کتاب جامع

بهداشت عمومی

فصل ۵/ گفتار ٦ / دکتر منصور رضازاده آذری، مهندس میرداود سیّدی

ارزیابی ریسک مواد شیمیایی در تماس‌های شغلی

فهرست مطالب

اهداف درس ۸۵۷
مقدمه ۸۵۷
اهداف ۸۵۸
دامنه کاربرد ۸۵۸
تعاریف ۸۵۹
روش ارزیابی نیمه کمی ریسک ۸۵۹
مراحل ارزیابی ریسک ۸۶۰
مرحله ۱ ـ تشکیل گروه کاری ۸۶۲
مرحله ۲ ـ تجزیه فرآیند به وظایف کوچکتر ۸۶۲
مرحله۳ ـ شناسایی مواد شیمیایی ۸۶۳
مرحله ۴ ـ تعیین ضریب مخاطره ۸۶۳
مرحله ۵ ـ انجام بازرسی و مصاحبه ۸۶۵
مرحله ۶ ـ جمع‌آوری اطلاعات طول مدت مواجهه و تکرار آن ۸۶۶
مرحله ۷ ـ تعیین ضریب مواجهه ۸۶۶
مرحله ۸ ـ تعیین ضریب ریسک ۸۷۶
مرحله ۹ ـ اجرای اقدامات اصلاحی ۸۷۶
مرحله ۱۰ ـ مستند سازی ارزیابی ۸۷۸
مرحله ۱۱ ـ بازنگری ارزیابی ۸۷۸
پیوست ۱ ـ تخمین مواجهه پوستی با مایعات: ۸۸۳
پیوست ۲ ـ دسته بندی مواد سرطا نزا از سوی سازمان‌های مختلف ۸۸۵
پیوست ۳ ـ چک لیست بازرسی ۸۸۶
پیوست ۴ ـ حدود مجاز مواجهه با ترکیبات سمی ۸۸۸
پیوست ۵ ـ آستانه بویایی و غلظتهای محرک مواد شیمیایی ۸۸۸
پیوست ۶ ـ برنامه حفاظت سیستم تنفسی ۸۸۸
منابع ۸۸۹

ارزیابی ریسک مواد شیمیایی در تماس‌های شغلی

Risk assessment of chemicals in occupational exposures

دکتر منصور رضازاده آذری، مهندس میرداود سیّدی
دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

اهداف درس

پس از یادگیری این مبحث، فراگیرنده قادر خواهد بود:

- اهداف کلّی ارزیابی ریسک مواد شیمیایی را فهرست نماید
- روش ارزیابی نیمه‌کمّی ریسک را بیان کند
- مراحل ارزیابی ریسک را فهرست کرده، فلوچارت مربوطه را رسم نماید
- نحوه مستندسازی ارزیابی را شرح دهد
- نحوه تخمین مواجهه پوستی با مایعات را در قالب مثال، محاسبه کند
- نحوه طبقه‌بندی مواد سرطانزا را شرح دهد
- چک لیست نحوه بازرسی را تنظیم کند
- چند مثال در خصوص حدود مجاز مواجهه با ترکیبات سمّی را ارائه دهد
- ضریب ریسک را به طور مفروض، محاسبه نماید
- غلظت‌های محرّک بویایی برخی از مواد شیمیایی را بیان کند
- موضوعات کلیدی در تنظیم برنامه حفاظت سیستم تنفسی را شرح دهد

مقدمه

ارزیابی ریسک مواد شیمیایی بصورت گسترده‌ای در کشورهای مختلف به منظور توجیه اقدامات کنترلی برای جوامع انسانی بویژه کارگران، بصورت یک اقدام معمول بکار برده میشود. این بخش که تاریخ مرجع اصلی آن نزدیک به دو دهه است هنوز یکی از روش‌های معمول برای برآورد ریسک مواجهه شغلی است. نویسندگان این گفتار، مطالعه روش‌های دیگر بخصوص روش قدم به قدم سازمان COSHH را به کارشناسان محترم

مهندسی بهداشت حرفه‌ای توصیه می‌نمایند.

