Archive of SID

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال سوم، شماره‌ی۹
زمستان ۱۳۹۰، صفحات ۲۱-۱۷

بررسی اثر پیش‌گرمایش هوای ورودی به مشعل و امکان کاهش آلاینده‌ها

زهره رحیمی اهر
گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

لیلی رحیمی اهر
گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

محبوبه مرادی شهر بابکی
گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

چکیده

دلیل عمده آلودگی هوا در مناطق صنعتی از جمله مراکز پتروشیمی و پالایشگاه‌ها در ایران، احتراق نامناسب سوخت در مشعل‌ها در فازهای پالایشگاهی و مجتمع‌های پتروشیمی است. رایج‌ترین روش جهت افزایش راندمان حرارتی مشعل‌ها، پیش گرم کردن سوخت و اکسید کننده ورودی به کوره توسط انرژی موجود در گازهای حاصل از احتراق است. لیکن مهم‌ترین اشکال این روش افزایش حداکثر دمای شعله و در نتیجه افزایش تولید گازهای آلوده کننده هواست. با عنایت به بدیهی بودن نقش مخاطره‌آمیز اکسیدهای ازت و مونوکسیدکربن در آلودگی‌های زیست محیطی، یافتن راه‌هایی برای کاهش انتشار گازهای مضر و نیز مطالعه عملکرد دستگاه‌های آلاینده صنعتی با اهمیت است و تلاش بر این است که با طراحی مناسب و کنترل شرایط دمایی هر منطقه، افزایش تولید گازهای سمی مهار شود. در این تحقیق با استفاده از مدل دینامیک سیالات محاسباتی[1] مشعل‌ها[2]، به مطالعه اثر پیش گرمایش هوای ورودی یک نمونه مشعل مورد استفاده در صنایع پرداخته شده است و هدف رسیدن به پاسخ این پرسش است: آیا انجام عمل پیش گرمایش با در نظر گرفتن فاکنور آلایندگی محیط زیست کار درستی است یا نه. نتایج مدل‌سازی با مقایسه غلظت گونه‌هایی مانند CO و NO_x ارزیابی شده است.

کلید واژه‌ها: مشعل‌های صنعتی، دینامیک سیالات محاسباتی، انتشار CO و NO_x

[1]CFD:Computational Fluid Dynamics
[2]Non-premixed burner

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

میزان تولید و انتشار گازهای آلاینده در سیستم‌های گرمایشی بستگی به نوع مشعل استفاده شده در سیستم دارد و بهبود بازده احتراق برای کاهش مصرف سوخت و انتشار گازهای آلوده‌کننده یک موضوع کلیدی در تحقیقات احتراق است [۱]. مشعل در حقیقت وسیله‌ای برای ایجاد احتراق و تابش است. هر مشعل بهینه و کارآمد، سوخت را با یک عامل محرک اکسیداسیونی به نسبتی درمی‌آمیزد که مخلوط حاصل در محدوده شعله‌وری قرار گیرد و احتراق یکنواخت ایجاد شود. مشعل باید با نسبتی سوخت و عامل اکسیدکننده را تغذیه کند که احتراق به صورت کامل انجام شده و پس‌رفت شعله به داخل مشعل (یا منبع سوخت) رخ ندهد [۲]. واضح است که در نتیجه احتراق محصول حاصل از احتراق دمای بالایی دارد. در صنایع از این دمای بالا برای پیش گرمایش سوخت یا هوای ورودی به مشعل استفاده می‌شود. پیش گرمایش گرچه ممکن است دمای بالای احتراق را ایجاد کند ولی این دمای بالا باعث تولید و انتشار گازهای آلاینده می‌شود که سلامتی انسان را تهدید می‌کند.

