مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس سوخت و احتراق ایران
۲۵ و ۲۴آبان ۱۳۹۶، ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف
FCCI-۲۰۱۸-۱۰۳۵

مطالعه عددی تأثیر آرایش مشعل های محفظه احتراق بر توزیع دما و تولیدآلاینده ها

سجاد عموشاهی
کارشناسی ارشد- دانشگاه شهرکرد
Amooshahi۸۷۸sajad@gmail.com

فرزانه جمال نیا
کارشناسی- دانشگاه فردوسی
f.jamalnia@gmail.com

مرتضی بیاره
استادیار- دانشگاه شهرکرد
m_bayare@yahoo.com

چکیده

استفاده از هندسه های مختلف در محفظه احتراق توربین های گازی به دلایل تسهیل ساخت، افزایش راندمان و کاهش تولید آلاینده ها صورت می گیرد. یکی از پارامترهایی که سبب تغییر محسوس از لحاظ هندسی و احتراقی محفظه می گردد، آرایش مشعل های محفظه احتراق است. در این پژوهش، با استفاده از شبیه سازی عددی توسط نرم افزار فلوئنت، اثر آرایش مشعل ها بر دمای خروجی محفظه احتراق و میزان تولید آلاینده بررسی شده است همچنین اثر پارامترهایی چون سرعت هوای ورودی، چرخش هوای ورودی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد محفظه احتراق با ۴ مشعل دارای کمترین دما و تولید آلاینده در خروجی می باشد.

کلمات کلیدی: احتراق – آلاینده –شبیه سازی عددی – محفظه احتراق- مدل اشفتگیε - K

مقدمه

محفظه های احتراق به عنوان اجزایی که در تمام موارد وابسته به صنعت احتراق نقش مهمی دارند، نیازمند توجه و بررسی های مطالعاتی بیشتری هستند نقش مهم محفظه های احتراق در صنعت به خصوص در نیروگاه تولید برق، لزوم توجه به کاهش تولید آلودگی این اجزا را بیشتر روشن می کند.

با توجه به هزینه بالای مطالعات آزمایشگاهی، استفاده از شبیه سازی عددی به عنوان یک ابزار سودمند در مطالعات مقدماتی مطرح است. هر چند به علت فرآیند های فیزیکی و شیمیایی فراوانی که در آن رخ می دهد (مانند جریان آشفته، احتراق، انتقال حرارت تابشی و همچنین تداخل و پیوستگی این موارد با یکدیگر) شبیه سازی عددی نیز کاری دشوار است.

در طراحی یک محفظه احتراق متغیرها و پارامترهای متعددی نظیر اطمینان از احتراق کامل سوخت، ایجاد فضای مورد نیاز در کوچکترین حجم ممکن، افت فشار کم، توزیع یکسان درجه حرارت در خروجی محفظه احتراق، کنترل دمای قطعات به کار رفته در ساختمان یک محفظه احتراق، پایداری شعله، عدم تشکیل کک و سایر اکسیل های سوخت، حداقل بودن میزان گازهای سمی در محصولات احتراق و غیره در نظر گرفته می شود [۱]. گاز سمی منواکسید کربن که از احتراق ناقص سوخت های کربن دار به دست می اید در انتقال اکسیژن توسط خون اخلال ایجاد می‌کند[۲].

ازدیگر پارامتر های مؤثر بر طراحی یک محفظه احتراق پارامتر های هندسی است. پارامترهای هندسی به طور کلی بر تولید آلاینده های گوناگون و سوختن کامل سوخت و همچنین اختلاط کامل و مناسب سوخت و هوا تأثیر مستقیم دارد. که از مهمترین عامل مؤثر در طراحی هندسه محفظه احتراق آرایش و تعداد مشعل ها است[۳].

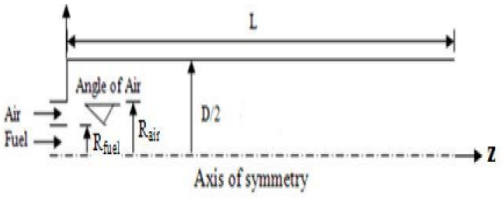
کرمر و همکاران [۴] با استفاده از شبیه سازی عددی، اثر طراحی یک کوره ذوب شیشه را بر روی تشکیل اکسید نیتروژن مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که افزایش ارتفاع محفظه احتراق، سبب کاهش اکسید نیتروژن خروجی از کوره می شود. اشنایدر و بوگدان [۵] نیز اثر تعداد مشعل های حاوی سوخت سنگین و گاز طبیعی را بر تولید آلاینده ها، در یک کوره مورد بررسی قرار دادند. نتایج انها نشان داد با افزایش مشعل های حاوی گاز طبیعی انتشار آلاینده ها کاهش می یابد. حبیب و همکاران [۶] شبیه سازی عددی اثر زاویه چرخش بر غلظت No خرجی از محفظه احتراق یک بویلر صنعتی را مورد مطالعه قرار داند نتایج این بررسی نشان داد به ازای زاویه چرخش ۴۵ درجه، NO حرارتی دارای یک مینیمم است. در این مقاله، بهینه سازی اثر طول محفظه احتراق بر تولید منواکسید کربن و دوده با استفاده از شبیه سازی عددی بررسی شده است.

