

بررسی عملکرد اسکرابر دینامیکی جدید در حذف دی اکسید گوگرد

پژوهش نفت

سال بیست و یکم

شماره ۶۶

صفحه ۸۲-۷۶، ۱۳۹۰

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

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 به وجود 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 منواکسید کربن، 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 می‌شود که عمدتاً به صورت SO_2 ناشی از احتراق زغال سنگ و مواد نفتی سوختی می‌باشد [۲].

دی اکسید گوگرد گازی بی‌رنگ و غیر قابل اشتعال

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 سینی دار، نتیجه رضایت‌بخشی است.

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

برای حذف این آلاینده، به دو صورت حذف گوگرد از سوخت قبل از احتراق و حذف دی اکسید گوگرد از گاز خروجی از دودکش بعد از احتراق، توسعه یافته است. کنترل SO_2 بیشتر از طریق شیمیایی انجام می‌گیرد. تکنیک‌های جداسازی فیزیکی نیز ممکن است برای حذف ذرات پیریت از زغال سنگ استفاده شود [6].

فن‌آوری رایج که امروزه برای جذب ناخالصی SO_2 به کار می‌رود، فرایند شستشو با آب و آهک است [7]. اگرچه این فرایند قابلیت حذف 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 جاذب را دارند، تقاضا برای استفاده از این 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 ، به وسیله یک جاذب با قابلیت بازیابی حلال (محلول بافر فسفات سدیم) می‌باشد.

معرفی دستگاه اسکرابر دینامیکی جدید و شرح کار

تاکنون انواع مختلفی از دستگاه‌های حذف ذرات گرد و غبار و گازهای آلاینده مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. برخی از این دستگاه‌ها مختص جداسازی ذرات بوده و برخی دیگر توانایی جداسازی 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 دسته از دستگاه‌ها که دارای کارایی بالایی هستند، نظیر الکتروفیلترها و اسکرابرها و نتوری [8]، دارای هزینه عملیاتی بالایی می‌باشند. دسته دیگری از دستگاه‌ها، نظیر اسپری اسکرابرها و برج‌های سینی‌دار که کارایی بالاتری دارند، دارای اندازه بسیار بزرگی بوده و نسبت مایع به گاز در آنها زیاد است [9]. نسبت مایع به گاز بالا منجر به تولید پساب بیشتر می‌شود که این مسأله، ظرفیت سیستم تصفیه بعد از اسکرابر را افزایش می‌دهد. بنابراین ساخت دستگاه‌های جایگزین با هزینه‌های ساخت و عملیاتی پایین‌تر و کارایی بالاتر با امکان حذف هم‌زمان ذرات

و انفجار است و به خوبی در آب حل می‌شود. بنابراین تاثیر شدیدی بر بینی و مجاری تنفسی و ریه‌ها می‌گذارد [3]. اما به دلیل درشت بودن، ذرات این ترکیب به اعماق ریه نفوذ نمی‌کند. اثر دی اکسید گوگرد با توجه به غلظت آن در هوا به شرح زیر است: $0.3/1$ ppm: افراد حساس، بوی بدی را استشمام می‌کنند. 1 تا 4 ppm: تمام افراد بوی بدی را استشمام می‌کنند.

5 ppm: تمام افراد پس از یک ساعت سرفه می‌کنند. 10 ppm: احساس حساسیت و سوزش گلو ظرف 10 تا 15 دقیقه ایجاد می‌شود. 50 تا 100 ppm: نهایت تحمل افراد 30 تا 60 دقیقه است. 400 تا 500 ppm: خطری جدی برای زندگی حتی به مدت 30 تا 60 دقیقه.

2000 ppm: خفگی و مرگ به همراه دارد.

اگر اکسیدهای گوگرد در هوایی که ذرات معلق و رطوبت نسبی بالا دارد، وجود داشته باشند، شدیدترین اثرات را بر انسان‌ها و محیط زیست می‌گذارند [4]. همچنین اکسیدهای سولفور معمولاً اثر پوسیدگی یا زنگ زدگی فلزات را افزایش می‌دهند.

