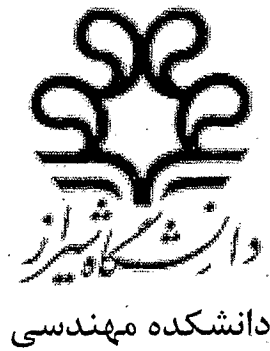


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



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

شبیه‌سازی عددی احتراق در محیط متخلخل

توسط:

پدرام ریاحی

استاد راهنما:

دکتر محمدهادی اکبری

کتابخانه مرکزی دانشگاه شاهرز

10 / 11 / 1387

تیر ماه ۱۳۸۷

۹۹۱۱۸

به نام خدا

شبهه‌سازی عددی احتراق در محیط متخلخل

به وسیله‌ی:

پدram ریاحی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی 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 محمدهادی اکبری، استادیار بخش مهندسی مکانیک (رئیس کمیته)

دکتر محمود یعقوبی، استاد بخش مهندسی مکانیک

دکتر محمدمهدی علیشاهی، استاد بخش مهندسی مکانیک

تیر ماه ۱۳۸۷

تقدیم به ساحت مقدس حضرت صدیقہ طاهرہ، فاطمہ زہراء (سلام الله علیہا)

و با امید فرج محمد و آل محمد

به نام حضرت دوست

پروردگارا، نعمت‌های پی‌درپی تو مرا از انجام وظیفه شکرگزاری غافل کرد و فیضان دریای فضل و کرمات مرا از حمد و ستایش عاجز گردانید و عطای پیوسته‌ات مرا از ذکر محامد و اوصاف جمالت بازداشت و مرحمت‌های متوالیت مرا از نشر و بیان نیکویی‌هایت ناتوان ساخت و این عجز و ناتوانی مقام کسیست که به نعمت‌های بی‌شمار تو معترف و با تقصیر در ادای شکر آن نعمت‌ها مواجه است. ... ای که امیدواران همه به ساحت قدس تو بارافکنند و طالبان عطا به عرصه‌ی عنایت اقامت کنند. ... خداوندا شکر من در مقابل نعمت‌های بزرگ تو بسیار ناچیز و حمد و ثنای من در قبال اکرام و عنایت بسی ناقابل است. ... نعمت‌هایت آنقدر زیاد است که زبانم از شمارش ناتوان و فهمم از ادراکش قاصر است. ... پس من چگونه توانم شکر آن نعم را بجا آورم و حال آنکه شکر تو گفتن هم یکی از نعمت‌های توست و شکر بر آن لازم است. پس من هرچه حمد و شکر گویم بر آن تو را نیز حمد و شکر دیگر باید گفت. پروردگارا، چنانکه ما را در اول به لطف خود غذا دادی و در مهد حکمت و صنعت پرورش دادی، پس نعمت‌های بی‌حدت را بر ما به اتمام رسان و ناگواری‌های انتقامت را دفع گردان. ...

مناجات الشاکرین از مناجات خمسه عشره امام سجاد (علیه‌السلام)

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات و دلسوزی‌های پدر و مادر عزیزم تشکر کنم. بدون دعای خیر و دلگرمی‌های آنها انجام این پایان‌نامه میسر نبود. امیدوارم به‌این وسیله موجبات رضایت و شادی آنها را فراهم کرده‌باشم.

اکنون که این پایان‌نامه به اتمام رسیده‌است، بر خود فرض می‌دانم از زحمات استاد بزرگوار جناب آقای دکتر اکبری که همواره بنده را از راهنمایی و مساعدت‌های بی‌دریغ خود بهره‌مند نمودند، کمال تشکر را داشته باشم. از درگاه خداوند متعال برای ایشان آرزوی توفیق روزافزون دارم.

همچنین از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر یعقوبی و جناب آقای دکتر علیشاهی که زحمت مشاوره‌ی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، کمال قدردانی را دارم.

