٤٧٥٨٢

دانشگاه مازندران

دانشکده فنی و مهندسی

موضوع:

بهینه‌سازی احتراق در بویلرهای صنعتی باکنترل درصد اکسیژن محصولات احتراق

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مکانیک گرایش تبدیل انرژی

۱۳۸۲/۶/۱۰

استاد راهنما:

دکتر علی‌اصغر باستانی

استاد مشاور:

دکتر علی‌اکبر رنجبر

نگارش:

مذکور انصاری

اسفند ۸۱

۴۷۵۸۲

باسمه تعالی

دانشگاه مازندران

معاونت آموزشی

تحصیلات تکمیلی

ارزشیابی پایان نامه در جلسه دفاعیه

دانشکده فنی و مهندسی

نام و نام خانوادگی دانشجو : مذکور انصاری — شماره دانشجوئی : ۷۸۵۱۳۶۶۰۰۱

رشته تحصیلی : مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی — مقطع : کارشناسی ارشد

سال تحصیلی : نیمسال دوم ۸۲-۱۳۸۱

عنوان پایان نامه :

" بهینه سازی احتراق در بویلرهای صنعتی با کنترل درصد اکسیژن "

تاریخ دفاع : ۱۳۸۱/۱۲/۲۱

نمره پایان نامه (به عدد) : ۱۶ — ۱۳۸۲ /۶/ ۱۰

نمره پایان نامه (به حروف) : شانزده

هیات داوران :

استاد راهنما : دکتر علی اصغر باستانی — امضا

استاد مشاور : دکتر علی اکبر رنجبر کنی — امضا

استاد مدعو : دکتر سید مرتضی حسینی — امضا

استاد مدعو : دکتر کورش صدیقی — امضا

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی : دکتر مفید گرجی — امضا

تقدیر و تشکر:

از جناب آقای دکتر صدیقی کـــه راهنمائیـهای ایشـان راهگشـای انجام این پایان‌نامه بود تشکر و قدردانی می‌نمایم

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

چکیده:

احتراق کامل در بویلرهای نیروگاهی با استفاده از هـوای تئـوری (اسـتوکیومتری) حـاصل نمی‌شـود معمولاً مقداری منواکسیدکربن در محصولات احتراق دیده می‌شود، با زیادکردن هوای ورودی یعنـی دمیدن هوای اضافی غلظت منواکسیدکربن کاهش می‌یابد. اما از طرفـی ایـن عمـل سـبب کـاهش راندمان احتراق می‌شود زیرا بخش قابل ملاحظه‌ای از انـرژی حـاصل از احـتراق از دودکـش خـارج می‌شود.

در این پایان‌نامه با تهیه یک الگوریتم و نوشتن یک برنامه کـامپیوتری بنـام *Combustion* بـا تغیـیر نسبت سوخت به هوای ورودی محصولات احتراق در دمای آدیاباتیک شعله و در دمای دلخواه بـرای سوختهای مختلف محاسبه می‌گردد و در نتیجه بازده احتراق قابل محاسبه خواهد بود. همچنیـن اثـر تغییرات مختلف روی عملکرد کوره بررسی می‌شود و با توجه به آنها شرایط بهینـه را بـرای عملکـرد کوره می‌توان در نظر گرفت.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ تاریخچه	۴
۱-۳ بیان کلی مسئله	۱۰
۱-۴ تأسیسات نفتی	۱۱
۱-۴-۱ ترتیب قرارگرفتن تأسیسات نفتی	۱۱
۱-۴-۲ دیگهای بخار	۱۳
۱-۴-۳ انواع مشعلهای نفتی	۱۴
۱-۴-۴ مشعلهای افشانکی مکانیکی	۱۶
۱-۴-۵ مشعلهای افشانکی بخار	۱۷
۱-۴-۶ مشعلهای افشانکی هوا	۱۹
۱-۵ احتراق در کوره‌های گازی	۱۹
۱-۵-۱ انواع مشعلهای گازی	۲۰
۱-۵-۲- مشعلهای پیش اختلاط با هواکش	۲۱
۱-۵-۳ مشعلهای پیش اختلاط با هوای فشرده	۲۳
۱-۵-۴ مشعلهای اختلاط نازلی	۲۴
۱-۵-۵ کوره‌های احتراق پالسی	۲۷
۱-۶ سیستم کنترل اتوماتیک بویلر	۳۰
۱-۶-۱ کنترل فشار بخار	۳۱
۱-۶-۲ کنترل دبی سوخت	۳۳
۱-۶-۳ کنترل هوا	۳۵
۱-۶-۴ سیستم کنترل لزجت سوخت بویلر	۳۸
فصل دوم: تئوری احتراق	۳۹
۲-۱ احتراق استوکیومتری	۴۰
۲-۲ هوای اضافی	۴۱
۲-۳ آنتالپی مطلق و آنتالپی تشکیل	۴۱

