

طراحی سیستم تهویه صنعتی در صنعت رنگ و ارزیابی اثربخشی آن در کنترل ریسک های بهداشتی

علی کریمی^{۱*}

alika@sums.ac.ir

۱) استادیار گروه بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی شیراز

چکیده:

کارگران بالاتر از حد آستانه مواجهه آن (۴/۵) قسمت در میلیونیم) اندازه گیری شد. با استفاده از نتایج مطالعات اپیدمیولوژیک ارائه شده توسط ISIR (سیستم بین المللی یکپارچه ریسک) مشخص گردید بکارگیری سیستم های تهویه صنعتی باعث کاهش ریسک نسبی (RR) سرطان خون ناشی از بنزن از ۶۶/۴ مورد به ۳/۲ مورد در طول یک عمر کاری در این کارخانه گردیده است.

نتیجه گیری: در نهایت نتیجه گیری شد که ناخالصی موجود در حلالها از جمله بنزن بایستی به عنوان یک مشکل جدی در نظر گرفته شود زیرا ممکن است با اعمال استانداردهای تهویه توصیه شده ACGIH در رابطه با فرآیند های تولید رنگ، کنترل آنها بطور کامل ممکن نگردد. واژگان کلیدی: تهویه مکشی، مواجهه شغلی، ارزیابی ریسک، استاندارد تهویه (VS).

که استانداردهای تهویه ارائه شده از طرف ACGIH در کنترل بخارات تولوئن و زایلن تا زیر حد آستانه تماس TLV موفقیت آمیز بوده اند. همچنین مشخص گردید که علی رغم اینکه بنزن به عنوان ماده اولیه در تولید رنگ گزارش نگردیده بود، غلظت آن در ناحیه تنفسی کارگران بالاتر از حد آستانه مواجهه آن اندازه گیری شد. کلمات کلیدی: تهویه مکشی، مواجهه شغلی، ارزیابی ریسک، استاندارد تهویه (VS).

زمینه و هدف: هدف از این مطالعه تعیین قابلیت اجرای استانداردهای رایج تهویه صنعتی به منظور کنترل آلاینده های محیط های داخل ناشی از کاربرد حلالها در صنعت تولید رنگ، برجسته نمودن چالش های موجود در رابطه با مقادیر حدود آستانه مجاز و نهایی تا تعیین ریسک باقیمانده پس از اعمال اقدامات کنترلی فنی- مهندسی می باشد.

روش کار: در این مطالعه چندین سیستم تهویه با استفاده از توصیه های ارائه شده توسط ACGIH در یک کارخانه تولید رنگ طراحی و اجرا گردید. به منظور تعیین نقش سیستم تهویه، مواجهه فردی کارگران با حلالهای مصرفی در این کارخانه مورد ارزیابی قرار گرفت. غلظت تولوئن و زایلن (به عنوان حلالهای اصلی مورد استفاده در فرآیند تولید رنگ) قبل و بعد از راه اندازی سیستم تهویه پایش گردید. جمع آوری نمونه های فردی طولانی مدت و آنالیز آنها براساس روش OSHA No.12 انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد که استانداردهای تهویه ارائه شده از طرف ACGIH در کنترل بخارات تولوئن و زایلن تا زیر حد آستانه تماس TLV موفقیت آمیز بوده اند (به ترتیب ۴۴/۴۹ و ۹۷/۷۳ قسمت در میلیونیم). همچنین مشخص گردید که علی رغم اینکه بنزن به عنوان ماده اولیه در تولید رنگ گزارش نگردیده بود، غلظت آن در ناحیه تنفسی

۱ مقدمه

حلالها اصلی ترین بخش از ساختار رنگ می باشند. هدف اصلی از کاربرد آنها در ساختمان رنگ، رقیق کردن رنگ به منظور دست یابی به ساختار یکنواخت و چسبندگی مطلوب به منظور تولید و کاربرد آن می باشد. پس از کاربرد رنگ، حلالها تبخیر شده و لایه خشک رنگ بر روی سطح رنگ شده، باقی می ماند. در تاسیسات تولید رنگ و جوهر، بخارت ناشی از حلالها در تمامی فرآیند تولید منتشر می گردند. در صورتی که فرآیند بدون کنترل رها شود، غلظت بالایی از حلالهای آلی در محیط کار ایجاد می شود که سلامت و ایمنی کارکنان را به خطر می اندازد. رها شدن حلالهای آلی فرار (VOCs) به اتمسفر جو زمین باعث افزایش غلظت ازن

حلالهای آلی به طور گسترده ای در فرآیندهای صنعتی بکار می روند (Ridgwaya 2003). عوارض اصلی آنها شامل آسیب به سیستم اعصاب مرکزی (اعصاب مرکزی و محیطی)، تخریب کلیه و کبد، اثرات مخرب تولید مثلی چون تغییرات اسپرم و ناباروری، ضایعات پوستی و سرطان می باشند (NIOSH 1977). این مواد در مواجهه های حاد باعث مرگ ناشی از سرکوب مرکز کنترل تنفس و ضربان قلب در مغز می گردند. بعضی از حلالها دارای ویژگی های خاصی می باشند که نیاز به اقدامات کنترلی بیشتری دارند.

