



## تأثیر استفاده از ترکیب آب‌اسیدی بر کارایی حذف آمونیاک هوا در یک برج پاشنده

محمدباقر عبدالهی<sup>۱</sup>، محمدجواد جعفری<sup>۲</sup>، داود پناهی<sup>۲</sup>، علیرضا رحمتی<sup>۳\*</sup>

## چکیده

مقدمه: یکی از فاکتورهای بزرگی که در سلامت و بهره‌وری شاغلین در صنایع تأثیر می‌گذارد، کیفیت هوای محیط‌های کاری می‌باشد. تصفیه آلاینده‌های خروجی از صنایع ضروری است. یکی از این آلاینده‌ها، گاز آمونیاک است که پالایش این گاز از نقطه‌نظر اقتصادی و محیط‌زیست بسیار حائز اهمیت است. لذا این مطالعه باهدف بررسی تأثیر استفاده از ترکیب آب‌اسیدی بر کارایی حذف آمونیاک هوا در یک برج پاشنده انجام پذیرفت.

روش بررسی: در این تحقیق جریان هوا توسط هواکش دور متغیر و فشار آب از طریق الکتروپمپ طبقاتی تأمین شد. میزان حذف آمونیاک از جریان هوا توسط یک برج اسپری با تغییر فشار آب، تراکم گاز ورودی و تعداد نازل‌ها موردبررسی قرار گرفت. به همین منظور در تراکم ورودی متفاوت، فشار مایع متفاوت و نازل متفاوت با مایع شستشو دهنده آب به همراه اسیدسولفوریک ۰/۰۱ مولار به‌عنوان مایع شستشو دهنده انجام شد.

یافته‌ها: افزایش تعداد نازل‌ها از یک‌به‌سه تأثیر معنی‌داری در حذف آمونیاک دارد ( $P=0/021$ ). همچنین افزایش تراکم گاز آمونیاک ورودی از ۲۴/۱ به ۶۸ قسمت در میلیون سبب کاهش معنی‌دار کارایی حذف می‌گردد ( $P=0/058$ ). افزایش فشار مایع پاشنده از ۹ بار به ۱۲ بار نیز افزایش معنی‌داری در حذف گاز آمونیاک از خروجی برج اسپری دارد ( $P\text{-Value}=0/025$ ). نتیجه‌گیری: افزایش تعداد نازل، افزایش فشار مایع پاشنده و کاهش تراکم گاز ورودی گاز آمونیاک سبب افزایش کارایی حذف می‌گردد.

کلید واژه‌ها: برج پاشنده، تعداد نازل، کارایی حذف، فشار مایع شستشو دهنده.

## مقاله پژوهشی



تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۱۸

## ارجاع:

عبدالهی محمدباقر، جعفری محمدجواد، پناهی داود، رحمتی علیرضا. تأثیر استفاده از ترکیب آب‌اسیدی بر کارایی حذف آمونیاک هوا در یک برج پاشنده. بهداشت کار و ارتقاء سلامت ۱۳۹۹؛ ۴(۱): ۳۷-۲۷.

<sup>۱</sup> گروه بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده علوم پزشکی شوشتر، شوشتر، ایران

<sup>۲</sup> گروه بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

\*نویسنده مسئول: (alrahmati@aol.com)

## مقدمه

یکی از فاکتورهای بزرگی که در سلامت و بهره‌وری شاغلین در صنایع تأثیر می‌گذارد، کیفیت هوای محیط‌های کاری می‌باشد. کیفیت هوای محیط کار از طریق اندازه‌گیری و ارزیابی آلودگی‌های هوا برد سنجیده می‌شود. تصفیه آلاینده‌های خروجی از صنایع ضروری است. یکی از این آلاینده‌ها، گاز آمونیاک است که پالایش این گاز از نقطه نظر اقتصادی و محیط‌زیست بسیار حائز اهمیت است. آمونیاک (Ammonia) با فرمول شیمیایی (NH<sub>3</sub>)، هم به صورت مصنوعی و هم به صورت طبیعی تولید می‌شود (۱). آمونیاک کاربرد وسیعی در صنایع شیمیایی دارد. به‌گونه‌ای که تولید آن در آمریکا در سال ۱۹۹۰ به ۲۵ میلیون تن رسیده است (۲). آمونیاک در صنایع بزرگ و مهمی اعم از صنایع فلزی، صنایع داروسازی، صنایع دباغی و چرم‌سازی، صنایع لاستیک و پلاستیک، در تولید شوینده‌ها و پاک‌کننده‌ها، در صنایع تولید مواد شیمیایی، به‌عنوان ماده اولیه برای تهیه اسید نیتریک و به‌عنوان خنک‌کننده در سیستم‌های تبرید کاربرد دارد (۳).

