

فناوری‌های جدید کاهش و حذف گازهای دودکش در محفظه‌های احتراقی تجهیزات صنعتی تأمین کننده انرژی

علی اکبر جمالی^۱

تهران - بزرگراه بابایی - دانشگاه امام حسین (ع) - دانشکده علوم و مهندسی

E-mail: jamalis5@gmail.com

چکیده

احتراق ناقص سوخت در محفظه‌های احتراقی اغلب منجر به نقص تکاملی زنجیره فعل و انفعالات شیمیایی عناصر می‌گردد. به نحوی که مقدار معتنابهی از مواد تولید شده در واکنشهای زنجیره‌ای میانی، مسیر فرایند را طی نمی‌کنند و به صورت اولیه در سیستم باقی می‌مانند. با عنایت به بدیهی بودن نقش مخاطره‌آمیز اکسیدهای ازت در آلودگی‌های زیست محیطی، روشهای کاهش گازهای مضر مورد توجه طراحان دستگاههای مولد انرژی بوده و اغلب در تلاشند که با شناسایی نقاط داخل محفظه احتراق و کنترل شرایط ترمیک هر منطقه، شیوه‌های مختلفی را بکارگیرند و افزونگی تولید گازهای سمی را مهار نمایند. در پژوهش حاضر کارکرد سیکلونهای غبارگیری، بازگردش، بازسوزش و احیاء کاتالیستی گازهای دودکش نتایج مطلوبی را نمایان می‌سازد.

کلمات کلیدی: سیکلون‌های خشک - غبارگیر - بازسوزش - بسترسیال - انتشار - کاهش و حذف انتخابی.

مقدمه

مطالعه روی شعله و سامانه‌های احتراقی، بررسی مشکلات موجود در کوره‌ها و بویلرهای صنعتی و ایجاد امکانات آزمایشگاهی مناسب جهت ارزیابی عملکرد مشعل‌های صنعتی و تحقیق پیرامون موضوعات مرتبط با آن جایگاه ویژه‌ای است که بطور مستقیم بهینه‌سازی مصرف سوخت، کاهش گازهای آلاینده خروجی از دودکش کوره‌ها، افزایش راندمان مشعل‌ها را شامل می‌شود. در مقام طرح یک پیشنهاد، ضمن مطالعه عملکرد و جهت‌گیری به سمت کاهش آلاینده‌های خروجی ناشی از کوره‌ها و بررسی عملکرد و مشکلات زیست محیطی ناشی از کوره ۱۰۱ واحد تقطیر جنوبی پالایشگاه تهران روش‌های مناسبی جهت بهبود مبدلهایی که سبب افزایش بازده حرارتی، بهبود عملکرد و کاهش آلاینده‌گی می‌شد، در قالب طرح اولیه مبدل 2E-184 منتشر گردید [۱]. همچنین در بخش حمل و نقل جاده ای (خودروهای سنگین)، با سهمی حدود ۲۴٪ از کل مصرف انرژی کشور، بالاترین میزان مصرف را بعد از مصارف خانگی و تجاری به‌عهده دارد که صرفه‌جویی در مصرف انرژی و دستیابی به اقدامات و استانداردها و معیارهای مقرون به صرفه‌ای که بتوان با استفاده از آنها از مصرف سوخت و از تولید و انتشار NOx کاست؛ تاکنون مطالعات جامعی

صورت گرفته و شیوه‌هایی جهت کاهش مصرف سوخت با پیشنهاد تعبیه کنورتورهای کاتالیستی ارائه گردیده است. اندازه‌گیری انتشار NOx حاصل از دودکش سه واحد صنعتی در خراسان و مقایسه آن با استانداردهای بین‌المللی و ارائه راه حل‌هایی جهت کاهش آن در قالب یک طرح علمی و دولتی، توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی، فرصت تأمل خاصی در بازشناسی شیوه‌های کاهش آلاینده‌گی است. با توجه به اهمیت انتشار NOx در آلوده‌سازی محیط زیست، محققان طرح در نظر داشتند تا با اندازه‌گیری NOx حاصل از حداقل سه واحد صنعتی (نیروگاه طوس، شرکت شهید ایران و شرکت غذایی چین‌چین) و مقایسه آن با استانداردهای بین‌المللی محیط زیست، روشهایی را جهت کاهش غلظت NOx در گازهای سوختی، ارائه نمایند. اگرچه کسولهای شناسایی NOx در اندازه‌های مختلف به‌صورت یکپارچه مصرف و آزمایشگاهی در بازارهای جهانی موجود می‌باشد، لیکن، اقدام به تهیه نوعی آنالیزور در حد ppm، قابل حمل برای شناسایی مقدار NOx توسط متخصصان داخلی همت دیگری در حاشیه این طرح پژوهشی نیز بوده است. فناوری جداسازی (Sequestration) یا حذف NOx از سایر آلاینده‌ها و ذخیره‌سازی مواد ارزشمند سوختی تا قبل از سال

۱- پژوهشگر و عضو هیات علمی دانشکده علوم و مهندسی

۲۰۳۰ در سطح وسیع و مقیاس کالخواهد شد که کاربرد این تکنولوژی چه از لحاظ فنی و اقتصادی و زمان مقرون به صرفه باشد. مادام که بتوان هزینه بهره برداری از این تکنولوژی‌ها را به میزان کافی کاهش داد، بر جذابیت بهره‌مندی از انرژیهای نو در مقایسه با سوخت های فسیلی افزوده خواهد شد و این امر به معنی وقوع انقلابی در چشم اندازهای بلندمدت تأمین انرژی جهان خواهد بود. امروزه تکنولوژی‌هایی در دست ابداع و تکوین است که هدف از آن جلوگیری از انتشار دی اکسیدکربن حاصله از احتراق سوخت های فسیلی در نیروگاه ها و ذخیره کردن آن در زیرزمین، در رگه ها و ساختارهای زمین شناختی یا در اقیانوس است. رایج ترین روش در این زمینه استفاده از ترکیبات آمونیاک برای جذب دی اکسیدکربن و اکسیدهای ازت در دودکش گازهای خروجی نیروگاه ها است. این روش را که پیش از این در صنایع شیمیایی کاربرد گسترده ای داشته و برای جذب سایر گازهای آلاینده به کار می رود. در جهت جداسازی دی اکسیدکربن از سوخت های فسیلی و ذخیره سازی آن هزینه های بین ۳۰ تا ۵۰ دلار به ازای هر تن دی اکسیدکربن تخمین زده شده است.

روش دیگر، جداسازی دی اکسیدکربن، قبل از فرایند احتراق است. اما جداسازی دی اکسیدکربن فقط بخشی از مسأله است. پس از آن باید گاز دی اکسیدکربن را به مکان دیگری منتقل و ذخیره کرد. امروزه مشکلات زیست محیطی، یکی از مهمترین چالش‌های فراروی جهان است. پلوتنت‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی به‌ویژه آلاینده های اکسیدی نیتروژنی (NOx)، عامل اصلی این مشکلات است. گازهای حاصل از احتراق به دلیل وجود نقطه شبنم گازی و به دلیل میعان زودرس اکسیدهای نیتروژنی، منشأ اثرات مخری در محیط است. اکسیدهای نیتروژن و فرایندهای آن منجر به گرم شدن پیش از حد کره زمین و باعث تخریب لایه ازن در حضور اشعه ماورای بنفش نیز می‌شود. صنایع بزرگ و نیروگاه‌های حرارتی، نقش عمده‌ای را در مقایسه انواع مختلف تولیدکننده‌های آلاینده‌گی، ایفا می‌کنند.

