

ارزیابی غلظت متیلن دی فنیل دی ایزوسیانات در هوای محیط کار صنایع پلی اورتان ایران

سید تقی میرمحمدی (Ph.D.)⁺ ابراهیم حکیمی (Ph.D.)^{**} کدیر عمر (Ph.D.)^{***}
محمود محمدیان (Ph.D.)^{****} کامیار کامل (Ph.D.)^{*****}

چکیده

سابقه و هدف: متیلن دی فنیل ایزوسیانات (MDI) در مقایسه با ۹۰ درصد از کل دی ایزوسیانات‌های مصرفی بازار، فرآورده‌ای تناژ بالا می‌باشد، پلی‌اورتان‌ها از واکنش دی‌ایزوسیانات‌ها با پلی‌یول‌ها و دیگر مواد شیمیایی حاصل می‌شوند. آن‌ها به عنوان تحریک کننده سیستم ریوی و پوست شناخته شده و عامل اصلی بروز آسم شغلی در جهان می‌باشند (NIOSH1994). هدف از این مطالعه، ارزیابی میزان غلظت MDI در صنایع پلی‌اورتان به کمک دستگاه گاز کروماتوگرافی با کارآیی بالا (HPLC) می‌باشد که به تعیین وضعیت آلودگی، بسیار کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها: به منظور نمونه‌برداری هوای محیط کار از پمپ نمونه‌بردار فردی و دستگاه مهاجم (impinger) کوچک همراه با محلول جاذب و برای آنالیز آن‌ها از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارآیی بالا و روش NIOSH 5522 استفاده شد و به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌های تحقیق، نرم‌افزار SPSS V.13 مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: میانگین غلظت به دست آمده از نمونه‌ها (بیش از $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$) بالاتر از مقدار حد مجاز در استاندارد بوده که نشان دهنده آلودگی در صنایع پلی‌اورتان با وجود MDI می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که تمام صنایع پلی‌اورتان تحت این مطالعه در کشور، دارای میزان بالای آلودگی بودند و میزان آلودگی بیش از ۸۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. یک همبستگی قوی بین دمای داخلی و غلظت آلایندہ دیده شده است، این موضوع نشان می‌دهد که هرچه میزان دما افزایش یابد، غلظت آلایندہ در محیط کار بیش تر می‌شود و همچنین این همبستگی در رابطه با مدت زمان انجام کار و غلظت آلایندہ به طور مستقیم و قوی دیده شده که بیانگر آن است که هرچه زمان انجام کار در محیط بیش تر شود، مقدار بیش تری از آلایندہ در معرض تماس قرار می‌گیرد.

استنتاج: بهترین روش برای تعیین غلظت آلایندہ ایزوسیانات‌ها در محیط کار، نمونه‌برداری زیست-شناختی می‌باشد، در نتیجه استفاده از روش تعیین متابولیت‌های ایزوسیانات‌ها در ادرار که هزینه کم‌تری داشته و ساده تر از نمونه برداری و آنالیز نمونه‌ها در هوا می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد.

واژه های کلیدی: ایزوسیانات‌ها، نمونه‌برداری هوا، نمونه برداری بیولوژیکی، صنایع پلی اورتان

⁺ این تحقیق طی شماره ۱۱۹-۸۵ در شورای پژوهشی دانشگاه ثبت شده و با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی مازندران انجام شده است.

E-mail: mirtaghim@yahoo.com

⁺ مولف مسئول: دکتر سید تقی میرمحمدی- بابلر، میدان شهدا، خ شهید پولانی، منزل آقای

* دانشجوی دکتری تخصصی (PhD) دانشگاه USM مازی در رشته Indoor Air Pollution and Control و مربی دانشگاه علوم پزشکی مازندران

** دکترای علوم محیطی- استادیار دانشگاه U.S.M مازی *** دکترای علوم محیطی- استاد دانشگاه U.S.M مازی

**** دکترای بهداشت حرفه ای- استادیار دانشگاه علوم پزشکی مازندران ***** دکترای آمار- دانشگاه علوم و فنون مازندران

تاریخ دریافت: ۸۶/۲/۳۰ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۸۶/۴/۲۷ تاریخ تصویب: ۸۷/۲/۴

