Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 7, Issue 2, Summer 2020, Pages: 1-7

Original Article

doi: 10.52547/johe.7.2.1

Removal of Air Ammonia in a Spray Tower by Dilute Sulfuric Acid Solution using Operating Parameter Alteration

Mohammad Bagher Abdollahi[1], Mohammad Javad Jafari[2], Davod Panahi[3], Nafise Azimi[4], Ali Reza Rahmati[5,*]

[1] *Lecturer, Department of Occupational Health and Work Safety, Shoushtar Faculty of Medical Sciences, Shoushtar, Iran*
[2] *Professor, Department of Occupational Health and Work Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *Assistant Professor, Department of Occupational Health and Work Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[4] *MSc, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[5] *MSc, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Ali Reza Rahmati, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: alrahmati@aol.com*

Received: 23/12/2019
Accepted: 08/04/2020

How to Cite this Article:
Abdollahi MB, Jafari MJ, Panahi D, Azimi N, Rahmati AR. Removal of Air Ammonia in a Spray Tower by Dilute Sulfuric Acid Solution using Operating Parameter Alteration. *J Occup Hyg Eng*. 2020; 7(2): 1-7. DOI: 10.52547/johe.7.2.1

Abstract

Background and Objective: Workplace air quality is a very important factor in community health, which is measured using airborne contaminants evaluation and measurement. One of these airborne pollutants in industries is ammonia gas. Spray towers are important components of air pollution control. This study aimed to investigate the effects of dilute sulfuric acid solution on the efficiency of ammonia removal in a spray tower.

Materials and Methods: This study evaluated the rate of ammonia removal from the air stream using a spray tower with laboratory criterion by altering the liquid pressure and nozzles, as well as the inlet density. The volume of the used airstream was 3737.82 l/min; moreover, one, two, and three 20-micron diameter nozzles were used with the dilute sulfuric acid solution. The data were analyzed in SPSS software (version 21) through one-way ANOVA.

Results: An increase in the number of nozzles and washing liquid pressure of the spray tower increased the ammonia removal efficiency and enhanced the input load of the system which reduced the elimination efficiency ($P<0.05$).

Conclusion: An increase in the number of nozzles, the operating pressure of the washing liquid, and the density of the pollutant gas lead to a higher level of spraying tower efficiency in terms of eliminating the ammonia gas from the air stream.

Keywords: Air; Ammonia Removal; Spray Tower; Sulfuric Acid Solution

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.1]

Copyright © 2020 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.7.2.1

حذف آمونیاک هوا در یک برج پاشنده توسط محلول رقیق اسید سولفوریک با استفاده از تغییر پارامترهای عملیاتی

محمد باقر عبدالهی [۱]، محمد جواد جعفری [۲]، داود پناهی [۳]، نفیسه عظیمی [۴]، علیرضا رحمتی [۵،*]

[۱] مربی، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده علوم پزشکی شوشتر، شوشتر، ایران
[۲] استاد، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
[۳] استادیار، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
[۴] کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۵] کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

* **نویسنده مسئول:** علیرضا رحمتی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. ایمیل: alrahmati@aol.com

تاریخ دریافت مقاله: --/--/۱۳۹۹
تاریخ پذیرش مقاله: --/--/۱۳۹۹

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: کیفیت هوای محیط کار عامل بسیار مهمی در سلامت جامعه است که از طریق اندازه‌گیری و ارزیابی آلودگی‌های هوابرد سنجیده می‌شود. یکی از این آلاینده‌های هوابرد در صنایع، گاز آمونیاک است. برج‌های اسپری به‌عنوان یکی از اجزای مهم کنترل آلودگی هوا محسوب می‌شوند. لذا این مطالعه با هدف بررسی تأثیر استفاده از محلول رقیق‌شده اسید سولفوریک بر کارایی حذف آمونیاک هوا در یک برج پاشنده انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه با استفاده از یک برج اسپری در معیار آزمایشگاهی، میزان حذف آمونیاک از جریان هوا با تغییر فشار مایع و نازل‌ها و تراکم ورودی ارزیابی شد. گذر حجمی جریان هوای استفاده‌شده ۳۷۳۷/۸۲ لیتر بر دقیقه بود. نازل استفاده‌شده نیز دارای قطر ۲۰ میکرون و به‌صورت یک، دو و سه‌تایی با محلول رقیق اسید سولفوریک بود. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و آزمون آماری آنووای یک‌طرفه تجزیه‌وتحلیل شدند.