شاغلان صنعت نفت و مردم منطقه صنعتی تنها در روزهای بارانی و یا روزهایی که باد به شدت می‌وزد هوایی سالم تنفس می‌کنند و البته تعداد این روزها نیز در سال انگشت شمارند. کارشناسان معتقدند نتیجه این وضعیت، علاوه بر بروز بیماری‌های تنفسی و ریوی، باعث تشکیل باران‌های اسیدی حاصل از واکنش‌های اکسید سولفور و نیتروژن با رطوبت موجود در هوا می‌شود که از دیگر عارضه‌های آلودگی هوای مناطق صنعتی است که به هنگام نزولات جوی، این رحمت الهی را تبدیل به سمی زیان‌بار می‌کند و موجب فرسودگی تجهیزات، آسیب‌رسانی جدی به حیات گیاهان، تغییرات بیولوژیک و شیمیایی در خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. عدم وجود ثبات در قیمت سوخت، افزایش شدید آن طی سه دهه اخیر و سیاست‌های جدید در زمینه‌های زیست محیطی شامل تولید گازهای آلاینده باعث شده است که هر ساله تحقیقات بسیاری در زمینه پیشرفت و بهبود تکنولوژی به کار رفته در مشعل‌های صنعتی و کنترل آن‌ها انجام شود [۳].

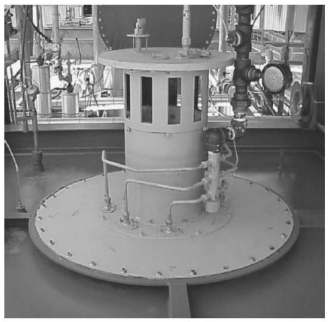
بنابراین مطالعه و طراحی دستگاه‌های آلاینده هوا بسیار مهم می‌باشد کاری که در تحقیق حاضر ترکیب علم شیمی و دینامیک سیالات محاسباتی انجام می‌دهد.

پیشرفت‌های زیادی در سطح شبیه‌سازی محاسباتی به دست آمده است که نقش کلیدی در بهبود طراحی مشعل داشته‌اند. داده‌های به دست آمده از شبیه‌سازی برای سازنده‌های مشعل با ارزشند و باعث تولید مشعل‌هایی با انتشار آلایندگی کم شده‌است [۴]. طراحی مشعل از نقطه نظرهای مصرف سوخت و اثرات زیست محیطی کارکرد آن بسیار با اهمیت است [۵].

تجهیزات و روش‌ها

تجهیزات

شکل (۱) قسمتی از کوره مورد تست و مشعل گازی نصب شده روی آن را نشان می‌دهد. مشعل دارای نازل تزریق سوخت است که امکان تزریق سوخت با زوایای مختلف به داخل مشعل و محفظه احتراق را دارد. هر کدام از این نازل‌ها سر لوله‌های گاز قرار دارند. در این کار تحقیقاتی، شبیه‌سازی برای حالت ورود هوا با دمای محیط و دمایی بالاتر از دمای محیط انجام شده و با توجه به پارامتر انتشار آلودگی[3] که فاکتور مهمی در طراحی مشعل‌های صنعتی است اثر پیش گرمایش هوا بررسی شده است. در صنایع، پیش گرمایش از طریق گازهای گرم خروجی از کوره امکان‌پذیر است.



شکل۱: مشعل گازسوز [۴]

[3] NO_x– CO emission

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌ها

مدل‌سازی عددی

مشعل مورد مطالعه ما یک مشعل از پیش اختلاط نیافته است که در نرم افزار فلوئنت با تعریف شرایط درست احتراق و حل معادلات مربوطه به قرار زیر مدل شده است:

شبکه‌بندی هندسی در نرم افزار Gambit2.3.16 و مدل‌سازی در Fluent6.3.26 انجام شده‌است. بعد از ساختن هندسه در پیش پردازنده گمبیت و مش‌بندی و تعریف هر کدام از شرایط مرزی، فرایند احتراق در نرم‌افزار فلوئنت انجام شده است. دمای دیواره‌ها در مشعل و کوره ۱۱۰۰ درجه کلوین و ضریب نشر دیوارها ۰/۶ می‌باشد. دمای ورودی سوخت ۳۰۰ درجه کلوین می‌باشد. ترکیب گاز مورد استفاده شامل گازهای متان، اتان، پروپان و نیتروژن و دی‌اکسیدکربن می‌باشد. شرایط مرزی برای تمامی مرزهای ورود و خروج سیستم از جمله دبی سوخت و دمای دیواره‌ها با توجه به سیستم واقعی که در پالایشگاه استفاده می‌شود، تعریف شده است [۶]. بعد از تعریف تمامی موارد فوق برنامه اجرا شده و نتایج بدست آمده است.

