

Comparing the Two Methods of Ion Chromatography and Titration in Evaluating the Concentration of Sulfuric Acid Mist and Vapor in the General Air of the Electrolysis Unit of the Copper Production Industry

Mozaffari Abbas¹, Mohammadi Pejman*²

1. MSC, Research and Development Unit, Sarcheshmeh Copper Complex, Kerman, Iran.

2. Department of occupational health and safety engineering, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran.

* **Corresponding author.** Tel: +984533513775, +989148787751, E-mail: Pmohammadi64@gmail.com

Received: Apr 21, 2024

Accepted: Jun 12, 2024

ABSTRACT

Background & objectives: Sulfuric acid, due to its extensive use in various industries such as copper, lead, and zinc extraction, poses harmful effects on the health of workers in these units. Therefore, accurately assessing the exposure levels of employees in these industries is essential. This study compares assessments using titration and ion chromatography methods to determine the exact exposure levels of workers in previous years, which were assessed using the titration method.

Methods: Sampling and analysis were simultaneously conducted at specific stations using both titration-based methods and ion chromatography. In the titration method, sodium hydroxide solution was used within a porous bubbler, and in the ion chromatography method, the National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) Method 7903 was utilized. Statistical analysis of the results was performed using SPSS-18 software.

Results: The average acid concentration in the general air of the electrolysis cell house was 33.89 mg/m³ by the titration method and 0.119 mg/m³ by the ion chromatography method. The results indicated interference from sulfur dioxide gas in the titration method. No correlation was observed between the results of the two methods.

Conclusion: The titration method is not suitable for measuring sulfuric acid concentration in the air, especially in environments with high sulfur dioxide gas concentrations. Given the consistency of process conditions and ventilation in the studied electrolysis cell house during the study compared to previous years, the exposure levels can be considered in line with the results obtained from the ion chromatography method in this study.

Keywords: Sulfuric Acid Mist; Titration; Ion Chromatography; Electrolysis Cell House; Copper Industry

مقایسه دو روش یون کروماتوگرافی و تیتراسیون در ارزیابی غلظت میست و بخار اسیدسولفوریک در هوای عمومی واحد الکترولیز صنعت تولید مس

عباس مظفری^۱، پژمان محمدی^{۲*}

۱. مرکز تحقیق و توسعه، مجتمع مس سرچشمه، کرمان، ایران

۲. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، ایران

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱۴۸۷۸۷۷۵۱ فکس: ۰۴۵۳۳۵۱۳۷۷۵ ایمیل: pmohammadi64@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: اسید سولفوریک به واسطه استفاده فراوانی که در اغلب صنایع مانند استحصال مس، سرب و روی دارد، موجب اثرات زیان آوری بر سلامت کارکنان این واحدها می‌شود. بنابراین ارزیابی دقیق میزان مواجهه کارکنان در این صنایع ضروری است. این مطالعه ارزیابی به دو روش تیتراسیون و یون کروماتوگرافی را مقایسه کرده است تا میزان مواجهه دقیق کارکنان در سال‌های قبل که با روش تیتراسیون انجام گرفته بود را مشخص سازد.

روش کار: در ایستگاه‌های معینی همزمان به دو روش مبتنی بر تیتراسیون و یون کروماتوگرافی نمونه برداری و آنالیز انجام گرفت. در روش تیتراسیون از محلول هیدروکسید سدیم در داخل بابلر متخلخل و در روش یون کروماتوگرافی از متد ۷۹۰۳ موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج با نرم افزار SPSS-18 انجام شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت اسید در هوای سالن الکترولیز با روش تیتراسیون برابر ۳۳/۸۹ میلی‌گرم بر مترمکعب و در روش یون کروماتوگرافی برابر ۰/۱۱۹ میلی‌گرم بر مترمکعب بود. نتایج بیانگر تداخل گاز دی‌اکسید گوگرد در روش تیتراسیون بود. بین نتایج دو روش همبستگی مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: روش تیتراسیون برای اندازه‌گیری غلظت اسیدسولفوریک در هوا مناسب نمی‌باشد بویژه در محیط‌هایی که غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد بالا می‌باشد. با توجه به ثابت بودن شرایط فرآیندی و تپویه سالن مورد مطالعه در زمان انجام مطالعه با سال‌های پیشین، می‌توان میزان مواجهه را در حدود نتایج حاصل از روش یون کروماتوگرافی این مطالعه دانست.