یافته‌ها: افزایش تعداد نازل‌ها و فشار مایع شست‌وشودهنده برج اسپری سبب افزایش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) درصد کارایی حذف گاز آمونیاک از هوا با کمک برج اسپری و افزایش بار ورودی به سیستم سبب کاهش کارایی حذف می‌شود ($P<۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: با افزایش تعداد نازل‌ها، فشار عملیاتی مایع شست‌وشودهنده و تراکم گاز آلاینده می‌توان به کارایی‌های مناسبی در حذف گاز آمونیاک از جریان هوا با استفاده از برج اسپری دست یافت.

واژگان کلیدی: برج پاشنده؛ حذف آمونیاک؛ محلول اسید سولفوریک؛ هوا

مقدمه

بی‌تردید کیفیت هوا به‌عنوان یکی از شاخصه‌های مهم در محیط کار و جامعه محسوب می‌شود که در سلامت افراد و طبیعتاً افزایش بهره‌وری مؤثر است. بررسی کیفیت هوای محیط کار از طریق اندازه‌گیری آلودگی هوابرد صورت می‌پذیرد. لذا تصفیه آلاینده‌های خروجی از صنایع ضروری است. یکی از این آلاینده‌ها، گاز آمونیاک است که پالایش این گاز ازنقطه‌نظر اقتصادی و محیط‌زیستی بسیار اهمیت دارد. این گاز هم به‌صورت مصنوعی و هم طبیعی تولید می‌شود [۱].

با توجه به بوی آزاردهنده آن، آلودگی هوا با آمونیاک اهمیت دارد. این ماده می‌تواند از طریق تماس پوستی، چشمی و استنشاق وارد بدن شود و باعث تحریک و سوزش چشم، بینی، گلو، درد قفسه سینه، ادم ریوی، سوختگی پوست و تاول شود [۲]. حد مجاز شغلی این ماده از سوی انجمن متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists) برای یک نوبت کار هشت‌ساعته، ۲۵ قسمت در میلیون اعلام شده است [۳]. همچنین حد مجاز شغلی (REL: Recommended Exposure Limit) آن از سوی انستیتوی تحقیقاتی ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا (NIOSH: National Institute of Safety and Health) برای میانگین وزنی زمانی ۲۵ قسمت در میلیون اعلام شده است که این مقدار

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.1]

برای حد مواجهه کوتاه‌مدت ۳۵ قسمت در میلیون اعلام شده است [۱،۴].

حذف گاز آمونیاک از هوای محیط کار و رساندن آن به حد استانداردهای زیست‌محیطی الزامی است و باید روش مناسبی برای پالایش آن انتخاب شود [۲]. ازجمله روش‌های حذف این گاز می‌توان به شست‌وشودهنده‌های تر اشاره کرد. این تجهیزات برای کنترل و حذف بسیاری از آلاینده‌های هوا استفاده می‌شوند [۵-۸].

آمونیاک در صنایع بزرگ و مهمی اعم از صنایع فلزی، صنایع داروسازی، صنایع دباغی و چرم‌سازی، صنایع لاستیک و پلاستیک، تولید شوینده‌ها و پاک‌کننده‌ها و تولید مواد شیمیایی به‌عنوان ماده اولیه برای تهیه اسید نیتریک و به‌عنوان خنک‌کننده در سیستم‌های تبرید کاربرد دارد. تاکنون روش‌های مختلفی برای حذف آمونیاک مورد توجه قرار گرفته است. ازجمله این روش‌ها می‌توان به استفاده از شست‌وشودهنده‌های تر، چگالش و روش بیوفیلتراسیون اشاره کرد [۲].