در تحقیق حاضر یک محفظه احتراق استوانه ای با تقارن محوری با ساده سازی هندسه در نظر گرفته شده و احتراق سوخت متان با هوا در آن برای چهار آرایش مختلف مشعل های محفظه احتراق مورد مطالعه قرار گرفته است. تعداد مشعل ها دراین شبیه سازی ها یک، چهار، شش، و یا هشت مشعل است.

هندسه وابعاد محفظه احتراق محاسباتی

شکل (۱) محفظه احتراق را در حالت دو بعدی نشان می دهد که به دلیل تقارن محوری، از حالت سه بعدی، به دو بعدی تقلیل پیداکرده است.

مطابق شکل اندازه قطر ورودی سوخت و هوا به ترتیب۱۰۰میلی متر و ۳۰۲ میلی متر است. طول محور ۲۰۰۰ میلیمتر و قطر آن ۱۵۰۰ میلی متر است.



شکل ۱- طرح کلی هندسه مورد مطالعه

معادلات حاکم بر جریان احتراقی و جدا سازی معادلات

احتراق و جریان های واکنشی در بسیاری از وسایل و تجهیزات مانند کوره ها، موتورهای احتراق داخلی، توربین های گاز، موشک ها و... مورد استفاده قرار می گیرند. امروزه طراحی وسایل با احتراق تمیز و بدون آلاینده و همچنین با بازده بالا از اهداف پژوهشگران و طراحان سیستم های احتراقی است.

در این قسمت، ابتدا معادلات حاکم بر جریان سیال و نحوه مدل سازی اثر اغتشاشات مورد بررسی قرار می گیرند. در ادامه با استفاده از اصول اساسی

بقاء جرم، مومنتوم و انرژی پایه های ریاضی لازم جهت فرم جامع و کلی مدل های جریان سیال و انتقال حرارت بیان خواهد شد[۷]. پس از آن معادلات پیوستگی، ممنتوم و انرژی حاکم بر فاز گاز به ترتیب به صورت زیر است:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(\rho v)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{r\theta}(\rho w)+\frac{\partial}{\partial\theta}(\rho u)=0 \qquad (1)$$

X-momentum (۲)

$$\left\{\frac{1}{r}\frac{\partial(\rho vu)}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial(\rho vu)}{\partial\theta}+\frac{\partial(\rho uu)}{\partial x}\right\} = -\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left\{r\mu\left\{\frac{\partial u}{\partial r}+\frac{\partial v}{\partial x}\right\}\right\} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}\left\{\mu\left\{\frac{\partial}{r\partial\theta}+\frac{\partial w}{\partial x}\right\}\right\}+\frac{\partial}{\partial x}\left\{2\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right\}$$

R-momentum (۳)

$$\left\{\frac{1}{r}\frac{\partial(\rho vu)}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial(\rho vu)}{\partial\theta}+\frac{\partial(\rho uv)}{\partial x}-\frac{\rho v^2}{r}\right\}=-\frac{\partial p}{\partial r}+ \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left\{2r\mu\frac{\partial v}{\partial r}\right\}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}\left\{\mu\left\{r\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{w}{r}\right]+\frac{1}{r}\frac{\partial v}{\partial\theta}\right\}\right\}-\frac{2\mu}{r}\left\{\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial\theta}+\frac{v}{r}\right\}$$

$\theta - momentum$ (۴)

$$\left\{\frac{1}{r}\frac{\partial(\rho vw)}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial(\rho ww)}{\partial\theta}+\frac{\partial(\rho uw)}{\partial x}+\frac{\rho vw}{r}\right\}=-\frac{1}{r}\frac{\partial p}{\partial\theta}+ \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left\{r\mu\left\{r\frac{\partial(\frac{w}{r})}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial v}{\partial\theta}\right\}\right\}+\frac{\mu}{r}\left\{r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{w}{r}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial v}{\partial\theta}\right\}+ \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}\left\{\mu\left\{\frac{2}{r}\frac{\partial w}{\partial\theta}+\frac{2v}{r}\right\}\right\}+\frac{\partial}{\partial x}\left\{\mu\left\{\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial\theta}\right\}\right\}$$

در این پایان نامه از مدل K -ε استفاده شد. به همین جهت در ادامه توضیح مختصری در رابطه با مدل K -ε استاندارد و فرمول بندی ان می پردازیم. معادلات دقیقK - ε حاوی بسیاری از اصطلاحات ناشناخته و غیرقابل اندازه گیری است، بنابراین برای به حداقل رساندن نادانسته ها و ارائه مجموعه ای از معادلات که می تواند به تعداد زیادی از شبیه سازی های اشفته اعمال شود.

