ۱-۱-۱-۱ معادلات حاکم

۹ ۱-۱-۲ حل معادلات حاکم با در نظر گرفتن اختلاف دمای بین گاز و ذره

۱۸ ۱-۱-۳ حل معادلات حاکم با در نظر گرفتن ترم تشعشع

۲۵ ۱-۱-۴ حل معادلات حاکم با در نظر گرفتن ترم تلفات حرارتی

۲۸ ۱-۱-۵ نتایج

۳۸ ۱-۲-۱ مدل چهار ناحیه ای پیش مخلوط ابر ذرات ارگانیک

۳۹ ۱-۲-۱-۱ معادلات حاکم بدون تشعشع حرارتی و تلفات حرارتی

۴۴ ۱-۲-۲-۱ حل پایدار معادلات بی بعد حاکم

۵۲ ۱-۲-۲-۱ بررسی اثر تشعشع حرارتی بر متغیرهای ساختار شعله

۵۷ ۱-۲-۲-۱ بررسی اثر تلفات حرارتی بر متغیرهای ساختار شعله

۵۹ ۱-۲-۵ نتایج

۸۱ ۱-۳-۱ احتراق جریان متقابل نانو ذرات ارگانیک

۸۲ ۱-۳-۱-۱ ساختار شعله

۸۳ ۱-۳-۲-۱ مدل تحلیلی با فرض تلفات حرارتی هدایت

۱۱۳ ۱-۳-۳-۱ مدل تحلیلی با فرض تلفات حرارتی تشعشعی

۱۳۶ ۱-۳-۴-۱ نتایج

۱۵۲ ۱-۴-۱ تأثیر تلفات بر پایداری ذرات بایومس

۱۵۴ ۱-۴-۱-۱ مدل تحلیلی بررسی اتلاف حرارت بر پایداری ذرات بایومس

۱۶۰ ۱-۴-۲-۱ حل پایدار معادلات حاکم

۱۶۵ ۱-۴-۳-۱ نتایج

۱۷۰	جمع بندی
۱۷۷	مراجع

۱۸۰	مقدمه
۱۸۱	۱-۲- فاصله خاموشی
۱۸۱	۱-۱-۲- مروری بر فعالیتهای انجام شده در زمینه فاصله خاموشی
۱۸۴	۱-۲-۲- روشهای اندازه گیری فاصله خاموشی
۱۸۵	۱-۲-۳- رفتار شعله در صفحات خاموشی
۱۸۶	۱-۲-۴- اندازه گیری تجربی فاصله خاموشی
۱۹۱	۱-۲-۵- ضخامت شعله
۱۹۱	۱-۲-۶- نتایج
۱۹۵	۲-۲- مدل تحلیلی برای به دست آوردن فاصله خاموشی
۱۹۶	۲-۲-۲- معادله انرژی در ناحیه شعله
۱۹۷	۲-۲-۳- پی بعد کردن معادلات
۱۹۸	۲-۲-۴- حل معادلات
۲۰۱	۲-۲-۵- مدل ارائه شده برای محاسبه فاصله خاموشی
۲۰۳	۲-۲-۶- تأثیر تشعشع بر فاصله خاموشی در ابر ذرات
۲۰۸	۲-۲-۷- نتایج
۲۱۱	۲-۳- انتشار شعله در کانال تحت شرایط آدیاباتیک
۲۱۶	۱-۳-۲- جریان ضعیف
۲۱۷	۲-۳-۲- شعله باریک
۲۲۲	۲-۳-۴- انتشار شعله تحت تأثیر اتلاف حرارت هدایتی در کانال
۲۲۵	۲-۴-۲- کانال های باریک - نتایج مجانبی
۲۳۰	۳-۴-۲- نتایج عددی-کانالهای عریض و متوسط
۲۳۵	۴-۴-۲- انتشار شعله در حضور جریان
۲۳۹	۵-۴-۲- تأثیر اتلاف حرارت بر انتشار شعله ی ابر ذرات پیش مخلوط در کانال
۲۴۵	۱-۴-۲- نتایج
۲۴۶	۵-۲- احتراق غیرآدیاباتیک ابر ذرات آهن در کانال استوانه ای
۲۴۶	۱-۵-۲- معادله بقای انرژی مخلوط دو فازی در مختصات استوانه ای
۲۵۶	۲-۵-۲- حل معادله بقای انرژی مخلوط دوفازی در مختصات استوانه ای
۲۶۶	۳-۵-۲- نتایج
۲۷۱	۶-۲- احتراق غیرآدیاباتیک ابر ذرات آهن در کانال مستطیلی
۲۷۱	۱-۶-۲- معادله بقای انرژی مخلوط دوفازی در مختصات دکارنی
۲۷۸	۲-۶-۲- حل معادله بقای انرژی مخلوط دوفازی در مختصات دکارنی
۲۸۹	۳-۶-۲- نتایج
۲۹۵	۷-۲- انتشار و خاموشی شعله در کانال کم عرض از دیدگاه منبع حرارتی نقطه ای
۲۹۵	۱-۷-۲- مدل سازی یک بعدی انتشار شعله ابر ذرات در کانال کم عرض
۳۰۳	۲-۷-۲- مدل سازی ۲ بعدی