شست‌وشودهنده‌های تر جزء وسایل کنترل‌کننده آلودگی هوا طبقه‌بندی می‌شوند که به‌منظور پالایش و جداسازی گازها از جریان هوای خروجی به کار برده می‌شوند. اگر یک شست‌وشودهنده تر برای حذف گاز آمونیاک از هوای محیط کار با پارامترهای طراحی بهینه به کار گرفته شود، ممکن است کارایی حذف و پالایش در حدود ۹۹ درصد را به همراه داشته باشد [۹].

از مهم‌ترین پارامترهایی که در طراحی برج‌های اسپری مدنظر قرار می‌گیرد می‌توان به ارتفاع و قطر برج، نوع نازل‌ها، فشار محلول و ... اشاره کرد [۱۰]؛ بنابراین، نازل و مشخصات فیزیکی آن از آیتم‌های بسیار مهم در طراحی برج اسپری محسوب می‌شود. درنتیجه ویژگی نازل‌ها یکی از متغیرهای مهم در کارایی و ملاحظات اقتصادی برج اسپری است [۱۱]. برج اسپری نوعی از شست‌وشو دهنده‌های تر است که برای پالایش آمونیاک به کار می‌رود [۷] و مزایای زیادی ازجمله قابلیت جداسازی هم‌زمان ذرات و گازها از جریان هوا، افت فشار پایین، طراحی ساده، هزینه تجهیزات و نگهداری کم دارد [۱۲].

مایع اسپری استفاده‌شده در برج‌های اسپری باید حلالیت و نرخ جذب زیادی برای گاز مدنظر داشته و از نظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه باشد. برای افزایش کارایی برج اسپری می‌توان مواد شیمیایی مختلفی به مایع شست‌وشودهنده افزود [۲،۱۳].

با توجه به مطالب ذکرشده درباره سمی‌بودن گاز آمونیاک و لزوم حذف این ماده از هوای محیط کار و قابلیت برج اسپری در حذف این ماده از هوای محیط کار 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 نازل‌هاست.

در مطالعه جعفری و همکاران در زمینه حذف گاز آمونیاک از هوای محیط کار با برج اسپری مشاهده شد که بهینه‌سازی پارامترهای طراحی برج‌های اسپری (اندازه نازل، تعداد نازل و فشار مایع شست‌وشودهنده) باعث بهبود و افزایش کارایی حذف گاز آمونیاک می‌شود. نوآوری پژوهش حاضر اولاً استفاده از برج اسپری در حذف یک گاز است؛ چون این نوع پالایشگر عمدتاً در حذف ذرات و میست‌ها استفاده می‌شود. در ثانی با بهینه‌سازی برخی از پارامترهای طراحی برج اسپری اعم از فشار عملیاتی مایع شست‌وشودهنده و چیدمان و موقعیت قرارگیری نازل‌ها، کارایی حذف بررسی شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع کاربردی-آزمایشگاهی بود و برای بررسی تأثیر استفاده از ترکیب محلول رقیق‌شده اسید سولفوریک (۰/۰۱ مولار) در یک برج اسپری در حذف گاز آمونیاک انجام شد. مشخصات کلی برج اسپری استفاده‌شده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات برج اسپری

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

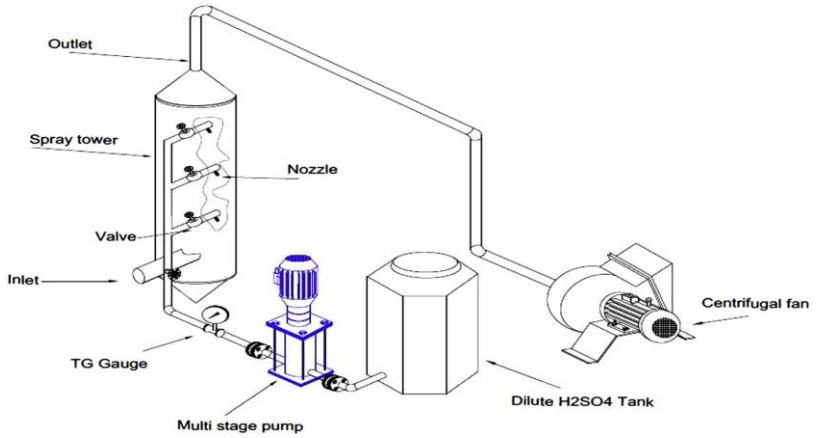
سرعت جریان هوای استفاده‌شده در برج‌های اسپری بر اساس استانداردهای انجمن متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا بین ۱/۲۶-۱/۲۸ لیتر بر دقیقه توصیه شده است [۱۴]؛ لذا بر اساس این استاندارد، میانگین سرعت هوا در این پژوهش ۱/۲۷ متر بر ثانیه لحاظ شد. همچنین با توجه به قطر ۰/۲۵ متر برج و سرعت مذکور، میزان گذر حجمی ۳۷۳۷/۸۲ لیتر بر دقیقه محاسبه شد. برج اسپری استفاده‌شده در این پژوهش در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: برج اسپری استفاده‌شده در پژوهش

