

بررسی عددی بویلرهای نیروگاهی با هدف تعیین بهترین شرایط کارکردی

جمشید خورشیدی مال احمدی- استادیار گروه مکانیک دانشگاه هرمزگان - jkhorshidi@yahoo.com

حسن داوری- مربی گروه مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودان- hdavari90@gmail.com

سهیل سراجی- کارشناس ارشد مکانیک- دانشگاه هرمزگان

شرکت مدیریت تولید برق هرمزگان

چکیده

یکی از مشکلاتی که هنگام راه اندازی بویلرها بوجود می آید احتراق ناقص بویلر است که سبب می شود مقدار قابل توجهی سوخت سوخته نشده از بویلر خارج شود. در این صورت بازده بویلر به شدت پایین آمده و آلودگی محیط زیستی را در پی خواهد داشت. یکی دیگر از مشکلات بویلر شکستن لوله های درونی بویلر به سبب حرارت بیش از اندازه است که سبب از کار افتادن بویلر می- شود. اگر بخار از حالت اشباع خارج شود به بخار مافوق گرم تبدیل گردد سبب وارد شدن آسیب جدی به بویلر می گردد. اضافه کردن مواد خاص و طراحی مناسب لوله های درونی بویلر سرعت و دمای بخار در بویلر را کنترل می کنند. در این تحقیق با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی رژیم جریان و انتقال حرارت در یک بویلر صنعتی نحوه عملکرد بویلر و پارامترهای موثر مورد مطالعه قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: نیروگاه، بویلر، احتراق

1- مقدمه

هاعلاوه بر اثرات مضر زیست محیطی سبب کاهش راندمان احتراق نیز میگردند [1]. از مهمترین پارامترهای احتراقی موثر بر میزان تشکیل و انتشار آلاینده های احتراق می توان به دما و میزان اختلاط سوخت و هوا اشاره نمود [2] اختلاط بهتر سوخت و هوا سبب کاهش تشکیل آلاینده های کربنی (مونوکسید کربن و دوده)، افزایش دما و راندمان احتراق می گردد. از طرفی افزایش دما در نواحی داغ شعله، سبب افزایش چشمگیر میزان تشکیل اکسیدهای ازت و گوگرد می گردد. [3] از جمله عوامل مهم دیگر در کنترل میزان آلاینده های اکسیدهای ازت و گوگرد میزان تابش می باشد. با افزایش میزان تابش، دمای ماکزیمم شعله کاهش

نیاز روزافزون جهان وبه خصوص کشورهای درحال توسعه به انرژی برق سبب توسعه روزافزون نیروگاهها گردیده است. با افزایش تعداد نیروگاهها که بخش عمده آن نیروگاههای حرارتی بوده، میزان مصرف سوختهای فسیلی به خصوص نفت کوره، که جزء سوختهای سنگین میباشند، در نیروگاه- هابسیار مورد استفاده قرار میگیرد. با توجه به بالا بودن نسبت کربن به هیدروژن در سوخت نفت کوره نسبت به سوخت سبک مانند گاز طبیعی، بخش مهم دیگری از آلاینده های احتراق ناشی از احتراق ناقص سوخت میباشد. مهمترین این آلاینده مونوکسید کربن و دوده میباشند که انتشار اینگونه

یافته و در نتیجه میزان تشکیل این آلاینده ها کاهش چشمگیری می یابد.

زینگ و همکارانش [2] در سال 2005 برای بررسی اثر اکسیداسیون CO در احتراق ذرات کربن از یک روش Flam sheet جدید استفاده کرده است. استرادا و همکارانش [10] در سال 2006 نیز جهت آنالیز ایزومریزاسیون هیدروکربن های نفت از روش تعادل شیمیایی استفاده کرده است، به علت اهمیت تمام گونه‌ها این روش نتایج بسیار خوبی را در تطابق با داده های آزمایشگاهی برای محقق ایجاد کرده است. ابراهیمی و آقاجفی [11] در سال 2004 تحقیقاتی در مورد کاهش NO_x به روش بازسوزش در بویلرهای نیروگاهی پرداخته و در نهایت به این نتیجه رسیده‌اند که با در نظر گرفتن 10٪ کل سوخت مصرفی به عنوان بازسوزش، NO_x تولیدی به میزان 33٪ کاهش یافته است. عامری و همکاران [12] در سال 2006 تحقیقی در مورد اثر نوع سوخت بر عملکرد و میزان NO_x تولیدی توربین‌های گازی انجام داده‌اند.

رجهی [13] با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی یک بویلر صنعتی را که شبیه‌سازی کرده است. آنها مدل‌های مختلف احتراق را برای شبیه‌سازی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد مدل احتراقی EWBم دقیق‌ترین مدل است. طاهها [3] یک بویلر را که از ذغال به عنوان سوخت استفاده می‌کرد را مورد مطالعه قرار دادند. آنها رابطه تجزیه و تولید خاکستر را بر عملکرد بویلر بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد با افزایش نرخ co-firing سرعت گازهای خروجی و ته نشین شدن خاکستر را افزایش می‌دهد.

