



بررسی اثر تاثیر زاویه‌ی تزریق سوخت در انتشار آلاینده‌ی زیست محیط NO_x در کوره‌های صنعتی با استفاده از CFD

زهرا پیرزادی

گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران
Z.pirzadi@yahoo.com

رامین زادغفاری

گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران
Ramin.zadghaffari@yahoo.com

چکیده

کوره‌ها در فرآیندهای پتروشیمی پالایشگاهی از مهم‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی هستند. مصرف انواع حامل‌های انرژی به‌خصوص سوخت-های فسیلی، مهم‌ترین عامل آلودگی هوا و تغییرات آب و هوایی می‌باشد. احتراق، نخستین منبع تولید انرژی است که بشر به آن دست یافته است. امروزه بیش از ۹۵ درصد انرژی جهان از احتراق فراهم می‌شود، اما بیش‌تر فرآیندهای احتراق بر محیط زیست اثرهای زیان‌آوری دارد، از این رو لازم است این گونه فرآیندهای نامطلوب به پایین‌ترین حد نیل پیدا کنند. عوامل مختلفی بر فرآیند احتراق موثرند، از جمله‌ی این عوامل می‌توان به زاویه‌ی تزریق سوخت اشاره کرد. در این تحقیق تاکید بر اثر زاویه‌ی تزریق سوخت از برنر تیپ با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و هدف یافتن بهترین هندسه‌ی تیپ برنر برای کاهش آلاینده‌ها می‌باشد.

کلید واژه: احتراق، آلاینده‌ها، برنر تیپ، کوره

مقدمه

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho k) + \frac{\partial y}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial y}{\partial x}[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_i}] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (1-1-2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial y}{\partial x}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial y}{\partial x}[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} C_b) - G_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (2-1-2)$$

μ_t از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu_t = \frac{k^2}{\varepsilon} \rho C_\mu \quad (3-1-2)$$

معادله‌ی حاکم برای انتقال حرارت تشعشعی انتقال حرارت تابشی یکی از گونه‌های مهم انتقال حرارت در طراحی سیستم‌های احتراقی نظیر کوره‌ها و اتاق‌های احتراق است. معادله‌ی انتقال تابش شامل جذب، نشر و بازتاب در مکان I و جهت S به صورت زیر است:

$$\frac{dI(s, \omega)}{ds} = -(\kappa + \sigma)I(s, \omega) + \kappa I_b + \frac{\sigma}{4\pi} \int_{4\pi} I(s, \omega) \Phi d\omega \quad (1-2-2)$$

ترم سمت چپ معادله گرادیان شدت در جهت خاص را نشان می‌دهد. سه ترم سمت راست معادله شدت تغییرات جذب، پخش بیرونی، انتشار و پخش به درون را به ترتیب نشان می‌دهد.

از روش P1 برای حل معادله انتقال تشعشع و مدل WSGGM برای بررسی اثر تشعشعی گازهای غیر خاکستری استفاده شده است.

مدل غیر پیش‌آمیخته

در مدل‌سازی احتراق غیر پیش‌آمیخته از مدل کسر مخلوط استفاده شده است. غلظت گونه‌ها را می‌توان از توزیع کسر مخلوط به دست آورد. کسر مخلوط به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f = \frac{Z_i - Z_{i,ox}}{Z_{i,fule} - Z_{i,ox}} \quad (1-3-2)$$

احتراق یا سوختن سلسله واکنش‌های پیچیده‌ی شیمیایی گرمایی است که بین یک سوخت (معمولاً هیدروکربن) و یک اکسیدکننده رخ می‌دهد و همراه با تولید حرارت یا حرارت و نور به صورت گداختی یا شعله می‌باشد. فرآیند احتراق از جمله فرآیندهایی است که منجر به تولید آلاینده‌های محیط زیست می‌شود. بدین منظور جهت صرفه جویی در مصرف انرژی و حصول راندمان بالا و از همه مهم‌تر کنترل و کاهش آلودگی ناشی از احتراق تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است. بخش قابل توجهی از آلاینده‌های مهم هوا از احتراق سوخت گاز تولید و به هوا انتشار پیدا می‌کند. سوخت گاز به طور گسترده‌ای در کوره‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکسیدهای نیتروژن از مهم‌ترین آلاینده‌های انتشار یافته از شعله‌های سوخت‌های گاز در کوره‌ها می‌باشند. احتراق سوخت گاز به وسیله‌ی پارامترهای شناخته شده‌ای از جمله زاویه‌ی پاشش سوخت کنترل می‌شود. زاویه‌ی پاشش توسط نازل مشعل انجام می‌پذیرد.

