

کوره های صنعتی عمل کننده با هوای احتراق بسیار داغ و رقیق

کیومرث عباسی خزائی^۱، علی اصغر حمیدی^۲، مسعود رحیمی^۳

تهران - واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی - دانشکده انرژی و محیط زیست - گروه مهندسی انرژی
kns_abbasi@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، ابتدا فرآیند مدرن و جذاب "احتراق تحت هوای بسیار داغ و رقیق" و مبانی علمی حاکم بر آن در کوره های صنعتی، تشریح می گردد. سپس تحلیل و مقایسه پاره ای از نتایج حاصل از مدلسازی و شبیه سازی یک کوره صنعتی که با استفاده از یک برنامه کامپیوتری نوشته شده به زبان فرترن صورت پذیرفته، تحت شرایط احتراق مذکور و یک احتراق معمولی مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج حاصله از شبیه سازی حاکی از ارتقاء یکنواختی پروفایل درجه حرارت، حذف نقاط اوج درجه حرارت و بالتبع آن کاهش انتشار آلاینده NOX، همچنین افزایش قابل توجه حجم شعله و بالتبع آن افزایش حجم و یکنواختی فلاکس حرارتی و در نتیجه افزایش راندمان کوره یا به عبارتی دیگر صرفه جویی قابل توجه در مصرف سوخت که همانا کاهش انتشار آلاینده CO2 بوده، تحت احتراق با هوای داغ و رقیق نسبت به یک احتراق معمولی می باشد. ضمناً کاهش یا عدم وجود آلاینده های اسیدی و گرد و غبار که از جمله عوامل حمله به لوله های بویلرها بوده، سهولت تولید بخار با فشار و دمای بالا را در بویلرها ممکن می سازد. نهایتاً اینکه تحت شرایط طراحی یک کوره جدید یا اصلاح کوره موجود، نتایج مذکور می تواند منجر به حذف بخش انتقال حرارت جابجائی و بالتبع آن کاهش اندازه کوره گردد.

واژه های کلیدی: احتراق - هوای داغ و رقیق - کوره - مدلسازی - شبیه سازی

1- مقدمه

سوختهای فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی توسط ملل مختلف طی یک میلیون سال مورد استفاده قرار گرفته است. این منابع سوختی تا قرن حاضر به عنوان یک منبع تمام شدنی مد نظر قرار نگرفته بود تا اینکه رشد سریع جوامع بشری و صنعتی شدن آنها باعث استفاده و بکارگیری سریع از منابع طبیعی زمین گردید. متعاقب این مسئله سوختهای فسیلی مصرف عمده اصلی جهت تامین انرژی بشر را تشکیل داده، لذا در آینده ای نزدیک به اتمام خواهد رسید. کاهش و کمبود سوختهای فسیلی طی بحران سال 1970 باعث رویکرد جدی جوامع به مسئله صیانت و بهره برداری منطقی از انرژی گردید. هر چند استفاده از انرژی های نو مانند هسته ای، خورشیدی و 000 ممکن است در آینده نوید بخش باشد، لکن برای بسیاری از موارد و کاربردها امکان جایگزینی سریع سوختهای فسیلی به وسیله آنها و بدلیل مزایای قابل توجه سوختهای فسیلی از جمله رادیواکتیو نبودن آنها، ایمنی، تکنولوژیهای به بلوغ رسیده بکارگیری همراه با بازده تبدیل بالا و هزینه های قابل قبول مرتبط با آنها، در آینده ای نزدیک عملی نمی باشد هر چند اثرات منفی و مخرب زیست محیطی آنها نیز جدی و قابل توجه می باشد.

1- دانشجوی دکتری مهندسی انرژی

2- دانشیار - دکتری مهندسی شیمی

3- دانشیار - دکتری مهندسی شیمی

در قرن حاضر توجهات بیشتر و بیشتری به بکارگیری سوخت‌های فسیلی معطوف گردیده چرا که مسائل ومشکلات زیست محیطی مرتبط با انتشار آلاینده های زیست محیطی به اتمسفر به یک خطر ومعضل جدی جهانی تبدیل گردیده است. آلاینده های مانند CO₂، NO_x، هیدروکربنها، دوده و ذرات معلق، فلزات، هیدروکربنهای آروماتیک چندحلقه ای از جمله آلاینده های مورد توجه و مهم میباشند که به عنوان مثال گازهای گلخانه ای CO₂ و متان مستقیماً باعث بروز پدیده گرمایش آب و هوای کره زمین و عواقب خطرناک آن می گردند.

85 تا 95 درصد انرژی تولیدی با احتراق سوخت‌های فسیلی حاصل گردیده، به همین دلیل آنها از منابع اصلی تولید آلاینده های زیست محیطی محسوب می گردند. به عبارتی دقیق تر در حدود 70 درصد NO_x و SO₂، 60 درصد CO، 55 درصد غبار و 98 درصد CO₂ موجود در اتمسفر ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی می باشد. در مجموع بالغ بر 70 نوع ماده مضر، از احتراق مذکور حاصل می گردد [1].

در سال 1992 اولین گام به توسط ایالات متحده در قالب برگزاری یک کنفرانس جهت حفظ ونگهداشت محیط زیست برداشته شد. این حرکت منجر به پروتکل کیوتو در سال 1997 گردید که طی آن کشورهای توسعه یافته متعهد گردیدند تا سال 2012 میزان کل انتشار گازهای گلخانه ای خود را حداقل تا 5 درصد این میزان در سال 1990 کاهش دهند. این مسئله باعث گردید تا تمرکز بر روی توسعه سیستم های احتراق در قالب افزایش راندمان و کاهش آلاینده های زیست محیطی صورت پذیرد. در سال 1993 اتحادیه سازندگان کوره های صنعتی ژاپن¹ به عنوان یک متعهد در قبال NEDO² پروژه ای توسعه ای تحت عنوان "پروژه توسعه کوره های صنعتی با راندمان بالا" را برای یک دوره زمانی هفت ساله (1993-1999) تعریف نمود. این پروژه در قالب تحقیق و توسعه طی دوره هفت ساله مذکور و اثبات آن به کمک آزمایشات میدانی از سال 1998 تا سال 2001 بطول انجامید، هر چند که در حال حاضر چالشهای فراوانی در مسیر توسعه این تکنولوژی مطرح می باشد [2,3]. هدف از انجام این تحقیقات، مطالعه و بررسی چگونگی تحقق همزمان الزامات جهانی انرژی-زیست محیطی در قالب رفع تناقض و تضاد بین افزایش راندمان حرارتی کوره ها و کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی تا حد استانداردها بود. تحقیقات انجام شده در خصوص این پروژه منجر به تولد یک تکنولوژی جدید تحت عنوان "احتراق با هوای بسیار داغ و رقیق"³ گردید. لازم به ذکر است که در تکنولوژیهای معمول احتراق، افزایش راندمان حرارتی کوره ها منجر به افزایش انتشار آلاینده های زیست محیطی و به عبارتی دیگر کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی به قیمت کاهش راندمان حرارتی کوره ها تمام می شود. این تکنولوژی جدید مبتنی بر بازیافت حرارت از گازهای خروجی کوره و استفاده از آن جهت پیشگرم نمودن هوای احتراق بسیار رقیق شده (به وسیله گازهای خروجی از کوره، نیتروژن، آرگن یا هر گاز خنثی دیگر) تا درجه حرارتی بسیار بالا (نزدیک 1000 درجه سانتیگراد و یا بسته به الزامات سیستم) می باشد.

