دوره ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صفحات ۵۶ تا ۶۵

ارزیابی میزان اثربخشی سیستم تهویه دمشی–مکشی در کنترل سرب، روی و اسیدسولفوریک منتشره از وان‌های الکترولیز روی در یک صنعت تولید روی

مجید اکبری [۱]، عبدالرحمان بهرامی [۲]، فرشید قربانی شهنا [۳،*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۲] استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۳] دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[*] **نویسنده مسئول:** فرشید قربانی شهنا، دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
ایمیل: fghorbani@umsha.ac.ir

DOI: 10.21859/johe-04017

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱

واژگان کلیدی:
تهویه دمشی مکشی
اسیدسولفوریک
فلزات
سنگین
روی
الکترولیز

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

مقدمه: آلودگی هوا از عوامل مخاطره‌زای سلامت انسان‌ها و محیط زیست می‌باشد. در صنایع تولید روی به دلیل ماهیت فرآیند و همچنین استفاده از حوضچه‌های الکترولیز، میزان تولید و انتشار برخی آلاینده‌های مضر از جمله میست‌های اسیدی بسیار بالا می‌باشد. این مطالعه به‌منظور بررسی اثربخشی سیستم تهویه دمشی-مکشی اجرا شده در کنترل آلاینده‌های منتشره واحد الکترولیز یک صنعت تولید روی انجام شد.

روش کار: در این مطالعه تراکم آلاینده‌ها در منطقه تنفسی کارگران، محیط کار و منبع تولید آلاینده جهت ارزیابی اثر بخشی سیستم تهویه مورد نظر، قبل و بعد از اجرای سیستم تهویه در یک صنعت تولید روی اندازه‌گیری شد و بازده سیستم اجرا شده در کاهش بار آلودگی تعیین گردید. در انتها، پارامترهای عملیاتی سیستم تهویه، اندازه‌گیری شد و با مقادیر طراحی شده مقایسه گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد غلظت سرب و روی در منطقه تنفسی کارگران کمتر از حدود مجاز مواجهه شغلی ایران بوده ولی غلظت اسید سولفوریک بیشتر از حدود مجاز بوده است. غلظت اسیدسولفوریک بدون سیستم تهویه در مواجهه فردی، هوای کارگاه و منبع مولد آلاینده به ترتیب ۰/۹۰ ± ۱/۱۷، ۰/۶۳ ± ۲/۱۴ و ۱/۴۹ ± ۵/۵۹ میلی‌گرم بر مترمکعب و بعد از اجرای تهویه این مقادیر به ۰/۰۳۲ ± ۰/۱۱، ۰/۱۵ ± ۰/۲۴ و ۰/۵۲ ± ۰/۹۷ میلی‌گرم بر مترمکعب کاهش یافت.

نتیجه گیری: نتایج به دست آمده نشان داد سیستم تهویه دمشی-مکشی اصلاح شده مطابق محدودیت‌های واحد الکترولیز، بازده مناسبی در کنترل آلاینده‌ها دارد و برای چنین صنایعی می‌تواند گزینه مناسبی باشد.

مقدمه

روی یکی از عناصر رایج در پوسته زمین و یکی از پرکاربردترین فلزات در صنایع جهان می‌باشد [۱]. روی در معادن به‌صورت کانی‌سنگ اکسیده روی می‌باشد. برای استحصال روی از دو روش پیرومتالورژی و ئیدرومتالورژی (الکترولیتی) استفاده می‌شود. خوراک هر دو روش، کنسانتره‌های روی تشویه و کلسینه شده می‌باشد. بخش عمده‌ای از روی اولیه تولیدی جهان به‌وسیله روش الکترولیتی (فرایند الکترولیز) به دست می‌آید. الکترولیز نوعی تجزیه شیمیایی می‌باشد که بر اثر جریان الکتریسیته در یک مایع ایجاد می‌شود. اگر مایع نمک محلولی از یک فلز باشد، بر اثر الکترولیز، فلز از آن محلول جدا می‌شود [۲]. الکترولیز، واکنشی گرمازا می‌باشد و سبب افزایش دمای محلول و افزایش بخارات محلول می‌شود [۲]. در طول عملیات آبکاری گاز هیدروژن از کاتد و گاز اکسیژن از آند به‌صورت حباب‌هایی از سطح الکترولیت ظاهر می‌شوند. این حباب‌ها منشأ تولید میست‌های اسیدی در هوا هستند. بدین ترتیب حباب‌های تولید شده در الکترودها بالا آمده و در سطح الکترولیت می‌ترکند و متعاقب آن میست‌های ریزی در بالای سطح الکترولیت ایجاد می‌شود. اسیدسولفوریک، ترکیبی خورنده است و از طریق پوست

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.21859/johe-04017]

و سیستم تنفسی جذب می‌شود همچنین در دراز مدت سبب آدم ریوی، خوردگی دندان‌ها و بروز سرطان می‌گردد [۳]. همچنین وجود بخارات اسیدسولفوریک در هوا می‌تواند سبب خوردگی فلزات و آسیب به تجهیزات نیز شود [۴]. در شرکت تولید روی مورد مطالعه، طی فرایندهایی خاک‌های حاوی روی در مراحل مختلف غنی سازی می‌شود و سپس جهت استخراج فلز روی به واحد الکترولیز هدایت می‌شود. این واحد درمجموع از ۲۰ وان تشکیل شده است، ابعاد داخلی هر وان ۲/۴ در ۰/۸۱ متر و فاصله دو ردیف ۰/۷ متر و فاصله ۲ وان از هم در هر ردیف ۰/۲ متر می‌باشد. بیشترین آلودگی این صنعت تولید روی مربوط به همین واحد الکترولیز می‌باشد که از وان‌های حاوی اسیدسولفوریک متصاعد می‌گردد. یکی از روش‌های کنترلی جهت کاهش مواجهه، استفاده از سیستم‌های تهویه موضعی می‌باشد. تهویه دمشی مکشی یکی از این سیستم‌های کنترلی می‌باشد که جهت کنترل آلاینده‌های منتشره از مخازن روباز استفاده می‌شوند [۵, ۶]. این سیستم‌ها شامل یک ردیف نازل‌های دمنده هوا و یک هود جانبی می‌باشند که در مقابل هم و در دو طرف مخازن قرار می‌گیرند. هوای دمش شده از نازل ایجاد یک جت مسطح افقی نموده که عرض سطح مورد نظر را طی کرده و کل سطح را جاروب خواهد کرد. کنترل اولیه آلودگی توسط جت دمنده انجام می‌شود. وظیفه اصلی هود مکنده، دریافت و جمع‌آوری آلودگی منتقل شده توسط جت دمنده است [۷]. برای فرایندهایی روباز مانند تانک‌ها به دلیل اینکه هود سایبانی دسترسی را محدود می‌سازد و هود جانبی یک‌طرفه برای عرض تا ۰/۹ متر و هود جانبی برای عرض مخزن تا ۱/۲۰ متر مناسب می‌باشد بهترین گزینه استفاده از سیستم تهویه دمشی مکشی از کنار یا از مرکز می‌باشد [۸]. در واحد الکترولیز صنعت مورد مطالعه نیز به دلیل فاصله کم بین وان‌ها امکان قرار دادن هودها در طول وان‌ها یعنی مکش به صورت عرضی وجود نداشت و همچنین امکان جابجایی وان‌ها به دلیل اتصال بین کاتدها ممکن نبود؛ به همین دلیل و همچنین به دلیل بیشتر بودن طول وان‌ها از ۱/۲۰ متر، از سیستم تهویه دمشی-مکشی در طول وان‌ها استفاده شده بود. سامانه‌های دمشی- مکشی در بسیاری از موارد به دلیل ضعف طراحی و تعادل ضعیف بین میزان هوای مورد نیاز و میزان هوای مکنده مؤثر نیستند. اگر حجم جریان دمش در مقایسه هوای مکنده زیادتر باشد هوا به محیط کار برمی‌گردد و اگر میزان هوای دمیده شده کم باشد شکاف هود مکنده فقط به‌صورت یک سیستم مکنده عمل کرده و هوای دمش شده تأثیری نخواهد داشت قرارگیری نازل‌های دمنده و هودهای مکنده در مکان‌های مناسب، محدودیت‌های فضایی در اجرای سیستم تهویه، عدم مزاحمت سیستم تهویه برای کارگران و ... از دیگر محدودیت‌های سیستم تهویه دمشی-مکشی می‌باشد که عدم توجه به آن‌ها می‌تواند سبب شکست در اجرای این سیستم گردد [۹]. اثربخشی و عملکرد سیستم‌های تهویه در کاهش مواجهه با آلاینده‌ها در مطالعات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۰]. کارایی سیستم‌های تهویه در کاهش مواجهه و کنترل آلاینده‌ها را می‌توان با طراحی خوب سیستم تهویه مطابق با استانداردها و شرایط محیط و همچنین نصب، بهره‌برداری، بازرسی، تعمیرات و نگهداری مناسب و صحیح از سیستم تضمین کرد [۱۱]. از طرفی به‌منظور پایش کارایی سیستم تهویه مکنده موضعی ابزارها و روش‌های مختلفی ارائه شده است که ازجمله آن‌ها می‌توان به ارزیابی کارایی و اثربخشی سیستم اشاره کرد [۱۱, ۱۲]. هدف از پایش و ارزیابی سیستم‌های تهویه و اندازه‌گیری پارامترهای طراحی آن، تعیین کارایی، راندمان و شناسایی نواقص فنی سیستم می‌باشد که با کمک اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌هایی تعیین می‌گردد [۱۳, ۱۴]. با توجه به مطالب فوق‌الذکر و نیاز صنایع روی کشور به سیستمی جهت کاهش مواجهه کارگران با آلاینده‌های منتشره، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثربخشی سیستم تهویه دمشی مکشی اجرا شده در جمع‌آوری آلاینده‌های منتشره از واحد الکترولیز یک صنعت تولید روی انجام شد.

