Archive of SID

یادداشت پژوهشی

بررسی عملکرد اسکرابر دینامیکی جدید در حذف دی‌اکسیدگوگرد

ساناز حسن پور[۱*]، فریبرز رشیدی[۱]، اسماعیل جمشیدی[۱] و حسین قریشی[۲]

۱- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی شیمی

۲- شرکت پالایش نفت تهران

Sany_hp61@yahoo.com

پژوهش نفت

سال بیست و یکم
شماره ۶۶
صفحه ۸۲-۷۶، ۱۳۹۰

چکیده

گاز SO_2 به‌عنوان یکی از آلاینده‌های زیست محیطی در ترکیب گاز خروجی صنایع مختلف مانند صنایع چوب و کاغذ، ذوب فلزات، پتروشیمی و پالایشگاه‌ها وجود دارد و امروزه کشورها قوانین سخت گیرانه‌ای را برای حد مجاز این ماده در گاز خروجی صنایع، وضع کرده‌اند. مطالعه حاضر با هدف بررسی عملکرد اسکرابر دینامیکی جدید در حذف آلاینده گازی SO_2، به‌وسیله یک جاذب با قابلیت بازیابی حلال (محلول بافر فسفات سدیم) می‌باشد. در این پژوهش، یک اسکرابر دینامیکی بر روی دودکش یکی از بویلرهای واحد آب، برق و بخار قسمت جنوبی پالایشگاه نفت تهران نصب گردید و با تغییر پارامترهایی نظیر دبی جاذب و دبی گاز ورودی به دستگاه، میزان غلظت SO_2 پیش و پس از تصفیه به‌وسیله اسکرابر مورد بررسی قرار گرفت. بالاترین راندمان بدست آمده در حذف SO_2 به‌وسیله این اسکرابر دینامیکی، ۸۳/۵ ٪ می‌باشد که با توجه به کوچک بودن نسبت دبی مایع به گاز در این اسکرابر در مقایسه با دیگر دستگاه‌ها نظیر اسپری اسکرابرها و برج‌های سینی‌دار، نتیجه رضایت‌بخشی است.

واژه‌های کلیدی: دی اکسید گوگرد، اسکرابر دینامیکی، فسفات سدیم، جذب، گازدودکش

مقدمه

امروزه قوانین زیست محیطی، محدودیت‌های سخت گیرانه‌ای را برای حد مجاز آلاینده‌های مختلف وضع کرده‌اند. محیط زیست مجموعه‌ای عظیم و درهم پیچیده از عوامل گوناگونی است که بر اثر روند تکامل تدریجی موجودات زنده و اجزای سازنده سطح زمین به‌وجود آمده است. بنابراین در فعالیت‌های انسان تأثیر گذاشته و از آن متأثر می‌گردد. اگر به ترکیب طبیعی هوای تمیز و خشک نزدیک سطح دریا که از ۷۸/۰۹ ٪ نیتروژن، ۲۰/۹۴٪ اکسیژن، ۰/۹۳٪ آرگن و ۰/۰۳۱۸٪ دی اکسید کربن و مقادیر ناچیز گازهای دیگر تشکیل شده توجه نماییم، مشخص می‌گردد که آلاینده‌های مهم نظیر منواکسیدکربن، ذرات معلق، هیدروکربورها، اکسیدهای گوگرد به خصوص دی اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، ازن و ... جزء ترکیبات طبیعی هوا محسوب نمی‌شوند و وجود آنها در اتمسفر نتیجه توسعه صنعتی، افزایش جمعیت، ازدیاد مصرف منابع انرژی و ... می‌باشد [۱].

ترکیبات گوگرد در مقادیر زیادی از طریق فعالیت‌های انسانی وارد اتمسفر جهانی می‌شود. تقریباً ۱۰۰ میلیون تن گوگرد در سال از طریق فعالیت انسانی وارد اتمسفر جهانی می شود که عمدتاً به صورت SO_2 ناشی از احتراق زغال سنگ و مواد نفتی سوختی می‌باشد [۲].