واژه‌های کلیدی: میست اسید سولفوریک، تیتراسیون، یون کروماتوگرافی، سالن الکترولیز، صنعت تولید مس

پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۲۳

دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲

مقدمه

اسیدسولفوریک یک اسید قوی با فراریت کم است که معمولاً به صورت میست در هوا منتشر می‌شود. قرار گرفتن انسان در معرض اسیدسولفوریک به دلیل استفاده فراوان از آن در صنایع و آلودگی‌های محیطی رخ می‌دهد. عمده‌ترین کاربرد صنعتی اسیدسولفوریک کاربرد آن در تولید ایزوپروپانول،

اتانول، صابون، شستشوی فلزات، مواد شوینده، تولید باتری و فرآیندهای استحصال فلزاتی مانند سرب و مس است. اسیدسولفوریک همچنین به دلیل وجود گاز دی‌اکسید گوگرد در محیط‌های مرطوب مانند جو و مجاری تنفسی انسان تولید می‌شود (۱). اسیدسولفوریک باعث تحریک تنفسی در غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر مترمکعب، کاهش فعالیت ماکروفاژهای

ریه در غلظت بالای ۰/۷۵ میلی گرم بر متر مکعب و کاهش ظرفیت عملکردی ریه (FEV₁) می‌شود (۲،۳). بین زخم‌های مخاط دهان و مواجهه با غبار اسیدی یا مخلوطی از غبار و گازهای اسیدی رابطه مثبت گزارش شده است (۴،۵). قرار گرفتن در معرض اسیدسولفوریک باعث فرسایش دندان و نرم شدن سطح دندان و در نهایت مستعد شدن دندان به ساییدگی‌های مکانیکی مانند مسواک زدن می‌شود (۶،۷). چندین مطالعه نشان داده است که قرار گرفتن در معرض اسیدهای معدنی قوی از جمله اسیدسولفوریک خطر ابتلا به سرطان ریه و دستگاه تنفسی فوقانی را افزایش می‌دهد (۸،۹). بنابراین با توجه به اثرات زیان آور اسیدسولفوریک (بخار، میست یا گردوغبار) بر سلامتی انسان لازم است تا بویژه در محیط‌های شغلی میزان مواجهه کارگران بطور دقیق ارزیابی گردد تا براساس نتایج آن اقدامات کنترلی و مراقبتی برای کارگران در معرض مواجهه با این اسید اتخاذ گردد. روش‌های مختلف آنالیز برای اندازه‌گیری غلظت اسیدهای معدنی در هوا عبارتند از تیتراسیون، رنگ‌سنجی، وزن‌سنجی، روش‌های الکتروود یون انتخابی و یون کروماتوگرافی. روش‌های رنگ‌سنجی و وزن‌سنجی نتایج دقیقی در غلظت‌های زیر ۲۵۰ میلی گرم در لیتر ارائه نمی‌دهند. روش تیتراسیون نیز از مداخله یون‌های دیگر در نمونه رنج می‌برد (۱۰). در فرآیند استحصال مس در واحد الکتروود از اسیدسولفوریک استفاده می‌شود. در این فرآیند دما تا ۸۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد و اسید تبخیر می‌شود که می‌تواند کارگر را در معرض مواجهه قرار دهد. همچنین حباب‌های اکسیژن تولیدشده در این فرآیند به سطح مایع آمده و در هنگام خروج از مایع ترکیده و در نتیجه باعث پخش شدن مایع (حاوی اسیدسولفوریک) بصورت میست اسیدسولفوریک می‌شود. در واحد مورد مطالعه، ارزیابی مواجهه کارگران در سال‌های قبل با روش تیتراسیون و با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم

در ایمپینجر انجام گرفته است. با توجه به اینکه در این واحد گاز دی‌اکسید گوگرد نیز از کوره ذوب مس در محیط منتشر می‌شود، لذا احتمال تداخل این گاز در حین ارزیابی مواجهه با بخارات و میست اسیدسولفوریک وجود دارد (حلال‌شدن گاز دی‌اکسید گوگرد در محلول هیدروکسید سدیم) که می‌تواند میزان مواجهه را بیش از مقدار واقعی برآورد نماید (۱۱). روش جدید انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی^۱ از فیلتر برای نمونه‌برداری و یون کروماتوگرافی برای آنالیز استفاده می‌کند که تداخل گازهای اسیدی مانند آنچه در روش نمونه‌برداری با ایمپینجر رخ می‌دهد را منتفی می‌کند.

بنابراین در این مطالعه ارزیابی غلظت میست اسیدسولفوریک بطور همزمان با دو روش تیتراسیون و یون کروماتوگرافی در هوای عمومی سالن الکتروود مس در یک واحد استحصال مس انجام گرفت تا با مشخص شدن غلظت واقعی این اسید در هوای عمومی سالن، اطلاعاتی از میزان مواجهه واقعی کارگران در سال‌های قبل فراهم گردد و در نهایت این اطلاعات برای مطالعات آتی مانند مطالعه کوهورت مورد استفاده قرار گیرد.

روش کار

نمونه برداری در ارتفاع ۱/۴ متری از سطح تانک‌های الکتروود انجام شد. نمونه برداری با استفاده از پمپ‌های نمونه برداری فردی ساخت شرکت SKC انجام شد. در هر ایستگاه به طور همزمان نمونه‌برداری به دو روش (لوله‌های جاذب حاوی سیلیکاژل و بابلر متخلخل حاوی هیدروکسید سدیم) گرفت. بدین صورت که برای هر پمپ نمونه‌برداری از یک دوراهی استفاده شد تا امکان اتصال همزمان هر دو نمونه بردار به پمپ فراهم گردد. دبی هوا برای هر نمونه بردار حدوداً مقدار ۰/۳ لیتر بر دقیقه در

¹ National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH)

نظر گرفته شد. شکل ۱ نحوه برپایی سیستم نمونه برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نحوه برپایی سیستم نمونه برداری در سالن الکترولیز

عرض سالن به سه ناحیه تقسیم شد (ناحیه شمالی، میانی و جنوبی) و نمونه برداری در سه محل به طور همزمان انجام گرفت. این مسئله به ما این امکان را

می‌دهد که میزان آلودگی را در سه ناحیه با هم مقایسه کرده و کیفیت تهویه در سه محل با هم مقایسه شود. نمونه برداری به مدت ۲۵-۱۵ دقیقه انجام گرفت.

برای نمونه برداری و آنالیز میست و بخار اسید در روش یون کروماتوگرافی از متد ۷۹۰۳ انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی استفاده شد (۱۲). در این متد از لوله جاذب حاوی سیلیکاژل (۴۰۰/۲۰۰ میلی گرم) برای جمع‌آوری بخار اسیدی به همراه فیلتر تفلونی (برای جمع‌آوری میست اسیدی) استفاده شد. بر اساس توصیه انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی حداقل حجم هوای نمونه برداری شده ۳ لیتر و حداکثر ۱۰۰ لیتر می‌باشد. به همین دلیل در ابتدا اندازه گیری‌ها به مدت ۵۰ دقیقه با دبی ۰/۳ لیتر بر دقیقه انجام شد که به دلیل فرار نمونه از جاذب، مدت نمونه برداری به مدت ۱۵ دقیقه کاهش یافت. پس از پایان نمونه برداری بخش‌های جلویی و عقبی لوله‌های سیلیکاژل به درون ویال‌های جداگانه تخلیه و با ۱۰ میلی لیتر محلول بی‌کربنات/ کربنات واجذب انجام شد. منحنی کالیبراسیون دستگاه یون کروماتوگرافی با تزریق ۵۰ میکرولیتر از نمونه‌های استاندارد کاربردی که قبلاً آماده شده بود ترسیم و سپس با تزریق نمونه‌های اصلی به دستگاه، مقدار یون سولفات در نمونه‌های اصلی اندازه گیری شد. سپس با ضرب کردن مقادیر یون سولفات اندازه گیری شده در ضریب ۱/۰۱۲، مقدار آنالیت مدنظر یعنی اسیدسولفوریک محاسبه و در نهایت غلظت این اسید در هوا (میلی گرم بر مترمکعب) با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد. در روز نمونه برداری تعداد ۳ نمونه شاهد نیز استفاده شد.