روش کار

این تحقیق یک مطالعه تجربی می‌باشد که در آن ارزیابی اثربخشی سیستم تهویه صنعتی اجرا شده در دو بخش یک صنعت تولید روی انجام شده است یک بخش سنجش آلاینده‌ها در ۲ مرحله با تهویه و بدون تهویه و بخش دوم ارزیابی پارامترهای عملیاتی سیستم تهویه و مقایسه با استاندارد تهویه می‌باشد. در طراحی سیستم تهویه دمشی-مکشی اجرا شده به محدودیت‌های اجرایی توجه شده بود و تغییراتی در فرایند و نحوی طراحی سیستم تهویه ایجاد گردیده بود که ازجمله می‌توان به طراحی یک هود مکنده دوطرفه برای دو وان روبروی هم به جای استفاده از دو هود، افزایش ارتفاع لاندرها و قرار دادن هود مکنده در زیر آن‌ها، استفاده از ناودان برای انتقال محلول داخل لاندرها به درون وان‌ها، طراحی قاب نازل‌های دمنده شبیه هود مثلثی شکل، طراحی کانال سیستم مکنده به سمت پایین به جای طراحی به سمت بالا و ... اشاره کرد. به منظور تعیین اثربخشی سیستم تهویه اجراء شده در کاهش بار آلودگی، تراکم آلاینده‌های شاخص (اسید سولفوریک، سرب و روی) واحد الکترولیز قبل و بعد از اجرای سیستم اندازه گیری شد. در این مطالعه نمونه‌برداری، استخراج و آنالیز نمونه‌های اسیدسولفوریک کل با متد NIOSH 7908 انجام شد. نمونه‌برداری از ۳ بخش منطقه تنفسی کارگر، هوای عمومی کارگاه و منبع انتشار آلاینده صورت گرفت. همچنین نمونه‌برداری از آئروسول های توراسیک اسیدسولفوریک به وسیله (PPI: Parallel Particle

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.21859/johe-04017]

Impactors) با شماره ۳۸۶۱-۲۵۵ ساخت شرکت SKC در دبی ثابت ۲ لیتر بر دقیقه انجام شد. در کل تعداد ۳۰ نمونه اسیدسولفوریک از منطقه تنفسی کارگران، محیط واحد الکترولیز و منبع آلاینده گرفته شد. پس از اتمام نمونه‌برداری بلافاصله آماده سازی و آنالیز نمونه‌ها مطابق روش استاندارد انجام شد. آنالیز نمونه‌ها بعد از آماده‌سازی و استخراج نمونه‌ها، با دستگاه یون کروماتوگرافی مدل 1260 Infinity ساخت شرکت Agilent، ستون PRP-X100 ساخت شرکت Hamilton و با دتکتور هدایتی مدل CE4710 ساخت شرکت Adept آنالیز صورت گرفت. در این مطالعه آلاینده‌های سرب و روی نیز به ترتیب با متد NIOSH 7105 و NIOSH 7030 نمونه‌برداری، استخراج و آنالیز شد. برای نمونه‌برداری از ذرات کلی سرب و روی از فیلتر استرسلولزی ۰/۸ میکرون و هولدر استفاده شد و در نمونه‌برداری از ذرات قابل استنشاق روی بجای هولدر با سیکلون نمونه‌برداری، انجام شد. دبی پمپ نمونه‌برداری از ذرات کلی سرب و روی نیز همانند نمونه‌برداری از آئروسل اسیدسولفوریک در دو حالت با تهویه و بدون سیستم تهویه متفاوت انتخاب شد، بدین ترتیب برای حالت بدون تهویه ۳ لیتر بر دقیقه و برای حالت با تهویه ۲ لیتر بر دقیقه تنظیم گردید و در نمونه‌برداری با سیکلون با دبی ثابت ۲ لیتر بر دقیقه نمونه‌برداری انجام گرفت. مدت زمان نمونه‌برداری برای نمونه‌های محیطی و منبع آلاینده ۱۵۰ دقیقه محاسبه شد و جهت تهیه نمونه‌های فردی، کل شیفت نمونه‌برداری صورت گرفت. برای آلاینده سرب و روی تعداد ۲۴ نمونه تهیه گردید. در مرحله استخراج، هر یک از فیلترهای استرسلولزی حاوی نمونه به روش هضم اسیدی با اسید نیتریک استخراج و در بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری به حجم رسانیده شد. جهت آنالیز نمونه‌ها روی، مطابق متد NIOSH 7030 دستگاه جذب اتمی بر روی شعله تنظیم گردید سپس نمونه‌های استاندارد کاربردی آسپیره، و منحنی کالیبراسیون ترسیم گردید. نمونه‌های اصلی نیز آسپیره و غلظت هر یک تعیین شد. برای آنالیز نمونه‌های سرب، بر اساس متد NIOSH 7105 دستگاه جذب اتمی بر روی کوره تنظیم شد سپس با تزریق استانداردهای کاربردی و ترسیم منحنی کالیبراسیون نمونه‌های اصلی تزریق و غلظت نمونه‌های سرب تعیین گردید. در مرحله بعد این مطالعه، عملکرد سیستم تهویه اجرا شده مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت محاسبات سیستم تهویه از روش فشار سرعت که توسط کمیته تهویه صنعتی آمریکا ACGIH معرفی شده است، استفاده گردید. در این روش، کلیه افت‌های ناشی از اصطکاک و افت‌های دینامیک سیستم، به‌صورت ضریبی از فشار سرعت سیستم معرفی گردید [۱۵].