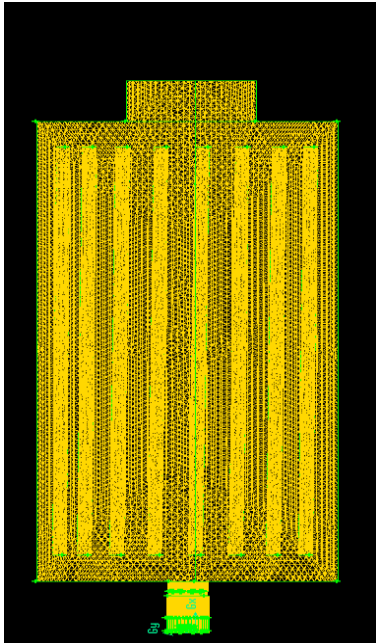
معادلات حاکم

معادله بقای ممتنم

برای مدل کردن رفتار سیالاتی در فلونت از حالت $k-\varepsilon$ استاندارد استفاده شده است که در آن‌ها حل دو معادله معجزای انتقال اجازه می‌دهد سرعت آشفستگی و مقیاس طول، به صورت مستقل تعیین شوند. مدل $k-\varepsilon$ در فلونت در این دسته مدل‌ها قرار می‌گیرد و سهم زیادی از محاسبات کاربردی مهندسی جریان را به خود اختصاص داده است

معادلات انتقال k و ε در زیر آمده است:

و از شرط مرزی فشار خروجی در خروجی استفاده شده است. در صفحه ی میانی محفظه ی احتراق نیز از شرط مرزی تقارن استفاده شده است. شکل ۴-۱ هندسه و شبکه بندی کوره را نشان می دهد.



شکل (۴-۱): هندسه و شبکه بندی کوره

نتایج مستقل از شبکه ارائه شده است به طوری که به ازای کوچک تر نمودن شبکه تغییری در نتایج صورت نگردد. مدل های استفاده شده در نرم افزار فلوئنت در جدول الف در پیوست آمده است.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق اثر زاویه ی پاشش سوخت بر روی میزان آلاینده ی NO_x بررسی شده است. نتایج برای انتشار NO_x در ۴ زاویه ی مختلف در نمودار (۵-۱) نشان داده شده است.

نمودار ۵-۱ غلظت اکسیدهای نیتروژن بر حسب ppm برای چهار زاویه ی پاشش سوخت نشان داده شده است و نتایج زیر به دست آمده است:

چنانچه ضرایب نفوذ همه ی گونه ها برابر باشد آن گاه معادله ی فوق برای تمامی گونه ها یک سان بوده و تعریف کسر مخلوط یک سان است. هم چنین کسر مخلوط کسر جرمی گونه ای است که از جریان سوخت سرچشمه گرفته است.

مدل سازی NO_x

از مکانیزم تشکیل NO_x حرارتی (Thermal NO_x) برای پیش بینی تولید NO_x استفاده شده است. معادله انتقال NO به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_{NO}) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} Y_{NO}) = \nabla \cdot (\rho D \nabla Y_{NO}) + S_{NO} \quad (2-4-1)$$

S_{NO} ترم چشمه است که به وسیله مدل های مربوط به مکانیزم های مختلف تشکیل NO مشخص می شود.

هندسه ی مورد مطالعه

در این تحقیق یک کوره ی صنعتی موجود در پالایشگاه تبریز مورد مطالعه قرار گرفته است.

کوره ی شبیه سازی شده، کوره ای استوانه ای شکل است که در آن سوخت از ابتدای کوره و به صورت محوری وارد می شود. هوا نیز از طریق دریچه هایی که در پایین مشعل تعبیه شده است وارد کوره می شود.

مدل سازی

جهت محاسبات عددی میدان جریان از نرم افزار Fluent 13 استفاده گردیده است. به این منظور ابتدا مدل سه بعدی در نرم افزار گمبیت ترسیم و محل قرارگیری مشعل ها و کانال خروجی گازهای احتراقی مشخص شده است. سوخت و هوا از طریق مجراهای جداگانه در مشعل ها به درون محفظه ی احتراق تزریق می شوند. سلول های استفاده شده برای شبکه بندی از نوع تراهیبرید انتخاب و از ۶۵۰۰۰۰۰ سلول محاسباتی تشکیل شده است. از شرایط مرزی سرعت ورودی در ورودی سوخت و هوا با سرعت هوا مساوی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه

انتشار مجاز NO_x ، میزان این آلاینده در زاویه‌ی تزریق فوق در حد مجاز می‌باشد و نشان دهنده‌ی این است که واکنش احتراق در شرایط مناسبی انجام شده است.

جدول (الف): مدل‌های استفاده شده در شبیه‌سازی

Pressure based	حل کننده
Implicit	روش فرمول بندی
Standard k,ε	مدل آشفتگی
P1	مدل تشعشع
WSGGM	روش محاسبه ضریب جذب محیط واسط در مدل تشعشعی
۰/۶	ضریب نشر دیواره‌ها

مراجع

[1] A. O. Nieckele, M. F. Naccache, M. S. P. Gomes, Combustion performance of an aluminium melting furnace operating with natural gas and liquid fuel, Applied Thermal Engineering, 31 (2011) 841-851.

