Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 6, Issue 1, Spring 2019, Pages: 8-16

Original Article

doi: 10.52547/johe.6.1.8

Design and Evaluation of Local Ventilation System and Packed Bed Scrubber to Control Hydrogen Sulfide Emitted from the Dryer Machines of a Cardboard Company

Hamid Reza Samadi[1], Farshid Ghorbani Shahna[2,*], Abdulrahman Bahrami[3]

[1] *MSc, Center of Excellence for Occupational Health, Health Science Research Center, Faculty of Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran*

[2] *Professor, Center of Excellence for Occupational Health, Health Science Research Center, Faculty of Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran*

[3] *Professor, Center of Excellence for Occupational Health, Health and Occupational Safety Science Research Center, Faculty of Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Farshid Ghorbani Shahna, Center of Excellence for Occupational Health, Health Science Research Center, Faculty of Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran. Email: fghorbani@umsha.ac.ir*

Received: 09/03/2018
Accepted: 25/05/2019

How to Cite this Article:
Samadi HR, Ghorbani Shahna F, Bahrami A. Design and Evaluation of Local Ventilation System and Packed Bed Scrubber to Control Hydrogen Sulfide Emitted from the Dryer Machines of a Cardboard Company. *J Occup Hyg Eng*. 2019; 6(1): 8-16. DOI: 10.52547/johe.6.1.8

Abstract

Background and Objective: The emissions, such as Methyl Mercaptan, Hydrogen Sulfide, Dimethyl sulfide and Dimethyl disulfide from dryer machines in cardboard industries cause odor annoyance and affect workers health and that of residents who live nearby. This study aimed to determine the effectiveness of local exhaust ventilation system and packed bed scrubber implemented in the control of hydrogen sulfide from dryer machines of a cardboard industry.

Materials and Methods: In this study, the concentrations of emitted pollutants into the breathing zone of workers and the workplace were evaluated regarding on and off settings of the ventilation system as well as before and after the utilization of scrubber for determining the effectiveness of the system designed to control the hydrogen sulfide gas.

Results: The efficiency of the local exhaust ventilation system was 55% in reducing individual exposure to the dryer units. The efficiency of the packed bed scrubber in removing hydrogen sulfide from the gas stream was obtained at 91.7%.

Conclusion: The results showed that the local exhaust ventilation system, along with the packed bed scrubber, has a good efficiency in terms of the control of hydrogen sulfide emitted from the dryers, and this system can be a good option for such industries.

Keywords: Hydrogen Sulfide; Industrial Ventilation System; Odor Annoyance; Packed Bed Scrubber

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.52547/johe.6.1.8]

Copyright © 2019 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.6.1.8

طراحی و ارزیابی سیستم تهویه موضعی و اسکرابر بستردار به‌منظور کنترل سولفید هیدروژن منتشرشده از دستگاه‌های خشک‌کن یک شرکت مقواسازی

حمیدرضا صمدی [۱]، فرشید قربانی شهنا [۲،*]، عبدالرحمن بهرامی [۳]

[۱] کارشناسی ارشد، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۲] استاد، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۳] استاد، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

* **نویسنده مسئول:** فرشید قربانی شهنا، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. ایمیل: fghorbani@umsha.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۳

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: انتشار آلاینده‌های متیل مرکاپتان، سولفید هیدروژن، دی‌متیل سولفید و دی‌متیل دی‌سولفید از دستگاه‌های خشک‌کن صنایع مقواسازی موجب آزار بویایی شده و اثرات بهداشتی بر افراد شاغل و ساکنان مجاور این صنایع دارد. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف تعیین اثربخشی سیستم تهویه صنعتی و اسکرابر بستردار اجراشده در کنترل سولفید هیدروژن منتشرشده در خطوط درایر یک صنعت مقواسازی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه غلظت آلاینده‌ها در منطقه تنفسی کارگران و محیط عمومی کارگاه در دو حالت فعال و غیرفعال‌بودن سیستم تهویه، قبل و بعد از اسکرابر جهت تعیین اثربخشی سیستم طراحی‌شده در کنترل گاز سولفید هیدروژن مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: بازده سیستم تهویه موضعی مکش در کاهش میزان مواجهه فردی در خطوط درایر معادل ۵۵ درصد بود. همچنین، بازده اسکرابر بستردار در حذف سولفید هیدروژن از جریان گاز در خروجی پالایشگر معادل ۹۱/۷ درصد به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که سیستم تهویه موضعی مکشی به همراه اسکرابر بستردار، بازدهی مناسبی در کنترل سولفید هیدروژن منتشرشده از خطوط درایر دارد و این سیستم می‌تواند گزینه مناسبی برای چنین صنایعی باشد.

واژگان کلیدی: آزار بویایی؛ اسکرابر بستردار؛ درایر؛ سولفید هیدروژن؛ سیستم تهویه صنعتی؛ مقواسازی

مقدمه

انتشار ترکیبات و مواد شیمیایی در محیط داخل صنایع بر سلامت کارگران تأثیر می‌گذارد و در طول زمان باعث بروز عوارض مختلف در آن‌ها می‌شود و اثرات متعددی بر اقتصاد یک کشور خواهد گذاشت. از سوی دیگر، انتشار مواد آلاینده بدون تصفیه در محیط زیست باعث تأثیر مواد آلاینده بر سلامت ساکنان اطراف کارخانه‌ها و اثرات مخرب بر اکوسیستم منطقه‌ای، گیاهان، فضای سبز، خاک و ساختمان‌ها خواهد شد [۱]. استفاده از این مواد ممکن است منجر به تولید گازها، ذرات، بخارات و یا میست‌هایی در محیط کار شود که مقدار آن‌ها نیز از حد مجاز فراتر رود و این امر علاوه بر اثرات بهداشتی متعددی که بر انسان‌ها بر جای می‌گذارد، تأثیرات زیست محیطی و اقتصادی آن، هزینه‌های سرسام‌آوری را در پی داشته باشد [۲].

در سال‌های اخیر، فعالیت‌های صنعتی از جمله فرایندهای هیدروژنه‌کردن، فعالیت‌های بی‌هوازی، عملیات حرارتی و غیره به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای باعث انتشار سولفید هیدروژن به محیط شده‌اند. سولفید هیدروژن علاوه بر بوی نامطبوعی که دارد، خطری جدی برای سلامتی انسان و محیط زیست محسوب می‌شود [۳]. مقدار قابل‌توجهی از این گاز در فرایندهای صنعتی از قبیل پالایشگاه نفت، تصفیه‌خانه فاضلاب، کارخانه کاغذ و خمیر آن، صنایع فرآوری مواد غذایی و تصفیه گاز (گاز ترش) و دیگر سوخت‌ها تولید می‌شود [۴].

