Journal of Health

Vol. 12, No. 1, Spring 2021, Pages 94-104

Evaluation of Physical Parameters Change Using 2500 Micron Nozzle and Acidic Water Solution on Ammonia Removal in a Spray Tower

Abdollahi M.B[1], Jafari M.J[2], Panahi D[2], Rahmati A.R*[3]

1. Department of occupational health and work safety, shoushtar faculty of medical sciences, shoushtar, iran
2. Department of occupational health and work safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. MSc, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**** Corresponding author.*** Tel: +986162285931, Fax: +982122432037, E-mail: alrahmati@aol.com

Received: Dec 29, 2019 Accepted: Jul 21, 2020

ABSTRACT

Background & objectives: Air pollution is one of the most important environmental problems that have become a serious threat to human health in recent years with the development of societies and industrialization. Ammonia is one of the most important pollutants. The spray tower is a wet scrubber used for ammonia purification, so the present study was conducted to investigate the change of physical parameters using a 2500µm nozzle and acidic water solution on ammonia removal in a spray tower under standard conditions.

Methods: In the present study, the amount of ammonia gas removal was investigated by changing parameters such as air pressure, pollutant density and number of nozzles, using a washing tower at two inlet and outlet locations and a total of 162 test times with three replicates. Data were analyzed by One-Way ANOVA in SPSS-21 software.

Results: The results showed that increasing the number of nozzles and the spray pressure of the spray tower significantly increased (p<0.05) and increasing the inlet load significantly decreased the efficiency (p<0.05) of ammonia gas removal efficiency.

Conclusion: By increasing the number of nozzles, the pressure of the dilute sulfuric acid solution and reducing the density of the pollutant gas, good efficiency can be achieved in removing ammonia gas from the air stream using spray tower.

Keywords: Spray Tower; Number of Nozzle; Removal Efficiency; Washer Fluid Pressure

بررسی تغییر پارامترهای فیزیکی با استفاده از نازل ۲۵۰۰ میکرونی و محلول آب اسیدی بر حذف آمونیاک در یک برج اسپری

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

۱. گروه بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده علوم پزشکی شوشتر، شوشتر، ایران
۲. گروه بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۶۱ ۶۲۲۸۵۹۳۱ فکس: ۰۲۱۲۲۴۳۲۰۳۷ ایمیل: alrahmati@aol.com

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی هوا به عنوان یکی از مشکلات بسیار مهم زیست محیطی بوده که در سال‌های اخیر با توسعه جوامع و صنعتی‌شدن به خطری جدی برای سلامت بشر تبدیل شده است و آمونیاک بعنوان یکی از مهمترین آلاینده‌های هوا مطرح است. برج اسپری نوعی شستشودهنده تر است که برای پالایش آمونیاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا مطالعه حاضر برای بررسی تغییر پارامترهای فیزیکی با استفاده از نازل ۲۵۰۰ میکرونی و محلول آب اسیدی بر حذف آمونیاک در یک برج اسپری در شرایط استاندارد انجام پذیرفت.

روش کار: در مطالعه حاضر، با استفاده از تغییر پارامترهایی نظیر فشار هوا، تراکم آلاینده و تعداد نازل و با استفاده از یک برج شستشودهنده و سه بار تکرار و در دو محل ورودی و خروجی و مجموع ۱۶۲ بار آزمایش، میزان حذف گاز آمونیاک مورد بررسی قرار گرفت. داده ها از طریق ANOVA یکطرفه و نرم افزار SPSS-21 تجزیه و تحلیل گردیدند.

یافته ها: نتایج این پژوهش نشان داد افزایش تعداد نازل‌ها و فشار مایع شستشو دهنده برج اسپری سبب افزایش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) و افزایش بار ورودی به سیستم سبب کاهش کارایی معنی دار ($p<۰/۰۵$) درصد کارآیی حذف گاز آمونیاک از هوا توسط برج اسپری گردید.

نتیجه گیری: با افزایش تعداد نازل‌ها، فشار محلول رقیق اسیدسولفوریک و کاهش تراکم گاز آلاینده می‌توان به کارایی‌های مناسبی در حذف گاز آمونیاک از جریان هوا توسط برج اسپری دست یافت.

واژه های کلیدی: برج پاشنده، تعداد نازل، کارایی حذف، فشار مایع شستشو دهنده

دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۸ **پذیرش:** ۱۳۹۹/٤/۲۱

مقدمه

آلودگی هوا به عنوان یکی از مشکلات بسیار مهم زیست محیطی است که در سال‌های اخیر با توسعه جوامع و صنعتی‌شدن به خطری جدی برای سلامت بشر تبدیل شده است. کیفیت هوای محیط کار از طریق اندازه‌گیری و ارزیابی آلودگی‌های هوابرد سنجیده می‌شود. این آلاینده‌ها ممکن است آلاینده‌های بیولوژیکی[1]، گازها، مواد آلرژن[2]، بوها و سایر عوامل استرس‌زا باشند که باعث کاهش عملکرد، ناراحتی و ملاحظلات سلامتی و بهداشتی شوند (۱).