جهت پیشگیری از ملاحظات بهداشتی این آلاینده، حذف این ماده از هوای محیط کار و مطابقت کیفیت هوای خروجی با استانداردهای زیست‌محیطی الزامی است و باید به روش مناسبی پالایش شود (۴). شستشو دهنده‌های تر جز وسایل کنترل‌کننده آلودگی هوا طبقه‌بندی می‌شوند که جهت پالایش و جداسازی گازها از جریان هوای خروجی به‌کاربرده می‌شوند (۵-۸). شستشو دهنده‌های تر وسایلی هستند که آب را به‌صورت ذرات بسیار ریز به داخل جریان گاز تزریق می‌کنند. گاز را می‌توان از داخل صفحات یا لایه‌های مایع عبور داد و یا اینکه گاز را از داخل بستر پلاستیکی کروی شکل پوشیده از آب عبور داد (۹). برج اسپری نوع دیگری از شستشو دهنده‌های تر می‌باشد که جهت پالایش آمونیاک به کار می‌رود (۷). برج اسپری دارای مزیت‌هایی از جمله قابلیت جداسازی هم‌زمان ذرات و گازها از جریان هوا، افت فشار

پایین، طراحی ساده، هزینه تجهیزات و نگهداری پایین می‌باشند (۱۰). در برج اسپری حداقل یک ناحیه برای اسپری کردن آب وجود دارد ولی در عمل برای افزایش کارایی جمع‌آوری از چندین محل برای اسپری کردن آب استفاده می‌شود سرعت نسبی بالای بین مایع و گاز باعث افزایش سطح تماس مایع و گاز و در نتیجه افزایش کارایی (Efficiency) حذف آلاینده می‌شود (۶). به‌طور ایده‌آل مایع شستشو دهنده باید دارای حلالیت بالا و نرخ جذب بالایی برای گاز مورد نظر داشته باشد. همچنین از نظر اقتصادی مایع جاذبی مناسب است که با کمترین مقدار بیشترین جذب را داشته باشد. مواد شیمیایی که به مایع شستشو دهنده اضافه می‌شود می‌تواند کارایی حذف را بالا ببرد و کارایی سیستم را به کارایی مورد نظر نزدیک کند. مایعی که به‌عنوان مایع شستشو دهنده انتخاب می‌شود باید دارای گرانش پایینی داشته باشد که طغیان و افت فشار سیستم را در حداقل ممکن نگه دارد. بعلاوه مایع شستشو دهنده نباید سمی و آتش‌گیر باشد. آب معمول‌ترین مایع شستشو دهنده برای مواد غیر آلی نظیر فسفر، سولفور و اکسیدهای نیتروژن است (۱۱)

با توجه به مطالب ذکر شده در مورد سمیت گاز آمونیاک و لزوم حذف این ماده از هوای محیط کار و محدودیت‌های برج-های آکنده و قابلیت برج اسپری در حذف این ماده از هوای محیط کاری و همچنین با توجه به در دسترس بودن منابع علمی و حمایت‌های دانشگاهی، هدف این مطالعه بررسی تغییرات کارایی برج اسپری در حذف گاز آمونیاک با توجه به تغییرات فیزیکی نازل‌ها می‌باشد.

## مواد و روش

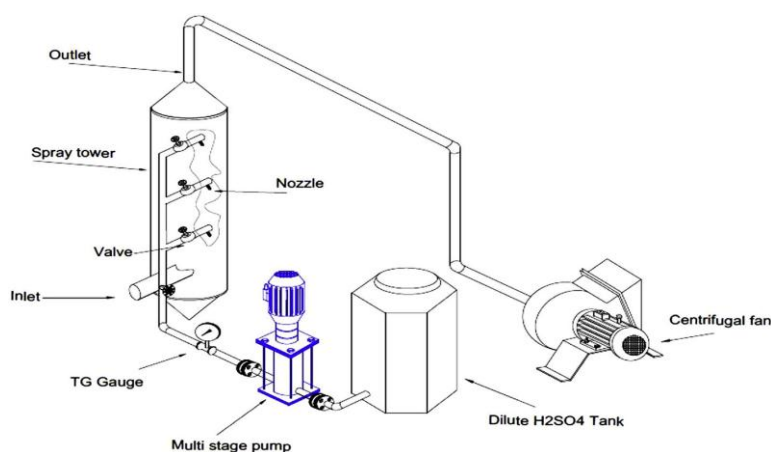
مطالعه حاضر از نوع آزمایشگاهی بوده و برای مقایسه تأثیر استفاده از آب و ترکیب آب-اسیدسولفوریک در یک برج اسپری برای حذف گاز آمونیاک انجام گردید. مشخصات کلی برج اسپری مورد استفاده در این پژوهش در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات برج اسپری

| مقدار   | متغیر                              |
|---------|------------------------------------|
| ۳۷۳۷/۸۲ | گذر حجمی جریان هوا (لیتر بر دقیقه) |
| ۵       | گذر حجمی مایع (لیتر بر دقیقه)      |
| ۷۴۷/۵۶  | نسبت گاز به مایع                   |
| ۱/۲۷    | سرعت جریان هوا (متر بر ثانیه)      |
| ۰/۲۵    | قطر (متر)                          |
| ۰/۰۴۹   | سطح مقطع (مترمربع)                 |
| ۱/۳۸    | ارتفاع برج (متر)                   |
| ۱/۰۹۵   | زمان ماند (ثانیه)                  |