آنچه که در مقاله حاضر مطرح است؛ بررسی شیوه‌های کنترل، حذف و کاهش گازهای آلاینده و به‌ویژه اکسیدهای ازت است که به ترتیب به شیوه بهبود کارایی تفکیک‌کنندگی سیکلون‌ها بر اساس تجربه‌ای که در نیروگاه ترکیبی ورشو جاری است و نیز بازگردش گازها و بازسوزش آنها و در نهایت بهره‌برداری از بسترکاتالستی و شیوه حذف انتخابی آنها اشاره دارد. مجموعه این اقدامات و تمهیدات اثرات مستقیمی روی کاهش آلاینده‌های NOx داشته و علاوه بر آن با توجه به اندازه مناسب‌تر ذرات مواد پستر، انتشار مونوکسید کربن را نیز کاهش می‌یابد.

عمل تفکیک و کارایی

استفاده از سیکلون‌های غبارگیری، در جهت کنترل و کاهش گازهای آلاینده متضمن انجام و تکمیل آزمایشات مفصل و تجزیه و تحلیل آنها

است. اقدامات مرتبط با تکمیل سیکلون‌ها عبارتند از ۱- ساخت سیستم برگشتی از پایین دستگاه‌ها ۲- تجهیز سیکلون پایلوت به فن اضافی برای تقویت جریان آن و حذف سیستم برگشتی مواد جامد و غربال آنها ۳- استفاده از جریان متقاطع چاپ‌کننده ذرات به همراه سیکلون در غبارگیری از کانالها ۵- تعیین بازده سیکلون با جریان برگشتی و هوای فشرده در اشل نیمه صنعتی.

در نمونه فعالیت‌های آزمایشگاهی سه روش برای افزایش بازده جداکننده‌های سیکلونی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ۱- ایجاد جریان برگشتی ۲- تزریق هوای فشرده ۳- ایجاد جریان برگشتی و هوای فشرده همچنین در مقیاس نیمه صنعتی، سیکلون‌هایی با کانال‌های مجهز به سیستم تزریق هوای فشرده و سنجش شدت جریان و نتوری و اریفیس ساخته می‌شوند.

در برخی کشورهای اروپایی و به طور مشخص کشور لهستان، انرژی‌های الکتریکی مورد نیاز خود را با سوزاندن لینییت یا ذغال سخت تولید می‌کنند. در فرایند نوسازی صنعت برق لهستان، به لحاظ رعایت ملاحظات زیست‌محیطی، بهسازی تجهیزات مولدی همگام با فناوری نوین سوختی، سخت مورد توجه است [۲]. در نیروگاه ترکیبی ورشو در جهت تولید مشترک برق و گرما «ژران»، ذغال‌سنگ قیری و سخت معادن سیلهسیا، با ارزش حرارتی ۲۴-۱۸ مگاژول بر کیلوگرم و محتوای خاکستر ۲۵-۱۴ درصد، ۴۵۰ تن در ساعت در دو بویلر بستر سیال جریان با لیسانس آلستوم سوزانده می‌شود. از آن جا که غالب ذغال کارخانه به شکل تصفیه نشده، موجود است؛ این منبع سوخت با مقدار زیادی کلرین و کلوخ همراه است. به دلیل پوشیدگی کلوخ از خاکستر سوختی، یافتن اندازه دقیق میزان ذرات خاکستر جریان در واحد دشوار است. این امر سبب حرارت بالای کوره‌ها شده که منجر به افزایش انتشار NOx و SO₂ و از دست‌رفتن مواد خنثی و ماندگرای مناسب (Inert)، به‌خصوص در زمان بارکامل می‌شود. در اینجا سامانه سیکلون با چرخه‌هایی با کارایی بالا جریان داخلی بویلر را بهبود می‌بخشد. در این شرایط انتقال حرارت کوره بهبود عمده‌ای یافته و درجه حرارت نمود بیشتری دارد. این تحولات ضمن بهبود در مصرف زاید قدرت واحد، باعث کاهش NOx، SO₂، مونواکسیدکربن (CO) و انتشار ذرات و مصرف سنگ آهک شده است.

محتوای خاکستر سوختی کلوخ پر روند عملیات تأثیر نامطلوب می‌گذارد. استفاده از یک دستگاه پرداخت خاکستر برای کاهش اندازه ذرات که در کارخانه‌های دیگر نتایج مثبت به جا گذاشته بود، به دلیل مهار خوردگی در بویلرکنار گذاشته شد. تجهیز یک پاینده حلقوی غیرهم‌مرکز در واحد ابتدایی بهبود کارایی سیکلون را به همراه داشت. بهبود کارایی تفکیک‌کنندگی متضمن پارامترهای زیر می‌باشد:

- امکان بازگرداندن و وارونه‌کردن انحراف مجرای ورودی سیکلون

- ارتقاء طول مجرای ورودی سیکلون

- بهینه‌سازی مجرای ورودی سیکلون با کوره

- کاهش سرعت عمودی سیکلون

- نصب یابنده حلقوی غیر هم‌مرکز

از آنجا که کاهش اندازه ذرات احتراق، مخلوط اکسیژن و مواد احتراقی را بهبود می‌بخشد؛ مجموعه این اقدامات اثرات مستقیمی روی کاهش آلاینده‌های NOx داشته و علاوه بر آن با توجه به اندازه مناسب‌تر ذرات، انتشار مونوکسیدکربن نیز کاهش می‌یابد. از آنجا که بهبود شرایط احتراق ناشی از پاک‌گیری سیکلون و رعایت نکات فنی آن است؛ آثار ناشی از بهبود طراحی سیکلونها شامل انتقال گرمای بالاتر کوره و انتشار کمتر NOx از همان آغاز عملیات است. به عنوان نمونه میانگین اندازه ذرات (d_{50}) مواد چریایی که در دامنه ۱۸۰ میکرون بود، به کمتر از ۸۰ میکرون کاهش یافت. داده‌های عملکردی بویلرها مقایسه شده و بهبود طراحی سیکلون اندازه‌گیری و منجر به شرایط مطلوبی شامل کاهش عمده مصرف سنگ آهک، کاهش انتشار NOx و CO، بهبود انتقال گرمایش کوره، کاهش قدرت مصرفی به دلیل کاهش هوای اولیه، به حداقل رسیدن جریان دوباره گازهای دودکش و نزول فشارگردید.

سیکلون خشک و یک تناظر تجربی

دیتای بخار طراحی شده با خروجی ۴۵۰ تن در ساعت بخار از نوع استوانه‌های جریان طبیعی، متشکل از کوره معلق قائم‌الزاویه خنک‌شونده با آب که بخش بالایی آن توسط دیواره حائلی تقسیم شده است؛ شامل دو سیکلون با یک آب‌گرمایشگر انتقالی، یک اکونومایزر و یک پیش‌گرمکن هوایی لوله‌ای است. پائل در کوره بالایی، تشعشع و مشخصه‌های انتقالی را متعادل می‌کند. این آب‌گرمایش‌گرها از دو تیوب اومگا ساخته شده که طراحی آنها قبلاً قابلیت خود را در شماری از بویلرهای احتراقی بستر چریایی آلستوم نشان داده است. نخستین گام در بهبود کارایی تفکیک در دومین واحد، شامل تعویض آرایش کانال ورودی برای بهینه‌سازی جریان در هرسیکلون است. در جایی که کانال ورودی سیکلون ابتدایی، از یک طرح مارپیچ استفاده می‌کند، از یک طراحی مماسی بهره برده است. انحراف‌بخشی پایین کانال ورودی سیکلون، امر جداسازی را بهبود پیدا داده و با جابجایی جستجوگر جریان حلقوی، این وضعیت را مناسب‌تر کرده است. کارآمدی طراحی جدید سیکلون در حالت عملیات بار کامل، علاوه بر بهبود سوخت و کاهش آلاینده‌ها پازده را تا ۸/۲ درصد افزایش داده و با این تفاوت جزئی، ارزش گرمایش سوخت افزون می‌گردد. اثربخشی تفکیک سیکلونها و بهبود کارایی را می‌توان با میزان جذب‌شده ذرات در فیلترهای خاکستر، سوپگر الکترواستاتیک واحد مشاهده نمود. این بهبود جداسازی بر توزیع اندازه ذرات در خاکستر کف و خاکستر چریایی تأثیر می‌گذارد. با توجه به جریان مناسب‌تر فیلتر ذرات جامد، ضریب کل انتقال گرمای کوره و پائل‌های آب‌گرمایشی حدود ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و پیش‌بینی انتقال گرما سیکلون را برآورد می‌کند. طراحی جدید سیکلون [۲]، همچنین پارامترهای عملیاتی دیگری شامل توزیع هوا و جریان مجدد گاز

دودکش، مصرف نیرو، سوختن کربن، انتشار NOx و انتشار مونوکسید کربن را بهبود می‌بخشد.

