

# تأثیر پارامترهای ولتاژ و طول الکتروود در حذف دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) از جریان آلوده به این ماده توسط میدان الکتریکی

علی طالبیان<sup>۱</sup>، بهاره وزیری<sup>۲</sup>، جلال شبان طاهری<sup>۳</sup>، میثم همتمی<sup>۴</sup>

۱- دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی شیمی

۲- دانشگاه سمنان، دانشکده فنی و مهندسی

۳- دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی شیمی

۴- دانشگاه سمنان، دانشکده فنی و مهندسی

[Ar.Talebian@ce.iut.ac.ir](mailto:Ar.Talebian@ce.iut.ac.ir)

## چکیده

کلمات کلیدی: دی اکسید گوگرد، میدان الکتریکی، حذف آلاینده، آلاینده های قطبی

## مقدمه

اکثر سوخت های جامد، مایع و گازی دارای درصدی گوگرد هستند و تقریباً ۹۵ درصد گوگرد موجود در اثر سوختن به دی اکسید گوگرد تبدیل می شود، که میزان تبدیل بستگی به نوع و میزان ترکیبات موجود در سوخت و شرایط احتراق شامل: دما و مقدار گاز اکسیژن موجود در محیط احتراق دارد. دی اکسید گوگرد یک آلاینده مهم زیست محیطی بوده و صدمات متعددی منجمله باران های اسیدی و مشکلات تنفسی را بوجود می آورد.

حذف این گاز از دودکش های واحدهای صنعتی به مانند نیروگاهها، پالایشگاهها، صنایع پتروشیمی یک نیاز زیست محیطی است و لازم است تا غلظت تخلیه آن به محیط زیست در حد مجاز قرار گیرد.

روش های متعددی برای کاهش دی اکسید گوگرد وجود دارد که به طور کلی می توان به تکنولوژی های پیش از احتراق، تکنولوژی های در حال احتراق و تکنولوژی های پس از احتراق دسته بندی نمود. در زیر بصورت مختصر به این فرآیندها اشاره می نمائیم:

الف - تکنولوژی های پیش از احتراق:

این فرآیندها، زغال را پیش از سوختن تمیز می کنند که شامل روش های فیزیکی یا شست و شو و روش های بیولوژیکی جدید تمیز کردن برای حذف گوگرد و خاکستر می باشند[1].

ب- تکنولوژی های در حال احتراق:

این روش ها در کوره، در جایی که زغال می سوزد انجام می شود. این روش آلودگی هایی مانند دی اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن را حذف می کنند. یکی از این تکنولوژی ها، احتراق در بستر سیالی شده است[1].

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک

پ - تکنیک های پس از احتراق :

تکنولوژی های تمیز کردن زغال پس از احتراق یا در حین احتراق برای حذف گوگرد قبل از سوختن یا در حین سوختن، با توجه به عدم امکان جانشینی یا اصلاح سوخت ها ( استفاده از سوخت های با گوگرد کم ) به خاطر در دسترس نبودن ذخایر سوخت های با گوگرد کم در همه مناطق، استفاده می شوند و حدود ۴۰ تا ۹۰ درصد گوگرد زغال با روش های فیزیکی تمیز کردن وابسته به گوگرد موجود در سوخت، می تواند حذف شود.

از جمله این تکنیک ها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- شوینده های تر

۲- سیستم های اسکرابر خشک

۳- سیستم های تر / خشک

۴- فرایند کلاوس

۵- استفاده از میدان الکتریکی [2].

در ایران روش پس از احتراق کلاوس در پالایشگاهها مرسوم است. روش آخر روش نوینی برای کاهش دی اکسید گوگرد بر اساس میدان قوی الکتریکی در کشورهای ژاپن ، چین ، کره ، آمریکا ، کانادا و لهستان مطرح گردیده است که در مراحل ابتدائی خود قرار دارد.