دی اکسید گوگرد 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 سفید یا زرد شدن قسمت‌های سبز برگ می‌شود. تماس در زمان طولانی و غلظت کم دی اکسید گوگرد می‌تواند محصولات گندم و جو را کاهش دهد. یکی از پرهزینه‌ترین اثرات آلودگی دی اکسید گوگرد، زوال مصالح ساختمانی است. سنگ آهک، سنگ مرمر و دولومیت توسط دی اکسید گوگرد اتمسفری مورد حمله قرار می‌گیرند و محصولاتی تولید می‌کنند که یا محلول در آب هستند و یا پوسته‌های جامد با چسبندگی ناکافی بر روی سطوح سنگی ایجاد نموده و اثر منفی بر ظاهر و عمر ساختمان می‌گذارند [4 و 5].

با توجه به مخاطرات فراوان ناشی از حضور آلاینده SO_2 در محیط زیست، از جمله نقش آن در ایجاد باران‌های اسیدی، در سال‌های اخیر فرایندهای مختلف و متعددی

و گازهای 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.

اسکرابرهای 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

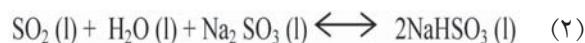
برخورد کرده و در اثر انتقال جرم از فاز گاز به مایع، گرد و غبار و آلاینده‌های گازی وارد فاز مایع می‌گردند. عموماً دستگاه‌های اسکرابر متداول، در حذف ذرات ریز با قطر کمتر از یک میکرون کارایی کمی دارند، چون سرعت برخورد موثر در آنها پایین است. در حالی که در اسکرابرهای دینامیکی جدید، ذرات به حداکثر سرعت خود 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 به وسیله اسکرابر مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۱ نمای کلی فرایند نمایش داده شده است.

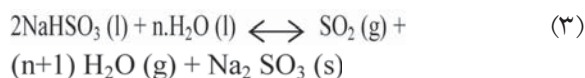
شیمی فرایند

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



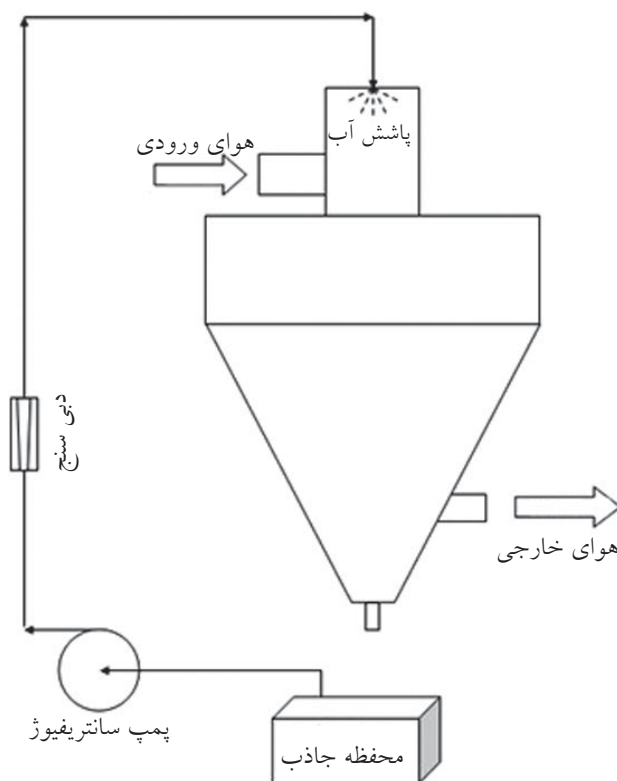
واکنش احیاء



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



شکل ۱- نمای کلی فرایند

ته نشین 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 به دست می آید [۱۲].

همچنین برای تولید بافر، واکنش های زیر انجام می شود:



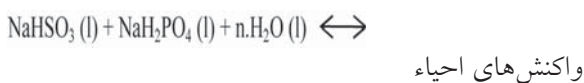
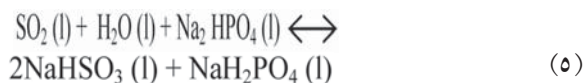
ارائه نتایج و بحث

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

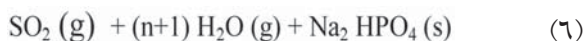
همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده با افزایش دبی گاز ورودی، زمان اقامت کاهش یافته و به تبع آن میزان جذب دی اکسید گوگرد کاهش می یابد. همچنین شکل ۳ تأثیر افزایش دبی جاذب بر کارایی جذب را نشان می دهد.