$$C = \frac{(W_f + W_b - B_f - B_b)}{V} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن:

W_f : جرم آلاینده در بخش جلویی لوله جاذب سیلیکاژل نمونه اصلی (میکرو گرم)

V_2 : حجم اسید مصرفی برای تیتراژ ۱۰ میلی لیتر سود بعد از نمونه برداری در نهایت وزن اسید بر حسب mg بر حجم هوای نمونه برداری تقسیم شده و غلظت اسید بر حسب mg/m^3 به دست آمد. برای نشان دادن تداخل گاز دی اکسید گوگرد و یا حتی دی اکسید کربن در روش تیتراسیون، ۵ نمونه برداری در خارج از سالن الکترولیز که احتمال وجود میست اسیدسولفوریک نمی باشد، انجام شد. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. برای مقایسه میانگین غلظت بدست آمده از دو روش یون کروماتوگرافی و تیتراسیون از آزمون تی زوجی و برای مقایسه غلظت در سه ناحیه سالن الکترولیز از آزمون آنوا یکطرفه استفاده شد. سطح معنی داری در این آزمون ها ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. برای بدست آوردن رابطه ای بین نتایج حاصل از دو روش از ضریب همبستگی پیرسون و آزمون رگرسیون استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج حاصل از اندازه گیری میست اسید به روش یون کروماتوگرافی و تیتراسیون در واحدهای مختلف سالن الکترولیز به شرح جدول ۱ می باشد.

W_b : جرم آلاینده در بخش عقبی لوله جاذب سیلیکاژل نمونه اصلی (میکرو گرم)
 B_f : جرم آلاینده در بخش جلویی لوله جاذب سیلیکاژل نمونه شاهد (میکرو گرم)
 B_b : جرم آلاینده در بخش عقبی لوله جاذب سیلیکاژل نمونه شاهد (میکرو گرم)
 V : حجم هوای نمونه برداری شده (لیتر)
 در روش تیتراسیون به جای جاذب سیلیکاژل از محلول هیدروکسید سدیم ۰/۰۰۲ نرمال به عنوان جاذب استفاده گردید. مقدار ۱۰ میلی لیتر از محلول فوق در ایمپینجر ریخته شد و به مدت پانزده دقیقه با دبی ۰/۳ لیتر بر دقیقه نمونه برداری انجام گرفت. پس از پایان نمونه برداری، نمونه ها به روش تیتراسیون و با استفاده از اسید سولفوریک ۰/۰۰۲ نرمال و معرف فنل فتالین تیتراژ شد. پایان واکنش از تغییر رنگ ارغوانی به بی رنگ تعیین گردید و سپس با استفاده از رابطه ۲، وزن اسید جمع آوری شده از هوای محیط به دست آمد.

$$mg_A = (V_1 - V_2) N_A \times Eq_A \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن:

Eq_A : اکی والان اسید سولفوریک (۴۹)

N_A : نرمالیت اسید سولفوریک

V_1 : حجم اسید مصرفی برای تیتراژ ۱۰ میلی لیتر محلول هیدروکسید سدیم قبل از نمونه برداری

جدول ۱. غلظت اندازه گیری شده میست اسید سولفوریک در ایستگاه های مختلف نمونه برداری به دو روش یون کروماتوگرافی و تیتراسیون

