

شناسایی عوامل موثر بر تعیین تراکم کروم شش ظرفیتی با استفاده از طرح آزمایش ها به روش تاگوچی

آرام تیرگر

گروه بهداشت حرفه ای- دانشکده بهداشت- دانشگاه علوم پزشکی تهران

فریده گلپابایی

استاد گروه بهداشت حرفه ای- دانشکده بهداشت- دانشگاه علوم پزشکی تهران

کرامت الله نوری

استادیار گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی- دانشکده بهداشت- دانشگاه علوم پزشکی

مسعود صالحی

گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی- دانشکده بهداشت- دانشگاه علوم پزشکی تهران

سید جمال الدین شاه طاهری

دانشیار گروه بهداشت حرفه ای- دانشکده بهداشت- دانشگاه علوم پزشکی تهران

چکیده

ترکیبات کروم شش ظرفیتی، یکی از عوامل شناخته شده ایجاد سرطان در دستگاه تنفسی هستند که، مواجهه با آن، در بسیاری از عملیات صنعتی نظیر آبکاری، جوشکاری، تولید فولاد و تولید و به کارگیری رنگ، سلامت نیروهای کار را به خطر می اندازد، که خوشبختانه، در سالهای اخیر، تا حد بسیاری از آستانه مجاز مواجهه با آن کاسته شده است. اهمیت موضوع و گسترش آن در شرایط غیر بهداشتی حاکم بر بعضی از محیط های کار موجب شده تا، تعیین دقیق مقدار انتشار و مواجهه با آلودگی هوا به این عامل از جنبه های مختلف بهداشتی، کنترلی، و قانونی از اهمیت ویژه ای برخوردار شود. به همین منظور، اثر عواملی شامل هد نمونه برداری، طول مدت نمونه برداری، مدت نگهداری نمونه تا زمان استخراج، و ارتفاع نمونه برداری، در تعیین تراکم کروم با استفاده از مدل آماری تاگوچی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل، گویای آن است که، تراکم کروم در نمونه های جمع آوری شده توسط هد روبسته، بیشتر از هد روباز ($P < 0/05$)، در استخراج بلافاصله، بیشتر از استخراج پس از ۲۴ ساعت ($P < 0/001$)، در نمونه های ۳۰ دقیقه ای بالاتر از ۱۸۰ دقیقه ای ($P < 0/001$)، و در ارتفاع ۳۵ سانتیمتر، بیش از مقدار بدست آمده در ارتفاع ۵۰ سانتیمتر است ($P < 0/001$). با توجه به یافته ها، بهتر آن است که، جمع آوری و استخراج نمونه ها در کوتاهترین زمان ممکن توسط هد روبسته و در ارتفاع ۳۵ سانتیمتر از چشمه تولید آلودگی صورت پذیرد.

واژه های کلیدی: کروم شش ظرفیتی ، میست، آبکاری، طرح آزمایش های تاگوچی.

مقدمه

از نیروهای کار در طیف گسترده ای از مشاغل مانند کارگران صنایع تولید کرومات، رنگدانه های کروماتی، آبکاری، جوشکاری فولاد، صنایع شیمیایی [۱۱-۱۲] و غیره در معرض این آلاینده هستند، بنابر این، تعیین دقیق مقدار انتشار و مواجهه با آلودگی در هوا، از جنبه های مختلف بهداشتی، کنترلی و قانونی، بسیار حائز اهمیت است.

کروم شش ظرفیتی، ماده ای نسبتاً بی ثبات است که، حضور عواملی مانند مواد آلی معلق در هوای محیط

ترکیبات کروم شش ظرفیتی، از جمله عوامل سرطانزای شناخته شده در انسان هستند، [۵-۱] که علاوه بر این خطر جدی، مواجهه شغلی با آنها عوارض دیگری مانند تحریک پوست، سوراخ شدن تیغه بینی [۶]، درماتیت های تماسی [۷-۸]، تحریک دستگاه تنفس [۹]، آسم شغلی [۱۰]، و عوارض کبدی و کلیوی [۹] را در پی دارد. عمده ترین راه مواجهه شغلی با کروم شش ظرفیتی، استنشاق ترکیبات آن در هواست، و از طرفی جمع کثیری

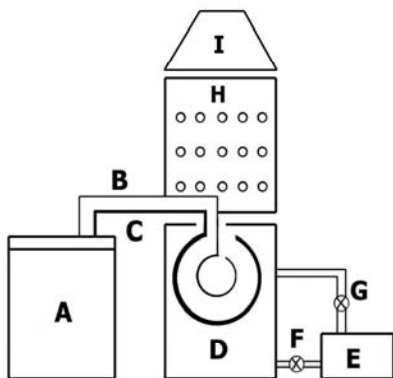
پیش از این به اثبات رسیده است [۲۰]. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی اثر چهار عامل شامل، طول مدت نمونه برداری، مدت نگهداری نمونه تا زمان استخراج، نوع نمونه بردار، و ارتفاع نمونه برداری از سطح محلول وان در تعیین تراکم میست کروم شش ظرفیتی با استفاده از طرح تاگوچی است.