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.1]



شکل ۲: نمای کلی آزمایش

در این پژوهش، جریان هوای مورد نیاز با هواکش مدل HVDLT-MK2 تهیه و گذر حجمی و فشار معادل با فشارسنج مدل 504,Type 4 متصل به ونتوری نوع H و استفاده از نمودارهای مربوطه قرائت شد. با قراردادن فشارسنج مدل TG بعد از خروجی پمپ، افت فشار کل مایع شست‌وشودهنده اندازه‌گیری شد. از نازل ۲۰ میکرون در ۳ فشار مختلف (۹، ۱۰ و ۱۲ بار) برای پاشش مایع شست‌وشو استفاده شد. شکل ۲ نمای شماتیک کل شامل نازل‌ها، برج اسپری، الکتروپمپ و سیستم لوله‌کشی را نشان می‌دهد.

در این پژوهش از سیلندر مخصوص و رگولاتور متصل به آن برای تأمین گاز آمونیاک استفاده شد. نازل‌ها در سه حالت یک، دو و سه تایی استفاده شدند و درمجموع ۱۶۲ آزمایش انجام پذیرفت. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش تحلیل واریانس چندطرفه استفاده شد. سپس مقایسه‌های چندگانه با استفاده از آزمون توکی انجام شد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام گرفت.

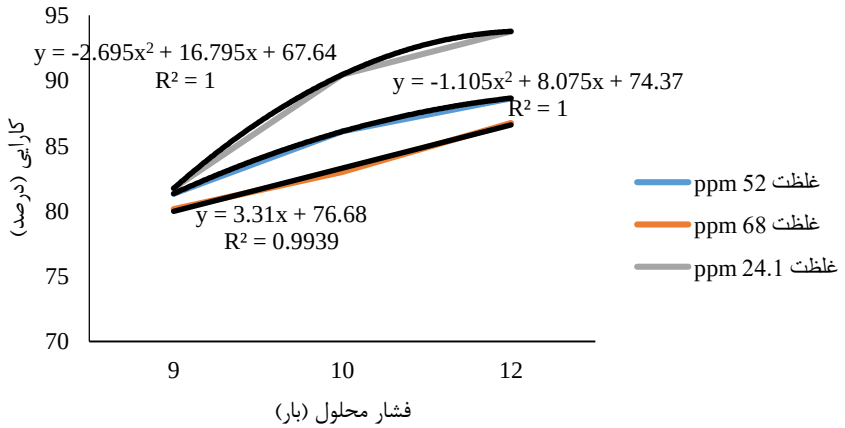
یافته‌ها

نتایج نشان می‌دهد استفاده از یک نازل ۲۰ میکرونی به همراه اسید سولفوریک ۰/۰۱ مولار به‌عنوان مایع شست‌وشودهنده در هر میانگین تراکم ورودی، کارایی حذف گاز آمونیاک با افزایش فشار محلول افزایش و با افزایش تراکم ورودی آمونیاک کاهش می‌یابد (افزایش کارایی در تراکم‌های ۲۴/۱ و ۵۲ قسمت در میلیون به‌صورت نمایی و در تراکم ۶۸ قسمت در میلیون به‌صورت خطی افزایش می‌یابد). نتایج نشان داد بیشترین کارایی حذف (۹۳/۷۷ درصد) مربوط به فشار ۱۲ بار و میانگین تراکم ورودی ۲۴/۱ قسمت در میلیون است. کمترین کارایی (۵۱/۴۷ درصد) در میانگین تراکم ورودی ۶۸ قسمت در میلیون و فشار ۹ به‌دست آمد (نمودار ۱).