جریان هوا توسط هواکش مدل HVDLT-MK2 تهیه شده و توسط فشارسنج مدل ۵۰۴ متصل به ونتوری نوع H و استفاده از نمودارهای مربوطه، گذر حجمی و فشار معادل قرائت گردید. برای اندازه‌گیری افت فشار کل مایع شستشو دهنده از فشارسنج مدل TG که بعد از خروجی الکتروپمپ استفاده گردید. جهت پاشش مایع شستشو از نازل ۸۰ میکرون متری در ۳ فشار مختلف (۹، ۱۰ و ۱۲ بار) استفاده گردید. نمای شماتیک کل شامل: نازل‌ها، برج اسپری، الکتروپمپ و سیستم لوله‌کشی در شکل شماره ۱ آورده شده است.

بر اساس استانداردهای ACGIH در برج‌های اسپری سرعت جریان هوا مورد استفاده بین ۲۰۰-۳۰۰ fpm توصیه شده است (۱۲)، لذا بر اساس استاندارد فوق، میانگین سرعت هوا در این پژوهش ۲۵۰ فوت بر دقیقه لحاظ گردید. همچنین با توجه به قطر ۰/۸۲ فوتی برج و سرعت مذکور و بر اساس معادله  $Q=VA$  میزان گذر حجمی ۱۳۲ فوت بر دقیقه محاسبه گردید. میزان گذر حجمی مایع شستشو دهنده ۱۰ گالن بر دقیقه به ازای هر ۱۰۰۰ فوت مکعب بر دقیقه و معادل با ۵ لیتر بر دقیقه محاسبه گردید.



شکل ۱: نمای کلی آزمایش

متصل کردن خروجی سیلندر گاز آمونیاک به یک فلومتر، گاز ورودی برج را توسط دستگاه فوجک، قرائت و با یادداشت کردن، مقدار قرائت شده با مقدار فلومتر، غلظت‌های مورد نیاز، با

برای تأمین گاز آمونیاک مورد استفاده در این پژوهش از سیلندر مخصوص و رگلاتور متصل به آن استفاده گردید. برای سنجش غلظت گاز آمونیاک، با انجام تنظیمات شیر رگلاتور و

نمونه‌های استاندارد در مقادیر ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ قسمت در میلیون در کیسه تدار تهیه‌شده و توسط دستگاه اندازه‌گیری آمونیاک قرائت شدند.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد استفاده از یک عدد نازل ۸۰ میکرونی به همراه اسیدسولفوریک ۰/۰۱ مولار به‌عنوان مایع شستشو دهنده در فشار و تراکم ورودی متفاوت دارای بیشترین کارایی حذف آمونیاک در فشار بیشینه مایع (۱۲ بار) و کمترین تراکم ورودی (۲۴/۱ قسمت در میلیون) و برابر با ۹۶/۲۶٪ بوده و در وضعیت فشار کمینه (۹ بار) و تراکم ورودی بیشینه (۶۸ قسمت در میلیون) دارای کمترین کارایی حذف آمونیاک (۸۰/۸۸) می‌باشد (جدول شماره ۲). همچنین آزمون رگرسیون در نمودار شماره ۱ نشان می‌دهد در همین شرایط فوق‌الذکر، با افزایش فشار مایع از ۹ بار به سمت ۱۲ بار، کارایی را به‌صورت خطی افزایش می‌دهد. همچنین افزایش کارایی در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و ۶۸ قسمت در میلیون به‌صورت خطی افزایش می‌یابد.

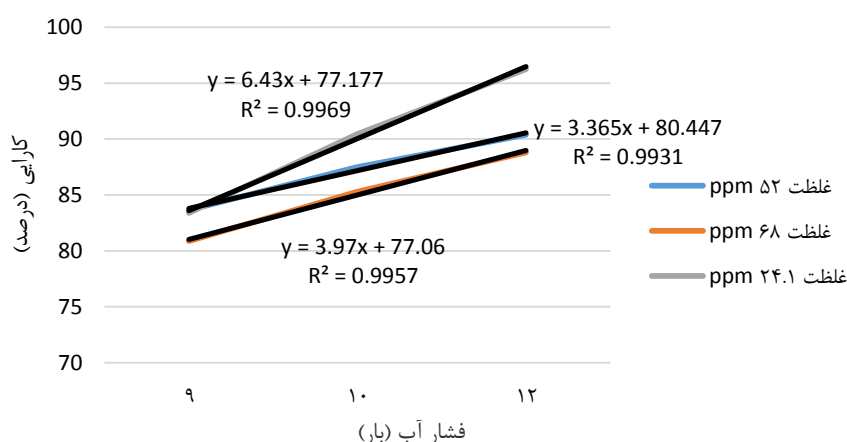
تنظیمات رگلاتور به دست آمد. نازل‌ها در سه حالت تکی، دوتایی و سه‌تایی مورد استفاده قرار گرفته و در مجموع تعداد ۱۶۲ (۳ تراکم در ۳ محل قرارگیری نازل در ۳ فشار مایع در ۳ بار تکرار اندازه‌گیری در دو محل ورودی و خروجی برج)، آزمایش انجام پذیرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش آنالیز واریانس چند طرفه استفاده شد. اثرات اصلی متغیرها و اثر متقابل بین آن‌ها مورد آزمون قرار گرفت. سپس مقایسه‌های چندگانه با استفاده از آزمون توکی انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نسخه 22 نرم‌افزار SPSS صورت گرفت.

