

بررسی تأثیرات روشهای بهینه سازی انرژی بر گازهای آلاینده خروجی از کوره

رضا مرنندی

میر اسماعیل معصومی

دانشکده فنی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی

حسن آزاد منش

واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده

کوره ها در فرآیند های پتروشیمی و پالایشگاهی از مهمترین مصرف کننده های انرژی هستند. کاربرد مهم آنها در کراکینگ حرارتی، پیش گرم کردن سیال فرآیند است. سیر صعودی قیمت انرژی در اواخر قرن بیستم باعث بوجود آمدن روشهای بهینه سازی انرژی و صرفه جویی در مصرف سوخت شده است. در این بررسی میزان تاثیر روشهای مختلف بهینه سازی انرژی بر فاکتور مهم زیست محیطی در کوره ها یعنی گازهای آلاینده ایجاد شده توسط واکنش احتراق مورد توجه قرار گرفته است. عامل اساسی آلاینده های کوره هایی که از سوخت گازی بدون گوگرد استفاده می کنند واکنش مواد و تولید NO_x است. با بررسی آنالیز های بدست آمده از یک کوره نمونه روشهای برای بهینه سازی همزمان انرژی و کاهش آلاینده های محیط زیستی ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که با کاهش ۴۳٪ هوای اضافی همزمان با پیش گرم کردن هوا مقدار قابل ملاحظه ای از ایجاد گاز NO_x کاهش می یابد. واژه های کلیدی: بهینه سازی انرژی، کراکینگ، کوره، اکسید های نیتروژن.

مقدمه

پتروشیمی و پالایشگاهی هستند که در اکثر این فرآیندها سهم مصرف انرژی کوره ها در حدود ۲۵٪ است. [۱] در کوره ها با انجام واکنش احتراق سوخت، گازهای حاصل از احتراق تولید می شوند که اغلب این گازها از آلاینده های محیط زیست محسوب می شوند. در واکنش ساده احتراق، گازهای H_2O , CO_2 , CO مشاهده شده ولی نسبت به آنالیز سوخت و واکنش با هوای موجود در کوره مجموعه دو گاز آلاینده SO_x و NO_x تولید می شوند که این دو گاز عامل اصلی آلودگی حاصل از کوره ها و از طرفی از عوامل اصلی باران اسیدی هستند. لازم به ذکر است، گازهای آلاینده دیگری نیز بادرصد بسیار کم تولید می شوند. با بهینه سازی همزمان انرژی و فاکتورهای محیط زیستی بهبود کلی فرآیند را در کوره بدست خواهیم آورد.

نوسانات و به ویژه سیر صعودی قیمت نفت که کنترل کننده بازار انرژی است از اوایل دهه هشتاد میلادی باعث بوجود آمدن روند بهینه سازی انرژی و اصلاح فرایندهای صنعتی برای کاهش هزینه های تولید در کشورهای صنعتی شد و این روند با تاخیر به کشورهای نیمه صنعتی انتقال یافت. همزمان با این روند موج حفاظت از محیط زیست نیز به وجود آمد که باعث ارائه راهکارهای متفاوت زیست محیطی برای صنایع و محدودیت های جدید شد.

اثرات مستقیم بهینه سازی انرژی برای صنایع کاربردی تر از تأثیرات غیر مستقیم رعایت فاکتورهای محیط زیستی است، در نتیجه، استقبال بیشتری از طرف صاحبان صنایع از این راهکارها نسبت به رعایت فاکتورهای محیط زیستی ارائه شد.

کوره ها، اصلی ترین مصرف کننده انرژی در فرآیندهای

روشهای بهینه سازی انرژی

روشهای بسیار کاربردی برای بهینه سازی انرژی در کوره وجود دارد که دو روش کاهش هوای اضافی و پیش گرم کردن هوای احتراق بین مهندسين طراح و بهینه ساز کوره بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. تکنیک های متفاوتی برای اجرای روشهای بهینه سازی انرژی در کوره موجود است. این روشها را می توان به دو گروه تقسیم بندی کرد. گروه اول که با پیروی از تکنولوژی پینچ عمل می کنند و گروه دوم که براساس تجربه برای طراحان کوره بدست آمده است. [۲]

در اینجا به بررسی دو روش بهینه سازی انرژی در کوره اشاره می کنیم:

الف - کاهش هوای اضافی

در کوره ها هوای اضافی مهمترین عامل موثر در بازده حرارتی است، با اینکه میزان هوای اضافی کنترل فرآیند را ساده می کنند ولی مصرف سوخت را افزایش می دهد زیرا سوخت اضافی صرف گرم کردن هوا ورودی با دمای محیط تا دمای گازهای داغ داخل کوره می شود. [۱] هوای اضافی در کوره ها با سوخت گازی باید در حدود ۲۰ درصد باشد ولی آنالیز هوای اضافی در دود کش ۱۰۰ درصد یا بیشتر رانشان می دهد که این تفاوت در اثر نشت هوا به درون کوره و یا تنظیم نمودن دمپر است. از روشهای کنترل هوای اضافی می توان به سیستم های کنترل دستی و یا کنترل اتوماتیک دمپر و یا اجباری نمودن هوای ورودی به مشعل ها اشاره کرد که با استفاده از یکی از این روشها میزان هوای اضافی را می توان به محدوده ۱۵ تا ۲۵ درصد رساند.

