

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی شیمی

حذف آلاینده دی اکسید گوگرد همراه با هوا توسط آمونیاک مایع و تبدیل به کود آمونیم سولفات

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

سید محمد حسین هاشمی

استاد راهنما
دکتر ارجمند مهربانی



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی پیشرفته آقای سید محمد حسین هاشمی
تحت عنوان

حذف آلاینده دی اکسید گوگرد همراه با هوا توسط آمونیاک مایع و
تبدیل به کود آمونیم سولفات

در تاریخ ۱۳۹۰/۶/۲۲ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت

دکتر ارجمند مهربانی	۱- استاد راهنمای پایان نامه
دکتر محمود مرآتیان	۲- استاد مشاور پایان نامه
دکتر محمدرضا احسانی	۳- استاد داور
دکتر طیبه بهزاد	۴- استاد داور
دکتر حمید زیلویی	سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

تشکر و قدردانی

سپاس بیکران خداوندی که موهبت تفکر را به انسان ارزانی داشت تا از برکت آن به پرورش و شکوفایی ذوق و اندیشه خویش بپردازد و از سایر موجودات عالم متمایز گردد. به رسم ادب و حق شناسی، کمال تشکر خود را نسبت به استاد گرانقدر جناب آقای دکتر ارجمند مهربانی ابراز می‌نمایم. همچنین بر خود لازم می‌دانم که از جناب آقای دکتر محمود مراتیان به خاطر مشاوره‌های گرانبهایشان و کلیه مسئولان شرکت پالایش نفت اصفهان، خصوصا آقایان مهندس اسماعیل ناظم، احسان اسدی و سرکار خانم مهندس افخمی تشکر و قدردانی نمایم. از خداوند متعال توفیق روز افزون این عزیزان را خواستارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوری های
ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
(رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

این پروژه با حمایت مالی و پشتیبانی شرکت پالایش نفت
اصفهان اجرا شده است.

تقدیم بہ پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	نه
فهرست اشکال	دوازده
فهرست جداول	چهارده
چکیده	۱

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- پژوهش این رساله	۳
۳-۱- واحد بازیافت گوگرد	۳
۴-۱- ویژگی ها، منابع تولید و موارد مصرف	۴
۱-۴-۱- آثار فیزیولوژیکی دی اکسید گوگرد	۵
۲-۴-۱- حد آستانه مجاز	۵

فصل دوم : پیشینه پژوهش

۱-۲- روش های حذف دی اکسید گوگرد	۸
۱-۱-۲- روش های پیش از احتراق	۹
۲-۱-۲- روش های در حال احتراق	۱۰
۳-۱-۲- روش های پس از احتراق	۱۱
۲-۲- انواع فرایندها و جاذب های مورد استفاده برای حذف دی اکسید گوگرد	۱۴
۱-۲-۲- فرایندهای آب دریا	۱۴
۲-۲-۲- فرایند ولمن لرد	۱۴
۳-۲-۲- فرایند اکسید منیزیم	۱۵
۴-۲-۲- فرایندهای اسید سولفوریک	۱۵
۵-۲-۲- فرایند های آمین	۱۶
۶-۲-۲- فرایندهای آهک - سنگ آهک	۱۷
۷-۲-۲- فرایندهای آمونیاکی	۲۰
۳-۲- معرفی آمونیوم سولفات	۲۳
۴-۲- معرفی کاربردهای آمونیوم سولفات	۲۵
۱-۴-۲- مصارف مربوط به کشاورزی	۲۵
۲-۴-۲- مصارف غیر کشاورزی	۲۷
۵-۲- معرفی آمونیوم سولفات	۲۸
۱-۵-۲- آمونیوم سولفات به عنوان محصول اصلی	۲۸
۲-۵-۲- آمونیوم سولفات به عنوان محصول جانبی یا محصول مشترک	۲۹