در این سالن بود. به دلیل موانع و مشکلات فنی، ناحیه بندی سالن تولید امکان پذیر نبود. درپوش مخازن رنگ که بر روی ظرفیت تهویه مورد نیاز تاثیر دارد در تمامی شرایط قابل استفاده نبودند. در نتیجه انتظار می رفت که کارگران در معرض غلظت بالایی از بخارات ناشی از حلالها قرار بگیرند. در این میان استفاده از وسایل حفاظت فردی نیز به دلایلی چون عدم اطمینان از اثربخشی مطلوب و عدم وجود تضمین در کاربرد آنها با محدودیتهای خاصی روبرو بود.

در شرایطی که مخازن مخلوط رنگ مجهز به درپوش باشد انجمن مهندسی بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH) تهویه ترقیقی را در سالن های تولید رنگ توصیه می کند. براساس استاندارد تهویه VS-75-30، ACGIH، پیشنهاد می کند که هوای آلوده از کناره های سالن تخلیه شود (در مجاورت مخازن مخلوط کردن رنگ) و هوای تازه از بالا در قسمت مرکزی سالن تامین شود. براساس این استاندارد تهویه، فشار هوا بایستی در سالن مخلوط کردن رنگ، اندکی منفی باشد. به همین منظور جریان هوای تخلیه شده بایستی به میزان ۵٪ بیشتر از جریان هوای تامین شده باشد ($Q_{exh} = 1.05 Q_{supply}$). براساس این استاندارد، پیشنهاد می گردد میزان جریان هوای تخلیه شده و تامین شده به گونه ای طراحی شود که تعداد تعویض هوا بین ۱۰ تا ۱۲ مرتبه در ساعت باشد. در شرایطی که مخازن رنگ بدون درپوش باشند، ACGIH پیشنهاد خاصی را ارائه نکرده است اما استاندارد تهویه ACGIH 1995 (VS-70-20) از این انجمن، که در رابطه با مخازن چربی زدائی حلال می باشد شباهت زیادی با مخازن مخلوط کردن رنگ بدون درپوش دارد.

انجمن مهندسی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا (ASHREA) و سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA) بر محصور کردن تجهیزات فرآیند تولید رنگ تاکید دارند. براساس این دو مرجع، تهویه مکشی موضعی به همراه سیستم های تهویه ترقیقی به بهترین نحو در زمینه کنترل آلاینده های حاصل از فرآیند های تولید رنگ عمل خواهند نمود. به منظور پیشگیری از خطر حریق و انفجار ناشی از بخارات مایعات قابل اشتعال، معمولاً غلظت این مایعات بایستی پایین تر از ۲۵٪ حد پایین اشتعال آنها نگه داشته شود (اعمال فاکتور ایمنی ۴) (ACGIH 1995). این مطلب اخیر، توصیه های آژانس ملی حفاظت در برابر حریق آمریکا (NFPA) و ACGIH را در زمینه پیشگیری

و آلاینده های فتوشیمیایی می گردد که در نهایت باعث ایجاد اثرات مخربی بر روی سلامت عمومی ساکنان زمین می گردد (Williams 2007).

اغلب ۴۵ درصد رنگها را رنگهای با پایه ضعیف حلال و ۴۵ درصد از آنها را رنگهای با پایه بالای حلال و ۱۰ درصد باقیمانده را نیز تینرها تشکیل می دهند. عوامل اصلی که بر روی انتشار آلاینده ها از فرآیندهای تولید رنگ تاثیر می گذارند شامل نوع حلال بکار رفته در رنگ و دمای فرآیند مخلوط سازی می باشند. تقریباً ۱ تا ۳ درصد از حلالها حتی در شرایط کنترل مناسب، از دست می رود (McMinn 1992). نرخ انتشار برای فرآیند های کنترل نشده تولید رنگ، ۱۵ میلی گرم به ازاء هر یک کیلوگرم حلال بکار رفته می باشد.

اصلاح تجهیزات و فرآیند باعث بهبود عملیات و کاهش میزان انتشار حلالهای آلی می گردد. کاربرد سیستم های تهویه مجهز به هود های مناسب از نظر طراحی و وسایل تمیز کننده هوا، منجر به حذف حلالهای آلی از محیط های کاری می گردند (McMinn 1992). گفتمی است اجرای طرح های سیستم های مکشی به منظور حصول نتایج مطلوب، در کنترل حلالها ضروری به نظر می رسد.

اهداف این مطالعه به شرح زیر می باشند:

- الف) تعیین قابلیت اجرای استانداردهای رایج تهویه صنعتی به منظور کنترل آلاینده های محیط های داخل ناشی از کاربرد حلالها در یک صنعت تولید رنگ
- ب) برجسته نمودن چالش های موجود در رابطه با مقادیر حدود آستانه مجاز تماس
- ج) تعیین ریسک باقیمانده پس از اعمال اقدامات کنترلی فنی- مهندسی

۲ روشها و وسایل

الف: طراحی و تست سیستم های تهویه صنعتی

فرآیند تولید رنگ در کارخانه مورد بررسی از مراحلی چون مخلوط کردن، آسیاب کردن و بسته بندی نمودن تشکیل می گردد. در این کارخانه انواع مختلفی از مخلوط کن ها و آسیاب ها استفاده می گردد. تمامی تجهیزات در یک سوله قرار گرفته اند. شکل شماره ۱ جانمایی تجهیزات را در سالن تولید نمایش می دهد. در غیاب سیستم های تهویه اجباری، تهویه طبیعی تنها مکانیزم رقیق سازی آلاینده های هوا