یکی از آلاینده‌های موجود در هوا گاز آمونیاک می‌باشد، این گاز با فرمول شیمیایی (NH_3)، هم دارای

[1] Biologic
[2] Allergen

تولید مصنوعی بوده و هم به صورت خودبخودی در طبیعت وجود دارد (۲). مواجهه حاد با بخارات آمونیاک در مخاط بدن، سبب ایجاد آمونیوم هیدروکساید، که یک محلول قلیایی است می‌شود. مواجهه با آمونیوم هیدروکساید ممکن است سبب خورگی مخاط چشم، مجاری تنفسی، ریه، مسیر گوارش و پوست در نتیجه PH بازی و خاصیت مرطوب سازی آمونیاک و تحریک سیستم تحتانی و فوقانی تنفسی و ادم شود. تماس با گاز فشرده آمونیاک باعث نکروز قسمت‌های انتهایی اندام می‌شود. مواجهات تکراری با آمونیاک می‌تواند سبب تحریکات مزمن مجاری تنفسی، سرفه مزمن، آسم و فیبروز ریوی، درماتیت شود (۳). تولید این گاز در آمریکا در سال ۱۹۹۰ به ۲۵ میلیون تن رسیده است (٤) که نشان از مصرف بالای این گاز و طبیعتاً افزایش احتمال مواجهه بیشتر را دارا می‌باشد. لذا حذف این گاز و پیشگیری از مواجهه افراد با این گاز امری ضروری محسوب می‌گردد.

روش‌های مختلفی برای حذف گاز آمونیاک وجود دارد که از جمله آنها شستشودهنده‌های تر می‌باشند. شستشودهنده‌های تر[1] در گروه پالایشگرها قرار می‌گیرند و یکی از از اجزای سیستم تهویه موضعی[2] صنعتی می‌باشند (۵). شستشودهنده‌های تر جزو وسایل کنترل‌کننده آلودگی هوا طبقه بندی می‌شوند که جهت پالایش و جداسازی گازها از جریان هوای خروجی به کار برده می‌شوند. شستشودهنده‌های تر به چهار گروه برج‌های اسپری[3]، ستون‌های پر شده[4]، سیستم‌های مکانیکی کمکی اسکرابر و اتمیزه‌کننده‌های گاز اسکرابرها تقسیم می‌شوند (۶-۹).

برج اسپری نوع دیگری از شستشودهنده‌های تر می‌باشد که جهت پالایش آمونیاک به کار می‌رود (۱۳). 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 طراحی برج اسپری مهمترین پارامترهایی که مورد توجه قرار می‌گیرد شامل: ارتفاع، قطر برج، نوع نازل‌ها، فشار آب و... می‌باشند (۱۱). اولین مکانیسم جمع‌آوری آلاینده‌های گازی در برج‌های اسپری جذب می‌باشد به همین دلیل pH مناسب مایع دارای اهمیت است. تا حدی هم انتشار[5] برای انتقال آلاینده به سطح قطرات آب نقش دارد. قطرات با مکانیسم برخورد[6] می‌توانند ذرات را جمع‌آوری کنند ولی چون سرعت نسبی بین گاز و مایع کم است، بنابراین برخورد ناچیز است (۷).

استفاده از شستشودهنده‌های تر جهت حذف آمونیاک دارای مزایا و معایبی هستند. این روش‌ها، ساده بوده و خیلی تحت تاثیر دما و pH گاز ورودی نیستند. در شستشودهنده‌های تر می‌توان از روش‌های شیمیایی توأم با روش‌های فیزیکی جهت کنترل آلودگی استفاده کرد. کارایی این روش‌ها تحت تاثیر آلاینده‌های سمی نیستند. از معایب این روش‌ها می‌توان به اشباع شدن مایع جاذب به آمونیاک که نیاز به بازیابی مایع جاذب و پساب تولیدشده دارد اشاره کرد. به همین دلیل از روش‌های شیمیایی جهت حذف آمونیاک در شستشودهنده‌های تر استفاده می‌شود (۱۲،۱۳). مایعی که به عنوان مایع شستشودهنده انتخاب می‌شود باید دارای گرانروی پایینی باشد که طغیان و افت فشار سیستم را در حداقل ممکن نگه دارد. بعلاوه مایع شستشودهنده نباید سمی و آتش‌گیر باشد. آب معمول‌ترین مایع شستشودهنده برای مواد غیرآلی نظیر فسفر، سولفور و اکسیدهای نیتروژن است (١٤).