### یافته‌ها

اندازه‌گیری گاز آمونیاک از روش قرائت مستقیم، با استفاده از دستگاه Phocheck مدل Tiger، انجام شد. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری گاز آمونیاک در تراکم بین ۰-۲۰۰۰ قسمت در میلیون می‌باشد. برای اطمینان از دقت دستگاه اندازه‌گیری گاز آمونیاک توسط دستگاه فوچک لازم بود قبل از اندازه‌گیری نمونه‌ها، دستگاه قرائت مستقیم را کالیبره کرد. بدین منظور

جدول ۲: کارایی حذف گاز آمونیاک با یک نازل ۸۰ میکرونی و مایع شستشو دهنده آب و اسیدسولفوریک

| کارایی حذف (۰/۰) | میانگین تراکم خروجی (ppm) | فشار آب (bar) | میانگین تراکم ورودی (ppm) |
|------------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| ۸۳/۴             | ۴                         | ۹             | ۲۴/۱                      |
| ۹۰/۴۵            | ۲/۳                       | ۱۰            |                           |
| ۹۶/۲۶            | ۰/۹                       | ۱۲            |                           |
| ۸۳/۶۵            | ۸/۵                       | ۹             |                           |
| ۸۷/۵             | ۶/۵                       | ۱۰            | ۵۲                        |
| ۹۰/۳۸            | ۵                         | ۱۲            |                           |
| ۸۰/۸۸            | ۱۳                        | ۹             |                           |
| ۸۵/۳             | ۱۰                        | ۱۰            | ۶۸                        |
| ۸۸/۸۲            | ۷/۶                       | ۱۲            |                           |



نمودار ۱: کارایی حذف گاز آمونیاک نسبت به فشار آب مایع شستشو دهنده با یک نازل ۸۰ میکرونی و مایع شستشو دهنده آب و اسیدسولفوریک

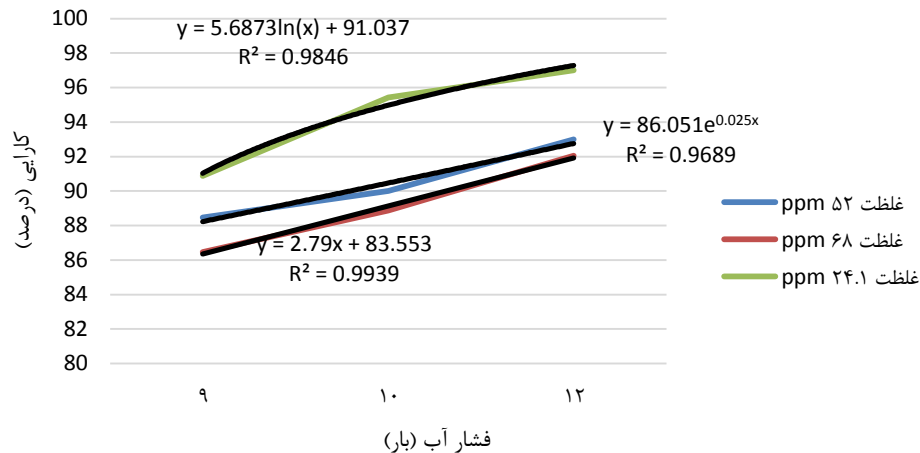
کارایی کمترین مقدار در این شرایط می‌باشد. همچنین آزمون رگرسیون در نمودار شماره ۲ نشان می‌دهد در همین شرایط فوق‌الذکر، با افزایش فشار مایع از ۹ بار به سمت ۱۲ بار، کارایی را به صورت خطی افزایش می‌دهد. همچنین افزایش کارایی در تراکم‌های ۲۴/۱ و ۵۴ قسمت در میلیون به صورت لگاریتمی و در تراکم ۶۸ قسمت در میلیون به صورت خطی افزایش می‌یابد.

