مجله مهندسی انرژی و محیط زیست، سال ۱، شماره ۱، پائیز ۱۳۸۸، صفحه ۵۸- ۵۱

ارزیابی ریسک فاکتورهای آلودگی هوای صنایع پلی اورتان با تاکید بر تماس شاغلین با هگزامتیلن دی ایزوسیانات‌ها (HDI)

سیدتقی میرمحمدی[۱]، محمد حکیمی ابراهیم[۲]*، انیس احمد[۲]، عمر اب کدیر[۲]، محمود محمدیان[۲]، سید باقر میراشرفی[۲]

۱- دانشکده بهداشت، گروه بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، mirtaghim@yahoo.com
۲- دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت حرفه ای

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۸۷/۵/۲۴

چکیده

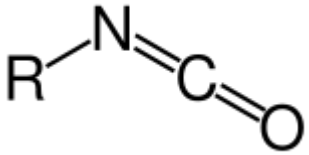
مقدمه و اهداف: هگزامتیلن دی ایزویساتان یا HDI از مواد اصلی در ساخت محصولات کارخانه‌های پلی اورتان مانند ابر و اسفنج و عایق‌های حرارتی وسایل خنک کننده و ... کاربرد دارد. این گروه از مواد شیمیائی به عنوان تحریک کننده سیستم ریوی و پوست شناخته شده و عامل اصلی بروز آسم شغلی در جهان می‌باشند. از اهداف اصلی این مطالعه می‌توان به بررسی ریسک فاکتورهای تماس شاغلین با آلاینده HDI در محیط کار، تعیین غلظت HDI و بررسی بیولوژیکی HDA در صنایع پلی اورتان نام برد. مواد و روش‌ها: به منظور نمونه برداری آلاینده HDI از هوای کارخانه‌های پلی اورتان طبق روش NIOSH 5522 (انستیتو ملی ایمنی شغلی و بهداشت امریکا) از ایمپینجر کوچک که محتوی محلول دی متیل سوکفوکساید با تریپتامین بود استفاده شد و آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارآئی بالا (HPLC) انجام شد و برای ارزیابی متابولیت این آلاینده HDA در ادرار شاغلین طبق روش ویلیامز از دستگاه گاز کروماتوگراف (GC) استفاده شد. از پرسشنامه‌های نظارت بهداشتی شاغلین (Health Surveillance Questionnaire) برای ارزیابی ریسک فاکتورهای تماس شغلی استفاده شد و برای استخراج و تجزیه و تحلیل داده‌های مطالعه از مدل رگرسیونی چندگانه و تست آنالیز واریانس با استفاده از نرم افزار SPSS V.12 به کار گرفته شد. یافته‌ها: نتایج حاصله از تجزیه نمونه‌های هوا نشان دهنده سطح بالای آلودگی ایزوسیانات در کارخانجات پلی‌اورتان می‌باشد ($HDI > 76.7\mu g/m^3$) و تمامی نمونه‌های بیولوژیک (ادرار شاغلین) دارای مقدار قابل توجهی HDA بودند ($>3\mu mol/mol\ creatinine$) و از پنج فاکتور مورد ارزیابی برای ریسک فاکتور تماس شغلی (سن، استعمال دخانیات، وزن، سابقه کار و علائم بیماری شغلی)، فاکتورهای میزان وزن شاغلین و بروز علائم بیماری شغلی مربوط به ایزوسیانات‌ها با غلظت آلاینده HDI در محیط کار ارتباط معنی داری داشته است ($P < 0.001$). استنتاج: تعیین میزان آلودگی ایزوسیانات‌ها در محیط کار صنایع پلی اورتان در کنار بررسی ریسک فاکتورهای مربوط به شاغلین به منظور به دست آوردن مدل رگرسیونی پیش بینی کننده آلودگی در محیط کار را می‌توان به عنوان یک روش جدید بررسی آلودگی هوای داخلی با تاکید بر HDI نام برد که اطلاعات جامع‌تری را نسبت به مطالعات قبلی در جهت تعیین وضعیت آلودگی به محققین می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: *ریسک فاکتور، دی ایزوسیانات‌ها، شاغلین، آلودگی*

۱- مقدمه

۱ دی ایزوسیانات‌ها مواد شیمیائی هستند که حداقل دارای یک

گروه سیانات (NCO) در ساختمان خود باشند، هر گروه ایزوسیانات شامل یک نیتروژن، کربن و اکسیژن می‌باشد (۱).