کاهش ضایعات بافر به علت اکسید شدن مصرف انرژی کمتر در بازیافت SO_2 مشکلات عملیاتی کمتر در احیای محلول بافر حذف کامل تر SO_2 از گاز واکنش های انجام شده در فرایند بافر فسفات سدیم عبارتند از:

واکنش های جذب



واکنش های احیاء

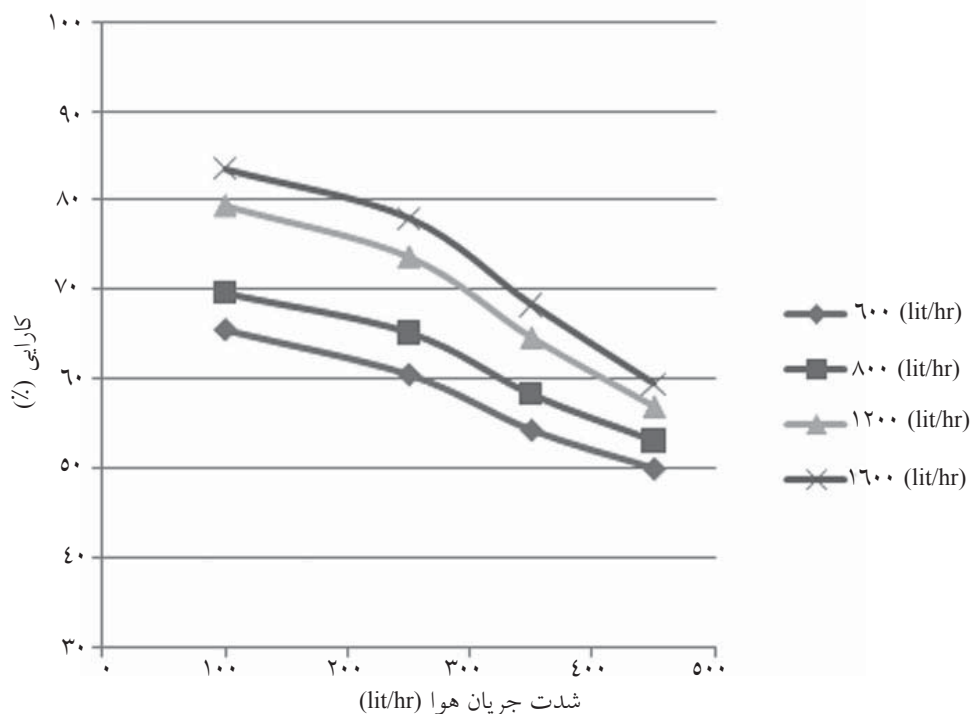


در رابطه بالا n عدد بزرگی است.

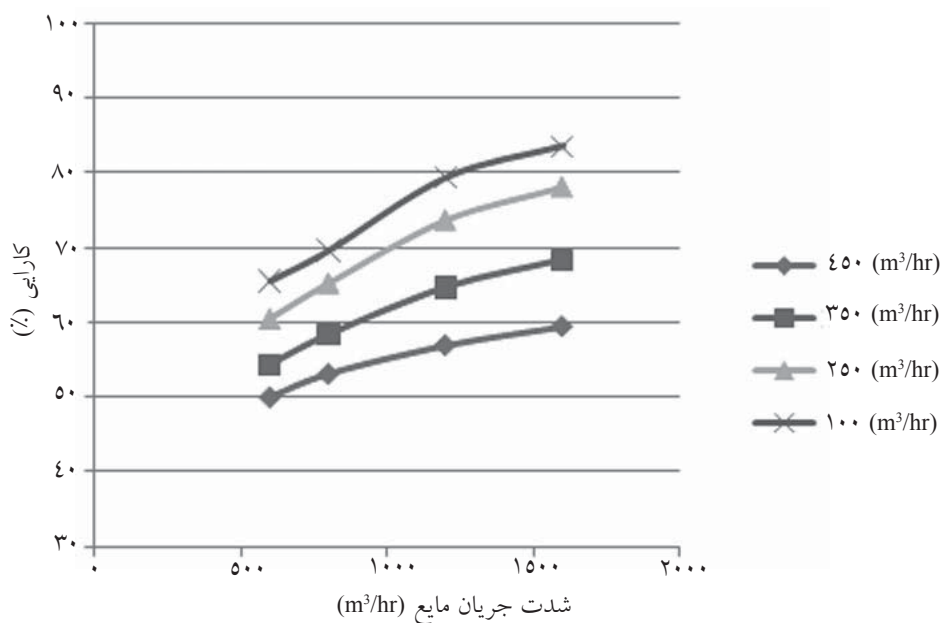
محلول بافر غنی شده از SO_2 در فرایند تبخیر، آب و SO_2 خود را از دست داده و بافر به صورت محلول و یا دوغابی با غلظت بالا خارج می شود. این محلول دارای ویسکوزیته بالا و مقداری ذرات معلق می باشد که حجم این ذرات