برای محاسبه دبی، روش‌های مختلفی وجود دارد. به طور کلی هودهای استاندارد (هودهایی که از قبل برای عملیات معین طراحی شده‌اند) دارای دبی‌های مشخص هستند. حداقل سرعت انتقالی در کانال نیز وابسته به نوع، سایز و چگالی آلاینده می‌باشد و مقدار آن در استانداردهای تهویه ذکر شده است. با استفاده از دبی و حداقل سرعت انتقالی کانال سطح مقطع و قطر کانال محاسبه گردید [۱۵].

همچنین فشار سرعت از طریق رابطه زیر را محاسبه گردید:

$$VP = (\frac{V}{4005})^2$$

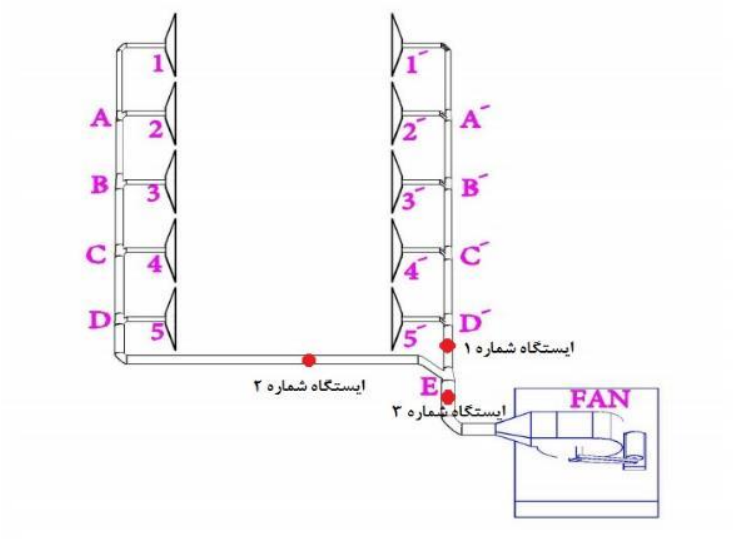
رابطه بین فشار سرعت، فشار استاتیک و فشار کل نیز به شکل زیر می‌باشد.

$$TP = SP + VP$$

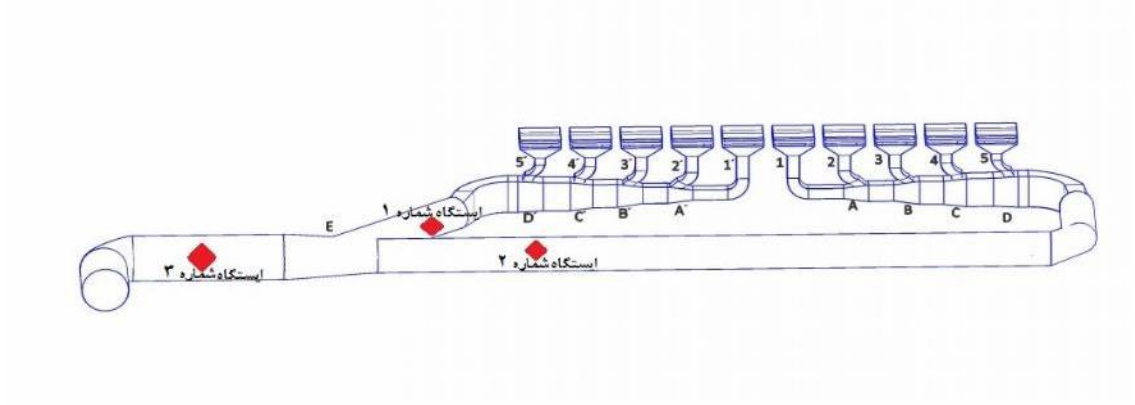
با توجه به ویرایش ۲۸ استاندارد (VS-72-01) کمیته تهویه صنعتی آمریکا (ACGIH) که مربوط به سیستم تهویه دمشی-مکشی برای مخازن روباز می‌باشد [۱۵]. جهت بررسی تطابق بین سیستم تهویه طراحی شده و اجرا شده در ابتدا مشخصات سخت افزاری مثل شکل هود مکنده و نازل‌های دمنده، محل استقرار هودها و نازل‌های دمنده، اتصال کانال‌ها و ... مورد بررسی قرار گرفت. سپس با اندازه‌گیری پارامترهای عملیاتی اعم از دبی، سرعت، فشار سرعت و ... در کانال‌های اصلی سیستم اجرا شده و مقایسه آن‌ها با مقادیر پیشنهادی ACGIH و مقادیر طراحی شده تطابق سیستم تهویه اجرا شده مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب در ۳ شاخه انتهایی کانال‌های سیستم دمنده و مکنده، نقاطی که تا حد امکان کمترین آشفتگی جریان وجود داشت (در فواصل دور از وردی، زانویی، انشعابات و ...) جهت اندازه‌گیری انتخاب شد. ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در تصویر ۱ و ۲ مشخص شده است. در تصویر ۳ نیز نمای کلی از سیستم دمشی-مکشی آورده شده است. در ضمن میزان دبی دمشی و مکشی همه هودها و دهانه‌های دمنده مورد سنجش قرار گرفت در این نقاط توسط لوله پیتوت و دستگاه میکروپروسسور مدل AIRFLOW MEDM 500 فشار سرعت و فشار استاتیک اندازه‌گیری شد. اختلاف فشار کل و فشار استاتیک، بیانگر مقدار فشار سرعت در نقطه اندازه‌گیری می‌باشد. با محاسبه سرعت و داشتن مقادیر مساحت سطح مقطع کانال، دبی تعیین گردید. همچنین در این مطالعه سرعت دمش و مکش هوا در فواصل مختلف از دهانه نازل دمنده و هود مکنده توسط آنومتر حرارتی اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب در روبه‌روی نازل‌های دمنده در چندین نقطه سرعت دمش اندازه‌گیری و میانگین گیری شد. همچنین در فواصل ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متری از نازل‌های دمنده بدین‌صورت اندازه‌گیری شد. بعد از حدود ۲ متر از دهانه نازل‌های دمنده که منطقه تحت تأثیر سیستم مکشی است نیز سرعت مکش اندازه‌گیری شد؛ تا کارایی سیستم دمنده در جاروب کردن آلاینده و سیستم مکنده در دریافت و انتقال آلاینده مورد بررسی قرار گرفت.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