مواجهه با مواد شیمیایی سمی، می‌تواند منجر به اثرات مختلفی شود که شدت آنها با توجه به راه مواجهه (تنفسی، پوستی و گوارشی) و میزان تماس، متفاوت خواهد بود. در ارزیابی ریسک مواد شیمیایی سمی، میزان ریسک برای استفاده کنندگان، مشخص شده و اقدامات لازم برای محافظت پرسنل در برابر مواد شیمیایی، پیشنهاد می‌شود. بر اساس دستورالعمل‌ها و قوانین جاری کشور، کارمندان و کارگران صنایع بایستی در شرایط ایمن با مواد شیمیایی مواجهه داشته باشند. در راستای انجام این وظیفه مهم، بایستی از کلیه مواد شیمیایی که در محیط کار استفاده می‌شوند، از طریق شناسایی و ارزشیابی مخاطرات آنها و روش‌های کنترلی اتخاذ شده، ارزیابی دقیقی به عمل آید. لازم به ذکر است که در این ارزیابی‌ها تنها به خطر بیماری‌های ناشی از مواد شیمیایی توجه می‌شود و مخاطرات مربوط به قابلیت اشتعال و انفجار این مواد با استفاده از روش‌های جداگانه و خاصی ارزیابی می‌گردند.

اهداف

۱) به طور کلّی هدف از انجام ارزیابی ریسک مواد شیمیایی عبارتست از : ***شناخت خطرات ناشی از تمام مواد شیمیایی که در محیط کار استفاده، انبار و یا حمل و نقل می‌شود.***

۲) ارزیابی میزان مواجهه کارکنان با مواد شیمیایی خطرناک از طریق تنفسی، پوستی و گوارشی

۳) ارزیابی میزان کفایت اقدامات کنترلی در دسترس

۴) مشخص نمودن وظایف شغلی (Task) با ریسک زیاد برای سلامتی کارکنان

۵) پیشنهاد اقدامات کنترلی مناسب برای حذف یا کاهش ریسک

نتیجه عملی و اصلی یک برنامه ارزیابی ریسک، تعیین **"ضریب ریسک (Risk Rating)"** مربوط به وظایف مختلف است. وظایف فرآیندی بر اساس ضریب ریسک، رتبه بندی می‌شوند و این رتبه‌ها برای تعیین اقدامات کنترلی مرتبط، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدون یک سیستم ارزیابی که مخاطرات را بر اساس پتانسیل خطر آنها رتبه بندی می‌کند، ممکن است زمان و منابع سازمان بر روی مواردی که ریسک پایین دارند معطوف شده و از مواردی که خیلی مهمتر هستند غافل گردند.

دامنه کاربرد

- در این راهنما، ارزیابی‌ها فقط مربوط به مخاطراتی است که سلامتی کارکنان شاغل در محیطهای کاری را تهدید می‌کنند.
- این راهنما در مورد حمل و نقل مواد شیمیایی سمّی و خطرناک اعم از مواد اوّلیه، محصولات، ترکیبات و محصولات جانبی قابل استفاده است.
- راهنمایی لازم را در راستای وظایف شغلی در مورد اینکه چه کسی باید ارزیابی‌ها را انجام دهد فراهم آورده و تعیین می‌کند که چه کارهایی باید مورد ارزیابی قرار گیرند.
- یک روش عمومی برای ارزیابی ریسک ناشی از انتشار یا تولید مواد شیمیایی خطرناک مطرح می‌کند.

- اقدامات لازم برای انجام یک ارزیابی را توصیف و ملزومات مستندسازی و ارزیابی‌های مجدد را تشریح می‌کند.
- ممکن است بوسیله متصدیان امور ایمنی و بهداشت صنعتی و سایر افرادی که به نوعی درگیر ارزیابی ریسک هستند استفاده می‌شود.
- ارزیابی مورد نظر می‌تواند ریسک نسبی موجود را (چنانچه پارامترهای مورد نیاز برای ارزیابی شناخته شده باشند) مشخص کند. لکن، زمانی که اطلاعات معنی دار در دسترس نباشند یا خطاهای انسانی در طی عملیات ارزیابی وجود داشته باشند، نتایج می‌توانند سوال برانگیز باشند.
- برای ریسک‌های مرتبط با نقص ماشین آلات، تجهیزات و سیستم‌های کنترل که ممکن است به صورت تصادفی و از یک حادثه یا شبه حادثه ناشی شوند، توصیه نمی‌شود.
- همچنین برای ارزیابی ریسک مخاطراتی که متوجه همسایگان صنعت و محیط زیست است توصیه نمی‌گردد.
- این ارزیابی در مورد افرادی که حساسیت خیلی بالایی دارند، نباید بکار برده شود.
- این ارزیابی برای تماسهای پوستی و گوارشی پیشنهاد نمی‌شود. لکن نمونه محاسبات مربوط به مواجهه پوستی در پیوست۱ آمده است.