مقدمه

ساختار مشترک تمام ترکیبات ایزوسیانات وجود دو پیوند $N=C=O$ در ساختمان آنها است. این ترکیبات استفاده وسیعی در ساخت فوم‌های پلی‌اورتان، پوشش‌های کف، چسب‌ها، رزین‌ها و رنگ‌ها، الاستومرها، واکس‌ها و موم‌ها دارند. به طور کلی تماس افراد با بخارهای انواع اشکال مونومر، پلی‌مر، الیگومر و پلی‌ایزوسیانات‌ها به صورت جداگانه در محیط کار پلی-اورتان گزارش شده است (Allport DC et al 2003)، ایزوسیانات با وزن ملکولی پایین در دمای معمولی تمایل به بخار شدن داشته و از نظر تنفسی در محیط کار، خطرناک می‌باشد. برعکس ایزوسیانات با وزن ملکولی بالا به آسانی در دمای محیط به بخار تبدیل نمی‌شود، ولی به عنوان یک ماده خطرناک استنشاقی در محیط کار محسوب می‌گردند؛ خصوصاً چنانچه در معرض حرارت قرار گرفته یا به صورت آئروسول درآید. از آنجایی که بسیاری از واکنش‌های ایزوسیانات در طبیعت در اثر حرارت صورت می‌گیرد یا اکزوترمیک می‌باشد، از نظر امکان تشکیل بخار واجد اهمیت می‌باشد (NIOSH 1994). بسیاری از ترکیبات MDI از نظر فرمول ساختمانی دارای دو شکل مونومر و پلی‌ایزوسیانات می‌باشند و اغلب آنها به شکل مونومر هستند (۱). ایزوسیانات‌ها در اشکال فیزیکی متفاوت در محیط کار وجود دارند، نه تنها کارگران به صورت بالقوه با ایزوسیانات مانند پلی‌مرها، مونومرها و اقسام متفاوتی از آنها مواجه هستند بلکه با انواع واکنش‌ناپذیر آنها نیز در تماس هستند (۲). بخارات ایزوسیانات‌ها در اثر فرایند اکزوترمیک (گرما ده) ایجاد شده و بر سیستم تنفسی، اثرات مخرب خود را باقی می‌گذارند. عمده‌ترین خطری که این ترکیب در انسان به دنبال دارد تحریک سیستم تنفسی، تحریک سیستم‌بینایی و تحریک پوست می‌باشد، برخی محققین خطر سرطان‌زایی تعدادی از ترکیبات

ایزوسیانات‌ها را گزارش نموده‌اند (۳). در مقایسه‌ای که بین روش‌های نمونه برداری بخارهای ایزوسیانات‌ها در محیط کار (نمونه‌برداری با ایمپنجر؛ با فیلتر) و دو روش مختلف استاندارد NIOSH و OSHA برای نمونه‌برداری ایزوسیانات‌ها حین عملیات اسپری رنگ انجام شده است، نتایج مطالعه اختلاف معنی‌داری بین روش‌های توصیه شده در دو روش مذکور نشان نداده است (۴). نتایج نیز بیانگر آن است که نمونه‌برداری فیزیکی آئروسول‌ها و ژئوتریکی وسیله نمونه‌بردار بایستی به دقت بررسی شده و نمونه‌بردار مناسبی برای اندازه‌گیری انتخاب گردد (۵). در مطالعه‌ای که Streicher و همکاران (۱۹۹۸) در خصوص تعیین تماس شغلی ایزوسیانات‌ها در آمریکا در صنایع مرتبط با ایزوسیانات‌ها به عمل آورده‌اند، در یافته‌اند که این آلاینده در تمامی شاغلین منجر به بروز تحریکات پوستی، غشاهای مخاطی، چشم‌ها و سیستم تنفسی شده و همچنین درماتیت تماسی، حساسیت شدید، ذات‌الریه و آسم را به دنبال داشته است. آنها در پایان نیز استفاده از روش‌های مختلف برای پایش و ارزیابی مجدد و را مفید دانسته‌اند (۶). در بررسی که توسط Sennbro و همکاران (۲۰۰۳) در خصوص تعیین تماس با ایزوسیانات‌ها در ۱۳ کارخانه تولید پلی‌اورتان کشور سوئد انجام شد کارگران به چهار گروه کاری تقسیم شده و در مدت ۸ ساعت کاری مورد پایش قرار گرفتند. این بررسی توسط پمپ‌های نمونه‌بردار فردی و جاذب‌ها انجام شد و نتایج نشان داد که بین بروز اختلالات تنفسی، پوستی و تماس با ایزوسیانات‌ها رابطه معنی‌داری وجود دارد (۷). این محققین تحقیقات بیشتری را در این زمینه پیشنهاد نمودند. همچنین انگلند و اشوارتز (۲۰۰۰) در کانادا جهت مقایسه روش‌های مختلف نمونه‌برداری برای مونومر و پلی‌ایزوسیانات‌ها حین عملیات اسپری رنگ از روش‌های