یکی از مشکلات بهداشتی و زیست محیطی در صنایع

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.52547/johe.6.1.8]

مقواسازی، انتشار گازهای بدبوی TRS (Total Reduced Sulfur) (شامل: سولفید هیدروژن، متیل مرکاپتان، دی‌متیل سولفید و دی‌متیل دی‌سولفید) است [۵]. علت اصلی عوامل ایجادکننده خطرات بهداشتی در صنایع مقواسازی، سولفید هیدروژن، متیل مرکاپتان و مشتقات آن‌ها شناخته شده است [۶]. بوی متعفن این ترکیبات باعث آزار و رنجش افراد شاغل و ساکن مجاور این صنایع بوده و باعث می‌شود که بسیار مورد توجه قرار بگیرند [۲].

در صنایع مقواسازی پس از گذشتن خمیر از ماشین مقواسازی به سمت تونل خشک‌کن (درایر) فرستاده شده و در داخل این تونل، هوای گرم به خمیر مقوا برخورد نموده و باعث خشک‌شدن مقوا می‌شود. در این قسمت پس از خشک‌شدن خمیر، آلاینده‌های بدبو و در رأس آن‌ها سولفید هیدروژن وارد هوای محیط می‌گردند که به همراه ترکیبات مرکاپتان و مشتقات آن‌ها می‌توانند مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی را ایجاد نمایند [۷].

آلاینده‌های ذکرشده در صنایع مقواسازی به‌طور مصنوعی تولید می‌شوند و دارای حد آستانه بویایی پایینی هستند [۵]. انسان می‌تواند بوی تخم‌مرغ گندیده ناشی از سولفید هیدروژن را در غلظت ۰/۴ بخش در میلیارد تشخیص دهد [۳،۸]. براساس حدود مجاز مواجهه شغلی ایران (OEL: Occupational Exposure Limit) حد مجاز مواجهه با سولفید هیدروژن، ۱ بخش در میلیون و غلظت مواجهه کوتاه‌مدت با آن ۵ بخش در میلیون می‌باشد [۹]. این ماده می‌تواند موجب تحریک قسمت فوقانی تنفسی، اختلال سیستم اعصاب مرکزی و عوارض دیگر گردد [۱۰]. اگر سولفید هیدروژن منتشرشده در جریان هوا کنترل نشود، برای سلامتی افراد در معرض آن خطرناک خواهد بود [۳]. یکی از بهترین و مؤثرترین روش‌ها به‌منظور کنترل آلودگی هوا، جلوگیری از تولید آلاینده‌ها و کنترل این مواد در منبع تولید آن‌ها است [۱۱]. روش‌های مختلفی برای حذف سولفید هیدروژن وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به اسکرابر بستردار، بیوفیلتر و اسکرابر مه‌پاش اشاره کرد [۱۲] که در این میان، بهترین روش برای حذف سولفید هیدروژن از جریان گازی با راندمان بالا، استفاده از اسکرابر بستردار (ستون‌های پرشده) است [۳]. در پژوهش حاضر طی انجام این فرایند به دلیل استفاده از خطوط درایر جهت خشک‌کردن مقوا و کاغذ، میزان آلاینده‌های سولفید هیدروژن، متیل مرکاپتان و مشتقات آن به‌ویژه سولفید هیدروژن علاوه بر ایجاد ریسک مخاطرات بهداشتی، باعث شکایت ساکنان مجاور کارخانه به مراجع قضایی و اخذ تعهد از کارخانه متعهد جهت حل این مشکل در دوره زمانی شش ماهه شده بود. با توجه به مطالب ذکرشده و نیاز صنایع مقواسازی کشور به سیستمی جهت کاهش مواجهه کارگران با آلاینده‌های منتشرشده و پیشگیری از انتشار آن‌ها به محیط زیست، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثربخشی سیستم تهویه موضعی در جمع‌آوری و کنترل گاز سولفید هیدروژن منتشرشده از دو خط درایر در یک صنعت مقواسازی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر یک بررسی مداخله‌ای- کاربردی است. در این پژوهش طراحی مورد نظر برای دو خط خشک‌کن (درایر) یک شرکت مقواسازی به‌منظور کنترل آلاینده‌های منتشرشده TRS به‌ویژه سولفید هیدروژن در محیط کار و کاهش مواجهه افراد شاغل از تهویه موضعی با اقتباس از استاندارد VS99-03 کمیته تهویه صنعتی مجمع دولتی متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienist) استفاده شد [۱۳]. این استاندارد با طراحی هودهای سایه‌بانی برای فرایندهای گرم (که کاملاً قابلیت انطباق با دستگاه‌های خشک‌کن در این کارخانه را داشت) مرتبط می‌باشد. با توجه به طول بلند دستگاه‌های خشک‌کن که بیش از ۲۰ متر بود، کانال فرعی در فواصل حدود ۲/۵ متری به هودها وصل می‌شد و سپس این کانال‌ها با رعایت اصول توازن فشار استاتیک در تمامی شاخه‌ها به کانال اصلی متصل می‌گردیدند. شایان ذکر است که در مطالعه حاضر محاسبات افت فشار شاخه‌ها براساس روش فشار سرعت انجام شد.

از سوی دیگر، به‌منظور کنترل آلاینده‌های گازی منتشرشده در محیط زیست که دارای غلظت بالایی هستند از اسکرابر بستردار استفاده شد و مشخصات ساختاری و فنی این پالایشگر براساس حد استاندارد زیست‌محیطی، راندمان مورد نیاز، دبی هوای آلوده، نسبت مایع به گاز (L/G: Liquid/Gas) و غلظت قلیایی مورد استفاده تعیین گردید. باید خاطرنشان ساخت که دبی نهایی سیستم تهویه موضعی در دو خط درایر پس از تجمیع در هواکش وارد اسکرابر می‌شود. پس از طراحی کانال‌کشی سیستم تهویه، دبی نهایی تا قبل از اسکرابر بستردار معادل ۷۵۰۰۰ پاکت مکعبی در دقیقه به‌دست آمد. ذکر این نکته ضرورت دارد که در طراحی این اسکرابر، ویژگی‌های فنی از جمله قطر بستر، ارتفاع بستر، ویژگی‌های مصالح بستر و دبی مایع جاذب براساس الزامات قانونی و حدود مجاز زیست محیطی قبل از طراحی مشخص گردید و پارامترهای طراحی AF (Absorption Factor) (ضریب جذب عمقی) و m (Slope of equilibrium curve: شیب منحنی تعادل آلاینده هدف در مایع جاذب) به‌ترتیب معادل ۱/۳ و ۱۳ به‌دست آمد. پس از مشخص‌نمودن این دو پارامتر، دبی مولی مایع شوینده و سایر پارامترها با استفاده از روابط زیر محاسبه گردیدند [۱۴].

