



## بررسی تأثیر کاربرد سورفکتانت‌ها به همراه آب آهک و بی‌کربنات سدیم در حذف

### دی‌اکسید گوگرد در اسکرابر بستر دار

فرشید قربانی شهنا<sup>۱</sup>، عبدالرحمان بهرامی<sup>۲\*</sup>، کبری روتیوند<sup>۳</sup>، سمانه سالاری<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۲۱

تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۲۸

#### چکیده

**زمینه و هدف:** انتشار گاز دی‌اکسید گوگرد، تأثیر زیان‌باری بر انسان و محیط‌زیست دارد. در این تحقیق کاربرد سورفکتانت به همراه مواد جاذب آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم به منظور حذف دی‌اکسید گوگرد بررسی شده است.

**روش بررسی:** به منظور انجام این تحقیق از اسکرابر بستر دار استفاده شده و تأثیر مواد جاذب آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم و نوع و غلظت سورفکتانت‌ها بررسی گردیده است. همچنین غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد قبل از ورود به اسکرابر و در خروجی آن، با دستگاه قرائت مستقیم اندازه‌گیری شده است.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که افزایش غلظت مواد سورفکتانت آنیونی به همراه آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم تأثیر منفی در بازه حذف دی‌اکسید گوگرد داشته است، درحالی‌که با افزایش غلظت مواد سورفکتانت کاتیونی به همراه مواد جاذب مذکور، میزان بازه حذف افزایش می‌یابد. بیشترین میانگین حذف (۹۴/۵۴٪) مربوط به غلظت ۵۵ ppm از گاز دی‌اکسید گوگرد زمانی است که از آب‌آهک با غلظت ۲ درصد توأم با سورفکتانت کاتیونی CTAB با غلظت ۰/۰۱ مولار باشد، یا در شرایطی که به جای آب‌آهک از بی‌کربنات سدیم استفاده گردد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج تحقیق نشان می‌دهد که کارکرد حذف گاز دی‌اکسید گوگرد با استفاده از سورفکتانت کاتیونی به همراه مواد جاذب آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم، مؤثرتر از مواد جاذب مذکور به تنهایی است. از روش فوق می‌توان در حذف گاز دی‌اکسید گوگرد استفاده نمود.

**کلیدواژه‌ها:** گاز دی‌اکسید گوگرد، سورفکتانت، آب‌آهک، بی‌کربنات سدیم، اسکرابر بستر دار.

#### مقدمه

مربوط می‌شود [۵]. دی‌اکسید گوگرد به مشکلات تنفسی از جمله برونشیت و آمفیزم و آسم منجر می‌گردد [۲]. علاوه بر این، در غلظت‌های زیاد گاز دی‌اکسید گوگرد، سولفیت به سرعت به سولفات اکسیده نمی‌شود از طرفی سمیت سولفیت نیز بیشتر است [۶]. در پژوهش‌های متعددی از سنگ آهک برای حذف گاز دی‌اکسید گوگرد استفاده شده است [۴، ۸-۶]. در ابتدا از سنگ آهک یا توأم با دولومیت به مثابه ماده‌ی افزودنی، هم‌زمان با فرایند احتراقی برای کنترل گاز دی‌اکسید گوگرد استفاده شد که میزان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد، به نسبت جرمی ماده‌ی افزودنی به گوگرد و سایز ذرات ماده‌ی جاذب وابسته بود [۸]. در مطالعه‌ی دیگر برای حذف توأم گازهای دی‌اکسید گوگرد و مونواکسید نیتروژن از جاذب کاتالیستی تهیه شده از سه ماده‌ی آهک و خاکستر

انتشار گاز دی‌اکسید گوگرد از عمده‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی است که اثرهای مخرب و زیان‌آور اثبات شده‌ای بر انسان و محیط‌زیست دارد [۱-۳]. گوگرد، ابتدا به دی‌اکسید گوگرد و بعد به تری‌اکسید گوگرد تبدیل می‌شود که در آلودگی هوا بسیار نقش دارند. گاز دی‌اکسید گوگرد در هوا با آب واکنش می‌دهد و اسید سولفوریک تولید می‌کند که عامل اصلی ایجاد باران اسیدی است [۱، ۳]. اکسیدهای گوگردی معمولاً اثر خوردگی یا زنگ‌زدگی فلزها را افزایش می‌دهند [۱، ۴]. ذرات معلق در هوا به همراه اکسیدهای گوگردی، اثر شدیدتری دارند. مرگ‌ومیرهای زیادی در اثر آلودگی هوا به تأثیر سوء ذرات معلق به همراه اکسیدهای گوگرد

۱- دانشیار، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) استاد، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

bahrami@umsha.ac.ir

۳- کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۴- قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