- ۶-۲- بازار آمونیوم سولفات ۳۳
- ۷-۲- اهداف و نوآوری این رساله ۳۴

فصل سوم: طراحی و ساخت سیستم آزمایشگاهی و طراحی آزمایشها

- ۱-۳- راکتور ۳۶
- ۱-۱-۳- طراحی راکتور ۳۶
- ۲-۳- مخازن حاوی هوا و گاز دی اکسید گوگرد و تهیه هوای آلوده ۳۸
- ۱-۲-۳- مخزن هوا ۳۹
- ۲-۲-۳- مخزن دی اکسید گوگرد ۳۹
- ۳-۳- واحد جذب نهائی ۳۹
- ۴-۳- مخزن نگهداری محلول آمونیاک و پمپ آن ۴۰
- ۵-۳- وسایل و روش کنترل و اندازه گیری پارامترها ۴۰
- ۱-۵-۳- اندازه گیری و کنترل دما ۴۰
- ۲-۵-۳- اندازه گیری دبی ۴۱
- ۳-۵-۳- تنظیم فشار گاز ۴۱
- ۴-۵-۳- اندازه گیری غلظت گاز دی اکسید گوگرد ۴۱
- ۵-۵-۳- تعیین ترکیبات موجود در محصول جامد ۴۱
- ۶-۳- نشت یابی و آب بندی سیستم ۴۲
- ۷-۳- شرح عملکرد سیستم آزمایشگاهی کاهنده - حذف دی اکسید گوگرد جریان گازی ۴۲
- ۸-۳- طراحی آزمایشات ۴۴
- ۱-۸-۳- مقدمه ۴۴
- ۲-۸-۳- روش سطح پاسخ ۴۴
- ۳-۸-۳- بهینه سازی شرایط عملیاتی برای حذف دی اکسید گوگرد ۴۷

فصل چهارم: نتایج

- ۱-۴- ارزیابی آماری راندمان حذف دی اکسید گوگرد ۵۱
- ۱-۱-۴- تاثیر غلظت دی اکسید گوگرد ورودی بر روی راندمان حذف دی اکسید گوگرد ۵۳
- ۲-۱-۴- اثر دبی بر راندمان حذف دی اکسید گوگرد ۵۳
- ۳-۱-۴- تاثیر دما بر راندمان حذف دی اکسید گوگرد ۵۴
- ۴-۱-۴- اثر غلظت محلول آمونیاک بر روی راندمان حذف دی اکسید گوگرد ۵۵
- ۲-۴- ارزیابی آماری درصد محصول آمونیوم سولفات ۵۷
- ۱-۲-۴- بررسی اثر غلظت دی اکسید ورودی بر درصد محصول آمونیوم سولفات ۵۹
- ۲-۲-۴- بررسی تاثیر دبی بر محصول آمونیوم سولفات ۶۰
- ۳-۲-۴- بررسی اثر دما بر درصد محصول آمونیوم سولفات ۶۰
- ۲-۲-۴- بررسی اثر غلظت محلول آمونیاک بر روی درصد محصول آمونیوم سولفات ۶۲

۶۴ ۳-۴- بهینه سازی سیستم

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۶۶ ۱-۵- نتیجه گیری

۶۷ ۲-۵- پیشنهادات

۶۹ پیوست الف

۷۱ پیوست ب

۸۳ مراجع

فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶	شکل ۱-۱- آلردگی دی اکسید گوگرد در آمریکا در سال ۱۹۹۷
۱۲	شکل ۱-۲- فرایند شستشوی گازهای دودکش در یک شوینده تر
۱۷	شکل ۲-۲- نمودار فرایند سولفیدین
۱۸	شکل ۳-۲- نمودار فرایند آسارکو
۱۸	شکل ۴-۲- نمودار فرایندی اکسیداسیون سنگ آهک در شوینده تر
۲۰	شکل ۵-۲- شمایی کامل از راکتور جوشان
۲۱	شکل ۶-۲- شمایی از راکتور مورد استفاده توسط هارتلی و همکاران
۲۱	شکل ۷-۲- شمایی از سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده توسط هیروتا و همکاران
۲۲	شکل ۸-۲- نمودار تغییرات راندمان حذف و دما، نتایج پژوهش هی و همکاران
۲۳	شکل ۹-۲- نمودار تغییرات راندمان حذف و غلظت آمونیاک و دی اکسید گوگرد ورودی، نتایج پژوهش اپیک و همکاران
۲۴	شکل ۱۰-۲- نمودار حلالیت آمونیوم سولفات نسبت به دما
۳۲	شکل ۱۱-۲- روش متداول تولید کاپرولاکتام
۳۳	شکل ۱۲-۲- بازار عرضه و تقاضای آمونیوم سولفات در سال های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۶
۳۸	شکل ۱-۳- نمایی از راکتور و مخزن جمع آوری محصول
۳۹	شکل ۲-۳- نمایی از مخزن دی اکسید گوگرد
۳۹	شکل ۳-۳- نمایی از مخزن هوا
۳۹	شکل ۴-۳- نمایی از مخزن تهیه هوای آلوده
۴۰	شکل ۵-۳- نمایی از ستون های واحد جذب نهایی
۴۲	شکل ۶-۳- آنالیز جهت اندازه گیری غلظت دی اکسید گوگرد
۴۳	شکل ۷-۳- نمایی از دستگاه آزمایشگاهی
۴۳	شکل ۸-۳- نمایی از سیستم در حال کار
۵۲	شکل ۱-۴- نتایج آزمایشگاهی و پیش بینی شده توسط مدل مربوط به راندمان حذف دی اکسید گوگرد
۵۳	شکل ۲-۴- نمودار خطوط تراز برای تغییرات راندمان حذف دی اکسید گوگرد با غلظت دی اکسید گوگرد ورودی و آمونیاک
۵۴	شکل ۳-۴- نمودار خطوط تراز برای تغییرات راندمان حذف دی اکسید گوگرد با غلظت دی اکسید گوگرد ورودی و دی هوای آلوده
۵۵	شکل ۴-۴- نمودار خطوط تراز برای تغییرات راندمان حذف دی اکسید گوگرد با غلظت دی اکسید گوگرد ورودی و دما
۵۶	شکل ۵-۴- نمودار خطوط تراز برای تغییرات راندمان حذف دی اکسید گوگرد با غلظت آمونیاک و دما
۵۶	شکل ۶-۴- نمودار خطوط تراز برای تغییرات راندمان حذف دی اکسید گوگرد با دی هوای آلوده و دما
۵۷	شکل ۷-۴- نمودار خطوط تراز برای تغییرات راندمان حذف دی اکسید گوگرد با غلظت آمونیاک و دی هوای آلوده
۵۸	شکل ۸-۴- نمونه ای از نتایج آزمون پراش اشعه ایکس
۵۹	شکل ۹-۴- نتایج آزمایشگاهی و پیش بینی شده توسط مدل مربوط به درصد محصول آمونیوم سولفات