شکل ۱. گروه اصلی ایزوسیانات‌ها

این دسته از مواد شیمیائی در ساخت ابرهای ساختمانی و صندلی خودروها، عایق‌های دمایی وسایلی مانند یخچال‌ها، فریزرها، پوشش‌های کف و غیره کاربرد دارد (۲). ایزوسیانات‌ها به عنوان یک ماده خطرناک استنشاقی در محیط کار محسوب می‌گردند خصوصاً اگر در معرض حرارت قرار گرفته یا به صورت آئروسل درآیند، از آنجائی که بسیاری از واکنش‌های ایزوسیانات در طبیعت در اثر حرارت تشکیل می‌شود یا اگزوترمیک می‌باشد بنابراین امکان تشکیل بخار را دارند و دارای اهمیت بهداشت شغلی می‌باشند (۳). بخارات ایزوسیانات‌ها در اثر فرایند اگزوترمیک (گرما ده) ایجاد شده و روی سیستم تنفسی اثرات مخرب خود را باقی می‌گذارد، عمده‌ترین خطری که این ترکیب در انسان ایجاد می‌کند تحریک سیستم تنفسی، تحریک سیستم بینایی و تحریک پوست می‌باشد(۴). ایزوسیانات‌ها در اشکال فیزیکی متفاوت در محیط کار وجود دارند، نه تنها کارگران به صورت بالقوه با ایزوسیانات مانند مونومرها، پلی‌مرها و اقسام متفاوتی از آنها مواجه‌اند بلکه با انواع واکنش ناپذیر آنها نیز در تماس هستند (۵). بخارات جذب شده در بدن شاغلین عمدتا از طریق تنفسی بوده و تبدیل به هگزامتیلن دی آمین شده و از طریق ادرار از بدن دفع می‌گردد (۶). در رابطه با مقایسه روش‌های مختلف نمونه برداری ایزوسیانات‌ها، نتایج حاصله از تحقیقات بیانگر آن است که نمونه برداری فیزیکی آئروسل‌ها و ژئومتریکی وسیله نمونه بردار بایستی به دقت بررسی شده و نمونه بردار مناسبی برای اندازه گیری انتخاب گردد (۷). همچنین بررسی دیگری در مورد روش‌های مختلف نمونه برداری و آنالیز ایزوسیانات‌ها انجام پذیرفت که در این مطالعه روش‌های مختلفی طبق توصیه استانداردهای موجود مانند انستیتو ایمنی شغلی و بهداشت (NIOSH) و اداره کل ایمنی شغلی و بهداشت (OSHA) برای جمع آوری ایزوسیانات‌ها استفاده شده است. در این تحقیق اختلاف معنی داری بین روش‌های توصیه شده در دو روش مذکور دیده نشده است (۸و ۹). مطالعه‌ای توسط محققین در کانادا در رابطه با مقایسه روش‌های مختلف نمونه برداری برای مونومر و پلی ایزوسیانات‌ها حین عملیات اسپری رنگ انجام شده است، در این مطالعه روش‌های مختلفی طبق توصیه استانداردهای موجود مانند NIOSH و OSHA برای جمع آوری ایزوسیانات‌ها استفاده شده است، در این تحقیق اختلاف معنی داری بین روش‌های توصیه شده در دو روش مذکور دیده نشده است(۱۰). بررسی دیگری در خصوص پیشگیری از علائم تنفسی در کارگرانی که با ایزوسیانات‌ها در تماس هستند صورت پذیرفت که در این بررسی پرسشنامه‌ای، در تمامی شاغلینی که به نحوی با ایزوسیانات‌ها در تماس بوده‌اند بروز تحریکات تنفسی، تحریکات چشمی و تحریکات پوستی با نوع شغل و کارشان رابطه معنی داری دیده شده است (۱۱). همچنین مطالعه مشابهی در خصوص تعیین تماس با ایزوسیانات‌ها انجام شده که در این تحقیق کارگران به چهار گروه کاری تقسیم شده و در مدت ۸ ساعت کاری مورد پایش قرار گرفته که این بررسی توسط پمپ‌های نمونه بردار فردی و جاذب‌ها صورت پذیرفته است. نتایج نشان‌گر آن است که بین بروز اختلالات تنفسی، پوستی و تماس با ایزوسیانات‌ها رابطه معنی داری دیده شده است، این محققین تحقیقات بیشتری را در این زمینه پیشنهاد نموده‌اند (۱۲). بررسی دیگری در خصوص تعیین تماس شغلی ایزوسیانات‌ها در صنایع مرتبط با ایزوسیانات‌ها به عمل آمده بود که نتایج حاصله نشان‌دهنده آن است که تمامی شاغلین در مواجهه با این آلاینده دچارتحریکات پوستی، غشاهای موکوسی، چشم‌ها و سیستم تنفسی شده و همچنین این عوارض درماتیت تماسی، حساسیت شدید، پنومونی و آسم را به دنبال داشته است. در پایان نیز استفاده از روش‌های مختلف برای ارزیابی مجدد و پایش آنها را پیشنهاد کرده‌اند (۱۳).