مختلفی طبق توصیه استانداردهای موجود مانند NIOSH و OSHA برای جمع‌آوری ایزوسیانات‌ها استفاده نمودند. در این تحقیق، اختلاف معنی‌داری بین روش‌های توصیه شده در دو روش مذکور دیده نشد (۸). نتایج نیز بیانگر آن بود که نمونه‌برداری فیزیکی آئروسول‌ها و ژئومتریکی وسیله نمونه‌بردار بایستی به دقت بررسی شده و نمونه بردار مناسبی برای اندازه‌گیری انتخاب گردد. بررسی دیگری توسط Irene و همکاران (۱۹۹۹) در خصوص پیشگیری از علائم تنفسی در کارگرانی که با ایزوسیانات‌ها در تماس هستند، صورت پذیرفت که در آن در تمامی شاغلینی که به نحوی با ایزوسیانات‌ها در تماس بوده‌اند، بین بروز تحریکات تنفسی، تحریکات چشمی و تحریکات پوستی با نوع شغل و کارشان رابطه معنی‌داری وجود داشت (۹).

با در نظر داشتن خطراتی که MDI در انسان به دنبال دارد، این مطالعه به منظور تعیین غلظت MDI در هوای محیط کار صنایع پلی اورتان ایران صورت گرفت.