تعاریف

- ✓ **خطر(Hazard)** ، یک واژه کلّی برای ***هر مقوله‌ای است که پتانسیل ایجاد صدمه را، داشته باشد.*** خطر ماده شیمیایی، مربوط به توانائی ایجاد مسمومیت بوده و تابع میزان سمیت آن است.
- ✓ **ریسک(Risk)** ، ریسک واژه‌ای است، که برای ***پیش بینی احتمال وقوع اثرات نامطلوب یک ترکیب شیمیایی یا سایر مخاطرات*** بکار برده می‌شود.
- ✓ **ارزیابی ریسک (Risk Assessment)**، به ***شناسایی و تعیین کمیت ریسک حاصل از کاربرد یک ترکیب شیمیایی، با در نظر گرفتن اثرات مضر آن بر روی پرسنل و با احتساب میزان، راه ورود به بدن و مدت زمان مواجهه*** اطلاق می‌شود.
- ✓ **سمّی (Toxic)** ، صفت یک ماده شیمیایی است که مبیّن ***خاصیت آسیب رسانی آن به موجودات زنده*** می باشد.
- ✓ **سمیّت (Toxicity)**، ***میزان آسیب رسانی یک ماده شیمیایی به موجودات زنده*** را بیان می کند.

روش ارزیابی نیمه کمی ریسک

با توجه به اهمیّت موضوع ریسک، روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک مواد شیمیایی از طرف سازمان‌های مرتبط با مسائل ایمنی و بهداشت صنعتی ارایه شده است. در این روش، ابتدا خطرات ناشی از مواد شیمیایی مشخص، سپس با در نظر گرفتن میزان یا احتمال مواجهه، میزان ریسک محاسبه می‌گردد و در مرحله

بعد اقدامات کنترلی لازم، برای کاهش ریسک‌های مرتبط معرفی و اولویت بندی می‌شوند.

روش ارزیابی نیمه کمی ریسک در یازده مرحله انجام می پذیرد:

- حمایت و تعهد مدیریت

۱ ـ تشکیل یک گروه کاری

- مشخص کردن مخاطرات و تعیین ضریب آنها

۲ ـ تجزیه فرآیند به وظایف کوچکتر

۳ ـ شناسایی مواد شیمیایی

۴ ـ تعیین ضریب مخاطره (Hazard Rating)

۵ ـ انجام بازرسی و مصاحبه از مسؤولان و پرسنل

- ارزشیابی میزان مواجهه

۶ ـ جمع آوری اطلاعات مربوط به طول مدت مواجهه و تکرار آن

۷ ـ تعیین ضریب مواجهه (Exposure Rating)

- ارزیابی ریسک

۸ ـ تعیین ضریب ریسک (Risk Rating)