- شکل ۴-۱۰- نمودار خطوط تراز برای تغییرات درصد محصول آمونیوم سولفات با غلظت دی اکسید گوگرد ورودی و دبی هوای آلوده..... ۶۰
- شکل ۴-۱۱- نمودار خطوط تراز برای تغییرات درصد محصول آمونیوم سولفات با دما و دبی هوای آلوده..... ۶۱
- شکل ۴-۱۲- نمودار خطوط تراز برای تغییرات درصد محصول آمونیوم سولفات با غلظت دی اکسید گوگرد ورودی و دما. ۶۲
- شکل ۴-۱۳- نمودار خطوط تراز برای تغییرات درصد محصول آمونیوم سولفات با غلظت آمونیاک و دبی هوای آلوده..... ۶۳
- شکل ۴-۱۴- نمودار خطوط تراز برای تغییرات درصد محصول آمونیوم سولفات با غلظت دی اکسید گوگرد ورودی و غلظت آمونیاک..... ۶۳
- شکل ۴-۱۵- نمودار خطوط تراز برای تغییرات درصد محصول آمونیوم سولفات با دما و غلظت آمونیاک..... ۶۴
- شکل ۴-۱۶- میزان درجه مطلوبیت هر کدام از پاسخ ها و درجه مطلوبیت کل..... ۶۵

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۵	جدول ۱-۱- استانداردهای جهانی برای تماس با دی اکسید گوگرد
۶	جدول ۱-۲- استاندارد های خروجی از کارخانجات و کارگاههای صنعتی
۲۰	جدول ۱-۲- محدوده و متغیرهای عملیاتی در پژوهش کلاس و جانسن
۲۵	جدول ۲-۲- خواص فیزیکی و شیمیایی آمونیوم سولفات
۲۵	جدول ۲-۳- مشخصات کلاس تجاری آمونیوم سولفات
۲۶	جدول ۲-۴- مصرف آمونیوم سولفات به عنوان کود شیمیایی و بارور کننده خاک در ایالات متحده
۲۷	جدول ۲-۵- خصوصیات کلاس های مختلف آمونیوم سولفات تولیدی در ایالات متحده
۴۷	جدول ۳-۱- محدوده و سطح متغیرهای عملیاتی
۴۸	جدول ۳-۲- مقادیر متغیرها در هر آزمایش
۵۰	جدول ۴-۱- نتایج حاصل از آزمایش ها
۵۱	جدول ۴-۲- ارزیابی واریانس راندمان حذف دی اکسید گوگرد
۵۸	جدول ۴-۳- ارزیابی واریانس درصد آمونیوم سولفات تولیدی
۶۴	جدول ۴-۴- شرایط مرزی متغیرهای ورودی و پاسخ های موجود جهت بهینه سازی
۶۵	جدول ۴-۵- ده مورد از شرایط بهینه بدست آمده جهت بهینه سازی همزمان دو پاسخ