معمول‌ترین برج اسپری، نوع جریان مخالف است. در این سیستم جریان گاز از قسمت پایین شستشودهنده وارد برج می‌شود و به صورت عمودی رو به بالا

[1] Wet Scrubber
[2] Local Exhaust Ventilation
[3] Spray Tower
[4] Packed Tower
[5] Deffusion
[6] Impaction

حرکت می‌کند. مایع شستشودهنده توسط نازل‌ها به سمت پایین توزیع می‌شود. همچنین برج اسپری جریان مخالف در میان سایر برج‌های اسپری بالاترین کارایی حذف را دارد (۱۵). سادگی طرح، ارزانی، حذف همزمان گاز و بخارات از جریان هوا، باعث کاربرد فراوان این نوع برج گردیده است (۷).

با توجه به مطالب فوق الذکر در خصوص گاز آمونیاک و سمیت آن و در نتیجه لزوم حذف این ماده از هوای محیط کار و قابلیت برج اسپری در حذف این ماده از هوای محیط کاری، این مطالعه با هدف بررسی تغییرات کارایی برج اسپری در حذف گاز آمونیاک با توجه به تغییرات فیزیکی نازل‌ها انجام پذیرفت.

روش کار

در پژوهش حاضر برای بررسی تاثیر استفاده از ترکیب آب اسیدی (محلول رقیق‌شده اسیدسولفوریک ۰/۰۱ مولار) در یک برج اسپری در حذف گاز آمونیاک از یک برج اسپری با مشخصات کلی زیر استفاده گردید (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات برج اسپری

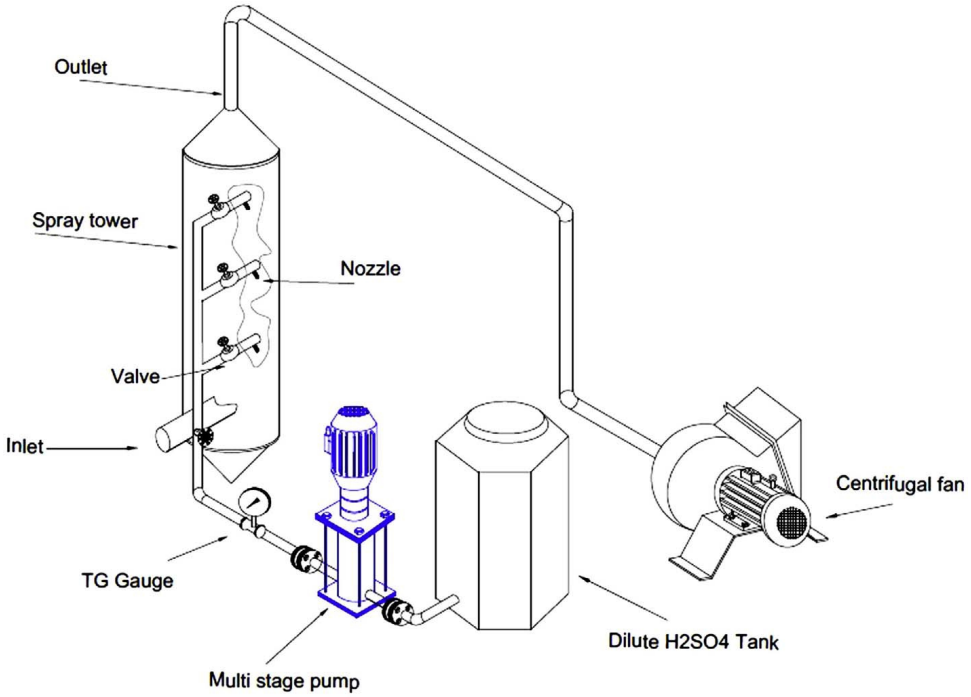
متغیر	مقدار
گذر حجمی جریان هوا (لیتر بر دقیقه)	۳۷۳۷/۸۲
گذر حجمی مایع (لیتر بر دقیقه)	۵
نسبت گاز به مایع	۷٤۷/۵۶
سرعت جریان هوا (متر بر ثانیه)	۱/۲۷
قطر (متر)	۰/۲۵
سطح مقطع (متر مربع)	۰/۰٤۹
ارتفاع برج (متر)	۱/۳۸
زمان ماند (ثانیه)	۱/۰۹۵

ACGIH در خصوص سرعت جریان هوای مورد استفاده در برج‌های اسپری، توصیه کرده این سرعت حدود ۳۰۰-۲۰۰ فوت بر دقیقه در نظر گرفته شود (۳۹). لذا بر اساس این استاندارد، میانگین سرعت هوا در این پژوهش ۲۵۰ فوت بر دقیقه لحاظ گردید. همچنین با توجه به قطر ۰/۸۲ فوتی برج و سرعت مذکور، میزان گذرحجمی ۱۳۲ فوت بر دقیقه محاسبه گردید. برج اسپری مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱ آورده شده است.

شکل ۱. برج اسپری مورد مطالعه

هواکش مورد استفاده در این پژوهش مدل HVDLT-MK2 بود که میزان گذرحجمی و همچنین فشار معادل آن توسط فشارسنج مدل ٥٠٤ متصل به ونتوری نوع H و استفاده از نمودارهای مربوطه، قرائت گردید. از نازل ۲۵۰۰ میکرون در ۳ فشار مختلف (۹، ۱۰ و ۱۲ بار) جهت پاشش مایع شستشو استفاده گردید. برای قرائت تراکم‌های گاز آمونیاک در ورودی و خروجی برج اسپری، از دستگاه Phocheck مدل Tiger استفاده شد. این دستگاه قبل از استفاده، در دامنه تراکم ۰ تا ۱۲۰ppm، توسط نمونه‌های استاندارد ساخته شده در کیسه تدلار، کالیبره شد.

شکل ۲ نمای شماتیک کل از جمله الکتروپمپ و سیستم لوله‌کشی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمای کلی آزمایش

در این پژوهش برای تامین گاز آمونیاک مورد نیاز از سیلندر مخصوص ٤٠ کیلوگرمی گاز آمونیاک و رگولاتور متصل به آن استفاده گردید که با تنظیم فلومتر، گاز آمونیاک در تراکم‌های حدود ٢٤/١، ۵۲ و ۶۸ ppm به برج اسپری تزریق شد. نازل‌ها در سه حالت یک، دو و سه تایی مورد استفاده قرار گرفته و در مجموع تعداد ۱۶۲ آزمایش (۳ تراکم در ۳ محل قرارگیری نازل در ۳ فشار مایع در ۳ بار تکرار اندازه‌گیری در دو محل ورودی و خروجی برج) انجام پذیرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش آنالیز واریانس چندطرفه استفاده شد. سپس مقایسه‌های چندگانه با استفاده از آزمون توکی انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS-21 صورت گرفت.

یافته‌ها

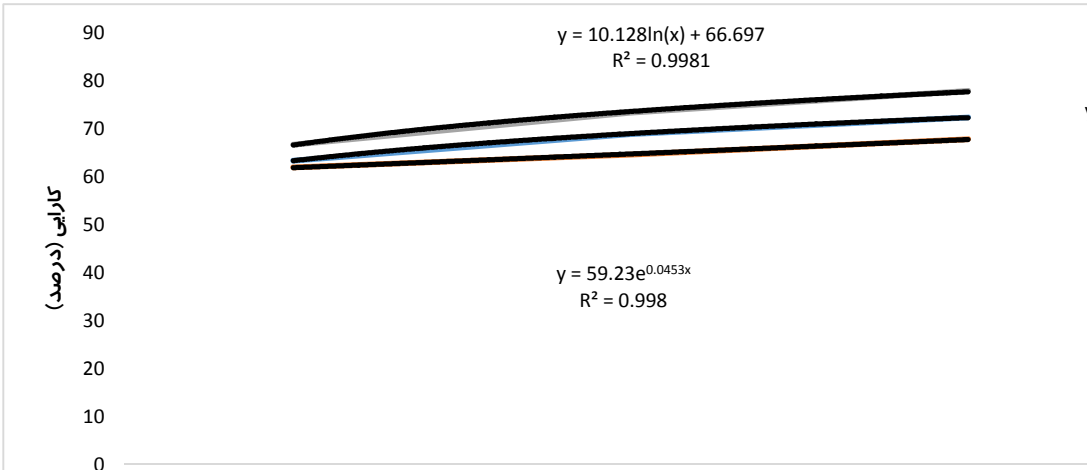
کارایی حذف گاز آمونیاک با یک نازل ۲۵۰۰ میکرونی و همراه اسید سولفوریک ۰/۰۱ مولار بعنوان مایع شستشودهنده، در تراکم‌های ورودی ٢٤-۶۸ ppm گاز آمونیاک در فشارهای آب مختلف در جدول ۲ و نمودار ۱ ارائه شده است.

با توجه به نتایج، در هر میانگین تراکم ورودی، کارایی حذف گاز آمونیاک با افزایش فشار آب افزایش و با افزایش تراکم ورودی آمونیاک کاهش می‌یابد (افزایش کارایی در تراکم‌های ٢٤/١ppm و ۵۲ بصورت لگاریتمی و در غلظت‌های ۶۸ ppm به صورت نمایی افزایش می‌یابد). بیشترین کارایی حذف (۷۸٪) در فشار ۱۲ بار و میانگین تراکم ورودی ٢٤/١ ppm می‌باشد. کمترین کارایی (۶۲/۰۵٪) در میانگین تراکم ورودی ۶۸ ppm و فشار ۹ بار بدست آمد.

کارایی حذف گاز آمونیاک با دو نازل ۲۵۰۰ میکرونی در جدول ۳ و نمودار ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در هر میانگین تراکم ورودی، کارایی حذف گاز آمونیاک با افزایش فشار آب، افزایش و با افزایش تراکم ورودی آمونیاک کاهش می‌یابد (افزایش کارایی در تراکم ٢٤/١ ppm بصورت خطی و در تراکم‌های ۵۲ ppm و ۶۸ به صورت نمایی افزایش می‌یابد).