چکیده

شبیه‌سازی عددی احتراق در محیط متخلخل

بوسیله‌ی:

پدرام ریاحی

شعله‌ای که درون محیط متخلخل به پایداری برسد، به علت گردش درونی حرارت در ماتریس جامد با شعله‌های معمولی متفاوت می‌باشد. در این پایان‌نامه احتراق پیش‌مخلوط و آرام متان درون یک محیط متخلخل خنثی، همگن و آیزوتروپیک، به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته‌است. برای این منظور یک مدل فیزیکی و یک‌بعدی از مشعل متخلخلی از جنس سرامیک شبکه‌ای با در نظر گرفتن تشعشع جامد و معادلات انرژی در دو فاز مستقل به کار رفته‌است. جهت مدل‌سازی دقیقتر واکنش در مرزهای ابتدایی و انتهایی جامد، کل دامنه‌ی حل به سه زیرناحیه تقسیم‌بندی شده و از هرگونه پیش‌فرضی در خصوص محل تشکیل و پایداری شعله احتراز گردیده‌است. برای تحلیل عملکرد حرارتی-پایداری مشعل از یک مکانیزم یک‌مرحله‌ای مناسب و برای اندازه‌گیری میزان تولید آلاینده‌ها از یک مکانیزم سه‌مرحله‌ای استفاده شده‌است. مجموعه‌ی شرایط اولیه و مرزی به گونه‌ای کاملاً فیزیکی انتخاب گردیده و تمام خصوصیات مخلوط گاز به صورت توابعی از دما در نظر گرفته شده‌اند. در این تحقیق برای حل مجموعه‌ی معادلات از روش Segregated استفاده گردیده‌است. برای این منظور معادلات بقاء با استفاده از روش حجم محدود گسسته‌سازی شده و معادلات جبری حاصله با استفاده از روش تکراری TDMA مورد حل قرار گرفته‌اند.

بر اساس نتایج حاصله، عملکرد حرارتی-پایداری مشعل شامل دما و محل شعله و نیز دمای محصولات احتراق، به شدت تابع پارامترهای ورودی و خصوصیات حرارتی-ساختاری ماتریس جامد است. از میان خصوصیات هندسی، طول ماتریس تقریباً بر عملکرد مشعل بی‌تأثیر است. افزایش تخلخل ماتریس جامد و نیز افزایش نرخ سوزش موجب افزایش بازده ناحیه‌ی پیش‌گرمایش می‌شود. در حالیکه دمای ورودی و چگالی متخلخل محیط بر بازده این ناحیه تأثیر معکوس دارد. با نزدیک شدن شرایط مخلوط به حالت استوکیومتری، محدوده‌ی پایداری مشعل وسیعتر می‌شود؛ یعنی با افزایش نسبت تعادل، پدیده‌ی flash-back و blow-out به‌ازای مقادیر بزرگتری از نرخ سوزش اتفاق می‌افتد. $\Phi = 0.5$ کوچکترین نسبت تعادلی است که به‌ازای آن شعله درون ماتریس به پایداری می‌رسد. حداکثر میزان تولید NO و CO در مشعل به‌مراتب کمتر از مقادیر متناظر در ساختار شعله‌آزاد است. با افزایش نسبت تعادل از 0/5 تا 0/9، مقدار بیشینه‌ی تولید CO به‌شکل غیریکنواختی افزایش می‌یابد؛ اما کمترین میزان انتشار آن در خروجی مشعل، تحت شرایط استوکیومتری حاصل می‌شود. در مشعل‌های متخلخل با چشم‌پوشی از سایر محدودیت‌ها، احتراق مخلوط‌هایی با نسبت تعادل هر چه پایینتر، از نقطه نظر کاهش تولید NO، ارزشمندتر است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان:
۱	فصل اول: مقدمه
۲	پیش‌گفتار
۳	۱-۱- تعاریف اولیه
۷	۲-۱- مقدمه‌ای بر مشعل‌های گازی
۹	۳-۱- مقدمه‌ای بر احتراق در محیط متخلخل
۱۴	۴-۱- مزایای مشعل‌های محیط متخلخل
۱۶	۵-۱- طبقه‌بندی مشعل‌های محیط متخلخل
۱۸	۶-۱- جنس ماتریس جامد در مشعل‌های محیط متخلخل
۲۰	۷-۱- بررسی‌های فنی
۲۱	فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