همچنین استفاده از دو عدد نازل ۸۰ میکرونی، همانند یک نازلی دارای بیشترین کارایی حذف در فشار بیشینه مایع (۱۲ بار) و کمترین تراکم ورودی (۱/۲۴ قسمت در میلیون) و برابر با ۹۷٪ بوده و در وضعیت فشار کمینه (۹ بار) و تراکم ورودی بیشینه (۶۸ قسمت در میلیون) دارای کمترین کارایی حذف آمونیاک (۸۶/۴۷) می‌باشد (جدول شماره ۳) که این میزان

جدول ۳: کارایی حذف گاز آمونیاک با دو نازل ۸۰ میکرونی و مایع شستشو دهنده آب و اسیدسولفوریک

| کارایی حذف (٪) | میانگین تراکم خروجی (ppm) | فشار آب (bar) | میانگین تراکم ورودی (ppm) |
|----------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| ۹۰/۸۷          | ۲/۲                       | ۹             | ۲۴/۱                      |
| ۹۵/۴۳          | ۱/۱                       | ۱۰            |                           |
| ۹۷             | ۰/۷                       | ۱۲            |                           |
| ۸۸/۴۶          | ۶                         | ۹             |                           |
| ۹۰             | ۵                         | ۱۰            | ۵۲                        |
| ۹۳             | ۳/۵                       | ۱۲            |                           |
| ۸۶/۴۷          | ۹/۲                       | ۹             |                           |
| ۸۸/۸۸          | ۷/۶                       | ۱۰            | ۶۸                        |
| ۹۲/۰۵          | ۵/۴                       | ۱۲            |                           |





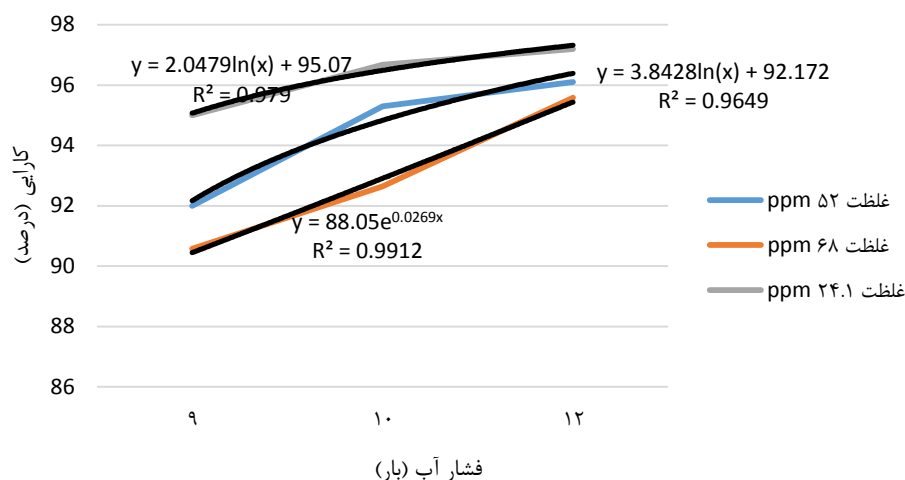
نمودار ۲: کارایی حذف گاز آمونیاک نسبت به فشار آب مایع شستشو دهنده با دو نازل ۸۰ میکرونی و مایع شستشو دهنده آب و اسیدسولفوریک

برابر با ۹۰/۵۸٪ برآورد گردید (جدول شماره ۴). همچنین نمودار رگرسیون در این شرایط نیز با افزایش فشار آب از ۹ بار به ۱۲ بار نیز به صورت خطی افزایش می‌یابد. همچنین افزایش کارایی در تراکم‌های ۲۴/۱ و ۵۲ قسمت در میلیون به صورت لگاریتمی و در تراکم ۶۸ قسمت در میلیون به صورت نمایی افزایش می‌یابد (نمودار شماره ۳).

در شرایط استفاده از سه نازل ۸۰ میکرونی نیز همانند استفاده از تک نازل و دو نازلی، با کاهش تراکم ورودی و افزایش فشار مایع شستشو کارایی افزایش می‌یابد لذا در شرایطی که میانگین تراکم ورودی ۲۴/۱ قسمت در میلیون و فشار مایع ۱۲ بار باشد بیشترین کارایی حاصله برابر با ۹۷/۹٪ می‌باشد و در شرایط مقابل نیز در بیشترین تراکم ورودی ۶۸ قسمت در میلیون و کمترین فشار مایع ۹ بار کمترین کارایی

جدول ۴: کارایی حذف گاز آمونیاک با سه نازل ۸۰ میکرونی و مایع شستشو دهنده آب و اسیدسولفوریک

| کارایی حذف (%) | میانگین تراکم خروجی (ppm) | فشار آب (بار) | میانگین تراکم ورودی (ppm) |
|----------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| ۹۵             | ۱/۲                       | ۹             |                           |
| ۹۶/۶۸          | ۰/۸                       | ۱۰            | ۲۴/۱                      |
| ۹۷/۹           | ۰/۵                       | ۱۲            |                           |
| ۹۲             | ۳/۸                       | ۹             |                           |
| ۹۵/۳           | ۲/۴                       | ۱۰            | ۵۲                        |
| ۹۶/۱           | ۲                         | ۱۲            |                           |
| ۹۰/۵۸          | ۶/۴                       | ۹             |                           |
| ۹۲/۶۴          | ۵                         | ۱۰            | ۶۸                        |
| ۹۵/۵۸          | ۳                         | ۱۲            |                           |



نمودار ۳: کارایی حذف گاز آمونیاک نسبت به فشار آب مایع شستشو دهنده با سه نازل ۸۰ میکرونی و مایع شستشو دهنده آب و اسیدسولفوریک

دهنده در برج اسپری، افزایش تعداد نازل‌ها سبب افزایش معنی‌دار (P-Value=۰/۰۰۲۱) درصد کارایی حذف گاز آمونیاک از هوا توسط برج اسپری می‌شود. با استفاده از همین آزمون آماری، در این شرایط، افزایش تراکم گاز آمونیاک در ورودی برج اسپری باعث کاهش معنی‌دار (Pvalue=۰/۰۰۵۸) کارایی حذف آمونیاک از جریان هوا توسط برج اسپری می‌شود (جدول شماره ۵).