جدول ۲. کارایی حذف گاز آمونیاک با یک نازل ۲۵۰۰ میکرونی و مایع شستشودهنده آب و اسید سولفوریک

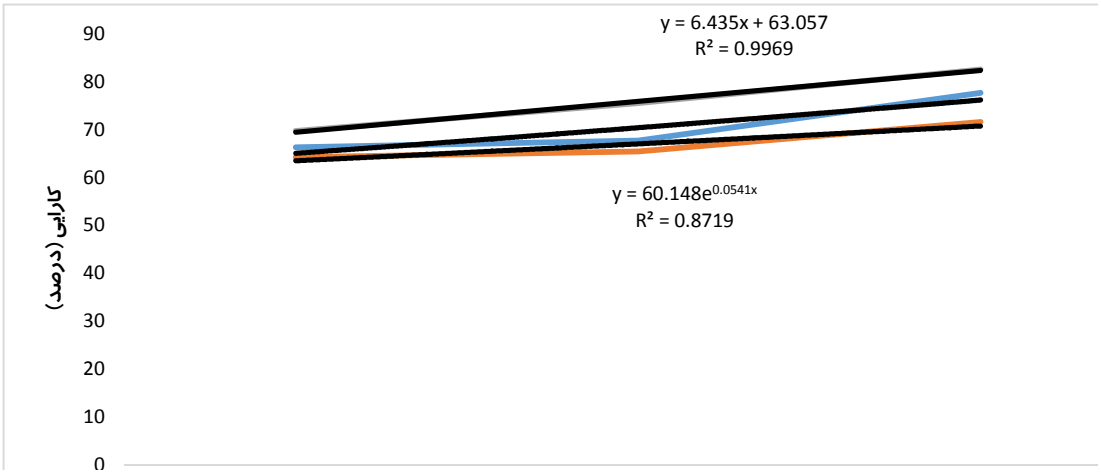
میانگین تراکم ورودی (ppm)	فشار آب (bar)	میانگین تراکم خروجی (ppm)	کارایی حذف (٪)
	۹	۸	۶۶/۸
۲٤/۱	۱۰	۶/۳	۷۳/٤٤
	۱۲	۵/۳	۷۸
	۹	۱۹	۶۳/٤۶
۵۲	۱۰	۱۶/۱	۶۹
	۱۲	۱٤/۳	۷۲/۵
	۹	۲۵/۸	۶۲/۰۵
۶۸	۱۰	۲٤	۶٤/۷
	۱۲	۲۱/۸	۶۷/۹٤



نمودار ۱. کارآیی حذف گاز آمونیاک نسبت به فشار آب مایع شستشودهنده با یک نازل ۲۵۰۰ میکرونی و مایع شستشودهنده آب و اسید سولفوریک

جدول ۳. کارایی حذف گاز آمونیاک با دو نازل ۲۵۰۰ میکرونی و مایع شستشودهنده آب و اسید سولفوریک

میانگین تراکم ورودی (ppm)	فشار آب (bar)	میانگین تراکم خروجی (ppm)	کارایی حذف (٪)
	۹	۷/۳	۶۹/۷
۲٤/۱	۱۰	۵/۹	۷۵/۵۱
	۱۲	٤/۲	۸۲/۵۷
	۹	۱۷/۵	۶۶/۳٤
۵۲	۱۰	۱۶/۸	۶۷/۷
	۱۲	۱۱/۶	۷۷/۶۹
	۹	۲٤/٤	۶٤/۲۶
۶۸	۱۰	۲۳/۵	۶۵/٤٤
	۱۲	۱۹/۳	۷۱/۶۱



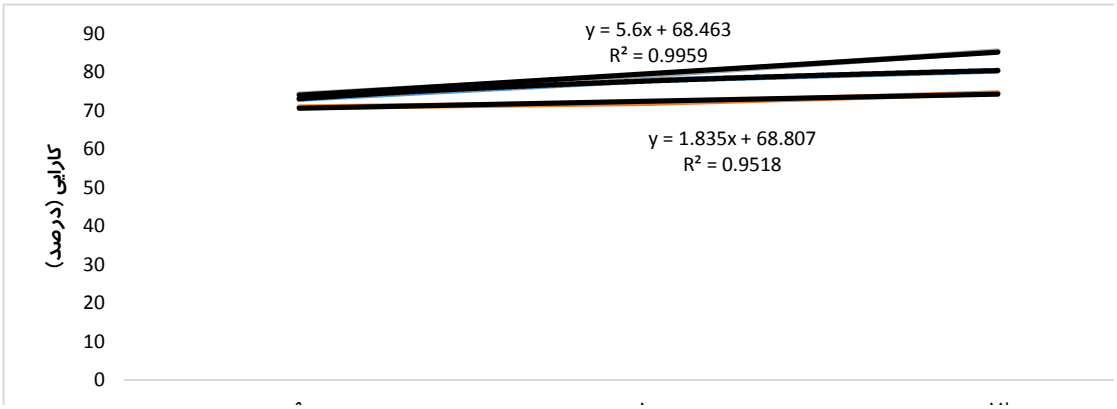
نمودار ۲. کارآیی حذف گاز آمونیاک نسبت به فشار آب مایع شستشودهنده با دو نازل ۲۵۰۰ میکرونی و مایع شستشودهنده آب و اسید سولفوریک