تحت بکارگیری این تکنولوژی، اهداف ذیل که همانا تحقق همزمان الزامات جهانی انرژی-زیست محیطی بوده، بطور همزمان محقق میگردند [2,3,4,6]:

- 1- صرفه جویی درمیزان مصرف انرژی به میزان 30 تا 60 درصد نسبت به تکنولوژیهای معمول احتراق (هوای با دما و غلظت معمولی).
- 2- کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی (مانند CO₂ و NO_x) به میزان 30 تا 50 درصد نسبت به تکنولوژیهای معمول احتراق (هوای با دما و غلظت معمولی)
- 3- کاهش اندازه تجهیزات (کوره) به میزان حداقل 25 درصد نسبت به تکنولوژیهای معمول احتراق (هوای با دما و غلظت معمولی) و به دلیل یکنواختی پروفایل درجه حرارت و حذف بخش انتقال حرارت جابجائی
- 4- ارتقاء یکنواختی پروفایل درجه حرارت و کنترل آن وهمچنین افزایش حجم و یکنواختی فلاکس حرارتی در تجهیزات (کوره)
- 5- امکان بکارگیری سوخت‌های با ارزش حرارتی بسیار پایین در شرائط احتراق پایدار (بدون نیاز به تثبیت کننده شعله)

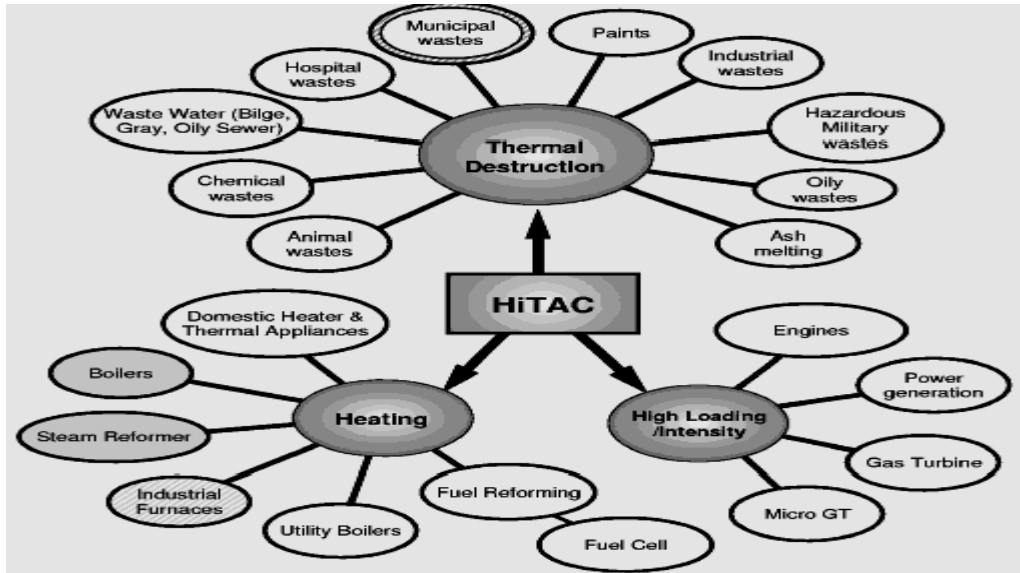
1- JIFMA=the japan industrial furnace manufacturers association

2- NEDO=the new energy&industrial technology development organisation

3- highly preheated and diluted air combustion(hpdac)

6- سهولت تولید بخار با فشار و دمای بالا در بویلرها (به دلیل عدم وجود آلاینده های اسیدی و گرد و غبار که از جمله عوامل حمله به لوله های بویلرها می باشند)

7- کاهش سر و صدای ناشی از احتراق
لازم به ذکر است که تکنولوژی بکارگیری هوای احتراق بسیار داغ، علاوه بر کاربرد در عرصه فرایندهای حرارتی، کاربردهای متعدد و گسترده ای در دیگر عرصه ها داشته، که خلاصه ای از آن در شکل (1) نشان داده شده است [2]



شکل 1- پتانسیل بکارگیری تکنولوژی HPDAC

هر چند فهم کامل تکنولوژی احتراق با هوای بسیار داغ محقق نگردیده، لکن رشد تدریجی و فعالیتهای آتی آن به توسط گروههای تحقیقاتی در سطح دنیا، فهم و بکارگیری آن را باعث خواهد گردید. در حال حاضر تعداد کشورهای فعال و درگیر با این تکنولوژی اندک بوده که از آن جمله می توان به ژاپن، آمریکا، آلمان، انگلستان، هلند، سوئد، تایوان، ایتالیا و چین اشاره نمود .

2- مفهوم اساسی تکنولوژی احتراق با هوای بسیار داغ و رقیق و بکار گیری آن در کوره ها

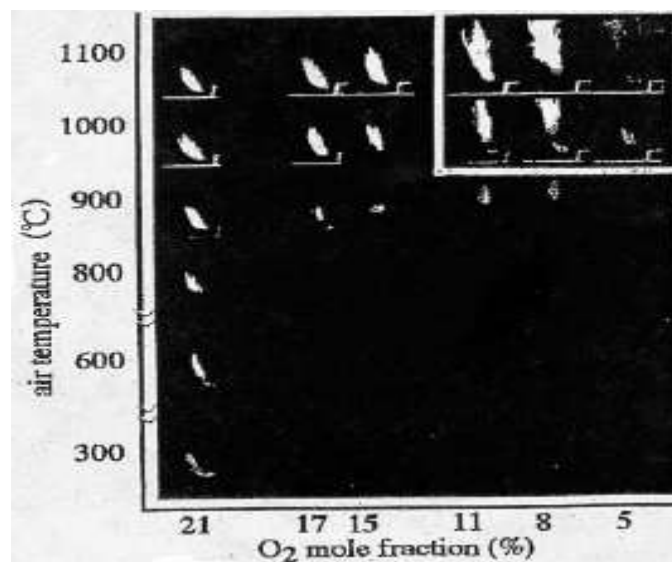
درجه حرارت شعله یکی از مهمترین عوامل در بحث بازده احتراق و بازده تبدیل انرژی می باشد. واینبرگ¹، مفهوم اولیه احتراق با انتالپی اضافی² را پایه گذاری نمود [6]. در احتراق با انتالپی اضافی، انرژی حرارتی آزاد شده به واکنش گرهای تازه باز خوراندن می شود. به عبارتی با پیشگرم نمودن هوا (و نه سوخت، بدلیل رعایت ملاحظات ایمنی و همچنین جلوگیری از تجزیه سوخت) تا دمای 1000 درجه سانتیگراد و بیشتر، درجه حرارت اشتعال و بالتبع آن شدت و بازدهی اشتعال و انتقال حرارت بیشتر از زمانی است که از هوا با درجه حرارت معمولی استفاده می شود. هر چند در حالت عادی پیش گرم کردن هوا باعث افزایش تولید NO_x گردیده، لکن احتراق کنترل شده می تواند تولید آن را همچون دیگر آلاینده ها کاهش دهد. این کنترل و کاهش، در قالب رقیق نگه داشتن هوای احتراق (پایین نگه داشتن میزان اکسیژن در آن تا حدود 5 درصد و کمتر) به کمک بازچرخانی بخشی از گازهای احتراق و تزریق آن به هوای احتراق ورودی صورت پذیرفته که در نتیجه تولید آلاینده NO_x تحت دماهای بسیار بالا و غلظتهای بسیار پایین اکسیژن (بدلیل رقت هوا و افت اوج درجه حرارت شعله) به حداقل ممکن خود می

