Archive of SID

JARC

بهینه‌سازی عوامل موثر بر اسیدخروجی ازکوره سوختن هیدروکربن‌های کلردار

مهدی رنجبری [۱] و سمیه طورانی [۲و*]

۱. کارشناسی ارشد گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران

دریافت: بهمن ۱۳۹۷، بازنگری: مرداد ۱۳۹۸، پذیرش: مهر ۱۳۹۸

چکیده: هیدروکربن‌های کلردار یکی از پسماندهای صنایع پتروشیمی هستند. با توجه به ضرورت مسایل زیست‌محیطی ناشی از پسماندهای صنعتی، یکی از روش‌های کاهش آسیب به محیطزیست استفاده از این پسماندها به‌عنوان سوخت درکوره زباله سوز است. هدف اصلی این پژوهش، بهینه‌سازی آزمایشگاهی عملکرد کوره زباله سوز پسماندهای هیدروکربنی کلردار در صنایع پتروشیمی به منظور کاهش کلریدریک اسید و جلوگیری از خوردگی ناشی از تولید آنها است. عامل‌هایی که بهینه–سازی برپایه آن‌ها انجام شده است، شامل درصد اکسیژن اضافی، دمای کوره، مقدار گاز مصرفی، مقدار آب ورودی به کوره و مقدار هیدروکربن‌های کلردار ورودی به صورت هیدروکربن‌های با دمای جوش بالا (H.B) و هیدروکربن‌های با دمای جوش پایین (L.B) است. برای عملیات بهینه‌سازی تغییرات در عامل‌های یاد شده اعمال و غلظت کلریدریک اسید خروجی اندازه‌گیری شد. سپس، با استفاده از نرم‌افزار QUALITEK و روش تاگوچی مقادیر بهینه شده به‌دست آمد. برپایه نتایج در دمای ۱۲۳۰ °C، سرعت جریان هیدروکربن‌های با دمای جوش بالا برابر با ۸۸۰ kg/h، سرعت جریان هیدروکربن‌های با دمای جوش پایین برابر با ۲۵۰ kg/h، سرعت جریان آب ورودی به کوره برابر با ۲۰۰ kg/h و ۳ درصد حجمی هوای اضافی، مقدار غلظت اسید خروجی ۱۵٫۸ درصد به‌دست آمد. غلظت اسیدخروجی پس از انجام آزمون میدانی در شرایط بهینه ۱۵٫۲ درصد بود. نتایج نشان می‌دهد همخوانی خوبی بین نتایج خروجی از نرم افزار و نتایج در واحد صنعتی وجود دارد. همچنین، پس از بهینه‌سازی مقدار مصرف کاستیک و سوخت گازی، کاهش چشمگیری داشت.

واژه‌های کلیدی: کوره زباله سوز، هیدروکربن‌های با دمای جوش پایین، هیدروکربن‌های با دمای جوش بالا، روش تاگوچی

مقدمه

از ابتدای قرن بیستم تاکنون، همواره میان کارشناسان در مورد چگونگی انتخاب بهترین روش دفع نهایی مواد زائد بحث‌های زیادی مطرح بوده است. استفاده از زباله‌سوزها افزون بر کاهش حجم مواد زائد مزایای دیگری نیز دارند که از مهمترین آن‌ها می‌توان به کاهش هزینه‌های مربوط به حمل و نقل و ازبین‌بردن سموم آلی، ضایعات صنعتی و عمومی اشاره کرد. همچنین، می‌توان از انرژی تولید شده با استفاده از این دستگاه‌ها نیز بهره مطلوب را برد [۱ و ۲]. برپایه بررسی‌های به‌عمل آمده آلاینده‌های منتشر شده از دودکش زباله‌سوزها شامل کربن‌منوکسید، اکسیدهای

*عهده‌دار مکاتبات: s.tourani@mhriau.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

نیتروژن، گازهای اسیدی، ترکیب‌های آلی فرار، دی‌اکسیدها و فرئون‌ها هستند. این ترکیب‌ها قادر به ایجاد مشکل‌های فراوان برای محیط‌زیست هستند و آیین نامه‌ها محدودیت‌های انتشار فراوانی را به منظور مقابله با افزایش غلظت این آلاینده‌ها درجو در نظر گرفته‌اند [۳ و ۴]. برای مثال، به دلیل ویژگی کلر از نظر وزن مولکولی بالا، غلظت بالای ذرات آئروسل (ذرات میکروسکوپی جامد و مایع در فاز گازی) در آن و دمای پایین انتشار، ابرتشکیل شده از کلر، چگالی بالایی داشته و در طی یک شناوری منفی در نزدیکی سطح زمین قرارمی‌گیرد و می‌تواند آثار مخربی برجمعیت نزدیک به محل انتشار به بار بیاورد [۵].

با فرایندهای جذب یا دفع می‌توان برخی آلودگی‌ها را حذف کرد. صابری در مقاله‌ای فرایند دفع کربن دی‌اکسید را از بستری از ذرات کربن فعال در کوره را مدل کرده و اثر برخی از عامل‌های موثر بر فرایند دفع کربن دی‌اکسید را بررسی کرده است. براساس نتایج گزارش شده در این کار، ضریب انتقال جرم برای کربن دی‌اکسید و فلاکس خروجی کربن دی‌اکسید از ذرات بستر، جزء مهمترین عامل‌های موثر بر این فرایند هستند [۶].