کنگ [14] از دی‌متیل‌اتر برای سوخت بویلر استفاده کردند. آنها میزان نسر NO و CO و همچنین اثر نسبت سوخت به هوای اضافی را بر روی فرآیند احتراق مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد دی‌متیل‌اتر از سوخت‌های دیگر پاک‌تر است.

بررسی تحلیلی بویلر

بررسی جریان سیال

معادلات جهت تحلیل و بررسی بویلر، برای جریان سه بعدی، پایه، تراکم پذیر و با به کار بردن خواص متوسط زمانی برای جریان آشفته بیان می‌شوند.

در بررسی عددی جریان، از فرم سه بعدی معادلات پایستگی جرم و مومنتوم با تعریف مدل لزجت k-ε استفاده می‌شود که معادله (1) فرم معادله مومنتوم مورد استفاده است. جهت

ارتباط لزجت اغتشاش و انرژی جنبشی از معادله (2) استفاده شده است. روابط (3) تا (5) جهت محاسبه انرژی کینتیک و نرخ پراگندگی اغتشاش استفاده می‌شوند. ضرایب ثابت تجربی بکار رفته نیز به صورت زیر خواهند بود:

$$f_{\mu} = 0.09 \quad C_{e1} = 1.44 \quad C_{e2} = 1.92 \quad \sigma_k = 1.0 \quad \sigma_{\epsilon} = 1.3$$

بعلاوه معادله انرژی در فرم (6) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مدل‌سازی احتراق

احتراق را می‌توان به صورت انجام یک سری واکنش‌های شیمیایی که در آن اکسیداسیون سوخت هیدروکربنی اتفاق می‌افتد تعریف کرد. به طور خلاصه احتراق یک هیدروکربن با فرمول شیمیایی C_xH_y با فرم معادله (7) انجام می‌گیرد.

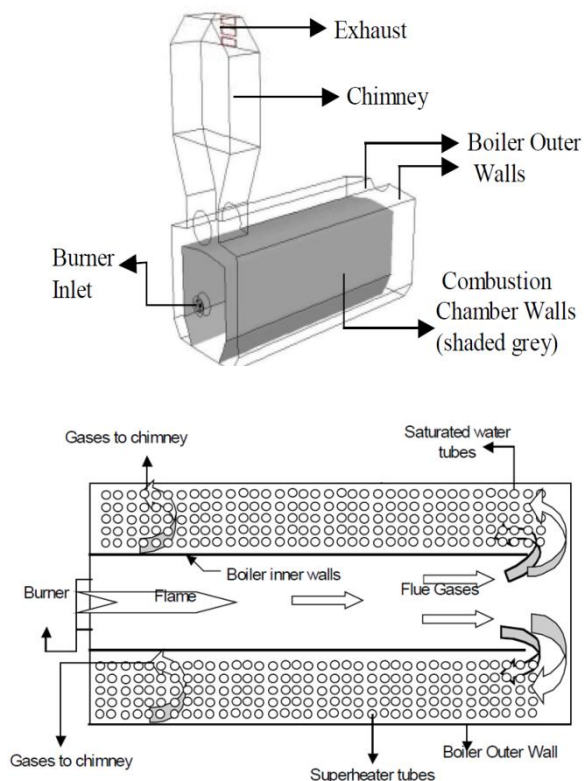
اکسیدهای نیتروژن شامل اکسید نیتروژن و مقدار کمی دی اکسید نیتروژن می‌باشند. دی اکسید نیتروژن از اکسید نیتروژن حاصل می‌شود. منابع اصلی شکل‌گیری آلاینده NO به سه دسته تقسیم می‌شوند. الف. اکسید نیتروژن گرمایی، که به واسطه‌ی تجزیه مولکول‌های هوا و نیتروژن شکل می‌گیرد. ب. اکسید نیتروژن سریع، که بر اثر هجوم هیدروکربن‌ها به نیتروژن موجود در هوا شکل می‌گیرد. ج. اکسید نیتروژن سوخت، که بر اثر نیتروژن موجود در سوخت شکل می‌گیرد. نرخ شکل‌گیری NO سریع در مقایسه با NO گرمایی بسیار کوچک است. فشار در خلال فرآیند احتراق افزایش می‌یابد و به دنبال آن گازهای سوخته شده در دمای بسیار گرم متراکم می‌شوند و تمام این اتفاقات دقیقاً پس از احتراق رخ می‌دهد. به همین دلیل نرخ شکل‌گیری NO گرمایی در مقایسه با انواع دیگر چشم‌گیر است. [14]

معادله (8) تا (10) نشان دهنده فرآیند شکل‌گیری اکسید نیتروژن از مولکول‌های نیتروژن هوا می‌باشند. ثابت‌های نرخ واکنش در جهت رفت و برگشت برای واکنش‌های این معادلات به طور تجربی اندازه‌گیری شده است.