تولون و زایلین رایجترین حلالهای آلی در کارخانه تولید رنگ تحت این مطالعه می باشند. در نتیجه، بخارات این دو ماده قبل و بعد از راه اندازی سیستم های تهویه صنعتی مورد اندازه گیری و پایش قرار گرفت. برای این منظور بدون راه اندازی سیستم تهویه صنعتی، ۳۲ نمونه فردی از منطقه تنفسی کارگران با استفاده از روش شماره ۱۲ وزارت ایمنی و بهداشت آمریکا (OSHA) جمع آوری گردید. به طور مشابه تعداد ۱۹ نمونه نیز پس از راه اندازی سیستم تهویه صنعتی جمع آوری گردید. درحین نمونه برداری برخی از نمونه ها فاقد اعتبار تشخیص داده شده و کنار گذاشته شدند به همین دلیل تعداد نمونه ها در مرحله دوم کمتر گردید.

تمامی نمونه ها با استفاده از لوله های جاذب حاوی ذغال فعال (ذغال فعال پوست نارگیل با مش ۲۰/۴۰ ، به مقدار ۵۰/۱۰۰ میلی گرم، ساخت شرکت SKC ایالات متحده آمریکا) که قسمت جلو لوله نمونه بردار حاوی ۱۰۰ میلی گرم و قسمت دوم حاوی ۵۰ میلی گرم ماده جاذب بودند) براساس روش (OSHA No. 12, (Elskamp 1979, 1980).

به منظور نمونه برداری از هوا پمپ مدل 224-44EX با دبی ۵۰ میلی لیتر در دقیقه بکار گرفته شد. تمامی پمپ ها قبل از کاربرد با استفاده از یک روماتر کالیبره شده، کالیبره گردیدند. به دلیل تغییرات دما و فشار از مقدار استاندارد آن یعنی ۷۶۰ میلی متر جیوه و ۲۵ درجه سانتیگراد، حجم هوای نمونه برداری شده از نظر دانسیته تصحیح گردید.

وقوع نشت (Breakthrough) در نمونه ها برای دوره نمونه برداری چهارساعته و دبی ۵۰ میلی لیتر در دقیقه مورد بررسی قرار گرفت و نمونه هایی که بیش از ۱۰ درصد از آلاینده را در قسمت خلفی لوله ذغال فعال در خود داشتند از دایره نمونه برداری و مطالعه کنار گذاشته شدند.

دی سولفید کربن به منظور استخراج نمونه ها به کار گرفته شد. هر دو قسمت نمونه ها (قسمت جلویی و قسمت خلفی لوله نمونه بردار ذغال فعال) به طور جداگانه ای در ویال های شیشه ای با دی سولفید کربن پس از گذشت ۳۰ دقیقه استخراج گردیده و با دستگاه گازکروماتوگرافی آنالیز شدند. تقریباً ۶۳ لوله نمونه بردار ذغال فعال در این مطالعه مورد آنالیز قرار گرفت که از این تعداد ۹ مورد به عنوان شاهد در نظر گرفته شد (یک شاهد برای هر روز در هر بسته از لوله ها). در این مطالعه کیومن (C₉H₁₂) به عنوان استاندارد

از حریق حلالهای آلی در سالن های تولید رنگ، جامه عمل می پوشاند.

در این مطالعه توصیه های ارائه شده توسط چندین موسسه معتبر جهانی مد نظر قرار گرفت. از آنجا که اغلب توصیه های ارائه شده مشابه یکدیگر بودند، پیشنهادات ACGIH ملاک اصلی قرار گرفت. برای نیل به این هدف ترکیبی از تهویه مکشی موضعی ارائه شده در VS-70-20 و تهویه ترقیقی ارائه شده در VS-75-30 که هر دو از طرف ACGIH پیشنهاد شده است اجرا گردید (ACGIH 1995). مقدار تخلیه هوا به میزان ۲۰ درصد بیش از مقدار توصیه شده طراحی گردید. آنچنانکه در قبل هم ذکر گردید، ۱۰ تا ۱۲ مرتبه تعویض هوا در ساعت (براساس VS-75-20) و ۵۰ فوت مکعب بر فوت مربع از سطح مخزن باز (براساس VS-70-20) به عنوان معیار اصلی طراحی در نظر گرفته شد.

براساس کتابچه استاندارد تهویه صنعتی ACGIH تعداد هفت سیستم تهویه موضعی طراحی و اجرا گردید. تمامی متغیرهای در صفحه محاسباتی ویژه ACGIH در برنامه میکروسافت اکسل، به منظور طراحی جزئیات سیستم ها، فرموله گردید. روش فشار سرعت به منظور محاسبه فشارهای سه گانه کل هر سیستم بکار گرفته شد. روش « تعادل با طراحی» به منظور بالانس کردن فشار استاتیک در هر سیستم استفاده گردید، اما در برخی شرایط بحرانی خاص، تعدادی دریچه هوا (دمپر) نیز استفاده گردید (ACGIH 1995). هوای جایگزین کلی و هوای تخلیه شده نهایی براساس ۱۰ تا ۱۲ بار تعویض هوا در ساعت طبق VS-75-30 ، ACGIH طراحی گردید. کانال کشی سیستم های مذکور از جنس ورق گالوانیزه با ضخامت های متفاوت برای کانال ها، زانویی ها و هودها ساخته شدند. در سیستم تهویه فرآیندهای مخلوط سازی رنگ پودری، غبارگیرهای پارچه ای با راندمان ۹۸٪ بکار گرفته شد. هواکش های سیستم ها براساس نتایج طراحی ها انتخاب گردیدند. شکل ۲ نمای سه بعدی یکی از سیستم های تهویه (آسی ابها) را که در فرآیندهای مختلف، طراحی و اجرا شده اند نشان می دهد.