در پژوهشی که توسط پریشان نداف و امیدخواه در دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام شد، کاهش آلاینده‌های NO_X، SO_X و CO_X در کوره‌های صنعتی مورد بررسی قرار گرفتند. آن‌ها متغییرهای پیوسته مورد نیاز برای تشکیل تابع هدف را دمای هوا، درصد هوای اضافی و متغییر گسسته را نوع سوخت در نظر گرفتند. نتایج این پژوهش بیانگر این مطلب بود که اگر مقدار هوای اضافی بیشتر از مقدار هوای استوکیومتری باشد، با افزایش هوای اضافی دمای آدیاباتیک شعله کاهش می‌یابد و در صورتی که مقدار هوای اضافی کمتر از مقدار استوکیومتری باشد، دمای آدیاباتیک شعله با افزایش هوای اضافی افزایش می‌یابد. درصد هوای اضافی بیشتر باعث افزایش CO_X و دمای هوای بالاتر پیش گرم باعث کاهش مقدار CO_X می‌شود. همچنین، درصد هوای اضافی کمتر و دمای پایین‌تر هوای پیش گرم باعث کاهش NO_X می‌شود [۷].

در پژوهشی دیگر، مدرسی عامل‌های موثر بر عملیات سطحی کربن‌دهی[1] گازی مانند دمای کوره، فشارکوره، نسبت هوا به سوخت و دما و رطوبت محیط را مورد بررسی قرار داد که کاهش نقطه شبنم در گاز کوره، کاهش نسبت هوا به سوخت، کاهش دمای کربن‌دهی و افـزایش فشار کاری کوره، درصد کربن سطح قطعـه کربن‌دهی شـده افزایش مـی‌یابـد [۸].

کی این چوی و دانگ هون‌لی در پژوهشی غلظت PCDD/DF[2] را در ورودی و خروجی گازشو[3] در فرایند سوختن زباله بررسی کردند. برای بهبود گازشوها به‌طور معمول حلال‌های آلکالی مانند NaOH و NH_4OH افزوده می‌شوند. گازشوهای تر برای حذف NO_X مناسب نیستند زیرا در آب قابل حل نیستند. بررسی‌ها بر حذف NO_X در گازشوها هنوز در مراحل اولیه است ولی به‌هرحال واکنشگرهای شیمیایی مانند (H_2O_2، $H_2SO_4/FeSO_4$، $NaOH/NaCl_2$، /NaOH $KMnO_4$ و . . .) که می‌توانند NO غیرقابل حل را به NO_X قابل‌حل تبدیل کنند، بازدهی حذف NO_X در گازشوها را بهبود می‌بخشند [۹].

در پژوهشی که توسط وانگ–ساسو–لاو انجام شد، تأثیر آب در بهبود سوختن هیدروکربن‌های کلردار سنگین مورد بررسی قرارگرفت. در پژوهش آزمایشگاهی آن‌ها، سوختن مخلوط‌های ۲،۲،۱،۱ تتراکلرواتان (TECA) و n-نونان بررسی شده است. در این بررسی، وجود مقدار کمی از بخار آب در محفظه سوختن (۵ تا ۱۰ درصد حجمی) مقدار تخریب هیدروکربن‌های کلردار را به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌دهد. همچنین، وجود بخار آب دمای بدنه کوره و شعله را کاهش می‌دهد. از این‌رو، باعث افزایش پایداری فرایند سوزاندن می‌شود. به این ترتیب انتظار می‌رود که بازده تخریب افزایش یابد و تولید فراورده‌های نامطلوب سمی مانند فسژن کاهش یابد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که برای یک خانواده شبیه به هم از مواد شیمیایی، اثر بخار آب در افزایش مقدار سوختن مشابه است با زمانی که سوخت مخلوط شامل نسبت کلر– هیدروژن مشابه باشد. در نتیجه ویژگی‌های ذرات سوختن مخلوط هیدروکربن‌ها می‌تواند بستگی به نسبت Cl/H

1. Carburization 2. Polychlorinated dibenzo-p-Dioxin and Polychlorinated dibenzofurans 3. Wet scrubber

www.SID.ir

Archive of SID

مخلوط داشته باشد. نقش آب در جلوگیری از یک منبع اضافی از واکنش‌های هیدروکسیل از راه واکنش با اتم‌های کلر مهم است. حضور آب اثرات مفیدی از جمله کاهش فراورده‌های جانبی خارج شده از سوختن هیدروکربن‌های کلردار، دارد. انتظار این است که با افزایش شدت سوختن و غلظت OH انتشار فراورده‌های جانبی کاهش یابد [۹ و ۱۰].

از مشکلات کوره‌های سوخت هیدروکربن‌ها، تولید گازهای آلاینده مانند CH_4، Cl_2، HCl، CH_4، $COCl_2$، CO_2، CO، NO_X، است [۱۱]. گازهای به‌دست آمده از سوختن به‌شدت تابعی از دماست. افزایش دما باعث کاهش برخی از گازها از جمله CO_2 ولی از طرف دیگر، باعث تولید گازهای اسیدی می‌شود. کاهش دما افزون بر تولید کلر بیشتر می‌تواند باعث تشکیل ترکیب–های خطرناکی از جمله فسژن شود [۱۲، ۱۳ و ۱۴]. برای حذف این ترکیب‌های خطرناک لازم است، دمای سوختن کوره زباله‌سوز بالا نگه‌داشته شود. بنابراین، به‌دست آوردن دمای بهینه در کوره‌های سوختن هیدروکربن‌ها ضروری است.

گازهای به‌دست آمده از سوختن پس از عبور از یک مبدل و خنک‌شدن در یک ظرف جمع آوری می‌شوند. گازهایی که متراکم نمی‌شوند، به سمت گازشو هدایت می‌شوند. گازشو یک برج جذب پرشده است. گازهای ورودی که شامل HCl، Cl هستند با آب شسته می‌شوند. افزون بر آب از NaOH برای خنثی‌کردن اسید و از بیوسولفیت ($NaHSO_3$) برای جذب کلر استفاده می‌شود. تولید اسید منجر به افزایش مصرف آب در گازشوها می‌شود. همچنین، برای خنثی‌سازی اسید نیاز به مقدار سود بیشتری هستیم. افزایش مصرف سود باعث تشکیل نمک و ایجاد گرفتگی در مسیرهای فرایندی و تخریب تجهیزات مانند پمپ‌ها، گازشو پرشده و . . . می‌شود. همچنین، افزایش غلظت اسید و ترکیب آن با آب به دلیل گرمازابودن واکنش باعث افزایش دمای تجهیزات و در نهایت آسیب دستگاه‌ها و یا به‌وجود آمدن نشتی در سامانه می‌شود. با توجه به مطالب یاد شده، غلظت کلریدریک اسید و کلر خروجی از کوره زباله‌سوز نقش مهمی در آلودگی محیط زیست و سالم نگه‌داشتن سامانه پایین دست کوره دارد.