آزمون آماری (One- Way Anova) نشان داد که در صورت استفاده از اسیدسولفوریک ۰/۰۱ مولار به‌عنوان مایع شستشو دهنده، افزایش فشار مایع شستشو دهنده برج اسپری باعث افزایش معنی‌دار (P-Value=۰/۰۰۵۲) درصد کارایی حذف گاز آمونیاک از جریان هوا می‌شود. بر پایه آزمون آماری (One- Way Anova)، در صورت استفاده از آب به همراه اسیدسولفوریک به‌عنوان مایع شستشو

جدول ۵: تأثیر متغیرهای مختلف بر کارایی حذف گاز آمونیاک با مایع شستشو دهنده آب و اسیدسولفوریک با آزمون آماری One-Way ANOVA

| مقدار P-Value | اثر معنی‌داری   | متغیر مؤثر بر کارایی حذف |
|---------------|-----------------|--------------------------|
| P-Value=0.052 | افزایش معنی‌دار | افزایش فشار مایع         |
| P-Value=0.021 | افزایش معنی‌دار | افزایش تعداد نازل‌ها     |
| P-Value=0.058 | کاهش معنی‌دار   | افزایش تراکم گاز ورودی   |

### بحث

کارایی در تراکم‌های مورد مطالعه ممکن است ناشی از مواجه شدن گاز آمونیاک با سرعت بالای قطرات آب‌اسیدی (مایع شستشو دهنده) و انجام واکنش شیمیایی بین مایع شستشو دهنده و ماده جذب‌شونده باشد. احتمالاً جذب شیمیایی علت اصلی این اختلاف می‌باشد.

در مطالعه حاضر، زمانی که دو نازل ۸۰ میکرونی نصب شده بود، افزایش فشار مایع شستشو دهنده آب‌اسیدی از ۹ بار به ۱۲ بار، کارایی حذف گاز آمونیاک در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و

فشار مایع شستشو دهنده نقش قابل‌توجهی در کارایی حذف ایفا می‌کند، به‌طوری‌که کارایی جداسازی در شستشو دهنده‌های تر با مجموع انرژی مصرف‌شده برای مایع و هوای تزریق‌شده به پالایشگر متناسب است (۵). در همین مطالعه درحالی‌که یک نازل ۸۰ میکرونی نصب‌شده بود، با افزایش فشار مایع شستشو دهنده آب‌اسیدی از ۹ بار به ۱۲ بار، کارایی حذف گاز آمونیاک در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و ۶۸ قسمت در میلیون به ترتیب ۱۲/۸۶، ۶/۷۳ و ۷/۹۴ درصد افزایش یافت. افزایش



یابند. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه آمی تاوا و همکاران یکسان می‌باشد (۱۴).

همچنین مطالعه انجام‌شده توسط کولر و همکاران در سال ۲۰۱۱ از یک برج اسپری از جنس پلکسی گلاس به قطر داخلی ۰/۲۹ متر و ارتفاع ۱/۵۵ متر برای حذف دی‌اکسید گوگرد استفاده شد. گذر جریان مایع محلول جاذب برج اسپری که هیدروکسید سدیم (NaOH) بود که بین ۰/۰۰۵۵۶-۰/۰۰۲۲۲ مترمکعب بر ثانیه تغییر می‌کرد. نتایج نشان دادند افزایش گذر جریان مایع که از طریق افزایش تعداد نازل‌ها صورت گرفت باعث افزایش کارایی حذف می‌شود. نتایج مطالعه کولر و همکاران در سال ۲۰۱۳ با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۱۵).

با توجه به اینکه مکانیسم اصلی حذف گازها، جذب می‌باشد، نسبت مولی ماده جاذب (که در اینجا آب به همراه اسیدسولفوریک می‌باشد) به ماده جذب‌شونده (که در اینجا گاز آمونیاک می‌باشد) دارای اهمیت است (۱۶). با ثابت بودن گذر حجمی مایع جاذب (۵ لیتر بر دقیقه)، افزایش تراکم ورودی باعث کاهش نسبت مولی ماده جاذب به ماده جذب شونده می‌شود که در نهایت باعث کاهش کارایی حذف می‌گردد. در مطالعه حاضر، گذر حجمی جریان هوا ۳۷۳۷/۸۲ لیتر بر دقیقه بود که با افزایش تراکم ورودی از ۲۴/۱ قسمت در میلیون به ۶۸ قسمت در میلیون در فشار ۱۲ بار، باوجود یک، دو و سه نازل ۸۰ میکرونی، کارایی حذف به ترتیب ۱۸/۶۳، ۱۸/۸۳ و ۷/۸۸ درصد کاهش یافت.