مواد و روش ها

۱- تولید میست

به منظور تولید تراکم پیوسته ای، از میست کروم شش ظرفیتی، از یک وان آبکاری کروم سخت مجهز به محفظه نمونه برداری موجود در آزمایشگاه گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران استفاده شد. یکنواختی تولید میست درون محفظه این وسیله که، دارای حجمی حدود ۲۰۰ لیتر با آند و کاتد دایره ای شکل و مشخصات ویژه است، در مطالعه دیگری

با



شکل ۱: تصویر شماتیکی از سیستم تولید میست A رکتی فایر، B کاتد، C آند، D وان آبکاری، E پمپ ضد اسید، F و شیر قطع جریان، H محفظه پلکسی گلاس، I هود

غلظت محلول درون وان (CrO_3) با توجه به تاثیری که این عامل بر روی توزیع اندازه ذرات خواهد داشت، در طول مطالعه کنترل شده و در حد ۲۵۰ گرم بر لیتر ثابت نگهداشته شد [۲۲]. دما و رطوبت نسبی محیط و همچنین تغییرات دمای محلول در طول نمونه برداری مورد اندازه گیری قرار گرفت که، به ترتیب $19/5 \pm 1/5$ درجه سانتیگراد، $57/95 \pm 9/7$ درصد و $0/21 \pm 0/37$ درجه سانتیگراد است.

کار، مواد موجود در بستر جمع آوری (فیلتر)، طول مدت نمونه برداری، شرایط نگهداری و حمل و نقل نمونه ها و ایجاد محیط اسیدی، بر احیاء آن به کروم سه ظرفیتی، موثر شناخته می شوند [۱۵-۱۲]. با توجه به اینکه اثرات کروم سه و شش ظرفیتی بسیار متفاوت است، [کروم سه ظرفیتی در مقادیر اندک یک ماده مغذی بوده و وجود آن در بدن برای سوخت و ساز چربی ها، قندها و پروتئین ها مورد نیاز است (۱۶ و ۱۲)]، بنابر این، عدم توجه به این موضوع، در زمان تعیین مقدار کروم شش ظرفیتی، می تواند موجب خطا در برآورد مقدار پتانسیل خطر برای انسان شده و در نهایت، کسب نتایج گمراه کننده ای را به همراه داشته باشد. بعنوان مثال، در یک بررسی انجام شده توسط KUO در تایوان (۱۹۹۱)، تراکم کروم شش ظرفیتی تنها در ۸/۶ درصد از کارگاههای آبکاری بیش از حد مجاز توصیه شده بود، حال آنکه، بیش از نیمی از کارگران با عوارض ناشی از آن در بینی و پوست روبرو بوده اند [۱۳].

بزرگی خطر، گستردگی مشکل، حد مجاز بسیار پایین توصیه شده (۱ میکروگرم بر متر مکعب)، و لزوم تعیین هر چه دقیقتر تراکم کروم در هوا، ما را بر آن داشت تا به بررسی تک تک عوامل یاد شده و حتی اثر متقابل آنها بپردازیم اما، با توجه به روشهای علمی و آماری متداول، نیازمند حجم بالایی از آزمایشات هستیم که طبیعتاً با صرف زمان طولانی و هزینه های بسیار همراه است. طرح آزمایش های تاگوچی^۱، از جمله شیوه های آماری است که، ضمن حفظ صحت و دقت قابل قبول در نتایج، قادر است بطور چشمگیری از تعداد آزمایش ها بکاهد. ضمناً، این روش قادر است، حالت بهینه ای از فرایند، تولید، یا شرایط مورد نظر را، با توجه به متغیرهای مورد بررسی، حتی در صورتی که در آزمایش های انجام شده موجود نباشند، پیش بینی نماید. طی سالهای گذشته، این شیوه بطور گسترده، در حوزه های مختلف به ویژه فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار گرفته [۱۷-۱۹] و امکان استفاده از این روش در تحقیقات بهداشتی نیز،

تاگوچی، تحت شرایط ثابت آبخاری، استفاده شد. در این بررسی، اثر عوامل مورد نظر در دو سطح بشرح جدول شماره ۱ تعیین شد و سپس، با توجه به شیوه انجام آزمایش در طرح آماری مذکور، آزمایشها بشرح جداول ۲