ناحیه (میانی- جنوبی- شمالی)	غلظت (mg/m^3)		محل نمونه برداری	ردیف
	تیتراسیون	یون کروماتوگرافی		
شمالی	۱۱/۶	۰/۰۰۹۶	سلول ۱۱-۱۲	۱
شمالی	۳۷/۶۸	۰/۲۴۶	سلول ۲۱-۲۲	۲
شمالی	۴۱/۸۶	۰/۰۰۳	سلول ۳۱-۳۲	۳
شمالی	۳۷/۰۳	۰/۲۰۲	سلول ۴۱-۴۲	۴
شمالی	۴۰/۹	۰/۰۴۷	سلول ۵۱-۵۲	۵
میانی	۳۷/۹۷	۰/۲۷۳	سلول ۱۴	۶
میانی	۳۳/۲۲	۰/۲۸۷	سلول ۳۵	۷
میانی	۳۹/۵۵	۰/۰۴۴	سلول ۴۴	۸
میانی	۲۶/۲۶	۰/۳۷۶	سلول ۲۴	۹
میانی	۳۳/۲۲	۰/۱۶۹	سلول ۵۴	۱۰

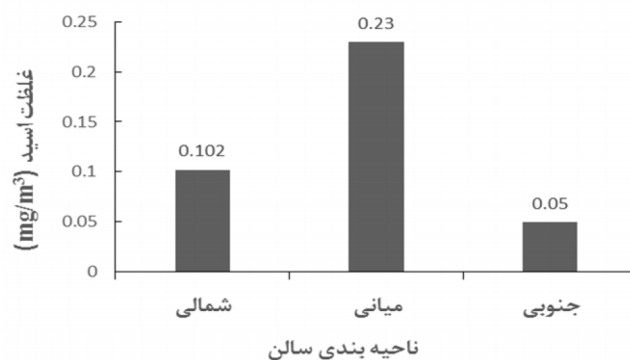
جنوبی	۳۰/۹۴	۰/۰۳۸	سلول ۲۷-۲۸	۱۱
جنوبی	۳۲/۵	۰/۲۳۳	سلول ۶۷-۶۸	۱۲
جنوبی	۳۱/۵۷	۰/۱۱۱	سلول ۳۷-۳۸	۱۳
جنوبی	۲۶/۲	۰/۰۶۴	سلول ۵۷-۵۸	۱۴
جنوبی	۴۴/۸۳	۰/۰۰۳۲	سلول ۱۷-۱۸	۱۵
جنوبی	۳۶/۹۴	۰/۰۰۳	سلول ۴۷-۴۸	۱۶

دقیقه، مشاهده شد که در عرض ۳۵ دقیقه محلول سود در نتیجه ترکیب با دی اکسید گوگرد هوا خنثی شد. بنابراین روش یون کروماتو گرافی روشی ارجح بر تیتراسیون تشخیص داده شد و تحلیل‌های آماری نتایج فقط با استفاده از داده‌های حاصل از روش یون کروماتو گرافی انجام شد. میانگین غلظت اسید در سه ناحیه در جدول ۲ آمده است. شکل ۲ میانگین غلظت میست و بخار اسید اندازه‌گیری شده با روش یون کروماتو گرافی را در سه ناحیه سالن مقایسه کرده است.

میانگین غلظت اندازه‌گیری شده در روش یون کروماتو گرافی در کل سلول‌ها برابر $0/119 \pm 0/122$ و در روش تیتراسیون برابر $33/89 \pm 7/94$ بود. واضح است که تفاوت بسیار معنی‌دار می‌باشد ($p < 0/001$). برای قضاوت در مورد اینکه نتایج یون کروماتو گرافی معتبر است یا تیتراسیون، به سراغ فرضیه تداخل گاز دی اکسید گوگرد در روش تیتراسیون رفته و ۵ نمونه‌برداری در خارج از سالن و در نقاطی که عاری از میست و بخار اسید می‌باشد به روش تیتراسیون انجام شد. در این نقاط با عبور دادن هوای عاری از اسید از محلول سود $0/001$ نرمال با دبی $1/5$ لیتر بر