چکیده

حفاظت از محیط زیست و کاهش اثرات منفی مواد آلوده کننده بر موجودات زنده، یکی از مهمترین موضوعات در عصر حاضر است. احتراق ناشی از سوخت های فسیلی، منبع اصلی آلاینده های هوا، مانند دی اکسید گوگرد است. دی اکسید گوگرد در شهرهای بزرگ و ناحیه های، صدمات متعددی را برای موجودات زنده و محیط زیست از جمله باران های اسیدی و مشکلات تنفسی بوجود می آورد. یکی از روش های حذف دی اکسید گوگرد با توجه به محصولات تولیدی که تا حدودی مورد اقبال صنایع قرار گرفته است، استفاده از آمونیاک می باشد. این فرایند محصولات جانبی متنوعی داشته که یکی از با ارزش ترین آنها، آمونیوم سولفات است. در انجام این پایان نامه، یک سیستم آزمایشگاهی برای حذف دی اکسید گوگرد با استفاده از آمونیاک طراحی و ساخته شد و در طی آن تاثیر مشخصه هایی مانند غلظت دی اکسید گوگرد در گاز ورودی (در محدوده ۶۰۰-۴۶۰۰ ppm)، شدت جریان گاز ورودی (در محدوده ۰/۵-۲/۵ لیتر بر دقیقه)، غلظت جاذب دی اکسید گوگرد (در محدوده ۰-۰/۴ نرمال) و دما (در محدوده ۱۲-۳۳ درجه سانتی گراد) بر راندمان حذف دی اکسید گوگرد و خلوص آمونیوم سولفات به عنوان دو تابع هدف، در پالایشگاه اصفهان، مورد بررسی قرار گرفتند. در مشخص کردن تعداد آزمایش ها و مقادیر هر کدام از متغیرها در هر آزمایش و ارزیابی نتایج از روش آماری سطح پاسخ بهره گرفته شد. اندازه گیری غلظت دی اکسید گوگرد در فاز گاز توسط آنالایزر TESTO صورت پذیرفت. درصد خلوص آمونیوم سولفات در هر آزمایش بر اساس تحلیل نتایج آزمون پراش اشعه ایکس (XRD) بدست آمد. بر این اساس، آمونیوم سولفات محصول عمده تولیدی بوده و ترکیبات آمونیوم سولفیت و آمونیوم پری سولفیت نیز به عنوان دو محصول جانبی تولید شدند. مدل های ارائه شده برای هر دو تابع هدف، با متغیرهای تاثیر گذار به صورت مدل مرتبه دوم حاصل شد. نتایج نشان می دهد، حداقل راندمان حذف دی اکسید گوگرد ۹۳/۸۷ درصد و حداکثر ۱۰۰ درصد است. مدل برازش شده بر اساس ضریب همبستگی $R^2 = 0/9011$ ، از صحت قابل قبولی برخوردار است. همچنین حداکثر محصول آمونیوم سولفات تولیدی در این پژوهش در شرایط غلظت دی اکسید گوگرد ورودی ۲۶۰۰ ppm، دمای ۲۴ درجه سانتی گراد، دبی هوای آلوده ۱/۵ لیتر بر دقیقه و غلظت آمونیاک ۰/۲ نرمال، برابر ۶۵/۱ درصد و حداقل برابر صفر (در شرایط استفاده از آب خالص به عنوان جاذب) بدست آمد. تاثیر گذارترین عامل بر راندمان حذف دی اکسید گوگرد، غلظت آمونیاک مشاهده شد ($\text{Prob} > F = 0/013$). افزایش غلظت آمونیاک سبب افزایش راندمان حذف دی اکسید گوگرد و کاهش خلوص محصول آمونیوم سولفات می شود. بر خلاف پژوهش های پیشین، به دلیل کوچک بودن بازه تغییرات دما، اثر دما بر روی راندمان حذف شاخص نبود. افزایش دما، همانند اثر غلظت دی اکسید گوگرد ورودی، سبب کاهش خلوص محصول مورد نظر گردید. در غلظت های بالا و پایین محدوده تغییرات غلظت دی اکسید گوگرد ورودی، راندمان حذف دی اکسید گوگرد بیشینه شد. همچنین دبی اثر مستقلى بر دو تابع هدف نداشت ولى تشدید کننده عوامل دیگر بود.