نتیجه کارایی جذب بالا می‌رود. کمترین و بیشترین کارایی به‌دست آمده به ترتیب ۵۰ و ۸۳/۵٪ می‌باشد که با توجه به کوچک بودن نسبت دبی مایع به گاز در این اسکرابر در مقایسه با دیگر دستگاه‌ها، نتیجه رضایت بخشی است.

مطابق شکل با افزایش دبی جاذب، به دلیل ایجاد قطرات بیشتر درون اسکرابر، کارایی جذب دی اکسید گوگرد افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش نسبت مایع به گاز، سطح تماس مایع و گاز و همچنین انتقال جرم افزایش یافته و در



شکل ۲- تاثیر افزایش دبی ورودی در دبی ثابت جاذب بر کارایی جذب SO₂ توسط فسفات سدیم



شکل ۳- تاثیر افزایش دبی جاذب در دبی ثابت گاز ورودی بر کارایی جذب SO₂ توسط فسفات سدیم

جدول ۱- نتایج حاصل از جذب SO₂ با فسفات سدیم به وسیله اسکرابر دینامیکی

شماره ردیف	دبی گاز ورودی (m ³ /hr)	دبی جذب (lit/hr)	غلظت جذب در آب (gr/lit H ₂ O)	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

نتیجه گیری

ریز بسیار موثر و کارآمد می باشد و عملکرد آن را می توان با جداکننده هایی نظیر اسپری اسکرابر الکترواستاتیکی در حذف ذرات ریز و اسکرابر ونتوری استوانه ای با سرعت گاز ۷۰ m/sec و نسبت مایع به گاز یک مقایسه نمود. اسپری اسکرابر الکترواستاتیکی مخلوط الکترو فیلتر و اسکرابر است که به دلیل باردار نمودن ذرات جامد و قطرات مایع بسیار گران قیمت می باشد و هزینه انرژی مصرفی آن نیز بسیار بالا است. همچنین تامین نسبت آب به گاز یک در دستگاه اسکرابر ونتوری استوانه ای دارای صرفه اقتصادی نمی باشد. بنابراین می توان گفت که اسکرابر دینامیکی در حذف SO₂ از جریان دود دودکش به وسیله جاذب فسفات سدیم عملکرد قابل قبولی را از خود نشان می دهد.

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 باران های اسیدی، پرداختن به روش های حذف و کاهش غلظت آن امری ضروری می باشد.

فن آوری رایج که برای جذب ناخالصی SO₂ به کار می رود، فرایند شستشو با آب و آهک است. امروزه با دسترسی به فن آوری هایی با قابلیت بازیابی حلال، استفاده از این فن آوری ها و همچنین بررسی امکان جایگزینی آن با فرایندهای رایج اهمیت زیادی دارد.

در این پژوهش، نتایج مربوط به استفاده از فسفات سدیم در حذف SO₂ با قابلیت بازیابی و احیا ارائه شده است.

نتایج به دست آمده حاکی از آن است که اسکرابر دینامیکی جدید برای حذف آلاینده های گازی و ذرات

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., Rowe R., 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., "SO₂ 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 SO₂ and NO from flue gas by wet scrubbing using an aqueous NaClO₂ 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.