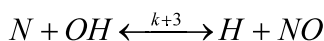
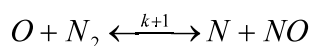
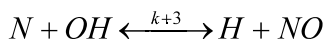
ب- پیش گرم کردن هوای احتراق

با پیش گرم هوا می توان به کاهش مصرف سوخت رسید زیرا درصد کمتری از انرژی حاصل از احتراق در مشعل صرف افزایش دمای هوای ورودی تا دمای گازهای احتراق خواهد شد. در نتیجه هرچه دمای گازهای داغ

دودکش کمتر باشد، افت حرارتی از طریق دودکش نیز کمتر خواهد بود. لذا با پیش گرم کردن هوای احتراق دمای گازهای داغ کاهش و بازده حرارتی کوره افزایش می یابد. در سیستم های مجهز پیش گرمکن هوا، دمای گازهای داغ خروجی ۳۰۰ تا ۳۵۰ فارنهایت است. پیش گرم کردن هوا باعث افزایش دمای شعله و ایجاد حرارت بیش از حد در برخی نقاط بخش تابشی و تشکیل اکسیدهای ازت بیشتر خواهد بود. پیش گرم کن های هوا بیشتر با استفاده از گرمای گازهای خروجی عمل می کنند ولی انواعی از آنها نیز با استفاده از سیال فرآیند عمل می کنند. از نظر اقتصادی استفاده از سیستم های پیش گرم کن ها در برخی فرآیندها به دلیل هزینه های بالای سیستم های پیش گرم کن اقتصادی نیست

تشکیل گاز NO_x در کوره

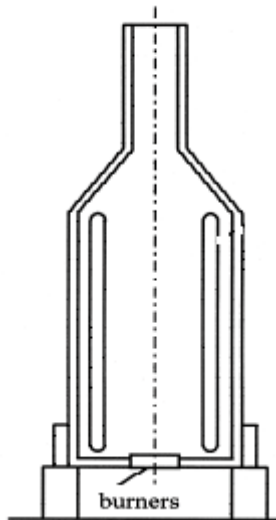
گاز NO_x تولیدی در کوره براساس واکنش های زیر که بسیاری وابسته به دمای شعله در کوره می باشند، حاصل می شود. درون کوره ها برای انجام واکنش تولید NO_x دمای شعله باید در حدود ۲۶۴۰^of باشد. سه فاکتور اصلی، اکسیژن اتمی که از شکستن حرارتی اکسیژن هوا و نیتروژن و عامل OH حاصل از واکنش احتراق عناصر تشکیل دهنده NO_x می باشند. البته اگر در سوخت ترکیبات نیتروژن دار وجود داشته باشد واکنش آنها را نیز باید در نظر گرفت.



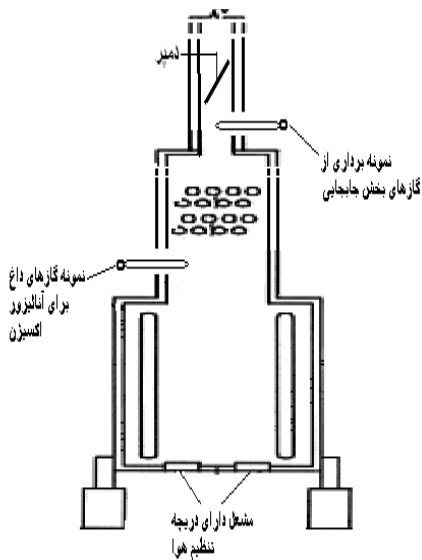
در این حال با بدست آوردن معادله سرعت واکنش می توان رابطه بین غلظت NO_x و دمای شعله را بدست آورد که رابطه بدست آمده بصورت زیر محاسبه می گردد:

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2k_1[O][N_2] \frac{(1 - \frac{(k_3 \cdot k_{-2})[No]^2}{k_2[N_2]k_3[O_2]})}{(1 + \frac{k - 1[NO]}{k_2[O_2] + k_1[O_2]})} \text{ (gmol / m}^3 \cdot \text{s)}$$

بررسی با توجه به هدف این تحقیق عامل دمای تئوری شعله فاکتور اصلی برای آن در نظر گرفته شد.