در این پژوهش، غلظت اسید با بهینه‌کردن عامل‌های موثر بر سوختن کوره مانند دمای کوره، مقدار آب ورودی، درصد اکسیژن اضافی و مقدار تزریق هیدروکربن‌های کلردار به دو شکل هیدروکربن‌های کلردارسنگین (H.B) و هیدروکربن‌های کلردار سبک (L.B) مورد توجه قرارگرفته است.

بخش تجربی

گازهای خروجی از محفظه سوختن برای خنک‌شدن وارد یک مبدل می‌شدند. پس از خنک‌شدن، گازها و مایع‌ها در یک ظرف جمع‌آوری و نمونه‌گیری برای انجام آزمایش‌ها از این ظرف انجام می‌شد. مقدار اسید و کلر به روش تیترشدن اندازه‌گیری شد.

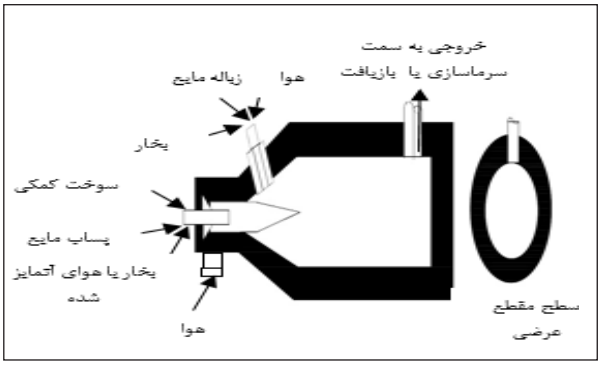
خوراک مایع ورودی شامل ترکیب‌های هیدروکربن‌های سبک و سنگین بود. هیدروکربن‌های سبک شامل اتیلن، وینیل کلراید تکپار، اتیل‌کلراید (کلرو اتان)، ۱و۱دی کلرواتان، کلروپرن، کلروفرم، بنزن و هیدروکربن‌های سنگین شامل ۱و۲دی‌کلروبنزن، تری‌کلرواتیلن، تتراکلرواتیلن، ۱و۱و۲تری‌کلرواتان (TCE)، مونوکلرواستالدهئید، دی‌کلرواستالدهید، تری‌کلرواستالدهید (کلرال)، ۲و۳دی‌کلروبوتادین، تتراکلرواتان، پنتاکلرواتان، تتراکلرومتان (CTC)، کلروبنزن، دی‌کلروبوتادین– ترانس، دی‌کلروبوتادین سیس، ۱و۴دی‌کلروبنزن است.

برای انجام آزمایش‌ها از یک کوره زباله‌سوز تزریق مایع استفاده شد. کوره زباله‌سوز تزریق مایع ساخت کشور آلمان و از جنس cs/fire proof brick بود. کوره زباله‌سوز تزریق مایع شامل یک سامانه خوراک (برنر)[1]، یک سامانه سوخت کمکی[2]، یک محفظه سوختن[3] و یک سامانه تأمین هوا[4] بود. شکل ۱ طرح‌واره کوره زباله سوز تزریق مایع است. ضایعات مایع از طریق نازل با هوا به محفظه کوره تزریق و با هوا ترکیب و مشتعل می‌شوند.

1. Burner 2. Fuel gas 3. Chamber 4. Blower

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱ کوره زباله‌سوز تزریق مایع

تابع هدفی که در نظر گرفته شد، مقدار HCl خروجی از کوره بود. تغییرات اعمال شده در ۵ عامل مقدار H.B، مقدار L.B، مقدار اکسیژن اضافی، مقدار آب ورودی و دمای کوره در نظر گرفته شد. هر کدام از عامل‌ها نیز در ۴ سطح مورد بررسی قرار گرفت (جدول۱). این ۴ سطح با توجه به محدودیت‌های تجهیزات و امکان انجام آزمایش انتخاب شده‌اند. بهینه‌سازی با نرم‌افزار Qualitek-4 به روش تاگوچی انجام شد. تاگوچی برای بررسی پراکندگی پاسخ‌ها از تابع مربع انحراف استاندارد در قالب معادله ۲ استفاده می‌کند.

جدول۱ تعیین فاکتورها و سطوح آزمایش

عامل	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴
H.B (kg/h)	۵۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۸۸۰
L.B (kg/h)	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰
دمای کوره (°C)	۱۱۷۰	۱۲۰۰	۱۲۳۰	۱۲۵۰
آب ورودی (kg/h)	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰
اکسیژن اضافی (درصدحجمی)	۲/۵	۳	۳/۵	۴

$$\frac{S}{N} = -log_{10}(MSD) \qquad (۱)$$

منفی در معادله ۱ برای آن است که حداکثر کردن S/N [1] منجر به حداقل‌شدن زیان کیفی (MSD)[2] و یا کاهش مقدار پراکندگی داده‌ها می‌شود. لگاریتمی بودن MSD هم برای آن است که گستره وسیعی از اعداد در این معادله قابلیت استفاده داشته باشند. در ملاک S/N، S یا مولفه نشانه، نشانگر مولفه مطلوبیت عملکرد است که باید در وضع بهینه خود قرار گیرد و N مولفه اغتشاش، نشانگر مولفه عدم مطلوبیت تولید است [۱۵].