طرح آزمایشها

به منظور بررسی اثر عوامل مورد نظر در تعیین تراکم میست کروم شش ظرفیتی از طرح آزمایش های

جدول ۱- علامت و سطوح عوامل مورد بررسی

سطوح		عامل	علامت
۲	۱		
روبوته	روپاز	هد نمونه برداری	C
۱۸۰ دقیقه	۳۰ دقیقه	طول مدت نمونه برداری	D
استخراج ۲۴ ساعت بعد	استخراج بلافاصله	مدت نگهداری نمونه تا زمان استخراج	E
۵۰ سانتیمتر	۳۵ سانتیمتر	ارتفاع نمونه برداری	H

سطح محلول و با دو طول مدت نمونه برداری ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه، جمع آوری شدند. تجزیه نمونه های جمع آوری شده نیز بسته به طرح آزمایش، به دو صورت بلافاصله، یا ۲۴ ساعت پس از جمع آوری انجام پذیرفت.

برای استخراج کروم شش ظرفیتی و تعیین مقدار آن، از روش NIOSH ۷۶۰۰ استفاده شد (۲۳). در این روش، نمونه ها ابتدا توسط اسید سولفوریک ۰/۲۵ مولار، به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه از روی فیلتر استخراج شد سپس، با افزودن ۰/۵ میلی لیتر معرف ۱ و ۵ دی فنیل کاربازید و تشکیل کمپلکس رنگی ویژه، توسط اسپکتروفتومتر مرئی، در طول موج ۵۴۰ نانومتر، خوانده شدند. در مطالعه حاضر، از اسپکتروفتومتر Beckman مدل ۶۴۰ ساخت آمریکا استفاده شد.

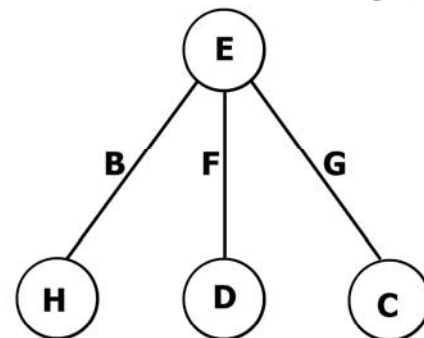
جهت تعیین مقدار کروم در هر یک از نمونه ها از ترسیم منحنی کالیبراسیونی با تراکم های ۱ تا ۷ میکروگرم استفاده ($R^2 = 0.998$) و تراکم نمونه ها بر اساس آن، محاسبه شد.

نتایج

اثر مدت نمونه برداری برمقادیر تراکم کروم

تراکم حاصل از نمونه برداری های ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه ای، پس از استخراج، به دو صورت فوری یا با تاخیر پس از ۲۴ ساعت، مورد مطالعه قرار گرفت. آن طور که از داده های بر می آید، میانگین مقادیر تراکم درنمونه های ۱۸۰

برخی از اثرات متقابل، در طرح تاگوچی در ستون های B، F، G جدول ۲ مشخص شده اند. به عبارت دیگر، سه ستون باقیمانده در این جدول، به اثرات متقابل عوامل اصلی معرفی شده در جدول ۱ اختصاص یافته اند. این ساختار براساس مدل گراف خطی در شکل ۲ مشخص شده است.



شکل ۲: گراف خطی مربوط به طرح تاگوچی جدول ۲

جمع آوری و آنالیز میست

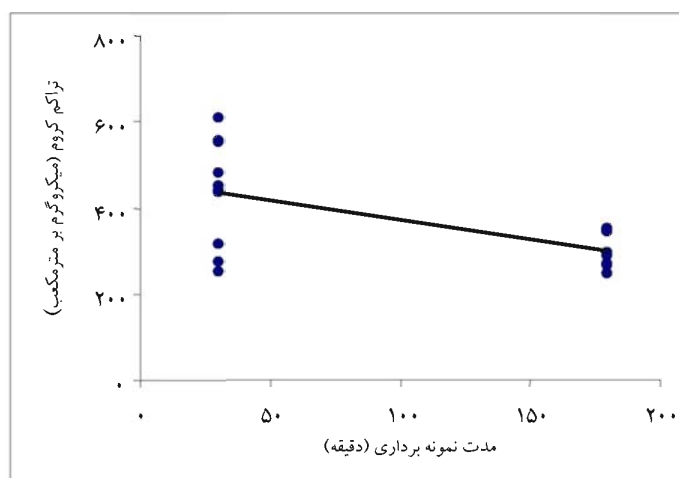
جهت جمع آوری میست کروم شش ظرفیتی از فیلترهای پلی وینیل کلراید با قطر منافذ ۵ میکرون ساخت کارخانه MSA آمریکا و پمپ های نمونه برداری فردی، ساخت کارخانه SKC مدل ۳ PCXR-۲۲۴ که با دبی 2 ± 0.1 لیتر بر دقیقه کالیبره شده بودند، استفاده شد. نمونه برداری ها، با کمک کاستهای ۳۷ میلیمتری روباز و روبسته انجام پذیرفت. نمونه ها بسته به حالت مورد آزمایش، در دو ارتفاع ۳۵ و ۵۰ سانتیمتر نسبت به