اهداف انجام مطالعه حاضر در کارخانجات پلی اورتان کشور، تعیین غلظت آلاینده HDI در هوای داخل محیط کار، مقایسه غلظت آلاینده با استانداردهای بهداشت شغلی، ارزیابی ریسک فاکتورهای ابتلا به بیماری‌های شغلی شاغلینی که در محیط کار با HDI در تماس می‌باشند و تعیین مدل رگرسیونی پیش بینی کننده وضعیت آلودگی داخلی با توجه به ریسک فاکتورهای موثر بوده است. انجام مطالعاتی از این قبیل با توجه به وجود مخاطرات ممکن در خصوص در معرض تماس قرار گرفتن محقق با مواد بسیار سمی حتی بیش از مقداری‌که شاغلین با آن در تماس هستند درای اهمیت بسزائی است.

۲- مواد و روش‌ها

حجم نمونه بر اساس پیش تست نمونه‌های هوا و با توجه به نتایج حاصل از مطالعات انجام شده (۱۶و ۱۵و ۱۴) در زمینه مشابه و سپس با استفاده از فرمول آماری۱ تعیین گردید:

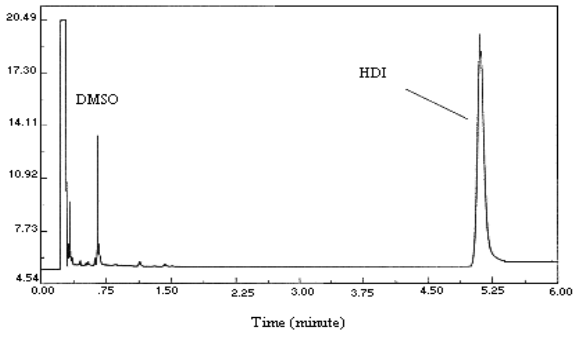
*- نویسنده مکاتبه کننده

$$n \geq N\left\{1+\frac{1}{N}\left(\frac{d}{1.96\times S}\right)^2\right\}^{-1} \quad (۱)$$

فرمول ۱. تعیین حجم نمونه

به این ترتیب تعداد پنج کارخانه پلی اورتان در ایران که دارای حدود ۳۵۰ نفر شاغل بوده به روش آماری انتخاب شدند. این کارخانجات از HDI به عنوان ماده اولیه خطوط تولیدی محصولات خود استفاده می نموده اند و کلیه شاغلین در آن به طور مستقیم با آلاینده در تماس بودند. با توجه به این که ابعاد کارخانه‌ها و طراحی ایستگاهی کار در آنها متفاوت بود، در مجموع ۱۰۰ ایستگاه کاری برای نمونه برداری و ۵۰ نفر برای بررسی پرسشنامه‌های نظارت بهداشتی شاغلین (Health Surveillance Questionnaire) برای ارزیابی ریسک فاکتورهای تماس شغلی به روش آماری تعیین شدند.

وسیله نمونه برداری از هوای محیط کار، نمونه بردار ایمپینجر کوچک محتوی محلول جاذب دی متیل سولفوکساید (DMSO) به علاوه ماده تریپتامین که با لوله لاستیکی ویژه به پمپ نمونه بردار فردی SIBATA ساخت ژاپن متصل بوده‌اند، کلیه نمونه بردارها همراه با ملحقات آن توسط سیستم فیلم فلومتر (Film Flow meter) در هر روز نمونه برداری کالیبره می‌شدند. با توجه با این که محلول جاذب DMSO یا دی متیل سولفوکساید سمی بوده و استفاده از آن به صورت نمونه برداری فردی و نصب بر روی یقه پیراهن شاغل طبق توصیه NIOSH امکان پذیر تمی‌باشد، نمونه برداری طریق استاتیک و ایستگاهی در ناحیه تنفسی شاغل انجام پذیرفت. پمپ‌های نمونه بردار در هواگذر ۲ لیتر بر دقیقه تنظیم شده تا مقدار ۱۲۰ لیتر از هوای محیط کار را از محلول جاذب عبور دهند. بعد از نمونه برداری، کلیه آمپول‌ها با چسب ژلاتینی بسته شده و به آزمایشگاه منتقل می‌شدند. تجزیه نمونه‌های هوای دارای چهار مرحله می‌باشد، شامل مشتق سازی و آماده سازی، جداسازی، تعیین کیفی و تعیین کمی که نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارآئی بالا (HPLC) بر اساس روش استاندارد شماره ۵۵۲۲ انیستیتو ملی ایمنی شغلی و بهداشت (NIOSH) تعیین مقدار گردیدند. برای این منظور از دستگاه HPLC ساخت شرکت KNAUER آلمان با آشکارساز UV و ستون C18 ساخته شده از فولاد (۲۰۰ میلی متر طول با ۵ میلی متر شعاع داخلی). طبق روش فوق ابتدا برای شناسائی پیک‌های کروماتوگرام تعداد ۴ نمونه استاندارد به دستگاه تزریق شد تا منحنی استاندارد نمونه به دست آید سپس کلیه نمونه‌ها برای تعیین مقدار به دستگاه تزریق گردید (۴).