نتیجه‌ها و بحث

برای بهینه کردن کوره زباله سوز ۵ عامل دمای کوره، مقدار آب ورودی، مقدار خوراک و مقدار اکسیژن اضافی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ نتایج درصد غلظت اسید

شماره آزمایش	T (°C)	H.B (kg/h)	L.B (kg/h)	آب* DM (kg/h)	اکسیژن اضافی (درصد حجمی)	درصد اسید	
						نمونه اول	نمونه دوم
۱	۱۱۷۰	۵۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲/۵	۹/۳	۹/۸
۲	۱۱۷۰	۷۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۳/۰	۱۰/۷	۱۱/۸
۳	۱۱۷۰	۸۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۳/۵	۱۲/۳	۱۲/۷
۴	۱۱۷۰	۸۸۰	۲۵۰	۲۵۰	۴/۰	۱۲/۷	۱۳/۲
۵	۱۲۰۰	۵۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۴/۰	۱۰/۹	۱۱/۵
۶	۱۲۰۰	۷۰۰	۱۰۰	۲۵۰	۳/۵	۱۱/۵	۱۱/۶
۷	۱۲۰۰	۸۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۳/۰	۱۲/۵	۱۲/۸
۸	۱۲۰۰	۸۸۰	۲۰۰	۱۵۰	۲/۵	۱۳/۵	۱۳/۶
۹	۱۲۳۰	۵۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۳/۰	۱۲/۶	۱۳/۱
۱۰	۱۲۳۰	۷۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۲/۵	۱۳/۹	۱۳/۶
۱۱	۱۲۳۰	۸۰۰	۱۰۰	۱۵۰	۴/۰	۱۳/۵	۱۴/۴
۱۲	۱۲۳۰	۸۸۰	۱۵۰	۱۰۰	۳/۵	۱۴/۸	۱۴/۲
۱۳	۱۲۵۰	۵۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۳/۵	۱۲/۷	۱۳/۱
۱۴	۱۲۵۰	۷۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۴/۰	۱۲/۹	۱۳/۴
۱۵	۱۲۵۰	۸۰۰	۱۵۰	۲۵۰	۲/۵	۱۴/۵	۱۳/۷
۱۶	۱۲۵۰	۸۸۰	۱۰۰	۲۰۰	۳/۰	۱۴/۶	۱۵/۲

* Demineralized

1. Signal to noise ratio 2. Mean squared deviation

www.SID.ir

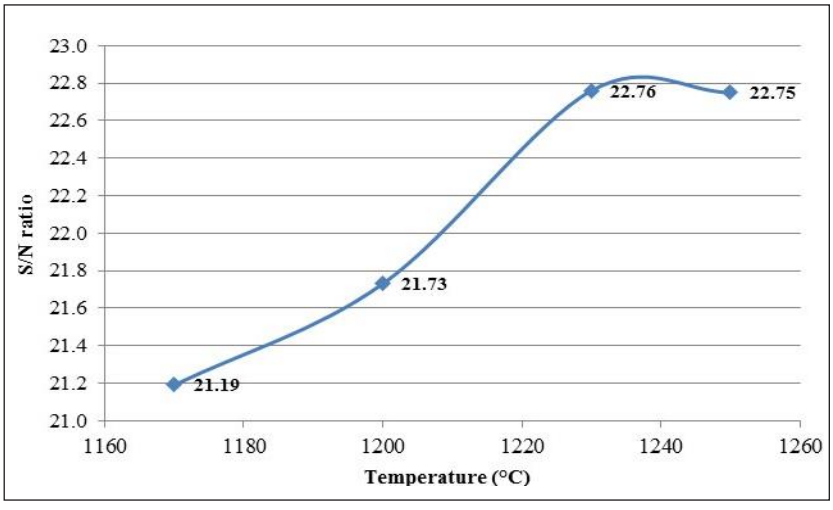
Archive of SID

بررسی اثردما بر غلظت اسید

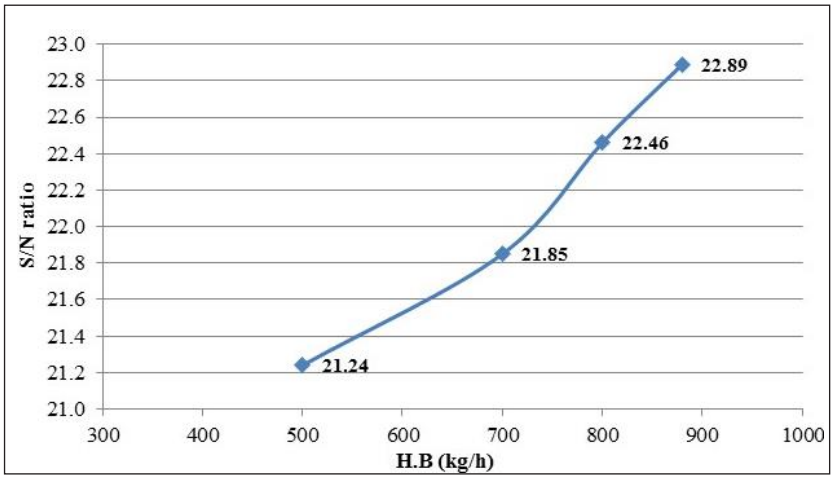
شکل۲، نتایج تأثیر دما بر غلظت اسید را در ۴ سطح نشان می دهد. همان‌طور که از نمودار مشاهده می شود، با افزایش دما از ۱۱۷۰ °C تا ۱۲۳۰ °C مقدار غلظت اسید، ۷/۴ درصد افزایش پیدا می کند و در دمای ۱۲۵۰ °C کمی از غلظت اسید کاسته می‌شود. سوختن هیدروکربن های کلردار به دمای بالایی نیاز دارد. از آنجایی که خوراک ورودی به کوره شامل مخلوطی از هیدروکربن های کلردار است با افزایش دما پیوندهای بیشتری از کلر در مخلوط شکسته می شوند و با آزادشدن هیدروژن می‌توانند اسید تولید کنند. دلیل کاهش غلظت اسید در دمای ۱۲۵۰ °C این است که در دمای ۱۲۳۰ °C هیدروکربن های ورودی به طور کامل شکسته شده و کلر آزاد شده با آب تبدیل به اسید شده و افزایش دما تاثیری بر غلطت اسید ندارد.