کلمات کلیدی: گاز دودکش، دی اکسید گوگرد، شستشوی آمونیاکی، آمونیوم سولفات، کود شیمیایی، روش آماری سطح پاسخ

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

ترکیبات گوگرد در مقادیر زیاد از طریق فعالیتهای انسانی وارد اتمسفر جهانی می‌شوند. بشر سالیانه حدود ۱۰۰ میلیون تن گوگرد وارد اتمسفر می‌کند. منابع سوخت‌های جامد، مایع و گازی دارای گوگرد هستند. در حدود ۹۵ درصد از گوگرد موجود در سوخت‌ها در اثر سوختن به دی‌اکسید گوگرد تبدیل می‌شود. میزان تبدیل بستگی به نوع و میزان ترکیبات موجود در سوخت و شرایط احتراق منجمله دما و مقدار گاز اکسیژن موجود در محیط احتراق دارد. این آلاینده علاوه بر فرایند احتراق، در فرایندهای مختلف صنعتی نیز تولید می‌شود. وجود دی‌اکسید گوگرد در هوا اثرات نامطلوبی بر سلامتی انسان دارد. نخستین اثر آن بر سیستم تنفسی است و باعث ایجاد سوزش، افزایش سختی مسیره‌های هوایی و عدم جریان هوا می‌شود و ترشح خلط نیز بواسطه آن تحریک می‌گردد. دی‌اکسید گوگرد برای گیاهان نیز مضر است. تماس طولانی مدت با مقادیر بالای این گاز، بافت برگ را از بین می‌برد و لبه‌های برگ‌ها و سطوح بین‌رگ‌های برگ آسیب دیده و باعث سفید یا زرد شدن قسمتهای سبز برگ می‌شود. دی‌اکسید گوگرد در تماس طولانی مدت حتی در غلظت کم می‌تواند میزان تولید گندم و جو را کاهش دهد. یکی از پرهزینه‌ترین اثرات آلودگی دی‌اکسید گوگرد، زوال مصالح ساختمانی است. سنگ آهک، سنگ مرمر و دولومیت توسط دی‌اکسید گوگرد موجود در اتمسفر مورد حمله قرار می‌گیرند و محصولاتی تولید می‌کنند که یا محلول در آب هستند

و یا پوسته‌های جامد با چسبندگی ناکافی را بر روی سطوح مصالح ایجاد می‌کنند و اثر منفی بر ظاهر و عمر ساختمان می‌گذارند[۱].

مخاطرات فراوان ناشی از حضور آلاینده دی اکسید گوگرد در محیط زیست از جمله نقش آن در ایجاد باران‌های اسیدی سبب شده است تا در سالهای اخیر فرایندهای مختلف و متعددی برای حذف گوگرد، به سه صورت پیش از احتراق، در حین احتراق، و پس از احتراق، توسعه یابد[۱].

اکثر روشهای حذف دی اکسید گوگرد تا پیش از سال ۱۹۹۰ بر روی فرایندهای حذف بعد از احتراق سوخت متمرکز شده بود. در اثر فشارهای زیاد ناشی از وضع اصلاحیه قانون هوای پاک در سال ۱۹۹۰ برای کاهش انتشار مواد ایجاد کننده بارانهای اسیدی (مثل دی اکسید گوگرد) باعث شده تا صنایع و کارخانجات به راهکارهای دیگری به جز حذف دی اکسید گوگرد از گاز دودکش پس از تولید، بپردازند. در این روش‌ها سعی بر حذف و یا کاهش تولید و انتشار دی اکسید گوگرد می‌شود[۱ و ۲].

فرایندهای سنتی حذف دی اکسید گوگرد یک پدیده انتقال جرم ساده به همراه واکنش شیمیایی است که در طی شرایط ایجاد شده ترکیب دی اکسید گوگرد جذب یک محیط می‌شود و در اثر واکنش شیمیایی با ماده موثر در این محیط از جریان آلوده به این ماده حذف گردد. سدیم هیدروکسید، آب و آمونیاک از جمله موادی هستند که قابلیت جذب و واکنش با دی اکسید گوگرد را دارند. در طی فرایند حذف/کاهش، ترکیب دی اکسید گوگرد باید از فاز گاز به فصل مشترک انتقال یافته و وارد فاز مایع گردد و پس از واکنش با آن به ترکیب دیگری تبدیل شود. لذا این فرایند یک فرایند انتقال جرم کامل می‌باشد[۳].

محصولات فرایند حذف نباید خود آلاینده‌های جدیدی باشند و حتی می‌توان در این زمینه از فرایند، مواد مشخصی را به عنوان محصول تولید نمود. انواع فرایندهای گوگردزدایی در طی زمان ابداع گردیده‌اند که در فصل بعد مورد اشاره قرار خواهند گرفت.

۱-۲- پژوهش این رساله

اطلاعات بدست آمده از پژوهش‌های صورت پذیرفته قبلی، زمینه ساز ساخت یک سیستم آزمایشگاهی بهینه سازی شده گردید که دارای کارایی بالاتری نسبت به پژوهش‌های پیشین دارد. هدف از انجام این پژوهش، کاهش غلظت خروجی از زباله سوز واحد بازیافت گوگرد شرکت پالایش نفت اصفهان است. در ادامه به اختصار فرایندهای این واحد صنعتی که در ارتباط با تولید و حذف این آلاینده صنعتی است، معرفی می‌شوند.