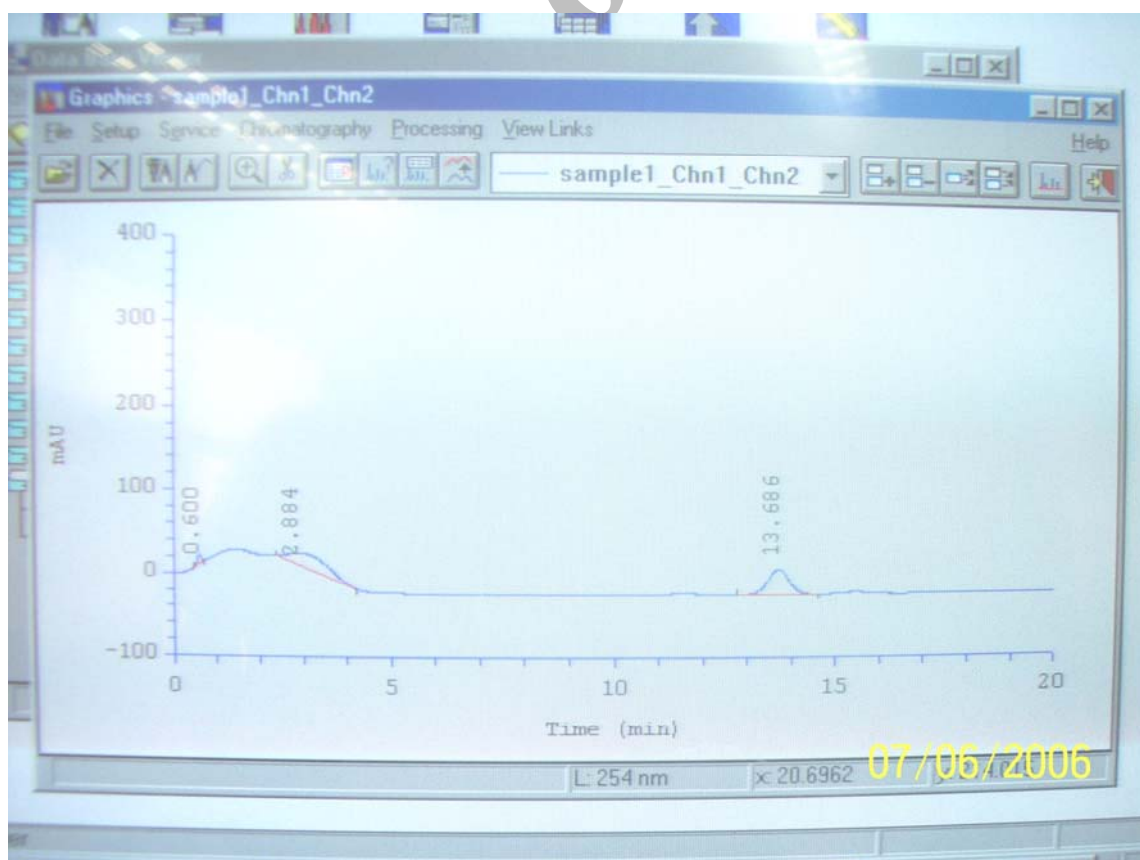
مواد و روش‌ها

این مطالعه در منطقه صنعتی کرج، تهران (منطقه صنعتی شمیرانات) و مازندران (ساری، آمل و سوادکوه) در صناعی که از MDI در تولید ابر ساختمانی و بهداشتی همچنین فوم‌های پلی اورتان استفاده می‌نمودند و در صنایع خودرو سازی فعالیت داشتند، در زمستان سال ۱۳۸۵ انجام شده است. با توجه به تحقیقات علمی مشابه در خصوص ایزوسیانات‌ها می‌توان با انتخاب ۱۰ درصد از کل جمعیت کاری به عنوان نمونه، نتایج حاصله را به کل جامعه آماری تعمیم داد (۶). با این الگوی آماری از بین ۵۰ کارخانه‌ای که از MDI استفاده می‌نمودند ۵ کارخانه به صورت تصادفی انتخاب شد که تعداد ۲۲۰ نفر کارگر را شامل می‌شد، در صورتی که کل شاغلین