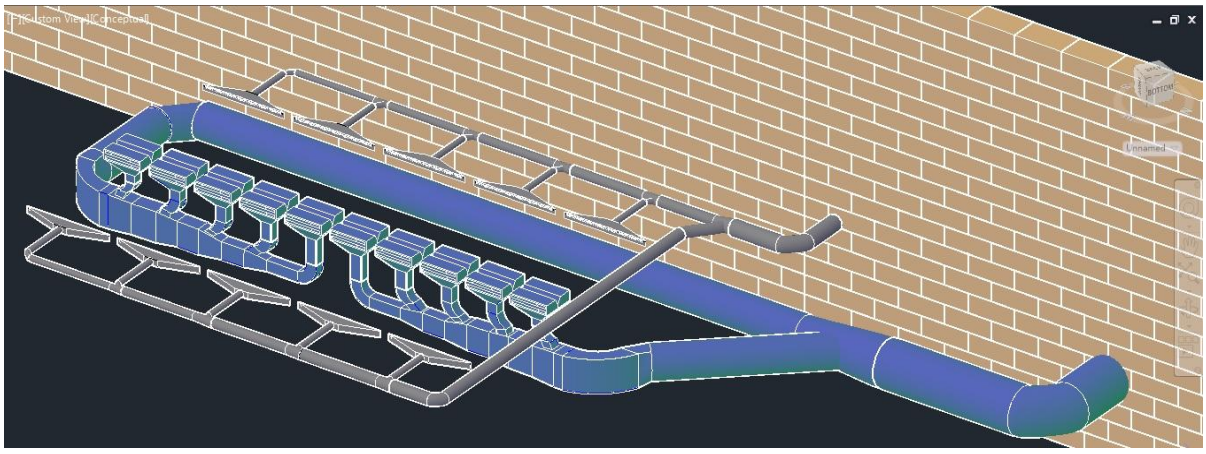
[DOI: 10.21859/johe-04017]



تصویر ۱: ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای طراحی در سیستم تهویه دمنده



تصویر ۲: ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای طراحی در سیستم تهویه مکنده



تصویر ۳: نمای کلی از سیستم تهویه دمشی-مکشی اجرا شده بدون وان‌ها

یافته‌ها

حدود مجاز مواجهه شغلی سه آلاینده سرب، روی و اسیدسولفوریک مطابق حدود مجاز مواجهه شغلی ایران ویرایش چهارم سال ۱۳۹۵ برای ذرات تنفسی سرب ($\frac{mg}{m^3}$ ۰/۰۵)، ذرات قابل استنشاق روی ($\frac{mg(R)}{m^3}$ ۲) و ذرات توراسیک اسیدسولفوریک ($\frac{mg(T)}{m^3}$ ۰/۲) می‌باشد. نتایج سنجش آلاینده‌ها در حالت بدون سیستم تهویه نشان داد غلظت سرب (کل) و روی (قابل استنشاق) در منطقه تنفسی کارگران به ترتیب ۰/۰۰۰۸۳ ±

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.21859/johe-04017]

۰/۰۰۲۶۷ و ۰/۲۵ ± ۰/۳۸۷ $\frac{mg}{m^3}$ می‌باشد که کمتر از حدود مجاز مواجهه شغلی ایران بوده ولی غلظت توراسیک اسید سولفوریک ۰/۹ ± ۱/۱۷ $\frac{mg}{m^3}$ بدست آمد که بیشتر از حدود مجاز بود. میانگین نتایج غلظت آلاینده‌ها با تهویه و بدون سیستم تهویه در جداول شماره ۱ تا ۳ ارائه شده است.

غلظت نمونه‌های اسیدسولفوریک، با دستگاه یون کروماتوگرافی و براساس منحنی کالیبراسیون ترسیم شده با R^2 = ۰/۹۹ تعیین گردید. نتایج اندازه‌گیری اسیدسولفوریک نشان داد در حالت بدون سیستم تهویه غلظت آلاینده کل در منطقه تنفسی کارگر بین ۲/۷۶ تا ۶/۶۲، برای نمونه‌های محیطی ۶/۷۵ تا ۹/۶۶ و منبع مولد آلاینده ۱۴/۷۳ تا ۲۹/۲۵ میلی‌گرم بر مترمکعب می‌باشد. در حالت با تهویه این مقادیر به ترتیب در رنج‌های ۰/۳۱ تا ۰/۵۹، ۰/۳۹ تا ۱/۹۲ و ۱/۴۶ تا ۵/۱۲ میلی‌گرم بر مترمکعب بود. منحنی کالیبراسیون ترسیم شده از استانداردهای کاربردی سرب و روی به ترتیب ضریب همبستگی ۰/۹۸ و ۰/۹۹ را نشان داد. نتایج نشان داد کمترین و بیشترین مقادیر به دست آمده برای سرب به ترتیب در منطقه تنفسی کارگر و در منبع تولید آلاینده با مقادیر ۰/۰۰۰۱۶ و ۰/۰۰۳۶ میلی‌گرم بر مترمکعب بود. این مقادیر برای آلاینده روی ۰/۰۲ و ۲/۶۱ میلی‌گرم بر مترمکعب به دست آمد. نتایج سنجش ۳ آلاینده اسیدسولفوریک، روی و سرب به ترتیب در جداول ۱ تا ۳ ارائه شده است. درمجموع راندمان جمع‌آوری آلاینده‌ها توسط سیستم تهویه دمشی مکشی در منطقه تنفسی ۸۵/۴ تا ۹۴/۶ درصد، برای نمونه‌های محیطی ۷۴ تا ۹۳/۶ درصد و برای منبع آلاینده ۶۴/۴ تا ۹۲ درصد بود ($P < 0/05$). میانگین بازده سیستم تهویه اجرا شده در جمع‌آوری سه آلاینده سرب، روی و اسیدسولفوریک، در سه حالت نمونه‌برداری از منطقه تنفسی کارگر، نمونه‌برداری محیطی و نمونه‌برداری از منبع آلاینده، در تصویر ۴ ارائه شده است.

جدول ۱: نتایج سنجش آلاینده اسیدسولفوریک با تهویه و بدون تهویه

محل نمونه‌برداری	غلظت (mg/m^3)			
	تعداد نمونه	بدون تهویه	با تهویه	P-value
منطقه تنفسی کارگر (توراسیک)	۷	۱/۱۷ ± ۰/۹	۰/۱۱ ± ۰/۳۲	۰/۰۱۴
منطقه تنفسی کارگر (کل)	۷	۴/۶۹ ± ۳/۶۳	۰/۴۵ ± ۰/۱۲	۰/۰۲۳
محیطی	۸	۸/۵۸ ± ۲/۵۵	۰/۹۶ ± ۰/۶۲	۰/۰۱۲
منبع آلاینده	۸	۲۲/۳۷ ± ۵/۹۸	۳/۹ ± ۲/۱	۰/۰۱۰