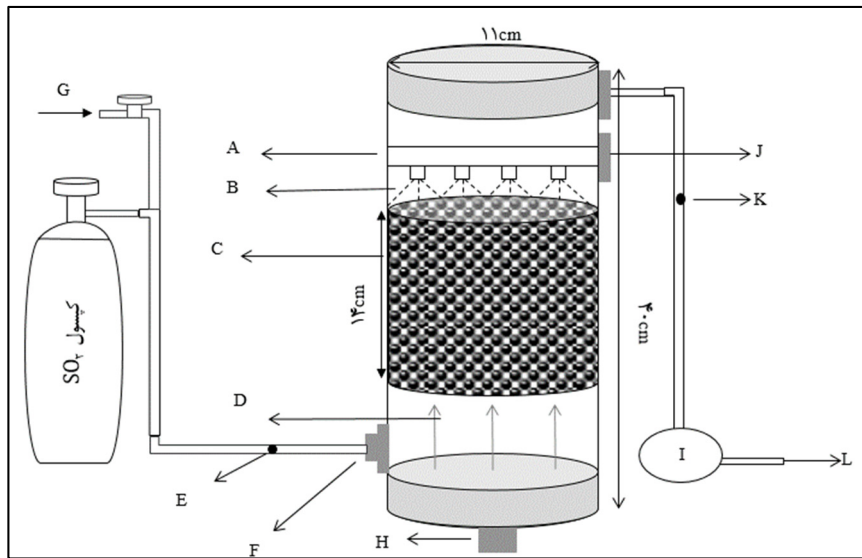
بی‌کربنات‌سدیم در اسکرابر بستردار برای حذف دی‌اکسیدگوگرد می‌باشد.

### روش بررسی

به‌منظور انجام این مطالعه، پیلوت اسکرابر بستردار مطابق شکل ۱ از جنس ورق شفاف پلکسی‌گلاس بدون درز که در ابعادی با قطر یازده سانتی‌متر، ارتفاع چهل سانتی‌متر و ارتفاع بستر نیز چهارده سانتی‌متر تهیه گردید. حجم اسکرابر بستردار سه لیتر برآورد گردید. جاذب‌های این پژوهش، آب‌آهک ۲ درصد وزنی، بی‌کربنات‌سدیم ۲ درصد وزنی، سورفکتانت آنیونی سدیم دو‌دسیل سولفات (SDBS):  $C_{18}H_{35}Na_2S$  (دارای وزن مولکولی  $gr/mol$  ۲۸۸/۳۸ و با درصد خلوص ۹۰٪) و سورفکتانت کاتیونی ستیل تری متیل آمونیوم بروماید (CTAB):  $C_{18}H_{42}BrN$  (دارای وزن مولکولی  $gr/mol$  ۳۶۴/۴۶ و با درصد خلوص ۹۷٪) ساخت Merck کشور آلمان، بوده است. غلظت گاز دی‌اکسیدگوگرد قبل از ورود به اسکرابر و همچنین تراکم آن در خروجی اسکرابر، با دستگاه قرائت مستقیم single Gas Analyzer مدل SGA 94-SO<sub>2</sub> kane-May با محدوده‌ی حساسیت ۰ تا ۱۵۰۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب، تعیین مقدار شده است. برای تهیه‌ی اتمسفر با غلظت مشخص گاز دی‌اکسیدگوگرد از کپسول دی‌اکسیدگوگرد ۴۰ لیتری با درجه خلوص ۹۹/۹۵ درصد، ساخت شرکت فرافن گاز تهران استفاده گردید. برای اختلاط مناسب گاز دی‌اکسیدگوگرد و هوا از محفظه اختلاط در محل سنجش گاز SO<sub>2</sub> در قبل و بعد از اسکرابر استفاده گردید از طرفی جهت تنظیم دبی هوا و SO<sub>2</sub> از روتامتر استفاده شد. برای اندازه‌گیری افت فشار بعد از نصب سیستم اسکرابر بستردار، از دستگاه میکروپروسور مدل AIR FLOW MEDM 500 micromanometer استفاده گردید. این دستگاه قادر است با اتصال لوله‌ی پیتوت به آن، علاوه‌بر افت فشار موجود در سیستم، مقدار سرعت جریان هوا را اندازه‌گیری نماید، همچنین با واردکردن سطح مقطع کانال به حافظه دستگاه هواگذر را به‌صورت نمایشگر