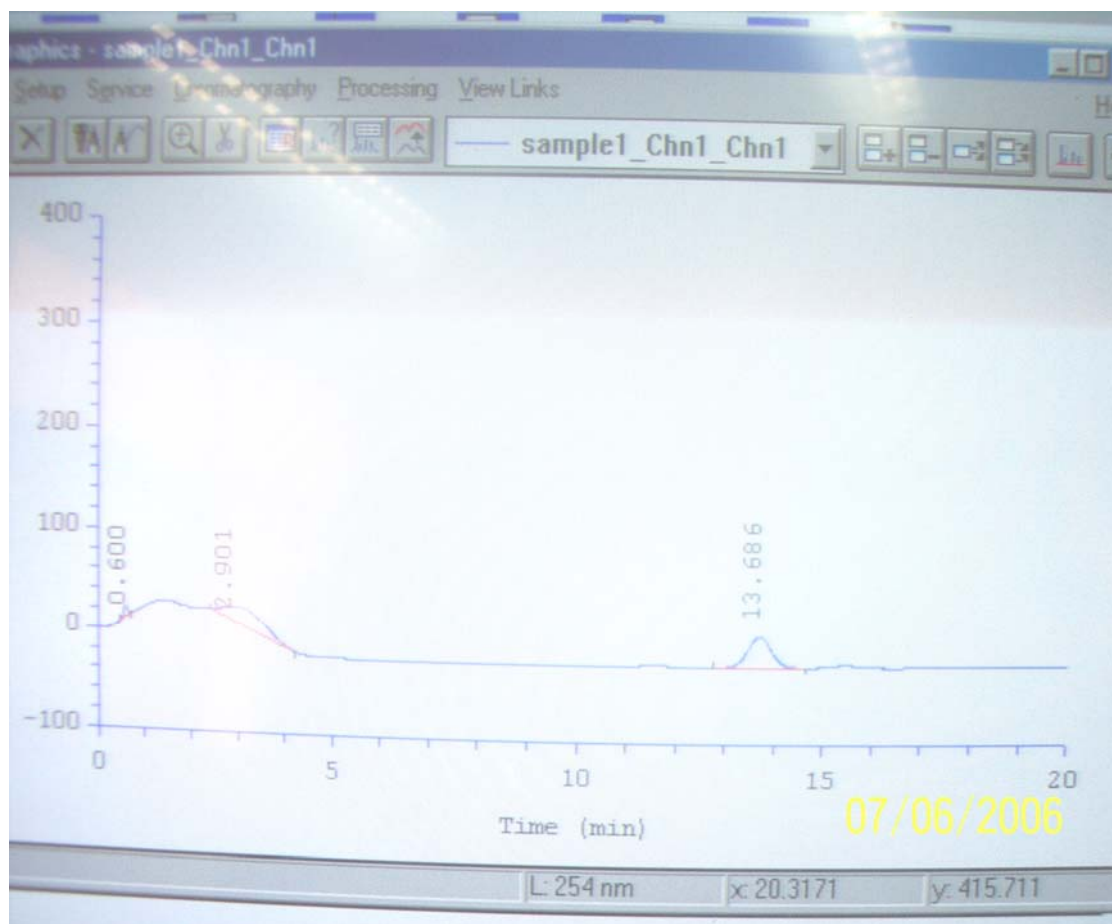
در معرض تماس با MDI در کشور حدود ۲۰۰۰ نفر می‌باشند. با توجه به این که ابعاد کارخانه‌ها و طراحی ایستگاهی کار در آن‌ها متفاوت بود، با تعیین تعداد نمونه‌ها از روش آماری در مجموع ۱۰۰ ایستگاه کاری در ۵ کارخانه برای نمونه برداری تعیین شد. از آن جایی که کلیه شاغلین کارخانه‌های تحت مطالعه به نوعی در تمام ساعت نوبت کاری در تماس با بخارهای MDI بوده و همگی در یک سالن سرپوشیده فعالیت می‌نمودند، وسایل نمونه‌بردار را در مکان‌های پر تردد نصب نموده و به روش استاتیک اقدام به نمونه‌برداری شد. بدین منظور کلیه شاغلین به سه گروه مختلف تقسیم شدند، گروه اول آن دسته از کارگرانی بودند که در معرض مستقیم آلاینده قرار داشتند، گروه دوم کارگران، بدون مواجهه کاری (مشاغل اداری) و گروه سوم آن‌هایی بودند که نیمه وقت در تماس بوده و مدتی دیگر در محل دیگری (انبارها، آشپزخانه، رانندگی و...) مشغول بودند. همچنین علاوه بر استقرار نمونه بردار در ایستگاه‌های کاری، چند نمونه شاهد نیز برداشته شد. با توجه به این که آلاینده MDI در کل سالن وجود داشت، ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تمامی قسمت‌های سالن تعیین گردید، هر ایستگاه دارای رمز مخصوص و مشخصات خاص بود. در این مطالعه به دلیل استفاده از محلول جاذب DMSO یا دی متیل سولفوکساید و سمی بودن آن برای کارگر، از طریق فردی، نمونه‌برداری امکان پذیر نبود و به طریق استاتیک و ایستگاهی نمونه برداری شد. روش استاندارد نمونه برداری روش NIOSH 5522 برای نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها بود؛ بدین ترتیب ابتدا وسیله نمونه‌بردار که پمپ‌های با دبی یا هواگذر کم از کارخانه SIBATA ژاپن بود (MP302) را با فلو متر حباب صابون در دبی ۱/۲ لیتر بر دقیقه کالیبره کرده و توسط دستگاه‌های مهاجم (impinger) کوچک که حاوی محلول جاذب DMSO به اضافه مقدار معین ماده تثبیت کننده و اکسشترپتامین بود

در ۴۵۰ ml ماده MDI و در آن- پروپانولول حل گردید. بعد از آن، محلول از صافی گذارنده شد و اجازه داده شد تا سرد شود. آنگاه کریستال‌های به دست آمده به عنوان MDI مشتق‌سازی شده برای آنالیز جمع‌آوری شدند (NIOSH manual of analytical methods 5522) فاز متحرک در آنالیز HPLC استونیتریل (۴۰ تا ۵۰ درصد) و سدیم استات (۶۰ تا ۵۰ درصد) به عنوان بافر بوده و طبق توصیه روش استاندارد (۱۰) ۴ نمونه برای کالیبراسیون دستگاه با غلظت‌های ۰/۰۵ تا ۱۰ $\mu\text{g/ml}$ برای آنالیز به دستگاه HPLC ساخت کارخانه KNAUER با دتکتور UV و ستون C18 تزریق شد و با استخراج کروماتوگرام‌های مربوطه و محاسبه سطح زیرمنحنی‌ها و نهایتاً میزان غلظت آلاینده MDI در نمونه‌ها محاسبه شد.