جدول ۲: نتایج سنجش آلاینده روی با تهویه و بدون تهویه

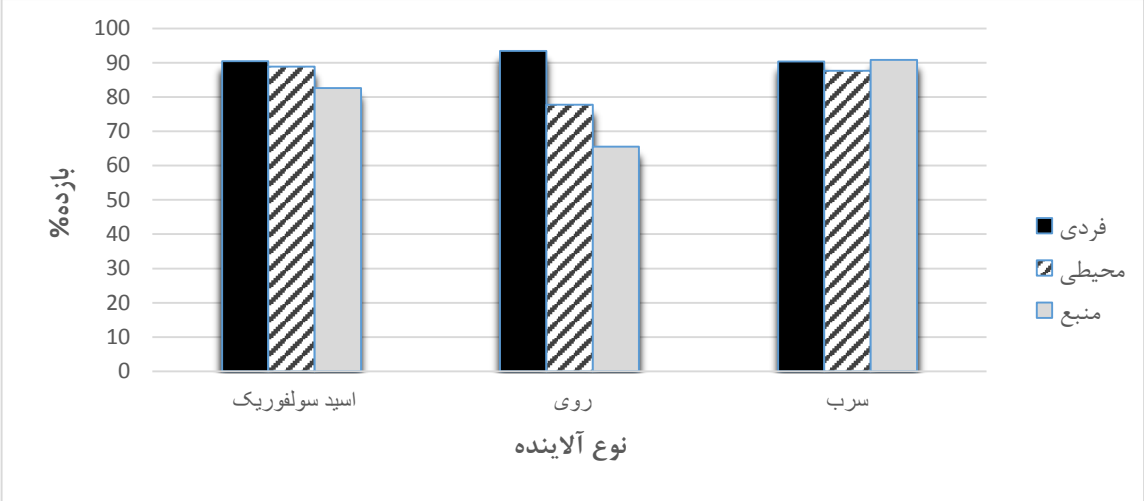
محل نمونه‌برداری	غلظت (mg/m^3)			
	تعداد نمونه	بدون تهویه	با تهویه	P-value
منطقه تنفسی کارگر (قابل استنشاق)	۶	۰/۳۸۷ ± ۰/۲۵	۰/۰۲۵ ± ۰/۰۰۷۴	۰/۰۲۱
منطقه تنفسی کارگر (کل)	۶	۰/۵۱ ± ۰/۳۳	۰/۰۸۷ ± ۰/۰۰۳۳	۰/۰۱۹
محیطی	۶	۰/۴۱۵ ± ۰/۱۳	۰/۰۹۲ ± ۰/۰۴۴	۰/۰۰۵
منبع آلاینده	۶	۲/۳۶ ± ۰/۳۵	۰/۸۱۵ ± ۰/۳۶	۰/۰۳۵

جدول ۳: نتایج سنجش آلاینده سرب با تهویه و بدون تهویه

محل نمونه‌برداری	غلظت (ug/m^3)			
	تعداد نمونه	بدون تهویه	با تهویه	P-value
منطقه تنفسی کارگر (کل)	۸	۲/۶۷ ± ۰/۸۳	۰/۲۳ ± ۰/۱۹	۰/۰۴۶
محیطی	۸	۲/۴۹ ± ۰/۹۸	۰/۳۰ ± ۰/۱۰	۰/۰۰۷
منبع آلاینده	۸	۵/۲ ± ۲/۱۵	۰/۴۷ ± ۰/۷۶	۰/۰۱۷

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.21859/johe-04017]



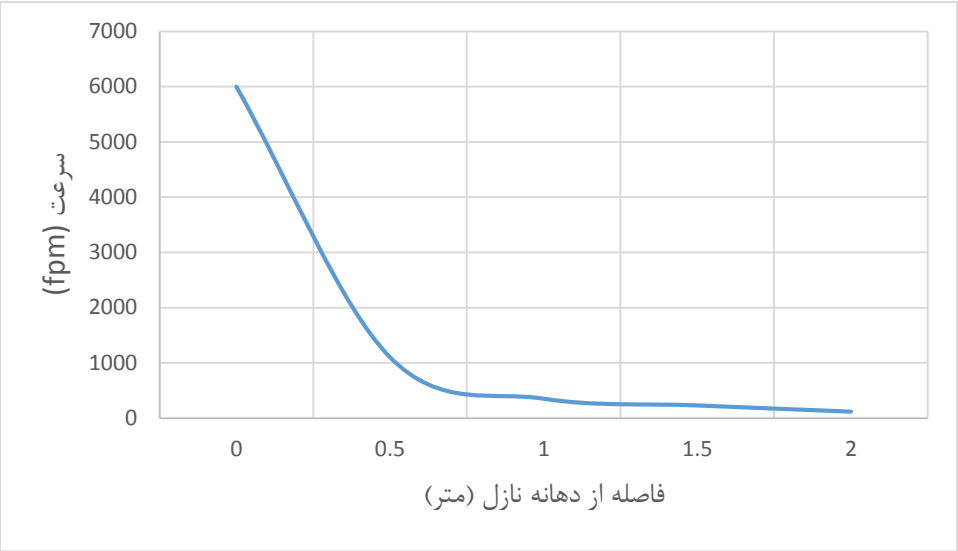
تصویر ۴: میانگین بازده جمع‌آوری سیستم تهویه دمشی مکشی در جمع‌آوری آلاینده‌ها

جدول ۴: نتایج پارامترهای عملیاتی اندازه‌گیری شده و مقادیر طراحی شده

		مقادیر اندازه‌گیری شده				مقادیر طراحی شده				نسب میزان اختلاف = مقادیر اندازه‌گیری شده / مقادیر طراحی شده		
	ایستگاه	محل اندازه‌گیری	فشار سرعت (V_P)	میانگین سرعت جریان هوا (fpm)	دبی جریان هوا (cfm)	فشار سرعت (V_P)	میانگین سرعت جریان هوا (fpm)	دبی جریان هوا (cfm)	فشار سرعت (V_P)	میانگین سرعت جریان هوا (fpm)	دبی جریان هوا (cfm)
سیستم تهویه مکنده	ایستگاه ۱	شاخهÉ-E	۱/۱۱۲۵	۴۲۲۴/۳	۱۶۰۲۰/۶	۱/۰۹۹۱	۴۱۹۸	۱۶۰۱۳	۱/۰۱	۱/۰۰۶	۱/۰۰۰۴
	ایستگاه ۲	شاخه D-E	۱/۰۴۰۲	۴۰۸۴/۸	۱۵۴۹۱/۷	۱/۰۹۹۱	۴۱۹۸	۱۵۴۸۱	۰/۹۴	۰/۹۷	۱/۰۰۰۶
	ایستگاه ۳	شاخه E-FAN	۰/۹۸۵۲	۳۹۷۵/۳	۲۹۶۶۱	۱/۱۰۹	۴۲۱۷	۳۱۴۹۴	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۹۴
	ایستگاه ۴	دهانه شکاف	_	۱۷۵۰	–	–	۲۰۰۰	–	–	۰/۸۷	–
سیستم تهویه دمنده	ایستگاه ۱	شاخهÉ-E	۰/۸۰۴۸	۳۵۹۲/۹	۲۳۵۶/۹	۱/۰۴۰۲	۴۰۸۳	۲۴۴۶	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۹۶
	ایستگاه ۲	شاخه D-E	۰/۶۷۷۸	۳۲۹۷/۳	۲۴۳۳/۴	۱/۰۴۰۲	۴۰۸۳	۲۳۱۲	۰/۶۵	۰/۶۹	۱/۰۵
	ایستگاه ۳	شاخه E-FAN	۲/۰۳۵۷	۵۷۱۴	۴۷۹۰	۱/۴۶۲۸	۴۸۴۳	۴۷۵۸	۱/۳	۱/۲۰	۱/۰۰۶
	ایستگاه ۴	دهانه نازل دمنده	-	بیش از ۶۰۰۰	–	–	–	–	–	–	–

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.21859/johe-04017]



تصویر ۵: تغییرات سرعت در فواصل مختلف از نازل دمنده

پارامترهای عملیاتی نشان داد سرعت در داخل کانال مکشی fpm ۳۹۷۵ تا ۴۲۲۴ و در داخل کانال دمشی fpm ۳۲۹۷ تا ۵۷۱۷ است. هواگذر نهایی در کانال مکشی به طور متوسط cfm ۲۹۶۶۰ و در کانال دمشی cfm ۴۷۹۰ اندازه‌گیری شد. میانگین نتایج مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای عملیاتی و مقادیر طراحی شده در جدول ۴ ارائه شده است.

همچنین به طور متوسط سرعت در دهانه هود مکنده fpm ۱۷۵۰ و در نازل دمنده بیش fpm ۶۰۰۰ اندازه‌گیری شد. مقادیر سرعت نازل دمنده در فواصل ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ متری اندازه‌گیری شد که این تغییرات در تصویر ۵ ارائه شده است.