۲-۴ آنتالپی احتراق و ارزش حرارتی ۴۲
۲-۵ درجه حرارت آدیاباتیک شعله ۴۴
۲-۶ احتراق استوکیومتری در انواع سوختها ۴۴
۲-۷ اوزان اتمی و ترکیب سوخت و هوا ۴۵
۲-۸ محاسبه نسبت هوا به سوخت استوکیومتری برای هیدروکربنها ۴۵
۲-۹ محاسبه نسبت هوا به سوخت برای سوخت‌های اکسیژنه ۴۷
۲-۱۰ محاسبه نسبت هوا به سوخت استوکیومتری برای سوختهای سولفوردار ۴۸
۲-۱۱ محاسبه نسبت هوا به سوخت استوکیومتری برای سوختهای نیتروژن‌دار ۴۹
۲-۱۲ محاسبه نسبت هوا به سوخت استوکیومتری برای سوختهای شامل آب
۲-۱۳ تأثیر رطوبت هوا ۵۱
۲-۱۴ تعادل شیمیائی ۵۱
۲-۱۵ محدوده تعادل شیمیایی ۵۲
۲-۱۶ ثابت تعادلی برای مخلوطهای گاز ایران ۵۷

فصل سوم: روش حل ۵۹

۳-۱ روش حل ۶۰
۳-۲ احتراق غیراستوکیومتری ۶۰
۳-۳ معادله کلی احتراق ۶۰
۳-۴ معادلات موازنه ۶۱
۳-۵ معادلات ثابتهای تعادلی ۶۲
۳-۶ مراحل حل ۶۲
۳-۷ بالانس انرژی و بازدهی کوره ۶۷
۳-۸ بازدهی کوره ۶۹
۳-۹ فلوچارت برنامه کامپیوتری ۷۱

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

فصل چهارم: یافته‌ها ۷۳
فصل پنجم: نتیجه‌گیری ۸۶
۱-۵ نتیجه‌گیری ۸۷
۱-۵-۱ مقایسه‌نتایج ۸۷
۱-۵-۲ اثر تغییرات مختلف بر احتراق ۸۷
۱-۵-۳ پیشنهادات ۹۰
مراجع ۹۱

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه:

اکنون در آستانه آغاز هزاره سوم میلادی و به تعبیری آغاز دوران جدید از تکنولوژی با تأثیری قابل ملاحظه در چگونگی زندگی بشر آتش همچنان مهم‌ترین پدیده در زندگی او می‌باشد.

امروز تمام فعالیتهای انسان با پدیده احتراق همراه است و در حقیقت پدیده احتراق و انرژی حاصل از آن، نیروی محرکه اصل تمامی فعالیتهای صنفی، کشاورزی، حمل‌ونقل و ... جوامع بشری می‌باشد. در حال حاضر سوختهای فسیلی دارای بیشترین سهم در تأمین انرژی مورد نیاز اغلب کشورهای جهان می‌باشند. اما همین وابستگی تمدن کنونی انسان به سوختهای فسیلی یکی از معضلات دنیای امروزی است.

آلودگی هوا به علت انتشار گازهای حاصل از احتراق خصوصاً از تجهیزات معیوب و مستعمل که موجب احتراق ناقص می‌گردند یکی از مشکلات اصلی بسیاری از شهرها و مناطق صنعتی در جهان است.

صرفه‌جوئی در مصرف این نوع سوختها به منظور کاهش تولید آلاینده‌های خطرناک و کاهش هزینه‌های انرژی تجهیزات مختلف از جمله اهداف برنامه‌ریزان علمی اقتصادی می‌باشد.

با وجود سابقه طولانی حضور آتش و فرآیند احتراق در زندگی بشر کار مطالعات اساسی و پایه‌ای آن از یکصدسال گذشته آغاز شده است. البته از زمان یونان باستان تا اواخر قرن نوزدهم مطالعه و بررسی فرآیند احتراق مورد توجه دانشمندان بوده است.