در زران A، برای روانسازي جریان خاکسترهای درشت هوای اولیه ۵۵ درصد کل هوای مورد نیاز است. حال آنکه در زران B، این میزان ۳۵ درصد شده در نتیجه از مصرف قدرت فن هوا کاسته می‌شود. نظر به فشار کمتر بستر همراه با چرخش هوا و عدم جریان مجدد گاز دودکش، فن هوای اولیه، مصرف برق کمتری نیاز دارد. در طراحی سیکلون، انتقال گرمایش ده درصد افزایش یافته که مستقیماً تأثیر مستقیمی بر توزیع حرارت مسیر گاز دودکش دارد. گوگردزدایی سوخت و سنگ آهک و همچنین شرایط احتراق، بر کارایی گوگردزدایی بستر چریایی CFB اثر می‌گذارد. این خصیصه‌ها در هر دو واحد همسانند. همچنین بهبود کارایی جداسازی سیکلون باعث جریان کمتر ذرات خاکستر و منطقه گسترده‌تر گوگردزدایی و زمان بیشتر ماندن ذرات می‌شود. ارتقاء ماندگاری زمانی مواد بستر، حرارت کمتر احتراق و سطح بیشتر ذرات، باعث کاهش مصرف سنگ آهک تا ۴۰ درصد شده، این امر به نوبه خود در تولید خاکستر مؤثر است.

مرور ادبیات

ویژگیهای مناسب سیستم بستر سیال شامل امکان کنترل دقیق دما، انتقال خوب حرارت، ایمنی بالا و عدم محدودیت در اندازه باعث شده است که این تکنیک به طور وسیعی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آن جمله می‌توان به استفاده از آن در راکتورهای کاتالیستی اشاره نمود. سیال‌سازی، به عنوان فرایندی در عملیات واحدهای شیمیایی ناظر بر انجام شرایطی است که در آن بستر پر شده از ذرات جامد، به وسیله یک صفحه پخش‌کننده حمایت شده و در اثر عبور یک سیال (گاز، مایع و یا گاز-مایع) با سرعتی بالاتر از سرعت حداقل سیالیت رفتار سیال گونه پیدا می‌کند. الهام از طرحهای عملیاتی واحدهای صنعتی و نمونه‌ها، زمینه مناسبی را در اتخاذ بهترین شیوه در حذف گازهای دودکش ایجاد می‌نماید. برای مثال یکی از کاربردهای صنعتی راکتورهای کاتالیستی بستر سیال تولید انیدرید مالئیک است. در ساخت پاپلوت راکتور بسترسیال به علت جلوگیری از ایجاد نواحی مرده توسط ذرات کاتالیزور و پخش خوب گاز از پخش‌کننده های منفذدار و جهت جداسازی ذرات کاتالیزور از جریان گاز خروجی از سیکلونهای با راندمان جداسازی بالا استفاده می‌شود. در این مثال دمای بستر حدود ۳۹۰ درجه سانتیگراد و سرعت خوراک ورودی حدود $U=3\text{Umf}$ ملاحظه گردیده است. بر اساس نتایج پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حسین دلداری از دانشگاه علم و صنعت ایران با عنوان طراحی و ساخت یک واحد پاپلوت راکتور بستر سیال، استفاده از مدل Grace, K&L، پیش‌بینی مناسبی از عملکرد راکتور بستر سیال کاتالیستی دارند که این امر به علت استفاده از فرضیاتی است که چندان دور از واقعیت نبوده و تصویر

ای برخوردار است؛ لذا مطالعه هیدرولیک فاز گاز در محل تزریق دارای اهمیت است. برای این منظور، ۸ نوع سیستم توزیع کننده گاز (اسپارژر) طراحی و رفتار هیدرودینامیک آنها در دمای حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد با تزریق گاز متان به عنوان ردیاب مورد آزمایش قرار گرفته است. نتیجه‌ها نشان می‌دهند که بدنه خارجی اسپارژر به عنوان محافظ حباب عمل کرده و در این ناحیه، تماس بین فازها به حداقل مقدار خود کاهش می‌یابد. از طرفی یک نوع از اسپارژر هم شناسایی شده که می‌تواند عمل تماس بین فازها را بهبود بخشد. سرعت انتقال حرارت و جرم و نیز یکنواختی توزیع دما و رطوبت در خشک کن های بستر سیال نسبت به خشک کنهای بستر ثابت بسیار بیشتر است [۹]. نتایج حاصله بیانگر آنست که با گنجاندن تغییرات ضریب نفوذ رطوبت، جرم حجمی و چروکیدگی جسم با میزان رطوبت در مدل انتقال جرم و حل همزمان آن با مدل انتقال حرارت چایجانی، می‌توان به خوبی فرایند را در خشک کنهای بستر سیالی را نیز شبیه سازی کرد.

جذب حرارت همراه با گازهای داغ خروجی از دودکش، یکی از کارآمدترین شیوه‌های بازیافت انرژی است که از این رهگذر؛ استفاده از بسترهای سیالی در صنعت کاربرد زیادی پیدا دارد. هدف از انجام تحقیق [۱۰]، بررسی راندمان بازیافت حرارتی از گازهای داغ به کمک بسترهای سیالی با جریانه‌های هیدرودینامیکی متفاوت است. پسابهای صنعتی نیز دارای مواد آلی قابل تجزیه زیادی است که جهت تصفیه آنها استفاده از سیستم‌های بیولوژیکی بسیار موثر خواهد بود [۱۲].

نتایج گزارش علمی دیگری نیز حاکی از آن است که در یک راکتور آزمایشگاهی بسترسیال، گوگرد ترکیب حلقوی تیوفن در شرایط معین دما و فشار، با کمک هیدروژن استخراج شده است. هدف از اجرای پروژه [۱۳]، بررسی امکان پذیری کاربرد راکتورهای بسترسیال جهت گوگردذاتی ترکیبات گوگرددار تیوفنی و مقایسه نتایج مدل‌های ارائه شده در زمینه بسترسیال با نتایج حاصل از آزمایشها بوده است.