۱-۳- واحد بازیافت گوگرد^۱

هدف از نصب واحد بازیافت گوگرد در پالایشگاه، تبدیل دی هیدروژن سولفید^۲ جدا شده توسط دو واحد تصفیه گاز با محلول آمین^۳ و تصفیه آب ترش^۴ به عنصر گوگرد می‌باشد.

آمونیاک حاصل از واحد تصفیه آب ترش نیز همزمان اکسیده شده و به ازت و آب تبدیل می‌گردد. سپس عملیات در یک کوره افقی مجهز به حرارت اتلافی دیگ بخار^۵ و دو تبدیل کننده^۱ اولیه و ثانویه انجام می‌پذیرد. گوگرد مایع

^۱ Sulfur recovery plant

^۲ H₂S

^۳ Amine Treating Plant

^۴ Sour Water Stripper

^۵ Waste Heat Boiler

بدست آمده به یک دستگاه جامد کننده مخصوص ارسال می‌گردد و گازهای ناشی از دی هیدروژن سولفید به کوره بلند^۲ فرستاده می‌شود که پس از اکسیداسیون کامل به هوا فرستاده می‌شود. از حرارت‌های تلف شده نیز در عملیات پالایش برای تهیه بخار آب در فشارهای ۴ و ۱۰ بار استفاده می‌شود.

گاز آب ترش از واحدهای تصفیه آب ترش وارد کوره گوگرد می‌شود. هوای لازم نیز که توسط دمنده هوا فشرده شده و به قسمت اول کوره تزریق می‌گردد، عمل اکسیداسیون را انجام می‌دهد.

گاز خروجی با دمای ۱۳۱۶ درجه سانتی گراد در بویلر حرارت اتلافی ضمن تولید بخار آب ۱۰ بار، سرد شده و به دمای ۲۶۱ درجه سانتی گراد می‌رسد. گاز سرد شده به طرف اولین تبدیل کننده گوگرد جریان یافته تا واکنش‌های بعدی تهیه گوگرد از دی هیدروژن سولفید و دی اکسید گوگرد صورت پذیرد. این واکنش‌ها که شدیداً گرمازا می‌باشند، سبب می‌گردد که دما به سرعت بالا رفته و به دمای ۳۱۲ درجه سانتی گراد برسد. سپس گازهای گرم به طرف اولین چکالنده رفته و تا دمای ۲۰۴ درجه سانتی گراد خنک می‌شود. مشابه همین اتفاقات در تبدیل کننده دوم برای مابقی گازها اتفاق می‌افتد و قسمت عمده گوگرد به صورت مذاب جداسازی می‌شود. باقیمانده گوگرد قبل از ورود به کوره بلند در ظرفی^۳ از گاز جدا شده و با بقیه گوگردهای مذاب در محلی جمع آوری می‌شود. گازهای دی هیدروژن سولفید و بقیه گازهای قابل سوختن وارد اتاق احتراق و کوره بلند می‌شود و می‌سوزد و سپس توسط دودکش بلندی به اتمسفر فرستاده می‌شوند[۴].

۱-۴- ویژگی‌ها، منابع تولید و موارد مصرف

دی اکسید گوگرد از لحاظ فیزیکی گازی است بیرنگ و محرک که دارای بو و مزه خاصی است. وزن مولکولی آن ۶۴/۰۷ و دارای وزن مخصوص ۱/۴۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب در صفر درجه سانتیگراد می‌باشد. نقطه ذوب این گاز ۲۷/۷- درجه سانتیگراد است و در ۱۰- درجه سانتیگراد به جوش می‌آید[۵]. حلالیت آن در آب ۰/۶ گرم در صد گرم در ۹۰ درجه سانتی گراد می‌باشد که با کاهش دما این مقدار افزایش می‌یابد. به عنوان مثال این گاز در ۵۲ درجه سانتیگراد به میزان ۸/۵ گرم در ۱۰۰ گرم آب و در دمای صفر درجه سانتیگراد به میزان ۲۲/۸ گرم در ۱۰۰ گرم آب محلول است. در الکل متیلیک و اتیلیک بیشتر حل می‌شود و حلالیت آن در سدیم هیدروکسید بیشتر از موارد فوق می‌باشد[۵].

دی اکسید گوگرد از مهمترین گازهای محرک است که به مقدار قابل توجهی به عنوان یک محصول اصلی و یا جانبی در گداختن سنگهای معدنی گوگرددار، تولید کاغذ، احتراق سوخت‌های فسیلی مایع و جامد به مانند مواد نفتی و زغال سنگ تولید می‌شود.