در ادامه، وضعیت حذف آمونیاک با استفاده از دو نازل ۲۰ میکرونی در نمودار ۲ آورده شده است.

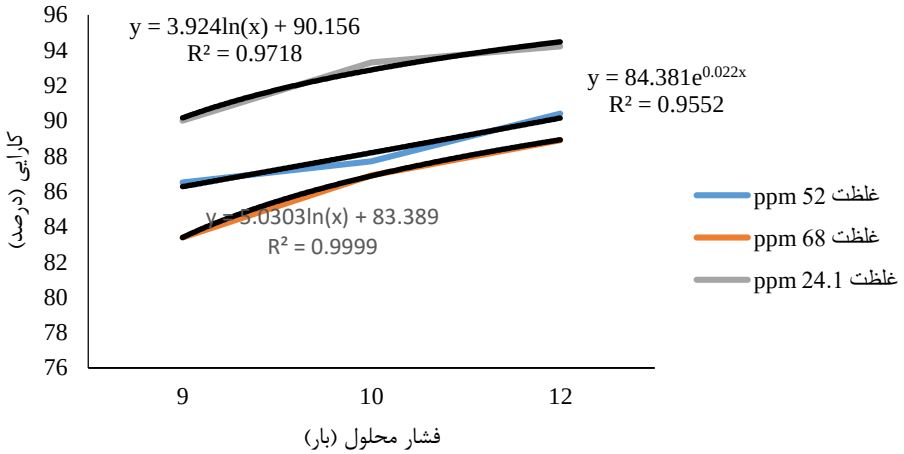
نتایج نشان می‌دهد بیشترین کارایی حذف (۹۵/۸۵ درصد) مربوط به فشار ۱۲ بار و میانگین تراکم ورودی ۲۴/۱ قسمت در میلیون است. کمترین کارایی (۸۷/۸ درصد) در میانگین تراکم ورودی ۶۸ قسمت در میلیون و فشار ۹ بار به‌دست آمد (نمودار ۳).

پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا به‌منظور تعیین نرمال‌بودن آن‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد. به علت نرمال‌بودن داده‌ها از آزمون آماری آنووای یک‌طرفه استفاده شد که نشان داد در صورت استفاده از اسید سولفوریک ۰/۰۱

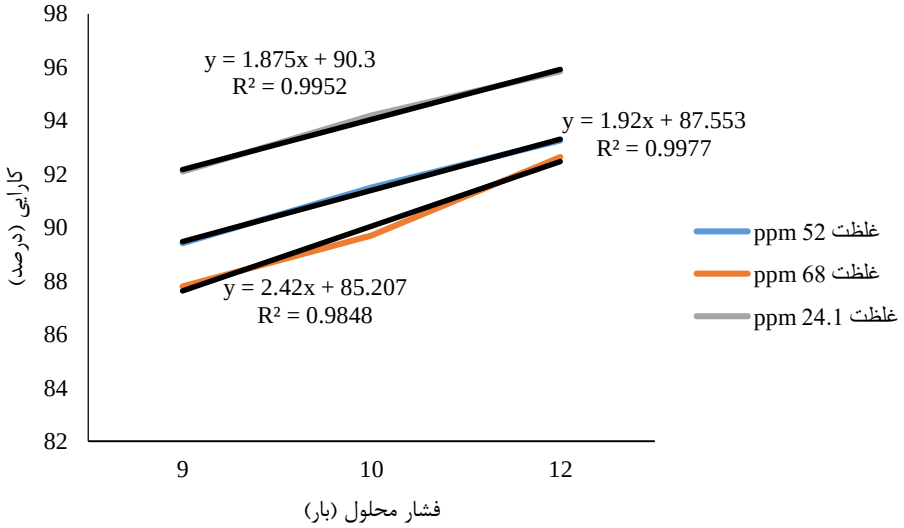


نمودار ۱: کارایی حذف گاز آمونیاک نسبت به فشار محلول مایع شست‌وشودهنده با یک نازل ۲۰ میکرونی و مایع شست‌وشودهنده آب و اسید سولفوریک