$$L_{mol} = (AF)(m)(G_{mol})$$ رابطه ۱

L_{mol}: دبی مایع جاذب برحسب پوند- مول بر ساعت

G_{mol}: دبی جریان گاز بر حسب پوند- مول بر ساعت

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.52547/johe.6.1.8]

در رابطه ۱، G_{mol} از طریق زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۲ $$G_{mol} = 0.155\ Q_e$$

Q_e: دبی جریان گاز منتشرشده (SCFM: Standard Cubic Feet per Minute)

پس از تعیین دبی مولی مایع با استفاده از رابطه ۳، واحد آن بر حسب گالن در دقیقه به‌دست آمد.

رابطه ۳ $$L_{gal} = \frac{\left[L_{mol} \times MW_{حلال} \times \left(\frac{1}{D_l}\right) \times 7.48\right]}{60}$$

D_l: دانسیته مایع جاذب (حلال) بر حسب پوند بر فوت مکعب

۷/۴۸: برای تبدیل فوت مکعب به گالن می‌باشد.

در ادامه، D_l معادل $62.43\ \frac{lb}{ft^3}$ و MW معادل $18\ {}^{lb}/_{lb \cdot mol}$ به‌دست آمد و رابطه ۳ به‌صورت زیر ساده‌سازی گردید.

رابطه ۴ $$L_{gal} = 0.036 \times L_{mol}$$

تعیین ابعاد اسکرابر

قطر بستر

پس از اینکه دبی مولی جریان‌های گاز و مایع تعیین شد، در مرحله بعد می‌بایست ابعاد اسکرابر بستردار تعیین گردد. قطر اسکرابر بستردار براساس رویکرد استغراق می‌باشد. مناسب‌ترین شرایط عملیاتی برای دستیابی به بالاترین بازده تصفیه اسکرابر معادل ۷۵-۶۰ درصد شرایط استغراق در اسکرابر است که می‌بایست مؤلفه افقی آن (ABS: Abscissa) برآورد شود؛ اما قبل از آن لازم است دبی جرمی مایع (L) و گاز (G) و همچنین دانسیته جریان گاز (D_g) و جریان مایع جاذب (D_l) تعیین گردد [۱۴].

رابطه ۵ $$ABS = \left({}^{L}/_{G}\right) \times \left({}^{D_g}/_{D_l}\right)^{0/5}$$

L: دبی جرمی مایع جاذب $({}^{lb}/_{hr})$ که معادل حاصل‌ضرب (L_{mol}) در $(MW_{حلال})$ است.

G: دبی جرمی جریان گاز $({}^{lb}/_{hr})$ که معادل حاصل‌ضرب (G_{mol}) در (MW_e) است.

Dg: دانسیته جریان گاز $\frac{lb}{ft^3}$

Dl: دانسیته مایع جاذب $\frac{lb}{ft^3}$

در ادامه، دانسیته جریان گاز از طریق رابطه ۶ تعیین شد.

رابطه ۶ $$D_g = \frac{PM}{RT}$$

P: فشار هوا (اتمسفر)

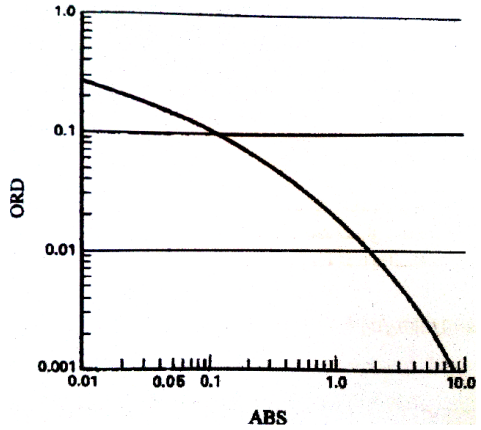
M: وزن مولکولی گاز $({}^{lb}/_{lb \cdot mol})$

R: ثابت گاز $(0 \cdot 7302\ ft^3\ {}^{atm}/_{lb \cdot mol \cdot °R})$

T: دمای گاز °R

$$D_l = 65.29 \frac{lb}{ft^3}$$

پارامتر مؤلفه عمودی (ORD: Ordinate) نیز با استفاده از منحنی شکل ۱ تعیین می‌شود.



شکل ۱: منحنی تصحیح استغراق برای اسکرابرهای بستردار که به روش تصادفی پر شده‌اند [۱۴]

پس از اینکه ABS تعیین شد، به وسیله نمودار شکل ۱، ORD (مقدار مؤلفه عمودی) را به‌دست می‌آوریم. از این مؤلفه برای تعیین دبی جرمی گاز به ازای سطح مقطع بستر اسکرابر ($G_{area.f}$) از رابطه ۷ استفاده می‌شود. با توجه به اینکه مصالح مورد استفاده برای پرکردن بستر از نوع Pall Ring دو اینچی می‌باشد، ضرایب ثابت a و e به‌ترتیب معادل ۰/۹۲ و ۳۱ محاسبه گردید.

رابطه ۷ $$G_{area.f} = \left\{\frac{(ORD \times D_g \times D_l \times g_c}{\left[\left(\frac{a}{e^3}\right)(\mu_L)^{0 \cdot 2}\right]}\right\}^{0 \cdot 5}$$

μ_L: ویسکوزیته مایع جاذب (۱/۲cp)

g_c: ثابت شتاب ثقل، ۳۲/۲ ft/s^2

e و b: ضرایب مصالح بستر

$G_{area.f}$: برای نقطه استغراق است.