ب: نمونه برداری فردی و روشهای آنالیز

جبران می شود در نتیجه هدف از پروژه که کنترل مواجهه کارگران با آلاینده های محیط کار است تامین می شود. کروماتوگرام های بدست آمده در نتیجه آنالیز نمونه های فردی هوا وجود بنزن، تولوئن، پارا - متا زایلین و ارتوزایلین را نشان داد. جدول ۱ غلظت آلاینده های کشف شده در نمونه ها قبل و بعد از نصب سیستم های تهویه صنعتی را نشان می دهد. در این جدول غلظت پارا و متا زایلین بصورت یک مقدار واحد گزارش گردیده است زیرا پیک آنالیز آنها در دستگاه GC بکارگرفته شده در این مطالعه به طور همزمان بیرون می آمد. اما از آنجا که در این مطالعه هدف، تعیین غلظت کلی زایلین است همپوشانی پیکها در مورد این دو ایزومر زایلین، اشکالی در نتایج بررسی ایجاد نخواهد کرد.

میانگین غلظت های بنزن، تولوئن و زایلین کلی، قبل از اعمال کنترل های مهندسی به ترتیب ۳۱/۹۸، ۱۰۵/۸۲ و ۱۴۵/۱۶ قسمت در میلیونوم اندازه گیری شد. نتایج اندازه گیری ها نشان داد که این مقادیر غلظت ها پس از اعمال کنترل های مهندسی به ترتیب به ۴/۵، ۴۴/۵ و ۹۷/۷۳ قسمت در میلیونوم برای آلاینده های نامبرده کاهش یافته است. نتایج آزمون Independent T-Test قبل و بعد از فعال سازی سیستم تهویه صنعتی در مورد بنزن، تولوئن و زایلین ها انجام گرفت. نتایج این آزمون (جدول ۱) نشان داد که کاهش مقادیر نامبرده از نظر آماری معنی دار می باشند ($P < 0.001$).

غلظت آلاینده های اندازه گیری شده با حدود آستانه تماس (TLV) ارائه شده توسط ACGIH مقایسه گردید. این نتایج نشان می دهند که سیستم های تهویه مذکور توانستند آلاینده های اصلی از جمله تولوئن و زایلین را کنترل کننده اما در مورد بنزن این نتیجه بدست نیامده است.

وجود بنزن در حلالهایی که در کارخانجات تولید رنگ استفاده می شوند و بطور اسمی عاری از بنزن می باشند را می توان به عنوان یک علامت هشدار قلمداد کرد. بنزن معمولا به عنوان ناخالصی در رنگ، تینر یا حلال تا اوایل دهه ۱۹۹۰ در مقادیر کمتر از ۱٪ دیده می شد (Kang 2005). Bang و همکاران در سال ۱۹۹۶ گزارش کردند که سطح غلظت بنزن محیطی در تینرها و محیط های کاری مرتبط با چاپ به ترتیب ۰/۳۱ قسمت در میلیونوم (۰/۲ تا ۰/۲۶) و ۰/۲۵ قسمت در میلیونوم (۰/۲ تا ۳/۹۵) بوده است

داخلی (IS) بکارگرفته شد تا به کمک آن خطاهای ناشی از مرحله آماده سازی نمونه حذف گردد. برای این منظور مقدار ۰/۲ میکرولیتر از کیومن در مرحله آماده سازی نمونه به تمام نمونه ها اضافه گردید. تمامی مراحل کروماتوگرافی بوسیله دستگاه گازکروماتوگراف مدل SHIMATZU 175A به همراه دتکتور یونی شعله ای انجام گرفت. گرماتوگرام های حاصله با استفاده از نرم افزار GC Real Time ثبت و ذخیره گردید. به منظور تعیین مقدار نمونه ها منحنی های استاندارد برای تک تک آلاینده ای مورد مطالعه رسم گردید.

عملکرد سیستم های تهویه مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور دبی جریان (Q)، فشار کل (TP)، فشار استاتیک (SP)، فشار سرعت (VP) در قسمت های مختلف هر سیستم تهویه براساس دستورالعمل های ACGIH و BS (استاندارد بریتانیا) اندازه گیری شد. به منظور اندازه گیری پارامترهای آئرودینامیک هوا، لوله پیتوت، مانومتر، آنومتر ساخته شرکت Air Flow Company (UK) استفاده گردید. دانسیته هوا از نظر فشار بارومتريک جو و دما تصحیح گردید. تمامی تجهیزات اندازه گیری توسط نمایندگی محلی شرکت سازنده قبل از انجام مطالعه کالیبره گردیدند.