۳۱۰	جمع بندی
۳۱۴	مراجع

۳۱۷

فصل ۳: گردش حرارتی

۳۱۸	مقدمه
۳۱۹	۱-۳- کاربردهای پدیده ی بازخورد حرارت
۳۲۲	۲-۳- مروری بر مدل های بازخورد حرارت
۳۲۲	۱-۲-۳- مدل مشعل سرامیکی
۳۲۳	۲-۲-۳- مدل کامباستور سوئیس رول
۳۲۳	۳-۲-۳- مدل میزب حرارتی با جریان های مخالف و مستقیم
۳۲۴	۴-۲-۳- مدل شعله های موازی
۳۲۴	۳-۲- مدل گردش حرارتی ذرات ارگانیک با لوییس غیر واحد
۳۲۶	۱-۳-۳- معادلات حاکم
۳۳۹	۲-۳-۳- نتایج
۳۵۱	۴-۳- مدل سازی چرخش حرارتی در احتراق جریان متقابل ابر ذرات
۳۵۲	۱-۴-۳- معادلات حاکم
۳۵۷	۲-۴-۳- حل معادلات حاکم
۳۶۶	۳-۴-۳- نتایج
۳۶۸	۵-۲- مدل تحلیلی برای بررسی اثر بازخورد حرارت در احتراق ذرات چوب
۳۷۰	۱-۵-۳- معادلات حاکم
۳۸۰	۲-۵-۳- نتایج
۳۹۴	جمع بندی
۳۹۸	مراجع

۴۰۱

فصل ۴: انتشار شعله در میکرو کامباستورها

۴۰۲	مقدمه
۴۰۳	۱-۴- بررسی تحلیلی انتقال حرارت سه بعدی در میکرو کامباستورها
۴۰۴	۱-۱-۴- مدل سازی ریاضی
۴۰۴	۲-۱-۴- معادلات نواحی غیر احتراقی
۴۰۶	۳-۱-۴- معادله ناحیه واکنشی
۴۰۷	۴-۱-۴- حل معادلات
۴۱۲	۵-۱-۴- نتایج
۴۲۰	۲-۴- بررسی احتراق سه بعدی در میکرو کامباستورها ی استوانه ای
۴۲۱	۱-۲-۴- مدل سازی ریاضی
۴۲۱	۲-۲-۴- معادلات نواحی غیر احتراقی
۴۲۴	۳-۲-۴- معادلات ناحیه واکنشی
۴۲۶	۴-۲-۴- حل معادلات
۴۲۹	۵-۲-۴- نتایج
۴۳۶	۳-۴- حل تحلیلی افت تشعشعی میکرو کامباستورها به روش گرین