مطالعه انجام‌شده توسط اینچینگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ نشان داد که درگذر حجمی مایع ۱۸۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، تراکم محلول شستشو دهنده آمونیاک و هیدروکسید سدیم، و گذر حجمی جریان گاز ۷/۶ لیتر بر دقیقه، افزایش غلظت ورودی گاز CO<sub>2</sub> از ۷ درصد حجمی به ۱۵ درصد حجمی، باعث کاهش کارایی حذف دی‌اکسید کربن می‌شود. برای هر دو مایع شستشو دهنده کارایی حذف بیش از ۹۰ درصد بود. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه اینچینگ و همکاران در سال

۶۸ قسمت در میلیون به ترتیب ۶/۱۳، ۴/۵۴ و ۵/۵۸ درصد افزایش یافت. تغییرات کارایی در تراکم‌های فوق می‌تواند ناشی از برخورد گاز آمونیاک با سرعت بالای قطرات آب‌اسیدی که از دو نازل خارج‌شده‌اند و انجام واکنش شیمیایی بین مایع جاذب و ماده جذب‌شونده باشد.

در این پژوهش وجود سه نازل ۸۰ میکرونی و افزایش فشار مایع شستشو دهنده آب به همراه اسیدسولفوریک ۰/۱ مولار از ۹ بار به ۱۲ بار، کارایی حذف را در تراکم‌های سه‌گانه به ترتیب ۲/۹، ۴/۱ و ۵/۰ درصد افزایش یافت. افزایش کارایی در تراکم‌های مورد مطالعه ممکن است به دلیل فعل‌وانفعال شیمیایی بین مایع شستشو دهنده و ماده جذب‌شونده و اصابت گاز آمونیاک با سرعت‌های بالای قطرات آب‌اسیدی مربوط شود. بالاترین کارایی حذف در این حالت است که احتمالاً واکنش شیمیایی علت اصلی این موضوع می‌باشد.

مطالعه انجام‌شده توسط نورمن و همکاران در سال ۲۰۰۳ نشان داد که با افزایش فشار عملیاتی، اندازه جریان به‌اندازه نازل افزایش می‌یابد. تعداد واحدهای انتقال فاز مایع با افزایش فشار نازل یا سرعت اسپری افزایش می‌یابد. بزرگ‌ترین تأثیر افزایش فشار نازل، افزایش انتقال جرم هنگام اسپری جریان می‌باشد. نتایج مطالعه حاضر با نتایج نورمن و همکاران همخوانی دارد (۱۳).

افزایش تعداد نازل ۸۰ میکرونی از یک عدد به سه عدد کارایی حذف گاز آمونیاک با جاذب آب‌اسیدی در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و ۶۸ قسمت در میلیون به ترتیب از ۹۶/۲۶ به ۹۷/۹، ۹۰/۳۸ به ۹۶/۱ و ۸۸/۸۲ به ۹۵/۵۸ درصد رسید. این افزایش کارایی به دلیل افزایش واکنش فعال سطحی و انتقال آب‌اسیدی بیشتر باشد.

مطالعه انجام‌شده توسط آمی تاوا و همکاران در سال ۲۰۰۷ روی برج اسپری، در شستشوی دی‌اکسید گوگرد با استفاده از آب و محلول آمونیاک (NH<sub>3</sub>) نشان داد کارایی با افزایش گذر جریان مایع، قطر قطرات و سطح کل قطرات نیز افزایش می‌-





۲. افزایش تراکم گاز آمونیاک در ورودی برج اسپری باعث کاهش کارایی حذف آمونیاک از جریان هوا توسط برج اسپری می‌شود.

۳. افزایش فشار مایع شستشو باعث افزایش کارایی حذف برج اسپری می‌شود.

۴. بالاترین کارایی حذف به دست آمده در این مطالعه مساوی ۹۷/۹ درصد مربوط به حالتی است که در آن سه نازل ۸۰ میکرونی نصب شده، از اسیدسولفوریک ۰/۰۱ مولار به عنوان مایع شستشو استفاده شده، فشار مایع مساوی ۱۲ بار بوده و تراکم ورودی آن مساوی ۲۴/۱ قسمت در میلیون بوده است.

۲۰۱۱ همخوانی دارد (۱۷). همچنین مطالعه انجام شده توسط کینگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ نشان داد، با ثابت نگه داشتن تمامی پارامترها، افزایش تراکم ورودی CO<sub>2</sub> از ۵ به ۱۵ درصد حجمی باعث کاهش نسبت مولی اسکرابر (آمونیاک) به CO<sub>2</sub> از ۱۳/۷۸ به ۴/۵۹ درصد شده، و در نتیجه کاهش کارایی حذف شده است. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه کینگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ همخوانی دارد (۱۸).

### نتیجه گیری

۱. افزایش تعداد نازلها (از یک به سه) باعث افزایش کارایی حذف گاز آمونیاک از جریان هوا توسط برج اسپری می‌شود.