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان به قرار زیر می‌باشد [۷]:

معادله بقای جرم (پیوستگی)، معادله بقای ممنتوم، معادله بقای انرژی، معادله حاکم برای انتقال حرارت تشعشعی.

مدل‌سازی NO_x

از مکانیزم تشکیل NO_x حرارتی[۴]، برای پیش‌بینی تولید NO_x استفاده شده‌است. تشکیل NO_x از مولکول‌های نیتروژن با مکانیسم زلدویچ[۵] در دماهای بالا و طبق واکنش‌های زیر انجام می‌گیرد [۸]:

$$O+N_2 \xrightarrow{k_1} N+NO \quad (۱)$$

$$O + N_2 \underset{k_{-1}}{\longleftarrow} N + NO \quad (۲)$$

$$O_2+N \xrightarrow{k_2} O+NO \quad (۳)$$

$$O_2 + N \underset{k_{-2}}{\longleftarrow} O + NO \quad (۴)$$

$$OH+N \xrightarrow{k_3} H+NO \quad (۵)$$

$$OH + N \underset{k_{-3}}{\longleftarrow} H + NO \quad (۶)$$

ثابت‌های واکنش با معادلات زیر بدست می‌آید:

$$k_1 = 1.8 * 10^8 e^{\frac{-38370}{T}} \quad (۷)$$

$$k_{-1} = 3.8 * 10^7 e^{\frac{-425}{T}} \quad (۸)$$

$$k_2 = 1.8 * 10^8 e^{\frac{-38370}{T}} \quad (۹)$$

$$k_{-2} = 1.8 * 10^8 e^{\frac{-20820}{T}} \quad (۱۰)$$

$$k_3 = 7.1 * 10^7 e^{\frac{-450}{T}} \quad (۱۱)$$

$$k_{-3} = 1.7 * 10^8 e^{\frac{-24560}{T}} \quad (۱۲)$$

طبق مکانیسم ذکر شده سرعت تولید اکسیدهای نیتروژن چنین تعریف می‌شود:

$$\frac{dNO}{dt} = k_1[O][N] + k_2[N][O_2] + k_3[OH][N] - k_{-1}[NO][N] - k_{-2}[NO][O] - k_{-3}[NO][H] \quad (۱۳)$$

نتایج و بحث

در این تحقیق دبی گاز ۰/۰۰۲ کیلوگرم بر ثانیه است، مدل‌سازی احتراق برای حالت ورود استوکیومتریک هوا یک‌بار در دمای محیط و بار دیگر با افزایش دمای هوا به اندازه ۵۰ درجه کلوین انجام شده است و بعد از حل معادله مربوط به NO_x نتایج مربوط به آلاینده‌ها به دست آمده است. در ابتدا اثر تغییر میزان دمای هوای ورودی بر روی توزیع حرارت باید بیان شود، این تغییر اثر حرارت تولیدی در داخل کوره را روی میزان تولید آلاینده اکسیدهای نیتروژن و مونوکسیدکربن آشکار می‌کند. محصول فرآیند احتراق در دو حالت متفاوت است.

[4] Thermal NO_x
[5] Zeldovich mechanism

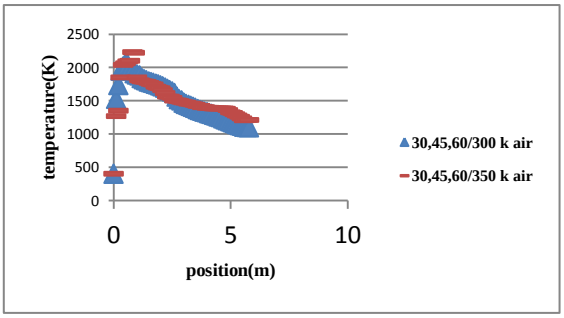
www.SID.ir

Archive of SID

انتشار NO_x به اتمسفر یک دغدغه بزرگ از اوایل سال ۱۹۷۰ بوده است و امروزه در کل جهان قوانینی در مورد میزان انتشار آن وجود دارد. مقدار آلاینده مجاز برای فرآیند احتراق دارای محدودیت‌هایی می‌باشد [۹]. محدودیت‌های انتشار معمولاً بر حسب ppm بیان می‌شوند [۱۰]. این مقدار مجاز در هر کشوری متفاوت می‌باشد. بر اساس منابع موجود حداکثر میزان تولید و انتشار NO_x کمتر از ۳۵۰ ppm و CO کمتر از ۱۵۰ ppm می‌باشد [۱۱ و ۱۲].