در شکل ۳ دبی جریان طراحی شده و دبی جریان واقعی اندازه گیری شده با یکدیگر مقایسه شده اند. این شکل نشان می دهد که سیستم های نصب شده، مقادیر طراحی شده را به طور کامل نشان نمی دهند. در حقیقت پارامتر های طراحی به طور کامل براساس جزئیات طراحی سیستم ها در عمل پیاده نشده اند. این نتایج نشان می دهد که ۶۰ تا ۷۰ درصد از دبی جریان طراحی شده در عمل، در این پروژه حصول گردید. متاسفانه در ایران تولید کنندگان هواکش ها در اکثر موارد، هواکش درخواست شده از سوی مشتری را به طور دقیق تحویل نمی دهند. اما تفاوت بین دبی جریان طراحی شده و جریان هوای اندازه گیری شده ممکن است ناشی از این قضیه بوده یا سایر عوامل از جمله خطا در اندازه گیری ها و نشت احتمالی هوا از برخی سیستم های کانال کشی در این امر دخیل باشند. از آنجا که در مرحله طراحی به مقدار ۲۰ درصد مازاد مقدار طراحی در نظر گرفته شده است، تفاوت بین پارامترهای طراحی و مقادیر واقعی بدست آمده در اندازه گیری های سیستم ها، تا حدودی

یکی شرایط ایده آل است که با استفاده از استانداردهای فعلی ACGIH مقدر نمی باشد. در واقع بنزن به هیچ عنوان تحت ماده خام اولیه یا ماده افزودنی در این کارخانه بکار گرفته نمی شود اما ممکن است این ماده در حین فرآیندهای پالایش، از دستگاهها نشت کرده و وارد ساینده محصولات شده باشد. در نتیجه استانداردهای طراحی تهویه که از طرف ACGIH پیشنهاد شده است زمانی موثر واقع می شوند که ساینده اصول از جمله خاص بودن ساینده حلالها و عدم آلودگی آنها به مواد خطرناکی چون بنزن رعایت گردیده باشد.

در حال حاضر روشهای ارزیابی ریسک سرطانزایی ناشی از تولوئن با کمبود اطلاعات و داده مواجهه شده است. مطالعات انسانی که در آن مواجهه های مزمن با تولوئن رخ داده است نتایج قطعی نشان نداده اند. مواجهه با این ماده در موش ها و رت ها از طریق استنشاقی در سراسر عمر حیوانات آزمایشگاهی، سرطان را به دنبال نداشته است. در مطالعه ای گزارش شده است که مواجهه با دوز ۵۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم در روز (mg/kg-day) در پستانداران از مسرر خوراکی، باعث افزایش شیوع لوسمی در پستانداران شده است این در حالی است که در مواجهه با دوز ۸۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم در روز (mg/kg-day) این نتیجه گزارش نشده است. در آزمایشات کوتاه مدت مشخص شده است که تولوئن به طور کلی فاقد سمیت ژنتیکی می باشد. برخی از مطالعات سمیت تولوئن را پس از مواجهه انسان با این ماده مورد بررسی قرار داده اند. داده های موجود نشان دادند که اثرات عصبی، عمده ترین اثر ناشی از مواجهه استنشاقی مزمن با این ماده می باشد. یکی مجموعه از مطالعات به منظور تعیین نقطه ظهور اختلافات یا به عبارتی نقطه مرجع یا Reference Concentration (RfC) انتخاب شده اند. غلظت ۳۴/۲ قسمت در میلی و نیوم (۱۲۸ mg/m³) به عنوان نقطه مرجع تعیین گردیده است. این مقدار در واقع میانی جبری مقادیری می باشد که اثر مخرب قابل مشاهده^۱ (LOAEL) برای آنها گزارش نشده است. عدد مذکور کمتر از عدد مربوط به سطحی که در مواجهه های انسانی کمترین اثرات مخرب مشاهده شده

(Bang 1996). مقدار بنزن به عنوان ناخالصی در تینرها از سال ۱۹۸۰ رو به کاهش گذاشت. Paik و همکاران در سال ۱۹۹۸، تعداد ۱۰۸ تینر مختلف را آنالیز کردند. اغلب این تینرها عاری از بنزن بودند اما هشت مورد از آنها هنوز حاوی بنزن به عنوان ناخالصی بودند (Paik 1998). Lee و همکاران در سال ۲۰۰۲ تعداد ۷۰ نوع تینر را که در کارخانه تولید خودرو استفاده می شد آنالیز کردند. در این مطالعه مشخص شد که هفت نوع از این تینرها حاوی بنزن بودند اما مقادیر بنزن آنها کمتر از ۱٪ گزارش گردید (Lee 2003).

کاربرد های اولیه بنزن به عنوان حلال در محیط های کنترل نشده و مواجهه افراد با غلظت های بالا از این ماده نشان داد که این ماده به طور بالقوه باعث آسیب به مغز استخوان می گردد. اما این موضوع تا قبل از سال ۱۹۷۰ و انجام مطالعات اپیدمیولوژیک در ایالات متحده و کشف موارد اضافی لوسمی به طور حاد و مزمن محرز نگردید. این نتایج نقطه شروع بسیاری از مطالعات اپیدمیولوژیک در تحقیقات آینده نگر گردید و در نهایت باعث توسعه روشهای ارزیابی ریسک کمی گردید (Kang 2005).