در ایستگاه‌های کاری مستقر و اقدام به نمونه‌برداری ۱۰۰ لیتر هوای محیط کار (طبق توصیه NIOSH) نموده و نمونه‌ها با بسته‌بندی مناسب برای آماده‌سازی برای تجزیه به آزمایشگاه منتقل شود. MDI قبل از آنالیز توسط HPLC بایستی مشتق‌سازی شود. روش مشتق‌سازی بدین صورت بود که ابتدا ۰/۴۱ گرم تریپتامین (با درجه خلوص بالای ۹۹ درصد) در ۳۰۰ ml تولوئن حل شده و با تکان دهنده تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد تا کاملاً حل شود. ۰/۰۰۱ مول از ایزوسیانات در ۲۰ ml تولوئن حل شده سپس محلول به دست آمده در محلول تریپتامین اضافه شد. مشتق تریپتامین که به صورت ژل سفید رنگی رسوب نموده بود با قیف فریتد گلاس و روش فیلتراسیون مکشی جمع‌آوری شده و آن‌گاه رسوبات به دست آمده



تصویر شماره ۱: کروماتوگرام به دست آمده برای نمونه استاندارد



تصویر شماره ۲: کروماتوگرام به دست آمده برای نمونه

یافته ها

میزان حد آستانه مجاز برای آلاینده MDI طبق استاندارد NIOSH برابر $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می باشد. از آنجایی که محل جغرافیایی کارخانه ها متفاوت بوده و از نظر شرایط جوی دارای شرایط یکسانی نبودند، مختصات و مشخصه های شرایط جوی حین نمونه برداری به منظور آنالیز آماری و بررسی وجود همبستگی یا ارتباط با آلودگی مورد آزمون آماری قرار گرفتند. مقادیر میانگین غلظت MDI به دست آمده در تحقیق با استفاده از نرم افزار SPSS V.13 و نسبت به مقادیر مجاز آن در استاندارد با برخی شرایط جوی مداخله گر در داخل محیط کار توسط آزمون همبستگی

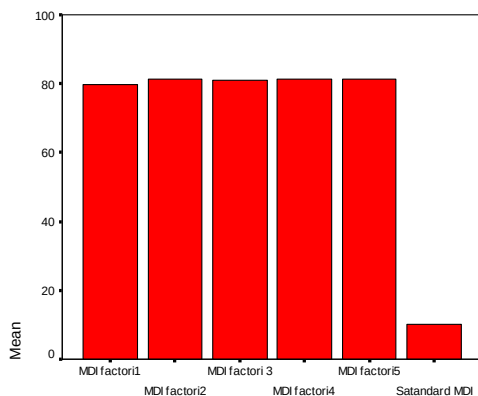
به منظور شناسایی نقاط اوج مختص MDI طبق روش مورد استفاده در این تحقیق NIOSH 5522 نسبت به تهیه منحنی های استاندارد اقدام گردید. آن گاه نمونه ها به دستگاه HPLC تزریق شده و با استفاده از کروماتوگرام های اختصاصی، سطح زیر نقطه اوج (Peak) منحنی های محاسبه شده و به صورت جداگانه غلظت MDI در تمامی ایستگاه ها محاسبه شد. نتایج نشان دهنده آن است که به طور متوسط غلظت MDI در کارخانه ۱ برابر $81/4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، کارخانه ۲ برابر $82/9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در کارخانه ۳ برابر $80/3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در کارخانه ۴ برابر $82/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در کارخانه ۵ برابر $81/8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در صورتی که

پیرسون (Pearson correlation coefficients) مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی آماری همبستگی قوی بین یکی از فاکتورهای جوی در محیط کار و غلظت MDI مشاهده شده است، ضریب همبستگی پیرسون برای همبستگی مابین نمونه‌های هوا و افزایش دمای محیط کار 0.83 و برای افزایش ساعت کار یا ساعت تماس و غلظت MDI برابر 0.88 بود.