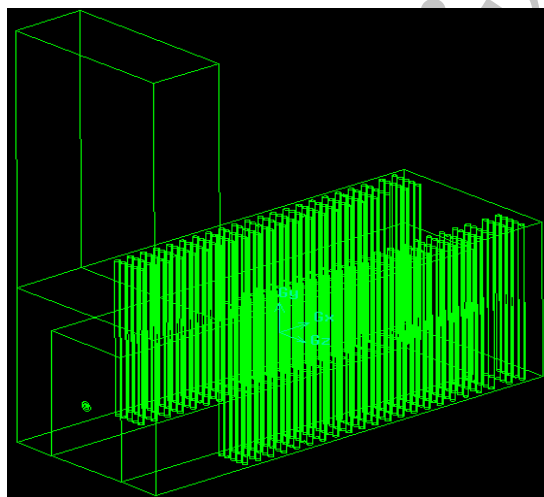
به منظور شبیه‌سازی احتراق از مدل انتقال گونه‌های شرکت‌کننده در واکنش استفاده شده است. در این مدل یک معادله انتقال برای تک‌تک گونه‌ها (در اینجا چهار معادله برای متان، اکسیژن، آب و دی‌اکسید کربن) حل شده و در هر دور محاسبات کسر جرمی آن‌ها محاسبه می‌شود. این روش از بررسی واکنش‌های میانی و رادیکال‌ها و دیگر محصولات اضافی احتراق صرف‌نظر می‌کند؛ بنابراین با داشتن دقت قابل قبول از نظر هزینه محاسباتی مقرون به صرفه است. معادله انتقال برای کسر جرمی m_i بصورت رابطه (11) نوشته شده است.

گرمای تولید شده بر اثر واکنش احتراق از این معادله محاسبه شده و در عبارت چشمه معادله انرژی قرار می‌گیرد.

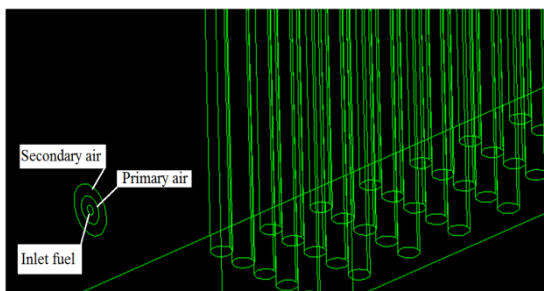
یک سمت از بویلر دارای لوله‌های آب اشباع و سمت دیگر آن دارای بخار مافوق گرم است.



شکل 1: شماتیک هندسه بویلر شبیه‌سازی شده به همراه قسمت‌های مختلف



شکل 2: مدل‌سازی هندسه بویلر در نرم افزار GAMBIT



شکل 3: مدل‌سازی مشعل بویلر

مدل‌سازی تشعشع

تشعشع بعنوان مهم‌ترین روش انتقال حرارت از شعله به محیط اطراف به دلیل دمای بسیار بالای آن مطرح است. رابطه حاکم بر تشعشع شعله بر محیط اطراف و فضای درون محفظه احتراق از نوع حجمی است. در حالت کلی مدل‌سازی تشعشع حجمی در یک فضای سه بعدی مستلزم هزینه محاسباتی بسیار بالایی است و می‌بایست معادله انتقال تشعشع به ازای تک‌تک سلول‌ها و در کلیه جهات سه بعدی (زوایای یک کره) در نظر گرفته شود. از این رو به منظور کاهش حجم محاسبات و قابل استفاده بودن آن‌ها مدل‌های مختلفی ارائه شده است که هر یک مناسب شرایطی از دامنه حل است. حل معادله انتقال تشعشع (RTE) برای یک محیط جاذب، ساطع‌کننده و پراکنندگی متوسط در موقعیت \vec{r} و جهت $\vec{\Omega}$ به کمک رابطه (15) انجام می‌شود. با توجه به ضخامت نوری نسبتاً بالا، سادگی، هزینه محاسباتی پایین و دقت قابل قبول، مدل P1 برای مدل‌سازی تشعشع انتخاب شده است. [15]

۲- نحوه انجام شبیه‌سازی عددی

الف. هندسه مسئله

هندسه بویلر مورد مطالعه در این پژوهش در شکل (1) نشان داده شده است. هوای داخل محفظه احتراق توسط مشعل گرم شده و بعد از عبور از قسمت انتهایی بویلر و عبور از روی لوله‌های آب از طریق دودکش از بویلر خارج می‌شود. برای شبیه‌سازی فرآیند احتراق در بویلر از هندسه تقریبی برای مشعل استفاده شده است. (شکل (2)). بر اساس شکل (3)، برای ورود هوا و سوخت به محفظه احتراق سه ناحیه ورود سوخت، هوای اولیه و هوای ثانویه در نظر گرفته شده است.