1- weinberg

2- excess enthalpy combustion

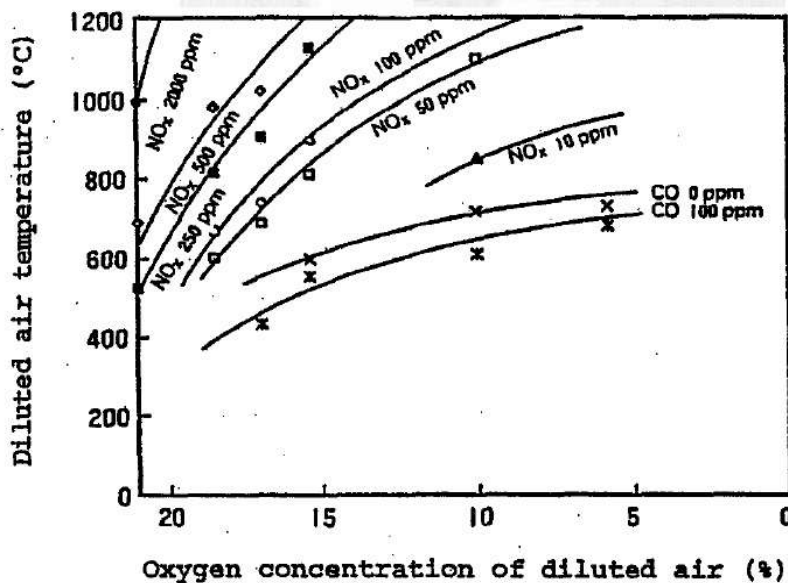
رسد. ضمناً یکنواختی درجه حرارت و فلاکس حرارتی شعله ، بطور جدی با افزایش درجه حرارت پیشگرمی هوای احتراق و کاهش غلظت اکسیژن در آن، افزایش می یابد.

لازم به ذکر است ،وقتی که هوای احتراق با یک گاز خنثی یا گازهای حاصل از احتراق(که در واکنش احتراق شرکت نمی کند)،بسیار رقیق و سپس تا دمای بسیار بالا گرم می شود و پس از آن وبه همراه سوخت وارد کوره می گردد، ماکزیمم درجه حرارت احتراق، ممکن است مشابه و حتی کمتر از ماکزیمم درجه حرارت احتراق در شرائط معمولی احتراق(در شرائط دما و غلظت معمولی هوا) باشد وبه همین دلیل کاهش تولید آلاینده NOX میتواند قابل توجه باشد. ممکن است سوال شود که تحت این درجه حرارت ماکزیمم که حتی کمتر از میزان آن در یک احتراق معمولی بوده، چگونه ممکن است که این تکنولوژی از یک راندمان حرارتی بسیار بالاتری نسبت به یک احتراق معمولی و متعارف برخوردار باشد؟ در پاسخ باید گفت که هر چند ماکزیمم دمای محلی درون محفظه احتراق(نه دمای توده آن) در شرائط احتراق معمولی ،ممکن است بیش از احتراق تحت دمای بسیار بالا و غلظت بسیار پایین برای هوای احتراق باشد،لکن همانطور که از شکل (2) [3] ملاحظه می گردد، در مجموع بالا بودن حجم شعله و یکنواختی پروفایل دمائی (تحت هوای احتراق با دمای بسیار بالا و غلظت بسیار پایین) نسبت به یک شعله کوچک و متمرکز (در شرائط احتراق معمولی) می تواند پاسخگوی این سوال باشد.



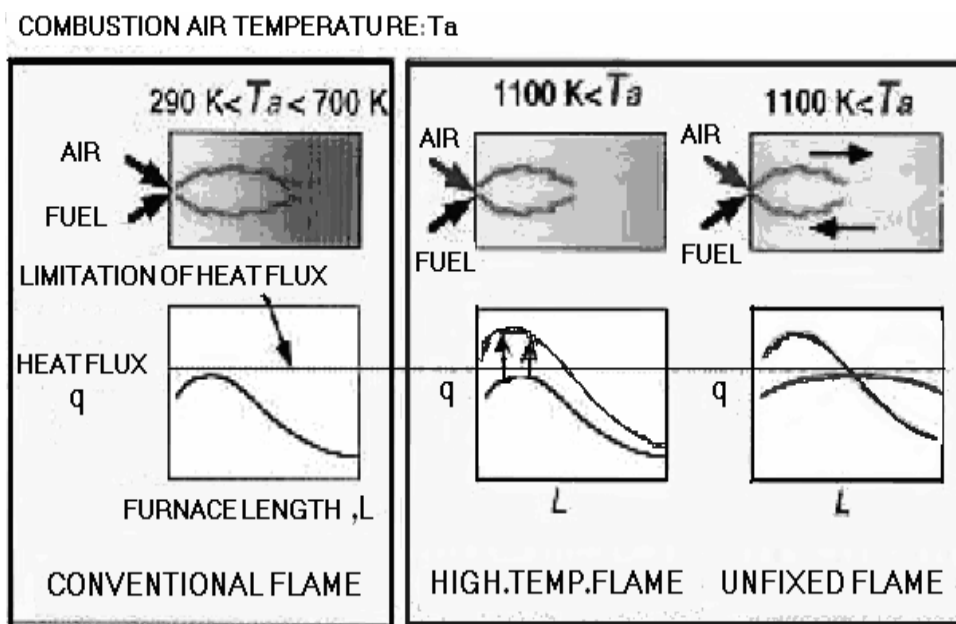
شکل 2- تصویر واقعی شعله تحت شرائط مختلف دما و غلظت هوای احتراق

دیگر مزیت این تکنولوژی نسبت به یک احتراق معمولی آنستکه چنانچه دمای هوا بالاتر از دمای خود اشتعالی¹ سوخت باشد، آنگاه در محدوده قابلیت احتراق سوخت ،بدون نیاز به استفاده از تثبیت کننده شعله، احتراقی پایدار خواهیم داشت. در خصوص انتشار آلاینده هائی چون NOX و CO ، همانطور که از شکل (3) [3] ملاحظه می گردد، در دماهای بالاتر از 1000 درجه سانتیگراد و غلظتهای پایین اکسیژن، میتوان میزان انتشار آلاینده NOX را در محدوده 30 تا 40 قسمت در میلیون وزنی نگه داشت. ضمناً ملاحظه می گردد(با توجه به منحنی صفر قسمت در میلیون وزنی برای CO) که دستیابی به مقادیر پایین NOX نه تحت احتراقهای ناقص، بلکه تحت یک احتراق کامل امکان پذیر می باشد و دیده می شود که کنترل همزمان NOX و CO در مقادیر پایین، تحت شرائط دمای بالا و مقادیر پایین اکسیژن برای هوای احتراق، امکان پذیر می باشد.