شده کروم را در دو وضعیت ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه به تصویر کشیده است. همانگونه که مشاهده می شود، احیاء کروم شش ظرفیتی، پدیده ای است که، در نتیجه افزایش طول مدت نمونه برداری رخ می دهد. انجام آزمون آماری در مدل ناگوچی، اختلاف تراکم کروم شش ظرفیتی در نمونه های ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه ای را،

با سه بار تکرار، پیش بینی و به اجرا در آمد. (میانگین تراکم ۲۸۰/۶۶ در برابر ۴۳۶/۶۲). به بیان دیگر افزایش مدت نمونه برداری، با احیاء سهمی از کروم شش ظرفیتی بر روی فیلتر همراه است که، نسبت این اثر در مورد کل نمونه ها، حدود ۳۵ درصد است (جدول ۳). شکل شماره ۳، اثر زمان نمونه برداری بر تراکم قرائت

جدول ۳- داده های مربوط به تراکم کروم شش ظرفیتی در ۲۴ نمونه در قالب طرح آزمون های ناگوچی

P-Value	انحراف معیار	میانگین	فراوانی	عامل	
. / ۰.۰۰۰	۱۱۰/۷۵	۴۳۶/۶۲	۱۲	۳۰ دقیقه	طول مدت نمونه برداری
	۵۰/۴۷	۲۸۰/۶۶	۱۲	۱۸۰ دقیقه	
. / ۰.۰۰۰	۱۲۲/۷۸	۴۱۰/۰۱	۱۲	استخراج بلافاصله	مدت نگهداری تا زمان استخراج
	۸۵/۱۵	۳۰۷/۲۸	۱۲	استخراج ۲۴ ساعت بعد	
. / ۰.۰۱۶	۱۰۹/۱۱	۳۴۵/۷۴	۱۲	روپاز	هد نمونه برداری
	۱۲۵/۷۵	۳۷۱/۵۵	۱۲	روپسته	
. / ۰.۰۰۰	۷۳/۰۳	۳۸۲/۲۵	۱۲	۳۵ سانتیمتر	ارتفاع نمونه برداری
	۱۴۶/۷۴	۳۳۵/۰۴	۱۲	۵۰ سانتیمتر	

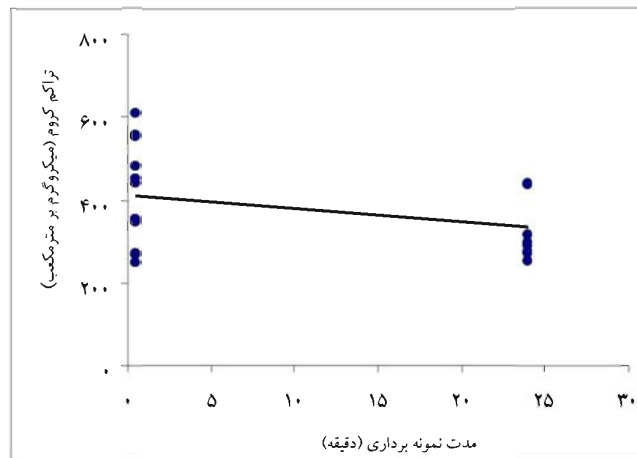


شکل ۳- میانگین اثر مدت نمونه برداری بر تراکم کروم شش ظرفیتی (نمونه های ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه ای)

گوپای آن است که، میانگین تراکم کروم شش ظرفیتی، در نمونه هایی که بلافاصله استخراج شده اند، بیش از نمونه هایی است که، استخراج آنها پس از ۲۴ ساعت انجام شده است (جدول ۳) (۳۰۷/۲۸ در برابر ۴۱۰/۰۱). به بیان دیگر، تراکم کروم شش ظرفیتی، در نمونه های نگهداری شده، بطور متوسط، حدود ۲۵ درصد کمتر از نمونه هایی است که، بلافاصله، مورد تعیین مقدار قرار گرفته اند (شکل ۴).