ب. شرایط مرزی ناحیه محاسباتی

شرایط مرزی در سه ناحیه ورودی مشعل، خروجی دودکش، دیواره‌های بویلر و فضای داخلی آن مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در مشعل، سوخت از گاز متان با دبی 0.8 کیلوگرم بر ثانیه و هوا در دو حالت اولیه با دبی 7 کیلوگرم بر ثانیه و ثانویه با دبی 13 کیلوگرم بر ثانیه با در نظر گرفتن نسبت مخلوط 23٪ اکسیژن و 77٪ نیتروژن در نظر گرفته شده‌اند. خروجی دودکش هوای اتمسفریک در نظر گرفته شده است و شرط عدم لغزش برای تمامی دیواره‌ها و عایق بودن برای دیواره‌های خارجی بویلر در نظر گرفته شده‌است.

ج. فرضیات شبیه‌سازی

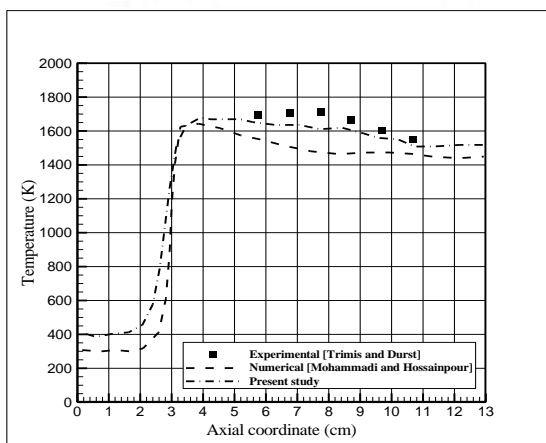
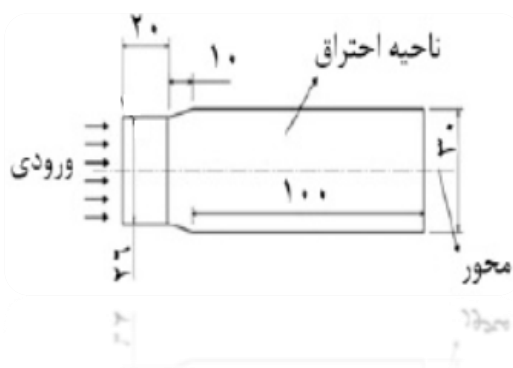
برای شبیه‌سازی فرآیند احتراق در بویلر، رژیم جریان سه-بعدی، مغشوش و پایدار در نظر گرفته شده است. بعلاوه فرآیند احتراق به صورت کامل انجام می‌شود، از تولید دوده در بویلر صرف‌نظر شده است، اما تولید NO_x لحاظ شده است. از طرف دیگر خواص مخلوط سوخت و هوا با دما تغییر می‌کنند.

د. صحت‌سنجی

برای صحت‌سنجی نحوه‌ی شبیه‌سازی و تنظیمات مسئله، از آنجا که نتایج تجربی برای مسئله بویلر حاضر موجود نیست، لذا واکنش احتراق را در یک مشعل شبیه‌سازی کرده و نتایج آنرا با دیگر نتایج تجربی مقایسه می‌کنیم. شکل (4) هندسه‌ی مشعل شبیه‌سازی شده و مقایسه نتایج، با محاسبات دیگر محققین [16] و [17] را نشان می‌دهد. باتوجه به شکل، توزیع دما در محور مرکزی مشعل با نتایج تجربی و عددی گذشته مطابقت قابل قبولی دارد. از آنجا که نحوه‌ی تنظیمات مسئله برای واکنش احتراق در بویلر نیز همانند این شبیه‌سازی است می‌توان از صحت تنظیمات و روند حل مسئله اطمینان داشت.

ه. بررسی کیفیت شبکه

برای بررسی استقلال جواب از شبکه سه شبکه درشت، معمولی و ریز مورد بررسی قرار گرفته است. برای شبکه درشت 852424 گره، برای شبکه معمولی 1752459 گره و برای شبکه ریز 3592342 گره استفاده شده است. شکل (5) به ترتیب تغییرات کسر جرمی CH_4 ، کسر جرمی CO_2 ، سرعت سیال را در خط مرکزی بویلر و $y=0$ نشان می‌دهند. همان‌طور که مشخص است میزان اختلاف تغییرات پارامترهای نشان داده شده در هر شبکه‌بندی نسبت به یکدیگر اندک است. با وجود اینکه بین شبکه‌های معمولی و ریز تفاوت وجود دارد ولی قابل اغماض است، لذا برای انجام محاسبات در زمان معقول، از شبکه با تعداد 1752459 گره استفاده شده است. زمان انجام محاسبات برای شبکه ریز تقریباً 3 برابر بیشتر از شبکه معمولی است.