دی اکسید گوگرد گازی است محرک و مقدار ۶ تا ۱۲ ppm از آن باعث تحریکات فوری بینی و گلو می شود. وجود مقدار ۰/۳ تا ۱ ppm از آن را یک شخص معمولی میتواند حس کند که بیشتر از طریق طعم است تا بو و مقدار ۳ppm از آن دارای بوی قابل ملاحظه است. ۲۰ppm حداقل مقداری است که چشم ها را تحریک می کند و یک درصد از این گاز برای قسمت های مرطوب پوست در عرض چند دقیقه محرک است. هر چند که گاز دی اکسید گوگرد به سهولت حل میشود و استنشاق آن به طور عمده قسمت فوقانی دستگاه تنفسی و بونشها را متاثر می سازد، ممکن است باعث ورم ریه ها و حتی فلج تنفسی شود.

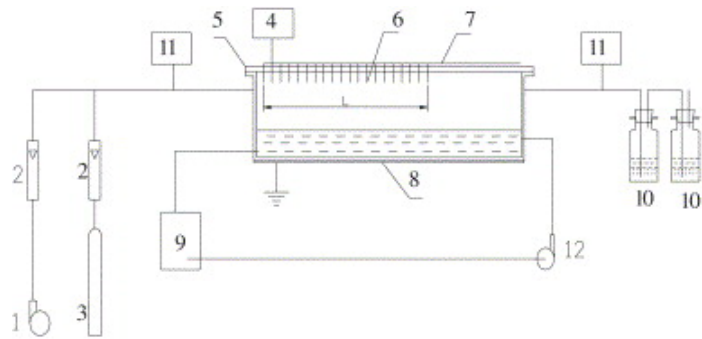
تماس داشتن با این گاز در حدود ۳۰ قسمت در میلیون که گاه و بیگاه حداکثر به ۱۰۰ می رسیده است، برای مدتی، کمی بیش از ۲ سال، در انسان ایجاد آثار قابل ملاحظه " نازو فانژیت " کرده است. این عوارض همراه با تغییر حس بویایی، چشائی و همچنین اسیدی شدن شدید ادرار و ازدیاد خستگی بوده است. علاوه بر حیوانات، این گاز برای نباتات نیز سمی است، چنان که کمتر از نیم قسمت در میلیون ممکن است روی جوانه ها و برگهای نباتات اثرات زیان آور داشته باشد.

در سال ۱۹۹۱ حد مجاز قابل قبول برای تماس های طولانی برای انیدرید سولفور ۲ قسمت در میلیون معادل ۵/۲ میلی گرم در مترمکعب هوا اعلام گردید و در این مقدار اثرات محرک آن به اندازه قوی و کافی نیست که نقش خبرکنندگی داشته باشد. ۲۵ تا ۵۰ قسمت در میلیون آن به عنوان حد مجاز برای نیم ساعت تا یک ساعت تماس تعیین شده و ۴۰۰ تا ۵۰۰ قسمت در میلیون آن به فوریت برای حیات آدمی خطرناک است. گاز دی اکسید گوگرد قابل اشتعال نیست [3].

### حذف دی اکسید گوگرد توسط میدان الکتریکی

روش حذف آلاینده دی اکسید گوگرد بر اساس میدان الکتریکی یکی از تکنولوژیهای پس از احتراق به شمار می رود. اساس کار این روش به این شرح است که در راکتوری که وظیفه حذف دی اکسید گوگرد را بر عهده دارد میدان الکتریکی اعمال می نمائیم. این عمل باعث می گردد که ملکولهای قطبی دی اکسید گوگرد در اثر میدان قوی الکتریکی اطراف خود که توسط الکترودها اعمال می گردد باردار گردد و از یک الکتروود دفع و به سوی الکتروود دیگر هدایت گردد. به طور شفافتر می توان چنین عنوان نمود:

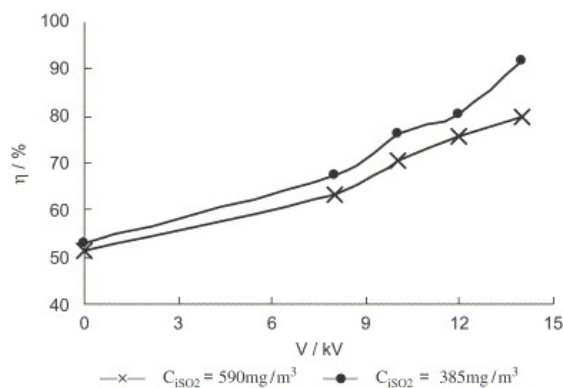
با توجه به شکل ۱ که یکی از آزمایشات صورت پذیرفته در این زمینه است جریان هوا همراه با دی اکسید گوگرد وارد راکتور می گردد در بالای راکتور الکتروود سوزنی بار منفی را به مولکول های دی اکسید گوگرد القا می نماید و مولکولها تبدیل به یون های منفی دی اکسید گوگرد می گردند در قسمت زیرین راکتور الکتروود مثبت قرار دارد که باعث می گردد یون های دی اکسید گوگرد به سمت مایع هدایتی هدایت گردند. مایع هدایتی می تواند آب و یا هیدروکسید سدیم باشد که نقش حذف دی اکسید گوگرد را بر عهده دارد. در اینجا عملیات حذف توسط میدان الکتریکی به اتمام رسیده و جریان گاز از انتهای راکتور خارج شده و وارد قسمت جذب می گردد و دی اکسید گوگرد باقیمانده حذف می گردد [4].



1. Air Pump 2. Gas flowmeter 3. SO<sub>2</sub> Gas Cylinder 4. High voltage power supplier  
 5. Reactor 6. Discharging electrodes 7. Auxiliary electrode  
 8. Grounding 9. Collection Tank 10. Gas absorbing bottles  
 11. Gas detecting points 12. Water pump

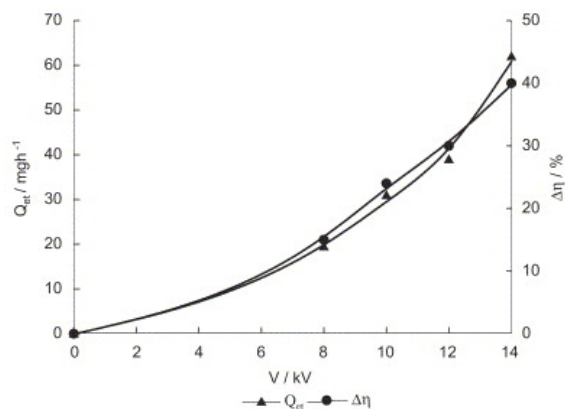
شکل ۱- نمایی کلی از دستگاه مورد بحث [4]

تاثیر ولتاژ اعمال شده بر راندمان حذف دی اکسید گوگرد در دو غلظت متفاوت در نمودار ۲ آورده شده است. همانطور که از نمودار پیداست افزایش ولتاژ سبب افزایش راندمان حذف دی اکسید گوگرد می گردد و همانطور که مشاهده می شود هرچه غلظت دی اکسید گوگرد ورودی کمتر باشد میزان راندمان حذف بیشتر می گردد.



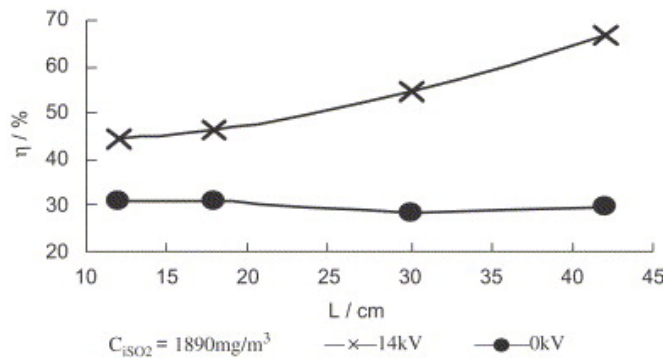
نمودار ۲- تاثیر ولتاژ اعمالی بر راندمان حذف دی اکسید گوگرد [4]

تاثیر ولتاژ اعمالی بر راندمان حذف و انتقال الکتریکی را در نمودار ۳ مشاهده می نمایید. همانطور که از شکل پیداست روند افزایش راندمان و افزایش انتقال الکتریکی بر حسب افزایش ولتاژ اعمالی همانند یکدیگر می باشد.