### منابع

1. Karami M, Keshavarz P, Khorram M, Mehdipour M. Analysis of ammonia separation from purge gases in microporous hollow fiber membrane contactors. *Journal of hazardous materials*. 2013;260: 576-84.
2. Barsan ME. NIOSH pocket guide to chemical hazards. 2007.
3. criteria: SIEh. Safety IPoC.: Environmental health criteria: World Health Organization; 1998. Available from: [www http://www.who.int/en](http://www.who.int/en). Accessed 2011.
4. Phillips J. Control and pollution prevention options for ammonia emissions. VIGYAN, Inc., Vienna, VA (United States); 1995.
5. ACGIH HA, editor *Industrial ventilation: a manual of recommended practice for design*. USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2013.
6. Zhang Y. *Indoor air quality engineering*: CRC press; 2004.
7. Theodore L. *Air pollution control equipment calculations*: John Wiley & Sons; 2008.
8. F SG. *Design And Application Of Scrubber For Air Pollution Control*. 1993. Fanavaran: 2012.
9. MJ. J. *Air Pollution Control Equipment*.: Fadak Isatis; 2014.
10. Bozorgi Y, Keshavarz P, Taheri M, Fathikaljahi J. Simulation of a spray scrubber performance with Eulerian/Lagrangian approach in the aerosol removing process. *Journal of hazardous materials*. 2006;137(1):509-17.
11. Juan YL. Evaluation of wet scrubber systems. *Mechanical Engineering: Thesis Report*. 2005.
12. Department of health and human services Npgtch. 2005.
13. Yeh NK, Rochelle GT. Liquid-phase mass transfer in spray contactors. *AICHE journal*. 2003; 49(9):2363-73.





14. Bandyopadhyay A, Biswas MN. Critical flow atomizer in SO<sub>2</sub> spray scrubbing. *Chemical Engineering Journal*. 2008;139(1):29-41.
15. Koller M, Wappel D, Trofaier N, Gronald G. Test results of CO<sub>2</sub> spray scrubbing with Monoethanolamine. *Energy Procedia*. 2011;4: 1777-82.
16. Yincheng G, Zhenqi N, Wenyi L. Comparison of removal efficiencies of carbon dioxide between aqueous ammonia and NaOH solution in a fine spray column. *Energy Procedia*. 2011;4:512-8.
17. G Y, N Z, L W. Energy Procedia Comparison of removal efficiencies of carbon dioxide between aqueous ammonia and NaOH solution in a fine spray column. *Energy Procedia Elsevier*; 2011;4:512-8.
18. Qing Z, Yincheng G, Zhenqi N. Experimental studies on removal capacity of carbon dioxide by a packed reactor and a spray column using aqueous ammonia. *Energy Procedia*. 2011;4: 519-24.



## The Effect of Acidic Water Composition on Removal Efficiency of Air Ammonia in a Spray Tower

Mohammad Bagher ABDOLLAHI<sup>1</sup>, Mohammad Javad JAFARI<sup>2</sup>, Davod PANAH, Ali Reza RAHMATI<sup>3\*</sup>

### Abstract

### Original Article



Received: 2019/12/21

Accepted: 2020/04/06

### Citation:

ABDOLLAHI MB, JAFARI MJ, PANAH D, RAHMATI AR. The Effect of Acidic Water Composition on Removal Efficiency of Air Ammonia in a Spray Tower. Occupational Hygiene and Health Promotion 2020; 4(1): 27-37.

**Introduction:** One of the major factors that affect the employees' health and productivity in industries is the air quality of work environments. One of these pollutants is ammonia gas, which is very important from an economic and environmental points of view. Therefore, this study aimed to investigate the effect of using acidic water compound on the removal efficiency of air ammonia in a spray tower.

**Materials and Methods:** In this study, airflow was provided by variable ventilation and water pressure through a class electropump. The rate of ammonia removal from the air stream was investigated by a spray tower with changes in water pressure, inlet gas density, and number of nozzles. For this purpose, at different inlet densities, different liquid pressures and different nozzles with water washing liquid with 0.01 mM sulfuric acid were used as the washing liquid.

**Results:** Increased number of nozzles from one to three had a significant effect on ammonia removal (P-Value = 0.021). Increase of the inlet ammonia gas density from 24.1 to 68 parts per million significantly reduced the efficiency (P-Value = 0.058). Increase of the spray pressure from 9 bar to 12 bar also significantly increased the removal of ammonia gas from the spray tower outlet (P-Value = 0.052).

**Conclusion:** Increased number of nozzles, increased spray pressure, and decreased density of the ammonia gas inlet gas will increase removal efficiency.

**Keywords:** Spray tower, Nozzle number, Removal efficiency, Washer fluid pressure

<sup>1</sup> Department of Occupational Health and Work Safety, Shoushtar Faculty of Medical Sciences, Shoushtar, Iran

<sup>2</sup> Department of occupational health and work safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> MSc, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran  
(Corresponding author: alrahmati@aol.com)