اثر مدت نگهداری نمونه تا زمان استخراج بر مقدار تراکم کروم

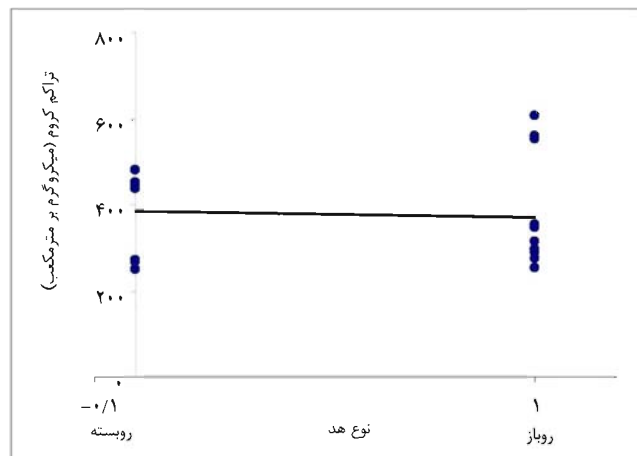
به منظور بررسی اثر مدت نگهداری نمونه بر تراکم کروم شش ظرفیتی، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت درون کاست های نمونه برداری، بدون تماس مستقیم با هوای آزاد، تحت دما و رطوبت طبیعی آزمایشگاه نگهداری شدند. دما و رطوبت آزمایشگاه در طول زمان بررسی به ترتیب ۲۱-۱۶ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی حدود ۵۸ درصد بود. مقایسه میانگین تراکم حاصل از نمونه ها



شکل ۴- میانگین اثر مدت نگهداری نمونه تا زمان استخراج بر مقدار تراکم کروم شش ظرفیتی

هدهای رو بسته مقداری معادل ۷ درصد بیش از هد های روباز گزارش کرده اند (۳۷۱/۵۵ در برابر ۳۴۵/۷۴). آزمون آماری در مدل تاگوچی، گویای معنی دار بودن اختلاف مقادیر یاد شده است ($P\text{-Value} < 0.05$). (شکل ۵).

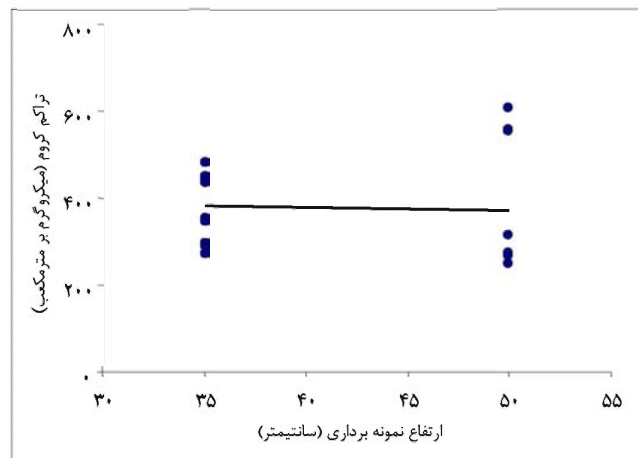
معنی دار خوانده است. اثر هد نمونه برداری بر مقدار تراکم کروم مقایسه میانگین تراکم حاصل از دو نمونه بردار روباز و رو بسته، نشان داده است که، میانگین تراکم در هد های روباز، بطور کلی کمتر از نوع رو بسته بوده و بطور متوسط،



شکل ۵- میانگین اثر نوع نمونه بردار بر تراکم کروم شش ظرفیتی

دانسته است (شکل ۶، $P\text{-Value} < 0.001$). در پایان با توجه به قابلیت ویژه مدل آماری تاگوچی در پیش بینی و تعیین بهترین شرایط مورد، نظر باید گفت که، این مدل بهترین شرایط تعیین تراکم میست کروم شش ظرفیتی در نمونه برداری از چشمه آلودگی در فرایند آبکاری راه، با توجه به متغیرهای مورد مطالعه در این بررسی به شرح زیر تعیین نموده است.

اثر ارتفاع نمونه برداری بر مقدار تراکم کروم نتایج بدست آمده از نمونه برداری ها در دو ارتفاع ۳۵ و ۵۰ سانتیمتر نسبت به سطح محلول در وان آبکاری (چشمه آلودگی) نشان داده است که، میانگین تراکم در ارتفاع ۵۰ سانتیمتر، حدود ۱۳ درصد کمتر از تراکم اندازه گیری شده در ارتفاع ۳۵ سانتیمتر است (جدول ۳) (۳۳۵/۰۴ در برابر ۳۸۲/۲۵). انجام آزمون آماری در مدل تاگوچی، بر روی داده ها اختلاف مذکور را معنی دار



شکل ۶- میانگین اثر ارتفاع نمونه برداری از سطح محلول درون وان روی تراکم کروم شش ظرفیتی

اگر چه احیاء کروم در نمونه های مربوط به فرآیند آبکاری قبلا» توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (۱۵ و ۲۵)، اما، مقدار بدست آمده در این مطالعه، قدری بیش از آنهاست (بطور متوسط حدود ۳۵ درصد). وقوع چنین پدیده ای را می توان به دلیل تاثیر پذیری فرآیند اکسیداسیون- احیاء، از عواملی مانند دمای هوا، رطوبت محیط، و همچنین اثر متقابل برخی عوامل در مطالعه حاضر دانست.