اثر هیدروکربن های سنگین بر غلظت اسید

شکل ۳، اثر هیدروکربن های سنگین بر غلظت HCl نشان می دهد.



شکل۲ تاثیر دما بر غلظت اسید



شکل ۳ اثر مقدار H.B بر غلظت اسید

www.SID.ir

Archive of SID

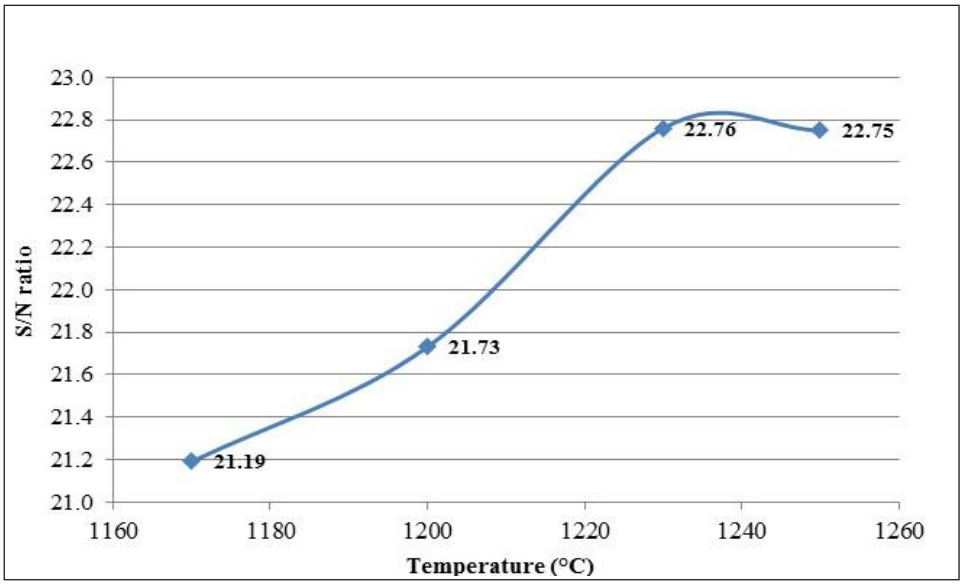
همان‌طور که در شکل ۳، مشخص است با افزایش مقدار H.B غلظت اسید نیز افزایش پیدا می‌کند. با افزایش هیدروکربن‌های کلردار مقدار Cl در خوراک ورودی زیاد می‌شود. در نهایت، به دلیل آزاد شدن کلر و ترکیب آن با هیدروژن مقدار اسید بیشتری تولید می‌شود. واکنش تخریب هیدروکربن‌های کلردار با واکنش‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است [۱۶]. از واکنش‌های ۲ و ۳ واضح است مقدار تولید اسید به کلر هیدروکربن بستگی دارد. هرچه هیدروکربن سنگین‌تر باشد، یعنی کلر در ترکیب آن بیشتر باشد مقدار تولید HCl نیز افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش مقدار H.B از ۵۰۰ به ۸۸۰ Kg/h غلظت اسید به مقدار ۷٫۷ درصد افزایش می‌یابد.

$$C_xH_yCl_z + (x + (y-z)/4)\ O_2 \longrightarrow x\ CO_2 + z\ HCl + (y-z)/2\ H_2O \quad (y > z) \qquad (۲)$$

$$C_xH_yCl_z + x\ O_2 \longrightarrow x\ CO_2 + y\ HCl + (z-y)/2\ Cl_2 \quad (y < z) \qquad (۳)$$

اثرهیدروکربن‌های سبک برغلظت اسید

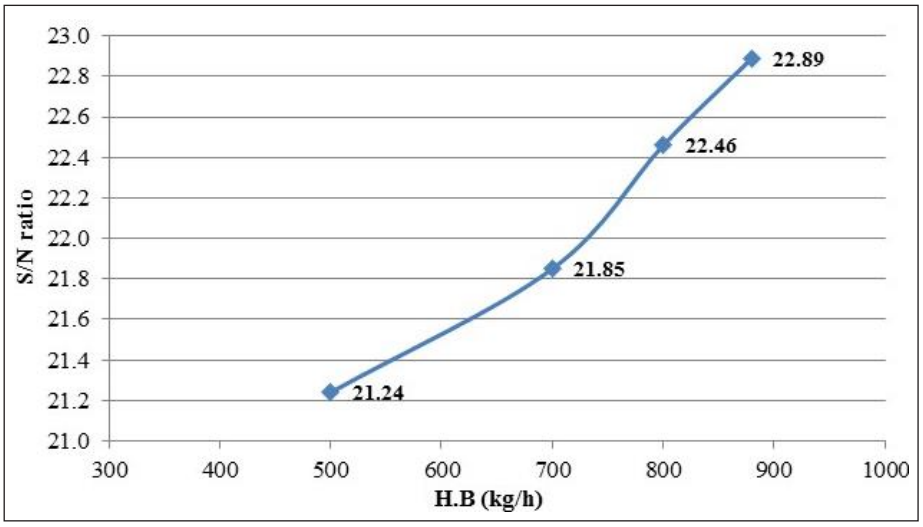
شکل ۴، اثر L.B را بر غلظت اسید نشان می‌دهد. با افزایش هیدروکربن کلردار سبک مقدار غلظت اسید نیز افزایش می‌یابد. غلظت اسید از سطح ۱ به ۳ با شیب به‌نسبت تندی بیشتر می‌شود ولی از سطح ۳ به ۴ با شیب کمتر افزایش می‌یابد. واکنش سوختن هیدروکربن کلردار سبک نیز برپایه واکنش‌های ۲ و ۳ مشابه هیدروکربن‌های سنگین است. علت اینکه غلظت اسید در L.B همانند H.B با شیب زیاد، افزایش نمی‌یابد اینست که نخست، تعداد اجزای تشکیل دهنده هیدروکربن-های سنگین بیشتر از هیدروکربن‌های سبک است. دوم، تعداد مولکول‌های کلردار سنگین بیشتر از هیدروکربن‌های سبک است. برپایه واکنش‌های سوختن هرچه مقدار کلر در ترکیب هیدروکربن بیشتر باشد، مقدار HCl خروجی نیز بیشتر است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش مقدار L.B از ۱۰۰ به ۲۵۰ Kg/h غلظت اسید به مقدار ۲٫۳۹ درصد افزایش می‌یابد.