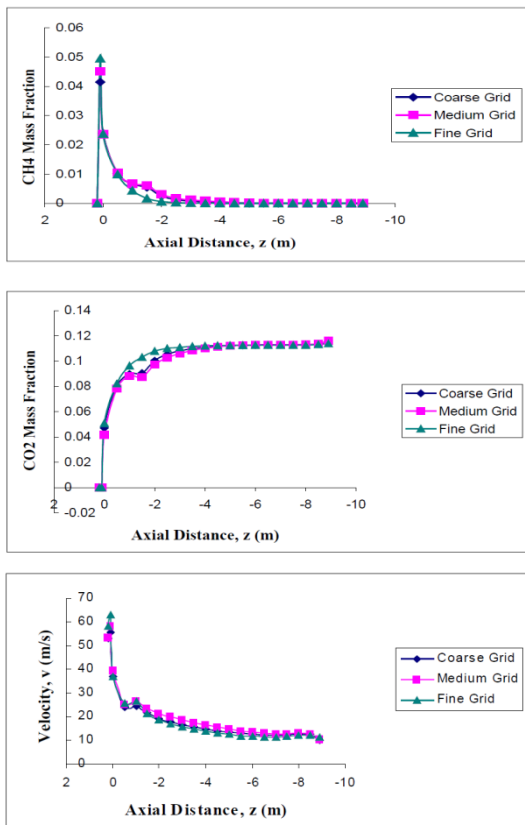
شکل 4: هندسه‌ی مشعل شبیه‌سازی شده و مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با دیگر مطالعات انجام شده

۳- بررسی نتایج

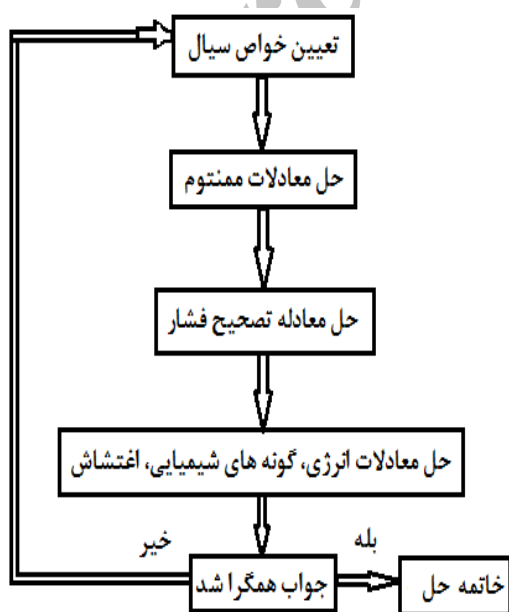
فرآیند انجام محاسبات با توجه به شکل (6) انجام می‌شود. در ابتدای حل خواص سیال کاری را با توجه به دما و فشار موجود در هر سلول محاسبه می‌شود. در مرحله بعدی معادله مومنتوم برای تعیین سرعت‌ها حل شده و در مرحله بعدی میدان فشار اصلاح می‌گردد. در مرحله آخر دیگر معادلات حاکم شامل انرژی، گونه‌های شیمیایی و اغتشاش حل خواهند شد. برای حل معادلات حاکم از روش حجم محدود و الگوریتم SIMPLE استفاده شده است. این روش ساده-ترین و البته از کاراترین روش‌ها برای حل معادلات ناویر-استوکس است. استفاده از این روش برای جریان‌های تک‌فاز و همچنین جریان‌هایی که کوپلینگ بین سرعت و فشار شدید نیست توصیه می‌شود.

شکل (7) کانتورهای دما را در دو صفحه دلخواه در بویلر نشان می‌دهد. هنگامی که محصولات از مشعل وارد بویلر می‌شوند دارای دمای محیط بوده و سپس ناگهان با ایجاد شعله دمای آنها به مقداری در حدود 2200 کلوین می‌رسد. در محفظه احتراق میانی دمای سیال بسیار بالاست و در هنگام عبور از روی لوله‌ها حرارت خود را از دست می‌دهند. از جمله نکات قابل توجه دیگر طول تقریبی شعله است که در حدود 60٪ طول بویلر را در بر می‌گیرد.

داد. همچنین با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی می-توان به مطالعه پارامتریک یک بویلر به منظور یافتن بهترین شرایط کارکردی پرداخت و از انجام آزمایشات ضروری که پرهزینه و زمان‌بر است اجتناب کرد.



شکل 5: مقایسه نتایج محاسبات بالا، کسر جرمی متان وسط، کسر جرمی دی اکسید کربن پایین، سرعت سیال برای شبکه سه بعدی