فرار و مواد زاید صنعتی حاوی اکسید آهن در راکتور بستر متحرک، در محدوده‌ی دمایی ۷۰۰ تا ۸۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، استفاده گردید که بازده فراوانی داشته است [۹]. از دیگر روش‌ها برای کنترل انتشار آلاینده‌ها، جذب عمقی با انواع م‌خ‌تلف اسکرابرها است که تاکنون در صنعت جهت کنترل ذرات، گازها و بخارات کاربرد بسیار وسیع و گسترده داشته و همراه با سایر وسایل کنترل یا به تنهایی مورد استفاده قرار گرفته است [۹-۱۳]. میزان حذف گاز دی‌اکسیدگوگرد در استفاده از اسکرابرهای تر بیشتر است [۱۴، ۱۵]. از آب‌آهک در اسکرابر تر برای سولفورزدایی گاز دودکش‌ها (FGD) استفاده شده است [۴، ۷]. در نیروگاه‌های حرارتی زغال‌سوز یا مصرف‌کننده‌ی نفت‌هایی با درصد گوگرد زیاد، اغلب زغال را می‌سوزانند و گاز خروجی گاز خروجی را (معمولاً شامل ۱٪ گاز دی‌اکسید گوگرد و بخش اعظم آن نیتروژن اکسید می‌باشد) با استفاده از سنگ آهک یا آهک در اسکرابرهای مرطوب یا اسکرابرهای خشک تصفیه می‌کنند و گاز دی‌اکسیدگوگرد را به سولفات کلسیم تبدیل و سپس آن را حذف می‌نمایند [۹].

افزافه‌کردن سورفکتانت، از راه‌های افزایش حلالیت ترکیب‌های گازی است [۱۶]. مطالعه‌های قبلی نشان داده‌اند که سورفکتانت همراه با کاهش کشش سطحی [۱۷]، به‌منظور افزایش بازده حذف آلاینده‌ها مثل هیدروکربن‌ها در میست‌های روغن‌آشپزی [۱۶] و نفتالین [۱۸] و دوده [۱۷] در اسکرابرها استفاده می‌شوند. بررسی منابع منتشرشده نشان می‌دهد تعداد محدودی از مطالعات در زمینه حذف آلاینده دی‌اکسید گوگرد در حضور سورفکتانت انجام شده است، ضمن اهمیت کاربرد سورفکتانت‌ها در افزایش بازده حذف آلاینده در این مطالعه بر آن شدیم سورفکتانت کاتیونی ستیل تری متیل آمونیوم بروماید (CTAB) و معمولترین سورفکتانت آنیونی سدیم دو‌دسیل سولفات (SDBS) را جهت حذف گاز دی‌اکسیدگوگرد به کار ببریم. از این رو هدف از این مطالعه، کاربرد مواد سورفکتانت به‌همراه مواد جاذب آب‌آهک و



شکل ۱- نمایی از پایلوت آزمایشگاهی اسکرابر بستردار.

A: افشانک برای پاشش مواد شوینده؛ B: پاشش مواد جاذب؛ C: بستر اسکرابر دارای صافی‌های پلاستیکی؛ D: مسیر جریان آلاینده؛ E: محل اندازه‌گیری گاز  $SO_2$  ورودی به اسکرابر؛ F: محل ورود گاز  $SO_2$  و هوا؛ G: محل ورود هوا؛ H: محل خروج فاضلاب؛ I: هواکش؛ J: لوله‌ی متصل به پمپ آب؛ K: محل اندازه‌گیری گاز  $SO_2$  خروجی؛ L: خروج هوای تمیز.

۰/۰۵ و ۰/۱ مولار که بیشتر از غلظت بحرانی میسل است، تهیه گردید. سپس از ماده‌ی سورفکتانت کاتیونی ستیل تری متیل آمونیوم بروماید در غلظت‌های ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۵ و ۰/۱ مولار استفاده گردید. این غلظت‌ها نیز از غلظت بحرانی میسل این سورفکتانت (۰/۰۰۰۹ مولار) بیشتر است [۱۹]. برای هر کدام از سه غلظت ورودی سورفکتانت‌ها، غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد ۵۵، ۱۰۵ و ۵۰۵ ppm بوده است. هر آزمایش سه بار تکرار شد و در مجموع ۱۲۶ نمونه آزمایش گردید. به منظور تعیین تأثیر نوع مواد جاذب (آب‌آهک، بی‌کربنات سدیم)، نوع و غلظت سورفکتانت‌های افزوده‌شده به مواد جاذب مذکور بر میزان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد، روش واریانس یک‌طرفه در سطح اطمینان  $\alpha = 0.05$  استفاده گردید.