دی‌اکسید گوگرد گازی بی‌رنگ و غیر قابل اشتعال

www.SID.ir

Archive of SID

و انفجـار اسـت و بـه خوبـی در آب حـل می‌شـود. بنابرایـن تاثیـر شـدیدی بـر بینـی و مجاری تنفسـی و ریه‌هـا می‌گـذارد [۳]. اما به دلیل درشـت بـودن، ذرات ایـن ترکیب به اعماق ریـه نفوذ نمی‌کند. اثر دی اکسـید گوگرد با توجه به غلظت آن در هوا به شـرح زیر اسـت:

۰/۳ تا ۱ ppm: افراد حساس، بوی بدی را استشمام می‌کنند.

۱ تا ٤ ppm: تمام افراد بوی بدی را استشمام می‌کنند.

۵ ppm: تمام افراد پس از یک ساعت سرفه می‌کنند.

۱۰ ppm: احسـاس حساسـیت و سوزش گلو ظرف ۱۰ تا ۱۵ دقیقه ایجاد می‌شود.

۵۰ تـا ۱۰۰ ppm: نهایـت تحمـل افراد ۳۰ تـا ٦۰ دقیقه است.

٤۰۰ تا ۵۰۰ ppm: خطری جدی برای زندگی حتی به مدت ۳۰ تا ٦۰ دقیقه.

۲۰۰۰ ppm: خفگی و مرگ به همراه دارد.

اگـر اکسـیدهای گوگـرد در هوایی کـه ذرات معلق و رطوبت نسـبی بالا دارد، وجود داشـته باشند، شدیدترین اثـرات را بر انسـان‌ها و محیـط زیسـت می‌گذارند [٤]. همچنین اکسـیدهای سولفور معمولاً اثر پوسیدگی یا زنگ زدگی فلزات را افزایش می‌دهند.

دی اکسید گـوگـرد برای گیاهان نیز مضر است. تماس بحرانی با مقادیر بالای این گاز، بافت برگ را از بین می‌برد و به لبه برگ‌ها و سطوح بین رگ‌های برگ آسیب می‌زند. همچنین باعث سـفید یا زرد شـدن قسمت‌های سبز برگ می‌شـود. تماس در زمان طولانی و غلظت کم دی اکسـید گـوگـرد می‌تواند محصولات گندم و جو را کاهش دهد. یکـی از پرهزینه‌تریـن اثرات آلودگی دی اکسـید گوگرد، زوال مصالح سـاختمانی است. سنگ آهک، سنگ مرمر و دولومیت توسط دی اکسـید گوگرد اتمسفری مورد حمله قرار می‌گیرند و محصولاتی تولید می‌کنند که یا محلول در آب هسـتند و یا پوسـته‌های جامد با چسبندگی ناکافی بر روی سطوح سنگی ایجاد نموده و اثر منفی بر ظاهر و عمر ساختمان می‌گذارند[٤ و ۵].

بـا توجه به مخاطرات فراوان ناشـی از حضور آلاینده SO_2 در محیط زیست، از جمله نقش آن در ایجاد باران‌های اسـیدی، در سـال‌های اخیر فرایندهای مختلف و متعددی بـرای حـذف این آلاینـده، به دو صورت حـذف گوگرد از سـوخت قبـل از احتـراق و حذف دی اکسـید گوگرد از گاز خروجـی از دودکش بعد از احتراق، توسـعه یافته است. کنترل SO_2 بیشـتر از طریق شیمیایی انجام می‌گیرد. تکنیک‌های جداسازی فیزیکی نیز ممکن است برای حذف ذرات پیریت از زغال سنگ استفاده شود [٦].