بازسوزش

آلاینده های اکسیدی نیتروژن (NOx)، به دلیل نقطه شبنم گاز، ضمن تشکیل اکسیدهای نیتروژن، منشأ اثرات مخربی در محیط است. اکسیدهای نیتروژن و فرایندهای آن منجر به گرم شدن بیش از حد کره زمین و باعث تخریب لایه ازن درحضور اشعه ماورای بنفش می‌شوند. صنایع بزرگ و نیروگاههای حرارتی، نقش عمده‌ای را مقایسه انواع مختلف تولیدکننده‌های این آلاینده‌ها، ایفا می‌کنند. بویلرهای نیروگاهی با مصرف بالای سوخت و کار دردمای بالا، شرایط مناسب برای تولید NOx را فراهم می‌کنند. روش بازگردش گازهای خروجی به عنوان شیوه‌ای برای کاهش آلاینده های ناشی از احتراق به ویژه درون بویلرهای نیروگاهی و برخی کوره‌های پالایشگاهی است. به این منظور از شبیه‌سازی یک بویلر با مقایسه واقعی استفاده شده است. دیگ بخار مورد مطالعه به صورت دوبعدی مدلسازی شده و

درستی از فرایندهای فیزیکی و شیمیایی روی داده‌ها در راکتور بستر سیال کاتالیستی از خود نشان می‌دهند. در کار دیگری، جزئیات مربوط به تهیه مدلی مناسب جهت پیش‌بینی رفتار خشک کن ذرات در یک خشک کن بستر سیال، بررسی گردیده‌است. مدل حاضر براساس تئوری دو فازه سیالیت و بر مبنای روابط بنیادین جرم و انرژی در فازهای مختلف بستر سیال می‌باشد. حرکت پیستونی حبابها در بستر، اختلاط کامل گاز و ذرات جامد در فاز امولسیون و عدم حضور ذرات جامد در حبابها به عهده دارد. در کارتحقیقی دیگری درزمینه لزوم تبیین مدل، ضمن بررسی خواص فرایندهای تولید پلی‌تیلن و راکتورهای بستر سیال، متناسب با موضوع اخیر، مدل‌هایی جهت دستیابی به اهداف طرح معرفی گردیده است [۳].

شبیه‌سازی راکتورهای بستر سیال، نیازمند شناخت کلیه پدیده‌های منحصر به آن است. فرایندهای فیزیکی در بستر توسط روابطی بیان می‌گردند که آنها را روابط هیدرودینامیکی می‌نامند. با حل همزمان مدل‌های هیدرودینامیکی و سینتیکی، راکتور مزبور تحلیل می‌شود. در این کار [۴]، مدل‌های هیدرودینامیکی مختلف جهت مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته لذا پیش‌بینی مدل دوفازی دینامیکی از هیدرودینامیک بسترسیال از اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشد.

بررسی تجربی نحوه تزریق گاز در مدخل ورودی و تطبیق داده‌های تجربی حاصل با مدل‌های تئوریک از اهداف پروژه [۵] به شمار می‌رود. سرعت گاز، پارامتری است که شرایط رفتاری راکتورهای گاز- جامد بسترهای سیال کاتالیستی را تعیین می‌کند. دانسیته سوسپانسیون گاز- ذرات کاتالیست در رایزر راکتور فرایند FCC به میزان زیادی تحت تأثیر سرعت فرضی گاز و نرخ گردشی جامد است. در این پروژه شرایط هیدرودینامیکی ستون به صورت تجربی بررسی شده به طوری که بهترین راندمان از لحاظ برقراری تماس مؤثر بین فاز جامد و فاز گاز در راکتور تأمین گردد.

در حوزه کاربرد واحدهای پالایشی نیز اشاره‌ای به جایگاه راکتورهای صنعتی شکست کاتالیستی بستر سیال به منظور شکست نفت گازسنگین و تبدیل آن به محصولات با ارزشتر میان تقطیر می‌شود، خوراک ورودی به راکتور مخلوطی از هیدوکربنها با واکنشهای پیچیده سینتیک و اکتش است. در این کار پژوهش محور [۶]، سه مدل ریاضی برای طراحی شکست کاتالیستی پیشرفته ارائه شده‌است. از آنجا که در راستای حذف کاتالیستی گازهای دودکش، بررسی روش بسترسیال احتراق سوخته‌های سنگین جایگاه ویژه‌ای در صنعت دارد؛ بررسی الگوی رفتاری ذرات جامد آغشته به هیدروکربن سنگین در بستر سیال اعم از نحوه حرکت، مدلسازی احتراق و فرایند فرارزدا و پیرولیز از اهداف اصلی این مجموعه می‌باشد [۷].

در کار علمی [۸]، اختلاط گاز در راکتور بستر سیال در دماهای بالا در یک واحد پیش‌تاز مورد مطالعه قرار گرفته است. از آنجایی که سیستم اختلاط گاز در ایجاد تماس مؤثر بین فاز ها نقش دارد و در واکنش‌های مهم صنعتی اختلاط فازهای واکنش‌دهنده از اهمیت ویژه

دمای گازهای داخل بویلر، زمان توقف محصولات حاصل از احتراق درون بویلر و نسبتهای سوخت به هوای مصرفی در مشعلها و نسبتهای تعادلی مورد استفاده، عواملی است که بر تولید NOx موثرند. در مطالعات صورت گرفته، به دلیل استفاده از سوخت متان که فاقد پاند نیتروژنی است، مکانیزم NOx سوخت عملاً بی اثر بوده و برای مدل سازی تولید NOx تنها دو مکانیزم NOx حرارتی و NOx سریعی مدنظر می باشد.

حذف مطلق یا کاهش نسبی

روشهای کاهش اکسیدهای نیتروژن دردیگهای بخار، به دو دسته روشهای قبل احتراق و روشهای بعد از احتراق تقسیم بندی می شوند. در روشهای قبل از احتراق، هدف جلوگیری از تشکیل NOx با حذف شرایط لازم برای تولید آن می باشد. این روشها شامل استفاده از بازگردش گازهای خروجی از بویلر (EGR (Exhaust Gas Recirculation، یا استفاده از LNB (Low NOx Burner، مشعلهای با NOx تولیدی کم و روش بازسوزش (Reburning) است. در روشهای بعد از احتراق همان ابتدا اجازه داده می شود که احتراق سیر طبیعی خود را طی نموده و سپس در مسیر خروج گازهای سوخته شده شامل آلاینده ها قرار گرفته، با قراردادن کاتالیست با گزینش پذیری مناسب و نیز سایر تمهیدات لازم NOx تولید شده در اثر احتراق از سایر گازها جدا شده و حذف می گردند. این روشها شامل: SCR (Selective Catalytic Reduction) شکلهای (۳ و ۴) و SNCR (Selective Non-Catalytic Reduction) می باشند. در مجموع کارایی و عملکرد روشهای بعد از احتراق شکل (۱) بیشتر از روشهای قبل از احتراق می باشد. به طور نمونه کارایی روش SCR در بعضی موارد بالغ بر ۹۰٪ می رسد. در حالی که بازدهی روشهای قبل از احتراق، کمتر می تواند حداکثر به ۶۵٪ رسانده شود [۲۰]. این در صورتی است که هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری در مورد روشهای قبل از احتراق بسیار کمتر از روشهای بعد از احتراق است. در روشهای پس-احتراق، از آمونیاک برای احیاء نیتروژن شکل (۳) استفاده می شود و نیازمند نصب تجهیزات مربوط به کاتالیزور با بستر ثابت و یا سیالی است. که این ملزومات منجر به افزایش هزینه ها تا چندین برابر در مقایسه با روشهای قبل از احتراق می شود. علیرغم توجه و استقبال سرمایه گذاران و صاحبان نیروگاهها در شرایط رعایت ملاحظات زیست محیطی مورد استفاده واقع می گردند.

بازگردش گاز خروجی

در بین انواع شیوه های عملیاتی قبل از احتراق، بازسوزش از نظر کارایی اثربخشی تر نسبت به سایر روشهاست. بازگویی این روش نیاز به هزینه های کمتری نسبت به دو روش دیگر دارد. در روش بازسوزش هدف اصلی، اصلاح سیستم احتراق به گونه ای است که اجازه تولید

پیش مخلوط هوا و سوخت (متان) از طریق هشت مشعل که در دو طرف بویلر و در چهار طبقه قرار دارند، به درون بویلر تزریق می شود. شبکه مورد استفاده به صورت بی سازمان تولید شده و از روش حجم کنترلی برای انجام محاسبات استفاده نموده است. در تحلیل انجام شده، حالت اسمی و احتراق های با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد بازسوزش مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که با استفاده از ۱۰ درصد بازسوزش، توان حرارتی بویلر تنها با کاهش ۵/۵ درصد، NOx تولیدی را به میزان ۲۲ درصد کاهش داده است. از طرفی استفاده از روش بازسوزش باعث افزایش CO₂ و کاهش CO تولیدی و نیز افت دما درون محفظه بویلر نیز می شود.