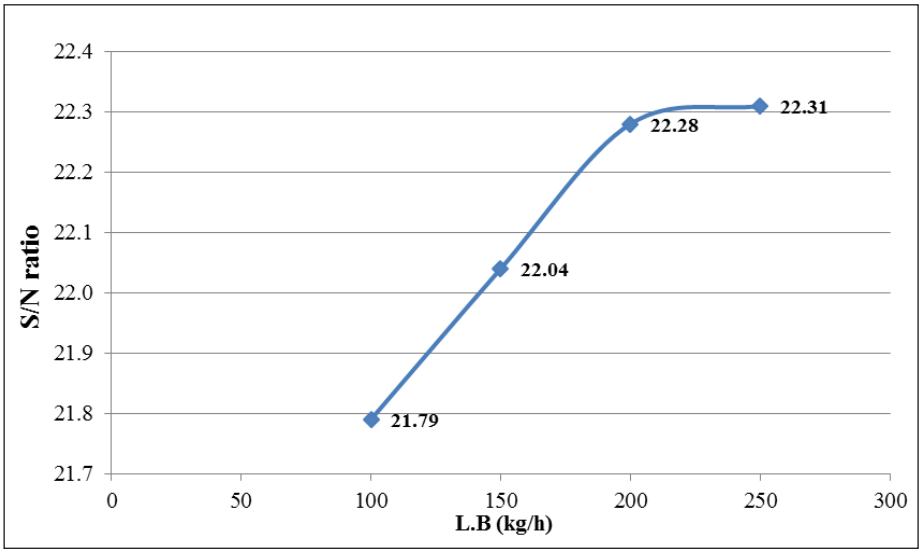
شکل۲ تاثیر دما بر غلظت اسید

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ اثر مقدار H.B بر غلظت اسید



شکل۴ اثر مقدار L.B بر غلظت اسید

اثر آب DM بر غلظت اسید

شکل ۵، اثر آب DM را بر غلظت اسید نشان می‌دهد. افزودن آب DM به دو منظور انجام می‌شود:

۱. خنک‌کردن اجزای کوره و کنترل دما

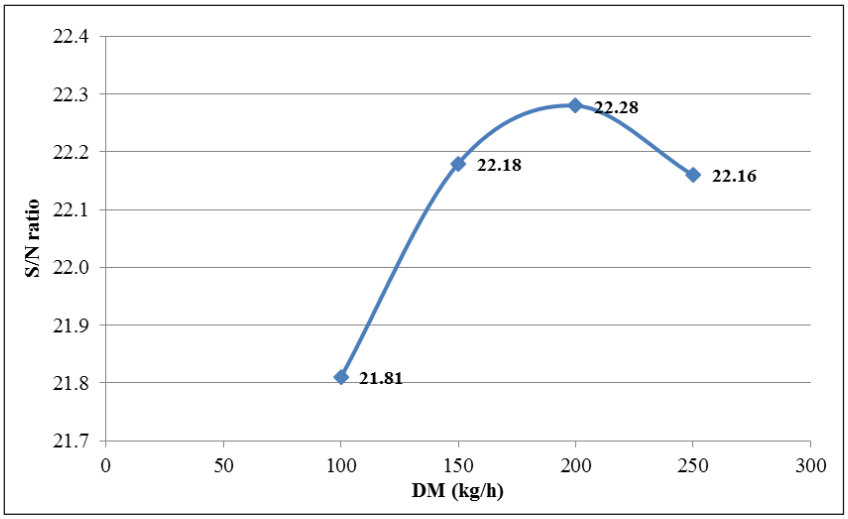
۲. کاهش مقدار کلر

آب و کلر در کوره واکنش می‌دهند (واکنش ۴). واکنش تعادلی ۴ به خوبی نشان می‌دهد که با افزایش مقدار آب، واکنش به سمت تشکیل اسید بیشتر پیش می‌رود و مقدار کلر کمتر می‌شود و با کاهش آب واکنش به سمت تشکیل کلر پیش می‌رود.

$$H_2O + Cl_2 \longleftrightarrow 2\,HCl + \tfrac{1}{2}\,O_2 \qquad (۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵ اثر مقدار آب D.M بر غلظت اسید

در ابتدا که آب DM افزوده می‌شود، با توجه به معادله ۳ مقدار تولید HCl بالا می‌رود. به طوری‌که از سطح ۱ تا ۳، ۲٫۱۵ درصد افزایش می‌یابد. ولی به مرور زمان و با افزایش خوراک‌های ورودی به کوره، تولید HCl به مقدار زیادی از واکنش–های سوختن هیدروکربن در مقایسه با واکنش تعادلی آب و کلر تولید می‌شود. پس، در سطوح بالاتر که مقدار خوراک ورودی به کوره زیاد است، افزایش DM تأثیر کمتری در تولید HCl دارد و بیشتر نقش خنک‌کردن را بر عهده می‌گیرد. افزایش مقدار DM از یک طرف باعث کاهش کلر و افزایش HCl ولی از طرف دیگر، باعث کاهش دمای کوره می‌شود. برای جبران کاهش دما باید از سوخت کمکی استفاده کرد. بهترین مقدار استفاده از آب DM، ۲۰۰ kg/h است. در این حالت هم نقش حذف کلر را به خوبی انجام می‌دهد و هم باعث خنک‌کاری تجهیزات کوره می‌شود. افزون بر آن، در این حالت مقدار گاز مصرفی به حداقل خود رسیده است (به‌تقریب از سوخت کمکی استفاده نمی‌شود.).