با درنظرگرفتن ضریب استغراق (f) معادل ۰/۷۵، دبی جرمی ایده‌آل توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

رابطه ۸ $$G_{area} = fG_{area.f}$$

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.52547/johe.6.1.8]

پس از تعیین دبی جرمی ایده‌آل، مساحت سطح مقطع بستر مورد نیاز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$A = {}^{G}/_{3600G_{area}}$$ رابطه ۹

در ادامه، قطر بستر اسکرابر با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$D_{column} = \left[\left({}^{4}/_{\pi}\right)A\right]^{0.5} = 1.13A^{0.5}$$ رابطه ۱۰

D_{column}: قطر ستون یا بستر اسکرابر (ft)

A: سطح مقطع آن (ft^2)

ارتفاع بستر

برای تعیین ارتفاع بستر اسکرابر باید تعداد واحد انتقال جرم (N_{og}) و ارتفاع هر واحد انتقال جرمی (H_{og}) محاسبه شود. در این مطالعه تعداد واحد انتقالی از طریق رابطه زیر و با انتخاب مقدار حد خروجی ۰٫۵ بخش در میلیون بخارات اسیدی از اسکرابر تعیین شد [۱۴].

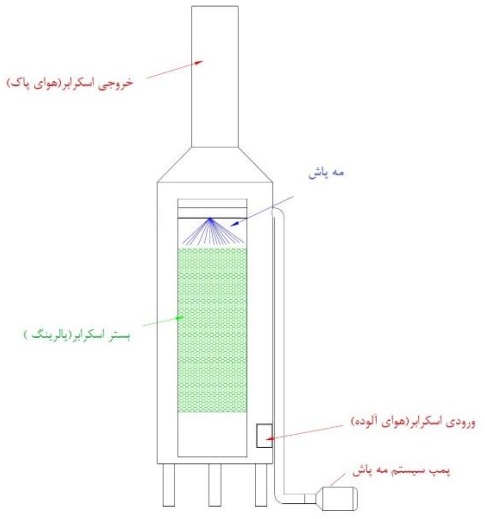
$$Ht_{column} = N_{og} \times H_{og}$$ رابطه ۱۱

N_{og}: تعداد واحدهای انتقال گازی (بدون واحد)

H_{og}: ارتفاع کل واحد انتقال گاز (ft) براساس ضرایب کل لایه گازی

$$N_{og} = \frac{ln\left\{\left[\left(\frac{HAP_e}{HAP_o}\right)\left(1-\left(\frac{1}{AF}\right)\right)+\left(\frac{1}{AF}\right)\right]\right\}}{\left(1-\left(\frac{1}{AF}\right)\right)}$$ رابطه ۱۲

با توجه به اینکه جنس مصالح بستر از Pall Ring بوده و اندازه آن ۲ اینچ و جنس آن از پلاستیک است، مقدار H_{og} برابر با ۱٫۵ می‌باشد [۱۴].



شکل ۲: شماتیک اسکرابر بستردار

ارزیابی عملکرد سیستم تهویه

جهت ارزیابی عملکرد سیستم تهویه موضعی اجراشده در کاهش بار آلودگی، سنجش آلاینده‌ها در دو مرحله فعال و غیرفعال‌بودن سیستم تهویه انجام شد. در این راستا، به‌منظور تعیین اثربخشی سیستم تهویه اجراشده در کاهش بار آلودگی، تراکم آلاینده شاخص (سولفید هیدروژن) واحد خشک‌کن، قبل و بعد از اجرای سیستم اندازه‌گیری گردید. نمونه‌برداری، استخراج و آنالیز نمونه‌های سولفید هیدروژن نیز مطابق با روش NIOSH6013 (National Institute for Occupational Safety and Health) صورت گرفت [۱۵]. علاوه‌براین، نمونه‌برداری از دو بخش منطقه تنفسی کارگر و هوای عمومی کارگاه، قبل و بعد از اسکرابر بستردار در داخل کانال سیستم تهویه انجام شد.

در مجموع تعداد ۱۰ نمونه سولفید هیدروژن از منطقه تنفسی کارگران و هوای محیط واحد خشک‌کن‌ها، قبل و بعد از پالایشگر گرفته شد و بلافاصله پس از اتمام نمونه‌برداری، آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها مطابق با روش استاندارد صورت پذیرفت. شایان ذکر است که آنالیز نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی مایع (مدل 1260 Infinity ساخت شرکت Agilent آمریکا)، ستون PRP-X100 (ساخت شرکت Hamilton آمریکا) و دتکتور هدایتی (مدل CE4710 ساخت شرکت Adept انگلستان) انجام شد. از سوی دیگر، برای نمونه‌برداری از سولفید هیدروژن هوا از فیلتر (پیش‌فیلتر پلی‌تترافلورواتیلن Zefluor ۲۵ میلی‌متری با قطر منافذ ۰/۴۵ میکرومتر به همراه پد پشتیبان از جنس پلاستیک خلل و فرج‌دار در کاست ۲۵ میلی‌متری) و لوله جاذب (ذغال فعال ۲۰۰ میلی‌گرم/۴۰۰ میلی‌گرم) استفاده گردید. همچنین، دبی پمپ نمونه‌برداری از سولفید هیدروژن در حالت نمونه‌برداری فردی و محیطی با میانگین ۰٫۱۵ لیتر بر دقیقه انجام شد. دبی پمپ نمونه‌برداری از سولفید هیدروژن نیز در حالت نمونه‌برداری قبل از پالایشگر و بعد از آن به روش نمونه‌برداری ایزوکینتیک به‌ترتیب معادل ۰٫۳ و ۰٫۵ لیتر بر دقیقه جهت تعیین بازدهی اسکرابر صورت گرفت. برای تعیین کارایی سیستم تهویه و نیز پالایشگر از رابطه زیر استفاده گردید.

$$E = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100$$ رابطه ۱

E: بازده سیستم (درصد)

C_1: تراکم آلاینده قبل از پالایشگر (بخش در میلیون یا $\frac{mg}{m^3}$)

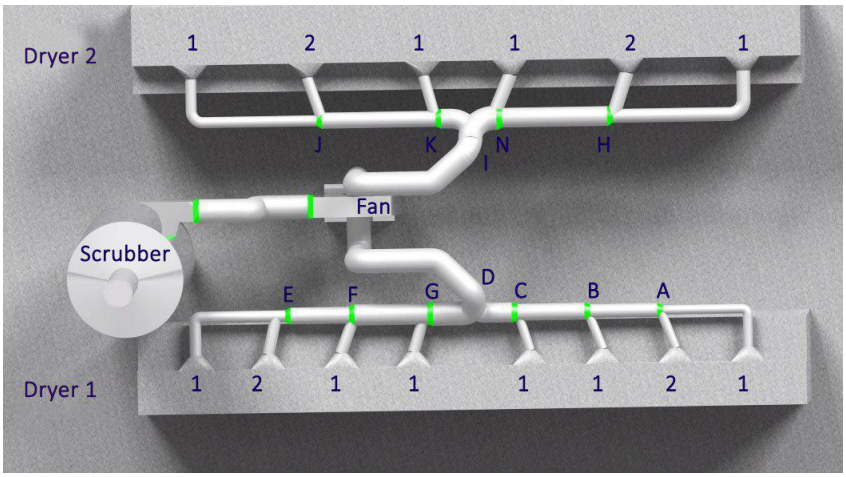
C_2: تراکم آلاینده بعد از پالایشگر (بخش در میلیون یا $\frac{mg}{m^3}$)