۲۲	۱-۱-تحقیقات اولیه
۲۴	۲-۲-تحقیقات اخیر
۲۴	۱-۲-۱-تحقیقات انجام شده در دهه‌ی آخر از قرن گذشته
۳۸	۲-۲-۲-تحقیقات انجام شده در قرن حاضر
۴۸	۳-۲-جمع بندی
۵۱	۴-۲-تبیین اهداف
۵۳	فصل سوم: معادلات حاکم و روش حل
۵۴	۱-۳-بررسی های مقدماتی
۵۸	۲-۳-معادلات حاکم
۵۸	۱-۲-۳-هندسه و فرضیات به کار رفته
۶۰	۲-۲-۳-شبیه سازی انتقال حرارت جابجایی
۶۲	۳-۲-۳-شبیه سازی انتقال حرارت هدایتی
۶۴	۴-۲-۳-شبیه سازی انتقال حرارت تشعشعی
۶۶	۵-۲-۳-شبیه سازی احتراق
۷۱	۶-۲-۳-معادلات بقاء
۷۳	۷-۲-۳-شرایط اولیه و مرزی
۷۴	۸-۲-۳-شبیه سازی خواص مخلوط گاز
۷۵	۹-۲-۳-خصوصیات ماتریس جامد

۷۵	۳-۳- روش حل
۷۶	۳-۳-۱- روش حجم محدود برای گسسته‌سازی معادلات بقاء
۸۱	۳-۳-۲- الگوریتم حل عددی
۸۳	۳-۳-۳- شبکه‌ی محاسباتی
۸۶	فصل چهارم: بررسی نتایج
۸۷	۴-۱- اعتبارسنجی
۸۸	۴-۲- نتایج حالت پایه
۸۹	۴-۲-۱- شبیه‌سازی مکانیزم جرقه
۸۹	۴-۲-۲- نتایج حالت گذرا
۹۱	۴-۲-۳- نتایج حالت دائمی
۹۷	۴-۳- تحلیل عملکرد حرارتی-پایداری مشعل
۹۷	۴-۳-۱- بررسی تأثیر دمای ورودی
۹۹	۴-۳-۲- بررسی تأثیر نسبت تعادل
۱۰۰	۴-۳-۳- بررسی تأثیر نرخ سوزش
۱۰۲	۴-۳-۴- بررسی تأثیر ضریب انتقال حرارت حجمی
۱۰۳	۴-۳-۵- بررسی تأثیر ضریب هدایت ماتریس جامد
۱۰۵	۴-۳-۶- بررسی تأثیر ضریب خاموشی ماتریس جامد
۱۰۶	۴-۳-۷- بررسی تأثیر طول ماتریس جامد

۱۰۸	۴-۳-۸- بررسی تأثیر تخلخل ماتریس جامد
۱۱۰	۴-۳-۹- بررسی تأثیر چگالی تخلخل ماتریس جامد
۱۱۱	۴-۳-۱۰- بررسی بازده ناحیه‌ی پیش‌گرمایش
۱۱۳	۴-۳-۱۱- بررسی حدود شعله‌وری و محدودده‌ی پوشش توان
۱۱۸	۴-۴- تحلیل میزان تولید آلاینده‌ها در مشعل
۱۲۴	فصل پنجم: جمع‌بندی و ارائه‌ی پیشنهادها
۱۲۵	۵-۱- جمع‌بندی
۱۲۸	۵-۲- پیشنهادها
۱۳۰	منابع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان:
۴۴	جدول ۱-۲. نحوه‌ی تأثیر ضریب هدایت ماتریس جامد بر عملکرد پایدار مشعل در $\Phi = 0.65$ Barra و همکارانش (۲۰۰۳).
۴۴	جدول ۲-۲. نحوه‌ی تأثیر ضریب انتقال حرارت حجمی بر عملکرد پایدار مشعل در $\Phi = 0.65$ Barra و همکارانش (۲۰۰۳).
۴۴	جدول ۳-۲. نحوه‌ی تأثیر ضریب خاموشی بر عملکرد پایدار مشعل در $\Phi = 0.65$ Barra و همکارانش (۲۰۰۳).
۴۸	جدول ۴-۲. خلاصه‌ای از خصوصیات کاری مشعل متخلخل دومرحله‌ای مورد مطالعه [Bubnovich و همکارانش (۲۰۰۷)].
۶۱	جدول ۱-۳. محاسبه‌ی عدد ناسلت حجمی با استفاده از روابط تجربی برای پنج سرامیک شبکه‌ای مختلف [Fu و همکارانش (۱۹۹۸)].
۶۸	جدول ۲-۳. پارامترهای مربوط به نرخ‌های واکنش در مکانیزم سه‌مرحله‌ای.
۷۵	جدول ۳-۳. خصوصیات هندسی و فیزیکی ماتریس جامد.
۷۷	جدول ۴-۳. کمیت‌های انتخابی برای چهار پارامتر ρ ، Γ و S ، جهت تغییر شکل معادله‌ی بقاء کلی به فرم سه معادله‌ی بقاء حاکم.
۸۰	جدول ۵-۳. مقدار فاکتور underrelaxation برای حل سه معادله‌ی بقاء.
۸۴	جدول ۶-۳. خصوصیات شبکه‌ی محاسباتی مورد استفاده.