۹ ـ اجرای عملیات اصلاحی

۱۰ ـ مستند سازی ارزیابی

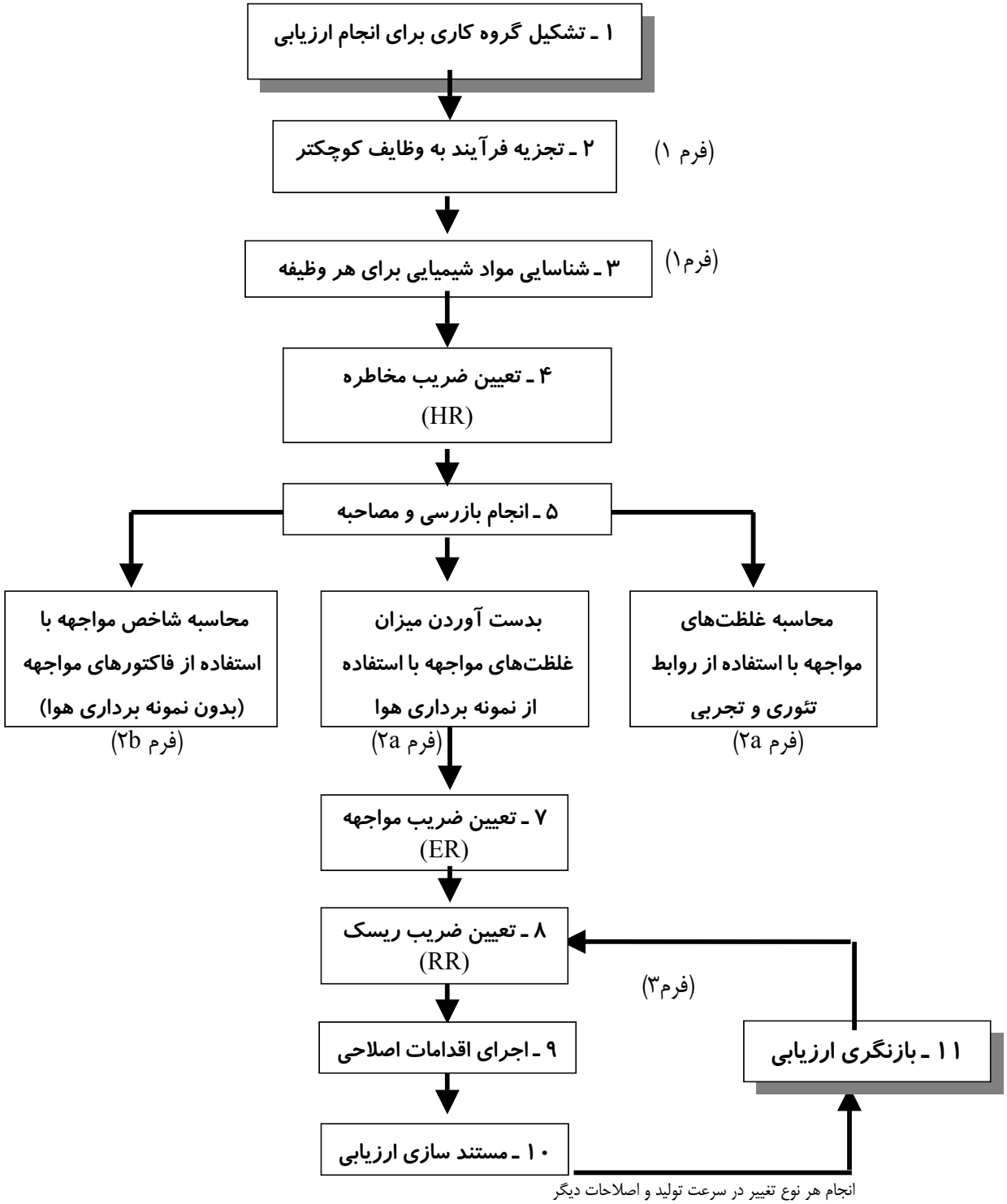
۱۱ ـ بازنگری ارزیابی

برای انجام ارزشیابی مواجهه سه روش وجود دارد. ارزیاب می‌تواند میزان مواجهه واقعی را برای تعیین ضریب مواجهه (ER) و نهایتاً سطح ریسک به کار ببرد. اگر میزان مواجهه واقعی قابل دسترس نبود، فاکتورها یا پارامترهای مواجهه می‌توانند برای تعیین شاخص و ضریب مواجهه مورد استفاده قرار گیرند. برای ارزیابی ریسک ناشی از تماس با مواد شیمیایی در مرحله طراحی کارخانه یا فرآیند، ممکن است میزان مواجهه با استفاده از فرمول‌های تئوریک و تجربی تخمین زده شود.