مکانیزم های تشکیل

در سیستمهای احتراقی، تشکیل NOx در صورت برقراری سازوکارهای مختلفی تحقق می یابد. این مکانیزمها شامل اکسیدهای نیتروژن حرارتی زلدویچ، مکانیزم NOx سریع و مکانیزم NOx سوخت مطرح می باشند؛ در اثر احتراق سوخت و بالا رفتن دما، شرایط برای واکنش بین مولکولهای نیتروژن و اکسیژن موجود در فضای محفظه احتراق، مساعد می شود. به دلیل وجود اکسیژن زیاد در محفظه احتراق، این مکانیزم نقش عمده ای در تولید NOx ایفا می کند. واکنشهای احتراقی حاکم بر این مکانیزم به مکانیزم زلدویچ (Zeldovich) معروف است. شکل (۵) نمایانگر درصد تبدیل گازهای تولید شده و به ویژه تولید NOx در اتاقکهای احتراق با محدوده های مختلف دمایی می باشد مکانیزم NOx سریع (Prompt) که به مکانیزم فنیفور (Fenimore) نیز معروف است با شیمی احتراق هیدروکربنها مرتبط است. قبل از شروع تشکیل NOx حرارتی، مقداری NOx در منطقه شعله، در شعله های پیش مخلوط آرام تولید می شود. در این مکانیزم رادیکالهای هیدروکربن با مولکولهای نیتروژن برای تشکیل ترکیبات آمین یا سیانو، واکنش انجام می دهند. سپس این ترکیبات به ترکیبات میانی تبدیل شده و در نهایت باعث تشکیل NOx می شوند. واکنشهای حاکم بر این مکانیزم بیان می شود [۱۴] و [۲۰]. در مکانیزم NOx سوختی، NOx تولیدی، ناشی از واکنش نیتروژن های موجود در سوخت تولیدی است. در سوختهای دارای پاند نیتروژنی، نیتروژن سریعاً به سیانید هیدروژن (HCN)، یا آمونیاک (NH₃)، تبدیل می شود. مراحل بعدی مانند مکانیزم NOx سریع است.

از آن جهت که ترکیبات NOx برای تشکیل، نیاز به محدوده دمای بالایی دارند؛ مشخص شده است که دمای آدیاباتیک پایین شعله باعث کاهش NOx می شود. لذا برای رسیدن به این موقعیت از احتراق یکنواخت فقیر، احتراق با اکسیژن کم، احتراق گازهای بی اثر و یا تزریق آب یا بخار به عنوان روشهای عملی می توان بهره برد. اختلاط یکنواخت به وجود آمده، باعث انتشار آرام شعله و پایین آمدن دمای آن می شود که در نهایت کاهش HC، NOx و ذرات معلق را به دنبال دارد.

تعیین می‌گردد. هوا و سوخت پیش مخلوط از طریق ۸ مشعل واقع در چهار طبقه و بر روی دیواره های بویلر به درون محفظه احتراق تزریق می‌شود. میدان دو بعدی فوق، به صورت بی‌سازمان شبکه‌بندی محاسباتی شده است. شبیه‌سازی در چند حالت و با تعداد سلولهای متفاوت انجام شده و شرایط توسعه‌یافتگی جریان در خروجی منظور گردیده است. برای دیواره های بویلر به دلیل تبادل انرژی گرمایی با آب جریان یافته درون لوله های دیواره، و نیز به جهت تغییرات دمایی پایین در طول لوله ها، دمای ثابت ۱۰۰۰ درجه کلوین منظور شده است. در مشعل‌ها، شرط معلوم بودن نرخ جریان جرمی پیش مخلوط برابر با 10 kg/s و دمای 350 درجه کلوین منظور شده است. نسبتهای جرمی متان، اکسیژن و نیتروژن با توجه به واکنش کامل و یا واکنشهای مربوط به بازسوزش، تعیین گردیده است. به طریق مشابه برای احتراق‌های با 20% و 30% بازسوزش، و با تغییر واکنشهای احتراق، کسرهای جرمی اجزاء مختلف محاسبه می‌شوند. لازم به یادآوری است که در احتراقهای همراه با بازسوزش، شرایط غنی از سوخت برای چهارمشعل واقع در طبقات ۲ و ۳ و شرایط فقیر از سوخت برای چهارمشعل واقع در طبقات سوم و چهارم اعمال گردیده‌اند.

مدل و تحلیل

معادلات حاکم بر جریان شامل معادلات بقای جرم کلی، بقای جرم اجزاء شیمیایی، بقای ممنتوم و بقای انرژی می‌باشد. جریان به صورت منغشوش مدلسازی شده و از روش K-Epsilon برای مدلسازی آغتشش بهره گرفته شده است [۲۲]. همچنین جریان به صورت تراکم ناپذیر، و اجزاء شیمیایی موجود در مخلوط به صورت گاز کامل در نظر گرفته شده‌اند. برای مدلسازی احتراق متان و هوا از یک مدل شش جزئی، شامل CH_4 , O_2 , N_2 , CO , CO_2 و H_2O استفاده شده است. برای گسسته سازی معادلات از روش Simple و Upwind مرتبه اول استفاده شده و معادلات به طور غیر صریح با الیام از [۲۲] در حالت پایدار حل شده‌اند. با توجه به اینکه انرژی اکتواسیون واکنشهای تولید NOx بالا بوده و نرخ اکسیداسیون هیدروکربنها خیلی سریع‌تر از نرخ تشکیل NOx می‌باشد و از طرفی در تشکیل NOx تنها غلظتهای رادیکالهای O و OH و مولکول N_2 مؤثر می‌باشند، لذا بیشتر NOx تولیدی، بعد از تکمیل احتراق تشکیل می‌شود. بنابراین می‌توان فرآیند تشکیل NOx را از احتراق اصلی جدا نمود. بنابراین در حل مسأله ابتدا احتراق اصلی مدلسازی شده و میدان جریان حل می‌گردد. سپس با معلوم بودن میدان جریان و نسبت جرمی اجزاء مختلف و سایر شرایط موجود در بویلر، تولید NOx مدل می‌شود.

نتایج

مواد بوجود آمده طی واکنشهای رادیکالی، تنها در شرایط رادیکالی نیز قادر به تغییر ماهیت و تبدیل به مواد پایدار هستند. فلذا با آزادسازی

NOx داده نشود. روش بازسوزش اولین بار در ژاپن و در اوایل دهه ۸۰، استفاده شد و کاهش NOx در حدود 50% را به دنبال داشت. بعدها شرکت‌های هیتاچی (HITACHI) و بابکاک (BABCOCK)، از همان روش بر روی بویلرها استفاده کردند [۶]. توسط گلزبورگ و میلر (Glarborg and Miller) در سال ۱۹۹۴ و زمانسکی و همکاران (Zamansky et al.) در سال ۱۹۹۷ استفاده از تزریق آمونیاک به عنوان عامل احیا کننده NOx همزمان با بکارگیری روش بازسوزش، که بازسوزش پیشرفته نامیده می‌شود (Advanced Reburning)، استفاده شد. این شیوه بازده 85% کاهش NOx را عملی ساخته است. کولهو و همکاران (Coelho et al.)، در تحقیق خود در سال ۲۰۰۱، با بکارگیری مدل سینتیک شامل بیش از ۲۰۰ واکنش میانی و ۲۵ جزء شیمیایی در یک کد محاسباتی، برای یک بویلر با وظیفه گرمایی ۳۲۰ مگاوات، کاهش NOx بین 45% تا 80% ، با توجه به دمای بویلر، نوع سوخت و میزان هوای اضافی را به دست آورد [۲۰]. از آنجا که محدوده حرارتی مناسب برای تولید ترکیبات NOx در بویلر ۱۲۰۰ تا ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد است؛ بنابراین در صورتی که به طریقی از تشکیل این وسعت حرارتی جلوگیری شود، عملاً از بروز محصولات ناخواسته و تشکیل ترکیبات فوق ممانعت بعمل آمده است. این امر با استفاده از اصلاح سیستم احتراق یا به تعبیر دیگر تغییر نسبت تعادلی در مشعلهای مختلف بویلر انجام می‌گیرد.