- ۸۵ جدول ۳-۷. تعداد گره محاسباتی، دما و محل تشکیل شعله به‌ازای انتخاب هر کدام از شبکه‌های I، II، III و IV.
- ۸۷ جدول ۴-۱. خصوصیات دو لایه‌ی DL و FSL در مشعل، مورد آزمایش Mital [Mital (۱۹۹۶)].
- ۸۹ جدول ۴-۲. شرایط حاکم بر حالت پایه.
- ۱۰۰ جدول ۴-۳. سرعت ورودی متناظر با هر نرخ سوزش.
- ۱۱۴ جدول ۴-۴. مقدار تقریبی نرخ سوزشی که به‌ازای آن شعله از ماتریس جامد blow-out می‌شود، برای سه نسبت تعادل مخلوط‌های سوخت-غلیظ.
- ۱۱۶ جدول ۴-۵. تخلخل تقریبی ماتریس جامد که به‌ازای آن شعله به حد flash-back و blow-out میل می‌کند، برای نرخ سوزش (400 kW/m^2) .
- ۱۱۷ جدول ۴-۶. تخلخل تقریبی ماتریس جامد که به‌ازای آن شعله به حد flash-back و blow-out میل می‌کند، برای نرخ سوزش (750 kW/m^2) .
- ۱۱۷ جدول ۴-۷. تخلخل تقریبی ماتریس جامد که به‌ازای آن شعله به حد flash-back و blow-out میل می‌کند، برای نرخ سوزش (1000 kW/m^2) .
- ۱۱۷ جدول ۴-۸. وضعیت شعله از نقطه‌نظر پایداری به‌ازای $\Phi = 0.5$ و برای سه نرخ سوزش مختلف.

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان:
۳	شکل ۱-۱. مشعل بانسن با شعله‌ی پیش مخلوط.
۱۱	شکل ۱-۲. ساختار شماتیک: (الف) مشعل شعله‌آزاد - (ب) مشعل متخلخل.
۱۳	شکل ۱-۳. نمایش شماتیک: (الف) تغییرات دمای مخلوط گاز در ناحیه پیش-گرمایش و احتراق - (ب) نحوه انتقال حرارت توسط مودهای مختلف بین ناحیه پیش‌گرمایش و احتراق [Vafai (۲۰۰۵)].
۱۳	شکل ۱-۴. نمایش شماتیک در مقیاس میکروسکوپی برای تشریح بیشتر فرایندهای فیزیکی و خاموشی شعله [Vafai (۲۰۰۵)].
۱۴	شکل ۱-۵. میزان تولید CO و NO_x برای یک مشعل متخلخل نمونه و مقایسه-ی آن با چند استاندارد اروپایی [Möbbaauer و همکارانش (۱۹۹۹)].
۱۶	شکل ۱-۶. نمایش شماتیک مشعل متخلخل: (الف) شعله‌سطحی - (ب) شعله-درونی.
۱۷	شکل ۱-۷. مشعل متخلخل با ماتریس دومرحله‌ای [Delalic] و همکارانش [۲۰۰۴].
۱۸	شکل ۱-۸. مواد رایج در ساخت ماتریس جامد: (الف) فیبر Al_2O_3 - (ب) C/SiC - (ج) فوم ZrO_2 - (د) کلاف سیمی $Fe-Cr-Al$.
۲۷	شکل ۱-۲. نحوه تغییرات: (الف) سرعت شعله - (ب) بازده تشعشعی مشعل با تخلخل دو لایه‌ی ماتریس جامد [Kulkarni و Peck (۱۹۹۲)].