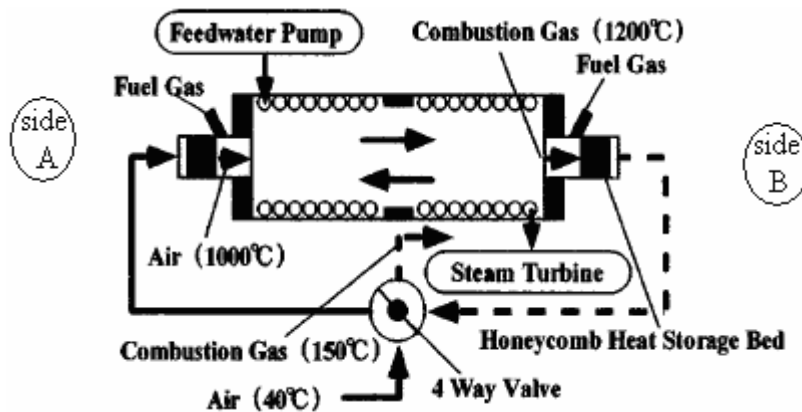
شکل 3- شرایط لازم برای تولید CO, NOX در یک احتراق با هوای درجه حرارت بالا

در شکل (4)، توزیع فلاکس حرارتی و شعله برای سه گونه احتراق با دمای معمولی هوای احتراق، دمای بالای هوای احتراق؛ و دمای بالا همراه با غلظت پایین اکسیژن هوای احتراق در کوره ها نمایش داده شده است [4].



شکل 4- نمای شماتیک شعله و توزیع فلاکس حرارتی در یک کوره تحت شرایط مختلف دما و غلظت هوای احتراق

کوره های عمل کننده با هوای احتراق بسیار داغ و رقیق، بسیار مشابه با کوره های صنعتی استفاده کننده از مشعلهای ریژنراتیو می باشند [5,7]. به منظور فهم بهتر مطلب، اشکال (5 و 6) را در نظر می گیریم:



شکل 5- مفهوم عملکرد یک کوره HPDAC

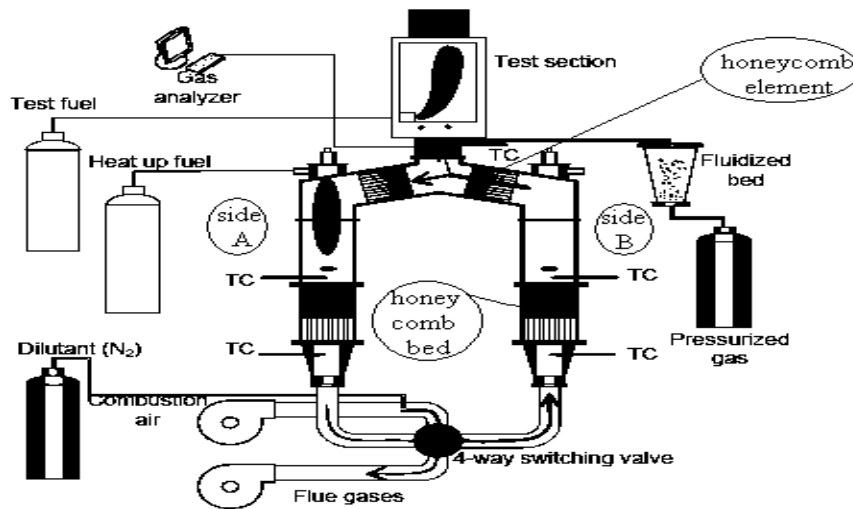
کوره نشان داده شده در شکل (6)، نمونه ای از کوره آزمایشگاهی شرکت NFK بوده که به منظور بررسی فرآیند احتراق با هوای بسیار داغ و رقیق در یک شعله جت منفرد¹، طراحی و ساخته شده است (نمونه نیمه صنعتی این کوره طی شکل (5) نشان داده شده است). مطابق با اشکال (6 و 7)، تسهیلات آزمایشگاهی مشتمل بر دویخش احتراق و دو مشعل بوده که هر یک از آنها به صورت متناوب مشتعل و در مدار سرویس دهی قرار گرفته و پس از طی یک دوره زمانی سوئیچینگ معین، فرآیند اشتعال به بخش احتراق و مشعل دیگر منتقل می گردد. فرآیند حاکم بر این کوره آزمایشگاهی تقریباً مشابه با آنچه در مورد نمونه نیمه صنعتی (شکل (5)) بازگو گردید، می باشد.

در این کوره آزمایشگاهی، دو گونه سوخت پیشگرم کننده² و سوخت اصلی مورد آزمایش مورد استفاده قرار می گیرد. ابتدا طی سیکل A، مشعل مربوط به بخش A با هدایت سوخت پیشگرم کننده (با درجه حرارت محیط) به آن مشتعل می گردد. البته بطور همزمان هوای احتراق مورد نیاز (که عملاً به وسیله یک گاز خنثی مانند N₂ رقیق گردیده) از طریق عبور از بستر کندوی عسلی بخش B و جذب انرژی حرارتی ذخیره شده در آن، پیشگرم شده و به درون مشعل A هدایت می گردد. نهایتاً گازهای حاصل از احتراق این مرحله، پس از عبور از درون بستر کندوی عسلی A، انرژی حرارتی خود را به آن داده و با دمای بسیار پایینی به اتمسفر تخلیه می گردند. در طی یک دوره تناوبی معین (بین 20 تا 30 ثانیه)، سیکل A خاتمه و سیکل B آغاز می گردد. طی این سیکل (B)، مشعل مربوط به بخش B با هدایت سوخت پیشگرم کننده (با درجه حرارت محیط) به آن مشتعل می گردد. البته بطور همزمان هوای احتراق مورد نیاز (که عملاً به وسیله یک گاز خنثی مانند N₂ رقیق گردیده) از طریق عبور از بستر کندوی عسلی بخش A و جذب انرژی حرارتی ذخیره شده در آن، پیشگرم شده و به درون مشعل B هدایت می گردد. نهایتاً گازهای حاصل از احتراق این مرحله، پس از عبور از درون بستر کندوی عسلی B، انرژی حرارتی خود را به آن داده و با دمای بسیار پایینی به اتمسفر تخلیه می گردند. نهایتاً با تکرار چند باره سیکلهای A و B، امکان پیشگرمی هوای احتراق رقیق شده تا دماهای بسیار بالا محقق می گردد. پس از رسیدن به این مرحله، بخشی از هوای رقیق شده با دمای بسیار بالا، از طریق یک مسیر فرعی به درون بخش آزمایش³ هدایت گردیده تا به عنوان هوای احتراق سوخت اصلی مورد آزمایش بکار گرفته شود.