یافته‌ها

روش کانال‌کشی و کدبندی قطعات سیستم تهویه موضعی به همراه جانمایی پالایشگر و هواکش در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.52547/johe.6.1.8]



شکل ۳: نقشه کانال‌کشی سیستم تهویه موضعی دستگاه‌های خشک‌کن

طراحی اسکرابر بستردار با توجه به دبی ۷۵۰۰۰ فوت مکعب بر دقیقه و نوع بستر Pall Ring با ضخامت ۲ اینچ و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۰٫۸۵ اتمسفر انجام شد. نتایج محاسبات پارامترهای مختلف اسکرابر بستردار مطابق با روابط ۱ تا ۱۲ به شرح زیر می‌باشد.

دبی مولی مایع شوینده $L_{mol} = 196462/5\ {}^{lb\cdot mol}/_{hr}$

دبی مولی جریان گاز $G_{mol} = 11625\ {}^{lb\cdot mol}/_{hr}$

دبی آب $L_{gal} = 7072.65\ {}^{gal}/_{min}$

دبی جرمی مایع جاذب $L = 3536325\ {}^{lb}/_{hr}$

دبی جرمی جریان گاز $G = 330150\ {}^{lb}/_{hr}$

دانسیته جریان گاز $D_g = 0.0557\ \frac{lb}{ft^3}$

دانسیته جریان مایع $D_l = 65.29\ \frac{lb}{ft^3}$

مؤلفه بعد افقی $ABS = 0.312$

مؤلفه بعد عمودی $\Longrightarrow ORD = 0.07$

دبی جرمی جریان گاز به ازای سطح مقطع بستر اسکرابر
$G_{area.f} = 0/4456\ {}^{lb}/_{h\cdot ft^2}$

دبی جرمی ایده‌آل $G_{area} = 0.3346$

مساحت سطح مقطع بستر $A = 274.41\ ft^2$

قطر بستر اسکرابر $D_{column} = 18.71ft \approx 18\ ft$

تعداد واحدهای انتقال گازی $N_{og} = 4.871$

در نهایت، ارتفاع ستون بستر اسکرابر (Ht_{column}) معادل ۷٫۳ فوت برآورد شد.

$Ht_{column} = 7.306\ ft$

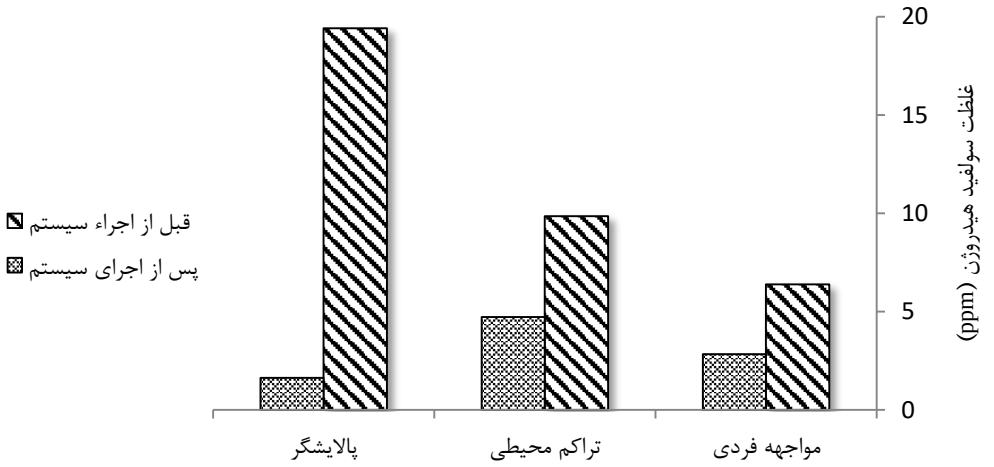
پس از تعیین ارتفاع بستر، ارتفاع کل بدنه اسکرابر به‌صورت زیر به‌دست آمد.

$Ht_{total} = 13.806\ ft$

نتایج سنجش آلاینده‌ها در حالت فعال و غیرفعال‌بودن سیستم تهویه و اسکرابر در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تأثیر سیستم مذکور بر کاهش بار آلودگی در سه وضعیت مورد بررسی متفاوت می‌باشد؛ به‌طوری که میانگین غلظت سولفید هیدروژن در حالت غیرفعال‌بودن سیستم تهویه در منطقه تنفسی کارگران معادل ۶٫۳۹ بخش در میلیون بوده است؛ اما در حالت فعال‌بودن سیستم تهویه، میانگین تراکم سولفید هیدروژن در منطقه تنفسی کارگران به ۲٫۸۴ بخش در میلیون کاهش یافت که این امر بیانگر بازده ۵۵ درصدی سیستم تهویه در کاهش تراکم سولفید هیدروژن در منطقه تنفسی کارگران می‌باشد. سنجش محیطی تراکم این گاز در داخل واحد درایرها نیز در حالت غیرفعال‌بودن سیستم تهویه معادل ۹٫۸۶ بخش در میلیون بود که به ۴٫۷۳ بخش در میلیون در زمان روشن‌بودن سیستم تهویه کاهش یافت که در این شرایط نیز نشان‌دهنده بازده ۵۲٫۳ درصدی این سیستم بود. در نهایت، تعیین بازده اسکرابر بستردار در کنترل گاز سولفید هیدروژن نشان از کاهش غلظت آن از ۱۹٫۴۳ بخش در میلیون در ایستگاه سنجش قبل از اسکرابر به ۱٫۶۱ بخش در میلیون در خروجی اسکرابر داشت که نشان‌دهنده بازده ۹۱٫۷ درصدی پالایشگر در حذف سولفید هیدروژن از هوا بود.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.52547/johe.6.1.8]