- شکل ۲-۲. نحوه‌ی تغییرات: (الف) سرعت - (ب) دمای شعله با نسبت تعادل مخلوط و مقایسه‌ی آن با شرایط مشابه در یک مشعل شعله‌آزاد [Hsu و همکارانش (۱۹۹۳)].
- ۲۹
- شکل ۳-۲. نمایش شماتیک محدوده‌ی پایداری شعله بر حسب نسبت تعادل و نرخ سوزش [Mital (۱۹۹۶)].
- ۳۲
- شکل ۴-۲. پروفیل دمای اندازه‌گیری شده در طول مشعل به‌ازای نرخ‌های سوزش مختلف [Mital (۱۹۹۶)].
- ۳۲
- شکل ۵-۲. نحوه‌ی تغییرات: (الف) دما - (ب) و (ج) ترکیب گونه‌های شیمیایی در طول مشعل برای مکانیزم‌های مختلف مورد استفاده به‌ازای $\Phi = 1.0$ [Zhou و Pereira (۱۹۹۸)].
- ۳۵
- شکل ۶-۲. ساختار مشعل برای هندسه‌ی: (الف) لانه‌زنبوری - (ب) صفحات مجزا. خطوط نقطه‌چین نشان‌دهنده‌ی دامنه‌ی حل انتخاب‌شده هستند [Hackert و همکارانش (۱۹۹۶)].
- ۳۷
- شکل ۷-۲. میزان تولید CO در سه حالت مختلف بر حسب فاصله‌ی خروجی از سطح مشعل به‌ازای $FR = 400 \text{ kW} / m^2$ [Bouma و همکارانش (۱۹۹۹)].
- ۳۸
- شکل ۸-۲. نمایش هندسی و جنس به‌کار رفته در مشعل مورد استفاده توسط Brenner [Brenner و همکارانش (۲۰۰۰)].
- ۳۹
- شکل ۹-۲. پروفیل‌های دوبعدی دما در نرخ‌های سوزش و نسبت‌های تعادلی معین [Brenner و همکارانش (۲۰۰۰)].
- ۴۰
- شکل ۱۰-۲. نواحی که شعله در آنها به داخل ماتریس flash-back می‌شود، به‌ازای سه نسبت تعادل مختلف: خط پیوسته، $\Phi = 0.8$ - خط چین، $\Phi = 0.9$ - نقطه‌چین، $\Phi = 1.0$. محور افقی و عمودی به‌ترتیب معرف، سرعت ورودی مخلوط و دمای محیط هستند. [de Goey و Lammers (۲۰۰۳)].
- ۴۲
- شکل ۱۱-۲. (الف) نحوه‌ی تأثیر نسبت تعادل و نسبت سرعت شعله بر بازده گردش حرارت - (ب) نحوه‌ی تغییرات بازده گردش حرارت، بازده هدایت پیش‌گرمایش و بازده تشعشع پیش‌گرمایش با نسبت سرعت شعله در $\Phi = 0.9$ [Ellzey و Barra (۲۰۰۴)].
- ۴۵
- شکل ۱۲-۲. هندسه‌ی شماتیک از مشعل و حجم واحد مورد بررسی [Hayashi و همکارانش (۲۰۰۴)].
- ۴۶