بررسی اثر افزایش دمای هوای ورودی بر دمای شعله و توزیع حرارت

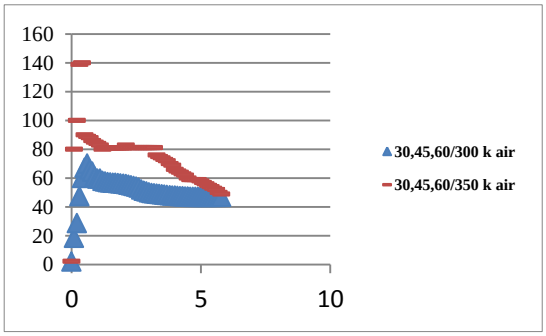
همان‌طوری که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود با افزایش دمای هوای احتراق از ۳۰۰ درجه کلوین به ۳۵۰ درجه کلوین دمای احتراق افزایش می‌یابد و ناحیه گرم توسعه قابل توجهی یافته است. باتوجه به نمودار می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دمای هوای مصرفی به اندازه ۵۰ درجه کلوین بر مقدار افزایش دما در طول خط مرکزی محفظه احتراق تأثیر دارد. دمای داخل محفظه احتراق نزدیک دیواره‌ها در بازه دمایی ۱۲۲۰–۱۳۱۲ درجه کلوین می‌باشد و از نقطه نظر طراحی دمای بالایی است [۶]. از این نظر استفاده از هوای پیش گرم شده برای کوره‌های پالایشگاهی مناسب نمی‌باشد.



نمودار ۱. نمودار مقایسه اثر افزایش دمای هوا بر توزیع دمای داخل کوره بر حسب کلوین روی خطی در مرکز مشعل و محفظه احتراق

بررسی اثر افزایش دمای هوای ورودی بر انتشار اکسیدهای نیتروژن

اکسیدهای نیتروژن یا NO_x شامل اکسید نیتریک و دی‌اکسید نیتروژن می‌باشد که اکسید نیتریک آلاینده اصلی حاصل از پدیده احتراق است. مشعل‌ها منبع بزرگ تولید آلاینده اکسیدهای نیتریک می‌باشند و باید عملکرد و طراحی آن‌ها با استانداردهای کشورها هم‌خوانی داشته باشد. تشکیل آلاینده‌های نیتروژنی یک فرایند پیچیده است که به وسیله پدیده احتراق و آیرودینامیک سیستم تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در دمای بالای ۱۸۰۰ درجه کلوین پیوند سه‌گانه نیتروژن موجود در هوای احتراق، نیتروژن موجود در گاز طبیعی مصرفی، اکسیژن موجود در هوا و نیز اکسیژن حاصل از فرایند احتراق باعث تولید اکسیدهای نیتروژن می‌شود. این دمای بالا قادر به شکستن پیوند سه‌گانه نیتروژن می‌باشد. با توجه به نمودار ۲ ملاحظه می‌شود که انتشار آلاینده NO_x به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. قبلاً ذکر شد که تولید NO_x حرارتی شدیداً وابسته به دما است. پس انتظار می‌رود که افزایش دمای هوای ورودی باعث افزایش تولید NO_x شود. همان‌طور که مشاهده شد دمای حاصل از احتراق بالا بود و این بالا بودن دما شرایط را برای تشکیل اکسیدهای نیتروژن مساعد کرد و باعث افزایش مقدار انتشار این آلاینده شد. در این حالت میزان تولید و انتشار آن تا ۱۴۸ ppm بالا رفته است.