بحث

از سه گروه ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محیط‌های کار شامل نقاط در معرض مستقیم تماس، نقاطی که دور از پروسه تولید تعیین شده بودند و نقاطی که در ایستگاه‌های بینابینی انتخاب شدند، تمامی نمونه‌های تجزیه شده دارای غلظت بالاتر از حد استاندارد بودند و از طرفی ماهیت انتشار MDI در فضا نشان دهنده این است که این ماده شیمیایی پس از استفاده، به سرعت در فضای محیط کار منتشر شده و ساعت‌ها در فضای منطقه تنفسی کارگران باقی می‌ماند و با افزایش خطی فاصله، رابطه معنی‌داری ندارد، همچنین بروز علائم بالینی حساسیت و تحریک سیستم تنفسی مانند آبریزش بینی، آبریزش چشم و... نشان‌دهنده تماس بیش از حد استاندارد (TLV) با MDI می‌باشد. در این مطالعه ارتباط نزدیکی بین افزایش دمای هوای محیط کار و غلظت MDI دیده شده است چون در کارخانه‌هایی که دمای محیط کار آنان به اقتضای شرایط جوی محیط، بالا بود افزایش قابل ملاحظه غلظت MDI دیده شد. همچنین این ماده شیمیایی در گرما بسیار واکنش‌پذیر می‌باشد و حتی دمای بالای محیط نیز در انتشار سریع تر آن‌ها دخالت مستقیم دارد. در نتیجه توجه به کنترل دما در محیط کار یکی از عوامل کنترل این ماده می‌تواند باشد، در ادامه ارتباط نزدیکی بین افزایش زمان در معرض بودن و MDI دیده شد، از آنجایی که نمونه‌برداری در دو سطح یک و دو

ساعته در یک نوبت کاری انجام شد، افزایش زمان ماند در محیط کار، و اضافه شدن تدریجی این آلاینده در محیط کار میزان جذب آلاینده را خصوصاً از طریق ربوی به بدن کارگران افزایش می‌دهد. از طرفی به دلیل ماندگاری بالای این ماده در محیط کار و تبدیل شدن سریع آن به ذرات (Particles) و بخارهای غلیظ این ماده شیمیایی در محیط کار در انتهای نوبت کاری افزایش می‌یابد، نمونه‌های تجزیه شده همگی دارای غلظت بالا و بیش از $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بودند. و از آنجایی که میزان حد تماس مجاز (PEL) برای MDI در استاندارد NIOSH برابر با $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در ۱۰ دقیقه برای تماس سقفی (Ceiling) می‌باشد، مقادیر به دست آمده در تحقیق حکایت از وخامت اوضاع در کارخانه‌هایی مصرف کننده ایزوسیانات ایران داشته و آلودگی بسیار بالای محیط کار را نشان می‌دهد، نمودار شماره ۱ گویای مطلب ذکر شده می‌باشد.



نمودار شماره ۱: مقدار میانگین غلظت MDI در کارخانجات نمونه برداری شده ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ایزوسیانات‌ها در محیط کار معمولاً به صورت بخار و آئروسول بوده (۱۱) و بسیار فعال و ناپایدار می‌باشند. ذرات و مواد شیمیایی مختلفی در نمونه هوا موجود می‌باشد که ممکن است در میزان آلاینده در محیط

می‌توان تصمیم گرفت که پایش زیست شناختی تماس با ایزوسیانات‌ها یا جستجوی متابولیت‌های MDI در ادرار (MDA) را به‌عنوان یک روش استاندارد، جایگزین روش نمونه‌برداری از هوا کنیم که هم ارزان‌تر بوده و هم در وقت و استفاده از آزمایشگاه پیشرفته صرفه‌جویی می‌شود. همچنین درپایان می‌توان برنامه‌های خاصی برای پیشگیری از بروز بیماری‌های شغلی (Work related Disease) طرح‌ریزی نمود، یکی از این برنامه‌های موثر طراحی و تعبیه سیستم تهویه صنعتی مناسب و مفید می‌باشد، البته پایش این نوع سیستم‌ها از درجه اهمیت بالایی برخوردار است و دیگری انجام معاینات دوره‌ای برای شاغلین در معرض تماس با آلاینده به‌عنوان یکی از اقدامات غربالگری برای شناسایی افرادی است که توسط ایزوسیانات‌ها دچار ضایعه شده‌اند یا علائمی از ابتلا دارند. این برنامه‌ها کمک شایانی به درمان و اقدامات پیشگیری دیگر خواهد نمود.