- شکل ۲-۱۳. نمایش: (الف) موقعیت شعله - (ب) دمای شعله بر حسب سرعت مخلوط ورودی و به‌ازای توان‌های کاری مختلف [Hayashi و همکارانش (۲۰۰۴)].
- شکل ۲-۱۴. هندسه‌ی شماتیک از دو مشعل متخلخل مورد بررسی [Bubnovich و همکارانش (۲۰۰۷)].
- شکل ۳-۱. شماتیکی از یک r.e.v. این شکل نشانگر یک مقیاس طولی متوسط در مقایسه با اندازه‌ی دامنه‌ی جریان و تخلخل ماتریس است [Nield و Bejan (۲۰۰۶)].
- شکل ۳-۲. شرط پیشروی شعله برای احتراق پیش‌مخلوط آرام متان در محیط متخلخل [Babkin و همکارانش (۱۹۹۱)].
- شکل ۳-۳. شماتیکی از هندسه‌ی مشعل مورد بررسی.
- شکل ۳-۴. شماتیکی از یک سلول مکعبی [Fu و همکارانش (۱۹۹۸)].
- شکل ۳-۵. تغییرات نسبت ضریب هدایت مؤثر به ضریب هدایت مخلوط گاز (محور عمودی) بر حسب نسبت ضریب هدایت جامد به ضریب هدایت مخلوط گاز (محور افقی) برای سه مدل مختلف و $\Phi = 0.8$ [Fu و همکارانش (۱۹۹۸)].
- شکل ۳-۶. یک حجم کنترل نمونه.
- شکل ۳-۷. الگوریتم حل عددی.
- شکل ۳-۸. پروفیل‌های دمای مخلوط گاز در ناحیه‌ی شعله به‌ازای انتخاب هر کدام از شبکه‌های I، II، III و IV با شرایط $T_{g,in} = 298 K$ و $\Phi = 0.9$ و $FR = 750 kW / m^2$.
- شکل ۴-۱. مقایسه‌ی پروفیل‌های دمای مخلوط گاز در سه مطالعه‌ی مستقل از هم با شرایط $T_{g,in} = 298 K$ و $\Phi = 0.9$ و $FR = 315 kW / m^2$.
- شکل ۴-۲. نحوه‌ی تغییرات دما در زمان‌های مختلف تا حالت دائمی برای: (الف) مخلوط گاز در کل دامنه - (ب) جامد در ناحیه‌ی B.
- شکل ۴-۳. پروفیل دمای مخلوط گاز و ماتریس جامد در کل دامنه.

- شکل ۴-۴. ترکیب گونه‌های شیمیایی اصلی در کل دامنه. ۹۳
- شکل ۵-۴. تغییرات نرخ آزادسازی انرژی شیمیایی در کل دامنه. ۹۴
- شکل ۶-۴. تغییرات ضریب انتقال حرارت حجمی در ناحیه‌ی B. ۹۵
- شکل ۷-۴. تغییرات انتقال حرارت جابجایی بین مخلوط گاز و ماتریس جامد در ناحیه‌ی B. ۹۶
- شکل ۸-۴. تغییرات عدد Re در ناحیه‌ی B. ۹۷
- شکل ۹-۴. تغییرات پروفیل دمای: (الف) مخلوط گاز - (ب) جامد بر حسب دمای ورودی در ناحیه‌ی B. ۹۸
- شکل ۱۰-۴. تغییرات پروفیل دمای: (الف) مخلوط گاز - (ب) جامد بر حسب نسبت تعادل در ناحیه‌ی B. ۹۹
- شکل ۱۱-۴. تغییرات پروفیل دمای: (الف) مخلوط گاز - (ب) جامد بر حسب نرخ سوزش در ناحیه‌ی B. ۱۰۱
- شکل ۱۲-۴. تغییرات پروفیل دمای: (الف) مخلوط گاز - (ب) جامد بر حسب ضریب انتقال حرارت حجمی در ناحیه‌ی B. ۱۰۲
- شکل ۱۳-۴. تغییرات پروفیل دمای: (الف) مخلوط گاز - (ب) جامد بر حسب ضریب هدایت ماتریس جامد در ناحیه‌ی B. ۱۰۴
- شکل ۱۴-۴. تغییرات پروفیل دمای: (الف) مخلوط گاز - (ب) جامد بر حسب ضریب خاموشی ماتریس جامد در ناحیه‌ی B. ۱۰۵
- شکل ۱۵-۴. تغییرات دمای: (الف) شعله - (ب) محصولات احتراق بر حسب طول ماتریس جامد به کار رفته. ۱۰۷
- شکل ۱۶-۴. تغییرات نسبت طول ناحیه‌ی پیش‌گرمایش به طول ماتریس بر حسب طول ماتریس جامد به کار رفته. ۱۰۸
- شکل ۱۷-۴. تغییرات پروفیل دمای: (الف) مخلوط گاز - (ب) جامد بر حسب تخلخل ماتریس جامد در ناحیه‌ی B. ۱۰۹
- شکل ۱۸-۴. تغییرات پروفیل دمای: (الف) مخلوط گاز - (ب) جامد بر حسب چگالی تخلخل ماتریس جامد در ناحیه‌ی B. ۱۱۰