فـن‌آوری رایج که امروزه بـرای جذب ناخالصی SO_2 بـه‌کار می‌رود، فرایند شستشـو با آب و آهک اسـت [۷]. اگرچـه این فرایند قابلیت حـذف مقادیر زیادی از SO_2 را دارد، اما در این فرایند حجم زیادی از پسماندهای بی‌ارزش تولید می‌شود. با معرفی فرایندهایی که توانایی بازیابی مواد جـاذب را دارند، تقاضا برای اسـتفاده از ایـن فرایندها به سرعت افزایش یافته است.

هدف در این تحقیق، بررسی عملکرد اسکرابر دینامیکی جدید (ساخته شده در دانشگاه صنعتی امیرکبیر) در حذف آلاینده گازی SO_2، به‌وسـیله یک جاذب با قابلیت بازیابی حلال (محلول بافر فسفات سدیم) می‌باشد.

معرفی دستگاه اسکرابر دینامیکی جدید و شرح کار

تاکنـون انواع مختلفی از دسـتگاه‌های حذف ذرات گرد و غبار و گازهای آلاینده مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. برخی از این دسـتگاه‌ها مختص جداسـازی ذرات بوده و برخـی دیگر توانایی جداسـازی هم‌زمان ذرات و گازهای آلاینده را دارند. اکثر دستگاه‌های مورد استفاده در جداسازی ذرات و گازهای آلاینده علاوه بر کارایی پایین، مشکلات و سختی‌های عملیاتی فراوانی دارند.

آن دسـته از دسـتگاه‌ها که دارای کارایی بالایی هستند، نظیر الکتروفیلترها و اسکرابرهای ونتوری [۸]، دارای هزینه عملیاتی بالایی می‌باشـند. دسته دیگری از دستگاه‌ها، نظیر اسپری اسـکرابرها و برج‌های سینی‌دار که کارایی بالاتری دارنـد، دارای اندازه بسـیار بزرگی بوده و نسـبت مایع به گاز در آنها زیاد اسـت [۹]. نسبت مایع به گاز بالا منجر به تولید پساب بیشتر می‌شـود که این مسأله، ظرفیت سیستم تصفیه بعد از اسـکرابر را افزایش می‌دهد. بنابراین ساخت دسـتگاه‌های جایگزین بـا هزینه‌های سـاخت و عملیاتی پایین‌تـر و کارایی بالاتـر با امکان حـذف هم‌زمان ذرات

www.SID.ir

Archive of SID

وگازهای آلاینده ضروری به نظر می‌رسد.

اسکرابرها به عنوان جداکننده‌ای مفید جهت جداسازی ذرات غبار و گازهای آلاینده به صورت گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. مکانیزم‌های جداسازی غبار در اسکرابرها برخورد ذره و قطره مایع و جذب ذره توسط قطره می‌باشد. تعداد و سرعت برخورد ذرات و قطرات می‌تواند بازدهی جداسازی را افزایش دهد.

اسکربرهای دینامیکی [۱۰] از ترکیب اسکرابرهای همراه با اسپری، بستر سیال یا سانتریفیوژی با یک دمنده در داخل دستگاه ساخته می‌شوند. دمنده داخلی به حرکت گاز در درون دستگاه کمک کرده و باعث اسپری شدن مایع و تبدیل آن به قطرات ریز می‌گردد. همچنین ایجاد یک جریان به شدت آشفته، تماس بین مایع و گاز را بهبود می‌بخشد. این نوع از اسکرابرها برای جذب ذرات غبار بسیار ریز با قطر کمتر از میکرون بسیار مناسب هستند [۱۱]. باید توجه داشت که طراحی اسکرابرهای دینامیکی نسبت به انواع دیگر پیچیده‌تر است و دمنده داخلی آنها باید در برابر محیط تر و گازهای خورنده مقاوم باشد.