همانگونه که در شکل شماره ۴ مشاهده می شود، میانگین تراکم کروم، در نمونه هایی که پس از یک شبانه روز (۲۴ ساعت) تعیین مقدار شده اند، کمتر از تراکم کروم در نمونه هایی با قرائت بلافاصله است. این موضوع ضمن تایید احیاء تدریجی کروم شش ظرفیتی، به ویژه، در مجاورت هوا و اکسیژن [۱۲ و ۱۵]، از نظر روند و مقدار احیاء، با نتایج حاصل از مطالعه Shin و همکارش (۲۰۰۰) همخوانی دارد. اما، این نتایج با یافته های مطالعه دیگری که متوسط نیمه عمر کروم شش ظرفیتی را ۱۳ ساعت دانسته است همخوانی ندارد [۱۵]. به بیانی دیگر، نتایج حاصل از این بخش از مطالعه، بطور نسبی، تایید کننده این ادعاست که چنانچه نمونه های تهیه شده با کمترین فاصله زمانی ممکن و در همان روز نمونه برداری استخراج شوند، احیاء کروم شش ظرفیتی به کروم سه مشکلی را ایجاد نخواهد کرد [۲۶]. در خصوص مقایسه تراکم های بدست آمده از هدهای

مدت نمونه برداری: ۳۰ دقیقه	زمان استخراج نمونه: بلافاصله
ارتفاع نمونه برداری: ۳۵ سانتیمتر	حد نمونه برداری: حد روبسته

بحث

همانگونه که نتایج در جدول ۳ و شکل شماره ۳ نشان می دهد، طولانی شدن مدت نمونه برداری با احیاء بخشی از کروم شش ظرفیتی همراه است. علت چنین پدیده ای را، از سویی می توان ناشی از بی ثباتی این عامل در محیط اسیدی دانست چون، همانگونه که در بررسی Shin و همکارش (۲۰۰۰) گزارش شده است، ذرات میست، پس از انتشار در هوا و جمع آوری بر روی فیلتر، با از دست دادن مقداری از رطوبت خود، دچار کاهش در اندازه و در نتیجه تغییر pH می شوند که، این موضوع به دنبال خود، با تسهیل احیاء کروم شش ظرفیتی، موجب کاسته شدن از تراکم آن خواهد شد [۱۵]. ضمناً با توجه به اینکه، مطالعه حاضر، تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی و احتمال قریب به یقین، به دور از عوامل احیاء کننده ای مانند مواد آلی، آهن صفر و آهن دو ظرفیتی، و وانادیم انجام پذیرفته است [۱۳-۱۲ و ۲۴]، می توان پیش بینی کرد که، تحت شرایط مشابه، در محیط های کار، احتمالاً» به دلیل وجود عوامل احیاء کننده، شاهد مقادیر بیشتری از احیاء کروم بواسطه طولانی شدن مدت نمونه برداری خواهیم بود.

امکان تراوش محلول آبکاری درون نمونه بردار و خراب شدن نمونه ها، از دیگر دلایل اهمیت تعیین ارتفاعی مشخص و مناسب در نمونه برداری از وان آبکاری است. در مطالعه ای که توسط Tsai و همکارانش (۱۹۹۶) روی آلایندگی های حاصل از فرآیند آبکاری انجام پذیرفت، ۱۹ جفت نمونه، از ۷۴ جفت نمونه (۲۵ درصد) بلااستفاده شدند که، عمده ترین دلیل خرابی نمونه ها تراوش مستقیم محلول آبکاری به درون نمونه بردار بوده است [۳۰].

نتیجه گیری

آنچه که با توجه به نتایج این مطالعه می توان استنتاج کرد عبارتند از :

- ۱- مدت نمونه برداری باید در حداقل زمان ممکن انتخاب شود.
- ۲- سنجش نمونه ها، باید هر چه سریعتر، پس از جمع آوری یا حداکثر در همان روز انجام پذیرد
- ۳- به منظور کسب سطح بالاتری از اطمینان به نتایج، انجام نمونه برداری با هد روبسته، نسبت به هد روباز ارجحیت دارد.
- ۴- ارتفاع مناسب جهت نمونه برداری، از وان آبکاری کروم موضوعی است که، نیازمند تحقیق بیشتر است.