اثر اکسیژن اضافی برغلظت اسید

اثر اکسیژن اضافی بر غلظت اسید در شکل ۶ نشان داده شده است. اکسیژن به‌کارگرفته شده برای سوختن لازم است. اگر واکنش ۴ را در نظر بگیریم، افزایش اکسیژن اضافی باعث کاهش HCl می‌شود ولی از آنجایی که این یک واکنش فرعی است و واکنش اصلی سوختن واکنش‌های ۲ و ۳ است، پس نمی توان درمورد آن اظهار نظر قطعی کرد. همان‌طور که از واکنش سوختن ۲ و ۳ مشخص است، با افزایش اکسیژن واکنش در جهت تولید هر سه فراورده پیش می‌رود. بررسی اثر اکسیژن بستگی به بررسی سنتیک واکنش است. با توجه به اینکه خوراک ورودی ترکیبی از چندین هیدروکربن است، شناخت و بررسی سینتیک واکنش بسیار دشوار است.

درصد تاثیرعامل‌ها بر غلظت اسید

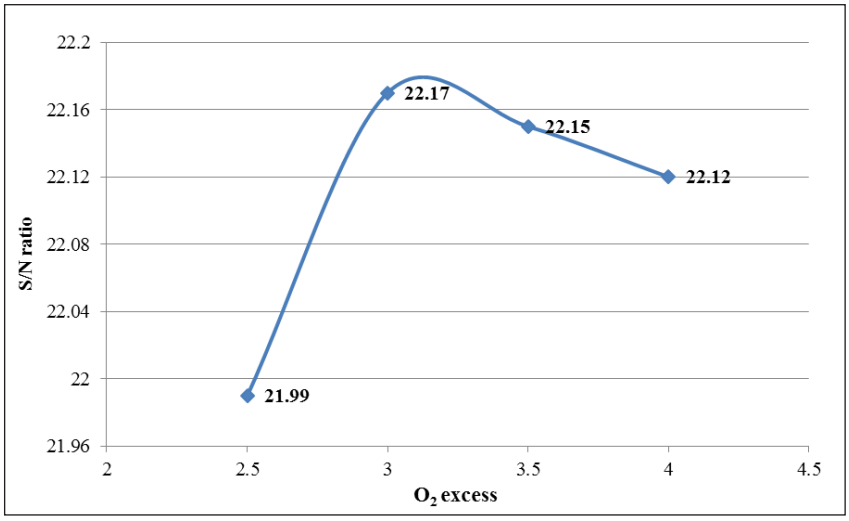
با نرم‌افزار Qualitek درصد تاثیر هر عامل بر مقدار غلظت اسید خروجی در شکل ۷ آمده است. همان‌طور که مشخص است، بیشترین درصد تاثیرگذاری مربوط به دمای کوره و مقدار H.B است.

شرایط بهینه

با توجه به بررسی عامل‌های موثر بر بهینه‌سازی کوره زباله‌سوز و نتایج آزمایشگاهی در شرایطی که دما ۱۲۳۰ °C،

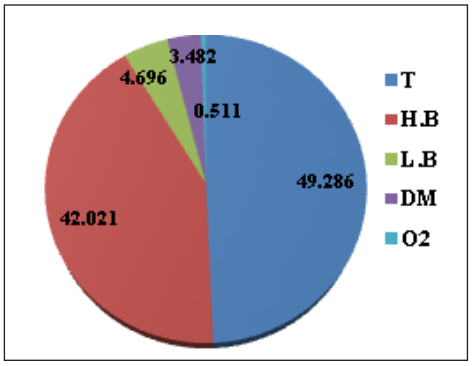
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶ اثر مقدار O_2 بر غلظت اسید

هیدروکربن‌های با دمای جوش بالا kg/h ۸۸۰، هیدروکربن‌های با دمای جوش پایین kg/h ۲۵۰، آب ورودی به کوره kg/h ۲۰۰ و اکسیژن اضافی ۳ درصدحجمی باشد، مقدار غلظت اسید خروجی درحالت بهینه قرار دارد. غلظت اسید خروجی در شرایط بهینه ۱۵٫۸ درصد بود. در روش تاگوچی اگر شرایط بهینه در بین آزمایش‌های انجام شده باشد، مبنا را همان نتیجه آزمایش قرار داده و با نتیجه بهینه مقایسه می‌کنیم تا درصد خطای آزمایش مشخص شود. اگر نتیجه بهینه‌سازی در بین آزمایش‌ها انجام شده نباشد، باید در شرایط بهینه آزمایش را انجام داد و نتیجه آن را با نتیجه نرم‌افزاری آزمایش مقایسه کرد. با توجه به اینکه شرایط بهینه در بین ۱۶ آزمایش طراحی شده قرار نداشت، پس در این شرایط دوباره آزمایش انجام شد. غلظت اسید در شرایط بهینه بالا برابر ۱۵٫۲ درصد بود. این مقدار غلظت اسید با غلظت بهینه شده در حدود ۰٫۶ درصد تفاوت دارد.



شکل۷ درصد تاثیر عامل‌ها بر غلظت اسید

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، کوره زباله سوز هیدروکربن‌های کلردار با انجام آزمایش‌های متفاوت با هدف کم‌کردن غلظت کلریدریک اسید خروجی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر به‌دست آمد.