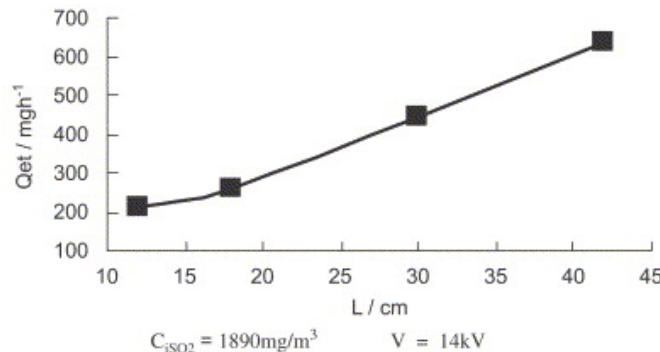
نمودار ۳- تاثیر ولتاژ اعمال شده بر انتقال الکتریکی دی اکسید گوگرد و افزایش راندمان حذف دی اکسید گوگرد [5]

تأثیر پارامتر طول الکتروود بر راندمان حذف دی اکسید گوگرد را در نمودار ۴ ملاحظه می فرمائید. در نمودار ۴ تأثیر طول الکتروود در حالتی که میدان الکتریکی اعمال می نمائیم با زمانی که میدان الکتریکی وجود ندارد مقایسه گردیده است. در حالتی که هیچ ولتاژی به سیستم اعمال نشده باشد با افزایش طول الکتروود راندمان حذف تقریباً ثابت باقی می ماند ولی در حالتی که ولتاژ ۱۴ کیلو ولت به سیستم اعمال شود راندمان حذف سیستم با افزایش طول الکتروود افزایش می یابد.



نمودار ۴- تأثیر طول الکتروود بر راندمان حذف دی اکسید گوگرد در حلت با و بدون میدان الکتریکی [4]

تأثیر طول الکتروود بر روی انتقال الکتریکی در نمودار ۵ نشان داده شده است. همانطور که می بینید با افزایش طول الکتروود میزان انتقال الکتریکی افزایش می یابد [4,5].



نمودار ۵ - تأثیر طول الکتروود بر روی انتقال الکتریکی [4]

### حذف همزمان دی اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن توسط میدان الکتریکی

فرآوری گازهای حاصل از احتراق به کمک میدان الکتریکی همانگونه که گفته شد یکی از پیشرفته ترین تکنولوژی ها در میان فرآیندهای جدید اشاره شده برای کنترل آلودگی هوا است. این فرآیند در ژاپن، آمریکا و لهستان گسترش یافته است و حذف همزمان دی اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) را با راندمان بالا ممکن می سازد و محصول جانبی تولید شده می تواند به عنوان کود شیمیایی مصرف شود. دو نمونه از این فرآیند در مقیاس صنعتی در چین و لهستان استفاده می شوند.

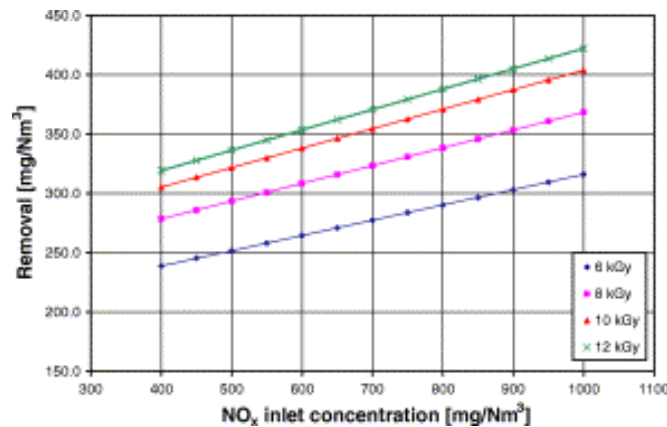
چندین روش برای خالص سازی گازهای حاصل از احتراق وجود دارد اما تا کنون هیچ یک از آنها به خصوص در مقیاس صنعتی قادر به حذف همزمان دی اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن نبوده اند. روشی تحت عنوان سیستم های ترکیبی برای حذف این مواد در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. اگرچه در این سیستم های ترکیبی میزان حذف این آلاینده ها بالاست اما هنوز مشکلاتی از قبیل تولید زائدات، هزینه دو برابر برای حذف هر دو آلاینده و فضای مورد نیاز زیاد در مورد این فرآیندها وجود دارد. در روش خالص سازی گازهای حاصل از احتراق به کمک میدان الکتریکی، احتیاج به استفاده از دو واحد وجود ندارد و همین مسئله باعث