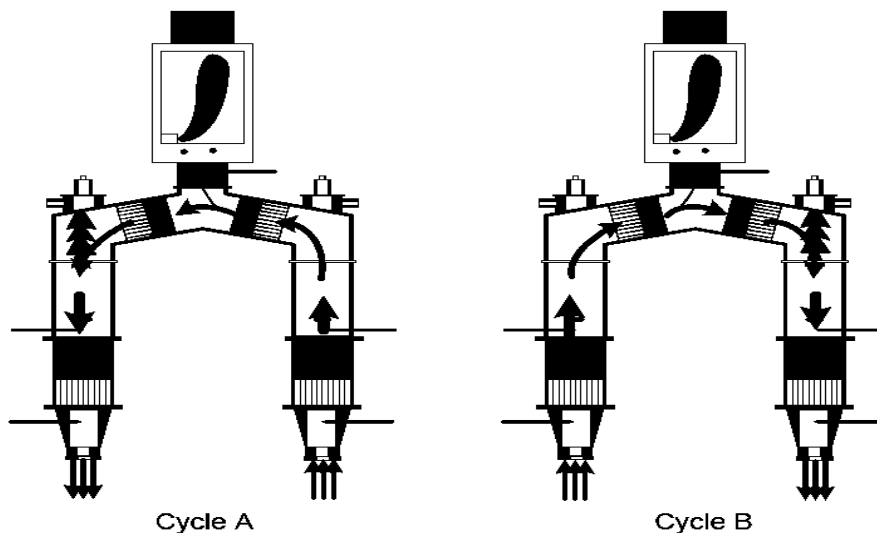
با توجه به اینکه اساساً جریان هوای خروجی از بسترهای کندوی عسلی از یک رژیم جریانی آرام⁴ برخوردار می باشند، لذا به منظور شبیه سازی و اعمال شرایط این رژیم جریانی در هوای ورودی به بخش آزمایش، در این کوره آزمایشگاهی از یک المان کندوی عسلی⁵ در محلی درست زیر بخش آزمایش استفاده شده است. لازم الذکر است که در طی فاصله زمانی که سیستم در

- 1- single jet flame
- 2- heat up
- 3- test section
- 4- laminar
- 5- honeycomb element

حال گذار از تعویض سیکلهای احتراق می باشد، هیچگونه آزمایشی انجام نگردیده لذا می توان فرض نمود که آزمایشات انجام شده در شرایط حالت یکنواخت¹ صورت پذیرفته اند.



شکل 6- شماتیک آرایش تسهیلات یک احتراق HPDAC



شکل 7- نمایش سیکلهای پررودیک در تسهیلات یک احتراق HPDAC

مطابق با شکل (5) (کوره نیمه صنعتی)، طی سیکل احتراق A ، سوخت پس از احتراق در مشعل طرف A ، گرمای خود را از طریق تشعشع (بخش اعظم نحوه انتقال حرارت) به لوله های کوره (بویلر) داده سپس گازهای حاصل از احتراق با دمای 1200 درجه سانتیگراد وارد یک بستر کندوی عسلی² (سرامیکی) (طرف B) شده و تا دمای 150 درجه سانتیگراد سرد شده و پس از آن به اتمسفر تخلیه می گردد (لازم الذکر است که این بسترهای کندوی عسلی در طول فرآیند احتراق به عنوان یک چاه حرارتی و در عین حال یک منبع حرارتی عمل می نمایند). به عبارتی تا این مرحله بستر مذکور (B) در قالب یک چاه حرارتی ، گرمای گازهای حاصل از احتراق را جذب و ذخیره می نماید. در طی یک دوره زمانی سوئیچینگ از پیش تعیین شده

1- steady state
2- honey comb bed

¹ (بین 20 تا 30 ثانیه)، سیکل A بطور خودکار (توسط یک کنترل کننده) خاتمه و بالتبع آن مشعل A بطور موقت از مدار سرویس دهی خارج و سیکل احتراق B و بالتبع آن، مشعل طرف دیگر کوره (طرف B) به مدار سرویس دهی وارد می گردد. در این حالت گرمای ذخیره شده در بستر کندوی عسلی طرف B که قبلاً به عنوان چاه حرارتی عمل می نموده، اکنون در قالب یک منبع حرارتی عمل کرده و گرمای ذخیره شده در خود را به هوای احتراق ورودی (که عملاً به وسیله بازچرخانی بخشی از گازهای احتراق رقیق گردیده) منتقل و آن را تا دمائی نزدیک به دمای گازهای حاصل از احتراق ($\Delta T < 100^\circ C$) گرم می نماید. این مکانیزم تعویض سیکلهای احتراق، متناوباً و عیناً تکرار می گردد.

3- مدلسازی کوره با استفاده از فرآیند بکارگیری هوای احتراق بسیار داغ و رقیق

با توجه به اینکه در این مطالعه بکارگیری سوختههای گازی و علی الخصوص گاز طبیعی مد نظر بوده و اینکه تنها آلاینده های منتشره از گاز طبیعی حاوی اکسیدهای نیتروژن (با عنوان عمومی NOX) می باشد [8]، لذا بحث و بررسی روشهای کنترل احتراقی آلاینده های زیست محیطی با توجه به این نوع آلاینده مد نظر قرار خواهد گرفت.

3-1- روشهای کنترل احتراقی

اکسیدهای نیتروژن یکی از آلاینده های بسیار زیان آور برای محیط زیست می باشند. آنها بصورت NO (در حدود 95 درصد)، NO₂ و N₂O منتشر می شوند [1]. سه پارامتر دما، میزان دسترسی به اکسیژن و زمان اقامت در تشکیل NO کوره ها موثرند. به عبارتی تمام روشهای کنترل (کاهش) NOX مبتنی بر کاهش دما، محدود نمودن دسترسی به اکسیژن و کاهش زمان اقامت (برای تشکیل NO) می باشند.

عملاً و در حال حاضر، روشهای زیر (که در آنها منظور توزیع مجدد جریان هوا و سوخت در کوره بوده که در مشعل و یا در داخل محفظه احتراق به انجام می رسد) برای کنترل NOX ضمن احتراق بکار گرفته میشوند [9,10,11,12]: 1- مرحله ای کردن هوا² 2- مرحله ای کردن سوخت (دوباره سوزاندن)³ 3- باز چرخانی گازهای احتراق⁴ 4- بکار گیری همزمان ترکیبی از روشهای فوق الذکر⁵.