بر اساس مطالعات انجام شده توسط Rinsky و همکاران بر روی ۱۱۶۵ مرد سفید پوست که در دیپارتمان لاستیک هیدروکلرید از سال ۱۹۶۵ تا ۱۹۸۱ حداقل یک روز مواجهه داشتند، افزایش ریسک نسبی (RR) لوسمی در آنها به ازاء مواجهه جمعی با بنزن مشاهده گردید (جدول ۲) (Rinsky et al. 1987).

با در نظر گرفتن ۳۰ سال به عنوان عمر کاری برای هر کارگر، مواجهه جمعی به بنزن قبل و بعد از استفاده از سیستم های تهویه در این مطالعه به ترتیب معادل ۹۵۹/۴ و ۱۳۵ ppm-year (قسمت در میلی و نیوم-سال) محاسبه می گردد. با استفاده از نتایج مطالعات Rinsky و با مقایسه مواجهه جمعی کارگران قبل و بعد از استفاده از سیستم های تهویه، ریسک نسبی (RR) لوسمی ناشی از مواجهه بنزن در این کارخانه از ۶۶/۴ به ۳/۲ مورد در طول یک عمر شغلی کاهش یافته است. در نتیجه مشاهده می شود که ریسک نسبی لوسمی ناشی از بنزن در این کارخانه به میزان قابل توجهی تقلیل یافته است که این موضوع موفقیت اقدامات کنترلی را نشان می دهد و در جای خود درخور تقدیر است. حذف کامل بنزن از محیط کار،

¹ - No Observable Adverse Effect Level

مطالعه نمی‌مزمین Korsak و همکاران بر روی رت ها، به عنوان مآخذی برای تعیین غلظت مرجع (RfC) انتخاب گردید. براساس این مطالعه غلظت ۵۰ قسمت درمی‌ونیوم به عنوان NOAEL و ۱۰۰ قسمت درمی‌ونیوم به عنوان LOAEL با هدف کاهش اثرات مخرب ناشی از زایلین بر روی اعصاب موتوری تعیین شده است. این اثرات نرولوژیکی ۲۴ ساعت بعد از اتمام دوره مواجهه با زایلین، یعنی زمانی ظاهر می‌شوند که انتظار می‌رود زایلین از بدن شروع به دفع شدن نماید. سایر مطالعات نمی‌مزمین، نتایج مذکور را درخصوص ایجاد تغییرات نرولوژیکی چون کاهش عملکرد سیستم اعصاب موتوری، کاهش خودبخودی فعالیت سیستم موتوری و کاهش قدرت یادگیری ناشی از مواجهه با غلظت های ۱۰۰ قسمت درمی‌ونیوم زایلین تالی‌د کردند (Korsak, Wisniewska-Knypl et al. 1994; US EPA 2003).

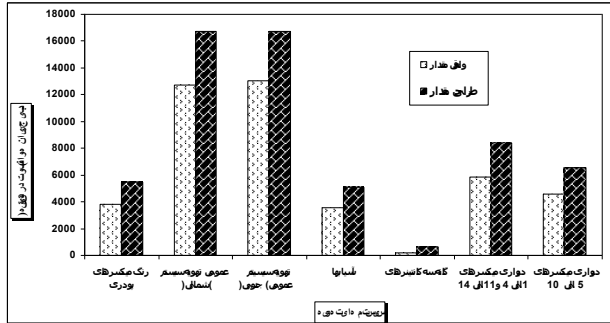
براساس توصیه های ACGIH و با در نظر گرفتن این نکته که ای‌زومرهای مختلف زایلین اثرات تجمعی بر روی انسان دارند، پس از اعمال اقدامات کنترلی فنی مهندسی در این کارخانه، مواجهه شغلی کارگران در این مطالعه کمتر از حد مواجهه تجمعی مجاز نشان داده شد.

براساس ارزیابی ریسک دز-پاسخ EPA، در کارخانه مورد مطالعه قبل از نصب سیستم های تهویه صنعتی، متوسط غلظت تولوئن و زایلین به ترتیب ۱۰۵/۸۲ و ۲۲۱/۷۶ قسمت درمی‌ونیوم تعیین گردید که از نظر اثرات زیان آور نرولوژیکی قابل تامل می‌باشند. اما بعد از طراحی و اجرای سیستم تهویه صنعتی در این کارخانه غلظت های تولوئن و زایلین به ترتیب به ۴۴/۵ و ۹۷/۷۳ قسمت درمی‌ونیوم کاهش یافت. در این سطح از غلظت، اثرات مخرب قاعدتا دور از انتظار می‌باشد زیرا مقادیر مذکور کمتر از LOAEL می‌باشند. در نتیجه می‌توان گفت که کنترل های فنی مهندسی بکار رفته در این پروژه در زمینه کنترل مواجهه استنشاقی کارگران با تولوئن و زایلین موفقیت آمیز نشان داده اند. هر چند در رابطه با مطالبی که در خصوص بنزن مطرح شد، تنها اکتفا کردن به استانداردهای سیستم های تهویه متعارف، سلامت کارگران را تضمین نخواهند نمود. در نتیجه استفاده از حلالهای که محتوای بنزن آنها به عنوان ناخالصی بسیار کمتر از مقدار

است^۱ (LOAEL) می‌باشد. قابلیت اطمینان به پایگاه داده مذکور، قابل قبول گزارش شده است. مطالعات چندجانبه مواجهه انسانی مزمین، در رابطه با اثرات نروتاکسیک تولوئن انجام شده اند. همچنین تعداد زیادی مطالعات حیوانی از دیدگاه اثرات تناسلی و تکاملی تولوئن انجام شده است که نتایج تمامی مطالعات نشانگر قابلیت اطمینان بالای غلظت مرجع یا RfC مذکور می‌باشد (U.S. EPA 2005).