کاهش فضای مورد نیاز و هزینه ساخت و ساز واحد خواهد شد. بزرگترین مزیت این روش عدم تولید مواد زائد است و تنها محصول جانبی ایجاد شده در آن نیز که به عنوان کود می توان از آن استفاده کرد مخلوط سولفات و نیترات آمونیوم است. چهار مرحله در فرآیند خالص سازی گازهای حاصل از احتراق به کمک میدان الکتریکی می توان در نظر گرفت:

- ۱- واحد بهینه سازی گاز
- ۲- واحد ذخیره و تزریق آمونیاک
- ۳- محفظه های واکنش
- ۴- واحد جمع آوری و ذخیره محصول جانبی

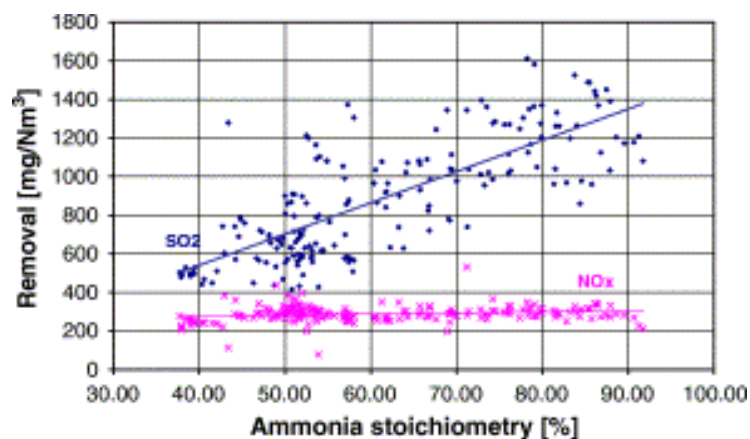
آزمایشات انجام شده در مقیاس صنعتی نشان می دهد که روش اضافه کردن آمونیاک به سیستم در راندمان حذف دی اکسید گوگرد بسیار مهم است. از دیگر موارد موثر در افزایش راندمان می توان به وجود رطوبت و پایین بودن دمای گاز ورودی اشاره نمود که هر دو مورد باعث افزایش راندمان حذف دی اکسید گوگرد می شوند.

میزان حذف اکسیدهای نیتروژن بر حسب اکسیدهای نیتروژن ورودی در دوزهای مختلف در نمودار ۶ آورده شده است. میزان حذف بر اساس مقدار ورودی اکسیدهای نیتروژن روندی خطی بخود می گیرد.



نمودار ۶- میزان حذف اکسید های نیتروژن بر حسب غلظت اولیه اکسیدهای نیتروژن [6]

برای افزایش راندمان سیستم آمونیاک به سیستم اضافه می گردد ، تاثیر افزایش آمونیاک را می توان در نمودار ۷ مشاهده نمود. از نکات بارز در این نمودار این است که درصد آمونیاک مصرفی بر روی راندمان حذف اکسیدهای نیتروژن تاثیر چندانی ندارد ولی در حذف دی اکسید گوگرد نقش تعیین کننده ای را ایفا می کند.



نمودار ۷- میزان حذف اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید گوگرد بر اساس استوکیومتری آمونیاک

## نتایج

## مراجع

- 1 - J. Hudson , (1982) Flue gas desulfurization. *Gray T.Rochelle*.
- 2 - L. Kohl , C. Riesenfeld ,(1979) Gas Purification. *3<sup>rd</sup> edition*.
- ۳- ثنائی غلام حسین، ۱۳۷۶ سم شناسی صنعتی. انتشارات دانشگاه تهران.
- 4 - Z. W. Wang et al. , (2007) Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) gas transfer process enhanced by corona discharge. *Journal of Electrostatics*, 65, 485-489.
- 5 - Z. W. Wang et al. , (2007) Sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) electrotransfer in electric field generated by corona discharge. *Fuel Processing Technology*, 88, 471-475
- 6 - A. G. Chmielewski et al. , (2004) Operational experience of the industrial plant for electron beam flue gas treatment. *Radiation Physics and Chemistry*, 71, 439-442.