جدول ۲. میانگین غلظت میست و بخار اسید اندازه‌گیری شده با روش یون کروماتو گرافی در سه ناحیه سالن الکترولیز

ناحیه سالن	میانگین غلظت (میلی گرم بر متر مکعب)	انحراف معیار (میلی گرم بر متر مکعب)
شمالی	۰/۱۰۲	۰/۱۱۴
میانی	۰/۲۳	۰/۱۲۷
جنوبی	۰/۰۵	۰/۰۴



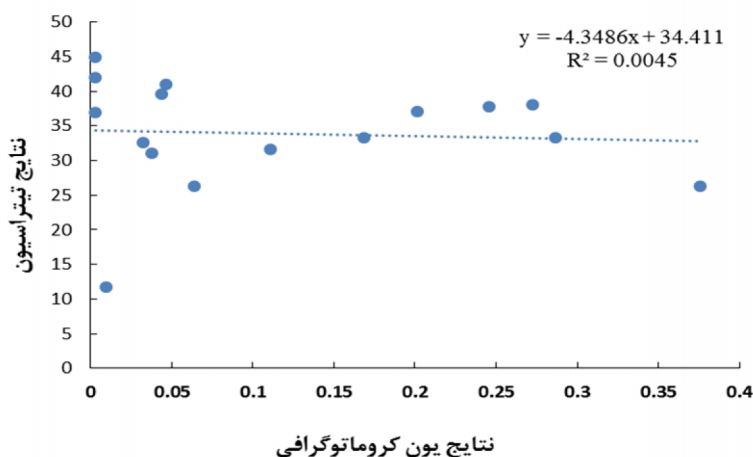
شکل ۲. مقایسه غلظت میست و بخار اسید اندازه‌گیری شده با روش یون کروماتو گرافی در سه ناحیه سالن

سلول‌های ناحیه شمالی می‌باشد اما این تفاوت معنی‌دار نبود ($p = 0/062$). همچنین بین سلول‌های ناحیه جنوبی و شمالی نیز با وجود بالاتر بودن میانگین

میانگین غلظت در سلول‌های ناحیه جنوبی سالن بطور معنی‌داری کمتر از میانگین غلظت در سلول‌های میانی بود ($p = 0/025$). اگرچه میانگین غلظت در سلول‌های ناحیه میانی بیش از دو برابر غلظت در

رگرسیون استفاده شد. ضریب تشخیص مدل (R^2) بسیار ضعیف و نزدیک صفر بود ($R^2 = 0.0045$). شکل ۳ نمودار همبستگی و معادله رگرسیون را نشان می‌دهد.

غلظت در ناحیه شمالی، این تفاوت غلظت معنی‌دار نبود ($p = 0.059$). جهت ایجاد مدلی برای برآورد مقدار دقیق اندازه‌گیری‌ها در سال‌های گذشته از آزمون



شکل ۳. همبستگی نتایج حاصل از اندازه‌گیری به دو روش تیتراسیون و یون کروماتوگرافی

بدست آمده از دو روش بسیار ضعیف و اتفافی می‌باشد (علامت منفی نشان‌دهنده رابطه عکس می‌باشد). به همین دلیل ارائه دادن یک رابطه برای بدست آوردن غلظت اسید محاسبه شده در سال‌های گذشته با استفاده از روش تیتراسیون به هیچ وجه در چنین محیطی (دارای گاز دی اکسید گوگرد) منطقی نمی‌باشد. استفاده از این روش در غلظت‌های بالا ممکن است نتایج مناسبی در بر داشته باشد ولی در غلظت‌های پایین مانند مطالعه حاضر به هیچ وجه از صحت و دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. این اصل همچنین بطور جداگانه بررسی شد و مشخص گردید که با عبور دادن هوای عاری از اسید از محلول هیدروکسید سدیم ۰/۰۰۱ نرمال با دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه در عرض ۳۵ دقیقه محلول سود با ترکیب با دی اکسید گوگرد/ کربن هوا خنثی گردید. بنابراین نتایج تیتراسیون برای برآورد میزان مواجهه تنفسی کارگران با اسیدسولفوریک در سال‌های گذشته قابل اعتماد نمی‌باشد. بر این اساس، نتایج آنالیز به روش یون کروماتوگرافی نشان داد که غلظت اسید در سلول‌های الکترولیز واقع در ناحیه میانی سالن