۴۳۷	۱-۳-۴ بررسی تشعشع در معادله انرژی تابع زمان و مکان
۴۴۳	۲-۳-۴ مدل سازی ریاضی
۴۴۶	۳-۳-۴ بدست آوردن جواب مسئله
۴۴۹	۴-۳-۴ نتایج
۴۵۲	۴-۴ تحلیل اثر بازخورد حرارت بر انتقال حرارت در میکرو کامپاستور استوانه ای
۴۵۳	۱-۴-۴ میکرو کامپاستور استوانه ای
۴۵۴	۲-۴-۴ مدل شعله
۴۵۵	۳-۴-۴ معادلات حاکم
۴۶۰	۴-۴-۴ نتایج
۴۷۱	۵-۴ بررسی اثر بازخورد حرارت بر پایداری شعله ی ابر ذرات جوب در میکرو کامپاستور
۴۷۲	۱-۵-۴ مدل تحلیلی
۴۷۷	۲-۵-۴ نتایج و بحث
۴۸۵	جمع بندی
۴۸۹	مراجع

پیشگفتار

احتراق در طول تاریخ بشر به عنوان منبع انرژی و یکی از عوامل نشان‌دهنده رشد و فناوری یک اجتماع محسوب شده است. از احتراق به عنوان فصل مشترک زمینه‌های مکانیک سیالات، ترمودینامیک، انتقال حرارت و واکنش‌های شیمیایی یاد می‌شود. فرایند احتراق با حضور اکسنده و سوخت در شرایط مناسب امکان پذیر است. در نتیجه می‌توان از ابتدا احتراق را بر اساس اینکه اکسنده و سوخت در چه فازی هستند و یا اینکه در چه شرایطی به مرحله احتراق می‌رسند، تقسیم بندی کرد. مطالعات زیادی در مورد سوخت و اکسنده که در فاز گازی هستند، انجام شده است. اما در قرن‌های اخیر استفاده از سوخت‌های فسیلی مانند ذغال سنگ، باعث پرداختن بیشتر به مطالعات احتراقی در زمینه احتراق غیر همگن شده است. احتراق غیر همگن امروزه در مواضع گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نخستین بار احتراق ذرات زمانی مورد توجه قرار گرفت که به عنوان عامل انفجار مهیب معادن ذغال سنگ شناخته شد و بنابراین پارامترهای ایمنی صنعتی در احتراق و انفجار ذرات مورد بررسی قرار گرفت.

در آستانه قرن اخیر، ورود ابر ذرات قابل اشتعال به صنعت و قابلیت انفجار آنها باعث شد که خطر انفجار ابر ذرات به عنوان یک موضوع مهم برای مدیریت ایمنی در صنایع مطرح شود. انفجار غبار ذغال سنگ در معادن یا انفجار ذرات در سیلوهای کشاورزی، صنایع چوب خرد کنی، صنایع شکر، پودرهای فلزی، کاغذ، مواد شیمیایی و لاستیک‌های صنعتی همگی مواردی هستند که صدمات جانی و مالی سنگینی را متحمل می‌شوند.

از طرف دیگر قسمت عمده ای از انرژی جهان از مصرف سوخت‌های فسیلی تامین می‌گردد که این تبدیل انرژی با سوزاندن مستقیم سوخت‌های جامد از قبیل ذغال سنگ یا مایعات سنگین که در هوا سوزانده می‌شوند، انجام می‌پذیرد. کوچک نمودن ابعاد ذرات سوخت باعث افزایش سطح تماس سوخت با هوا گردیده و هر جزء با دریافت انرژی کمتری به فاز گازی می‌رسد که در این حالت راحت تر می‌تواند با هوا مخلوط و آماده احتراق شود. اگر چه مخلوط ذرات باعث اتفاقات ویران کننده ای می‌شود، اما انرژی آن می‌تواند در زمینه‌های مختلف تولید انرژی به کار رود.

با توجه به مباحث بالا، اگرچه احتراق ذرات ریز می‌تواند بسیار ویران کننده باشد، ولی با توجه به انرژی بسیار زیاد این ذرات، چنانچه بتوان انرژی حاصل از احتراق آنها را مهار کرد می‌توان از آنها به نحو

سازنده‌ای استفاده کرد. این کار توسط علم احتراق ذرات ریز جامد انجام می‌گیرد. در نتیجه ذرات را می‌توان از دو جنبه‌ی احتراق و انفجار مورد مطالعه قرار داد.