در این اسکرابر محیط متلاطم و گریز از مرکز برای انجام انتقال جرم و جداسازی آلاینده‌ها و گرد و غبار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این دستگاه، جریان گاز حاوی ذرات، وارد یک محیط متلاطم می‌گردد که برای افزایش تلاطم از یک حرکت دینامیکی چرخشی استفاده می‌شود. در این محیط جریان آب به صورت اسپری به گاز پاشیده می‌شود در نتیجه ذرات با شدت به قطرات برخورد کرده و وارد فاز مایع می‌شوند.

سیستم اسکرابر، متشکل از دو دیسک است که به صورت افقی با فاصله مشخصی از هم، روی یکدیگر قرار گرفته‌اند. جریان گاز از مرکز دیسک بالایی وارد فضای بین دیسک‌ها می‌شود. دیسک بالایی ثابت بوده و دیسک پایینی با سرعت مشخص می‌چرخد. چرخش این دیسک باعث ایجاد مکش و ورود هوا به درون دستگاه می‌شود. جریان مایع نیز با دبی مشخص به صورت قطرات همراه جریان گاز وارد این فضا می‌گردد. در این محیط در اثر حرکت دورانی دیسک، قطرات مایع به صورت مه تبدیل می‌شوند. جریان گاز و مایع در فضای متلاطم بین دیسک‌ها با هم برخورد کرده و در اثر انتقال جرم از فاز گاز به مایع، گرد و غبار و آلاینده‌های گازی وارد فاز مایع می‌گردند. عموماً دستگاه‌های اسکرابر متداول، در حذف ذرات ریز با قطر کمتر از یک میکرون کارایی کمی دارند، چون سرعت برخورد موثر در آنها پایین است. در حالی‌که در اسکرابرهای دینامیکی جدید، ذرات به حداکثر سرعت خود می‌رسند که این امر باعث افزایش کارایی دستگاه در جداسازی ذرات کوچکتر از میکرون می‌گردد. تعداد و سرعت برخورد بسیار زیاد ذرات و قطرات در یک فضای محدود با مصرف آب بسیار کم در مقایسه با سایر اسکرابرها، مزیت عمده و مهم اسکرابرهای دینامیکی به شمار می‌رود.

محل مورد بررسی در این تحقیق واحد آب، برق و بخار قسمت جنوبی پالایشگاه نفت تهران می‌باشد. در این پژوهش یک اسکرابر دینامیکی بر روی دودکش یکی از بویلرهای این واحد نصب گردید و با تغییر پارامترهایی نظیر دبی آب و دبی هوای ورودی به دستگاه، میزان غلظت SO_2 پیش و پس از تصفیه به‌وسیله اسکرابر مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۱ نمای کلی فرایند نمایش داده شده است.

شیمی فرایند

فرایند جذب با محلول بافر فسفات سدیم در حقیقت توسعه یافته فرایند جذب با محلول سولفات سدیم است. جذب با محلول سولفات سدیم یکی از فرایندهای رایج و جاری برای جداسازی SO_2 می‌باشد که بر پایه واکنش‌های زیر طراحی شده است.

واکنش‌های جذب

$$SO_2\,(g) \longleftrightarrow SO_2\,(l) \qquad (۱)$$

$$SO_2\,(l) + H_2O\,(l) + Na_2SO_3\,(l) \longleftrightarrow 2NaHSO_3\,(l) \qquad (۲)$$

واکنش احیاء

$$2NaHSO_3\,(l) + n.H_2O\,(l) \longleftrightarrow SO_2\,(g) + (n+1)\,H_2O\,(g) + Na_2SO_3\,(s) \qquad (۳)$$