برای انرژی سینماتیکی اشفته(K):

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\frac{\mu_t}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+2\mu_t E_{ij}E_{ij}-\rho\varepsilon$$

برای گسسته سازی ϵ :

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial\varepsilon}{\partial j}\right]+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}2\mu_t E_{ij}E_{ij} - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}$$

u_i نشان دهنده جزء سرعت در جهتi

E_{ij} نشان دهنده نرخ تغییر شکل

μ_t نشاندهنده ویسکوزیته گردابی

$$\mu_t = C_D\rho k^2/_{\varepsilon}$$

$$C_\mu = 0.09 \quad \sigma_k=1.00 \quad \sigma_\varepsilon = 1.3 \quad C_{1\varepsilon} = 1.44$$
$$C_{2\varepsilon} = 1.92$$

ویژگی های ساختاری محفظه و شرایط تست

مدل مورد بررسی یک نمونه محفظه احتراق حلقه استوانه ای است. در شکل (۱) دستگاه انجام آزمایش و لاینر محفظه که قسمت مورد شبیه سازی می باشد، نشان داده شده است. لاینر محفظه تشکیل شده است از یک استوانه که قطر آن (mm)۷۵ است. یک جریان یکنواخت از هوا از سوراخی به قطر(mm)۱۵ در مرکز ورودی استوانه قرار دارد که هوای مورد نیاز احتراق را تأمین می کند. سوخت (پروپان) از طریق ۸ سوراخ به قطر (mm)۱,۷ تحت زاویه مخروطی ۳۰ درجه به صورت یکنواخت که در اطراف سوراخ مرکز استوانه که ورودی هوا می باشد قرار دارند وارد محفظه می شود. تا چرخش لازم برای پایداری شعله را داشته باشد.

شرایط مرزی سوخت و هوای ورودی در جدول ۱ زیر نشان داده شده است.

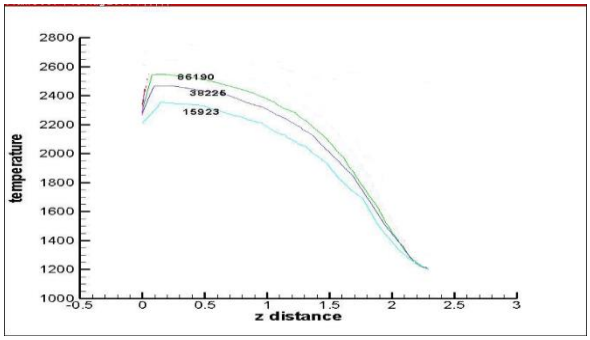
جدول۱: شرایط سوخت و هوای ورودی

دمای هوای ورودی(k)	فشار (KPa)	نسبت هوا به سوخت	نرخ جریان هوا(kg/s)	نرخ جریان سوخت (m³/s)
۵۷۵	۷,۰۲۶	۱۰	۴۳,۳	۸

باتوجه به این نکته که بررسی دمای خروجی و تولید آلاینده ها بر اساس آرایش و تعداد مشعل ها مد نظر است در این تحقیق به بررسی و مقایسه محفظه احتراق با یک، چهار، شش و هشت مشعل پرداخته می شود. که اعداد موجود در جدول فوق مربوط به سوخت و هوای کلی است و با توجه به اینکه دبی کل سوخت یکسان باقی می ماند، چون در محفظه احتراق با چهار مشعل مساحت ورودی سوخت نسبت به محفظه احتراق با هشت مشعل نصف می شوند سرعت ها دو برابر خواهند شد و در بقیه محفظه ها به همین صورت است.

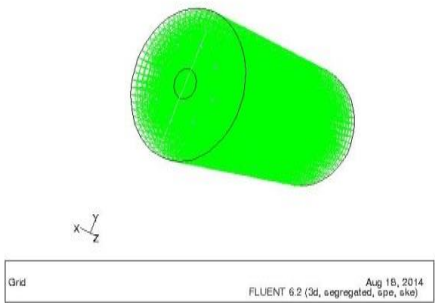
مراحل مختلف شبکه بندی

سه شبکه با تعداد۱۵۹۲۳، ۳۸۲۲۶، ۸۶۱۹۰ ایجاد شد که مطالعه شبکه در این شکل نشان دهنده تغییرات دما بر حسب فاصله محوری Z برای احتراق در محفظه احتراق با هشت مشعل است. شکل نشان می دهد که با تغییرات دما برای ۸۶۱۹۰ المان و ۳۸۲۲۶ المان چندان زیاد نیست و بنابراین در شبیه سازی ها از شبکه با ۳۸۲۲۶ المان استفاده خواهد شد. شبکه ایجاد شده در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل۲. نمودار بررسی استقلال از مش

در شـکل (۳) شـبکه ایجاد شده توسط نرم افزار و شکل هندسه مشاهده می گردد.



شکل۳. شبکه مورد استفاده برای شبیه سازی فرآیند احتراق

نتایج

دراین بخش به بررسی نتایج بدست آمده از شبیه سازی عددی در مورد اثر آرایش مشعل ها بر تولید و انتشار آلاینده هایی مانند مونوکسید کربن، دی اکسید کربن و تولید یکی از مهمترین آلاینده ها یعنی NO_x و همچنین اثر آرایش مشعل بر توزیع و میانگین دمای خروجی از محفظه احتراق پرداخته می شود.

بررسی ها همانطور که توضیح داده شد بر روی محفظه ی احتراق با ۱، ۴، ۶، ۸ عدد مشعل سوخت انجام گرفت. در ادامه نتایج بدست آمده به تفکیک آورده شده است.