بحث

در این مطالعه در طراحی و اجرای سیستم تهویه دمشی-مکشی به دلیل محدودیت‌های موجود و جهت اثربخشی بهتر، تغییراتی در فرایند و نحوه طراحی سیستم تهویه ایجاد شده بود. در یک طرح ابتکاری به دلیل کمبود فضا از هود مکنده دوطرفه استفاده شده بود به‌طوری‌که این هود دو وان رو به روی هم را پوشش می‌داد و به‌وسیله نیم تیغه به دو بخش تقسیم شده بود تا افت زیادی ایجاد نشود و از آشفتگی جریان جلوگیری گردد. همچنین جهت جانمایی این هودها در نزدیک‌ترین حالت به منبع آلاینده، لاندرها را حدود ۳۰ سانتی‌متر بالا آورده و هود مکنده در زیر آن‌ها قرار داده شده بود. از طرفی این افزایش ارتفاع لاندرها باعث شده بود محلول از ارتفاع بیشتری به درون وان‌ها ریخته شود و این خود انتشار آلاینده را افزایش می‌داد جهت حل این مسئله از ناودان‌های لاستیکی برای انتقال محلول به درون وان‌ها استفاده شده بود. همچنین در کانال‌کشی سیستم مکنده جهت جلوگیری از اخلال در کار کارگران به جای کانال‌کشی به سمت بالا، کانال‌کشی به سمت پایین و از بین حوضچه‌ها انجام شده بود. در کانال‌کشی از بین حوضچه‌ها به دلیل کمبود فضا از کانال‌هایی با سطح مقطع چهارگوش استفاده شده بود و در قسمت خارج از حوضچه‌ها با برطرف شدن این محدودیت از سطح مقطع گرد بهره گرفته شده بود. در سیستم دمنده جهت توزیع بهتر هوای دمیده شده، قاب‌های نازل دمنده مشابه هود به‌صورت مثلثی شکل طراحی شده بود و ورق‌هایی نیز بر روی آن‌ها قرار داده شده بود تا از گیر کردن پای کارگران و ایجاد خطر جلوگیری شود و فضای مناسبی جهت ورق کنی ایجاد گردد. در مطالعه‌ای که بهرامی و همکاران (۲۰۰۸) در رابطه با مواجهه کارگران با آلاینده کوارتز قبل و بعد از اجرای سیستم تهویه انجام دادند، نشان داده شد که در برخی از موارد جهت رسیدن به حدود مجاز مواجهه شغلی لازم است همراه با سیستم تهویه، تغییرات فرایندی انجام شود [۱۶]. در صنعت تولید روی، قسمت الکترولیز ازجمله بخش‌های ایجاد کننده آلودگی می‌باشد که ازجمله این آلاینده‌ها می‌توان به اسیدسولفوریک و فلزات سنگین اشاره کرد. نتایج به دست آماده از این مطالعه نشان داد هم غلظت توراسیک و هم غلظت کل آئروسل اسیدسولفوریک قبل از اجرای تهویه در هر سه منطقه مورد بررسی بیشتر از ۵/۵ برابر حدود مجاز مواجهه کشوری بود و بعد از اجرای سیستم تهویه این مقادیر ۸۲ تا ۹۰ درصد کاهش یافت و غلظت توراسیک اسیدسولفوریک نیز در منطقه تنفسی به کمتر از حدود مجاز مذکور کاهش یافت. براتویت و همکاران (۲۰۰۳) غلظت میست اسیدسولفوریک در منطقه تنفسی کارگران را در حالتی که سیستم کنترلی وجود نداشت بین ۰/۱۱ تا ۶/۰۴ میلی‌گرم بر مترمکعب گزارش کردند که نتایج مطالعه آن‌ها بسیار نزدیک به نتایج مطالعه حاضر بوده است [۱۷]. از دلایل بزرگ بودن دامنه تغییرات نتایج اندازه‌گیری مطالعه حاضر می‌توان به ثابت نبودن شرایط نمونه‌برداری مثل باز بودن قسمت‌هایی از دیوار واحد الکترولیز و ورود جریان هوا از بیرون به داخل سالن اشاره کرد. گلبابایی و

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.21859/johe-04017]

همکاران (۲۰۰۵) غلظت برخی فلزات سنگین را در هوای منطقه تنفسی کارگران صنعت روی مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه، غلظت دو فلز سرب و روی به ترتیب ۰/۰۵۸ و ۲/۵۱۸ میلی‌گرم بر مترمکعب گزارش شده است [۱۸]. ولی در مطالعه حاضر غلظت سرب و روی نسبت به مطالعه گلبابایی و همکاران کمتر به دست آمد. بالا بودن نتایج مطالعه گلبابایی و همکاران می‌تواند به دلیل اندازه‌گیری آلاینده‌ها در محل ذوب روی باشد. نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر راندمان جمع‌آوری آلاینده‌ها توسط سیستم تهویه دمشی مکشی طراحی شده را به طور متوسط ۶۵ تا ۹۱ درصد نشان داد در مطالعه‌ای که واتسون و همکاران (۲۰۰۱) انجام دادند به این نتیجه رسیدند که استفاده از سیستم دمشی مکشی برتر از سیستم مکشی یک‌طرفه یا دوطرفه می‌باشد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد راندمان جمع‌آوری سیستم تهویه دمشی مکشی بیش از ۹۰ درصد می‌باشد که با تغییر سیستم به حالت مکشی یک‌طرفه یا دوطرفه این راندمان به میزان ۳۸ تا ۵۸ درصد کاهش می‌یابد [۱۹]. در مطالعه حاضر وان‌های الکترولیز جزء مخازن روباز محسوب می‌شوند اما به دلیل محدودیت فضا و عدم امکان جابجایی وان‌ها، امکان طراحی سیستم دمشی-مکشی در عرض وان‌ها وجود نداشت و از طرفی طول وان‌ها ۲/۴ متر بود درنتیجه در مواردی که ابعاد بیش از ۱/۲ متر باشد به دلیل اینکه سرعت رابش در فواصل دورتر از هود بشدت کاهش می‌یابد امکان استفاده از سیستم مکشی یک‌طرفه و دوطرفه وجود ندارد ولی سیستم دمشی مکشی توان جاروب و جمع‌آوری آلاینده‌ها در این شرایط را دارد. لانگ و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای، از سیستم تهویه دمشی مکشی برای کاهش مواجهه کارگران با VOCها استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد با استفاده از سیستم تهویه دمشی مکشی مواجهه کارگران با آلاینده‌ها به زیر حدود مجاز کاهش یافت [۲۰]. نتایج مطالعه کولمالا و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان داد استفاده از سیستم تهویه دمشی مکشی بر روی خطوط ریخته‌گری، می‌تواند ۴۰ تا ۸۰ درصد فیوم‌های فلزی تولیدی را جمع‌آوری نماید [۲۱]. در مطالعه حاضر نیز غلظت آئروسل‌های اسیدسولفوریک در منطقه تنفسی به کمتر از حدود مجاز شغلی ایران یعنی به ۰/۱۱ میلی‌گرم بر مترمکعب رسید، راندمان جمع‌آوری فلزات سنگین در مطالعه کومالا و همکاران کمتر از مطالعه حاضر می‌باشد که احتمالاً دمای بالای فرایند ریخته‌گری و بالطبع افزایش حجم هوا از مهم‌ترین دلایل آن می‌باشد.