راهنمای تهیه مقالات برای چاپ در مجله پژوهش نفت

مجله پژوهش نفت، مقالات علمی و پژوهشی در زمینه‌های مرتبط با صنایع نفت، گاز و پتروشیمی را برای چاپ می‌پذیرد. از پژوهشگران و کارشناسان گرامی که مایل به ارسال مقالات خود هستند، خواهشمندیم به موارد ذیل توجه فرمایند: مقاله ارسالی در سه نسخه تهیه و همراه با CD کامپیوتری شامل فایل مقاله و فایل‌های شکل‌ها و تصاویر، توسط عهده‌دار مکاتبات به آدرس پستی دبیرخانه نشریه یا از طریق پست الکترونیکی journal@ripi.ir به این دفتر ارسال شود. مسئولیت کامل مطالب و منابع چاپ شده بر عهده نویسنده یا نویسندگان خواهد بود و نسخه نهایی مقاله پیش از چاپ به امضاء نویسنده یا نویسندگان می‌رسد. نویسنده یا نویسندگان متعهد خواهند شد که مقالات ارسالی در نشریه دیگری انتشار نیافته است.

مقالات ارسالی عودت داده نمی‌شود.

آئین نگارش فارسی باید به طور کامل رعایت شود و از به‌کار بردن اصطلاحات خارجی که معادل دقیق و پذیرفته شده در زبان فارسی دارند، خودداری شود.

مقاله باید بر روی کاغذ سفید (A4) به صورت یک خط در میان (فاصله سطرها ۱/۲ سانتی متر) توسط نرم افزار Microsoft Word ویرایش ۲۰۰۷ یا ماقبل آن تایپ و حاشیه بالا و پایین ۳/۵ سانتی متر، حاشیه چپ و راست ۲/۵ سانتی متر، لبه بالا ۲/۵ سانتی متر و لبه پایین ۱/۲۷ سانتی متر تنظیم شود.

مقاله باید شامل بخش‌های زیر باشد:

۱. **عنوان:** باید تا حد امکان کوتاه و کاملاً گویای موضوع مقاله باشد.

نام نویسنده یا نویسندگان باید پس از عنوان مقاله ذکر شود. نویسنده طرف مکاتبات باید با علامت * در کنار نام خود مشخص گردد.

عنوان و آدرس نویسنده یا نویسندگان و پست الکترونیکی نویسنده طرف مکاتبات مشخص شود.

۲. **چکیده:** باید بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ کلمه و شامل هدف از تحقیق، روش کار، مهم‌ترین یافته‌ها و نتیجه‌گیری باشد.

۳. **واژه‌های کلیدی:** شامل ۳ الی ۶ واژه کلیدی که نکات اصلی در مقاله را معرفی می‌کند.

۴. **مقدمه:** مقدمه ضمن بیان هدف تحقیق، باید حاوی خلاصه‌ای از اهمیت موضوع، نتایج مطالعات و مشاهدات مرتبط با تحقیق مورد نظر که در گذشته انجام شده است، با ذکر منابع و مآخذهای لازم آن‌ها باشد.

۵. **روش کار:** در این بخش لازم است روش‌های آزمایشگاهی و مواد مصرفی و تجهیزات مورد استفاده به طور کامل معرفی شود. همچنین چگونگی و روش نمونه‌گیری با دقت بیان شود و آزمون‌های آماری مورد استفاده و مراحل استنتاج آماری به خوبی تشریح گردد.

۶. **نتایج و بحث:** در برگزیده نتایج حاصل از تحقیق به صورت متن، جدول، نمودار و تصویر و بحث در خصوص علل پدیده‌ها و مقایسه با یافته‌های مرتبط است.

۷. **نتیجه‌گیری:** در این بخش یافته‌های حاصل از تحقیق به صورت مختصر و شفاف ارائه می‌گردد.

۸. **تشکر و قدردانی:** در صورت لزوم از همکاری سازمان‌ها یا افراد مرتبط قدردانی می‌شود.

۹. **علائم و نشانه‌ها:** فهرست علائم و نشانه‌های مورد استفاده در مقاله به ترتیب حروف الفبا به همراه واحد و شرح آن‌ها ارائه می‌شوند.

۱۰. **مراجع:** کلیه مراجع مورد استفاده به ترتیب ارجاع آن‌ها در متن، در این بخش ارائه می‌گردند.

۱۱. **عنوان، چکیده و واژه‌های کلیدی انگلیسی:** این بخش باید در صفحه‌ای جداگانه ارائه شود. تطبیق عنوان و چکیده فارسی با انگلیسی باید مورد توجه قرار گیرد. کلیه نکات مندرج در بند ۱، در ترجمه انگلیسی آن نیز رعایت می‌شود.