### یافته‌ها

یافته‌های مطالعه نشان داد که میزان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد با استفاده از مواد جاذب آب‌آهک توأم با سورفکتانت کاتیونی افزایش می‌یابد. در جدول ۱ اثر

نشان دهد. برای اندازه‌گیری سرعت گاز، از آنومتر حرارتی مدل KIMO TYPE VT 100 استفاده گردید و سرعت برابر ۲۵/۵۹ فوت بر دقیقه قرائت گردید. مواد جاذب آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم در غلظت‌های ۲ درصد وزنی، یک‌بار به‌طور جداگانه و یک‌بار هم توأم با دو نوع ماده‌ی سورفکتانت آنیونی سدیم دو دسیل سولفات و سورفکتانت کاتیونی ستیل تری متیل آمونیوم بروماید و هر کدام در سه غلظت متفاوت با توجه به غلظت بحرانی میسل، وارد اسکرابر گردید و سپس تراکم گاز دی‌اکسید گوگرد خروجی نیز با دستگاه قرائت مستقیم single Gas Analyzer مدل SGA 94- SO<sub>2</sub> kane-May تعیین مقدار شد. بدین منظور، با توجه به اینکه غلظت بحرانی میسل (وقتی غلظت سورفکتانت به حد آستانه برسد، میسل‌ها تشکیل می‌شوند که به این غلظت آستانه‌ی سورفکتانت، غلظت بحرانی میسل<sup>۱</sup> (cmc گویند) سورفکتانت آنیونی سدیم دودسیل سولفات برابر با ۰/۰۰۸۲ مولار است [۱۹]، محلول‌های این سورفکتانت در سه غلظت ۰/۰۱ و

<sup>1</sup> Critical Micelles Concentration

جدول ۱- نتایج مقایسه میانگین و انحراف معیار میزان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد با آب‌آهک (با غلظت ۲ درصد وزنی) و مواد سورفکتانت آنیونی SDBS و کاتیونی CTAB

غلظت (ppm)						مواد جاذب
۵۰۵ PPM		۱۰۵ PPM		۵۵ PPM		
انحراف	راندمان	انحراف	راندمان	انحراف	راندمان	
معیار	میانگین (%)	معیار	میانگین (%)	معیار	میانگین (%)	
۰/۲	۴۷/۳۲	۰/۹۵	۵۴/۲۸	۱/۸۱	۶۹/۰۸	آب‌آهک با غلظت ۲ درصد وزنی
۰/۲	۴۳/۳۶	۰/۹۵	۴۲/۵۲	۱/۸۲	۶۳/۶۳	آب‌آهک با غلظت ۲ درصد توأم با SDBS با غلظت ۰/۰۱ مولار
۰/۱۹	۳۷/۸۲	۰/۹۵	۴۴/۷۵	۱/۸۲	۵۸/۱۸	آب‌آهک با غلظت ۲ درصد توأم با SDBS با غلظت ۰/۰۵ مولار
۰/۲	۲۸/۳۱	۰/۹۵	۳۵/۲۳	۱/۸۱	۴۹/۰۸	آب‌آهک با غلظت ۲ درصد توأم با SDBS با غلظت ۰/۱ مولار
۰/۹۷	۵۵/۷۷	۰/۹۵	۶۳/۸	۱/۸۲	۷۴/۵۴	آب‌آهک با غلظت ۲ درصد توأم با CTAB با غلظت ۰/۰۰۱ مولار
۰/۲	۶۴/۳۵	۰/۹۵	۷۶/۱۸	۱/۸۱	۸۱/۸۱	آب‌آهک با غلظت ۲ درصد توأم با CTAB با غلظت ۰/۰۰۵ مولار
۰/۲	۷۵/۲۴	۰/۹۵	۸۵/۷۱	۱/۸۲	۹۴/۵۴	آب‌آهک با غلظت ۲ درصد توأم با CTAB با غلظت ۰/۰۱ مولار

$$\% = \sum_{i=1}^3 \{1 - [(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})_i \text{OUT} / (\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})_i \text{IN}]\} / 3 \times 100$$

یابد. در صورتی که راندمان حذف با استفاده از ماده جاذب بی کربنات سدیم به اضافه ماده سورفکتانت کاتیونی و جاذب بی کربنات سدیم همراه با سورفکتانت با غلظت های ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱ مولار، با افزایش غلظت سورفکتانت کاتیونی تفاوت معنی داری را نشان داد ( $p < 0/05$ ). به طوری که با راندمان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد در غلظت های مذکور افزایش می یابد.

در جدول ۲، اثر جاذب بی کربنات سدیم با غلظت ۲ درصد وزنی به تنهایی و همراه با مواد سورفکتانت آنیونی SDBS و کاتیونی CTAB را نشان می دهد؛ که بیشترین میانگین حذف در اینجا نیز مربوط به غلظت ۵۵ ppm از گاز دی‌اکسید گوگرد است در زمانی که آب‌آهک با غلظت ۲ درصد توأم با سورفکتانت کاتیونی CTAB با غلظت ۰/۰۱ مولار باشد و کمترین میزان مربوط به استفاده از جاذب به همراه سورفکتانت آنیونی SDBS است.