بیشترین کارایی حذف (۸۲/۵۷٪) در فشار ۱۲ بار و میانگین تراکم ورودی ppm ۲۴/۱ می‌باشد. کمترین کارایی (۶۴/۲۶٪) در میانگین تراکم ورودی ppm ۶۸ و فشار ۹ بار بدست آمد. کارایی حذف گاز آمونیاک با سه نازل ۲۵۰۰ میکرونی نیز در جدول ٤ و نمودار ۳ ارائه شده است. بر پایه نتایج، در هر میانگین تراکم ورودی کارایی حذف گاز آمونیاک با افزایش فشار آب افزایش، و با افزایش تراکم ورودی آمونیاک کاهش می‌یابد(افزایش کارایی در غلظت‌های ppm ۲۴/۱ و ۶۸ بصورت خطی و در تراکم ppm ۵۲ به صورت لگاریتمی افزایش می‌یابد).

بیشترین کارایی حذف (۸۵/۴۷٪) در فشار ۱۲ بار و میانگین تراکم ورودی ppm ۲۴/۱ می‌باشد. کمترین کارایی (۷۰/۸۸٪) در میانگین تراکم ورودی ppm ۶۸ و فشار ۹ بار بدست آمد.

جدول ٤. کارایی حذف گاز آمونیاک با سه نازل ۲۵۰۰ میکرونی و مایع شستشودهنده آب و اسید سولفوریک

میانگین تراکم ورودی (ppm)	فشار آب (bar)	میانگین تراکم خروجی (ppm)	کارایی حذف (٪)
۲٤/۱	۹	۶/۱	۷٤/۲۷
	۱۰	۵	۷۹/۲۵
	۱۲	۳/۵	۸۵/٤۷
۵۲	۹	۱٤	۷۳/۰۷
	۱۰	۱۱/۵	۷۷/۸۸
	۱۲	۱۰/۲	۸۰/۳۸
۶۸	۹	۱۹/۸	۷۰/۸۸
	۱۰	۱۹	۷۲
	۱۲	۱۷/۳	۷٤/۵۵



نمودار ۳. کارآیی حذف گاز آمونیاک نسبت به فشار آب مایع شستشودهنده با سه نازل ۲۵۰۰ میکرونی و مایع شستشودهنده آب و اسید سولفوریک

بر پایه آزمون آماری ANOVA یکطرفه، در صورت استفاده از آب به‌همراه اسید سولفوریک بعنوان مایع شستشودهنده در برج اسپری، افزایش تعداد نازل‌ها سبب افزایش معنی‌دار (p=۰/۰۲۱) درصد کارآیی 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=۰/۰۵۸) کارآیی حذف آمونیاک از جریان هوا توسط برج اسپری می‌شود. در جدول ۵ تاثیر متغیرهای مختلف بر کارایی حذف گاز آمونیاک با مایع شستشودهنده آب اسیدی آورده شده است.

جدول ۵. تاثیر متغیرهای مختلف بر کارایی حذف گاز آمونیاک با مایع شستشودهنده آب و اسید سولفوریک با آزمون آماری ANOVA یکطرفه

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

بحث و نتیجه گیری

پژوهش حاضر با تغییر پارامترهای فیزیکی با استفاده از نازل ۲۵۰۰ میکرونی و محلول آب اسیدی با هدف حذف آمونیاک از هوای خروجی برج اسپری صورت پذیرفت که در آن از تغییر فشار مایع و میانگین تراکم ورودی، میانگین تراکم خروجی تعیین گردید.

فشار مایع مورد استفاده در برج اسپری که بعنوان شستشودهنده شناخته می‌شود، نقشی بسیار حیاتی ایفا می‌نماید، چرا که در کلیه شستشودهنده‌های تر با افزایش مایع و فشار مایع تزریقی به برج، کارایی جداسازی آلاینده افزایش می‌یابد (۱۶).

با نصب یک نازل ۲۵۰۰ میکرونی در برج اسپری، با افزایش مایع شستشودهنده آب به همراه اسیدسولفوریک از ۹ بار به ۱۲ بار، کارایی حذف گاز آمونیاک در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و ۶۸ ppm به ترتیب ۱۱/۲، ۹/۰۴ و ۵/۹ درصد افزایش یافت. این افزایش کارایی می‌تواند ناشی از واکنش شیمیایی اسیدسولفوریک با گاز آمونیاک و خروج قطرات مایع شستشودهنده در این نوع نازل به دلیل پایین‌تربودن مقاومت اورفیس باشد.