شکل 6: فلوچارت شبیه‌سازی انجام شده

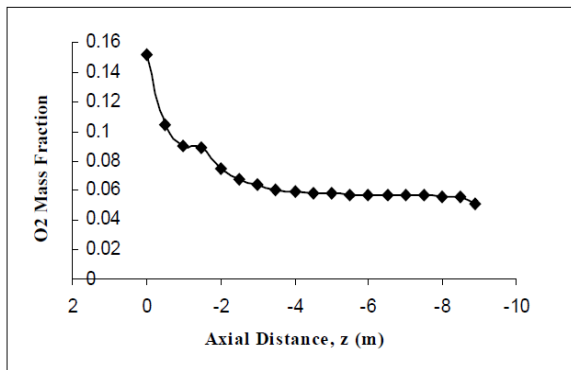
در شکل (8) کانتورهای کسر جرمی اکسید نیتروژن در دو صفحه دلخواه در بویلر نشان داده شده است. حداکثر مقدار NO_x تولید شده تقریباً برابر 0.00129 است و همان‌طور که انتظار می‌رفت در مرکز مشعل و محفظه احتراق اتفاق می‌افتد (به علت وجود حداکثر دمای سیال در این منطقه). همان‌طور که از شکل مشخص است مقدار NO_x در نزدیکی ورودی مشعل اندک است و در نوک شعله به حداکثر مقدار خود می‌رسد. بعد از این ناحیه با کاهش دمای سیال مقدار آلاینده‌ی NO_x نیز کاهش می‌یابد. شکل‌های (9) تا (12) تغییرات کسر جرمی گونه‌های مختلف شیمیایی دخیل در واکنش احتراق را در محور مرکزی مشعل تا انتهای بویلر نشان می‌دهند. هنگامی احتراق صورت می‌پذیرد کسر جرمی متان به صورت سریع کاهش می‌یابد. مقدار کسر جرمی اکسیژن نیز بعد از احتراق به مقدار ثابتی می‌رسد. میزان آلاینده‌ی NO_x وابسته به دمای محصولات احتراق و نسبت سوخت به هوا است. هنگامی که نسبت هوا به سوخت از مقدار استوکیومتریک بیشتر باشد تولید آلاینده NO_x کاهش می‌یابد. با افزایش نسبت سوخت به هوا نرخ انجام فرآیند احتراق کاهش می‌یابد و به تبع آن دمای شعله نیز پایین می‌آید. جدول (1) غلظت آلاینده NO_x را برای نسبت هوا به سوخت‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود حداکثر مقدار آلاینده‌ی NO_x در نسبت هوا به سوخت استوکیومتریک اتفاق می‌افتد.

جدول 1: مقادیر حداکثر و خروجی NO_x در بویلر

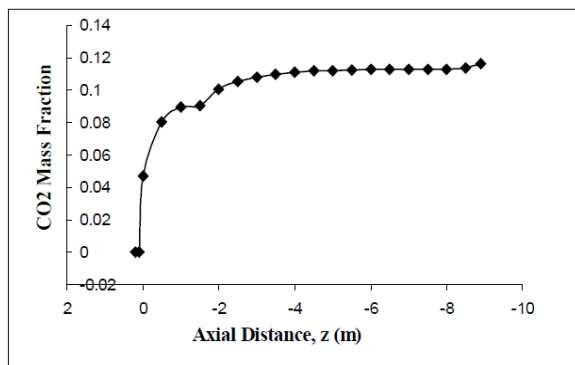
متغیر	حداکثر مقدار کسر جرمی NO_x
استوکیومتریک	0/00125
10٪ هوای اضافی	0/00069
35٪ هوای اضافی	0/00082

در نهایت با توجه به تحلیل عددی موجود، می‌توان غلظت NO_x ، سرعت و میزان واکنش، سرعت و میزان سوخت و هوای ورودی، حداکثر دمای شعله و در مجموع بهینه بودن فرآیند را مورد پایش نمود.

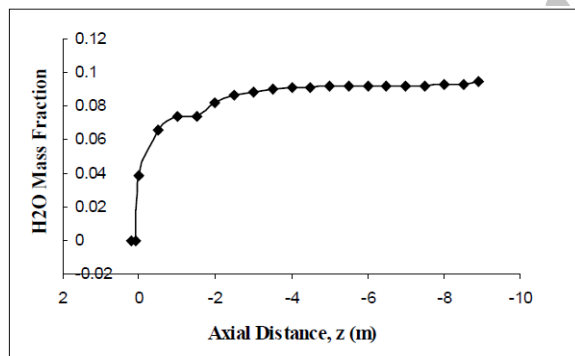
دینامیک سیالات محاسباتی سرعت، فشار و دمای سیال درون ناحیه محاسباتی که هندسه پیچیده و شرایط مرزی مختلفی را دارد تحلیل می‌کند. در حین تحلیل هندسه سیستم یا شرایط مرزی نظیر سرعت و دبی ورودی به راحتی قابل تغییر هستند تا بتوان اثرات آنرا بر روی الگوی جریان و انتقال حرارت یا توزیع گونه‌های شیمیایی مورد بررسی قرار