شکل ۲. کروماتوگرام HDI (Hexamethylene diisocyanate) توسط HPLC

در خصوص بررسی بیولوژیکی مقدار مواد شیمیائی جذب شده توسط شاغلین از روش ویلیامز که برای نمونه برداری و آنالیز نمونه جهت تعیین مقدار متابولیت HDI در بدن شاغلین (هگزامتیلن دی آمین) پیشنهاد شده بود استفاده گردید. به این منظور نمونه‌های ادرار افراد در ساعات پایانی شیف کاری (با توجه به نیمه عمر HDI در بدن که ۲ الی ۴ ساعت می‌باشد) در ظروف پلی استایرن حاوی اسید سیتریک جمع آوری و سریع به آزمایشگاه جهت فریز نمودن انتقال داده شد. این نمونه پس از آماده سازی توسط دستگاه GC مورد آنالیز و تعیین مقدار گردید (۹).

به منظور ارزیابی ریسک فاکتورهای تماس شاغلین با HDI و ارتباط وضعیت افراد با محیط کار فاکتورهای سن شاغل، وزن شاغل، استعمال دخانیات، سابقه کار و بروز علائم بیماری شغلی مرتبط با ایزوسیانات‌ها (شامل درد چشم، آبریزش بینی، گلو درد، سرفه، تنگی نفس و تنگی سینه) توسط پرسشنامه مورد بررسی قرار گرفتند. برای ارائه مدل چندگانه پیش بینی کننده رگرسیونی از مدل زیر استفاده شده است:

$$SI= B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_4 + B_5 X_5 + ei \quad (1)$$

I: ۱، ۲، ۳، . . .

SI: متغیر وابسته (آلایه HDI)

B_0: عرض از مبدا

$B_{1,...5}$: پارامترهای مدل آماری

نمونه‌های تزریق شده به دستگاه HPLC کروماتوگرام‌های اختصاصی را نتیجه داده است، محاسبات بر مبنای سطح زیر پیک منحنی‌های استخراج شده از کروماتوگرام پایه ریزی شده، و سپس برای تمامی ایستگاه‌ها غلظت آلاینده محاسبه شد وداده‌ها با استفاده از تست آماری ANOVA یک‌طرفه و نرم افزار SPSS.16 مورد تجزیه تحلیل آماری قرار گرفت.

۳- یافته‌ها

آنالیز نمونه‌های هوا توسط دستگاه HPLC نشان‌دهنده غلظت بالای HDI در کلیه کارخانجات پلی اورتان بوده‌اند ($\mu g/m^3$ >۷۶/۷)، به طوری که کارخانه‌های H1 و H2 واقع در استان تهران به ترتیب دارای بیشترین مقدار آلودگی (۸۲/۲$\mu g/m^3$ و ۷۹/۸ $\mu g/m$) و کارخانه‌های H4 و H3 واقع در منطقه کرج دارای درجات بعدی آلودگی بوده‌اند (۷۸/۷ $\mu g/m^3$ و ۷۷ $\mu g/m^3$) و در نهایت کارخانه H5 واقع در استان مازندران دارای درجه پایین‌تر آلودگی ایزوسیانات نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه می‌باشد (۷۶/۷ $\mu g/m^3$).

جدول ۱. مقادیر توصیفی نمونه برداری HDI ($\mu g/m^3$) از هوای صنایع پلی اورتان

کد کارخانه آلاینده	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	میانگین
Maximum HDI	96	92	90	90	88	96
HDI Minimum	67	66	66	64	61	61
HDI Mean	82.2	79.8	78.7	77	76.7	78.8

تمامی نمونه‌های بیولوژیک (ادرار) تجزیه شده توسط دستگاه GC نشان‌دهنده مقادیر بالای آلودگی یا مسمومیت شاغلین با HDI است. طبق جدول ۲ میانگین غلظت HDA در کارخانه‌های H1 و H2 به ترتیب برابر با ۳/۵ و ۳/۳۵ میکرو مول بر مول کراتینین می‌باشد که در استان تهران واقع می باشند. همچنین غلظت DA در کارخانه‌های H3 و H4 به ترتیب برابر با ۳/۲ و ۳/۱۵ میکرو مول بر مول کراتینین بوده است که در منطقه کرج واقع هستند، و کارخانه H5 که در مازندران واقع است مقدار میانگین غلظتی برابر ۳ میکرو مول بر مول کراتینین را نشان داده است.