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.52547/johe.7.2.1]



نمودار ۲: کارایی حذف گاز آمونیاک نسبت به فشار محلول مایع شست‌وشودهنده با دو نازل ۲۰ میکرونی و مایع شست‌وشودهنده آب و اسید سولفوریک



نمودار ۳: کارایی حذف گاز آمونیاک نسبت به فشار محلول مایع شست‌وشودهنده با سه نازل ۲۰ میکرونی و مایع شست‌وشودهنده آب و اسید سولفوریک

مولار به‌عنوان مایع شست‌وشودهنده، افزایش فشار مایع شست‌وشودهنده برج اسپری باعث افزایش معنی‌دار ($P<0/05$) درصد کارایی حذف گاز آمونیاک از جریان هوا می‌شود. بر اساس آزمون آماری آنووای یک‌طرفه، در برج اسپری افزایش تعداد نازل‌ها سبب افزایش معنی‌دار ($P<0/05$) 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 ($P<0/05$) کارایی حذف آمونیاک از جریان هوا توسط برج اسپری می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲: تأثیر متغیرهای مختلف بر کارایی حذف گاز آمونیاک با مایع شست‌وشودهنده آب و اسید سولفوریک با آزمون آماری آنووای یک‌طرفه

متغیر مؤثر بر کارایی حذف	اثر معنی‌داری	P
افزایش فشار مایع	افزایش معنی‌دار	۰/۰۵۲
افزایش تعداد نازل‌ها	افزایش معنی‌دار	۰/۰۲۱
افزایش تراکم گاز ورودی	کاهش معنی‌دار	۰/۰۵۸

بحث

فشار مایع شست‌وشودهنده نقش بسیار مهمی در برج‌های اسپری دارد، به‌طوری‌که در شست‌وشودهنده‌های تر با افزایش انرژی مصرفی (افزایش مایع و هوای تزریق‌شده به پالایشگر) کارایی جداسازی افزایش می‌یابد [۵]. در مطالعه حاضر با افزایش فشار مایع شست‌وشودهنده محلول رقیق اسید سولفوریک از ۹ بار به ۱۲ بار، کارایی حذف گاز آمونیاک در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و ۶۸ قسمت در میلیون با وجود یک نازل ۲۰ میکرونی به ترتیب ۱۲/۰۳، ۷/۳۱ و ۶/۶۲ درصد افزایش یافت. این افزایش کارایی می‌تواند ناشی از واکنش شیمیایی اسید سولفوریک با گاز آمونیاک و خروج قطرات مایع شست‌وشودهنده با سرعت بیشتری از نازل‌ها باشد.

در این پژوهش با افزایش فشار مایع جاذب محلول رقیق اسید سولفوریک از ۹ بار به ۱۲ بار، کارایی حذف گاز آمونیاک در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و ۶۸ قسمت در میلیون با دو نازل ۲۰ میکرونی به ترتیب ۴/۲، ۳/۹ و ۵/۵۲ درصد افزایش یافت.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.1]

این افزایش کارایی می‌تواند به دلیل خروج قطرات مایع شست‌وشودهنده با سرعت بیشتری از دو نازل ۲۰ میکرونی و واکنش شیمیایی اسید سولفوریک با گاز آمونیاک باشد.

همچنین مشاهده شد با افزایش فشار مایع شست‌وشودهنده محلول رقیق اسید سولفوریک از ۹ بار به ۱۲ بار، کارایی حذف گاز آمونیاک در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و ۶۸ قسمت در میلیون با وجود سه نازل ۲۰ میکرونی به ترتیب ۳/۷۵، ۳/۸۴ و ۴/۸۴ درصد افزایش یافت. علت افزایش کارایی ممکن است ناشی از واکنش شیمیایی اسید سولفوریک با گاز آمونیاک و خروج قطرات مایع شست‌وشودهنده با سرعت بیشتری از نازل‌ها باشد.