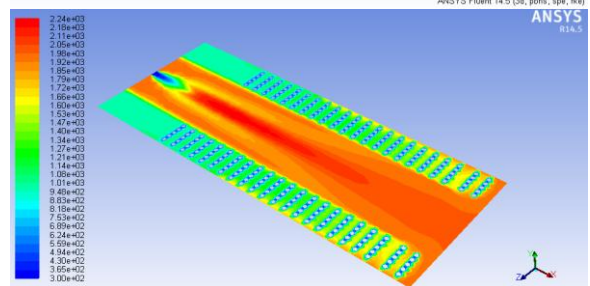
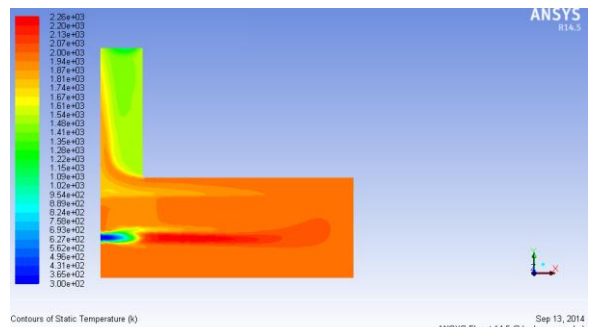
شکل 10: تغییرات کسر جرمی اکسیژن از محور مرکزی مشعل تا انتهای بویلر



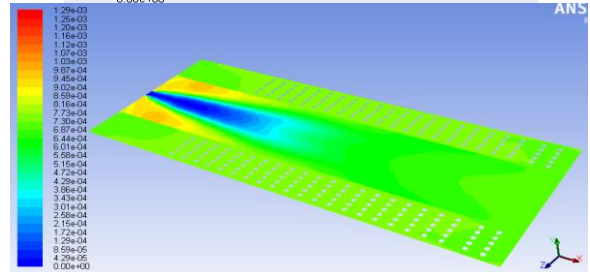
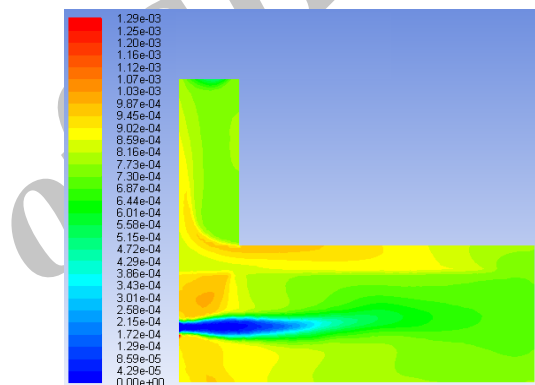
شکل 11: تغییرات کسر جرمی دی اکسید کربن از محور مرکزی مشعل تا انتهای بویلر



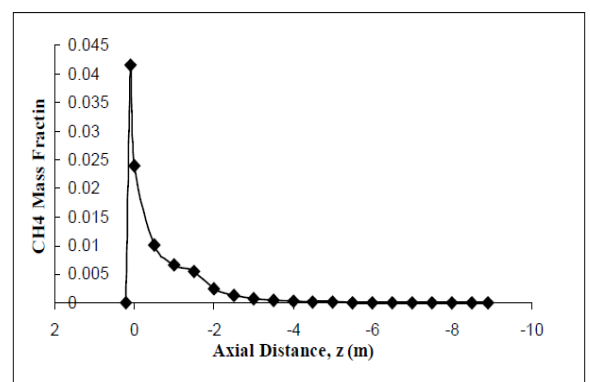
شکل 12: تغییرات کسر جرمی آب از محور مرکزی مشعل تا انتهای بویلر



شکل 7: کانتورهای دما در بویلر (a) خط مرکزی، (b) $y=0.3$



شکل 8: کانتورهای کسر جرمی اکسید نیتروژن در بویلر (a) خط مرکزی، (b) $y=0.3$



شکل 9: تغییرات کسر جرمی متان از محور مرکزی مشعل تا انتهای بویلر

جدول روابط

توضیحات	معادله	شماره
معادله مومنتوم با تحلیل لزجت $k - \varepsilon$	$-\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial \overline{\rho u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{\rho u_j}}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}$	1
معادله لزجت اغتشاش	$\mu_t = C_\mu \frac{f_\mu \rho k^2}{\varepsilon}$	2
معادله انرژی جنبشی	$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial \overline{\rho u_i k}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} + P_k - \rho \varepsilon$	3
معادله نرخ پراکندگی اغتشاش	$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \overline{\rho u_i \varepsilon}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - \rho C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}$	4
معادله کمکی جهت حل معادله انرژی جنبشی	$P_k = \overline{\rho u_i' u_j'} \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} = -\mu_t \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j}$	5
معادله انرژی	$(\alpha_p \rho_p h_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{v}_p \cdot h_p) = -\alpha_p \frac{\partial P_p}{\partial t} + \tau_p : \nabla \vec{v}_p - \nabla \cdot \vec{q}_p + SE_p$	6
معادله احتراق هیدروکربن‌ها	$C_x H_y + \left(x + \frac{y}{4} \right) O_2 = x CO_2 + \frac{y}{2} H_2O$	7
معادله‌های واکنش اکسیژن نیتروژن		8
		9
		10
معادله انتقال برای کسر جرمی	$\frac{\partial}{\partial t} (\rho m_l) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho m_l u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\rho D + \frac{\mu_t}{\sigma_m} \right) \frac{\partial m_l}{\partial x_i} \right] + R_l$	11
معادله نرخ محدود کننده واکنش آشفته‌گی جریان بر اساس داده‌های واکنش دهنده‌ها	$R_{l,r} = v'_{l,r} M_l A \rho \frac{\varepsilon}{k} \min \left(\frac{m_r}{v'_{R,r} M_R} \right)$	12
معادله نرخ محدود کننده واکنش آشفته‌گی جریان بر اساس داده‌های محصولات	$R_{l,r} = v'_{l,r} M_l A B \rho \frac{\varepsilon}{k} \frac{\sum_p m_p}{\sum_j v''_{j,r} M_j}$	13
نرخ خالص انجام واکنش	$R_l = M_l \sum_{r=1}^{N_R} R_{l,r}$	14
معادله تشعشع	$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{r}, \vec{s}) d\Omega'$	15