جدول ۲. مقادیر غلظت HDA (µmol/mol creatinine) به دست آمده از نمونه‌های ادرار شاغلین در کارخانه‌های پلی اورتان

کد کارخانه	Maximum	Minimum	Std. Deviation	Mean
H_1	4	2.5	.624	3.5
H_2	4	2	.709	3.35
H_3	4	2	.615	3.2
H_4	4	2	.707	3.15
H_5	4	3	.316	3

به منظور بررسی ریسک فاکتورهای ابتلا به بیماری‌های شغلی مربوط به ایزوسیانات‌ها برای شاغلین صنایع پلی اورتان از پرسشنامه‌های ارزیابی بهداشتی استفاده شده است. در این پرسشنامه‌ها پنج فاکتور مشترک در تمامی شاغلین مورد سوال واقع شدند شامل سن شاغل، وزن شاغل، سابقه استعمال دخانیات، سابقه کار و بروز علائم بیماری‌های شغلی مربوط به ایزوسیانات‌ها.

جدول ۳.۱ توصیف داده‌های استخراج شده از پرسشنامه‌های فردی ارزیابی بهداشتی

فاکتورها	تعداد	Maximum	Minimum	Std. Deviation	Mean
سن	۵۰	۴۷ سال	۲۴ سال	7.46	سال34.5
وزن	۵۰	۸۸ کیلوگرم	۵۰ کیلو	12.35	کیلو گرم69.5
سابقه کار	۵۰	۱۳ سال	۲ سال	2.94	سال4.5

جدول ۳.۲ توصیف داده‌های استخراج شده از پرسشنامه‌های فردی ارزیابی بهداشتی برای مصرف دخانیات

فاکتورها	تعداد	درصد
دارای سابقه استعمال دخانیات	۲۳ نفر	٪۴۶
بدون سابقه استعمال دخانیات	۲۷ نفر	٪۵۴

جدول ۳-۳ – توصیف داده‌های استخراج شده از پرسشنامه‌های فردی ارزیابی بهداشتی برای علائم بیماری شغلی

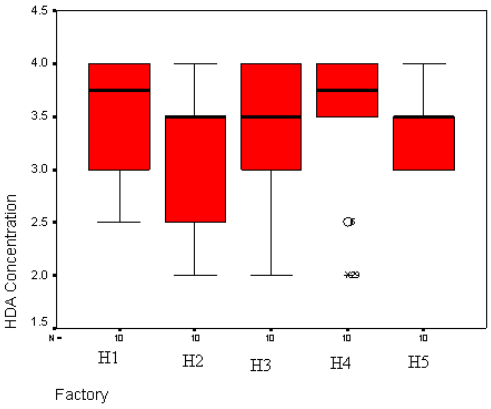
فاکتورها	تعداد	درصد
دارای علائم بیماری	۲۷ نفر	٪۵۴
بدون علائم بیماری	۲۳ نفر	٪۴۶

ارزیابی پرسشنامه‌ها نشان داده‌اند که میانگین سنی شاغلین در کارخانه‌های پلی اورتان ۳۴/۵ سال و میانگین وزن آنان ۶۹/۵کیلو می‌باشد، همچنین این دسته از افراد به طور متوسط دارای ۴/۵ سال سابقه کار بودند. داده‌های استخراج شده از پرسشنامه‌ها آشکار نموده است که ۴۶٪ از افراد دارای سابقه مصرف دخانیات بوده و بین آنان ۵۴٪ از افراد دارای علائمی از بیماری شغلی مرتبط با ایزوسیانات بودند.

۴- بحث و بررسی

در مطالعه حاضر مقدار غلظت HDI به دست آمده از نمونه‌های هوای صنایع پلی اورتان ($\mu g/m^3$ ۷۸.۸) در مقایسه با حد مجاز تماس (Permissible Exposure Limit) ارائه شده توسط انستیتو ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH) به میزان $\mu g/m^3$ ۳۵ و کنفرانس بهداشت صنعتی امریکا (ACGIH) به میزان $\mu g/m^3$ ۳۴ دارای آلودگی بالا بوده و تقریبا بیش از دو برابر حد مجاز تماس استانداردهای موجود می‌باشد. این نشان‌دهنده آن است که نمونه‌های جمع آوری شده از محل‌های در معرض مستقیم تماس در ناحیه تنفسی شاغلین دارای غلظت بالا بوده و حکایت از آلوده بودن این قبیل صنایع دارد و از طرفی ماهیت انتشار HDI در فضای محیط کار 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 به دلیل این که آلاینده به صورت بخار در هوا وجود دارد علاقمند به معلق بودن در هوا بوده و تمایلی به ته نشینی سریع ندارد (۱۸و ۱۷). با این تفاصیل تماس با این ماده شیمیائی در محیط کار منجر به بروز علائم بالینی شامل حساسیت و تحریک سیستم تنفسی مانند آبریزش بینی، آبریزش چشم و ... در شاغلین می‌شود که نشان دهنده تماس بیش از حد مجاز (PEL) با HDI می‌باشد که این علائم در تماس طولانی مدت خطر ابتلا به بیماری‌های تنفسی و پوستی شغلی را در افرادی که با ایزوسیانات‌ها در تماس هستند افزایش خواهد داد (۲۰و ۱۹).