۱- دمای کوره نقش مهمی در تولید اسید دارد. بیشترین دمایی که در آن به تقریب هیدروکربن‌های کلردار به‌طور کامل تخریب می‌شوند، ۱۲۳۰ °C بود.

۲- سرعت جریان هیدروکربن‌های کلردار با دمای جوش بالا (H.B) در این پژوهش، ۸۸۰ Kg/h به‌دست آمد.

۳- سرعت جریان هیدرکربن‌های کلردار سبک (L.B) به‌دست آمده ۲۲۰ Kg/h بود.

www.SID.ir

Archive of SID

۴- سرعت جریان آب DM در حالت بهینه Kg/h ۲۰۰ بود.

۵- مقدار اکسیژن اضافی به کوره در این پژوهش، ۳ درصد حجمی به‌دست آمد. اگرچه اکسیژن اضافی به نسبت سایر عامل‌ها اثرگذاری کمتری بر غلظت اسید خروجی داشت.

۶- با بهینه‌سازی کوره، غلظت اسید خروجی۱۵٫۲ درصد شد. این درصد غلظت اسید با نرم‌افزار ۱۵٫۸درصد به‌دست آمد که بیانگر نزدیک بودن شرایط آزمایشگاهی با شرایط نظری است.

۷- پس از بهینه‌سازی کوره با توجه به اینکه غلظت اسید در حدود ۱۵٫۲ درصد بود، مقدار سود برای خنثی‌کردن و تنظیم pH پساب خروجی به طور چشمگیری کاهش یافت و به کمتر از ۱۷۰ Kg/h رسید.

مراجع

[1] * مدرسي، كاشفي؛ وحدتي، خاكي؛ مجله مدل سازي در مهندسي شيمي 7، شماره 18، 56-49، 1388.

[2] * ايمني، فرشيد؛ ميروكيلي، حميده سادات؛ اولين همايش ملي حفاظت و برنامه ريزي محيط زيست، 3 اسفند،1391 دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.

[3] Ferronato, N.; Torretta, V.; Int J Environ Res Public Health 16, 1060–1088, 2019.

[4] * جعفرزاده حقيقي فرد، نعمت اله؛ يغماييان، كاميار؛ «مديريت جامع پسماند»، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات خانيران، 1391.

[5] * مختاراني، نادر؛ علوي مقدم، سيدمحمدرضا؛ مختاراني، بابک؛ «مديريت مواد زائد خطرناک»، جهاد دانشگاهي واحد صنعتي شريف، چاپ اول فروردين، 1381.

[6] * سازي درپرويني، مهدي؛ قراگوزلو، الميرا؛ مجله مدل مهندسي شيمي 12، شماره 38، 25-15، 1393.

[7] * صابري، هادي؛ مجله مدل سازي در مهندسي شيمي 16، شماره 52، 371-363، 1397.

[8] * پريشان نداف، عطيه؛ اميد خواه، محمدرضا؛ نشريه شيمي و مهندسي شيمي ايران 25، شماره 1، 15-1، 1385.

[9] Choi, K.I.; Lee, D.H.; Chemosphere 66, 370–376, 2007.

[10] Wang, H.; Zhu, D.L.; Saso, Y.; Law, C.K.; The Combustion Institute 26, 2413-2420, 1996.

[11] Lee, H.; Yi, S.M.; Holsen, T.M.; Seo, Y.S.; Choi, E.; Waste Manag. 73, 2018, 247–255, 2018.

[12] Olek, M.; Baron, J.; Zukowski,W.; Chemistry Central Journal 6, 2 -10, 2013.

[13] Davies, D.J.I.; Sainter, P.; Journal of Heat Recovery Systems 4, 219-225, 1984.

[14] McKay, G.; Chemical Engineering Journal 86, 343–368, 2002.

[15] * زينالي، الهام؛ «طراحي آزمايش به روش تاگوچي با استفاده از نرم افزار Qualitek»، انتشارات شركت پژوهش و فناوري پتروشيمي، چاپ اول، 1387.

[16] Dellinger, B.; Taylor Debra, P.H.; Environmental Sciences Group University of Dayton32, 1009-1119, 2004.

www.SID.ir

Archive of SID

JARC

Optimization of factors affecting acid output from chlorinated hydrocarbon combustion

Mehdi Ranjbari[1] and Somayeh Tourani[2,*]

1. M.Sc. in Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran.
2. Assistant Prof. in Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran.

Recieved: January 2019, Revised: July 2019, Accepted: September 2019

Abstract: Chlorinated hydrocarbons are one of the side-products of the petrochemical industry. With respect to the environmental problems caused by industrial wastes, a method of reducing damage to the environment is the use of these wastes as a fuel for the incinerator furnace. The main objective of this study was laboratory optimization of the chlorinated hydrocarbon waste incineration performance in the petrochemical industry to reduce and to prevent corrosion caused by hydrochloric acid and to reduce its production. Optimization parameters were percentage of excess air, furnace temperature, the amount of gas consumed, the amount of water entering the furnace, the amount of chlorinated hydrocarbons input as hydrocarbons with high boiling temperature (H.B), and hydrocarbons with low boiling temperature (L.B). Changes in the above parameters applied to optimize the concentration of measured output hydrochloric acid. Then, using QUALITEK software and Taguchi method, the values were optimized. The results showed that at the temperature of 1230 °C, flow rate of hydrocarbons with a high boiling point of 880 kg/h, flow rate of hydrocarbons with a low boiling point of 250 kg/h, a water entering the furnace of 200 kg/h and an excess air of 3%, the acid concentration was 15.8%. After the practical test in optimal conditions, the concentration of acid was 15.2%. Hence, the output results of the software are in good agreement with the experimental results obtained in the industrial unit. Also, after optimization, the use of caustic and gas fuel decreased significantly.

Keywords: Incinerator, High boiling hydrocarbons, Low boiling hydrocarbons, Taguchi method

*Corresponding author Email: s.tourani@mhriau.ac.ir

www.SID.ir