نتایج مطالعه دان و همکاران (۲۰۰۴) با عنوان ارزیابی سیستم تهویه برای کنترل فیبرهای سرامیکی نسوز در طول عمل سنباده‌زنی توسط صفحه نشان داد طراحی مناسب و نگهداری از سیستم دو عامل مهم در سیستم می‌باشد همچنین آن‌ها دلیل رسوب الیاف و گردوغبار در داخل کانال‌ها را سرعت انتقال کم بیان کردند [۲۲, ۲۳]. در مطالعه حاضر نتایج اندازه‌گیری پارامترهای عملیاتی سیستم تهویه اجرا شده و مقایسه آن‌ها با پارامترهای طراحی بیانگر تطابق مناسب بین این دو مقادیر می‌باشد. همچنین این نتایج نشان می‌دهد شاخه‌ها از بالانس مناسبی برخوردار می‌باشند. در طراحی سیستم تهویه به دلیل ماهیت فرایند و چسبندگی آلاینده و همچنین با توجه به تجربه‌های قبلی طراح، دبی و سرعت در داخل کانال بیشتر از توصیه ACGIH انتخاب شده است تا از رسوب آلاینده در داخل کانال جلوگیری شود و سیستم تهویه راندمان مناسب‌تری در جمع‌آوری آلاینده‌ها داشته باشد. جمشیدی و همکاران (۱۳۹۵) مطالعه‌ای با هدف ارزیابی عملکرد سیستم تهویه موضعی در یک واحد آهن‌سازی انجام دادند و پارامترهای عملیاتی را اندازه‌گیری کردند. سپس با مقادیر طراحی و استانداردهای تهویه مقایسه کردند نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها نشان داد دبی و سرعت سیستم تهویه موضعی در وضعیت موجود بیش از ۵۰ درصد نسبت به مقدار طراحی کاهش پیدا کرده است [۲۳]. ولی در مطالعه حاضر نتایج نشان داد بین مقادیر پارامترهای طراحی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده تطابق معنی‌داری وجود دارد. در مطالعه گرکز و همکاران (۱۳۹۳) در طراحی سیستم تهویه موضعی جهت کنترل گردوغبارهای منتشره از کوره ذوب در یک شرکت تولید فولاد آلیاژی کارایی این سیستم در کنترل آلاینده‌ئ فردی و محیطی به ترتیب ۹۲/۷ و ۸۰/۳ به دست آمد [۲۴]. مرادی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در یک طراحی سیستم تهویه موضعی جهت کنترل آلاینده‌ی واحد خردایش یک صنعت تولیدی انجام شد به راندمان ۹۳/۰۱ برای مواجهه فردی و ۶۴/۶۴ برای آلاینده‌های محیطی دست یافتند [۲۵]. در مطالعه حاضر نیز راندمان سیستم تهویه دمشی-مکشی در جمع‌آوری آلاینده‌های فردی و محیطی نزدیک به دو مطالعه بالا می‌باشد. در مطالعه دیوید و همکاران (۱۹۸۵) تحت عنوان توسعه تهویه دمشی-مکشی به این نتایج دست یافتند که در صورت طراحی مناسب نرخ جریان دمشی و مکشی می‌توان به راندمان ۹۸ درصد دست یافت. این محققین نشان دادند که استفاده از سیستم تهویه دمشی-مکشی نسبت به سیستم یک‌طرفه یا دوطرفه باعث صرفه جویی در انرژی می‌گردد [۲۶]. در مطالعه حاضر نیز دبی جریان دمشی حدود ۱۳ درصد جریان مکشی می‌باشد با این حال حدود ۲ متر از ۲/۴ متر از طول وان، تحت تأثیر سیستم دمشی می‌باشد. درواقع سیستم دمشی با دبی کمتر فضای بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد که این خود علاوه بر اثربخشی بالا باعث کاهش مصرف انرژی نسبت به سیستم تهویه موضعی یک‌طرفه و دوطرفه می‌گردد. مطالعه هیلسربگ و همکاران (۱۹۹۷) نشان داد تعادل بین سیستم دمشی و سیستم مکشی تأثیر بسیار مهمی بر روی راندمان جمع‌آوری آلاینده‌ها دارد [۹]. در مطالعه حاضر نیز اندازه‌گیری‌ها نشان داد بین، سیستم دمنده و مکنده اجرا شده این تعادل رعایت شده است.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.21859/johe-04017]

همان‌طور که در تصویر ۴ نشان داده شده است سیستم دمنده توان انتقال آلاینده تا فاصله ۲ متر را دارد و بعد از آن متأثر از سیستم مکشی می‌باشد. در بررسی مطالعات انجام شده طراحی هود دوطرفه وجود نداشت و این خود یکی از نوآوری طراحی صورت گرفته می‌باشد که با توجه به فضا کم بین دو وان کمک شایانی در اجرایی شدن طرح کرده بود به‌طوری که هیچ گونه خللی در کار کارگران و پروسه کاری ایجاد نکرده بود و همچنین با توجه به نتایج به دست آمده اثربخشی بالایی در جمع‌آوری آلاینده‌ها داشته و غلظت آلاینده‌ها تا حدود مجاز کشوری کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد در واحد الکترولیز روی اگرچه غلظت فلزات سنگین چندان بالا نمی‌باشد ولی غلظت میست اسیدسولفوریک چندین برابر حدود مجاز می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد استفاده از سیستم تهویه دمشی مکشی یکی از روش‌های مؤثر در کنترل آلاینده‌ها در چنین صنایعی می‌باشد که البته همان‌طور که اشاره شد تغییراتی در طراحی و فرایند ایجاد شده بود که این خود باعث افزایش کارایی و اجرایی شدن طرح شده بود. از دلایل موفقیت این طرح می‌توان به تغییرات فرایندی ایجاد شده جهت اجرایی بودن سیستم تهویه، توجه به ماهیت آلاینده در تعیین پارامترهای طراحی، تطابق مناسب بین مقادیر پارامترهای طراحی و پارامترهای عملیاتی و بالانس بودن شاخه‌ها اشاره کرد. همچنین به این نکته باید توجه کرد که این ارزیابی در ماه‌های اولیه بعد از اجرای سیستم تهویه انجام شده است و باید به‌صورت دوره‌ای پایش شود و نگهداری و تعمیرات آن به‌خوبی صورت گیرد تا عملکرد آن حفظ گردد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی همدان به خاطر حمایت مالی این مطالعه در قالب طرح شماره ۹۵۰۱۱۷۱۱۰ تشکر و قدردانی می‌نمایند. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد تحت عنوان «کنترل آلاینده‌های منتشره واحد الکترولیز یک صنعت تولید روی با طراحی و اجرای سیستم تهویه دمشی-مکشی و تغییرات فرایندی» دانشگاه علوم پزشکی همدان در رشته بهداشت حرفه‌ای می‌باشد.