جهت ارزیابی اثر غلظت ورودی گاز دی‌اکسید گوگرد، ماده سورفکتانت آنیونی، ماده سورفکتانت کاتیونی و همچنین آب‌آهک و بی کربنات سدیم در راندمان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد، آنالیز واریانس انجام گرفت. نتایج آزمون آنالیز واریانس نشان داد که سه غلظت مختلف

جاذب آب‌آهک (با غلظت ۲ درصد وزنی) به تنهایی و همراه با مواد سورفکتانت آنیونی SDBS و کاتیونی CTAB را نشان می دهد؛ که بیشترین میانگین بازده حذف (۹۴٪/۵۴)، مربوط به غلظت ۵۵ ppm از گاز دی‌اکسید گوگرد در زمانی که آب‌آهک با غلظت ۲ درصد توأم با سورفکتانت کاتیونی CTAB با غلظت ۰/۰۱ مولار می باشد.

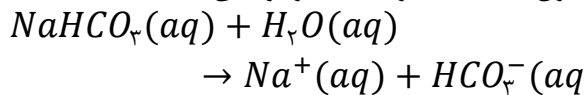
راندمان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد با استفاده از ماده جاذب آب‌آهک یا جاذب بی کربنات سدیم در غلظت ۵۵ ppm از گاز دی‌اکسید گوگرد بیشتر از راندمان حذف آن در ۱۰۵ ppm و در غلظت ۱۰۵ ppm نیز بیشتر از غلظت ۵۰۵ ppm به دست آمد ( $p < 0/05$ ). در مجموع در این آزمایش رابطه عکس بین غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد و راندمان حذف دی‌اکسید گوگرد برقرار است. همچنین راندمان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد با استفاده از ماده جاذب آب‌آهک همراه با سورفکتانت آنیونی سدیم دودسیل سولفات و جاذب بی کربنات سدیم همراه با سورفکتانت آنیونی با غلظت های ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱ مولار، با افزایش غلظت سورفکتانت آنیونی تفاوت معنی داری نشان داد ( $p < 0/05$ ). به طوری که راندمان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد در غلظت های مذکور کاهش می

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین و انحراف معیار میزان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد با بی‌کربنات سدیم (با غلظت ۲ درصد وزنی) و مواد سورفکتانت آنیونی SDBS و کاتیونی CTAB

غلظت (ppm)						مواد جاذب
۵۰۵ ppm		۱۰۵ ppm		۵۵ ppm		
انحراف	راندمان	انحراف	راندمان	انحراف	راندمان	
معیار	میانگین (%)	معیار	میانگین (%)	معیار	میانگین (%)	
۰/۲	۳۸/۴۱	۱/۴۵	۵۱/۱	۱/۸۱	۵۹/۹۹	بی‌کربنات سدیم با غلظت ۲ درصد وزنی
۰/۱۹۵	۳۶/۰۳	۰/۹۵	۴۸/۵۶	۱/۸۲	۵۶/۳۶	بی‌کربنات سدیم با غلظت ۲ درصد توأم با SDBS با غلظت ۰/۰۱ مولار
۰/۲	۳۲/۶۷	۰/۹۵	۴۳/۸	۱/۸۱	۵۰/۹	بی‌کربنات سدیم با غلظت ۲ درصد توأم با SDBS با غلظت ۰/۰۵ مولار
۰/۲	۲۶/۳۳	۰/۹۵	۳۶/۱۸	۱/۸۱	۳۹/۹۹	بی‌کربنات سدیم با غلظت ۲ درصد توأم با SDBS با غلظت ۰/۱ مولار
۰/۲	۴۵/۵۴	۰/۹۵	۵۰/۴۷	۱/۸۲	۶۳/۶۳	بی‌کربنات سدیم با غلظت ۲ درصد توأم با CTAB با غلظت ۰/۰۰۱ مولار
۰/۲	۵۷/۴۲	۰/۹۵	۶۱/۹	۱/۸۲	۷۲/۷۲	بی‌کربنات سدیم با غلظت ۲ درصد توأم با CTAB با غلظت ۰/۰۰۵ مولار
۰/۲	۶۸/۳۱	۰/۹۵	۷۸/۰۴	۱/۸۲	۸۵	بی‌کربنات سدیم با غلظت ۲ درصد توأم با CTAB با غلظت ۰/۰۱ مولار

$$\eta\% = \sum_i^3 \{1 - [(mg \cdot m^{-3})_i OUT / (mg \cdot m^{-3})_i IN]\} / 3 \times 100$$

مواد جاذب آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم نشان داد که ماده‌ی جاذب آب‌آهک در مقایسه با ماده‌ی جاذب بی‌کربنات سدیم کارکرد بیشتری دارد. دلیل آن را می‌توان این‌گونه توضیح داد که بی‌کربنات سدیم ( $NaHCO_3$ ) به‌طور کامل در آب حل شده و یون‌های  $Na^+$  و  $HCO_3^-$  به وجود می‌آید:



در حالی که آب‌آهک  $Ca(OH)_2$  به‌طور جزئی در آب حل می‌گردد و یون  $Ca^{2+}$  و  $2OH^-$  تولید می‌کند:

$$Ca(OH)_2 \leftrightarrow Ca^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$$

دی‌اکسید گوگرد با کلسیم ( $Ca^{2+}$ ) جزئی تولید شده واکنش بیشتری از یون سدیم ( $Na^+$ ) نشان می‌دهد؛ بنابراین علت اصلی افزایش میزان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد با آب‌آهک این است که مولکول دی‌اکسید گوگرد بیشتر جذب سطحی هیدرواکسید کلسیم جامد می‌شود تا اینکه در محلول بی‌کربنات سدیم حل شود. باتوجه‌به یافته‌ی حاصل از مطالعه‌ی شاتوپینگ چانگ در سال ۲۰۱۵ می‌توان کارکرد جاذب آب‌آهک را با کاهش قطر قطرات آن به کمتر از  $50 \mu m$  به‌طور چشمگیری افزایش داد [۲۰].

ورودی گاز دی‌اکسید گوگرد در راندمان حذف مؤثر بوئه است ( $F=800/86, p < 0/001$ ). با انجام آنالیز وایانس صورت گرفته، مشخص گردید هشت ترکیب مختلف SDS.CTAB که در جداول ۱ و ۲ آمده است، اثر یکسانی در راندمان حذف نداشته‌اند ( $p < 0/001$ ). از آنجاییکه در آزمایش‌های انجام شده ۲ ترکیب مختلف آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم وجود داشته است، نتیجه‌ی آزمون تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم تأثیر یکسانی در میزان حذف نداشته‌اند ( $F=5/995, p = 0/016$ ) و حذف آب‌آهک بیشتر از بی‌کربنات سدیم است.

### بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سورفکتانت‌ها به همراه آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم در حذف گاز دی‌اکسید گوگرد در اسکرابر بستر دار انجام گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ارتباط معناداری میان استفاده از ماده‌های جاذب آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم با حذف گاز دی‌اکسید گوگرد در اسکرابر بستر دار وجود دارد. به‌طوری‌که ماده‌ی جاذب آب‌آهک در مقایسه با ماده‌ی جاذب بی‌کربنات سدیم کارکرد بیشتری در حذف گاز دی‌اکسید گوگرد دارد. نتایج به‌دست‌آمده در ارتباط با حذف گاز دی‌اکسید گوگرد از

آنیونی برای جذب عمقی بخارهای نفتالن و دی اکسیدگوگرد به همراه آب در اسکرابر بستردار بوده است [۱۹]. همچنین مطالعه چیه‌چنگ و همکارانش که از سورفکتانت‌های آنیونی و کاتیونی به همراه آب برای حذف بخارهای نفتالن استفاده گردیده است سورفکتانت آنیونی سدیم دو دسیل سولفات بازدهی کمتری نسبت به سورفکتانت کاتیونی تترا اتیلن گلیکول مونو دسیل اتر و سورفکتانت کاتیونی اوکتا اتیلن گلیکول مونوتترا دسیل اتر داشته است [۱۸]. از طرفی مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد انواع سورفکتانت در حذف آلاینده های دیگر نیز، افزایش بازده حذف آلاینده ها را نشان می دهند. یافته‌های حاصل از مطالعه‌ی هسین‌هان چنگ در سال ۲۰۱۰ نشان داد که میزان حذف هیدروکربن‌ها در میست روغن آشپزی با استفاده از هیپوکلیت سدیم به همراه سورفکتانت در اسکرابر ۱۲ درصد افزایش می‌یابد [۱۶]. همچنین هانگ‌اچ و همکارانش در تحقیقی در مطالعه‌ای که پی‌لو و همکارانش به منظور حذف دوده انجام دادند از چهار نوع سورفکتانت یونی و غیر یونی در نوع جدیدی از اسکرابرهای صفحه‌چتری استفاده گردید. از چهار نوع سورفکتانت، دو نوع آن سورفکتانت‌های یونی CTAB و SDBS بوده‌اند که میزان حذف این سورفکتانت‌ها به‌تنهایی و در ترکیب با سورفکتانت‌های غیر یونی سنجیده شد. نتایج بدین‌گونه بود که سورفکتانت آنیونی در غلظت‌های کم، میزان حذف بیشتری از سورفکتانت کاتیونی داشته است و در غلظت‌های بیشتر، نتایج برعکس بوده است. همچنین نتایج در ترکیب سورفکتانت‌های غیر یونی و یونی نشان داد که سورفکتانت غیر یونی الکل چرب پلی اکسی اتیلن اتر-۹ (AEO-9) به همراه سورفکتانت یونی SDBS که به دلیل فعل و انفعالات مولکولی آن دو، منجر به بالاترین نسبت حذف دوده را داشته است [۱۷].