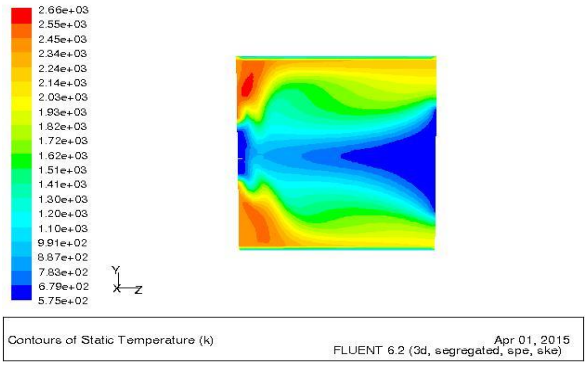
در جدول ۲ نتایج برای میانگین دما در مقطع خروجی در سه حالت مختلف برای هوای ورودی آورده شده است. با مقایسه حالت های مختلف می توان مشاهده کرد که با افزایش زاویه چرخش، دمای خروجی کاهش پیدا کرده و با کاهش سرعت محوری در اندازه سرعت ثابت، دمای خروجی افزایش پیدا کرده است. با افزایش زاویه چرخش اختلاط سوخت و هوا کاهش پیدا کرده و این موضوع سبب کاهش دما در محفظه احتراق می شود و همچنین با کاهش سرعت در راستای محوری و در نتیجه افزایش سرعت شعاعی، اختلاط سوخت و هوا بهتر صورت می گیرد، و سوخت کامل تر می سوزد و در نتیجه میانگین دمای بیشتری در خروجی محفظه احتراق خواهیم داشت. علاوه بر آن در جدول (۲)می توان مشاهده کرد بیشترین دمای خروجی به محفظه احتراق دارای یک مشعل مربوط می شود. زیرا بیشترین سرعت ورودی برای محفظه دارای یک مشعل می باشد و در نتیجه جریان برگشتی در خروجی آن کمترین مقدار خواهد بود که این عامل سبب افزایش دمای خروجی می شود. همچنین علی رغم اینکه سرعت ورودی برای محفظه احتراق دارای ۸ مشعل کمترین می باشد زیرا سرعت ها به نسبت مشعل ها کاهش می یابد اما اختلاط مناسب سوخت و هوا سبب شده که دمای خروجی بیشتری نسبت به محفظه احتراق دارای چهار و شش مشعل داشته باشد.

همچنین مشاهده می گردد در محفظه احتراق با تعداد چهار مشعل با آرایش متقارن در شرایط مختلف هوای ورودی کمترین میانگین دما در خروجی محفظه احتراق رخ می دهد. زیرا نسبت به حالت شش مشعل، نرخ اختلاط سوخت و هوا برای آن کمتر می باشد و کاهش سرعت محوری را نیز نسبت به حالت یک مشعل دارا می باشد.

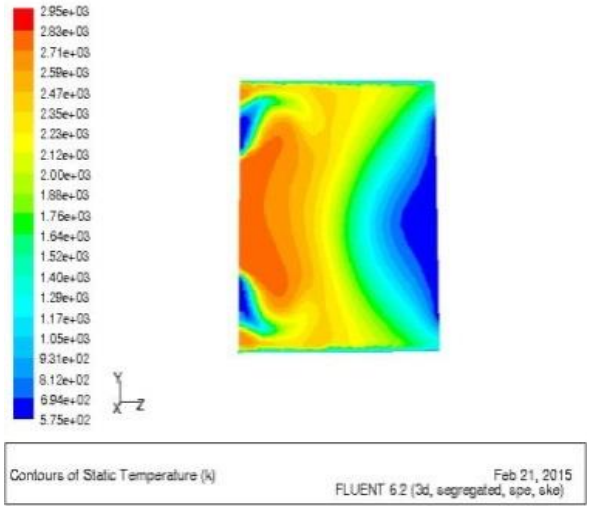
جدول ۲: مقایسه میانگین دما در خروجی بر حسب تعداد مشعل ها

شرایط بررسی نتایج	یک مشعل	چهار مشعل	شش مشعل	هشت مشعل
سرعت هوای ورودی با عدد چرخش (۰,۶)	۱۳۸۹,۸۹ (k)	۸۵۹,۴۲ (k)	۹۸۲,۸۲ (k)	۱۲۴۶.۹ (k)
سرعت هوای ورودی با عدد چرخش(۰,۸)	۱۳۴۰,۵۱ (k)	۷۳۹,۴۲ (k)	۷۸۱,۶۵ (k)	۹۹۷,۹۱ (k)
کاهش سرعت محوری هوای ورودی به ازای اندازه سرعت ثابت	۱۱۲۹,۴۰ (k)	۸۶۷,۴۸ (k)	۱۰۲۶,۶۹ (k)	۱۳۴۳,۱ (k)