در روش بازسوزش، احتراق به دو منطقه غنی از سوخت (Fuel Rich) و فقیر از سوخت (Fuel Lean) تقسیم می‌شود. در منطقه غنی از سوخت نسبت تعادلی در مشعلها، بیشتر از حالت استوکیومتری می‌باشد. این امر منجر به اولاً کاهش میزان NOx تولیدی در این منطقه به دلیل کمبود اکسیژن شده و ثانیاً به دلیل خارج شدن از حالت استوکیومتری دمای حاصل از احتراق کاهش یافته و این کاهش دما به نوبه خود باعث کاهش تولید ترکیبات NOx می‌گردد. در منطقه فقیر از سوخت، نسبت تعادلی در مشعلها، کمتر از حالت استوکیومتری است. در این منطقه به دلیل اکسیژن بیشتر، هیدروکربنها نسوخته از مرحله قبل محترق شده و انرژی حرارتی مورد نیاز تامین می‌گردد. همچنین چون سوخت مورد استفاده در این منطقه کمتر از حالت تئوری است، لذا امکان بالارفتن درجه حرارت محفظه احتراق تا محدوده دمایی مناسب برای تولید ترکیبات NOx از بین می‌رود. بنابراین با اعمال مجموع تمهیدات در این شیوه علاوه بر تامین توان حرارتی مورد نیاز ناشی از احتراق حجم معینی سوخت، با جلوگیری از ایجاد محدوده دمایی مناسب برای تولید NOx، تشکیل این ترکیبات اکسیدی کاهش می‌یابد [۲۱].

مطالعات عددی و میدان حل

برای شبیه سازی روش بازسوزش در بویلر، ابتدا مدل دو بعدی بویلر مورد نظر ترسیم و محل قرارگیری مشعلها و خروجی گازهای احتراقی

آنها به محیط، به لحاظ فراهم نبودن شرایط رادیکالی، به همین صورت باقی مانده و تمایلی به تجزیه و یا ترکیب ندارند. پس از مدل سازی تشکیل NOx، شبیه سازی احتراق و نتایج حاصل به صورت خلاصه ارائه شده است. نتایج درج شده برای کسرهای جرمی اجزاء مختلف با انترپال گیری بر روی مجرای خروجی گازهای احتراقی از بویلر محاسبه شده اند. گذشته از اعمال روشهایی چون افزودن گازهای خنثای رقیق کننده، پاشش آب به داخل محفظه احتراق، مرحله ای کردن فرایند احتراق به منظور مهار و کنترل چرپانه های احتراقی. پارامترهایی چون شدت جریان ورتکسی موجودند که عملاً با اعمال میدانهای گردشی شرایط اختلاط مناسب سوخت و هوا، پایداری شعله و نیز احتراق همگون سوخت را تضمین و ارتقاء می دهند. استفاده از روش بازسوزش علاوه بر کاهش NOx بر روی پارامترهای دیگری نظیر هیدروکربنهای نسوخته CH_4 ، CO ، H_2O ، CO تولیدی و نیز توان حرارتی تولیدی تأثیر می گذارد. با استفاده از روش باز سوزش با تغییر نسبت هوا به سوخت مصرفی به نحوی که مناطق غنی از سوخت در مشعلهای طبقات پایین و فقیر از سوخت در مشعلهای طبقات بالا بوجود آید، NOx تولیدی کاهش خواهد یافت. البته این تغییر نسبت را نمی توان زیاد بالا برد. چون در این صورت نتیجه معکوس خواهد داد. با استفاده از احتراق با ۱۰٪ بازسوزش NOx تولیدی را می توان به میزان ۲۲٪ کاهش داد. این میزان برای احتراقهای با ۲۰ و ۳۰ درصد بازسوزش به ترتیب ۳۹ و ۵۳ درصد می باشد. شکل (۲) میزان کاهش NOx تولیدی برای حالت های مختلف احتراقی را نشان می دهد.

بطور مشخص تأثیر روش استفاده شده جهت کاهش NOx تولیدی، بر توان حرارتی تولیدی در بویلر از مهمترین عوامل موثر در انتخاب روش می باشد. در این تحقیق هدف، تعیین دقیق میزان توان حرارتی تولیدی در اثر احتراق نمی باشد. بلکه هدف مقایسه توان حرارتی تولیدی در حالت های مختلف است. به این منظور در هر حالت، حرارت منتقل شده به دیواره های بویلر محاسبه شده است. با استفاده از روش بازسوزش، به دلیل کاهش دمای شعله در منطقه غنی از سوخت افزایش هیدروکربن نسوخته عملاً انرژی حرارتی بخشی از سوخت مصرفی بدون استفاده از بویلر خارج می گردد. لذا پیکارگیری بازسوزش باعث کاهش توان حرارتی تولیدی در بویلر می گردد. با افزایش میزان هیدروکربن نسوخته درون بویلر و نیز حضور مولکولهای اکسیژن در طبقات بالا، زمینه مناسب برای تولید CO_2 فراهم گردیده و تولید این جزء افزایش می یابد. با افزایش اختلاف نسبتهای هوا به سوخت استفاده شده در مشعلهای طبقات مختلف، میزان CO_2 تولیدی نیز افزایش می یابد.

در روش بازسوزش مطابق با شکل (۵) دمای آدیاباتیک به علت خروج احتراق از حالت استوکیومتری، کاهش می یابد. در منطقه غنی از سوخت که منطقه اصلی احتراق نیز می باشد، به دلیل کاهش غلظت اکسیژن موجود در محیط تمامی هیدروکربنها امکان احتراق را پیدا

نکرده و محترق نمی شوند. این امر باعث کاهش دما در این منطقه و کاهش NOx می گردد. شکل (۶)، نمایانگر میزان کمی حضور درصد وزنی کاتالیست و شدت جذب اکسیدهای نیتروژن NOx، بویژه نیتریک اکساید NO را در مقابل جذب ناخواسته اکسیژن در درجات حرارت بر حسب سانتیگراد نشان می دهد. (کاهش یا جذب NOx در برابر حذف اکسیژن به مراتب در اولویت می باشد). این محدوده دمایی بین ۳۵۰-۴۰۰ درجه سلسیوس متغیر است. توجه فنی به حفظ شرایط دمایی برای جذب بیشتر NOx با درصد مشخص کاتالیست از اهمیت عملیاتی ویژه ای برخوردار است. به منظور نمایش کیفیت حضور کاتالیزور در بستر کاتالیستی در شدت جذب و توفیق کاهش NOx، مطابق شکل (۷) بخوبی دانسته می شود. استفاده عملی از کاتالیست تازه ضمن دارا بودن قدرت انتخابگری بیشتر و داشتن موقعیت های فعال، واکنشهای جانبی را نیز به حداقل می رساند. شکل (۷)، بطور کیفی و کمی این صعود و نزول و یا به عبارتی کارایی کاتالیستی کاتالیزور در بستر کاتالیستی را در امکان جذب بیشتر و یا کمتر NOx، نشان می دهد.