بحث

این مطالعه اندازه‌گیری غلظت میست و بخار اسیدسولفوریک را در هوای عمومی سالن الکترولیز به دو روش یون کروماتوگرافی (NIOSH-7903) و تیتراسیون انجام داد. میانگین غلظت در روش یون کروماتوگرافی در کل سلول‌ها برابر ۰/۱۱۹ میلی گرم بر مترمکعب و در بازه ۰/۰۰۳ تا ۰/۳۷۶ میلی گرم بر مترمکعب بود. در روش تیتراسیون میانگین غلظت ۳۳/۸۹ و در بازه ۱۱/۶ تا ۴۴/۸۳ میلی گرم بر مترمکعب بود. جذب اسید با استفاده از محلول قلیایی بر اساس اصول بدیهی علم شیمی می‌باشد. ولی علت اینکه نتایج تا این حد متفاوت بوده است می‌تواند به دلیل تداخل دی اکسید گوگرد (و یا احتمالاً گاز دی اکسید کربن) موجود در هوا با اسید باشد.

تداخل دی اکسید گوگرد هوا با اسید قابل پیش‌بینی بود. اما مقایسه نتایج حاصل از دو روش با استفاده از آزمون همبستگی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی پیرسون برابر ۰/۰۶۷- است (مقدار ضریب ۰/۰۶۷ عدد کوچکی است و نشان می‌دهد که همبستگی نتایج

احتمال مواجهه بیش از حد مجاز افراد در فرآیندهای الکترولیز حاوی اسیدسولفوریک می‌باشد (۱۳).

نتیجه گیری

بر اساس یافته‌های مطالعه نتیجه‌گیری می‌گردد که روش تیتراسیون برای اندازه‌گیری غلظت اسیدسولفوریک در هوا مناسب نمی‌باشد بویژه در محیط‌هایی که غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد نیز بالا می‌باشد، زیرا این گاز در محلول نمونه بردار جذب شده و موجب تداخل در ارزیابی غلظت اسیدسولفوریک می‌گردد. این پدیده تداخل و حدود مجاز مواجهه بسیار پایین اسیدسولفوریک (۰/۲ میلی‌گرم بر مترمکعب) استفاده از روش‌های اختصاصی مانند نمونه‌برداری با سیلیکاژل-فیلتر و آنالیز بوسیله یون کروماتوگرافی را بیشتر توجیه می‌کند. همچنین این دو موضوع موجب شد که نتوان یک رابطه همبستگی بین نتایج دو روش بدست آورد تا بر اساس آن میزان دقیق مواجهه کارکنان را در سال‌های قبل که با روش تیتراسیون انجام گرفته بود برآورد کرد. با این حال با توجه به ثابت بودن شرایط فرآیندی و تهویه سالن مورد مطالعه در زمان انجام مطالعه با سال‌های پیشین، می‌توان میزان مواجهه را در حدود نتایج حاصل از روش یون کروماتوگرافی این مطالعه دانست.