- شکل ۴-۱۹. نحوه‌ی تغییرات بازده ناحیه‌ی پیش‌گرمایش نسبت به طول، تخلخل و چگالی تخلخل ماتریس جامد. ۱۱۲
- شکل ۴-۲۰. نحوه‌ی تغییرات بازده ناحیه‌ی پیش‌گرمایش نسبت به دمای مخلوط ورودی و نرخ سوزش. ۱۱۳
- شکل ۴-۲۱. نمودار کلی عملکرد مشعل از نقطه‌نظر پایداری، بر حسب نسبت تعادل و محدوده‌ی پوشش توان. ۱۱۴
- شکل ۴-۲۲. نمودار کلی عملکرد مشعل از نقطه‌نظر پایداری، بر حسب نسبت تعادل و تخلخل ماتریس جامد. ۱۱۶
- شکل ۴-۲۳. نحوه‌ی تغییرات کسر جرمی CO برای حالت پایه در کل دامنه. ۱۱۸
- شکل ۴-۲۴. نحوه‌ی تغییرات کسر جرمی NO برای حالت پایه در کل دامنه. ۱۱۹
- شکل ۴-۲۵. نحوه‌ی تغییرات CO برای احتراق استوکیومتری متان بر حسب درصد مولی در ناحیه‌ی B از مشعل متخلخل مورد بررسی و مقایسه‌ی با مقادیر متناظر در یک ساختار شعله‌آزاد. ۱۲۰
- شکل ۴-۲۶. نحوه‌ی تغییرات NO برای احتراق استوکیومتری متان بر حسب PPM در ناحیه‌ی B از مشعل متخلخل مورد بررسی و مقایسه‌ی با مقادیر متناظر در یک ساختار شعله‌آزاد. ۱۲۱
- شکل ۴-۲۷. نحوه‌ی تغییرات CO بر حسب درصد مولی با تغییرات نسبت تعادل. ۱۲۲
- شکل ۴-۲۸. نحوه‌ی تغییرات NO بر حسب PPM با تغییرات نسبت تعادل. ۱۲۳

فصل اول

مقدمه

پیش‌گفتار

استفاده‌ی بشر از انرژی حرارتی شاید به آغاز خلقت او بازگردد. با کشف آتش، راهی جدید جهت تأمین گرما فراروی انسان قرار گرفت. این راه چیزی جز بهره‌گیری از منابع غنی انرژی نهفته در سوخت‌های فسیلی نبود. هزاران سال است که این منابع ارزشمند، به‌منظور تأمین بخش عمده‌ای از نیازهای بشر نظیر روشنایی، گرمایش منازل، تهیه‌ی آب گرم، طبخ غذا و به حرکت درآوردن چرخ‌های صنعت به کار می‌روند. این کار از قالب دستگاه‌های سنتی نظیر مشعل‌های دستی، تنور و اجاق‌های حرارتی به قالب دستگاه‌های کاملاً خودکار و مجهز به وسایل کنترل مکانیکی و الکترونیکی تغییر شکل داده‌است.

انسان امروزی با تفکر بهره‌وری و استفاده‌ی بهینه از منابع خدادادی انرژی، همان نیازهای انسان باستان را با شکل و شمایل جدیدی برطرف کرده‌است. امروزه تأمین گرمای مورد نیاز در بسیاری از ساختمان‌های مسکونی و غیرمسکونی توسط دستگاه‌های حرارت مرکزی تأمین می‌شود. انرژی الکتریکی یکی از پرکاربردترین گونه‌های انرژی در بخش‌های صنعتی و خانگی است که بدون بهره‌گیری از آن زندگی انسان مختل می‌شود. اما با یک نگاه عمیق خواهیم دید که غالب این انرژی پرکاربرد نیز توسط نیروگاه‌های گرمایی تهیه می‌گردد. بنابراین بدیهی به نظر می‌رسد که با وجود تغییر قالب‌ها و پیشرفت تکنولوژی در قرون اخیر، در ماهیت مطلب یعنی احتیاج مبرم بشر به تأمین گرما در مقیاس‌های مختلف و برای اهداف مختلف خللی وارد نشده‌است.