براساس مطالعات انجام شده، داده های موجود به منظور ارزیابی ریسک سرطانزایی زایلین در اثر مواجهه های انسانی کافی نمی‌باشند (U.S. EPA 1999). داده های که در نتیجه انجام آزمایشات بر روی حیوانات بدست آمده است نتایج قطعی بدست نمی‌دهند. ارزشیابی های که در زمینه اثرات سمیت ژنتیکی ناشی از زایلین صورت گرفته است نتایج منفی را نشان داده اند (US. EPA 200). ارتباط بین مواجهه شغلی با زایلین و افزایش ریسک ابتلا به لوسمی و سرطان رکتوم، کولون و سیستم اعصاب مرکزی گزارش شده است (Arp 1983 ; Korsak 1994 ; Gerin 1998 ; Wilcosky 1984). هر چند برخی از محدودیت ها از جمله کوچک بودن حجم نمونه، عدم کمی شدن غلظت های مواجهه و مواجهه همزمان با سایر حلال ها مانع از استفاده مفید از این داده ها می‌گردد. زایلین در واقع مخلوطی از سه ای‌زومر پارا، ارتو و متا زایلین می‌باشد. غلظت مرجع استنشاقی که در اینجا ارائه می‌گردد نتیجه مواجهه رت ها با متا زایلین در محیط آزمایشگاه می‌باشد. هر چند تمامی نتایج حاصل از مطالعه متا زایلین به سایر ای‌زومرهای زایلین با عدم قطعیت همراه است اما متا زایلین در اغلب مخلوط های تجاری موجود از ای‌زومرهای زایلین بی‌شتری درصد را به خود اختصاص می‌دهد. بعلاوه، هر چند که در حال حاضر مطالعه ای انجام نشده است که اثرات بحرانی ناشی از ای‌زومرهای زایلین را متعاقب مواجهه های مزمین و نمی‌مزمین از طریق استنشاقی مقایسه کرده باشد، اما براساس مطالعات انجام شده بر روی رت ها پس از مواجهه های حاد، پتانسیل ای‌زومرهای زایلین در ایجاد اثرات مخرب نرولوژیکی مشابه می‌باشند (Moser 1985).

¹ - Low Observable Adverse Effect Level



شکل ۳- مقایسه دبی جری‌ان طراحی شده با دبی جری‌ان واقعی اندازه‌گیری شده برحسب فوت مکعب در دقیقه

جدول ۱ - نتایج آزمون مقایسه میانگین ها)

(Independent T-Test) قبل و بعد از اعمال اقدامات

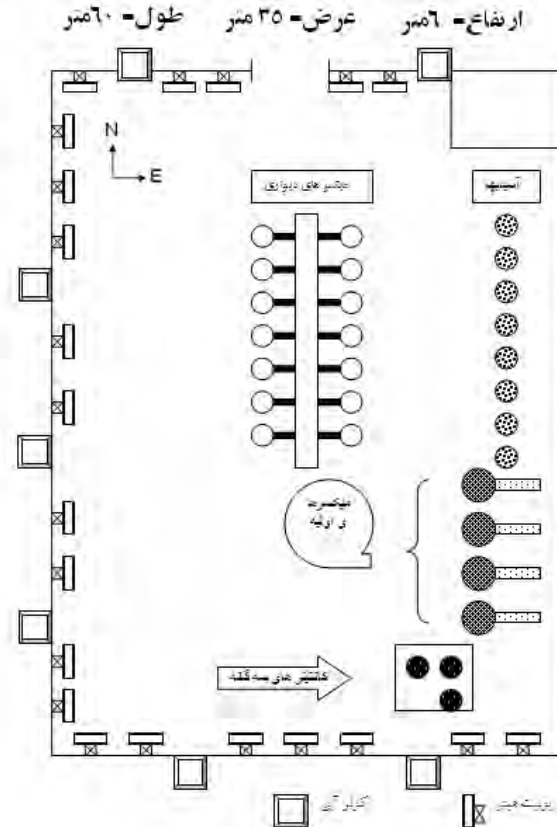
کنترلی (ppm)

اختلافات	بعد از کنترل			قبل از کنترل			تعداد نمونه
	انحراف معیار	میانگین	تعداد نمونه	انحراف معیار	میانگین	تعداد نمونه	
بنزن	۳/۶۴	۴/۵۰	۱۹	۲۶/۰۸	۳۱/۹۸	۳۲	
تولون	۲۴/۳۹	۴۴/۵۰	۱۹	۷۴/۸۸	۱۰۵/۸۲	۳۲	
پارا متازیلین و ارتوزایلین	۳۰/۵۲	۵۶/۱۶	۱۹	۳۹/۷۰	۱۴۵/۱۶	۳۲	
ارتوزایلین	۲۶/۵۶	۴۱/۵۷	۱۹	۲۸/۸۳	۷۶/۶۰	۳۲	