در بسیاری از تجهیزات احتراق کاربردی اتلاف حرارت به محیط نقشی بسیار مهمی در خاموشی شعله، محدودیت‌های اشتعال پذیری و سرعت سوزش ایفا می‌کند. از این رو در این کتاب بر آن شدیم که اثر اتلاف حرارت را در احتراق ابر ذرات مورد بررسی قرار دهیم.

در فصل اول کتاب حاضر به ارائه مدلی برای انتشار شعله آرام پیش مخلوط از میان ابر ذرات ارگانیک پرداخته می‌شود. روش کار به این صورت است که ابتدا ناحیه شعله شامل سه ناحیه ی پیش گرم، واکنش و پس از واکنش می‌باشد. در این مدل برای اثر اختلاف دمای بین گاز و ذره، تشعشع حرارت و تلفات حرارت نیز در نظر گرفته شده اند. معادلات مربوط به شعله آرام ذرات ارگانیک در هر ناحیه نوشته شده و سپس با استفاده از روش بی بعد سازی و اعمال پارامترهای بی بعد، معادلات لازم برای احتراق در هر ناحیه بی بعد می‌شوند. در نهایت معادلات حاکم و شرایط مرزی بی بعد شده با استفاده از روش تحلیلی حل می‌شوند. در ادامه ی فصل مدلی برای انتشار شعله آرام پیش مخلوط از میان ابر ذرات ارگانیک ارائه می‌شود که در این مدل برای اولین بار ساختار شعله ذرات به چهار ناحیه: پیش گرم، ناحیه تبخیر ذرات، ناحیه نازک حدی واکنش و ناحیه پس از واکنش تقسیم شده است. مدل تحلیلی ارائه شده در این بخش به مدل واقعی ابر ذرات ارگانیک نزدیک تر می‌باشد. سپس رفتار شعله غیرآدیاباتیکی (همراه با اتلاف حرارت) در احتراق جریان متقابل نانو ذرات ارگانیک را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. در این قسمت به بیان معادلات اساسی حاکم بر احتراق نانو ذرات غیرآدیاباتیکی با فرض وجود تلفات حرارتی هدایتی و تلفات حرارتی تشعشعی پرداخته و معادلات بی بعد آن‌ها را بیان کرده و سپس به حل معادلات بی بعد در نواحی چهارگانه شعله می‌پردازیم و مدلی تحلیلی برای بیان دما، کسر جرمی ذرات جامد و گازی شکل در هر کدام از این نواحی تعیین می‌کنیم. از دیگر مواردی که در فصل به آن پرداخته می‌شود در نظر گرفتن اثر اتلاف حرارت در احتراق بایرولیز ذرات بایومس می‌باشد. با این تفاوت که در این قسمت ساختار شعله به صورت سه ناحیه در نظر گرفته می‌شود. آنچه در این قسمت حائز اهمیت است بدست آوردن رابطه ای ست غیر خطی برای سرعت سوزش و همچنین تحلیل اثرات تشعشع، اتلاف حرارت به عنوان عوامل اساسی بر روی احتراق ذرات بایومس.

در فصل دوم به بررسی رفتار شعله در کانال پرداخته می‌شود. بدین منظور در ابتدا پارامتر دینامیکی فاصله خاموشی شعله ذرات آلومینیوم به صورت تجربی اندازه‌گیری شده و تاثیر عوامل مختلف بر روی آن بررسی گردیده است سپس مدل تحلیلی برای به دست آوردن فاصله خاموشی ارائه می‌شود. در ادامه ی این فصل انتشار شعله در کانال را با حضور جریان، به صورت تحلیلی و در دو حالت، اول تحت شرایط آدیاباتیکی و دوم تحت تاثیر اتلاف حرارت هدایتی بررسی می‌کنیم و نتایج عددی مربوطه را که