بررسی‌های بیولوژیکی شاغلین در تماس با HDI نشان داده است که تمامی افراد دارای میانگین آلودگی HDA در ادرار خود به میزان بیش از ۳ (µmol/mol creatinine) بوده‌اند و این مقدار در مقایسه با مقدار مرجع (1 µmol/mol creatinine) مقدار سه برابر افزایش را نشان می‌دهد، همچنین این میزان آلودگی پیش آگهی بیماری شغلی ناشی از تماس با ایزوسیانات‌ها می‌باشد (۲۱).



شکل ۳. غلظت HDA (µmol/mol creatinine) در کارخانجات مختلف

شکل ۳ حداقل و حداکثر غلظت دیده شده در هر گروه از نمونه‌های افراد شاغل در پنج کارخانه مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. در این مطالعه ارتباط بین فاکتورهای ارزیابی بهداشتی شاغلین و آلودگی HDI مورد بررسی قرار گرفت، درخصوص تعیین میزان تماس HDI و تولید متابولیت آن (HAD) در بدن شاغلین مختلف در صنایع پلی اورتان. آنالیز چندگانه رگرسیونی برای ارزیابی فاکتورهای بهداشتی بر اساس اطلاعات شخصی و بهداشتی شاغلین مورد استفاده قرار گرفت. تست داده‌های استخراج شده از اطلاعات شغلی مربوط به شاغلین در این روش آماری نشان داده است که تعدادی از فاکتورهای ارزیابی شده ارتباط روشنی با آلودگی ایزوسیانات در محیط کار دارند. طبق جدول ۴ فاکتورهای سن (P=0.856)، سابقه استعمال دخانیات (P= 0.353) و سابقه کار (P= 0.539) در این تست آماری معنی دار نبوده و نشان از عدم ارتباط این سه فاکتور با تاثیر آلودگی HDI در محیط کار بر روی شاغلین دارد ولی ارتباط معنی دار و قوی بین فاکتورهای وزن شاغلین (P< 0.0001) و همچنین علائم بیماری‌های شغلی مرتبط با ایزوسیانات‌ها (P< 0.011) و تاثیر آلودگی HDI بر شاغلین کارخانجات پلی اورتان دیده شده است.

جدول ۴. ضرایب مدل چندگانه رگرسیونی برای ریسک فاکتورهای HDI در محیط کار

		ضرایب مدل		t	p- value
مدل	HDA	B	Std. Error		

	ثابت مدل	79.543	1.428	55.692	< .0001
	سن شاغل	.0051	.284	.183	< .856
	استعمال دخانیات	.765	.815	.939	< .353
	وزن شاغل	4.271	.775	5.512	< .0001
	سابقه کار	-.207	.334	-.620	< .539
	علائم بیماری	2.755	1.036	2.660	< .011

بر اساس مدل رگرسیونی به دست آمده برای فاکتورهای ارزیابی بهداشتی و آلودگی HDI در محیط کار میزان آلفا (α) کمتر از ۰/۰۰۱ بوده بنابراین این مدل رگرسیونی پیش بینی کننده در سطح ۹۹.۹۹٪ معنی دار است. به بیان دیگر یک رابط معنی دار قوی بین فاکتورهای مشخص (وزن شاغلین و علائم بیماری‌های شغلی) و آلودگی HDI در کارخانجات پلی اورتان به عنوان ریسک فاکتورهای بهداشت شغلی در صنایع پلی اورتان وجود دارد.

جدول ۵. مدل رگرسیونی چندگانه برای ریسک فاکتورهای آلودگی ایزوسیانات‌ها

Model	r	r^2	Adjusted R Square
HDA	.965	.931	.923

مدل پیش بینی کننده چندگانه رگرسیونی (Multiple Regression Model) برای این مطالعه به قرار ذیل می‌باشد (r^2 =۰.۹۳۱):

$$HDA\ Risk = 79.534 + 4.271\ wt + 2.755\ DS \quad (۲)$$

در این معادله:

Wt برابر با وزن شاغلین بر حسب کیلوگرم

DS (Disease symptoms) برابر با بروز هر یک از علائم بیماری شغلی مرتبط با ایزوسیانات در محیط کار

سهم وابستگی هر یک از فاکتورها در تاثیر آلودگی ایزوسیانات‌ها در شاغلین مستقیما به وسیله ضرایب موجود در معادله رگرسیونی به دست آمده قابل اندازه‌گیری است. علامت مثبت در معادله فوق بیانگر ارتباط مستقیم فاکتور مورد نظر در آلودگی HDI در محیط کار و بر روی شاغل است، به این معنی که هرچه فرد از نظر وزن سنگین‌تر باشد (۶۹.۵ <) در معرض خطر بیشتری در خصوص تماس با HDI در محیط کار در مقایسه با افراد سبک وزن‌تر دارد. همچنین افرادی که دارای هر یک علائم بیماری شغلی ناشی از ایزوسیانات باشند در مقایسه با افراد عادی بدون علائم بیماری در معرض خطر بیشتری از نظر تماس شغلی هستند.