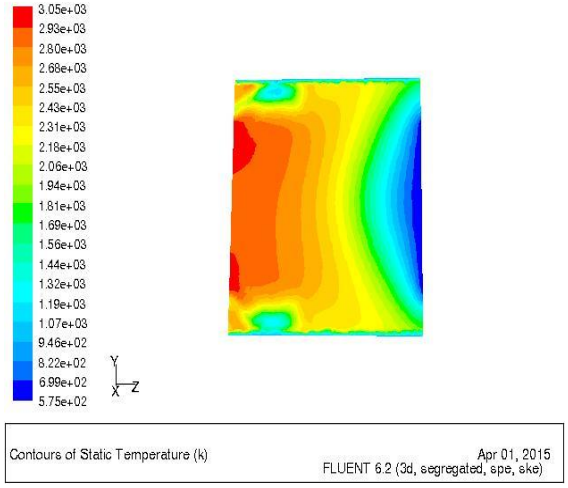
در ادامه کانتور های دما مربوط به آرایش های مختلف مشعل در محفظه احتراق آورده شده است(شکل های ۴تا ۷). می توان مشاهده کرد که با افزایش تعداد مشعل ها، دما در نواحی مرکزی افزایش می یابد که با افزایش تعداد مشعل ها اختلاط سوخت و هوا بهتر صورت می گیرد و باعث می شود دما در نواحی مرکزی محفظه احتراق بیشتر شود. و همچنین باید به این نکته اشاره کرد که در محفظه دارای هشت مشعل، توزیع دما یکنواخت تر از آرایش های دیگراست.



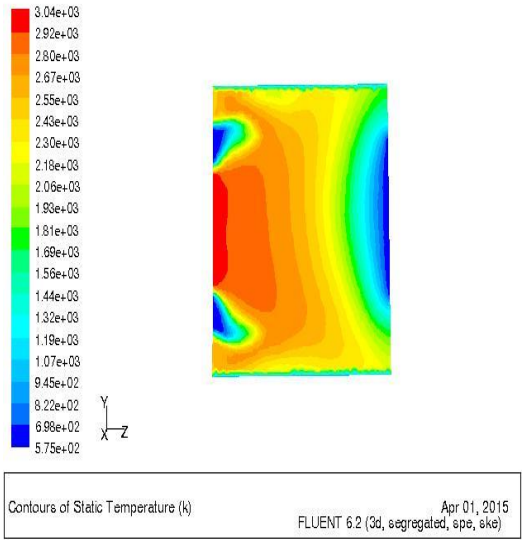
شکل۴. کانتور های مربوط به محفظه احتراق با ۱ مشعل



شکل۵. کانتور مربوط به محفظه احتراق با ۴ مشعل



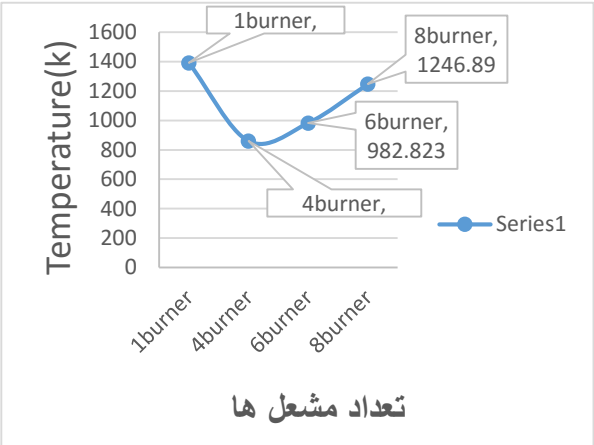
شکل۶. کانتور دما مربوط به محفظه احتراق با ۶ مشعل



شکل۷. کانتور دما مربوط به محفظه احتراق با ۸ مشعل

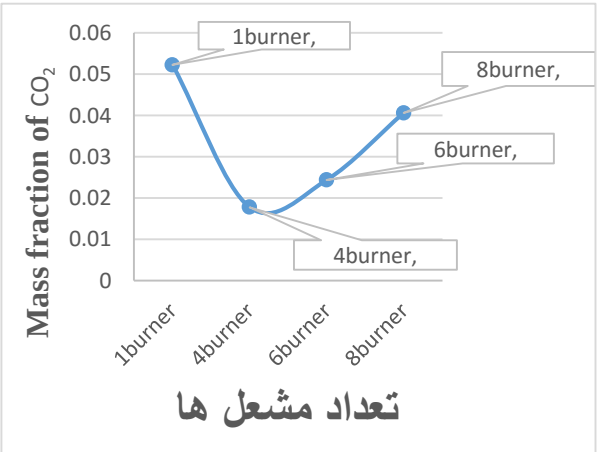
نمودار های زیر مربوط به سرعت اولیه و عدد چرخش ۰٫۶ برای سرعت هوای ورودی و عدد چرخش ۱٫۲ برای سرعت ورودی سوخت است که در ادامه برای مقایسه ابتدا با تغییر سرعت هوای ورودی و سپس با تغییر عدد چرخش برای هوای ورودی ، نتایج بررسی خواهد شد.

در شکل ۸ نمودار دما بر حسب تعداد مشعل مشخص شده است. با توجه به شکل، مشاهده می گردد در محفظه احتراق با چهار مشعل، کمترین دمای خروجی حاصل خواهد شد و بیشترین دمای خروجی به محفظه احتراق با یک مشعل مربوط می شود زیرا بیشترین سرعت ورودی برای این محفظه است، و در نتیجه جریان برگشتی در خروجی آن کمترین مقدار خواهد بود که این عامل سبب افزایش دمای خروجی می شود. همچنین علی رغم اینکه سرعت ورودی برای محفظه احتراق دارای هشت مشعل کمترین مقدار را دارد، اما اختلاط مناسب سوخت و هوا سبب شده که دمای خروجی بیشتری نسبت به محفظه احتراق دارای چهار و شش مشعل داشته باشد.