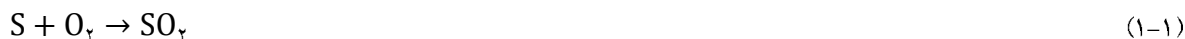
دی اکسید گوگرد یکی از مهمترین گازهای آلوده کننده هوا در شهرهای بزرگ و اطراف محل‌های تصفیه سنگهای معدن وجود دارد. در بعضی از صنایع نفتی به علت احتراق گازهای گوگردی، محصول دی اکسید گوگرد از دودکش پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها و کارگاه‌ها به خارج رانده شده و یا در برج‌های سوزا تولید می‌شود. این گاز پس از خروج از دودکش‌ها تا حدودی صعود نموده و سپس در اثر جریانات هوا، باد، وارونگی هوا و غیره پراکنده می‌شود. وجود رطوبت و مه در هوا می‌تواند آن را تبدیل به اسید سولفورو نماید و سپس به آهستگی اکسید و به اسید

^۱ Converter

^۲ Incinerator

^۳ Knock Out Drum (K.O. Drum)

سولفوریک تبدیل کند [۱]. واکنش‌های شیمیایی مربوطه را می‌توان به صورت رابطه‌های (۱-۱) تا (۳-۱) خلاصه نمود:



دی اکسید گوگرد یک ماده واسطه در تولید اسید سولفوریک است. این ترکیب در تولید سدیم سولفیت و برخی از ترکیبات گوگرد دار مصرف می‌شود. مقدار زیادی از این گاز را در سردخانه‌ها، در سفید کردن مواد، و به عنوان ماده ندهی و محافظ به کار می‌رود. در صنعت تولید منیزیم این ترکیب به عنوان ضد اکسند مصرف می‌شود [۵].

۱-۴-۱- آثار فیزیولوژیکی دی اکسید گوگرد

دی اکسید گوگرد گازی محرک است که وجود مقداری از آن با غلظت ۶ تا ۱۲ ppm باعث تحریکات فوری بینی و گلو می‌شود. وجود غلظت ۰/۳ تا ۱ ppm از آن توسط یک شخص متوسط معمولی قابل حس است که بیشتر از طریق طعم است تا بو و غلظت ۳ ppm از آن در یک محیط دارای بوی قابل ملاحظه است. چشم‌ها در حداقل غلظت ۲۰ ppm تحریک می‌شود و یک درصد از این گاز، محرکی برای قسمت‌های مرطوب پوست در عرض چند دقیقه است.

گاز دی اکسید گوگرد به سهولت در آب حل می‌شود و استنشاق آن به طور عمده قسمت فوقانی دستگاه تنفسی را متاثر ساخته، ممکن است باعث تورم ریه‌ها و حتی فلج تنفسی شود. تماس داشتن با این گاز در حدود ۳۰ ppm که گاه و بیگاه حداکثر به ۱۰۰ ppm می‌رسیده است، برای مدتی (حدود ۲ سال)، در انسان ایجاد عوارض همراه با تغییر حس بویایی، چشائی و همچنین اسیدی شدن شدید ادرار و افزایش احساس خستگی بوده است. علاوه بر حیوانات، این گاز برای نباتات نیز سمی است، غلظت کمتر از نیم قسمت در میلیون آن، می‌تواند منجر به ایجاد اثرات زیان آور روی جوانه‌ها و برگ‌های نباتات شود.

۱-۴-۲- حد آستانه مجاز

حد مجاز قابل قبول برای تماس‌های طولانی با گاز دی اکسید گوگرد در سال ۱۹۹۱، ۲ ppm معادل ۵/۲ میلی گرم در مترمکعب هوا اعلام گردید و در این مقدار اثرات محرک آن به اندازه کافی قوی نیست که نقش خبرکنندگی داشته باشد. ۵ ppm آن به عنوان حد مجاز برای ۵۱ دقیقه تا یک ساعت تماس تعیین شده، و ۴۰۰ تا ۵۰۰ ppm آن به فوریت برای حیات آدمی خطرناک است. گاز دی اکسید گوگرد قابل اشتعال نیست. استانداردهای جهانی برای تماس با دی اکسید گوگرد در جدول ۱-۱ آورده شده است.