نصب دو نازل ۲۵۰۰ میکرونی در برج اسپری و افزایش فشار مایع جاذب آب‌اسیدی از ۹ بار به ۱۲ بار، کارایی حذف گاز آمونیاک در تراکم‌های ۲۴/۱، ۵۲ و ۶۸ ppm به ترتیب ۱۲/۸۷، ۱۱/۳۵ و ۶/۳۵ درصد افزایش یافت. واکنش شیمیایی اسیدسولفوریک با گاز آمونیاک و خروج قطرات مایع جاذب از دو نازل با سرعت بیشتر به دلیل پایین‌تربودن مقاومت اورفیس این نوع نازل‌ها علت افزایش کارایی است.

هنگامی‌که سه نازل ۲۵۰۰ میکرونی در برج اسپری نصب شده بود، افزایش فشار مایع شستشودهنده آب به همراه اسید سولفوریک ۰/۱ مولار از ۹ بار به ۱۲ بار، کارایی حذف گاز آمونیاک در تراکم‌های سه‌گانه را به ترتیب ۱۱/۲، ۷/۳۱ و ۳/۶۷ درصد افزایش یافت. تغییرات افزایش کارایی را می‌توان ناشی از واکنش شیمیایی مایع جاذب با ماده جذب‌شونده و خروج قطرات مایع شستشودهنده با سرعت بیشتر از سه نازل به‌طور هم‌زمان تفسیر کرد.

در حالتی که برج دارای سه نازل باشد، کمترین کارآیی حذف معادل ۳۱/۳۲ درصد مربوط به حالتی است که در برج یک نازل ۲۵۰۰ میکرونی نصب‌شده و فشار مایع ۱۲ بار و تراکم گاز تزریق‌شده به برج مساوی ppm ۶۸ باشد.

مطالعه انجام شده توسط کولر و همکاران نشان داد، در صورت ثابت ماندن نسبت مایع به گاز (L/G) در مقدار ۱۰ لیتر بر متر مکعب جریان گاز، در صورتی که قطر قطرات بیش از ۱۰۰۰ میکرومتر باشد، کارایی حذف ۲۵ درصد و در صورتی که قطر قطرات کمتر از ۸۰۰ میکرومتر باشد کارایی حذف به ٤٠ درصد می‌رسد. همچنین با بررسی انواع نازل‌ها (نازل‌های درشت و اندازه قطرات مختلف) مشاهده شد نازل‌های درشت در حالی‌که نسبت مایع به گاز بالایی، در حدود ۱۰/۵ تا ۱۳ لیتر بر مترمکعب دارند، جذب پایینی در حد ۲۵ درصد دارند. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه کولر و همکاران مشابه است (۱۷).

افزایش تعداد نازل ۲۵۰۰ میکرونی از یک عدد به سه، کارایی حذف گاز آمونیاک با مایع شستشودهنده آب به همراه اسید سولفوریک در تراکم‌های ۲٤/۱، ۵۲ و ppm ۶۸ به ترتیب از ۷۸ به ۸۵/٤۷، ۷۲/۵ به ۸۰/۳۸ و ۶۷/۹٤ به ۷٤/۵۵ درصد رسید. بالا رفتن کارایی حذف در این نوع نازل وجود آب اسیدی می‌باشد که علاوه بر افزایش تعداد قطرات، فرایند جذب گاز آمونیاک توسط مایع شستشودهنده را تسهیل کرده است.

با توجه به آزمون آماری ANOVA یکطرفه، افزایش تعداد نازل‌ها سبب افزایش معنی‌دار (p=0.021) درصد کارآیی حذف گاز آمونیاک از هوا توسط برج اسپری می‌شود. نتایج مطالعه کولر و همکاران نشان داد افزایش گذر جریان مایع که از طریق افزایش تعداد نازل‌ها صورت گرفت باعث افزایش کارایی حذف می‌شود. نتایج مطالعه کولر و همکاران با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۱۷). مطالعه انجام شده توسط ابرت و همکاران نشان داد نازل‌ها نقش موثری در مصرف پایین آب در اسکرابر دارند. آنها در مطالعه خود از نازله‌هایی در دامنه مایع به گاز ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ لیتر بر مترمکعب استفاده نمودند که کارایی موثر و عالی با مصرف پایین آب به دست آمد. با قراردادن دو نازل مخالف جهت عبور جریان گاز، کارایی برج اسپری اندکی بهبود یافت. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه ابرت و همکاران مشابه است (۱۸).

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 (۱۹).