در مطالعه Norman و همکاران در سال ۲۰۰۳ مشخص شد با افزایش فشار مایع شست‌وشودهنده، اندازه جریان به اندازه نازل افزایش می‌یابد. تعداد واحدهای انتقال فاز مایع با افزایش فشار نازل یا سرعت اسپری افزایش می‌یابد. بیشترین تأثیر افزایش فشار نازل، افزایش انتقال جرم هنگام اسپری جریان است. نتایج مطالعه حاضر با نتایج Norman و همکاران مطابقت دارد [۶].

همچنین نتایج این پژوهش نشان داد افزایش تعداد نازل ۲۰ میکرونی از یک به سه، کارایی حذف گاز آمونیاک با جاذب محلول رقیق‌شده اسید سولفوریک در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و ۶۸ قسمت در میلیون در فشار ثابت ۱۲ بار به ترتیب از ۹۳/۷۷ به ۹۵/۸۵، ۸۸/۶۵ به ۹۳/۲۶ و ۸۶/۷۶ به ۹۲/۶۴ درصد رسید. این افزایش کارایی می‌تواند به دلیل افزایش واکنش فعال سطحی و انتقال آب اسیدی بیشتر باشد.

مطالعه Koller و همکاران در سال ۲۰۱۱، توانایی برج اسپری در جذب ترکیبات دی‌اکسید کربن را سنجید. در این مطالعه همچنین تأثیر تعداد نازل بررسی و مشاهده شد در صورت استفاده از یک نازل به‌تنهایی، نرخ جداسازی قابل توجهی به همراه ندارد، ولی استفاده از سه نازل به‌صورت سری، باعث افزایش واکنش فعال سطحی و انتقال جرم و درنهایت باعث افزایش کارایی حذف شد. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه Koller و همکاران همخوانی دارد [۱۵].

مطالعه Kuntz و همکاران در سال ۲۰۱۱ نشان داد افزایش تعداد قطرات مایع اولین عاملی است که اندکی در افزایش عملکرد انتقال جرم نقش دارد. افزایش تعداد قطرات که توسط نازل تولید می‌شوند، باعث افزایش سطح برای انتقال جرم می‌شود. نتایج مطالعه حاضر با نتایج Kuntz و همکاران یکسان است [۱۶].

Qing و همکاران در سال ۲۰۱۱ از یک برج اسپری برای حذف دی‌اکسید کربن استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد افزایش تراکم ورودی دی‌اکسید کربن از ۰/۰۵ به ۰/۱۵ درصد، اندکی باعث کاهش کارایی حذف دی‌اکسید کربن در برج اسپری می‌شود. نتایج این مطالعه با مطالعه حاضر یکسان است [۱۷].

با توجه به اینکه مکانیسم اصلی حذف گازها، جذب است، نسبت مولی ماده جاذب (که در اینجا آب به همراه اسید سولفوریک است) به ماده جذب‌شونده (که در اینجا گاز آمونیاک است) اهمیت دارد [۸]. با ثابت‌بودن گذر حجمی مایع جاذب (۵ لیتر بر دقیقه)، افزایش تراکم ورودی باعث کاهش نسبت مولی ماده جاذب به ماده جذب‌شونده و درنهایت باعث کاهش کارایی حذف می‌شود. 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، با وجود یک، دو و سه نازل ۲۰ میکرونی، کارایی حذف به ترتیب ۷/۰۱، ۵/۳ و ۳/۲۱ درصد بیشتر کاهش یافت.

ازجمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به این مورد اشاره نمود که کارایی بهینه پالایش در شرایط بهینه (ازجمله استفاده از سه نازل در شرایطی که از فشار عملیاتی بیشینه استفاده گردد) چنانچه از تراکم‌های چند برابر حدود آستانه استفاده گردد، کاهش می‌یابد که دلیل آن کاهش نسبت مولی ماده جاذب (در این پژوهش اسیدسولفوریک رقیق) به ماده حذب‌شده (در این پژوهش آمونیک) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی این پژوهش نشان داد افزایش تعداد نازل‌ها (از یک به سه) و همچنین افزایش فشار مایع شست‌وشودهنده که در این پژوهش از محلول رقیق‌شده اسید سولفوریک ۰/۰۱ مولار استفاده شد از ۹ بار به ۱۲ بار، باعث افزایش کارایی حذف گاز آمونیاک از جریان هوا توسط برج اسپری می‌شود. همچنین با افزایش تراکم گاز آمونیاک ورودی به برج اسپری، کارایی حذف گاز آمونیاک کاهش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه آقای علیرضا رحمتی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی می‌باشد. پایان‌نامه فوق بخشی از یک طرح پژوهشی است که به تصویب معاونت پژوهشی دانشگاه رسیده است. بدین‌وسیله از دانشکده بهداشت و معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