نکته ای بسیار مهم که حائز توجه بوده، آنستکه بکار گیری روشهای اولیه کنترل احتراقی آلاینده های زیست محیطی، باعث کاهش راندمان حرارتی کوره (مصرف سوخت بیشتر) و همچنین ایجاد محدودیت در بکارگیری این نوع کوره ها (بدلیل پایین بودن دمای عملکرد آنها) خواهد شد. لذا این نوع روشها در راستای تحقق کامل الزامات جهانی انرژی- زیست محیطی نبوده و اینجاست که بکارگیری فرآیند نوین احتراق تحت هوای بسیار داغ و رقیق در جهت تحقق همزمان الزامات جهانی انرژی-زیست محیطی و در قالب رفع تناقض و تضاد بین افزایش راندمان حرارتی کوره ها و کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی تا حد استانداردها، جایگاه بسیار برجسته ای را می یابد.

لازم الذکر است که اطلاق لفظ "اولیه" در عنوان مذکور، در مقابل لفظ ثانویه در عنوان "روشهای ثانویه" کنترل احتراقی آلاینده های زیست محیطی "قرار می گیرد. روشهای ارزان اولیه مبتنی بر کنترل آلاینده ها قبل از تشکیل و از طریق ایجاد شرایط مناسب احتراق میباشد، درحالی که روشهای گران ثانویه مبتنی بر کنترل آلاینده ها پس از تشکیل و از طریق بکار گیری روشهای مختلف عمل آوری گازهای آلوده حاصل از احتراق در درون کوره و خروجی از دودکش می باشد.

3-2- اساس مدل

- 1- switching period
- 2- air staging
- 3- fuel staging (reburning)
- 4- flue gas recirculation
- 5- simultaneous usage of the mentioned above primary method
- 6- secondary or post combustion control methods

اساس این مدل، عبارتست از ارائه، تنظیم و حل معادلات بقای جرم، مومنتوم، گونه های شیمیائی و انرژی، همراه با شرایط مرزی مناسب که به آنها معادلاتی دیگر جهت تبیین پروسه های انتقال درهم¹ و انتقال انرژی تشعشعی (ارائه مدل درهم¹ و مدل تشعشع²)، اضافه می گردد. علاوه بر آن برای ارائه معادله بقای جرم کلیه گونه های شیمیائی (سوخت، هوا و محصولات احتراق)، لازم است که مدلی تحت عنوان مدل احتراق درهم³ که مبین چگونگی عمل احتراق سوخت باماده اکسید کننده (اکسیژن یا هوا) در یک جریان درهم بوده، ارائه گردد. سیستم منتج از اعمال فوق، عبارتست از یک سری معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی بیضوی که می بایست با روشهای مناسب عددی آنها را حل نمود.

این مدلسازی برای یک کوره استوانه ای با لوله های عمودی و در یک سیستم دو بعدی ارائه گردیده که در آن متغیرهای اصلی در معادلات هیدرودینامیکی، ورتیسیتی⁴ و تابع جریان⁵ می باشند. به منظور برآورد خواص انتقال در یک جریان درهم (مدل درهم)، از یک فرمولاسیون منتج از تئوری جریان جت درهم و برای تحلیل فرآیند انتقال جرم و احتراق، یک مدل واکنش تک مرحله ای و آنی بین سوخت و هوا (کنترل شونده به وسیله یک عمل فیزیکی که همانا میزان اختلاط بین آنها بوده)⁶، مد نظر قرار گرفته و جهت برآورد ترم منبع در معادله انرژی، از مدل تشعشع تحت عنوان four-flux استفاده گردیده است. برخی از مبانی حاکم بر این مدلها را می توان از مرجع [13] مورد مطالعه قرار داد.

لازم الذکر است هر چند عملکرد کوره های استفاده کننده از فرآیند احتراق با هوای داغ و رقیق بصورت پریودیک بوده، لکن با در نظر گرفتن یک دوره تناوبی مناسب، می توان کلیه معادلات حاکم بر فرآیند را بصورت یکنواخت⁷ در نظر گرفت. ضمناً در این تحقیق و به دلیل نگرش انرژی محور به مدلسازی و شبیه سازی و تدوین نرم افزار مربوطه، مدل تشکیل آلاینده NO در محاسبات لحاظ نگردیده لکن به لحاظ کیفی، تشکیل آلاینده مذکور مورد بحث و نظر قرار گرفته است.

4- نتایج شبیه سازی

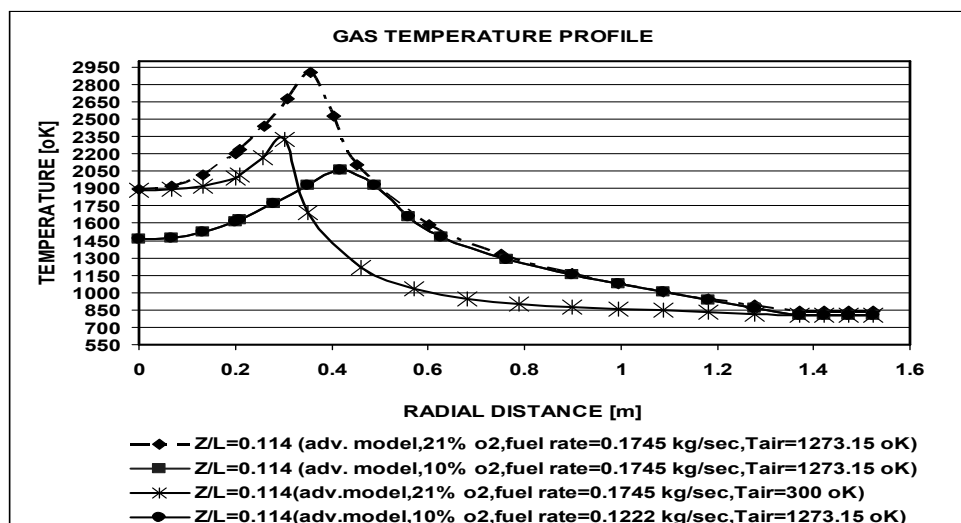
با استفاده از نرم افزار طراحی شده، کوره با مشخصات مندرج در مرجع [14] برای سه حالت احتراق 1- تحت دما و غلظت معمولی هوا 2- تحت غلظت معمولی و دمای بسیار بالای هوا 3- تحت غلظت پائین و دمای بسیار بالای هوا شبیه سازی گردیده و بخشی از نتایج طی اشکال (8 و 9 و 10 و 11 و 12 و 13) ارائه شده است. این کوره به ترتیب دارای طول و قطری معادل 9/272 و 3/048 متر بوده که گرمای اشتعال معادل 8/939 مگاوات را از طریق یک مشعل منفرد مستقر در بخش مرکزی کف کوره، به سیالی که از درون 48 عدد لوله که بطور متقارن و در راستای طولی و در همسایگی جداره آن آرایش یافته اند، منتقل می نماید.