در مطالعه حاضر، گذر حجمی جریان هوا ۳۷۳۷/۸۲ لیتر بر دقیقه بود که با افزایش تراکم ورودی از ppm ۲٤/۱ به ppm ۶۸ در فشار ۱۲ بار، با وجود یک، دو و سه نازل ۲۵۰۰ میکرونی در همین فشار عملیاتی کارایی حذف به ترتیب ۵۲/۹۹، ٤۷/۳۷ و ٤۵/٤٤ درصد کاهش یافت. کاهش کارایی جذب می‌تواند ناشی از کاهش نسبت مولی مایع شستشودهنده به گاز آمونیاک باشد.

در هنگام استفاده از اسید سولفوریک ۰/۰۱ مولار بعنوان مایع شستشودهنده، با افزایش تراکم ورودی از ppm ۲٤/۱ به ppm ۶۸ در فشار ۱۲ بار، با وجود یک، دو و سه نازل ۲۵۰۰ میکرون کارایی حذف به ترتیب ۱۰/۰۶، ۱۰/۹۶ و ۱۰/۹۲ درصد کاهش یافت.

مطالعه انجام شده توسط کینگ و همکاران نشان داد، با ثابت نگه‌داشتن تمامی پارامترها، افزایش تراکم ورودی CO_2 از ۵ به ۱۵ درصد حجمی باعث کاهش نسبت مولی اسکرابر (آمونیاک) به CO_2 از ۱۳/۷۸ به ٤/٥٩ درصد شده و در نتیجه کاهش کارایی حذف شده است. نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه کینگ و همکاران همخوانی دارد (۲۰).

در مطالعه ای که توسط جعفری و همکاران انجام پذیرفت، نتایج نشان داد اسپری آب اسیدی در فشارهای مختلف و با نازل‌های متفاوت می‌تواند به عنوان یک تکنولوژی بسیار موثر در حذف آمونیاک موجود در هوا مورد استفاده قرار گیرد (۲۱) که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی این پژوهش نشان داد افزایش تعداد نازل‌ها (از یک به سه) و همچنین افزایش فشار مایع شستشو که در این پژوهش از محلول رقیق شده اسیدسولفوریک ۰/۰۱ مولار استفاده گردید باعث افزایش کارایی حذف گاز آمونیاک از جریان هوا توسط برج اسپری می‌شود، همچنین افزایش تراکم گاز آمونیاک در ورودی برج اسپری سبب کاهش کارایی آن گردید.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان نامه علیرضا رحمتی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی است. پایان نامه فوق نیز بخشی از یک طرح پژوهشی با کد طرح ۱۳۶۸۳ است که در سال ۱۳۹٤ به تصویب معاونت پژوهشی دانشگاه رسیده است. بدین وسیله از دانشکده بهداشت و معاونت پژوهشی دانشگاه علوم‌پزشکی شهید بهشتی تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1- Batcha MFM, Yih LD, Raghavan VR, editors. Design and development of liquid spray gas scrubber for odour control. Engineering Conference on Energy & Environment; Kuching, Sarawak, Malaysia. 2007.
2- 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.
3- Health UDo, Services H. Agency for Toxic Substances and Disease Registry-ATSDR. 1999.
4- Barsan ME. NIOSH pocket guide to chemical hazards. Department of Health and Human Services. 2007.
5- Burton DJ, editor Industrial Ventilation: A Self Study Companion to the ACGIH Ventilation Manual: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1986.
6- ACGIH HA, editor Industrial ventilation: a manual of recommended practice for design. USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2013.
7- Zhang Y. Indoor air quality engineering: CRC press; 2004.
8- Theodore L. Air pollution control equipment calculations: John Wiley & Sons; 2008.
9- Farshid SG. Design And Application Of Scrubber For Air Pollution Control. 1 ed. tehran: fanavaran; 2013.
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- Wang LK, Pereira NC, Hung YT. Air pollution control engineering: Springer; 2004.
12- Chungsiriporn J, Bunyakan C, Thepchai R, editors. Ammonia Removal from Emission Air in Packed Column. Proceedings of The Fourth PSU Engineering Conference; Songkhla, Thailand. 2005.

13- George CW. Effects of ammonium phosphate and sulfate on the pyrolysis and combustion of cellulose: Intermountain Forest & Range Experiment Station, Forest Service, US. 1971.
14- Jiuan YL. Evaluation of wet scrubber systems. Mechanical Engineering: Thesis Report. 2005.
15- Jafari MJ. Air Pollution Control Equipment. 1 ed: Fadak Isatis; 2010.
16- Cralley LJ, editor Industrial ventilation: A manual of recommended practice: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1974.
17- Koller M, Wappel D, Trofaier N, Gronald G. Test results of CO2 spray scrubbing with Monoethanolamine. Energy Procedia. 2011;4:1777-82.
18- Ebert F ,Büttner H. Recent investigations with nozzle scrubbers. Powder technology. 1996;86(1):31-6.
19- 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.
20- 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.