مراحل ارزیابی ریسک

۱ ـ تشکیل گروه کاری	**۷ ـ تعیین ضریب مواجهه**
۲ ـ تجزیه فرایند به وظایف کوچک‌تر	**۸ ـ تعیین ضریب ریسک**
۳ ـ شناسایی مواد شیمیایی	**۹ ـ اجرای اقدامات اصلاحی**
۴ ـ تعیین ضریب مخاطره	**۱۰ ـ مستندسازی ارزیابی**
۵ ـ انجام بازرسی و مصاحبه	**۱۱ ـ بازنگری ارزیابی**
۶ ـ جمع‌آوری اطلاعات طول مدت مواجهه و تکرار آن	

فلوچارت ۱ ـ فرآیند ارزیابی ریسک



مرحله ۱ ـ تشکیل گروه کاری

یک گروه کاری شامل نمایندگانی از هر دو طرف مدیریت و کارگران است که این افراد صلاحیت و شایستگی همکاری در این زمینه را دارند. فرد شایسته می‌تواند یک کارمند یا هر شخصی باشد که آموزش‌ها و تجارب لازم را در زمینه مواد مخاطره آمیز، ارزیابی و مدیریت ریسک داشته باشد. همچنین یک مشاوره ایمنی یا متخصص بهداشت صنعتی برای انجام ارزیابی ریسک بایستی استخدام شود.

بین مدیریت و کارکنان بایستی همفکری و همکاری کامل وجود داشته باشد. کارکنانی که واقعاً درگیر کار هستند و کار را انجام می‌دهند کمک شایانی می‌توانند در این زمینه داشته باشند. حضور کارکنان و نمایندگان آنها در کمیته‌های مربوطه می‌تواند در بدست آمدن اطلاعات در زمینه مواد مورد استفاده در وظایف، روش‌های انجام وظایف و راه‌های مختلف مواجهه با این مواد بسیار مفید ومؤثر باشد. مدیریت بایستی درگیر انجام ارزیابی ریسک شده و برای اجرای اقدامات اصلاحی و کنترلی در راستای مدیریت ریسک مصمم باشد.

مرحله ۲ ـ تجزیه فرآیند به وظایف کوچکتر

تقسیم بندی و تجزیه فرآیندها به ترتیب زیر صورت می‌گیرد :

- کارخانه به واحدهای کوچکتر تقسیم بندی می‌شود؛
- هر واحد به فرآیندهای کوچکتر تقسیم بندی می‌شود ؛
- هر فرآیند به وظایف کوچکتر تقسیم بندی می‌شود؛
- کارگران با توجه به موقعیت مکانی و وظایف کاری گروه بندی می‌شوند؛
- برای مشاغلی که نیاز به تحرّک در کارخانه دارند، مشاغل آنها به صورت خاص مورد ملاحظه قرار می‌گیرد؛
- از اینکه تمام کارکنانی که با مواد شیمیایی مواجهه دارند اعم از کارکنان تولید، تعمیر و نگهداری، تحقیق و توسعه، پیمانکاران و ماموران نظافت، مد نظر قرار گرفته‌اند اطمینان حاصل می‌شود.

برای پیگیری اجرای برنامه‌ها و اطمینان از اینکه تمام محیطهای کاری پوشش داده شده‌اند، لازم است کلیه محیطهای کاری، مورد بازدید قرار گیرند. وظایف معمولاً به صورت فیزیکی یا جغرافیایی از هم جدا شده‌اند. نمودارهای جریان فرآیند (PFD) و نمودارهای ابزار دقیق فرآیند (PID) می‌توانند برای مشخص کردن وظایف در ارزیابی ریسک بکار برده شوند. برای مثال، یک کارخانه ممکن است یک واحد اختلاط اوّلیه، یک واحد کنترل کیفیّت و یک واحد بسته‌بندی داشته باشد. در واحد اختلاط اوّلیه، فرآیندهایی نظیر اختلاط، آماده‌سازی مقدماتی و تطبیق رنگ‌ها وجود دارد. فرآیند اختلاط خود شامل وظایفی نظیر جمع آوری مواد اوّلیه، توزین، ریختن مواد اوّلیه در داخل تانک، به هم زدن دستی و یا اتوماتیک، نمونه برداری و کنترل است.