الکترولیز بیشتر از ناحیه شمالی و جنوبی می‌باشد. همچنین در ناحیه جنوبی میانگین غلظت آلاینده کمتر از دو ناحیه دیگر می‌باشد ($p=0/025$). این موضوع می‌تواند به دلیل نزدیک بودن این ناحیه به پنجره‌ها و تهویه طبیعی ناشی از پنجره‌ها باشد. این مطالعه اگرچه نمونه‌برداری را به صورت فردی انجام نداده است اما با در نظر گرفتن شرایط یکنواخت جوی و فرآیندی (از نظر تولید آلاینده) در طول شیفت کاری می‌توان مواجهه کارگران را نزدیک مقادیر اندازه‌گیری شده به روش NIOSH-7903 دانست. با در نظر گرفتن حد مجاز مواجهه شغلی برابر ۰/۲ میلی‌گرم بر مترمکعب، مشاهده می‌شود که در برخی ایستگاه‌ها احتمالاً مواجهه بیشتر از حد مجاز باشد. مقادیر به دست آمده از روش یون کروماتوگرافی با مقادیر مواجهه کارگران در سالن الکترولیز فلز روی در کشور نروژ همخوانی دارد. در دو واحد الکترولیز مطالعه شده میزان مواجهه کارگران در حد ۰/۰۷ و ۰/۰۴ میلی‌گرم بر مترمکعب با دامنه غلظتی (۰/۰۱-۰/۴۸) و (۰/۰۱-۰/۱۵) برآورد شده است (۲). در مطالعه‌ای دیگر در واحد الکترولیز استحصال فلز روی مقدار غلظت اسیدسولفوریک در هوای تنفسی کارگران ۶-۱۴ برابر حد مجاز برآورد شده است که نشان از

References

- 1- Blair A, Kazerouni N. Reactive chemicals and cancer. *Cancer Causes and Control*. 1997;8(3):473-90.
- 2- Bråtveit M, Haaland IM, Moen BE, Målsnes A. Exposure to sulfuric acid in zinc production. *Annals of occupational hygiene*. 2004;48(2):159-70.
- 3- Juwara L, Boateng J. Assessing the effects of exposure to sulfuric acid aerosol on respiratory function in adults. *arXiv preprint arXiv:190604296*. 2019.
- 4- Vianna MIP, Santana VS, Loomis D. Occupational exposures to acid mists and gases and ulcerative lesions of the oral mucosa. *American journal of industrial medicine*. 2004;45(3):238-45.
- 5- Grasel SS, Alves VAF, da Silva C, Cruz OLM, Almeida ERd, de Oliveira E. Clinical and histopathological changes of the nasal mucosa induced by occupational exposure to sulphuric acid mists. *Occupational and environmental medicine*. 2003;60(6):395-402.
- 6- Chatterjee S, Tiwari S, Saxena S, Kumari A, Singh R. Association between occupational exposure to acidic chemicals and occupational dental erosion in the workers of a battery company in Bengaluru city: A case-control study. *International Journal of Oral Care and Research*. 2020;8(1):1-4.

- 7- Kalyani S, Reginald BA, Reddy BS, Samatha M. Dental Erosion—An Occupational Hazard among Battery Manufacturing Industry Workers in Hyderabad ,India. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2024;28(1):41-4.
- 8- Sathiakumar N, Delzell E, Amoateng-Adjepong Y, Larson R, Cole P. Epidemiologic evidence on the relationship between mists containing sulfuric acid and respiratory tract cancer. *Critical Reviews in Toxicology*. 1997;27(3):233-51.
- 9- Soskolne CL, Jhangri GS, Scott HM, Brenner DR, Siemiatycki J, Lakhani R, et al. A population-based case-control study of occupational exposure to acids and the risk of lung cancer: evidence for specificity of association. *International Journal of Occupational and Environmental Health*. 2011;17(1):1-8.
- 10- Lue SJ, Wu T, Hsu H, Huang C. Application of ion chromatography to the semiconductor industry: I. Measurement of acidic airborne contaminants in cleanrooms. *Journal of Chromatography A*. 1998;804(1-2):273-8.
- 11- Joo SH, Bhatti UH, Park HJ, Jeong DH, Baek IH, Nam SC, Lee KB. Selective removal of SO₂ from coal-fired flue gas by alkaline solvents using a membrane contactor. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. 2020;147:107772.
- 12- Crable JV, Taylor DG, Safety NifO, Laboratories HDo, Documentation C, Development S, et al. *NIOSH Manual of Analytical Methods: NIOSH monitoring methods: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); 1977.*
- 13- Ma Z, Duan L, Jiang J, Deng J, Xu F, Jiang L, et al. Characteristics and threats of particulate matter from zinc electrolysis manufacturing facilities. *Journal of cleaner production*. 2020;259:120874.