[2] Mestre, A., "Efficiency and Pollutant Formation Studies in a Swirling Flow Combustor", Fluid Mechanics of Combustion, Edited by Dussord et al. New York: The American Society of Mech. Engineers, 1974.

[3] Claypole, T. C., Syred, N., "The Effect of Swirl Burner Aerodynamics on NO_x Formation", Eighteenth Symposium (International) on Combustion Institute, pp. 81-89, 1981.

[4] Samadi R, Karbasi A, Rahimi N. Modling of air pollutants emission in power plants of Isfahan and Tabriz. Proceeding of Third National Conference of Energein Iran; 2001 ; Iran (in Persian).

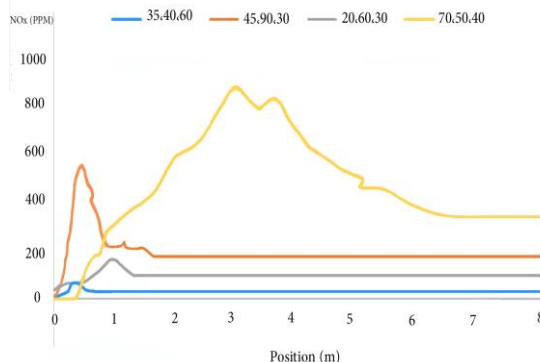
[5] Tutarial and Fluent User's Guide 2005

در نمودار ۵-۱ تاثیر زاویه‌ی پاشش سوخت $35,40,60$ درجه بر انتشار NO_x نشان داده شده است، که بر اساس آن حداکثر غلظت NO_x در حدود $52/7$ ppm است. که با توجه به این مقدار می‌توان گفت که غلظت NO_x در این زاویه در حد مجاز و استاندارد می‌باشد.

در زاویه‌ی پاشش $20,60,30$ درجه حداکثر NO_x تولید شده در حدود $188/2$ ppm می‌باشد که مقدار آن کماکان در حد مجاز است.

در نمودار ۵-۱ هم‌چنین اثر زاویه‌ی پاشش سوخت $45,90,30$ درجه بر انتشار آلاینده‌ی NO_x را نشان می‌دهد، همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار NO_x بسیار بالا و حداکثر غلظت آن در حدود $482/6$ ppm می‌باشد و به دلیل انتشار بالای آلاینده کاربردی ندارد.

زاویه‌ی تزریق $70,50,40$ درجه نیز در نمودار قابل مشاهده است، با توجه به غلظت اکسیدهای نیتروژن در این زاویه مشاهده می‌شود که حداکثر NO_x منتشر شده در حدود $871/3$ ppm می‌باشد. که مقدار آن بسیار زیاد بوده و از لحاظ زیست محیطی بسیار خطرناک می‌باشد.



شکل (۵-۱): نمودار غلظت اکسید نیتروژن در محفظه احتراق کوره در زوایای تزریق مختلف

فهرست علائم

ρ : چگالی

S_k, S_ϵ : ترم منبع

u_i : سرعت سیال

k : ضریب سنتیک انرژی

ϵ : ضریب پراکندگی

نتیجه گیری

با توجه مطالب ذکر شده و نتایج حاصل شده در قسمت قبل و هم‌چنین نمودار غلظت اکسیدهای نیتروژن مشاهده می‌شود که حداکثر غلظت NO_x در زاویه‌ی $35,40,60$ بسیار کم و با توجه به استانداردهای موجود برای حداکثر

- μ : ویسکوزیته سیال
- S : ضریب کرنش
- $C_{1\varepsilon}$ و $G_{2\varepsilon}$: ضرایب ثابت
- σ_k و $\varepsilon\sigma$: اعداد پراوتل آشفته برای k و ε (در فلوئنت تعریف شده می باشند)
- G_k : نشان دهنده تولید انرژی سینتیکی آشفتهگی ناشی از گرادیان های سرعت متوسط
- Y_M : نمایان گر انبساط نوسانی در آشفتهگی تراکم پذیر به نرخ اتلاف انرژی کلی
- C_μ : عدد ثابت
- I : شدت تشعشع
- s, ω : بردارهای واحد در جهت پخش
- K و σ : ثابت های جذب و پخش محلی
- Φ : تابع فازی استفاده شده برای توصیف طبیعت جسم پخش کننده
- Z_i : کسر جرمی گونه ی i
- Z_{fuel} : کسر جرمی گونه ی i در جریان سوخت ورودی
- Z_{Ox} : کسر جرمی گونه ی i در جریان اکسید کننده ی ورودی