### محدودیت‌ها

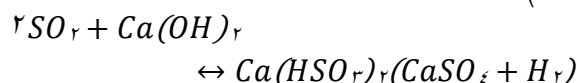
با توجه به اهمیت کنترل آلودگی هوا در منبع آلودگی برای افزایش میزان جمع‌آوری گاز دی‌اکسیدگوگرد بهتر

از سوی دیگر، نتایج آزمون‌های آماری مطالعه حاضر، ارتباط توأم سورفکتانت‌های کاتیونی و آنیونی همراه با مواد جاذب آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم جهت حذف گاز دی‌اکسیدگوگرد در اسکرابر بستردار نشان داد که با افزایش غلظت مواد سورفکتانت به همراه آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم در میزان حذف گاز دی‌اکسیدگوگرد تأثیر فزاینده‌ای خواهد داشت. در این مطالعه با افزایش غلظت مواد سورفکتانت کاتیونی به همراه مواد جاذب آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم، میزان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد افزایش یافت که با افزایش غلظت مواد سورفکتانت آنیونی به همراه مواد جاذب آب‌آهک و بی‌کربنات سدیم، میزان حذف گاز دی‌اکسیدگوگرد کاهش یافت. علت آن را می‌توان بدین شکل توضیح داد که بخشی از دی‌اکسید گوگرد مطابق واکنش ۳ در آب حل شده و تولید آنیون‌های گازی سولفیت و سولفیت هیدروژن می‌کند از طرفی ماده‌ی سورفکتانت آنیونی سدیم دو دسیل سولفات، بار منفی داشته و اثر دافعه مانع از حذف مولکول‌های گاز دی‌اکسیدگوگرد می‌گردد. بخشی از بی‌سولفیت تولید شده با کاتیون کلسیم آب‌آهک، ترکیب شده و به فاز جامد به صورت رسوب‌های بی‌سولفیت و سولفیت کلسیم تبدیل شده و از فاز مائی (الکترولیتی) حذف می‌گردد که احتمالاً در این مطالعه بی‌سولفیت به طور کامل با قلیا واکنش نداده و اثر دافعه بر سورفکتانت آنیونی غالب بوده است.

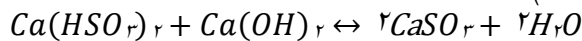
(۱)



(۲)



(۳)



یافته‌های حاصل از این بررسی با هانگ‌اچ و همکارانش همخوانی دارد. در مطالعه نامبرده نشان داده شد که تأثیر سورفکتانت کاتیونی بیشتر از سورفکتانت

In: Sajwan KS, Twardowska I, Punshon T, Alva AK, editors. Coal Combustion Byproducts and Environmental Issues. New York, NY: Springer New York; 2006. p. 21-32.

8. Wang M, Chang K, Chang W. Parametric Study on Reduction of SO<sub>2</sub> Emissions in a Coal-Fired Pulsating Combustor. Combustion science and technology. 1993;90(1-4):253-66.

9. Lee H-K, Deshwal BR, Yoo K-S. Simultaneous removal of SO<sub>2</sub> and NO by sodium chlorite solution in wetted-wall column. Korean Journal of Chemical Engineering. 2005;22(2):208-13.

10. Bahrami A, Ghorbani F, Mahjub H, Golbabei F, Aliabadi M. Application of traditional cyclone with spray scrubber to remove airborne silica particles emitted from stone-crushing factories. Industrial health. 2009;47(4):436-42.

11. Ghorbani Shahna F, Bahrami A, Farasati F. Application of local exhaust ventilation system and integrated collectors for control of air pollutants in mining company. Industrial health. 2012;50(5):450-7.

12. Jamshidi Rastani M, Ghorbani Shahna F, Bahrami A, Hosseini S. Evaluation of local exhaust ventilation system performance for control of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dust at an iron making unit. Journal of Health and Safety at Work. 2016;6(2):43-56.

13. Moradi M, Bahrami A. Design, Implementation & Assessment of Local Exhaust Ventilation System and dust collectors for crushing unit. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2015;2(2):32-42.

14. Fang P, Cen C, Tang Z, Zhong P, Chen D, Chen Z. Simultaneous removal of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> by wet scrubbing using urea solution. Chemical Engineering Journal. 2011;168(1):52-9.

15. Liu Yx, Zhang J. Photochemical oxidation removal of NO and SO<sub>2</sub> from simulated flue gas of coal-fired power plants by wet scrubbing using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> advanced oxidation process. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2011;50(7):3836-41.

16. Cheng HH, Hsieh CC. Integration of chemical scrubber with sodium hypochlorite and surfactant for removal of hydrocarbons in cooking oil fume. Journal of hazardous materials. 2010;182(1):39-44.