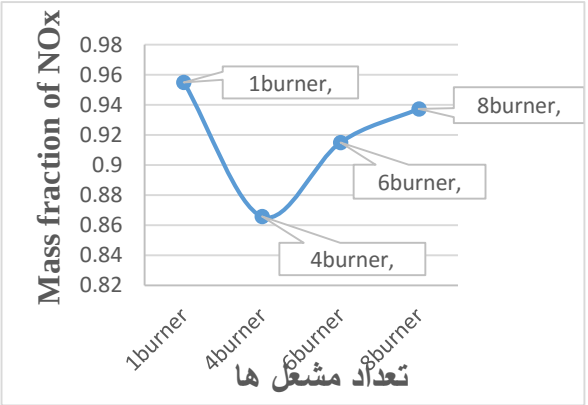
شکل۸. نمودار دما

در شکل (۹)، نمودار آلاینده CO_2 آورده شده است. می توان دریافت که در محفظه احتراق با چهار مشعل، کمترین تولید CO_2 و بیشترین تولید CO_2 به محفظه احتراق با یک مشعل مربوط می شود، زیرا بیشترین سرعت ورودی در این محفظه است و در نتیجه جریان برگشتی در خروجی آن کمترین مقدار را خواهد داشت که این عامل سبب افزایش دما و تولید CO_2 بیشتر می شود. همچنین علی رغم اینکه سرعت ورودی برای محفظه احتراق دارای هشت مشعل کمترین مقدار را دارد، اختلاط مناسب سوخت و هوا و در نتیجه احتراق کامل وهمچنین تأثیرات دمایی مشعل ها بر یکدیگر سبب افزایش دما و در نتیجه تولید بیشتر CO_2 نسبت به محفظه احتراق دارای چهار و شش مشعل می شود.



شکل۹. نمودار کسر جرمی CO_2 بر حسب تعداد مشعل ها

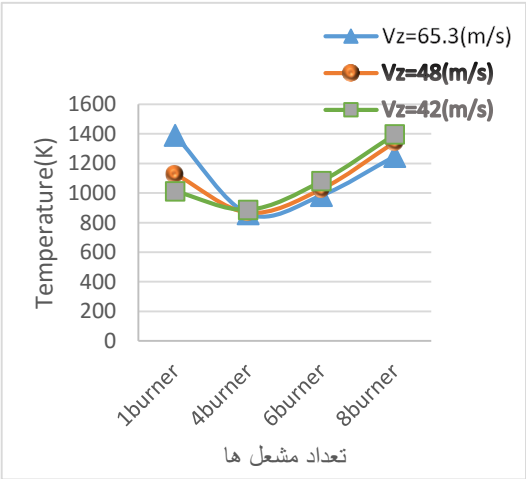
شکل(۱۰)، مربوط به آلاینده NO_x است. با توجه به نمودار های بدست آمده، محفظه احتراق با چهار مشعل دارای کمترین و محفظه احتراق با یک مشعل دارای بیشترین تولید آلاینده NO_x هستند زیرا تولید NO_x وابستگی زیادی به دما دارد و در دماهای بالاتر، نرخ تولید NO_x بیشتر است، در نتیجه رفتار نمودار NO_x به ازای تعداد مشعل های مختلف مشابه رفتار نمودار دما می باشد.



شکل۱۰. نمودار کسر جرمی NO_x بر حسب تعداد مشعل ها

در شکل(۱۱)، میانگین دما در خروجی برای سرعت های محوری مختلف هوای ورودی در اندازه سرعت ثابت نشان داده شده است.

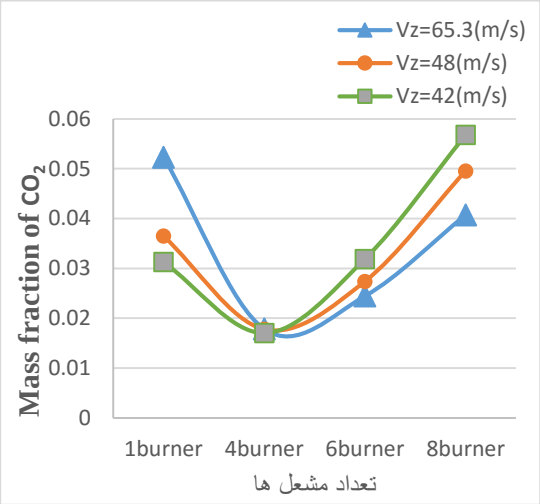
مشاهده می گردد که با کاهش سرعت در راستای محور طولی، دما در محفظه های احتراق دارای شش و هشت مشعل افزایش می یابد، چون با کاهش سرعت، سرعت شعاعی در نتیجه اختلاط سوخت و هوا افزایش می یابد و این موجب افزایش دمای خروجی می شود. ولی در محفظه با یک مشعل اثر عکس دارد و با کاهش سرعت محوری و افزایش سرعت شعاعی دما کاهش می یابد، در این حالت کاهش سرعت محوری باعث می شود جریانات برگشت پذیر خروجی افزایش پیدا کرده و دمای خروجی کاهش می یابد. همچنین برای محفظه دارای چهار مشعل، کاهش سرعت محوری از یکسو به دلیل افزایش سرعت شعاعی سبب افزایش اختلاط سوخت و هوا می شود و از سوی دیگر سبب افزایش جریان برگشتی در خروجی می گردد که در مجموع کاهش سرعت محوری برای محفظه دارای چهار مشعل، تأثیری بر دمای خروجی محفظه ندارد.