شکل (۱) کوره استوانه ای - عمودی در کراکینگ EDC



شکل (۲) نقاط نمونه برداری از کوره

در روش کاهش هوای اضافی مشاهده می شود با کاهش هوای اضافی دمای تئوری شعله افزایش می یابد .
(نمودار (۱))

در روش پیش گرم کردن هوای احتراق، کاهش همزمان

در این معادله سرعت k_1, k_2, k_3 ثابت تعادل واکنشهای رفت و k_{-1}, k_{-2}, k_{-3} ثابت تعادل واکنش برگشت می باشد . $[O]$ غلظت اکسیژن اتمی را نشان می دهد که می توان از معادله واکنش اشاره شده با توجه به وابستگی معادلات به دما و غلظت اکسیژن هوا بدست آورد. رابطه زیر نشان دهنده معادله سرعت $[O]$ می باشد .

$$[O] = 36.64T^{1/2}[O_2]^{1/2} e^{-27.123/T} \text{ gmol / m}^3$$

شبیه سازی کوره مورد بررسی

در این تحقیق یک کوره کراکینگ EDC در پتروشیمی آبادان مورد مطالعه قرار گرفت . سیستم مشعل های این کوره به صورت مکش طبیعی و با سوخت گاز طبیعی در حال انجام عملیات که در سوخت مصرفی ترکیبات نیتروژن و گوگرد وجود ندارد. درصد هوای اضافی در کوره ۱۳۳٪ گزارش شده است ، دمای محفظه احتراق ۱۸۰۰ °f می باشد ، آنالیز گازهای خروجی در جدول (۱) ارائه شده است .

جدول (۱) - آنالیز گازهای خروجی از کوره

آلاینده گازی	مقدار	حد مجاز	واحد اندازه گیری
CO ₂	۱،۱	ندارد	درصد
NO	۳،۴۶	۳۵۰	ppm
NO ₂	۳،۴۶	۳۵۰	ppm
NO _x	۳،۴۶	۳۵۰	ppm

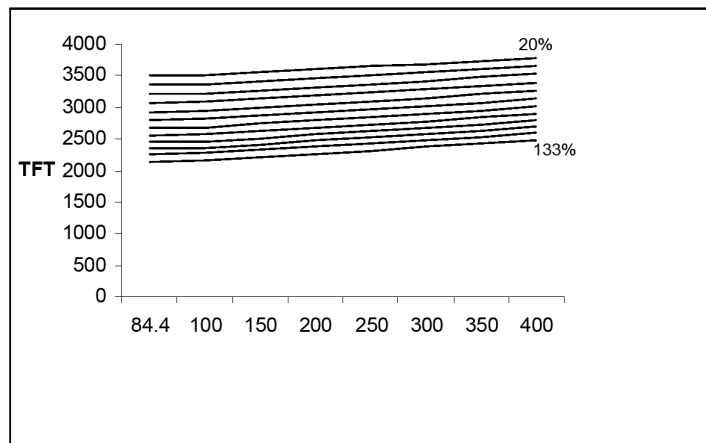
تاثیرات روشهای بهینه سازی انرژی بر کوره

روشهای بهینه سازی انرژی بر عوامل مختلف در کوره همانند دمای تئوری شعله ، شکل مشعل ها ، تغییر در سیستم کنترل دمپر و غیره است . در روشهای مورد

میزان هوای اضافی و پیش گرم کردن هوا را خواهیم داشت که باعث افزایش دمای تئوری شعله می شود. (نمودار(۲))
 تاثیرات روشهای بهینه سازی انرژی بر گازهای



نمودار ۱- تاثیر کاهش هوای اضافی به دمای شعله



نمودار ۲- تغییرات دمای شعله بر اثر کاهش همزمان هوای اضافی و پیش گرم کردن هوای احتراق