مشعل یکی از دستگاه‌هایی است که کاربرد آن در بسیاری از سامانه‌های حرارتی اجتناب‌ناپذیر است. کار مشعل، احتراق سوخت‌های فسیلی مایع یا گازی و تأمین حرارت است. امروزه مشعل‌ها به‌گسترده‌گی در مبدل‌های حرارتی و شیمیایی، در دیگ‌های تولید بخار یا آب گرم، تأسیسات صنعتی و خانگی، کارخانجات ذوب فلزات و شبه‌فلزات، تولید گچ و سیمان، خشک‌کن‌های مواد غذایی و کوره‌های تولید هوای گرم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

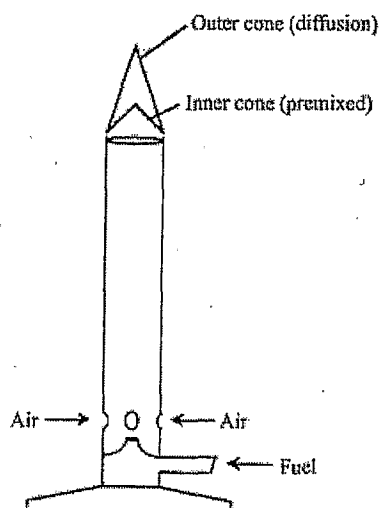
با توجه به کاربرد فراگیر مشعل‌ها و تمرکز آنها در نواحی شهری، بهینه‌سازی آنها به‌منظور بهره‌وری بیشتر از سوخت‌های فسیلی و همچنین کاهش آلودگی هوا ضروری به نظر می‌رسد. اهمیت این موضوع به‌حدی است که بسیاری از دولت‌ها را وادار به وضع قوانین جدید در جهت کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها و نیز کاهش مصرف سوخت کرده‌است.

۱-۱- تعاریف اولیه

در این قسمت، تعاریف اولیه و شرح اصطلاحات به کار رفته در تحقیق حاضر، به صورت مختصر آورده شده است [Turns (۲۰۰۰)، Nield و Bejan (۲۰۰۶)، Ozisik (۱۹۷۳)]:

احتراق^۱: اکسیداسیون سریع یک ماده توأم با آزادسازی گرما (یا گرما به همراه نور). مکانیزم احتراق: واکنش یا مجموعه‌ای از واکنش‌هاست که با تشریح چگونگی مصرف و تولید گونه‌های شیمیایی، نحوه‌ی انجام فرایند احتراق را برای یک ماده توضیح می‌دهد. یک مکانیزم احتراق می‌تواند از بیش از یکصد واکنش شیمیایی تشکیل شده باشد. شعله: انتشار خودبه‌خودی ناحیه‌ی احتراق با سرعت مادون صوت. شعله‌ها به دو گروه پیش‌مخلوط و پخشی تقسیم می‌شوند.

شعله‌ی پیش‌مخلوط^۲: شعله‌ای است که در آن واکنش‌دهنده‌ها قبل از ورود به ناحیه‌ی احتراق با هم مخلوط می‌شوند. شکل ۱-۱، نمونه‌ی آشنایی از شعله‌ی پیش‌مخلوط تشکیل شده در یک مشعل بانسن^۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱. مشعل بانسن با شعله‌ی پیش‌مخلوط.

شعله‌ی پخشی^۴: شعله‌ای است که در آن عمل اختلاط واکنش‌دهنده‌ها در محل ناحیه‌ی احتراق انجام می‌گیرد. شعله‌ی شمع مثال ساده‌ای از یک شعله‌ی پخشی است.

¹ Combustion
² Premixed flame
³ Bunsen burner
⁴ Diffusion flame