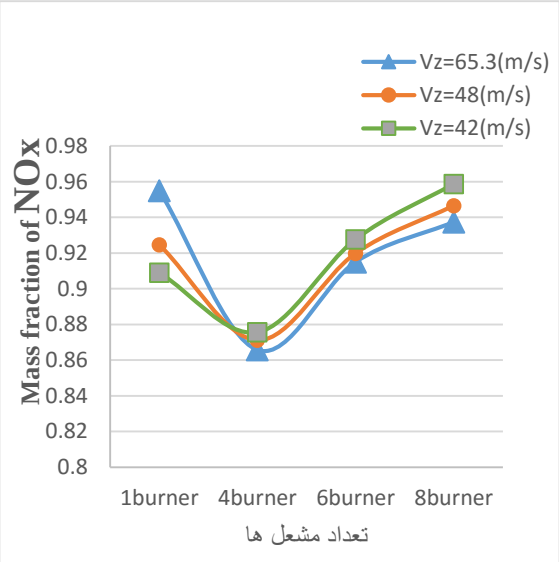
شکل ۱۱. تغییرات دما بر حسب تعداد مشعل ها

در شکل های (۱۲) و (۱۳)، آلاینده های مختلف بر حسب تعداد مشعل را نشان می دهند می توان مشاهده کرد که با کاهش سرعت محوری (V_z) برای محفظه دارای شش و هشت مشعل تولید NO_x و CO_2 افزایش می یابد زیرا طبق شکل(۱۱)، با کاهش سرعت محوری، دمای خروجی افزایش می یابد و دمای بیشتر نشان دهنده

احتراق کامل تر و تولید CO_2 بیشتر است. همچنین تولید NO_x رابطه مستقیم با دما دارد. اما در محفظه با یک مشعل چون سرعت محوری کاهش پیدا می کند، جریانات برگشتی افزایش پیدا می کند و سبب کاهش دمای محفظه احتراق شده و تولید آلاینده NO_x و CO_2 کاهش پیدا می کند و همانطور که در شکل (۱۱)، بیان شد برای محفظه با چهار مشعل، از کاهش سرعت محوری تأثیری بر دمای خروجی ندارد و در نتیجه تأثیری بر تولید آلاینده ها نیز نخواهد داشت.



شکل ۱۲. کسر جرمی CO_2 بر حسب تعداد مشعل ها

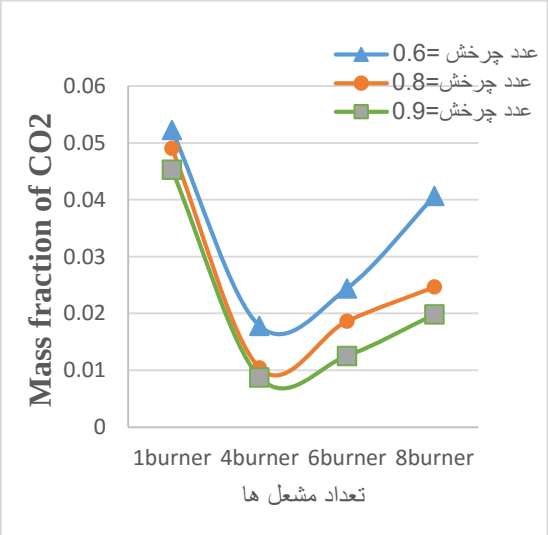


شکل۱۳. کسر جرمی NO_x بر حسب تعداد مشعل ها

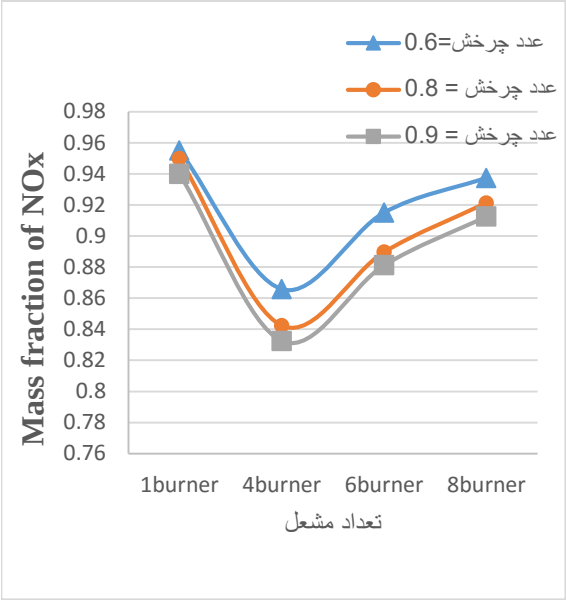
در شکل(۱۴)، اثر سه مقدار عدد چرخش هوای ورودی بر میانگین دمای خروجی محفظه احتراق نشان داده شده است. که با مقایسه این سه حالت می توان مشاهده کرد که با زیاد شدن زاویه چرخش، میانگین دمای محفظه احتراق در خروجی کاهش پیدا می کند، زیرا با افزایش زاویه چرخش، اختلاط سوخت و هوا کاهش می یابد. همچنین مشاهده می گردد با افزایش تعداد مشعل ها، تغییر عدد چرخش تأثیر بیشتری بر دمای خروجی دارد که می تواند به دلیل تأثیر بیشتر عدد چرخش بر اختلاط سوخت و هوا و میزان جریان برگشتی با افزایش تعداد مشعل ها باشد.