اما این مطالعات بیشتر بـه لحـاظ درک یـک پدیـده فـیزیکی جـالب توجـه و کنجکاویـهای علمـا و اندیشمندان علوم طبیعی بوده است.

از ابتدای قرن بیستم به دلایل متعدد از جمله:

۱- کاربرد فرایندهای احتراق در جنگ‌افزارها

۲- تولید آلایندهای محیط زیست در سیستم‌های احتراق

۳- محدود بودن منابع سوختهای فسیلی و نیاز به صرفه‌جوئی در مصرف آنها، مطالعه فرآیند احـتراق و ویژگیهای آن مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است.

در واقع با توجه به علاقه مراکز تحقیقاتی صنایع نظامی به بحث احتراق و سوختن شاید اغراق نباشد اگر ادعا شود که بخش قابل ملاحظه‌ای از تلاش و هزینه مربوط به کل تحقیقـات علمـی- صنعتـی دنیا به احتراق اختصاص دارد.

محفظه‌های احتراق صنعتی، کوره‌ها، دیگ‌های بخار و توربین‌های گازی برای تولید نیرو یا رانـش از جمله تجهیزاتی هستند که فرآیند احتراق تأثیر کلیدی در ویژگیهای فرآیندی مورد نظر در آنها دارد.

در کشور ما متأسفانه تا سالهای اخیر، به موضوع احـتراق و مطالعـه فرآیندهـای درگـیر در آن توجـه کمی شده است، عوامل این بی‌توجهی را می‌توان در ارزان بودن قیمت انرژی عدم توجه کافی جامعه به مسئله آلودگی هوا و همچنین وارداتی بودن صنایع مختلف مورد بررسی قـرار داد. امـا در چندیـن سال گذشته حرکت‌های در کلیه این زمینه‌ها مشاهده شده است نیاز به صرفه‌جوئی در مقدار سـوخت مصرفی در سطح کشور، معضل آلودگی شهرهای بزرگ و همچنین داخلی شدن و سـاخت برخـی از

تجهیزات نظامی و حمل‌ونقل بـا نـیروی رانـش حـاصل از احـتراق سـوخت‌ها بـاعث فعالیتـهای در زمینه‌های مختلف مطالعه احتراق کاربردی شده است.

۱-۲ تاریخچه احتراق

الکتریسیته تنها سیصدسال پیش کشف و به کار گرفته شد. اما تئوری آن در قرن نوزدهـم مشـخص گردید. برعکس با وجود اینکه آتش تقریباً یک میلیون سال پیش توسط انسان کشف و به کار گرفتـه شد. توسعه تئوری آن بسیار کندتر بوده است.

برخی دانشمندان بر این باورند که این به علت پیچیدگی شیمیایی و فیزیکی فرایند احتراق است.

دوره اول در توسعه تئـوری احـتراق دوره کشـف عوامـل اصلـی شـیمیایی بـود. در آن دوره تئـوری فلوجیستون رد شد و وجود اکسیژن، منواکسیدکربن و دی‌اکسید کربن کشف گردید.

در دوره ۱۷۵۶ تا ۱۷۷۷ لاوازیه و لومونسوف براساس مشاهدات تجربی خود احتراق را به عنوان یـک واکنش اکسیداسیون مطرح کردند. قبل از این زمان باور این بود که مواد در حال سوختن یـک جـزء قابل سوختن (فلوجیستون) از خود آزاد می‌کنند. باور براین بـود کـه فلوجیسـتون موجـب آزاد شـدن انرژی بدون جریان ماده می‌گردد. پس از این زمان تا سال ۱۸۲۰ روابط استوکیومتری کشف گردید. پیرو تحقیقات بیشتر در مورد فرایند احتراق (۱۹۰۰-۱۸۲۰) گرمای ویژه احتراق کمی گردید. مفـاهیم تئوری اصلی در اشتعال مخلوطهای مفنجره پس از گرمایش و مفـهوم نشـر شـعله پـس از اشـتعال موضعی توسعه داده شدند. مشخص گردید که بدون افزایش گرما مخلوطهـای منفجـره در دماهـای پایین بی‌اثر بودند. مشخص شد که واکنش‌های شیمیایی «سریع» تنها در دماهای بـالا رخ می‌دهـد.

تحقیقاتی در خصوص احتراق مخلوط‌هایی از هیدروژن، منواکسیدکربن و متان با هوا و اکسیژن نیز صورت گرفت.