در این پژوهش، هیچ‌گونه تضاد منافع و تعارضی وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش، کلیه ملاحظلات اخلاقی مورد نظر دانشگاه علوم پزشکی و همچنین مقررات ایمنی و بهداشتی و ایمنی کار با مواد شیمیایی رعایت گردیده است.

سهم نویسندگان

محمد باقر عبدالهی: گردآوری و تهیه نسخه اصلی مقاله
محمد جواد جعفری: استاد راهنما در تهیه کل پایان‌نامه

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.1]

دانشجو

داود پناهی: استاد مشاور در پایان‌نامه دانشجو

نفیسه عظیمی: همکاری در تهیه نسخه نهایی مقاله

علیرضا رحمتی: دانشجو و مجری پایان‌نامه

حمایت مالی

این پژوهش بخشی از یک طرح تحقیقاتی جامع می‌باشد و لذا تمام تجهیزات در دانشکده موجود بوده است.

REFERENCES

1. US Department of Health and Human Services. NIOSH pocket guide to chemical hazards. Niosh pocket guide to chemical hazards. Washington, D.C: US Department of Health and Human Services; 1997.
2. Phillips J. Control and pollution prevention options for ammonia emissions. Vienna, VA: Vigyan, Inc; 1995.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Washington, D.C.: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 1995.
4. Occupational Safety and Health Administration. Sampling and analytical methods. Washington, D.C: United States Department of Labor september; 2014.
5. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Industrial ventilation: a manual of recommended practice for design. Washington, D.C: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2013.
6. Zhang Y. Indoor air quality engineering. Florida: CRC Press; 2004.
7. Theodore L. Air pollution control equipment calculations. New Jersey: John Wiley & Sons; 2008.
8. Gorbanishahna F. Design and application of scrubber for air pollution control. 1st ed. Tehran: Fanavaran Press; 2013. [Persian]
9. Epperly W, Broderick R, Peter-Hoblyn J, Epperly W, Broderick R, Peter-Hoblyn J. Control of nitrogen oxides emissions from stationary sources. Proceedings of the American Power Conference, Chicago, USA; 1988.
10. Wang LK, Pereira NC, Hung YT. Air pollution control engineering. Totowa, NJ: Humana Press; 2004.
11. Bahrami A. Collection of air pollutants. Tehran: Fanavaran Press; 2010. P. 200. [Persian]
12. Bozorgi Y, Keshavarz P, Taheri M, Fathikaljahi J. Simulation of a spray scrubber performance with Eulerian/Lagrangian approach in the aerosol removing process. *J Hazard Mater*. 2006;**137**(1):509-17. PMID: 16600492 DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.02.037
13. Burton DJ. Current topics in industrial ventilation. *Appl Indust Hyg*. 1988;**3**(8):F20-1. DOI: 10.1080/08828032.1988.10390286
14. Aguilar M, Abaigar A, Merino P, Estellés F, Calvet S. Effect of water scrubbing on ammonia emissions from a gestating sows building in the south of Europe. Proceedings of the 14th International Conference of the FAO ESCORENA Network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, Lisbon, Portugal; 2010.
15. Koller M, Wappel D, Trofaier N, Gronald G. Test results of CO2 spray scrubbing with Monoethanolamine. *Energy Proc*. 2011;**4**:1777-82. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.02.053
16. Kuntz J, Aroonwilas A. Mass-transfer efficiency of a spray column for CO2 capture by MEA. *Energy Proc*. 2009; **1**(1):205-9. DOI: 10.1016/j.egypro.2009.01.029
17. 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 Proc*. 2011;**4**:519-24. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.01.083

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.52547/johe.7.2.1]