نیترژن دوازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی

مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳.

[12] عامری م.، " اثر نوع سوخت بر عملکرد و میزان

تولیدی توربین گاز " اولین کنفرانس احتراق ایران، دانشگاه

تربیت مدرس، ۱۳۸۴.

[13]. M.A. Rajhi, R. Ben-Mansour, M.A. Habib, M.A. Nemitallah, K. Andersson, Evaluation of gas radiation models in CFD modeling of oxy-combustion, Energy Conversion and Management Volume 81, May 2014, Pages 83–97.

[14] Yinhu Kang, Xiaofeng Lu, Quanhai Wang, Xuanyu Ji, Shanshan Miao, Chen Zong, Guangyu Luo, Hai Liu, An experimental and modeling study of *NOx* and *CO* emission behaviors of dimethyl ether (DME) in a boiler furnace, Fuel Processing Technology Volume 122, June 2014, Pages 129–140

[15]. J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook, Third Edition, Cambridge, Massachusetts, Phlogiston Press, 2008.

[16] I. Mohammadi, S. Hossainpour, The effects of chemical kinetics and wall temperature on performance of porous media burners. Heat and Mass Transfer 49 (2013) 869-877.

[17] D. Trimis, F. Durst, Combustion in a porous medium-advances and applications, Combustion Science and Technology, 121 (1996) 153-168.

مراجع

[1] G. H. Yeoh, R. K. K. Yuen, S. C. P. Chueng and W. K. Kwok, "On Modeling Combustion Radiation and Soot Processes in Compartment Fires," Building and Environment, 38, 2003, pp. 771-785

[2] Zhang M. , Yu J. , " A new flame sheet model to reflect the influence of the oxidation of CO on the combustion of a carbon particle " , Combustion and Flame, Vol 143, pp 150-158, 2005.

[3] Taha J. Taha, Arthur F. Stam, Kurt Stam, Gerrit Brem, CFD modeling of ash deposition for co-combustion of MBM with coal in a tangentially fired utility boiler, Fuel Processing Technology Volume 114, October 2013, Pages 126–134.

[4].Zahirovic, S., Scharler, R. and Obernberger, I., "Advanced CFD Modelling of Pulverised Biomass Combustion," Institute for Ressource Efficient and Sustainable Systems, Graz University of Technology, Graz, Asturia. BIOS Co,2004.

[5]. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2013.

[6]. C. R. Choi and C. N. Kim, "Numerical Investigation on the Flow Combustion and NOx Emission Characteristics in a 500 MWe Tangentially Fired Pulverized-Coal Boiler," Fuel, 88, No. 9, 2009, pp. 1720-1731.

[7] M. Rahimi, S. M. Shariati and A. Khoshhal, "Investigation of Combustion and Transport Phenomena in Bistoun Power Plant Using CFD," 10th Congress of Chemical Engineering, Sistan and Baluchestan University, Sistan and Baluchestan, Iran, November 2005, (in Farsi).

[8] S. Falahatkar and H. Ahmadikia, "Developing a New Method for Prevention of Superheater Tubes Destruction in Boiler," Second Conference of Power Plant Industrial, Sharif University, Tehran, November 2010, (in Farsi).

[9] Wojciech P. Adamczyk, Gabriel Węcel, Marcin Klajny, Paweł Kozolub, Adam Klimanek, Ryszard A. Białeckia, Modeling of particle transport and combustion phenomena in a large-scale circulating fluidized bed boiler using a hybrid Euler–Lagrange approach, Particuology Available online 15 January 2014 In Press, Corrected Proof —Note to users

[10] Estrada D.A. ,Paz-Zavala C. D. " Application of chemical equilibrium for hydrocarbon isomerization analysis " , Fuel, 2006.

[11] ابراهیمی ر.، آقا نجفی س.، " بازسوزش روشی موثر

در کاهش در بویلرهای نیروگاهی " ، (NOx) اکسیدهای