بحث و نتیجه گیری

در این کار مطالعاتی سه شیوه کنترل، حذف و یا کاهش گازهای نیتروژنی و متعاقب آن سایر دستاوردهای ناشی از آن ایفا گردیده است. از آنجا که کاهش اندازه ذرات احتراق، مخلوط اکسیژن و مواد احتراقی را بهبود می بخشد؛ لذا بهبود شرایط احتراق مستقیماً ناشی از طراحی سیکلون با رعایت موازن مناسب فنی آن می باشد. واحدهای نمونه ذکر شده، فرصتی بی نظیری را برای ارزیابی تأثیر کارایی سیکلون در عملکرد بویلرهای CFB بستر جریان فراهم کرده است. افزایش کارایی سیکلون سبب شد که افزایش قابل توجهی در انتقال حرارت صورت گیرد و علاوه بر کاهش مصرف سنگ آهک و برق اثر مستقیمی روی کاهش انتشار NOx و CO داشته باشد. این نتیجه مطلوب به دلیل اندازه میانه ذرات مواد ورودی و کاهش ۵۶ درصدی و رساندن آن به ۸۰ میکرون بوده است.

نتایج حاصل از کنترل و کاهش گازهای دودکش با استفاده از مکانیزم بازسوزش نشان می دهد؛ از طریق انجام احتراق با ۵۰٪ بازسوزش متجر به کاهش ۷۰٪ NOx می شود. همچنین علاوه بر کاهش NOx، استفاده از این روش نیز سبب کاهش تولید گاز ناپایدار CO و نیز حرارت منتقل شده به دیواره ها می گردد. روش بازسوزش دارای هزینه های پایینی بوده و از نقطه نظر هزینه بهره برداری و سرمایه گذاری مورد توجه می باشد. لذا بدین دلیل روش بازسوزش به عنوان یک روش مؤثر در کاهش NOx مطرح می باشد. مسلماً برای دستیابی به کاهش بیشتر NOx از روش های کارآمد احیای کاتالیستی، خصوصاً روشهای بعد از احتراق مانند SCR و SNCR استفاده می شود که نتایج مطلوبی را حاصل می نماید. چون دفع و حذف NOx یکی از

قادر به دستیابی موازنه معقولی بین بهبود مستمر شرایط زیست محیطی و نرخ رشد اقتصادی ارائه نماید. اگرچه کلیه فعالیت‌های صنعتی بایستی با توجه جدی به تبعات زیست‌محیطی طراحی، پیاده‌سازی و تداوم یابند؛ کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای شامل: CH_4 ، CO_2 ، استفاده از سوخت‌های فسیلی پاک‌تر، خصوصاً CH_4 به جای نفت و زغال سنگ، استفاده از منابع انرژی جدید و تجدید شونده مثل: باد، خورشید، ژئوترمال و انرژی امواج مجموعه راهکارهای نوینی است که منجر به کاهش آلودگی می‌شود. تولید ماشین‌هایی با بازدهی بالاتر، تولید انرژی برق توسط توربین‌های ترکیبی، ایجاد شرایط بهسوزی سوخت و افزایش راندمان بویلرها و کوره‌ها نیز راه حلی برای بهبود بازدهی انرژی است. همچنین کاهش گازهای آلاینده از دودهای خروجی، بهینه‌سازی در منابع غیرانرژی و سامانه‌های مولد آلاینده‌گازی مانند صنعت سیمان و کوره‌های زباله سوز، اقدامات اساسی در جهت کاهش کلی انرژی مصرفی و بهینه‌ساز سوخت است.

- [1] ع. ا. قربانپورخمسه، مدل‌سازی و شبیه‌سازی راکتورهای بستر سیال برگشتی (CFB) و بستر سیال حیایی (BFB)، به راهنمایی: محمود تربی‌انگهی، پایان نامه (کارشناسی ارشد)، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۷۳.
- [۲] م.م. امام‌جمعه، مطالعه کارایی سیستم FAS در مقیاس پایلوت برای تصفیه فاضلاب کارخانه شیر پاستوریزه تهران؛ به راهنمایی: علیرضا مصدقی‌نیا، پایان نامه (کارشناسی ارشد)، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۷۳.
- [۳] م.ر. تاجیک، گوگردزایی در راکتور بستر سیال، به راهنمایی: مرتضی سهرابی، پایان نامه (کارشناسی ارشد) - دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۲.
- [۴] ع. ا. جمالی، روشهای حذف گازهای دودکش و معرفی مکانیزم روش بازسوزش برای کاهش آلاینده‌های ناشی از احتراق، به راهنمایی: سیروس قطبی و سلسطانیه محمد، گزارش، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۳۶۴.

- [15] V. P. KUDESIA, Ph.D., "Air Pollution", Published by: K. K. Mittal, 1990.
- [16] Arunvel Thangamani, "A NOx Reduction Model for Advanced Reburn Process Using Biomass", Final Project, December 2002.
- [17] Stephen R. Turns, "An Introduction to Combustion Concepts and Applications", McGraw Hill, Inc., 1996.
- [18] C.P. Fenimore. In 13 th Symp. (INT) on Combustion, Page 373. The Combustion Institute, 1971.
- [19] L. M. R. Coelho, J. L. T. Azevedo, T. Faravelli, G. Hessman, "Integrated Study of Reburn Technology By Means of Detailed Chemical Kinetic, CFD Modelling And Pilot Scale Testing", IFRF Combustion Journal, Article Number 200102, November 2001.
- [20] H. C. Magel et al., "NOx Reduction With Staged Combustion-Comparison of Experimental And Modelling Results", Institute for Process Engineering And Power Plant Technology (IVT), University of Stuttgart.
- [21] B. E. Launder and D. B. Spalding, "Lectures in Mathematical Models of Turbulence", Academic Press, London, England, 1972.
- [22] B. F. Magnussen and B. H. Hjertager, "On Mathematical Models of Turbulent Combustion With Special Emphasis on Soot Formation and Combustion", In 16th smp. On Comb, 1999.

کارآمدترین شیوه‌های کاهش آلاینده‌هاست؛ لذا بسترهای سیالی ثابت کاتالیستی پیشنهاد شده است. هدف از اعمال روش SCR و قراردادن کاتالیست با امکان گزینش‌پذیری مطلوب و نیز بکارگیری تجهیزات عملیاتی، جدا سازی با کارایی بالا و حذف پلوتنت‌های از نوع NOx است. از آنجا که احیای کاتالیستی گازهای آلاینده به کمک تبدیل آمونیاک روی کاتالیست کف فعال در بسترهای ثابت و سیالی با جریانهای هیدروپنایمی مختلف؛ راندمانهای متفاوتی را حاصل می‌نماید؛ لذا دو نوع جریان هیدروپنایمی، شامل رژیمهای حبابی و متلاطم در بسترها مد نظر است. به طور نمونه کارایی روش کاهش به طریق بسترهای کاتالیستی انتخابی در بعضی موارد بالغ بر ۹۰٪، در حالی که بازدهی روشهای قبل از احتراق اغلب کمتر از ۶۵٪ است.