شکل ۴: نتایج سنجش غلظت گاز سولفید هیدروژن

بحث

اهمیت هوای پاک در محیط‌های کار صنعتی به‌خوبی شناخته شده است. یک محیط کار سالم و عاری از آلودگی، جزئی از حقوق اولیه افراد شاغل محسوب می‌گردد. مطابق با بررسی اولیه انجام‌شده از واحد درایر صنعت مورد مطالعه، منابع اصلی تولید و انتشار گازهای بدبو، دستگاه‌های درایر هستند. در مرحله عبور ورق‌های مرطوب مقوا از غلتک‌های داغ و در اثر حرارت، رطوبت ورق‌ها به شکل بخار درمی‌آید و گازهای بدبو در این مرحله منتشر می‌شوند. منبع دیگر تولید و انتشار ترکیبات بدبوی منتشرشده در محوطه کارخانه و حتی داخل واحد درایر در مطالعه حاضر، حوضچه‌های تصفیه پساب این صنعت بودند که در فضای باز و در مجاورت واحد درایر با فاصله کمتر از ۲۰ متر قرار داشتند. مطالعات مختلف اصلی‌ترین آلاینده بدبوی موجود در صنایع مقواسازی را سولفید هیدروژن و تا حدودی ترکیباتی مانند متیل مرکاپتان، دی‌متیل سولفید و دی‌متیل دی‌سولفید گزارش کرده‌اند [۵،۶]. در بین ترکیبات مذکور، گاز سولفید هیدروژن به دلیل حد آستانه بویایی کم (به‌طور متوسط ۵۰ بخش در میلیارد) و بوی متعفن آن قادر است در مقادیر بسیار کمتر از حد مجاز مواجهه شغلی ایران که معادل ۱ بخش در میلیون است، آزاردهنده باشد[۹]. در این راستا، در مطالعه‌ای که Kangas و همکاران در مورد مواجهه با سولفید هیدروژن، مرکاپتان‌ها و سولفور دی‌اکسید در صنایع مقواسازی انجام دادند، گزارش نمودند که غلظت سولفید هیدروژن در محدوده ۲۰-۰ بخش در میلیون و غلظت متیل مرکاپتان و مشتقات آن بین ۱۵-۰ بخش در میلیون متغیر است. غلظت دی‌متیل سولفید و دی‌متیل دی‌سولفید نیز بیش از ۱/۵ بخش در میلیون گزارش گردید [۱۶]. شایان ذکر است که میزان غلظت سولفید هیدروژن در محوطه داخل واحد درایر در زمان خاموش‌بودن سیستم تهویه به‌طور میانگین معادل ۹/۸۶ بخش در میلیون بود. البته حتی در حالت خاموش‌بودن سیستم تهویه نیز به دلیل بالابودن دمای بخار منتشرشده از غلتک‌های درایرها، بخشی از این بخار به درون هودها و کانال‌ها وارد می‌شد و تراکم این آلاینده در هوای داخل واحد درایر بدون نصب هودها و سیستم تهویه، بی‌شک بیشتر از حد گزارش‌شده می‌باشد.

با بررسی گزینه‌های مطرح به‌منظور حل مشکل از جمله تغییر محل کارخانه و انتقال آن به یکی از شهرک‌های صنعتی بیرون از محدوده شهری، تغییر دستگاه‌ها و تجهیزات کارخانه و نوسازی کامل آن‌ها و سایر گزینه‌ها مشخص شد که برخی از راه‌حل‌های موجود منجر به تعطیلی کامل و یا حداقل دو ساله این کارخانه و صرف هزینه‌های هنگفتی می‌گردد که در عمل خارج از توان اقتصادی این کارخانه بوده و علت بیکاری حدود ۲۶۰ کارگر شاغل در این صنعت می‌شد. با توجه به شرایط مذکور و برگزاری جلسات متعدد مدیریت کارخانه با مجری طرح و سایر مشاوران، طراحی و اجرای سیستم تهویه موضعی به همراه پالایشگر مناسب جهت تصفیه آلاینده‌های بدبو، مؤثرترین، کم‌هزینه‌ترین و اجرایی‌ترین راه‌حل ممکن تشخیص داده شد. علاوه‌براین، نتایج برخی از مطالعات انجام‌شده در صنایعی که در برخی از جنبه‌ها مشابهتی با این فرایند داشتند نیز احتمال موفقیت اجرای پروژه سیستم تهویه موضعی و اسکرابر بستردار را تقویت می‌نمود. از جمله مطالعات متعدد گزارش‌شده در زمینه کارآیی سیستم تهویه موضعی در کنترل آلاینده‌های فرایندها و صنایع مختلف می‌توان به مطالعه اکبری و همکاران در ارتباط با میزان اثربخشی سیستم تهویه موضعی در کنترل اسید سولفوریک واحدهای الکترولیز روی که نشان‌دهنده بازده ۸۸ درصدی کاهش مواجهه افراد شاغل بود [۱۷] و یا به پژوهش گرکز و همکاران اشاره نمود. نتایج مطالعه گرکز و همکاران نشان از بازده ۶۹/۵ و ۷۵ درصدی کاهش غلظت گازهای CO_2 و CO منتشرشده از کوره القایی یک صنعت فولاد توسط سیستم تهویه موضعی داشتند [۱۸]. علاوه‌براین، در مطالعه‌ای که توسط شکیبایی در ارتباط با بررسی کاهش مواجهه کارگران با مواد شیمیایی و گرد و غبار در سالن تهیه لاک ناخن با استفاده از

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.52547/johe.6.1.8]

سیستم تهویه موضعی انجام شد، نتایج نشان دادند که سیستم تهویه موضعی قادر به کاهش مواجهه کارکنان با استن به میزان حداقل ۷۷ درصد بوده است [۱۹]. در دو مطالعه دیگر انجام‌شده توسط جعفری و همکاران [۲۰] و Leung و همکاران [۲۱] در مورد صنایع تولید رنگ و چاپ نیز کاهش تراکم آلاینده‌های استنشاقی افراد شاغل در این صنایع به کمتر از حدود مجاز مواجهه شغلی رسیده بود.