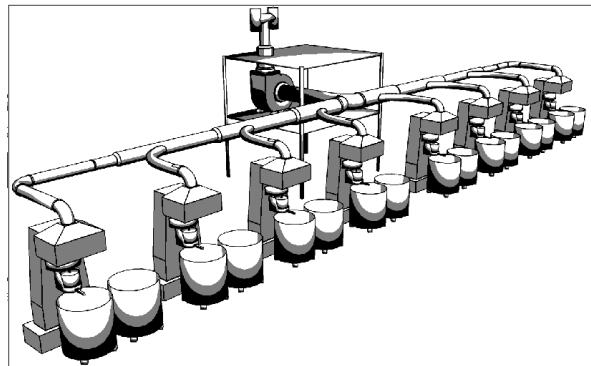
جدول ۲ - ریسک نسبی (RR) تابعی از میزان مواجهه با بنزن (Rinsky et al. 1987).

ریسک نسبی (RR)	مواجهه تجمعی (ppm-year)
۱/۱	۴۰-۰
۳/۲	۲۰۰-۴۰
۱۱/۹	۴۰۰-۲۰۰
۶۶/۴	بیش از ۴۰۰

فعلی باشد توصیه می‌گردد. در شرایط کنونی نیز استفاده از تجهیزات حفاظت فردی مناسب، اعمال برنامه‌های مراقبت بهداشتی و انجام پایش بیولوژیکی بنزن برای کارگران در معرض پیشنهاد می‌گردد (ACGIH 2005).



شکل ۱- محل فرارگری دستگاهها و تجهیزات در سالن تولید



شکل ۲- نمای سه بعدی سیستم تهویه موضعی آسیابها (هشت هود سایبانی در نزدیکی منابع تولید آلودگی)

- منابع:
- Korsak, Z., J. Wisniewska-Knypl, et al. (1994). "Toxic effects of subchronic combined exposure to n-butyl alcohol and m-xylene in rats." *Int J Occup Med Environ Health* 7(2): 155-66.
- Lee, K. S., Kwon, H.W, Han, I.S, Yu, I.J, and Lee, Y.M (2003). "A study on the reliability of material safety data sheets for paint thinner." *J. Kor. Soc Occup Environ Hyg* 13 (3) 261–272
- McMinn, B. W. a. M. P. J. (1992). Control of VOC emissions from ink and paint manufacturing processes. C. T. CENTER, Environmental Protection Agency.
- Moser, V. C., E. M. Coggeshall, et al. (1985). "Effects of xylene isomers on operant responding and motor performance in mice." *Toxicol Appl Pharmacol* 80(2): 293-8.
- NIOSH (1977). Occupational Diseases - A Guide to their Recognition. Publication No. 77-181.
- Paik, N. W., Yoon, C.S, Zoh, K.E, and Chung, H.M (1998). "A study of component of thinners using in Korea." *J. Kor. Soc. Occup Environ Hyg* 8 (1) 105–114
- Ridgwaya. P, N. T. E., and Leachb, J. P, (2003). "exposure to organic solvents and long-term nervous system damage detectable by brain imaging, neurophysiology or histopathology." *Food and Chemical Toxicology* 41: 153–187.
- Wilcosky, T. C., H. Checkoway, et al. (1984). "Cancer mortality and solvent exposures in the rubber industry." *Am Ind Hyg Assoc J* 45(12): 809-11.
- Williams, P. R., J. S. Knutsen, et al. (2007). "Airborne concentrations of benzene associated with the historical use of some formulations of liquid wrench." *J Occup Environ Hyg* 4(8): 547-61.
- ACGIH (1995). Industrial Ventilation a manual of recommended practice, ACGIH.
- ACGIH (2005). Recommended Threshold Limit Values for Work Environment. A. C. o. G. I. Hygienists: 16, 57.
- US. EPA (2003). TOXICOLOGICAL REVIEW OF XYLENES. In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). Washington, D.C.: 70 -74.
- US. EPA (2005). TOXICOLOGICAL REVIEW OF TOLUENE. In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). Washington D.C., Washington Office, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency: 86-88.
- Arp, E. W., Jr., P. H. Wolf, et al. (1983). "Lymphocytic leukemia and exposures to benzene and other solvents in the rubber industry." *J Occup Med* 25(8): 598-602.
- Bang, S. H., Kim, K.J and Yum, Y.T (1996). "Urinary S-phenylmercapturic acid as a biomarker for biological monitoring in workers exposed to benzene." *J. Kor. Soc. Occup Environ Hyg* 6 (2) 272–280
- Elskamp, C. J. (September 1979, August 1980, Revised). OSHA Sampling & Analytical Methods, Method no. 12, Organic Methods Evaluation Branch OSHA Analytical Laboratory.
- Gerin, M., J. Siemiatycki, et al. (1998). "Associations between several sites of cancer and occupational exposure to benzene, toluene, xylene, and styrene: results of a case-control study in Montreal." *Am J Ind Med* 34(2): 144-56.
- Kang, S. K., M. Y. Lee, et al. (2005). "Occupational exposure to benzene in South Korea." *Chem Biol Interact* 153-154: 65-74.