شکل۱۴. تغییرات دما بر حسب تعداد مشعل ها برای مقادیر مختلف عدد چرخش

در شکل های (۱۵) و (۱۶) تغییرات آلاینده های مختلف بر حسب تعداد مشعل نشان داده شده است. مشاهده می شود تغییرات آلاینده ها با افزایش تعداد مشعل ها و افزایش زاویه چرخش مشابه تغییرات دما است که قبلاً در این خصوص توضیح داده شده است.



شکل۱۵.تغییرات کسر جرمی CO_2 بر حسب تعداد مشعل ها در مقادیر مختلف عدد چرخش



شکل ۱۶. تغییرات کسر جرمی NO_x بر حسب تعداد مشعل ها در مقادیر مختلف عدد چرخش

نتیجه گیری:

در این مقاله، اثر آرایش مشعل ها و نیز سرعت و چرخش هوای ورودی بر میزان تولید آلاینده ها و نیز دمای خروجی محفظه احتراق بررسی شد، دریافتیم که هر چه زاویه چرخش هوا بیشتر باشد، میانگین دما در خروجی کمتر و تولید آلاینده ها کمتر است. با مقایسه هایی که صورت گرفت محفظه دارای یک مشعل مرکزی، کاهش سرعت ورودی هوا در راستای محور طولی محفظه احتراق کاهش میانگین دمای خروجی و تولید آلاینده را به همراه خواهد داشت. در آرایش های با شش و هشت مشعل، این روند به صورت عکس می باشد. همچنین برای محفظه دارای چهار مشعل، مشاهده گردید کاهش سرعت محوری، تأثیری بر دما و تولید آلاینده در خروجی ندارد.

همچنین، شبیه سازی ها نشان دادند که توزیع دما در محفظه احتراق، با افزایش تعداد مشعل ها دارای یکنواختی بیشتری می گردد و توزیع دمایی مناسب تری را نتیجه می دهدکه به طور کلی، در محفظه احتراق با چهار مشعل دمای میانگین کمتر و تولید آلاینده نسبت به آرایش های دیگر کمتر است.

فهرست علائم:

توضیحات	نشانه
زمان(ثانیه)	t
دما(کلوین)	T
طول(متر)	L
تنش محوری	σ
تنش برشی	τ
چگالی()	ρ
اتلاف ویسکوز	φ
انرژی	E
مؤلفه x سرعت	u
مؤلفه y سرعت	v
مؤلفهZ سرعت	w
فشار استاتیکی	P
ویسکوزیته	μ

مراجع:

[۱] هادی رضایی۱۳۸۸؛ " بررسی تاثیر پارامترهای هندسی محفظه احتراق برعملکرد با استفاده از شبیه سازی عددی بر میزان غلظت و نشت مواد آلاینده " دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، پایلن نامه کارشناسی ارشد.

[۲]Welburn, A., ۱۹۸۸. *Air pollution and acid rain: the biological impact*. Longman Scientific & Technical.

[۳] علیرضا محمدی؛ "بررسی تاثیر پارامترهای هندسی محفظه احتراق بر رفتار شعله و توزیع دما و آنالیز اگزرژی مشعل های کم پیچش پیش آمیخته" دانشکده مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی۱۳۸۶.

[٤]Kremer, H., May, F. and Wirtz, S., ۲۰۰۱. The influence of furnace design on the NO formation in high temperature processes. *Energy conversion and management*, ٤۲(۱٥), pp.۱۹۳۷-۱۹٥۲.

[٥]Schneider, D.R. and Bogdan, Ž., ۲۰۰۷. Effect of heavy fuel oil/natural gas co-combustion on pollutant generation in retrofitted power plant. *Applied thermal engineering*, ۲۱(۱۱), pp.۱۹٤٤-۱۹٥۰.

[٦]قصابی, قدرت, پورحسینی حصاری, سیدهادی, فتوحی and مقیمان, ۲۰۱۱, February. بهینه سازی اثر طول کوره بر انتشار آلایندهها در کورههای تونلی سوخت مایع. In *اولین کنفرانس علوم حرارتی ایران*.

[۷]Kim, H.S., Shin, M.S., Jang, D.S., Choi, Y.C. and Lee, J.G., ۲۰۰٥. Numerical study for the combustion characteristics of Orimulsion fuel in a small-scale combustor. *Applied thermal engineering*, ۲٥(۱۷), pp.۲۹۹۸-۳۰۱۲.

[۸]Khan, I.M. and Greeves, G., ۱۹۷٤. A method for calculating the formation and combustion of soot in diesel engines. *Heat transfer in flames*, ۲٥.