همانطور که از شکل (8) ملاحظه می گردد، در حالت احتراق معمولی و بدلیل دسترسی کافی به اکسیژن و بالتبع آن انجام اشتعال ناگهانی و متمرکز، مقادیر اوج درجه حرارت⁸ در محدوده 300 تا 900 درجه کلوین نسبت به احتراق با هوای داغ و رقیق بیشتر بوده و به همین دلیل و همانطور که در بخش 3-1 نیز گفته شد، میزان NOX حرارتی⁹ تولیدی نیز بمراتب بالاتر می باشد. با توجه به اینکه در احتراق با هوای داغ و رقیق، اکسیژن لازم جهت تکمیل واکنشهای احتراق بتدریج در اختیار سوخت قرار می گیرد و از طرفی درجه حرارت هوای احتراق بالاتر از دمای خود اشتعالی سوخت می باشد، لذا ناحیه واکنش و یا به عبارتی دیگر حجم شعله شیمیائی¹⁰ (و بالتبع آن توزیع آزادسازی انرژی حرارتی) نسبت به یک احتراق معمولی بسیار

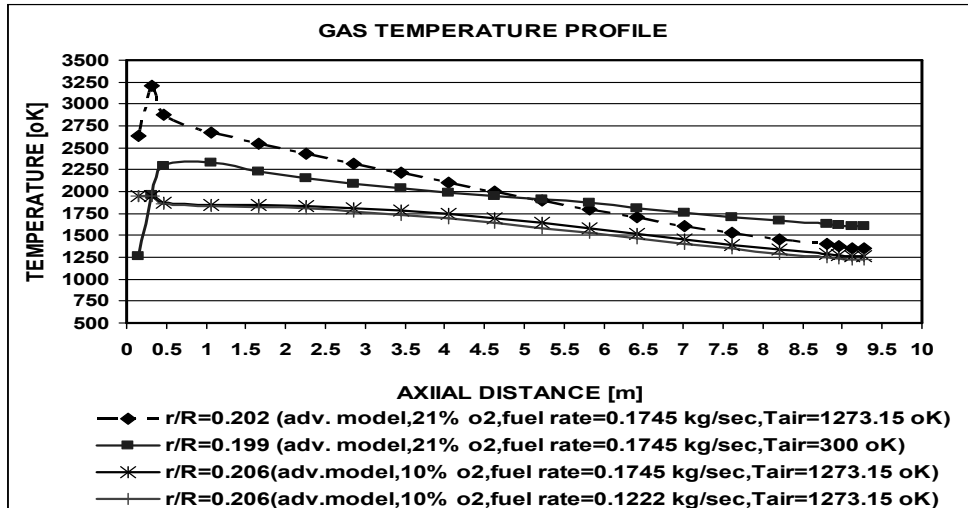
- 1- turbulence model
- 2- radiation model
- 3- turbulent combustion model
- 4- vorticity
- 5- stream function
- 6 - physically controlled
- 7- steady state
- 8- hot spot points
- 9- thermal-NOX
- 10- chemical flame (combined visual and unvisual flame)

بزرگتر و وسیعتر بوده (از مقایسه اشکال 11 و 12 و 13) فلذا توزیع درجه حرارت و شار انرژی تشعشعی در میدانی وسیعتر و یکنواخت تر صورت می پذیرد (از مقایسه اشکال 8 و 9 و 10، حذف نقاط اوج درجه حرارت مشاهده می شود). نکته ای که حائز اهمیت بوده آنستکه اگر چه شار انرژی تشعشعی در حالت احتراق تحت هوای داغ و غلظت معمولی اکسیژن نسبت به احتراق تحت هوای داغ و رقیق بیشتر بوده (از شکل 10)، لکن و همانطور که در بخش مقدمه ذکر گردید، این افزایش انتقال حرارت به قیمت تولید مقدار قابل توجه و فراتر از حد استاندارد برای آلاینده NOX تمام می شود که این مسئله به هیچ وجه مطلوب و مورد نظر نمی باشد.

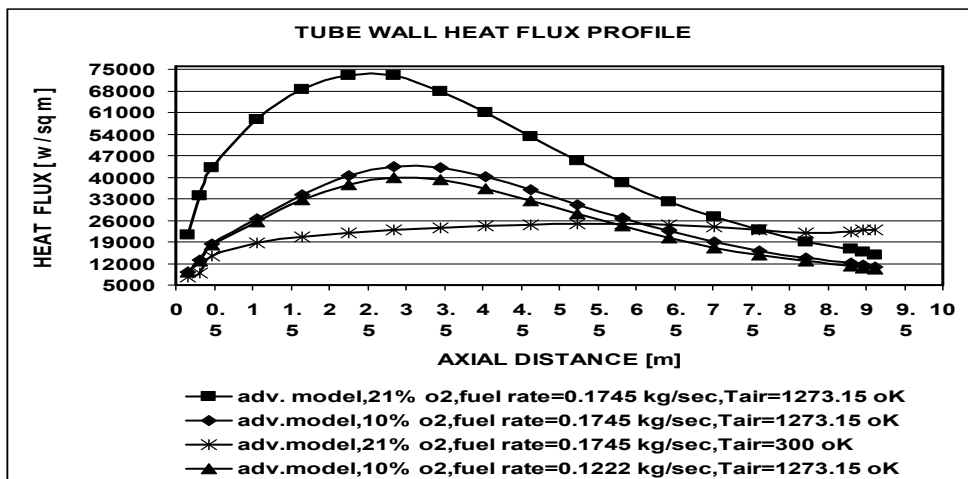
بنا به دلایل مذکور، گزینه احتراق تحت هوای بسیار داغ و رقیق مطلوب و مد نظر بوده که در عین داشتن بازده حرارتی بالاتر و صرفه جوئی معادل 30 درصد در مصرف سوخت (از اشکال 9 و 10) که همانا کاهش چشمگیر آلاینده CO2 نیز هست، بدلیل داشتن نقاط اوج درجه حرارت بسیار پائینتر (از شکل 8)، میزان آلاینده NOX تولیدی آن نیز بمراتب کمتر از حالت احتراق معمولی می باشد. ضمناً کاهش یا عدم وجود آلاینده های اسیدی (بدلیل کاهش یا عدم تولید اسید کربنیک و اسید نیتریک ناشی از تولید آلاینده های CO2 و NOX) که از جمله عوامل حمله به لوله های بویلرها بوده، سهولت تولید بخار با فشار و دمای بالا را در بویلرها ممکن می سازد. نهایتاً اینکه در طراحی یک کوره جدید و تحت شرایط احتراق با هوای بسیار داغ و رقیق، حذف بخش انتقال حرارت جابجائی و بالتبع آن کاهش اندازه کوره و در اصلاح عملکرد یک کوره موجود از شرایط احتراق معمولی به شرایط احتراق مذکور، قابلیت افزایش میزان جریان سیال گرم شونده یا تولید محصول کوره حاصل می گردد. قابل ذکر است، کلیه نتایج فوق الذکر که از مشخصات منحصر بفرد فرآیند احتراق با هوای بسیار داغ و رقیق بوده، با نتایج تجربی انطباق کمی و کیفی لازم را دارد [2,3,4,5,14].