17. Lu P, Li C, Zeng G, Zhao Y, Zhan Q, Song J, et al. Removal of black carbon particles from experimental flue gas by surfactant solution in a new type of umbrella plate scrubber. Environmental technology. 2013;34(1):101-11.

18. Wu CC, Lee WMG. Control of vaporous naphthalene by scrubbing with surfactants. Journal

است در آزمایش‌هایی که در آینده انجام می‌گردد، مؤلفه‌ی زمان در میزان حذف گاز دی‌اکسید گوگرد لحاظ شود. می‌توان غلظت بهینه‌ی سورفکتانت را با بیشترین میزان حذف در غلظت ثابت از گاز دی‌اکسید گوگرد به دست آورد. از طرفی می‌توان انواع دیگر سورفکتانت‌ها از قبیل غیر یونی، برای حذف دی‌اکسید گوگرد بررسی کرد و همچنین اثر توأم سورفکتانت‌ها را بر میزان حذف بررسی نمود. از آنجاکه در گاز دودکش‌ها (FGD) علاوه بر دی‌اکسید سولفور، ناکس‌ها (مونو اکسید نیتروژن) نیز موجود هستند، بهتر است اثر سورفکتانت را بر هر دو آلاینده به صورت توأم بررسی گردد.

### تقدیر و تشکر

این پژوهش بخشی از طرح مصوب پژوهشی است. از دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان به دلیل حمایت مالی، بسیار سپاسگزار هستیم.

### منابع

- Theodore L. Air pollution control equipment calculations: John Wiley & Sons; 2008.
- Malviya DK. Adverse Health Effect of Air Pollution-A Review. International Journal of Research. 2016;3(4):386-9.
- Gound TU, Ramachandran V, Kulkarni S. Various Methods To Reduce SO<sub>2</sub> Emission-A Review. International Journal Of Ethics In Engineering & Management Education. 2014;1(1):1-6.
- Heidel B, Hilber M, Scheffknecht G. Impact of additives for enhanced sulfur dioxide removal on re-emissions of mercury in wet flue gas desulfurization. Applied Energy. 2014;114:485-91.
- Griffin RD. Principles of air quality management: CRC Press; 2006.
- Adewuyi YG, Sakyi NY. Simultaneous absorption and oxidation of nitric oxide and sulfur dioxide by aqueous solutions of sodium persulfate activated by temperature. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2013;52(33):11702-11.
- Kikuchi R. Alternative By-Products of Coal Combustion and Simultaneous SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> Treatment of Coal-Fired Flue Gas: Approach to Environmentally Friendly Use of Low-Rank Coal.



of environmental engineering. 2004;130(3):276-81.

19. Huang HL, Lee WMG. Removal of vaporous naphthalene using polyoxyethylenated nonionic surfactants. Journal of the Air & Waste Management Association. 2003;53(8):983-91.

20. Zhang X, Wang N. Experimental Study on Fast Suspension Bed Flue Gas Desulfurization. Energy Procedia. 2012;14:1665-70.



## Evaluating the effects of using surfactants with sodium bicarbonate and limestone for the removal of sulfur dioxide in packed scrubber

Farshid Ghorbani Shahna<sup>1</sup>, Abdulrahman Bahrami\*<sup>2</sup>, Kobra Rotivand<sup>3</sup>, Samaneh Salari<sup>4</sup>

Received: 2016/09/18

Revised: 2017/04/04

Accepted: 2017/07/12

### Abstract

**Background and aims:** The emission of sulfur dioxide in the air has hazardous effects on human health and environment. In this research the use of surfactants with sodium bicarbonate and limestone for the removal of sulfur dioxide was studied.

**Methods:** A packed scrubber was used and the effect of absorbents (limestone or sodium bicarbonate), the kind and concentration of surfactants were assessed. Concentration of sulfur dioxide was measured at inlet and outlet of scrubber by real-time devices.

**Results:** The results showed that removal efficiency of sulfur dioxide was enhanced when the concentration of cation surfactants with limestone or sodium bicarbonate increased but when the concentration of anion surfactants with absorbents increased it caused the decrease of removal efficiency of sulfur dioxide. The highest average of removal efficiency (94.54%) was reported when 2% of limestone with 0.01 mole of cation surfactant was used and concentration of sulfur dioxide was 55 ppm. The efficiency was also high whenever sodium bicarbonate was used instead of limestone.

**Conclusion:** The results of this research show that using sodium bicarbonate or limestone with cation surfactants is more efficient than using these absorbents alone for removing sulfur dioxide from air pollutants and this removal process can be applied for controlling sulfur dioxide at industrial process.

**Keywords:** Sulfur dioxide, Surfactant, Limestone, Sodium bicarbonate, Packed scrubber.

1. Associate Professor, Excellence Center of Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

2. (**Corresponding author**) Professor, Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. bahrami@umsha.ac.ir

3. MSc of Occupational Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

4. Excellence center of Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.