نمودار ۲. نمودار اثر افزایش دمای هوا بر کسر مولی NOx بر حسب ppm روی خطی در مرکز مشعل و محفظه احتراق

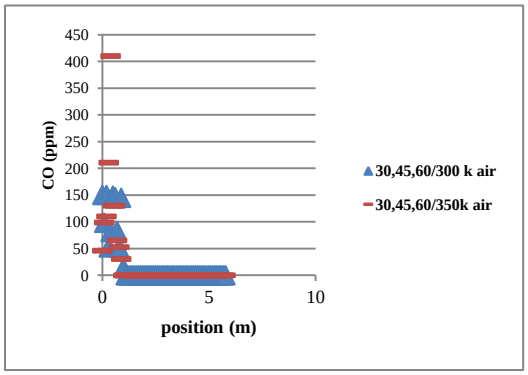
بررسی اثر افزایش دمای هوای ورودی بر انتشار مونواکسید کربن

با توجه به نمودار ۳ ملاحظه می‌شود که انتشار آلاینده CO در اطراف شعله به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. این

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش در فاصله ۴۰ سانتی‌متری شعله برابر ۴۱۰ppm است که بیش از مقدار مجاز و استاندارد تعریف شده می‌باشد ولی در نواحی دیگر در حد مجاز می‌باشد.



نمودار ۳. نمودار اثر افزایش دمای هوا بر کسر مولی CO بر حسب ppm روی خطی در مرکز مشعل و محفظه احتراق

نتیجه‌گیری

طراحی درست مشعل علاوه بر صرفه‌جویی مصرف سوخت، در کاهش انتشار آلاینده‌ها نیز موثر است. باتوجه به توضیحات مذکور اهمیت دمای شعله که دمای داخل محفظه احتراق را تحت تأثیر قرار می‌دهد و تولید و انتشار آلاینده‌ها نیز متأثر از این فاکتور می‌باشد، آشکار می‌گردد. همان‌طور که ذکر شد محدودیت‌هایی از نظر انتشار آلایندگی برای دستگاه‌های صنعتی وجود دارد و این دستگاه‌ها باید در حد مجاز و استاندارد فعالیت کنند. با توجه به داده‌های صنعتی و اطلاعات تجربی مربوط به استاندارد مشعل‌ها بیشینه مقدار انتشار NO_x کمتر از ۳۵۰ ppm و CO کمتر از ۱۵۰ ppm می‌باشد. خلاصه‌ای از نتایج به قرار زیر می‌باشد:

با پیش گرمایش هوا دمای شعله بالا رفت و این دمای بالا باعث افزایش میزان تولید و انتشار آلاینده‌ها شد. بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش دمای هوای ورودی از نقطه نظر قوانین و استانداردهای موجود و قابل قبول در جوامع فرایند درستی نیست ولی متأسفانه در صنایع برای حصول دمای بالای حاصل از احتراق و بالا بردن راندمان از فرایند پیش گرمایش استفاده می‌شود.

منابع

[1]. Bhoi P.R, Channiwalab S.A, Optimization of producer gas fired premixed burner, (2007).

[۲]. علی اکبر جمالی، معرفی سیر تکوینی مشعل‌های صنعتی تا شکل‌گیری سامانه‌های احتراقی بدون شعله، نخستین همایش مشعل و کوره‌های صنعتی، (۱۳۹۰).

[3]. Naftnews.net

[4]. Baukal. Charles E, Jr, Ph.D., P.E, Industrial Burners Handbook, (2003).

[5]. Hayes R.R, Brewster S, Webb B.W, McQuay M.Q, Huber A.M, Crown incident radiant heat flux measurement in a regenerative, gas-fired, flat-glass furnace, Elsevier Science Inc., (2001).

[6]. Burner design manuals.Tabriz refinery company, Iran, (2010).

[7]. FLUENT 6.3 User's Guide, Lebanon, NH 03766, (2006).

[8]. Zeldovich YB. The oxidation of nitrogen in combustion and explosions. Acta Physicohimica USSR 21:577–628, (1946).

[9]. Sloss LL. Trends in emission standards. London: IEA Coal Research; (2003).

[10]. [11]. Directive 2001/80/EC of the European parliament and of the council, (2001).

[11]. Standard of industrial burners, API Fired Data Sheet, (2009).

[12]. Standard of industrial burner, manual of Tabriz refinery, (2010)

[۱۳]. علی اکبر جمالی، بررسی تحلیلی امکان کاهش NO_x در سامانه‌های احتراقی، نخستین همایش مشعل و کوره‌های صنعتی، (۱۳۹۰).

www.SID.ir