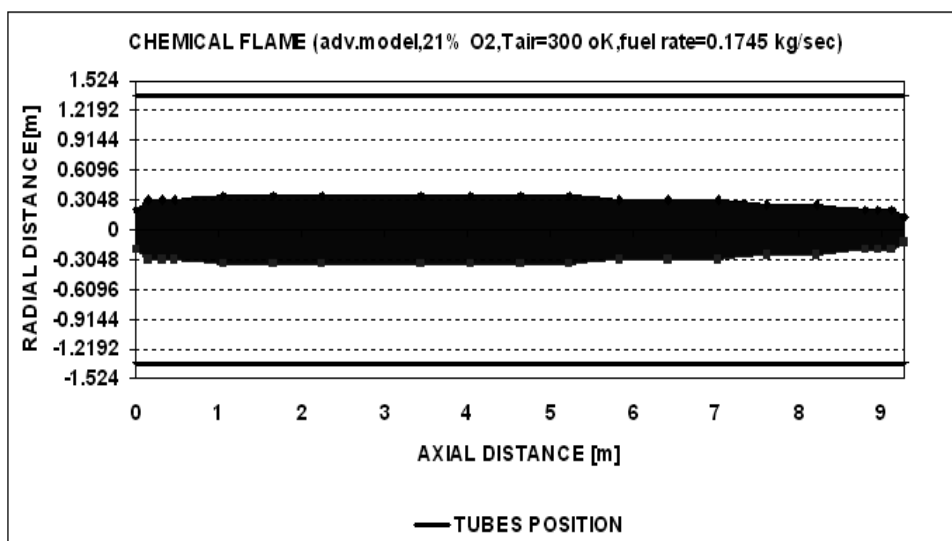
شکل 8- توزیع شعاعی درجه حرارت کوره تحت شرایط مختلف دما و غلظت هوای احتراق



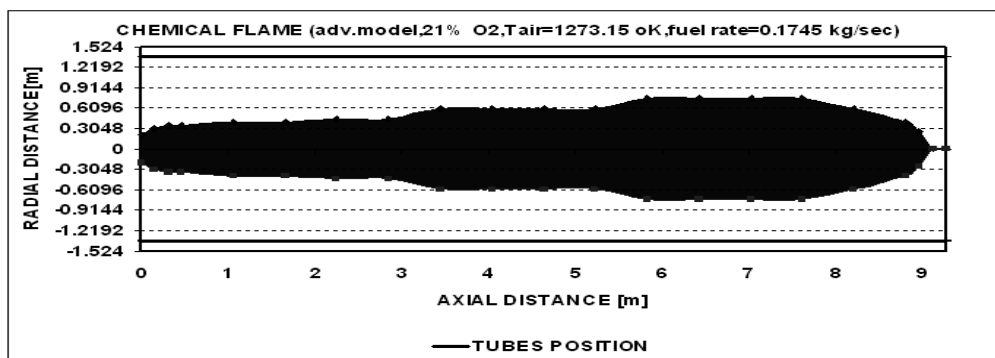
شکل 9- توزیع محوری درجه حرارت کوره تحت شرایط مختلف دما و غلظت هوای احتراق



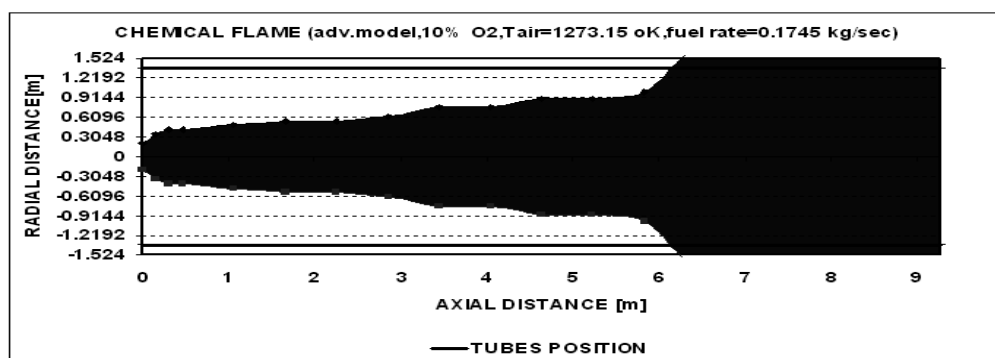
شکل 10-توزیع شار انتقال حرارت تشعشعی به دیواره لوله های سیال فرآیند



شکل 11-شعله شیمیائی تحت شرایط دما و غلظت معمولی هوای احتراق



شکل 12- شعله شیمیایی تحت شرایط دمایی بالا و غلظت معمولی هوای احتراق



شکل 13- شعله شیمیایی تحت شرایط دمایی بالا و غلظت پائین هوای احتراق

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از زحمات و آموزشهای کلیه اساتید محترم دانشکده انرژی و محیط زیست، بالاخص در بهره گیری از مشاوره با جناب آقای دکتر ابوالقاسم امامزاده و جناب آقای دکتر حسین قدمیان کمال تشکر و قدردانی می کردد.

مراجع

- 1- Szcwoka.L.,Poskart.M., "numerical modelling of nitrogen oxide emission and experimental verification", third mediteranean combustion symposium, Marrakech, maroko, 2003.
- 2- Gupta,A.K., "technological evolution, challenges and future prospects for the application of HiTAC in the HiCOT project, proceeding of the forum on high-temperature air combustion technology., pp.71-81, 2001.
- 3- Morita.M., "optimal design for high performance industrial furnace applied high temperature air combustion technology", proceeding of 2000 international joint power generation conference (volume IJPGC2000-15030), 2000.
- 4- Gupta,A.K., "flame characteristics and challenges with high temperature air combustion", proceeding of international joint power generation conference (volume IJPGC2000-15087), 2000.
- 5- Mortberg.M., "study of gas fuel jet burning in low oxygen content and high temperature oxidizer", doctoral dissertation., stockholm, 2005.
- 6- Weinberg,P.J., "nature", vol.233, pp.239-241, 1971.
- 7- H.Kobayashi and K.Yoshikawa, "thermal performance and numerical simulation of high temperature air combustion boiler", proceeding of international joint power generation conference (volume IJPGC2000-15083), 2000.
- 8- Dorman,D.E., "Nox reduction experience on natural gas fired turbo furnaces", international joint power generation conference, 2000., also (www.babcockpower.com).
- 9- Ron D.Bell, P.E. Fred P. Buckingham., "An overview of technologies for reduction of oxides of nitrogen from combustion furnaces", MPR Associates Inc, 2002.
- 10- USEPA., "combustion modification control of nitrogen oxides", EPA/600/F-95-012, 1995.
- 11- Flamme.M., "low Nox combustion technologies for high temperature applications", energy conversion and management, vol.42, pp.1919-1935., 2001.
- 12- Makino.K., "Nox reduction in utility boilers", the Australian coal review, pp.35-40, 2000.
- 13 -Abbasi-Khazaei.K., "Advanced furnace modeling and simulation", MSc Thesis, Tarbiat Modarres university, Iran , 1995.
- 14 -Nogay,R., " better design method for fired heaters ", Hyd.proc., pp.91-95, 1985.