Reference

1. Soraham, T.; Harrington, J.M. ; (2000) Lung cancer in Yorkshire chrome platers, 1972-97. *Occup. Environ. Med.* 57, 385.
2. Kiilunen, M.;(1994) Occupational Exposure to chromium and Nickel in Finland-analysis of registries of hygienic measurements and biological monitoring. *Ann. Occup. Hyg.* 38(2), 171.

رو باز و روبسته باید گفت، اگر چه تراکم کروم بدست آمده از هدهای روبسته تحت شرایط این مطالعه بطور معنی داری بیش از هدهای روباز بوده است (بطور متوسط معادل ۷ درصد، $P\text{-Value} < 0.01$) (شکل ۵)، اما، مواردی از وقوع نتایج معکوس از این دو نمونه بردار، بدلیل حساسیت آنها نسبت به سرعت و جهت جریان هوا گزارش شده است [۲۷]، به عنوان مثال، در بررسی Kenny و همکارانش (۱۹۹۷)، تراکم قرائت شده توسط هر یک از این هدها، تحت سرعت جریان هوای ۰/۵ و ۱ متر بر ثانیه، دارای نتیجه ای معکوس از نظر تراکم است [۲۸].

مطالعات انجام شده روی راندمان جمع آوری نمونه بردارها، حاکی از آن است که، عواملی مانند توزیع اندازه ذرات، یکنواختی یا عدم یکنواختی انتشار آنها در محیط، سرعت جریان هوا و همچنین جهت جریان، سرعت جریان هوا در دهانه نمونه بردار، شکل و قطر دهانه و شانس نشست ذرات درشت روی فیلتر، جنس نمونه بردار از نظر هدایت یا تجمع بار الکتریکی می تواند، در ایجاد اختلاف میان تراکم بدست آمده از نمونه بردارهای مختلف موثر باشد [۲۸]. بنابر این، وجود تفاوت در تراکم بدست آمده از نمونه بردارهای روبسته و روباز در این مطالعه نیز می تواند، ناشی از اثر متقابل متغیرهای مورد مطالعه در این بررسی باشد که طبیعتاً، پی بردن به نوع و مقدار هر یک از آنها، نیازمند بررسی های بیشتری است.

نتایج این بررسی گویای آن است که، در فرآیند آبکاری کروم، ارتفاع نمونه برداری از سطح محلول، دارای اثر قابل ملاحظه ای بر روی تراکم قرائت شده است (شکل ۶). با توجه به عدم گزارش ارتفاع نمونه برداری در برخی مقالات [۲۹] و همچنین عدم تعیین ارتفاع نمونه بردار از سطح محلول درون وان در متدهای مختلف مانند NIOSH۶۰۰ (۲۳)، می تواند قضاوت روی نتایج به دست آمده در یک مطالعه، یا مقایسه نتایج با دیگر مطالعات را دشوار ساخته و سبب ایجاد خطا در برآورد پتانسیل خطر و دیگر موضوعات وابسته به آن شود.

- Environmental Health, part A, 235-247.
9. Pope, A.M.; Rall, D.P.; (2000) Environmental medicine: Integrating a missing into medical education. National Academic Sciences. U.S.A.
 10. Bright, P.; Burge, P.S.; O'Hickey, S.P.; (1997) Gannon, P.F.G.; et al. Occupational asthma due to chrome and nickel electroplating. THORAX, 52(1), 28.
 11. Gibb, H.J.; Lees, P.S.J.; Pinsky, P.F.; Rooney, B.C.; (2000) Lung cancer among workers in chromium chemical production, Am. J. Ind. Med. 38, 115-126.
 12. Ashley K.; Howe, A.M.; Demang, M.; Nygren, O.; (2003) Sampling and analysis consideration for the determination of hexavalent chromium in workplace air, J. Environ. Monit, 5, 707-716.
 13. Kuo, H.W.; (2003) Concentration of hexavalent and trivalent chromium in electroplating plants, Mid. Taiwan. J. Med. 8, 199-206.
 14. Abell, M.T. ;Carlberg, J.R.; (1974) a simple reliable method for the determination of airborne hexavalent chromium, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. April 229.
 15. Shin, Y.C.; Pail, N.W. (2000) Reduction of hexavalent chromium collected on PVC filters, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 61, 563-567.
 3. Edme, J.L.; Shirali, P.; Merean, M.; Sobaszek, A.; Boulenguez, C.; Diebold, F.; Haguenoer, J.M.;(1997) Assessment of biological chromium among stainless steel and mild steel welders in relation to welding processes. Int. Arch. Occup. Environ. Health.70, 237.
 4. Proctor, D.M.; Panko, J.P.; Liebig, E.W.;Scott, P.K.; Mundt, K.A.; Buczynski, M.A.; Barnhart, R.J.; Harris, M.A.; Morgan, R.J.; Paustenbach, D.J.; (2003) Workplace airborne hexavalent chromium concentrations for the Painesville, Ohio, Chromate production plant(1943-1971). Appl. Occup.Environ.Hyg. 18(6), 430.
 5. US Agency for Toxic Substances Registry (ATSDR). Chromium. <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts7.html>
 6. Gibb, H.J.; Lees, P.S.J.; Pinsky, P.F.; Rooney, B.C.; (2000) Clinical findings of irritation among chromium chemical production workers. Am. J. Ind. Med. 38,127.
 7. Hansen, M. B.; Johansen, J.D.; Menne, T.; (2003) chromium allergy: significance of both Cr (III) and Cr (VI). Contact Dermatitis, 49, 206-212.
 8. Huang, Y.L.; Chen, C.Y.; Sheu, J.Y.; Chuang, I, C; Pan, J.H.; Lin, T.H.:(1999) Lipid peroxidation in workers exposed to hexavalent chromium. Journal of Toxicology and