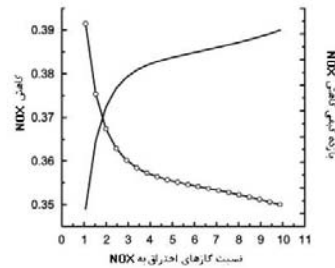
پیشنهادهات

در راستای ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف سوخت و کاهش آلودگی‌های محیطی باید دانست؛ هرکارراهه پیشنهادی جدید باید

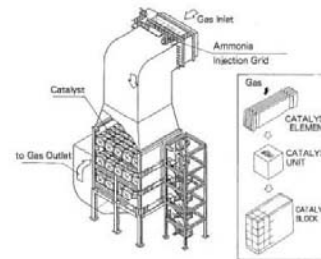
مراجع

- [۱] ع. ا. جمالی، مطالعات تجربی و عددی مبدل‌های گرمایی پیش‌گرمکن در صنعت نفت و ارائه شیوه بهبود راندمان آنها، ماهنامه نفت و انرژی، سال اول، اسفندماه ۱۳۸۳.
- [۲] شرکت توانیر، "کارایی بالا رمز موفقیت لهستان"، بولتن خبری، شماره ۷۲، روابط عمومی و امور بین‌الملل، گزارش ژانویه ۲۰۰۵، دی ماه ۱۳۸۳.
- [۳] م.علیزاده، شبیه سازی راکتور بستر سیال تولید پلی اتیلن؛ به راهنمایی: نوید مستوفی. به زبان فارسی؛ چکیده به زبان فارسی، انگلیسی، پایان نامه (کارشناسی ارشد) - دانشگاه تهران، دانشکده فنی، ۱۳۸۱.
- [۴] ر.جعفری، شبیه سازی تولید ملامین در بستر سیال شده؛ به راهنمایی: رحمت ستوده قره باغ؛ استاد مشاور: نوید مستوفی، پایان نامه (کارشناسی ارشد) - دانشگاه تهران، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی، ۱۳۸۱.
- [۵] مطالعه رفتار هیدرولیکی فاز گاز در راکتورهای بستر سیال، طرح پژوهشی "دولتی"، میزان پیشرفت کار: ۱۰۰٪، وزارت نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، تاریخ اجرا ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۰.
- [۶] ح. شریفی زلانی، طراحی و ساخت واحد نیمه صنعتی بستر سیال جهت شکست کاتالیستی باقی مانده‌های سنگین نفتی (پایلوت FCC)، به راهنمایی: جعفر توفیقی، پایان نامه (کارشناسی ارشد)، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۴.
- [۷] ر.چنائی افشار، بررسی روش بستر سیال در احتراق سوختهای سنگین مدل‌سازی و تدوین الگوریتم، به راهنمایی: علی اسفر افشار، پایان نامه - دانشگاه تهران، دانشکده فنی، ۱۳۸۰.
- [۸] رستوده قره باغ (و دیگران ...)، اختلاط گاز در راکتور بستر سیال در دماهای بالا، به زبان فارسی؛ شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۲۱، شماره ۱، ۱۳۸۱، صحن. ۸-۱۰.
- [۹] م. ح. حاتم‌پور، بررسی تئوری و عملی خشک کردن یک جسم جامد در بستر سیالی حاوی ذرات حامل انرژی، به راهنمایی: داریوش مولایه زبان انگلیسی؛ پایان نامه (کارشناسی ارشد)، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۱.
- [۱۰] پ. موسویان، بازیابی حرارت از گازهای خروجی انرژی و کاربرد آن در گرمایش ساختمانها بوسیله بسترهای سیالی؛ به راهنمایی: عبدالحسین جهانگیری، پایان نامه دانشگاه شیراز، ۱۳۷۷.

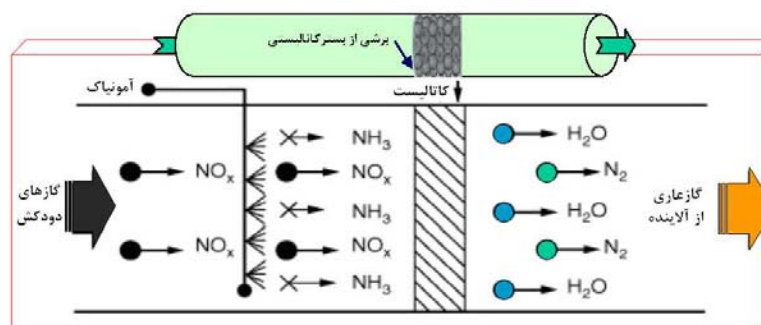
منحنی ها و اشکال



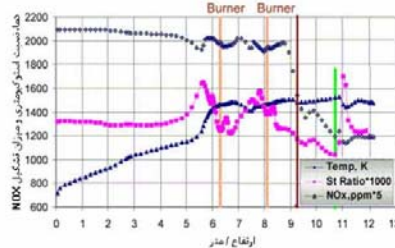
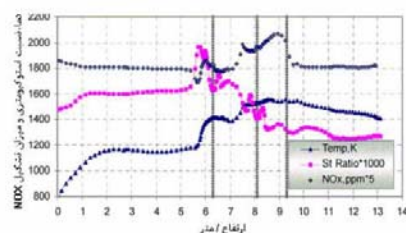
شکل ۲: نمایشگر میزان کاهش NOx تولید شده برای حالت‌های و نسبت‌های مختلف احتراقی



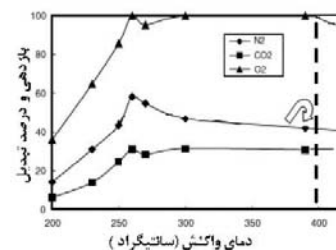
شکل ۱: نمایش گذرگاه و چگونگی گذر گازهای دودکش از بستر ثابت کاتالیستی



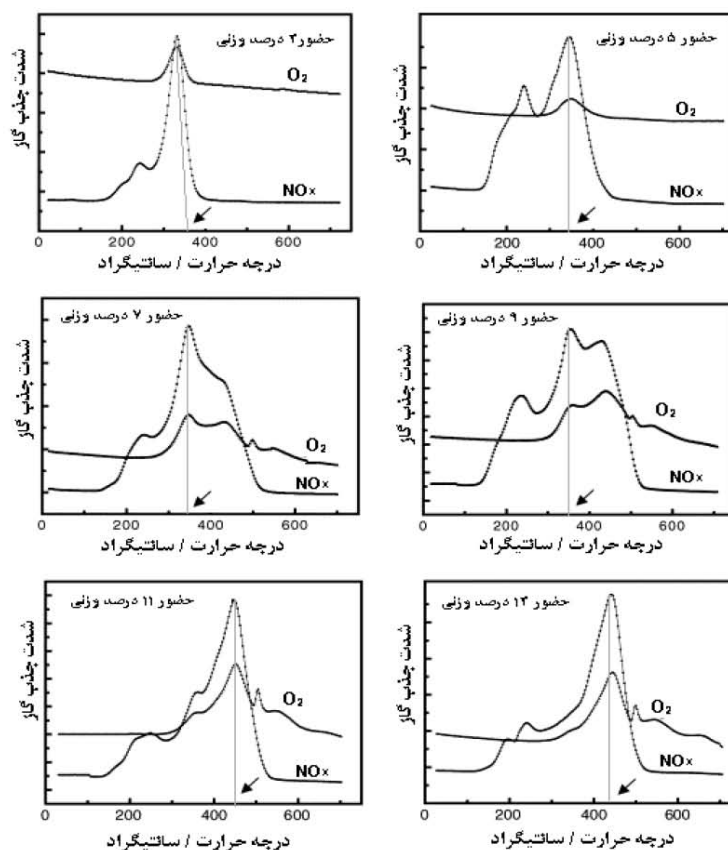
شکل ۳: نمایش شماتیک فرایند بازیابی انتخابی در بستر کاتالیستی اکسیدهای نیتروژن



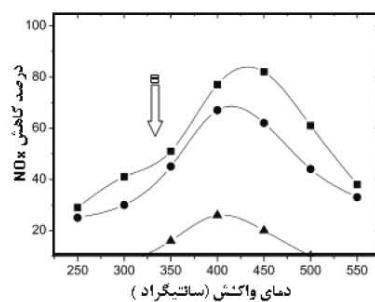
شکل ۴: دما، نسبت استوکیومتری و NOx تولیدی در طبقات مختلف بر حسب ارتفاع



شکل ۵: نمایش درصد تبدیل گازهای تولید شده در اتاقک‌های احتراق و محدوده‌های مختلفی



شکل ۶: نمایش کمیت حضور درصد وزنی کاتالیست و شدت جذب NOx در برابر جذب ناخواسته اکسیژن



شکل ۷: نمایش صعود و نزول کارایی کاتالیتیکی در شدت جذب NOx