در این مطالعه به‌منظور کنترل آلاینده‌های منتشرشده ناشی از خشک‌کن‌ها از سیستم تهویه صنعتی با اقتباس از استاندارد VS99-03 کمیته صنعتی ACGIH استفاده گردید [۱۳] و برای تصفیه آلاینده‌ها، یک دستگاه اسکرابر بستردار، طراحی و راه‌اندازی شد. با توجه به نتایج ارائه‌شده در شکل ۳، سیستم تهویه موضعی در حالت روشن‌بودن باعث کاهش غلظت محیطی و مواجهه فردی به میزان ۵۵-۵۲ درصد شده است که بی‌شک این بازده در مقایسه با تراکم آلاینده‌ها قبل از نصب سیستم تهویه بیشتر از حد موجود خواهد بود. در این شرایط با وجود اجرای سیستم تهویه موضعی، میزان مواجهه افراد شاغل در این واحد به‌طور متوسط به ۲٫۸۴ بخش در میلیون کاهش یافته است که هنوز هم بیشتر از حد مجاز مواجهه شغلی می‌باشد و لازم است اقدامات اصلاحی دیگری همچون کنترل انتشار آلاینده‌های منتشرشده از حوضچه‌های تصفیه پساب و جلوگیری از نشت گاز به داخل واحد درایر، تمهید اتاقک استقرار کارکنان در جنب درایرها (مجهز به سیستم تهویه فشار مثبت به‌منظور استفاده در مواقع غیرضروری) و استفاده از تجهیزات فردی حفاظت تنفسی صورت گیرد.

با توجه به اینکه عمده مشکل این صنعت ناشی از شکایت ساکنان اطراف این کارخانه بود و نیز با توجه به توسعه منطقه شهری که باعث شده بود فاصله برخی از منازل با دیوار کارخانه به کمتر از ۱۰ متر کاهش یابد، تصفیه مؤثر آلاینده جمع‌آوری‌شده توسط اسکرابر بستردار از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار بود. پس از طراحی و راه‌اندازی اسکرابر، نتایج سنجش غلظت سولفید هیدروژن در خروجی اسکرابر نشان از تراکم میانگین ۱٫۶۱ بخش در میلیون داشت. باید خاطرنشان ساخت که میزان حدود مجاز غلظت سولفید هیدروژن خروجی از دودکش صنایع ایران با توجه به نوع صنعت و طبقه‌بندی آن‌ها متفاوت می‌باشد؛ به‌طوری که کمترین حدود مجاز مربوط به دودکش صنایع پتروشیمی، پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها است. باید توجه داشت که مقدار مجاز آن برای صنایع درجه یک، ۶ میلی‌گرم بر متر مکعب نرمال (معادل ۴٫۳۲ بخش در میلیون) می‌باشد و بیشترین میزان آن مربوط به کارخانه تهیه کک وابسته به صنایع تولید آهن و فولاد درجه یک است که میزان حد مجاز آن ۲۱۶ میلی‌گرم بر متر مکعب نرمال (معادل ۱۵۵٫۵۲ بخش در میلیون) می‌باشد [۲۲]. در مقایسه با کمترین حدود مجاز زیست محیطی ایران نیز تراکم سولفید هیدروژن خروجی از اسکرابر تقریباً ۲٫۷ برابر کمتر شده بود. کارآیی این نوع اسکرابر هم در کاربردهای صنعتی و هم در پژوهش‌های آزمایشگاهی به اثبات رسیده است؛ به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای که قربانی و همکاران در مورد کنترل گازهای SO_2 و H_2S منتشرشده از کوره‌های دوار یک شرکت تولیدی معدنی با استفاده از سیستم تهویه موضعی و اسکرابر بستردار با محلول جاذب NaOH انجام دادند، گزارش نمودند که بازده این سیستم در حذف سولفید هیدروژن معادل ۹۲٫۷ درصد بوده است [۲۳] که بازده آن با بازده مشاهده‌شده در مطالعه حاضر بسیار نزدیک است. در پژوهش دیگری که Jensen و همکاران در ارتباط با حذف سولفید هیدروژن و متیل مرکاپتان از جریان گازی در یک شرکت مقواسازی انجام دادند، نتایج گویای آن بودند که در محلول‌های آبی کلرین در PH بالای ۱۲، حذف سولفید هیدروژن مؤثرتر می‌باشد. این درحالی است که این عامل برای متیل مرکاپتان بی‌اثر بود و در محلول جاذب سدیم هیدروکسید برای هر دو ترکیب سولفید هیدروژن و متیل مرکاپتان هنگامی که مقدار هیدروکسید نسبت به سولفید و مرکاپتان به‌ترتیب برابر با ۱ و ۱٫۸ بود، جذب مؤثرتری رخ می‌داد [۶]. از مطالعات دیگر انجام‌شده در این راستا می‌توان به پژوهش Chen و همکاران اشاره نمود که طی آن در یک اسکرابر با استفاده از محلول‌های آبی NaOCl/NaOH در اسکرابر بستردار، میزان جذب سولفید هیدروژن را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاکی از آن بودند که سولفید هیدروژن موجود در جریان گاز به میزان ۹۹٫۲ درصد با نرخ جریان گاز ۷۹۰ $\frac{lb}{ft^2-hr}$ و نسبت مایع به گاز ۵٫۰۶ از جریان گاز حذف گردید [۳]. Krischan و همکاران نیز طی پژوهشی گزارش نمودند که در برج‌های شستشوی محلول‌های NaOH و $NaHCO_3$، سولفید هیدروژن را به‌صورت انتخابی و با راندمان ۹۷ درصد نسبت به CO_2 گازی از جریان هوا حذف می‌کنند [۲۴]. علاوه‌براین، در مطالعه‌ای که Cooney در سال ۱۹۹۲ در ارتباط با حذف H_2S از جریان گازی با پایه NH_3 در یک اسکرابر انجام داد، نتایج گویای آن بودند که در PH پایین و نزدیک به ۱۲ مایع شوینده، وجود NH_3 درصد حذف H_2S از جریان گازی را افزایش می‌دهد. لازم به ذکر است هنگامی که ۱۰۰۰ بخش در میلیون از NH_3 با $\frac{L}{G} = 10\ {}^{gal}/_{1000scf}$ همراه باشد، درصد حذف از ۰٫۳۳ تا ۱۹ درصد افزایش پیدا می‌کند و هنگامی که با $\frac{L}{G} = 20\ {}^{gal}/_{1000scf}$ همراه باشد، درصد حذف از ۰٫۶۵ تا ۲۴ درصد افزایش می‌یابد [۲۵].