جدول ۱-۱- استانداردهای جهانی برای تماس با دی اکسید گوگرد [۶]

غلظت مجاز محیط‌های صنعتی ^۱	غلظت مجاز محیط زندگی انسان ^۲
میانگین سالانه: ۰/۰۳ ppm	میانگین ۸ ساعته: ۲ ppm
میانگین روزانه: ۰/۱۴ ppm	پیک ۱۵ دقیقه ای: ۵ ppm

^۱ National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)

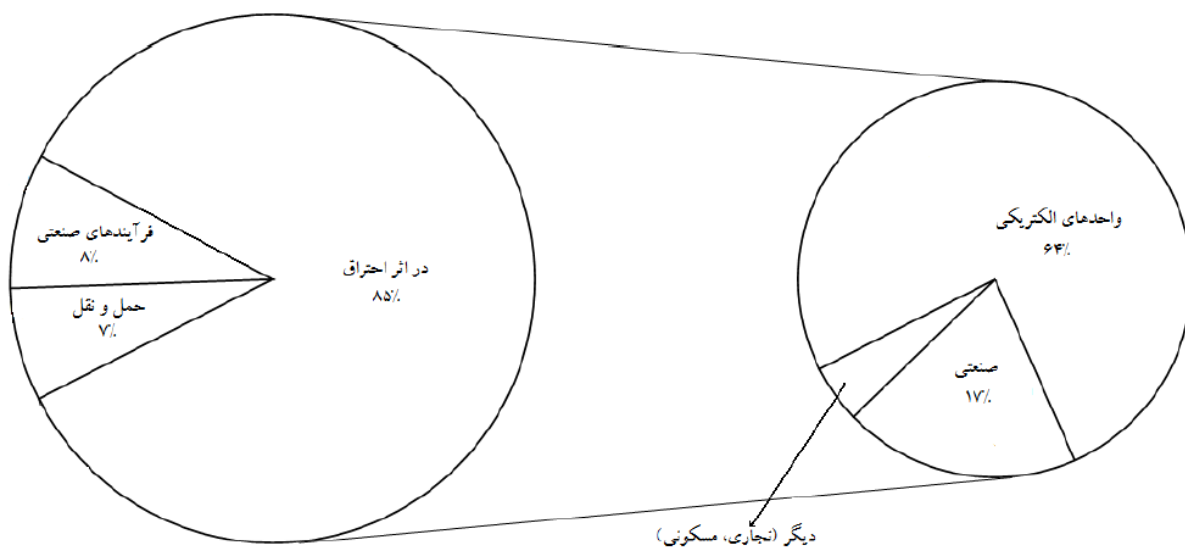
^۲ Time Weighted Average (TWA)

براساس جدول ۱-۲، حد مجاز انتشار دی اکسید گوگرد برابر ۸۰۰ ppm است ولی در حال حاضر غلظت این گاز سمی در خروجی بسیاری از صنایع فرایندی موجود در کشورمان چندین برابر حد مجاز استاندارد می‌باشد.

جدول ۱-۲- استاندارد های خروجی از کارخانجات و کارگاههای صنعتی^۱ [۷]

غلظت (ppm)	نوع آلاینده
۸۰۰	دی اکسید گوگرد
۷/۲	گوگرد دی هیدروژن
۳۰۴	منوکسید کربن
۶/۴	فلور

میزان تولید گاز دی اکسید گوگرد از فعالیت‌های انسانی صورت پذیرفته در کشور آمریکا در سال ۲۰۰۵ در شکل ۱-۱ آورده شده است. با توجه به این شکل ۸ درصد تولید گاز دی اکسید گوگرد مربوط به فرایندهای صنعتی، ۷ درصد مربوط به حمل و نقل و ۸۵ درصد مابقی مربوط به احتراق است. میزان دی اکسید گوگردی که در اثر احتراق بوجود می‌آید ۶۴ درصد آن مربوط به واحدهای الکتریکی، ۷۱ درصد مربوط به احتراق در واحدهای صنعتی می‌باشد و مابقی مربوط به مصارف تجاری و خانگی می‌گردد.



شکل ۱-۱- آلودگی دی اکسید گوگرد در آمریکا در سال ۲۰۰۵ [۸].

هدف از انجام این پایان‌نامه، حذف آلاینده دی اکسید گوگرد همراه با هوا توسط آمونیاک مایع و تبدیل به کود آمونیوم سولفات است. در فصل دوم این پایان‌نامه به بحث در ارتباط با فرایندهای حذف دی اکسید گوگرد، به ویژه روش مورد استفاده در این پژوهش، پرداخته می‌شود. در ادامه فصل دوم، آمونیوم سولفات که محصول مورد نظر است معرفی خواهد شد. در فصل سوم شرح دستگاه آزمایشگاهی ساخته شده و قسمت‌های مختلف آن آورده شده

^۱ موضوع ماده ۱۵ قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا مصوب ۱۳۷۴/۲/۳ مجلس شورای اسلامی ایران