نتایج تست ANOVA یک‌طرفه برای ارزیابی ریسک فاکتورهای ایزوسیانات‌ها نشان داده که ارزیابی بهداشتی فاکتورها در مطالعه حاضر معنی دار است ($P<0.001$). همچنین مدل رگرسیونی بیانگر آن است که هرچه فاکتورهای بهداشتی معنی دار سیر صعودی داشته یا دارای ریسک بالاتری باشد میزان تماس با آلاینده در سطح معنی داری افزایش می‌یابد.

۵- نتیجه گیری

بررسی آلاینده HDI در کارخانجات پلی اورتان نشان داده که کلیه پنج کارخانه تعیین شده برای نمونه برداری هوا، از آلودگی بالائی برخوردار بوده و بررسی نتایج حاصل از ارزیابی بیولوژیکی نمونه HDA در ادرار شاغلین مبین آلوده شدن شاغلین با این نوع آلاینده می‌باشد به عبارتی دیگر میزان تماس شغلی بالائی در نمونه‌های این قبیل افراد دیده شده است. ریسک فاکتورهای مورد ارزیابی در پرسشنامه‌های ارزیابی بهداشتی شاغلین وجود دو فاکتور موثر در افزایش ریسک تماس شغلی را تایید کرده است (وزن شاغل و علائم بیماری‌های شغلی مربوط به ایزوسیانات) و افرادی که دارای وزنی بیش از ۶۹/۵ کیلوگرم باشند و یا دارای هر یک از علائم بیماری‌های شغلی مرتبط با آلاینده ایزوسیانات بوده ریسک

تماس شغلی بالائی دارند. پر واضح است که در صورت به کار گماردن افراد دارای وزن بیش از ۷۰ کیلو و مبتلا به یکی از علائم بیماری‌های شغلی ایزوسیانات‌ها در نزدیکی منبع آلودگی ایزوسیانات یا در مناطق کاری آلوده به این نوع ماده وضعیت سلامتی این شاغل به خطر افتاده و به دنبال آن علائم بیشتری از بیماری و عوارض آن ظهور خواهد کرد. ارزیابی ریسک فاکتورهای تماس شغلی با ایزوسیانات طبق روش مورد استفاده در این تحقیق و معادله رگرسیونی به دست آمده در این مطالعه به عنوان یک معادله کاربردی در شناسائی ریسک تماس شغلی و ابتلا به بیماری‌های شغلی مرتبط با ایزوسیانات قابل استفاده بوده و کمک موثری به قضاوت صحیح‌تر در خصوص ارزیابی و تعیین آلودگی هوا در صنایع پلی اورتان و تصمیم گیری در خصوص راهکارهای اجرائی و موثر در جهت پیشگیری از بیماری‌های شغلی، کاهش آلودگی در محیط کار و انتخاب افراد مناسب برای کار در محیط‌های آلوده با HDI خواهد نمود (۲۳و ۲۲).

به عنوان پیشنهاد برای تقلیل مشکلات بهداشتی در صنایع پلی اورتان، می‌توان برنامه‌های خاصی برای پیشگیری از بروز بیماری‌های شغلی (Work related Disease) طرح ریزی نمود، یکی از این برنامه‌های موثر طراحی و تعبیه سیستم تهویه صنعتی مناسب و مفید می‌باشد، البته پایش این نوع سیستم‌ها از درجه اهمیت بالائی برخوردار است و انجام معاینات دوره‌ای به منظور شاغلین در معرض تماس با آلاینده جهت انتخاب افراد مناسب این نوع شغل و جستجوی علائم بیماری به عنوان یکی از اقدامات غربالگری برای شناسائی افرادی که توسط ایزوسیانات‌ها دچار ضایعه شده‌اند یا علائمی از ابتلا دارند کمک شایانی به درمان و اقدامات پیشگیری دیگر خواهد نمود (۲۵و ۲۴).