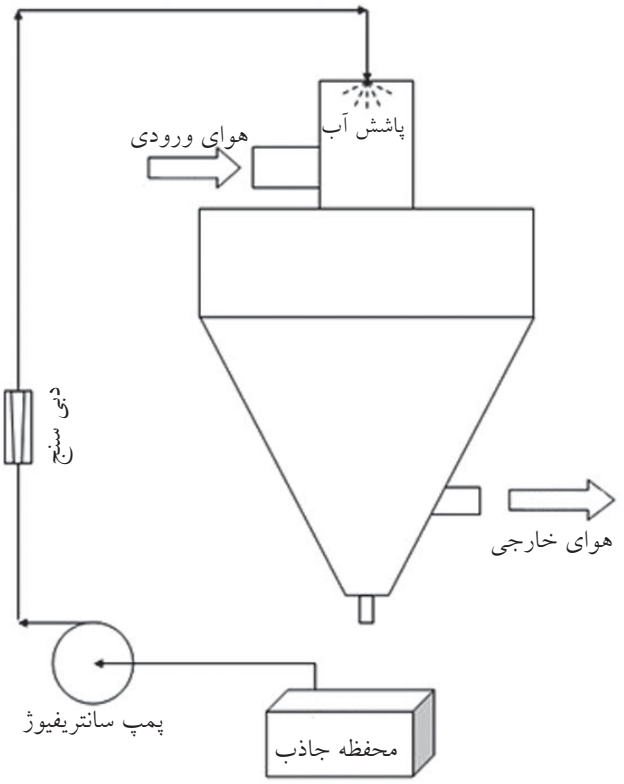
در رابطه بالا n عدد بزرگی است.

فرایند استفاده از محلول بافر فسفات سدیم بر پایه مفاهیم و طراحی فرایند سولفات سدیم و با داشتن مزایای زیر ابداع شده است:

ظرفیت بالاتر جذب به ازای واحد حجم مایع

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- نمای کلی فرایند

کاهش ضایعات بافر به علت اکسید شدن

مصرف انرژی کمتر در بازیافت SO_2

مشکلات عملیاتی کمتر در احیای محلول بافر

حذف کامل‌تر SO_2 از گاز

واکنش‌های انجام شده در فرایند بافر فسفات سدیم عبارتند از:

واکنش‌های جذب

$$SO_2\,(g) \longleftrightarrow SO_2\,(l) \qquad (٤)$$

$$SO_2\,(l) + H_2O\,(l) + Na_2HPO_4\,(l) \longleftrightarrow 2NaHSO_3\,(l) + NaH_2PO_4\,(l) \qquad (٥)$$

$$NaHSO_3\,(l) + NaH_2PO_4\,(l) + n.H_2O\,(l) \longleftrightarrow$$

واکنش‌های احیاء

$$SO_2\,(g) + (n+1)\,H_2O\,(g) + Na_2HPO_4\,(s) \qquad (٦)$$

در رابطه بالا n عدد بزرگی است.

محلول بافر غنی شده از SO_2 در فرایند تبخیر، آب و SO_2 خود را از دست داده و بافر به صورت محلول و یا دوغابی با غلظت بالا خارج می‌شود. این محلول دارای ویسکوزیته بالا و مقداری ذرات معلق می‌باشد که حجم این ذرات تهنشین شده در مقایسه با فرایند سولفات بسیار کمتر است. مخلوط آب و SO_2 با عبور از یک کندانسور از هم جدا شده و SO_2 خالص به‌دست می‌آید [۱۲].

همچنین برای تولید بافر، واکنش‌های زیر انجام می‌شود:

$$2NaOH + H_3PO_4 \longrightarrow Na_2HPO_4 + 2H_2O\ (PH = 8.5) \qquad (٧)$$

$$NaOH + H_3PO_4 \longrightarrow Na_2HPO_4 + H_2O\ (PH = 4.5) \qquad (٨)$$

ارائه نتایج و بحث

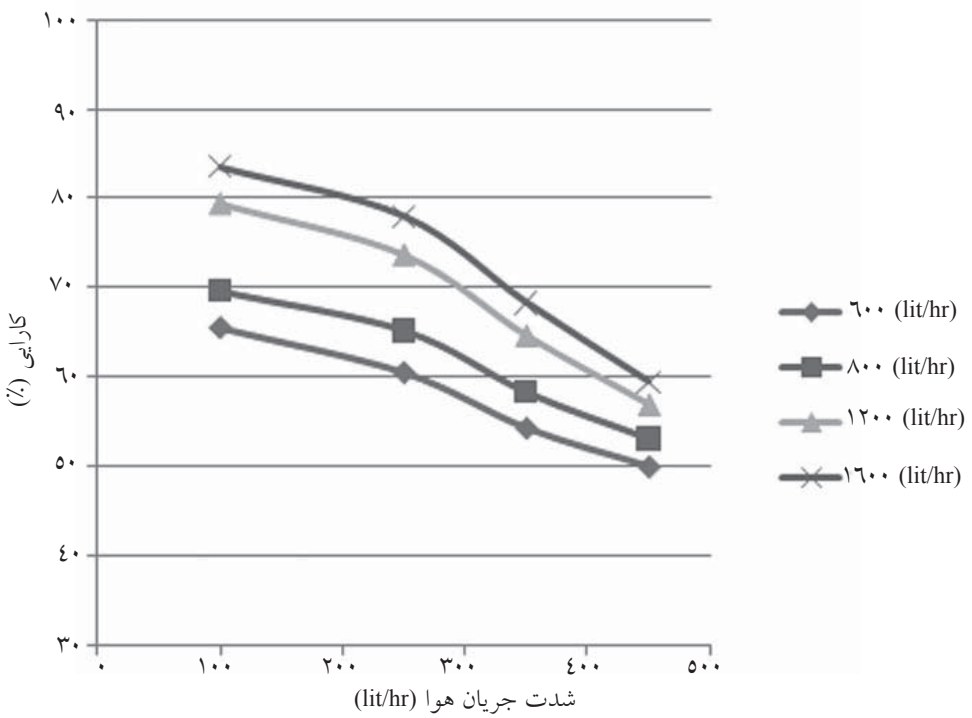
در این پژوهش، غلظت آلاینده SO_2 پیش و پس از تصفیه به‌وسیله اسکرابر دینامیکی به کمک دستگاه TESTO ۳۰۰ با روش الکتروشیمیایی اندازه‌گیری شد و با تغییر پارامترهایی نظیر دبی جاذب و دبی گاز ورودی به دستگاه، عملکرد اسکرابر مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل‌های ۲ و ۳ و جدول ۱ ارائه شده است.

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده با افزایش دبی گاز ورودی، زمان اقامت کاهش یافته و به تبع آن میزان جذب دی اکسید گوگرد کاهش می‌یابد. همچنین شکل ۳ تأثیر افزایش دبی جاذب بر کارایی جذب را نشان می‌دهد.