با نتایج آزمایشگاهی مطابقت دارند و به تفهیم مسئله کمک می کند بیان خواهیم کرد. در بخش بعدی مدلی برای احتراق غیرآدیاباتیک ابر ذرات آهن در کانال در دو هندسه متفاوت کانال استوانه ای و مستطیلی مدل سازی شده است. در این مدل، ذرات معلق آهن در محیط اکسید کننده گازی، بصورت یک مخلوط دو فاز مدل سازی شده است و از خواص ترموفیزیکی مخلوط برای تحلیل استفاده شده است. در انتهای این فصل احتراق ابر ذرات در یک کانال کم عرض از دیدگاه منبع حرارتی نقطه ای مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. ابتدا معادلات مربوط به احتراق تک ذره مورد بررسی قرار گرفته و حل آن ارائه می شود. هر ذره سوخته و یا سوخته شده به عنوان چشمه حرارتی و انتقال حرارت به دیواره در نقش چاه حرارتی است سپس با جمع بستن فضایی، احتراق در ابر ذرات در کانال کم عرض تحلیل شده و در انتها نیز نتایج مربوط به سرعت انتشار شعله، حدود اشتعال پذیری ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم، ابتدا به معرفی پدیده ی باز خورد حرارت در سیستم های احتراقی پرداخته و مدلهایی را که تا امروز در این زمینه در جامعه ی علمی دنیا ارائه گردیده اند، بررسی شده است. در این ادامه به بررسی نقش گردش حرارتی و عدد لوییس غیر واحد در احتراق ذرات ارگانیک می پردازیم. سپس به بررسی اثر چرخش حرارتی در احتراق ابر ذرات در جریان متقابل پرداخته خواهد شد. برای بررسی ساختار شعله و حل معادلات حاکم شعله را در این بخش، همانند فصل قبل، به چهار ناحیه تقسیم می کنیم. در انتهای این فصل پدیده گردش حرارتی را در انتشار شعله ی ابر ذرات چوب درون یک میکرو کامباستور استوانه ای، به صورت تحلیلی مورد بررسی قرار داده خواهد شد.

در فصل چهارم به بررسی انتشار شعله در میکرو کامباستورها پرداخته شده است. بنابراین در این بخش نخست این فصل با توسعه دادن مدلهای ساده ی مربوط به گسترش شعله ی آزاد، یک مدل تحلیلی انتقال حرارت سه بعدی در میکرو کامباستور با توجه به اتلاف حرارت ارائه شده است. در ادامه در این فصل به بررسی این پدیده در میکرو کامباستورهای استوانه ای پرداخته می شود. در بخش بعد نخست به توصیف تشعشع ابر ذرات پرداخته و سپس سعی شده که به بررسی پدیده ی تشعشع ورودی از ناحیه واکنشی به پیشگرم درون میکرو کامباستور با استفاده از مدل سازی دوبعدی آن بپردازیم. در انتها به بررسی اثر باز خورد حرارت بر پایداری شعله ی ابر ذرات چوب درون میکرو کامباستور پرداخته می شود. این امر با توسعه ی یک مدل تحلیلی ساده برای انتشار شعله در یک کانال باریک صورت می پذیرد.

تقدیر و تشکر

مؤلفین این کتاب پیش تر مراتب تشکر و قدردانی خود را از تمامی کسانی که در این مدت دیدگاه ها، نظرات و راهکارهایشان راهگشای تالیف این کتاب بوده به عرض رسانده؛ و برای ایشان آرزوی سلامتی، موفقیت و سر بلندی در تمام زمینه های مادی و معنوی را می نمایند. ایشان همچنین مراتب تقدیر و تشکر ویژه خود را از کلیه اساتید و دانشجویان عزیز فعال در آزمایشگاه تحقیقاتی احتراق دانشگاه علم و صنعت ایران به خصوص آقایان علیرضا رهبری، مجید مافی، محمد صدیقی، محمد جواد نوروزی، سید ابوذر فنایی، علی مومنی سرمزده، سعیدرضا زادسیرجان، محمدهادی حاجیلو و خانم فاطمه ابراهیمی نسب که از فعالیت های ایشان در ساختار این کتاب استفاده شده است ابراز می دارند.

در پایان از کلیه افرادی که در تدوین این کتاب زحمتی را متقبل شده اند از جمله آقای جمشید محبتی اطاقوری و اساتید، همکاران و دست اندرکارانی که در داوری، چاپ و نشر این کتاب مشارکت داشته اند سپاسگذاری نموده، امید است که این کتاب راهگشایی برای فعالیت های دانشجویان و محققان علاقه مند و سختکوش ایرانی باشد.

مهدی بیدآبادی

محمد محبتی اطاقوری