References

1. Alshibli KA, Sture S. Sand shear band thickness measurements by digital imaging techniques. *J Comput Civil Eng* 1999; 13(2): 103-108.
2. Harris A.T, Davidson J.F, Thorpe R.B. A novel method for measuring the residence time distribution in short time scale particulate systems. *Chem Eng J* 2002; 89(1-3): 127-142.
3. Schwartz RK. Evaluation of recoveries of several prepolymeric isocyanate products using NIOSH Methods 5521 and 5522 (unpublished data). Cincinnati, OH: *U.S. Dept. of Health and Human Services*, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention,

کار تاثیرگذار باشد و بایستی تعیین کمیت شود^(۱)، نمونه‌برداری خالص ایزوسیانات‌ها برای تجزیه امکان پذیر نمی‌باشد. و استانداردهای کمی برای ایزوسیانات‌ها با توجه به تنوع ایجاد این آلاینده در محیط کار تعریف نشده است، در این مطالعه ارتباط معنی‌داری بین میزان آلاینده و دمای هوا به طور مستقیم دیده شده است؛ بدین معنی که با افزایش دما، میزان آلاینده در محیط کار افزایش داشته و شاغلین بیش‌تر در معرض تماس قرار می‌گیرند، همچنین ارتباط معنی‌داری بین مدت زمان انجام کار و افزایش میزان آلاینده دیده شده که نشان‌دهنده تماس بیش‌تر افراد در تماس طولانی می‌باشد. با توجه به این که مقدار حد آستانه مجاز برای MDI طبق استاندارد NIOSH به میزان $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد و میانگین غلظت MDI در این مطالعه بیش از $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است بایستی ابتلا به برخی از بیماری‌های تنفسی شغلی را در کارگران انتظار داشت. با استفاده از نتایج این مطالعه

- National Institute for Occupational Safety and Health (1994).
4. Wu WS, Stoyanoff RE, Szklar RS, Gained VS. Application of tryptamine as a derivatizing agent for airborne isocyanate determination: part 3. Evaluation of total isocyanates analysis by highperformance liquid chromatography with fluorescence and amperometric detection. *Analyst* 1990; 115: 801-807.
5. Levine SP, Hillig KJD, Dharmarajan V, Spence MW, Baker MD. Critical review of methods of sampling, analysis, and monitoring for TDI and MDI. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1995; 56: 581-589.

6. Robert P.S, Christopher M.R, Schwartz RK, Schlecht PC, Cassinelli ME. "Determination of Airborne Isocyanate Exposure". *NIOSH Manual of Analytical Methods* 1998: 116-142.
7. Sennbro Carl J, Lindh Christian H, Östin A, Welinder H, Jonsson BA, Tinnerberg H. "A Survey of Airborne Isocyanate Exposure in 13 Swedish Polyurethane Industries". *Ann Occup Hyg* 2004; 48(5): 405-414.
8. NIOSH (1994). *Method 5525, Isocyanates, total(MAP) Issue 1, (Supplement in press). NIOSH methods of analytical methods, 4th ed.* Cincinnati, Ohio: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113.
9. Irene SM, Charpin D, Signouret M, Poyen D, Vervloet D. "Prevalence of Self-Reported Respiratory Symptoms in Workers Exposed to Isocyanates." *J Occup Environ Med* 1999; 41(7): 582-588.
10. *NIOSH. Determination of airborne isocyanate exposure.* Chapter K. NIOSH manual of analytical methods, 4th ed. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (1994). DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113.
11. G.Skarping, C. Sangö and B. E. F. Smith. "Trace analysis of isocyanates in industrial atmospheres using gas chromatography and electron-capture detection". Department of Technical Analytical Chemistry, Chemical Center, P.O. Box 740, S-220 07 Lund 7 Sweden. Received 10 November 1980. Available online 18 January 2002.