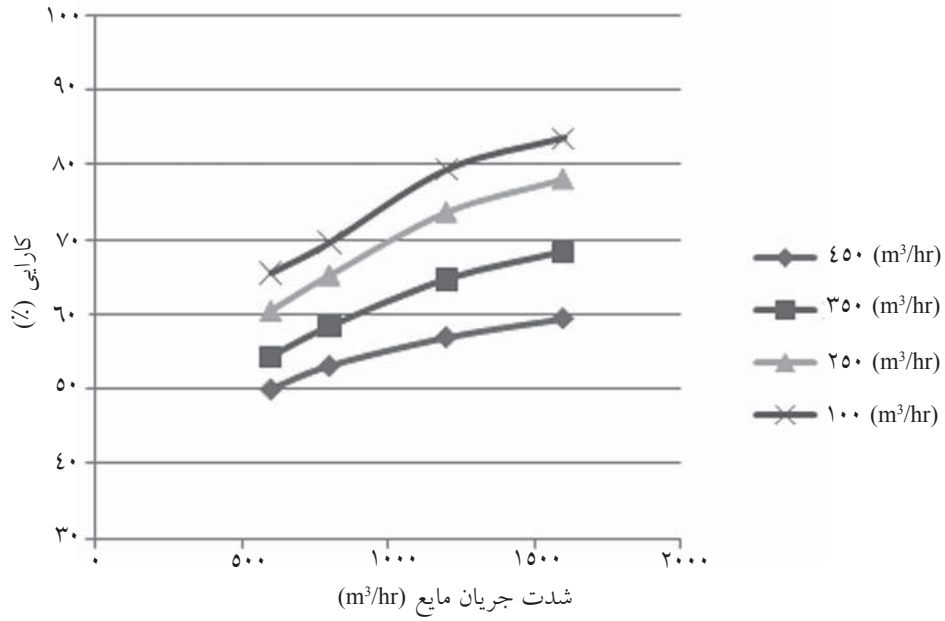
www.SID.ir

Archive of SID

مطابق شـکل با افزایش دبی جـاذب، به‌دلیل ایجاد قطرات بیشـتر درون اسـکرابر، کارایی جذب دی اکسـید گوگرد افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش نسبت مایع به گاز، سطح تماس مایع و گاز و همچنین انتقال جرم افزایش یافته و در نتیجه کارایی جذب بالا می‌رود. کمترین و بیشترین کارایی به‌دسـت آمده به ترتیب ۵۰ و ۸۳/۵ ٪ می‌باشـد که باتوجه به کوچک بودن نسبت دبی مایع به گاز در این اسکرابر در مقایسه با دیگر دستگاه‌ها، نتیجه رضایت بخشی است.



شکل۲- تاثیر افزایش دبی گاز ورودی در دبی ثابت جاذب بر کارایی جذب SO_2 توسط فسفات سدیم



شکل۳- تاثیر افزایش دبی جاذب در دبی ثابت گاز ورودی بر کارایی جذب SO_2 توسط فسفات سدیم

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- نتایج حاصل از جذب SO_2 با فسفات سدیم به‌وسیله اسکرابر دینامیکی

شماره ردیف	دبی گاز ورودی (m^3/hr)	دبی جاذب (lit/hr)	غلظت جاذب در آب ($gr/lit\ H_2O$)	غلظت SO_2 در جریان گاز (ppm)		کارایی ٪
				ورودی	خروجی	
۱	۱۰۰	۶۰۰	۲۰	۱۳۹	۴۸	۶۵/۵
۲	۱۰۰	۸۰۰	۲۰	۱۳۵	۴۱	۶۹/۶
۳	۱۰۰	۱۲۰۰	۲۰	۱۴۰	۲۹	۷۹/۳
۴	۱۰۰	۱۶۰۰	۲۰	۱۳۹	۲۳	۸۳/۵
۵	۲۵۰	۶۰۰	۲۰	۱۲۹	۵۱	۶۰/۵
۶	۲۵۰	۸۰۰	۲۰	۱۳۸	۴۸	۶۵/۲
۷	۲۵۰	۱۲۰۰	۲۰	۱۴۰	۳۷	۷۳/۶
۸	۲۵۰	۱۶۰۰	۲۰	۱۴۵	۳۲	۷۸
۹	۳۵۰	۶۰۰	۲۰	۱۲۷	۵۸	۵۴/۳
۱۰	۳۵۰	۸۰۰	۲۰	۱۳۹	۵۸	۵۸/۳
۱۱	۳۵۰	۱۲۰۰	۲۰	۱۳۰	۴۶	۶۴/۶
۱۲	۳۵۰	۱۶۰۰	۲۰	۱۴۲	۴۵	۶۸/۳
۱۳	۴۵۰	۶۰۰	۲۰	۱۴۰	۷۰	۵۰
۱۴	۴۵۰	۸۰۰	۲۰	۱۳۰	۶۱	۵۳/۱
۱۵	۴۵۰	۱۲۰۰	۲۰	۱۳۷	۵۹	۵۶/۹
۱۶	۴۵۰	۱۶۰۰	۲۰	۱۲۸	۵۲	۵۹/۴

نتیجه‌گیری

با توجه به مخاطرات متعدد ناشی از انتشار دی اکسید گوگرد در اتمسفر و اثرات آن بر محیط زیست و سلامتی انسان و نقش مهم این ماده در تولید باران‌های اسیدی، پرداختن به روش‌های حذف و کاهش غلظت آن امری ضروری می‌باشد.