References

1. Beckett WS, Chalupa DF, Pauly-Brown A, Speers DM, Stewart JC, Frampton MW, et al. Comparing inhaled ultrafine versus fine zinc oxide particles in healthy adults: a human inhalation study. Am J Respir Crit Care Med. 2005;171(10):1129-35. DOI: 10.1164/rccm.200406-837OC PMID: 15735058
2. Recéndiz A, González I, Nava JL. Current efficiency studies of the zinc electrowinning process on aluminum rotating cylinder electrode (RCE) in sulfuric acid medium: Influence of different additives. Electrochim Acta. 2007;52(24):6880-7. DOI: 10.1016/j.electacta.2007.04.112
3. Khezri M, Mansoori N, Etaei F, Sedghiniya A. [Control of acid vapors in the industry of aluminum anodizing and proper ventilation system design]. Environ Sci Technol. 2009;11 (4):109-15.
4. El-Maksoud SA. The effect of organic compounds on the electrochemical behaviour of steel in acidic media. A review. Int J Electrochem Sci. 2008;3(5):528-55.
5. Marzal F, Gonzalez E, Minana A, Baeza A. Influence of push element geometry on the capture efficiency of push-pull ventilation systems in surface treatment tanks. Ann Occup Hyg. 2002;46(4):383-93. PMID: 12176707
6. Marzal F, Gonzalez E, Minana A, Baeza A. Determination and interpretation of total and transversal linear efficiencies in push-pull ventilation systems for open surface tanks. Ann Occup Hyg. 2002;46(7):629-35. PMID: 12270887
7. Robinson M. Recommendations for the design of push-pull ventilation systems for open surface tanks. Ann Occup Hyg. 1996;40(6):693-704. DOI: 10.1016/s0003-4878(96)00011-7
8. Robinson M, Ingham DB. Design and operating parameters for push-pull ventilation of open surface tanks. Int J Energy Res. 2003;27(8):757-70. DOI: 10.1002/er.914
9. Heiselberg P, Topp C. Removal of airborne contaminants from a surface tank by a push-pull system. Indoor Environ Technol J. 1997;5(6):770-80.
10. Bahrami A, Ghorbani F, Mahjub H, Golbabei F, Aliabadi M. Application of traditional cyclone with spray scrubber to remove airborne silica particles emitted from stone-crushing factories. Ind Health. 2009;47(4):436-42. PMID: 19672019
11. Jamshidi Rastani M, Bahrami A, Mahmudi Alashti S, Rastbala N, Resalati S, Hasani S. [Efficiency Assessment of Local Exhaust Ventilation Hoods System for Control of Fe2O3 Dust in the process of Oxide Screen Unit at iron making in steel industry]. J Occup Hyg Eng. 2014;1(3):9-18.
12. Fraguela Formoso J. American Conference of Governmental Industrial Hygienists Committee on Industrial Ventilation (2013) Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design. 2013.
13. Ghorbani Shahna F, 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. PMID: 22878358
14. Hasan N, Said M, Leman A. Local Exhaust Ventilation: PAST, PRESENT, and FUTURE. 15th Conference and Exibition on Occupational Safety & Health; Selangor2012.
15. Ventilation CoI. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice. 28th ed. Cincinnati, Ohio: Committee on Industrial Ventilation; 2013.
16. Bahrami AR, Golbabai F, Mahjub H, Qorbani F, Aliabadi M, Barqi M. Determination of exposure to respirable quartz in the stone crushing units at Azendarian-West of Iran. Ind Health. 2008;46(4):404-8. PMID: 18716390
17. Bratveit M, Haaland IM, Moen BE, Malsnes A. Exposure to sulfuric acid in zinc production. Ann Occup Hyg. 2004;48(2):159-70. PMID: 14990437
18. Golbabei F, Hasani Z, Shahtaheri S. [Evaluating the exposure of heavy metals among the smelting industry employees in Zanjan]. Zanjan Univ Med Sci J. 2005;13(53):55-61.
19. Watson SI, Cain JR, Cowie H, Cherrie JW. Development of a push-pull ventilation system to control solder fume. Ann Occup Hyg. 2001;45(8):669-76. PMID: 11718662
20. 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
21. Kulmala I, Hynynen P, Welling I, Saamanen A. Local ventilation solution for large, warm emission sources. Ann Occup Hyg. 2007;51(1):35-43. DOI: 10.1093/annhyg/mel049 PMID: 16861238

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.21859/johe-04017]

22. Dunn KH, Shulman SA, Cecala AB, Venturin DE. Evaluation of a local exhaust ventilation system for controlling refractory ceramic fibers during disc sanding. J Occup Environ Hyg. 2004;1(10):D107-11. DOI: 10.1080/15459620490500785 PMID: 15631052
23. Jamshidi Rastani M, Ghorbani Shahna F, Bahrami A, Hosseini S. Evaluation of local exhaust ventilation system performance for control of Fe2O3 dust at an iron making unit. Health Saf Work. 2016;6(2):43-56.
24. Garkaz A, Ghorbani Shahna F, Assari M. The designing and assessment of a local exhaust ventilation system coupled with hybrid collectors for air pollution control of an alloy steel company. Iran Occup Health. 2015;12(1):38-46.
25. Moradi M, Bahrami A. Design, Implementation & Assessment of Local Exhaust Ventilation System and dust collectors for crushing unit. J Occup Hyg Eng. 2015;2(2):33-42.
26. Huebener DJ, Hughes RT. Development of push-pull ventilation. Am Ind Hyg Assoc J. 1985;46(5):262-7. DOI: 10.1080/15298668591394789 PMID: 4003278

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.21859/johe-04017]

Journal of Occupational Hygiene Engineering **Original Article**

Volume 4, Issue 1

Evaluating the Effectiveness of Push-Pull Ventilation System for Controlling Lead, Zinc and Sulfuric Acid Emitted from Zinc Electrolysis Units of a Zinc Production Industry

Majid Akbari [1], Abdorahman Bahrami [2], Farshid Ghorbani Shahna [3,*]

[1] MSc Student, Department of Professional Health Engineering, Health Science Research Center, Faculty of Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran
[2] Professor, Department of Professional Health Engineering, Health Science Research Center, Faculty of Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran
[3] Associate Professor, Department of Professional Health Engineering, Health Science Research Center, Faculty of Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran
***Corresponding author:** Farshid Ghorbani Shahna, Associate Professor, Department of Professional Health Engineering, Health Science Research Center, Faculty of Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran. E-mail: fghorbani@umsha.ac.ir

DOI: 10.21859/johe-04017

Received: 07.04.2017
Accepted: 16.06.2017

Keywords:
Push-Pull Ventilation
Sulfuric Acid
Heavy
Metals
Zinc
Electrolysis

© 2016 Hamadan University of Medical Sciences

Abstract

Introduction: Air pollution is one of the hazardous factors on human health and the environment. In the zinc production industry, because of the process nature and using electrolysis pools, the amount of production and diffusion of some harmful pollutants such as acidic vapors is exceedingly high. This study aimed to assess the effectiveness of push-pull ventilation system implemented for controlling the emitted pollutants from an electrolysis unit of a zinc industry.

Methods: In this study, the concentrations of emitted pollutants into the breathing zone of workers and work environment, before and after implementing ventilation system in a zinc production industry, was measured. Then, the efficiency of the system in pollution reduction was measured consequently. Finally, the operational parameters of ventilation were measured and compared with the values of the design.

Results: Results showed that the concentrations of lead and zinc were less than Iran's occupational exposure limits in all samples, but the density of sulfuric acid was more than the permissible limit. The concentrations of sulfuric acid before implementing the ventilation system in the inhaled, environmental and pollution air sources were 1.17 ± 0.90, 2.14 ± 0.63 and 5.59 ± 1.49 mg per cubic meter, respectively. These values after implementing the ventilation system were 0.11 ± 0.032, 0.24 ± 0.15 and 0.97 ± 0.52 mg, respectively.

Conclusions: The results showed that the modified push-pull ventilation system that was in accordance with the limitations of the electrolysis unit has proper efficiency for reducing such industrial pollutants.

How to Cite this Article:
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 Units of a Zinc Production Industry. *J Occup Hyg.* 2016; 4(1):56-65. DOI: 10.21859/johe-04017

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.21859/johe-04017]