در سال ۱۸۱۶ هامفری دیوی چراغ ایمنی را برای جلوگیری از انفجار در معادن اختراع کرد و باعث نجات جانهای بی‌شماری گردید و استخراج زغال‌سنگ را ممکن ساخت. ایده اصل اختراع او مفهوم «قطر بحرانی» بود. یک مخلوط قابل احتراق خاص را می‌توان در لوله‌ای عریض سوزاند اما همین مخلوط به علت انتقال گرمای بیشتر از واکنش به دیوارهای لوله در یک لوله باریک نمی‌سوزد.

در سال ۱۸۲۱ فارادی کتاب معروف خود، «تاریخ شمع» را که در آن تبخیر سوخت و شیمی احتراق سوخت هیدروکربنی مورد بحث قرار گرفته است، منتشر کرد. مشخص گردید که سوخت‌های مایع قبل از احتراق تبخیر می‌شوند.

در سال ۱۸۸۳ مالارد و لوشاتلیه تئوری مقدماتی نشر شعله را منتشر کردند که زیر بنای تئوری شعله قرار گرفت.

در سال ۱۸۸۵ رابرت بونزن پرفسوری در دانشگاه هایدلبرگ اولین مشعل پیش آمیخته گازی، مشعل بونزن، را توسعه داد. او دمای شعله و سرعت شعله را اندازه‌گیری کرد و اطلاعاتی را با استفاده از کالریمتر برای گرمای احتراق جمع‌آوری کرد.

با تحلیل تاریخ تئوری احتراق، زلدویچ [1] مؤلفان زیر را ذکر کرده است. هولم رابطه بین قطر بحرانی و سرعت نشر عمودی شعله را به دست آورد. دانیل روشی را برای تحلیل افتهای حرارتی در سرعت نشر عمودی شعله به دست آورد. تافانل اولین کسی بود که سرعت آزاد شدن انرژی را با سرعت

---

[1] *Zeldovich*

انتقال حرارت به دیوارهای مخزن مقایسه کرد. او کشف کرد که این مقادیر بـه دمـا بسـتگی دارنـد. انتقال گرما به دیوارها با تفاوت دمای گاز و دمای دیوار مخزن متناسب است. برای اشتعال خودبه‌خود سرعت آزاد شدن گرما باید از نرخ انتقال گرما بیشتر باشد.

در سال ۱۹۲۸ یک مؤسسه احتراق در امریکا بنا گردید. دو کتاب اصولی توسـط جاسـت در آلمـان و لوئیس و فان آلبا در امریکا منتشر شد. کارهـای جـالب زیـادی توسـط *NACA* (پیشـقدم *NASA*) در امریکا انجام گرفت.

موفقیت‌های بزرگی در تئوری احتراق در روسیه تحـت رهـبری و هدایـت پرفسـور سـمنوف حـاصل گردید. چندین نفر از دانشمندان مشهور روسی تلاش و موفقیت‌های بزرگی در توسعه تئوری احـتراق داشتند. از جمله می‌توان از زلدوویچ، سمنوف، فرانک-کامنتسـکی، شـلکین، شـتینکوف، کونتـارویچ، پالو، پردودیتلوف، خیترین، پومران سف، ولیس سوکولیک، کتنلسون و دیگران نام برد.

تحقیقات قابل ملاحظه‌ای توسط ب.لوئیـس، ج ون الـب، ت ون کـارمن، س.س پـنر، م سـامرفیلد، الف.ک اوپنهایم، ج.چ مارک اشتاین، اف.ا ویلیامز و دیگران که باعث اعطای دانش احـتراق شـده‌اند، انجام گرفته است. همچنین باید به د.ب اسپالدینگ، پ گری، الـف.ج.گیـدون، اچ.ج ولفـهارد و اف.ج واینبرگ در انگلستان، ن منسون، ار.دلبور جو و امـبرار در فرانسـه، و.ژاسـت در آلمـان، زج.سـابو در مجارستان، اس وکیکی در لهستان، اس.کوماگای در ژاپن وت. ابرست اوسکای در کانادا اشاره کـرد. همگی سهم عمده‌ای در پیشرفت دانش احتراق داشته‌اند.

تحقیق بی‌سابقه‌ای روی مدلسازی ساختار شعله لایـه‌ای توسـط هـیرچفلـدر و سـمنوف انجـام شـد. سمنوف کتابی در مورد احتراق در سال ۱۹۳۴ منتشر کرد به هر دو دانشمند جایزه نوبل اهـدا گردیـد.