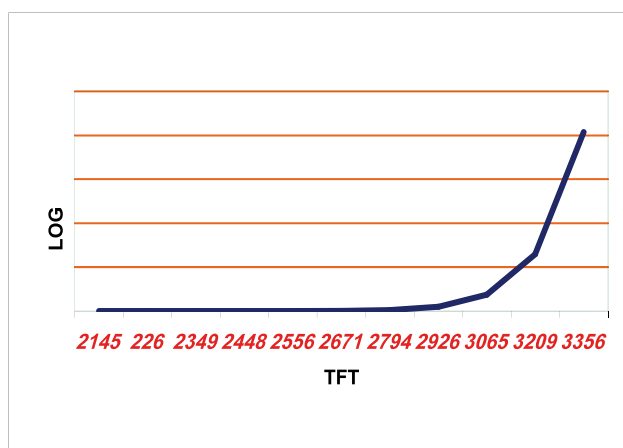
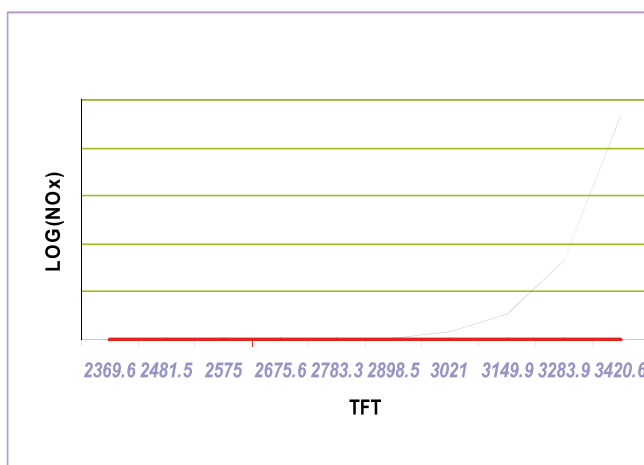
برای پیش گرم هوا تا 300°F مقادیر محاسبه شده از حدود 50% هوای اضافی، غلظت NO_x از حالت واحد در میلیون خارج و درصدی از کل ترکیب احتراق را در بر می گیرد.

بحث و نتیجه گیری

با بررسی نمودارهای ارائه شده مشاهده می شود که می توان بهینه سازی انرژی را در کوره به دو بخش تقسیم کرد در بخش اول بهینه سازی تا نقطه ای که احتیاج به دستگاه های کاهش دهنده NO_x نداشته باشد. در بخش دوم که از لحاظ عملیات بهینه سازی انرژی

خروجی از کوره

با افزایش دمای تئوری شعله در هر دو روش بهینه سازی انرژی، افزایش تولید NO_x را در کوره داریم که در نمودارهای (۴ و ۳) بدان اشاره شده است. روند تولید NO_x تا زمانی که دمای تئوری شعله کمتر از دمای شروع واکنش است بسیار پایین است ولی با رسیدن دمای شعله به دمای شروع واکنش سرعت تولید به شدت افزایش می یابد و سیر نمودارها به صعودی در می آید. برای روش اول در حدود 30% هوای اضافی غلظت NO_x از حالت واحد در میلیون خارج و درصدی از کل ترکیب احتراق را در بر می گیرد. در روش دوم

نمودار ۳- میزان NO_x در حالت کاهش هوای اضافینمودار ۴- میزان NO_x در حالت پیش گرم هوا تا 300°f

هوای احتراق کاهش دهیم. لازم به ذکر است که روش پیش گرم کردن هوای احتراق بدون رعایت کاهش هوای اضافی نتیجه خاصی ندارد.

دست آخر اینکه در روشهای ارائه شده فوق ارزانهترین روش، کاهش هوای اضافی تا زیر حد مجاز NO_x است زیرا احتیاجی به دستگاه خاصی ندارد و فقط با کنترل دقیق تر دمپر و پیدا نمودن نقاط نشت هوا به درون کوره می توان به نتایج بررسی شده رسید. تمامی محاسبات این بررسی بر پایه برنامه نویسی با نرم افزار MATLAB انجام شده است.

اقتصادی تر است بایستی جهت رعایت اصول زیست محیطی از سیستم های کاهش دهنده NO_x استفاده شود. در نمودار (۳) نقاط فوق برای حالت کاهش هوای اضافی ۱۰٪ هوای اضافی را نشان می دهد و این بدان معناست که برای رعایت میزان آلاینده NO_x پایین تر از حد مجاز بدون استفاده از سیستم های کاهش دهنده NO_x و بهینه سازی انرژی به روش کاهش هوای اضافی تنها می توان ۳۳٪ از هوای اضافی کوره را کاهش داد، و برای کاهش بیشتر هوای اضافی به کاهش دهنده NO_x نیاز داریم. (کاهش دهنده های NO_x دستگاه های هزینه بر می باشند).

در نمودار (۴) نقطه جداکننده دو بخش میزان ۹۰٪ هوای اضافی را نشان می دهد و این بدین معناست که فقط می توانیم مقدار ۴۳٪ از هوای اضافی را همزمان با گرم کردن

3. Z. Jegla, P. Stehlík, J. Kohoutek, *Furnaces integration into processes based on pinch analysis*, in: *13th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA '98 Prague*, 1998.

Reference

1. Berman, H.L. « fired heater», *chem..Eng*, 19 June 1978, MC Graw- Hill.
2. Z. Jegla, J. Kohoutek, J. Zchoval, P. Stehlík, *Software supporting efficient retrofit design of furnaces and connected pipes as one integrated system*, *14th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2000*.