فن‌آوری رایج که برای جذب ناخالصی SO_2 به کار می رود، فرایند شستشو با آب و آهک است. امروزه با دسترسی به فن‌آوری‌هایی با قابلیت بازیابی حلال، استفاده از این فن‌آوری‌ها و همچنین بررسی امکان جایگزینی آن با فرایندهای رایج اهمیت زیادی دارد.

در این پژوهش، نتایج مربوط به استفاده از فسفات سدیم در حذف SO_2 با قابلیت بازیابی و احیا ارائه شده است.

نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که اسکرابر دینامیکی جدید برای حذف آلاینده‌های گازی و ذرات ریز بسیار موثر و کارامد می‌باشد و عملکرد آن را می‌توان با جداکننده‌هایی نظیر اسپری اسکرابر الکترواستاتیکی در حذف ذرات ریز و اسکرابر ونتوری استوانه‌ای با سرعت گاز ۷۰ m/sec و نسبت مایع به گاز یک مقایسه نمود. اسپری اسکرابر الکترواستاتیکی مخلوط الکترو فیلتر و اسکرابر است که به‌دلیل باردار نمودن ذرات جامد و قطرات مایع بسیار گران‌قیمت می‌باشد و هزینه انرژی مصرفی آن نیز بسیار بالا است. همچنین تامین نسبت آب به گاز یک در دستگاه اسکرابر ونتوری استوانه‌ای دارای صرفه اقتصادی نمی‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که اسکرابر دینامیکی در حذف SO_2 از جریان دود دودکش به‌وسیله جاذب فسفات سدیم عملکرد قابل قبولی را از خود نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1] De Nevers N., *Air pollution control engineering*, McGraw-Hill, 2000.

[2] Bagheri S.R., Jamshidi E., Najafabadi I., "*Removal of the gas Pollutants of a thermal oxidizer with a dynamic scrubber*", Chem. Eng. Technol. Vol. 30, pp. 250-254, 2007.

[3] Curtis L., Rea W., .-Willis P.S, Environ. Int, Vol. 32, pp. 815, 2006.

[4] Peavy D., RoweR., G.T., Environmental engineering McGraw-Hill, 1985.

[5] The Effects of Air Pollution, *Division of Air Pollution*, Public Health Service, Washington, D.C, 1966.

[6] Manahan S.E., *Environmental Chemistry*, 7th Edition, CRC Press, 2005.

[7] Srivastava R., Jozewicz W., & Singer C., *"SO_2 Scrubbing Technologies",* Environmental Progress, Vol. 20, No. 4, 2001.

[8] Air Pollution Control Technology Fact Sheet: Venturi Scrubbers, Technical Report EPA-452/F-03- 017, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 2003

[9] Chien T.W., Chu H., "*Removal of SO_2 and NO from flue gas by wet scrubbing using an aqueous $NaClO_2$ solution",* J. Hazardous Materials, Vol. 80, pp. 43–57, 2000.

[10] Air Pollution Control Technology Fact Sheet: *Mechanically Aided Scrubbers,* Technical Report EPA-452/F-03-013, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 2003

[11] *Stationary Source Control Techniques Document for Fine Particulate Matter,* Technical Report EPA-452/R-97-001, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 1998

[12] Erga O., Process for the recovery of sulfur dioxide from gas flow, US Patent No. 4,948,572, Aug 1990.

www.SID.ir