منابع

1. D. Bello, R.P. Streicher, S.R. Woskie, "Evaluation of the NIOSH draft method 5525 for determination of the total reactive isocyanate group (Trig) for Aliphatic Isocyanates in auto body repair shops". J. Environ Med (2002) 4:351–360.
2. A. Jaecker-Voirol, P. Pelt, September. PM10 emission inventory in Ile de France for transport and industrial sources: PM10 re-suspension, a key factor for air quality. Environmental Modelling & Software 15 (6e7), (2000) 575e580.
3. R.J. Key-Schwartz, 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, National Institute for Occupational Safety and Health. (1994)
4. 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, DHHS (NIOSH) Publication (1994) 94–113.
5. H. Roemmelt, G. Fruhmann, Respiratory and other hazards of isocyanates. International Archives of Occupational and Environmental Health, 66, (1994) 141-152.
6. O. Vandenplas, A. Cartier, J. Lesage, G. Perrault, L.C. Grammar, J.L. Malo, Occupational asthma caused by a prepolymer but not the monomer of toluene diisocyanate (TDI). J Allergy Clin Immunol, 89, (1992) 1183–1188.
7. H. Tinnerberg, Carl Johan Sennbro. Assessment of exposure to aromatic diisocyanates air or biological monitoring. IOHA 2005 Pilanesberg: Paper G1-4
8. Wu WS, Stoyanoff RE, Szklar RS, Gaind 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.
9. Williams NR, Jones K, Cocker J. Biological monitoring to assess exposures from use of isocyanates in motor vehicle repair. Occup Environ Med 1999 56:598-601.
10. Vandenplas O, Cartier A, Lesage J, Cloutier Y, Perrault G, Grammar LC, Shaughnessy MA, Malo JL. (1992) Prepolymers of hexamethylene diisocyanate as a cause of occupational asthma. Journal of Allergy and Clinical Immunology 91: 850-861.
11. Tarlo SM, Banks D, Liss G, Broder I. (1997) Outcome determinants for isocyanate induced occupational asthma among compensation claimants. Occup Environ Med; 54:756-61.
12. S.R.Woskie, J. Sparer, R. J. Gore, M. Stowe, D. Bello, Y. Liu, F. Youngs, C. Redilich, E. Eisen and Cullen. (2004) Determinants of

Isocyanate Exposures in Auto Body Repair and Refinishing Shops. Ann. occup. Hyg., Vol. 48, No. 5, pp. 393-403.
13. Skarping G, Dalene M, Brunmark P. (1995) Liquid chromatography and mass spectrometry determination of aromatic amines in hydrolysed urine from workers exposed to thermal degradation products of polyurethane. Chromatogr 39. No 9/10:619–623
14. G. Skarping, , T. Brorson, C. Sango, Biological monitoring of isocyanates and related amines. III. Test chamber exposure of humans to toluene diisocyanate, Int. Arch. Occup. Environ. Health 63, (1991) 83–88.
15. Randolph BW, Lalloo UG, Gouws, Colvin MS. (1997) An evaluation of the respiratory health status of automotive spray-painters exposed to paints containing hexamethylene diisocyanates in the greater Durban area. S Afr Med J; 87:318-23
16. Bobeldijk I, Karlsson D, Pronk A et al. (2005) LC-MS/MS determination of airborne isocyanates in car repair shops and industrial spray painters. J Environ Monit (in preparation) Carlton GN, England EC. (2000) Exposures to 1,6– hexamethylene diisocyanate during polyurethane spray painting in the U.S. Air Force. Appl Occup Environ Hyg; 15: 705–12.
17. Di Stefano F, Verna N, Di Giampaolo L et al. (2004) Occupational asthma due to low molecular weight agents. Int J Immunopathol Pharmacol; 17(Suppl. 2): 77–82.
18. Henriks-Eckerman ML, Valimaa J, Rosenberg C et al. (2002) Exposure to airborne isocyanates and other thermal degradation products at polyurethane-processing workplaces. J Environ Monit; 4: 717–21.
19. K. Jakobsson, K. Kronholm-Diab, L. Rylander et al. (1997) Airway symptoms and lung function in pipelayers exposed to thermal degradation products from MDI-based polyurethane. Occup Environ Med; 54: 873–9.
20. J.Pauluhn, Pulmonary irritant potency of polyisocyanate aerosols in rats: comparative assessment of irritant threshold concentrations by bronchoalveolar lavage. J Appl Toxicol; 24, (2004) 231–47.
21. J. Pauluhn, Eidmann P, Mohr U. (2002) Respiratory hypersensitivity in guinea pigs sensitized to 1,6-hexamethylene diisocyanate (HDI): comparison of results obtained with the monomer and homopolymers of HDI. Toxicology; 171: 147–60.
22. D.L. Pisaniello, L. Muriale, The use of isocyanate paints in auto refinishing—a survey of isocyanate exposures and related work practices in South Australia. Ann Occup Hyg, 33, (1989) 563–72.
23. S.M. Rappaport Assessment of long-term exposures to toxic substances in air. Ann Occup Hyg; 35, (1991) 61–121.
24. Redlich CA, Karol MH. (2002) Diisocyanate asthma: clinical aspects and immunopathogenesis. Int Immunopharmacol; 2: 213–24.
25. C. Rosenberg, Tuomi T. (1984) Airborne isocyanates in polyurethane spray painting: determination and respirator efficiency. Am Ind Hyg Assoc J; 45: 117–21.