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پروژه تحقیقاتی می‌توان اذعان نمود که طراحی و اجرای سیستم تهویه موضعی با رعایت اصول و استانداردهای مرتبط قادر است به میزان قابل‌توجهی در کنترل ترکیبات بدبو منتشرشده از درایرهای صنایع مقواسازی مؤثر باشد. از سوی دیگر طراحی و کاربرد صحیح اسکرابر بستردار، نقش قابل‌توجهی در جذب این ترکیبات به‌ویژه H_2S دارد و از انتشار این ترکیبات بدبو در محیط زیست پیشگیری می‌کند. شایان ذکر است که استفاده از سیستم تهویه موضعی و اسکرابر بستردار را می‌توان

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.52547/johe.6.1.8]

گزینه‌ای مناسب برای کاهش اثرات بهداشتی و زیست محیطی و آزار بویایی گاز سولفید هیدروژن در صنعت مقواسازی و صنایع مشابه به‌ویژه در صنایع مجاور مناطق مسکونی تلقی نمود.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان "طراحی، اجرا و ارزیابی سیستم تهویه صنعتی و پالایشگر به‌منظور کنترل آلاینده‌های منتشرشده در خطوط درایر یک شرکت مقواسازی" در دانشگاه علوم پزشکی همدان در رشته بهداشت حرفه‌ای می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان به دلیل حمایت از این مطالعه در قالب طرح شماره ۹۶۱۲۱۵۸۱۹۲ تقدیر و تشکر می‌نمایند.

REFERENCES

1. Bahrami A. Air pollution control engineering techniques. Tehran: Fanavaran; 2011. [Persian]
2. Liang CC. Reduced sulphur compounds in ambient air and in emissions from wastewater clarifiers at a Kraft pulp mill. Toronto: Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry University of Toronto; 2008.
3. Chen L, Huang J, Yang CL. Absorption of H_2S in NaOCl caustic aqueous solution. *Environ Progr Sustainable Energy*. 2001;**20**(3):175-81. DOI: 10.1002/ep.670200313
4. Roshani B, Dehghanzadeh R, Shahmansouri MR. Control of boolean compounds in talented industrial units and biological systems. The 4th General Conference of Iranian Occupational Health. Hamedan University of Medical Sciences & Health Service, Hamedan. Iran; 2005. [Persian]
5. Drimal M, Lewis C, Fabiánová E. Health risk assessment of environmental exposure to malodorous sulfur compounds in Central Slovakia (Ružomberok Area). *Carpath J Earth Environ Sci*. 2010;**5**(1):119-26.
6. Jensen GA, Adams DF, Stern H. Absorption of hydrogen sulfide and methyl mercaptan from dilute gas mixtures. *J Air Pollut Contr Assoc*. 1966;**16**(5):248-53. DOI: 10.1080/00022470.1966.10468468
7. Ghorbanishahna F. Design and implementation of integrated refiners for controlling air pollutants of a mining company. The 7th National Conference on Occupational Health. Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran; 2012. [Persian]
8. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH pocket guide to chemical hazards. Washington DC: DHHS (NIOSH) Publication; 2007.
9. Environmental and Occupational Health Center. Ministry of health and medical education, Iran Occupational Exposure Limits. Hamadan: Daneshjoo; 2016. P. 53. [Persian]
10. Mallon W. Occupational exposure limits. *Occup Health Southern Afr*. 2016;**22**(5):22.
11. Ghorbani Shahna F. Design and implementation of integrated refiners for controlling air pollutants of a mining company. The 7th National Conference on Occupational Health. Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran; 2012. [Persian]
12. Jafari MJ, Nourian S, Zendehdel R, Massoudinejad MR, Sarbakhsh P, Rahmati AR, et al. The performance of a spray tower in scrubbing H_2S from air. *Saf Prom Injury Prev*. 2012;**2**(4):321-8. [Persian]
13. Industrial Ventilation Committee. Industrial ventilation: a manual of recommended practice for design. 29th ed. Ohaio, USA: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2016.
14. Ghorbani Shahna F. Design and aplication of scrubbers for air pollution control. 1st ed. Tehran, Iran: Fanavaran; 2012. [Persian]
15. Cassinelli ME, O'Connor PF. NIOSH manual of analytical methods. 5th ed. Washington DC: National Institute for Occupational Safety and Health; 2017.
16. Kangas J, Jäppinen P, Savolainen H. Exposure to hydrogen sulfide, mercaptans and sulfur dioxide in pulp industry. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1984;**45**(12):787-90. PMID: 6517022 DOI: 10.1080/15298668491400647
17. Akbari M, Bahrami A, Ghorbani Shahna F. Evaluating the effectiveness of push-pull ventilation system for controlling lead, zinc and sulfuric acid emitted from Zinc electrolysis vans of a zinc production industry. *J Occup Hyg Eng*. 2017;**4**(1):56-65. DOI: 10.21859/johe-04017 [Persian]
18. Garkaz A, Ghorbani Shahna F, Assari MJ, Faradmal J. The designing and assessment of a local exhaust ventilation system coupled with hybrid collectors for dust control o an alloy steel company. *Iran Occup Health*. 2015;**12**(1):38-46. [Persian]
19. Shakibaei N. Reducing workers' exposures to chemicals and dust in nail salons using local exhaust ventilation systems. [Doctoral Dissertation]. Washington: Environmental and Occupational Health Sciences, University of Washington; 2014.
20. Jafari MJ, Karimi A, Azari MR. The role of exhaust ventilation systems in reducing occupational exposure to organic solvents in a paint manufacturing factory. *Indian J Occup Environ Med*. 2008;**12**(2):82-7. PMID: 20040984 DOI: 10.4103/0019-5278.43266
21. Leung MK, Liu CH, Chan AH. Occupational exposure to volatile organic compounds and mitigation by push-pull local exhaust ventilation in printing plants. *J Occup Health*. 2005;**47**(6):540-7. PMID: 16369118 DOI: 10.1539/joh.47.540
22. The Council of Ministers. Permitted limits for emissions of air pollutants in industries. Tehran: Deprtment of Environment, Iran; 2016.
23. Shahna FG, Bahrami A, Farasati F. Application of local exhaust ventilation system and integrated collectors for control of air pollutants in mining company. *Ind Health*. 2012;**50**(5):450-7. DOI: 10.2486/indhealth.MS1369
24. Krischan J, Makaruk A, Harasek M. Design and scale-up of an oxidative scrubbing process for the selective removal of hydrogen sulfide from biogas. *J Hazard Mater*. 2012; **215-216**:49-56. PMID: 22440540 DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.02.028
25. Cooney DO. Simultanous absorption of an acid gas (H_2S) and a basic gas (NH_3) in a scrubbing device. *J Chem Eng Communicat*. 1992;**114**(1):103-16. DOI: 10.1080/00986449208936018

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-07-04]

[DOI: 10.52547/johe.6.1.8]