- of analytical methods, Method No. 7600, Chromium, Hexavalent, NIOSH, Cincinnati.
24. Sheehan, P.; Ricks, R.; Ripple, S.; Paustenbach, D.; (1992) Field evaluation of a sampling and analytical method for environmental levels of airborne hexavalent chromium. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 53, 57-63.
25. Paik, N.W.; Zong, M.S.; Lee, K.H.; Yun, C.S.; Ceong H.K.; Lee, K.H.; Lee, N.R.; (1993) A study on worker exposure to chromium and degreasing solvent at electroplating operation in small industry in Korea. *Korean. Ind. Hyg. Assoc. J.* 3, 110-126.
26. Marlow, D.; Wang, J.; Wise T.J.; Ashley, K.; (2000) Field test of a portable method for the determination of hexavalent chromium in workplace air. *International Scientific Communications INC, Application note, July, 26-28, www.iscpubs.com/articles/aln/noo7mar.pdf*
27. Buchan, R.M.; Soderholm, S.C.; Tillery, M.I.; (1986) Aerosol sampling efficiency of 37 mm filter cassettes. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 47, 12, 825-831.
28. Kenny, L.C.; Aitken, R.; Chalmers, C.; Fabries, J.F.; Gonzalez-Fernandez, E.; Kromhout, H.; Liden, G.; Mark, D.; Riediger, G.; Prodi, V.; (1997) A collaborative European study of personal inhalable aerosol sampler performance. *Ann. Occup. Hyg.* 41, 2, 135-153.
16. Independent Environmental Technical Evaluation Group (IETEG). (2005) Chromium (VI) handbook, CRC Press, Florida, USA.
17. Ramchandran N. (2000) "Taguchi method as a tool for reducing costs" *Management System Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.*
18. Dunn J.G., Kagi R. I., Phillips D. N. (1998). "Development of professional skills in a third year undergraduate chemistry course in Western Australia". *Journal of Chemistry Education*, 75, 1313-1316.
19. Barrado E, Vega M, Pardo R, Grande P, Del Valle JL. (1996) Optimization of a purification method for metal-containing wastewater by use of a Taguchi experimental design. *Wat. Res.* 30(10), 2309-2314.
۲۰. نوری جلیانی، ک. صالحی، م. گلبابایی، ف. تیرگر، آ. بکارگیری مدل آماری تاگوچی در طراحی مطالعات آلودگی هوا، هشتمین همایش ملی بهداشت محیط، ۱۳۸۴، ۳۸.
21. Tirgar, A.; Golbabaie, F.; Nourijelyani, K.; Shahtahery, S.J.; Ganjali, M.R.; Hamed, J. (2006) Design and performance of chromium mist generator, *J Braz Chem Soc*, Vol.17, NO.2, 342-347.
22. Kuo, Y.W.; Wang, C.S.; (2002). *J. Aerosol Sci.* 2002, 33, 297.
23. US National Institute of Occupational safety and Health (NIOSH). (1994) NIOSH Manual

30. Tsai, P.J.; Werner, M.A. Vincent, J.H.; Maldonado, G.; (1996) Workers exposure to nickel-containing aerosol in two electroplating shop: Comparison between inhalable and total aerosol. Appl. Occup. Environ. Hyg. 11(5), 484-492
29. Boiano, J.M.; Wallace, M.E.; Sieber, W.K.; gruff, J.H.; Wang, J.; Ashley, K.; (2000) Comparison of three sampling and analytical method for the determination of airborne hexavalent chromium. J. Environ, Monit. 2, 329.