وظایف حاصل از تجزیه فرآیندهای کاری در **فرم شماره ۱** ثبت می‌شود.

مرحله۳ ـ شناسایی مواد شیمیایی

تمام مواد شیمیایی که استفاده یا تولید می‌شوند نظیر مواد اوّلیه، بینابینی، محصولات اصلی و فراورده‌های جانبی بایستی مشخص شوند. یک ماده شیمیایی ممکن است به یکی از شکل‌های جامد، مایع، گاز، بخار، غبار، میست یا فیوم باشد. همه مواد شیمیایی، بدون توجه به سیستم های کنترلی موجود در محل میبایست مد نظر قرار داده شوند.

شناسایی مواد شیمیایی می‌تواند از راه‌های زیر انجام گیرد:

- با توجه به لیست مواد موجود در انبار، صورت موجودی، دفـــتر ثبت، شناسنامه ایمنی مـــــواد شیمیایی (MSDS) و بر چسب ظروف
- بازدید از همه محل‌های نگهداری و فرایندهای مصرف کننده مواد شیمیایی
- توجه به تمام مواد تولید شده در فرایند کاری
- محصولات جانبی، محصولات نهایی و کلیه عواملی که از فرآیند بیرون می‌آیند، نظیر پسماندها (جامد و مایع)، ضایعات و ترکیبات ناپایدار.
- توجه به تمام مواد شیمیایی تولید شده در حین عملیات‌هایی نظیر راه اندازی آزمایشی، تعمیرات و نگهداری
- برای مثال **فرم‌آلدئید** ممکن است که در طول عملیات ریخته‌گری تزریقی انتشار یابد و یا **اتیل استات** که برای چربی‌زدایی و تمیز کردن ماشین‌های ریخته‌گری تزریقی به کار برده می‌شود، منتشر گردد. بنابراین مواد شیمیایی مذکور بایستی در ارزیابی ریسک، مد نظر قرار گیرند.
- ماده یا مواد شیمیایی مشخص شده برای هر وظیفه د ر **فرم شماره ۱** ثبت می‌شود.

مرحله ٤ ـ تعیین ضریب مخاطره

پس از شناسایی مواد شیمیایی مصرفی و تولیدی در هر وظیفه، ضریب مخاطره این مواد مشخص می‌گردد. مخاطرات ناشی از یک ماده شیمیایی به میزان سمیّت و نحوه مواجهه بستگی دارد. ضریب مخاطره می‌تواند با توجه به تأثیرات سمّی مواد شیمیایی تعیین گردد (جدول ۱). روش دیگر تعیین ضریب مخاطره از طریق دوز کشنده (Lethal Dose 50% = LD_{50}) و غلظت کشنده (Lethal Concentration 50% = LC_{50}) مواد شیمیایی است (جدول ۲). لازم به ذکر است که اطلاعات ذکر شده در جداول را می‌توان از شناسنامه ایمنی مواد شیمیایی (MSDS) بدست آورد.

ضریب مخاطره مربوط به مواد در **فرم شماره ۱** ثبت شده است.

جدول ۱ـ ضریب مخاطره

ضریب مخاطره	توضیح دسته بندی خطر/تاثیر	مثال از مواد شیمیایی
۱	– بدون تاثیرات نامطلوب بر سلامتی – سرطان زایی A5 (ACGIH) (به پیوست ۲ مراجعه شود) – جزء مواد سمّی و مضر نیست	کلرید سدیم، بوتان، بوتیل استات، کلسیم کربنات
۲	– تاثیرات نامطلوب بر مخاط و پوست (بدون شدت زیاد) – سرطان زایی A4 (ACGIH) – ایجاد حساسیت و تحریک برای پوست	استن، بوتان، استیک اسید ۱۰٪، نمک باریم، غبار آلومینیم
۳	– امکان سرطان زایی و جهش زایی در انسان یا حیوان (هنوز اطلاعات کافی در این زمینه ارائه نشده) – سرطان زایی A3 (ACGIH) – گروه 2B(IARC) – ماده خورنده (۵>pH>۳ یا ۱۱>pH>۹) –تحریک تنفسی و جزء طبقه بندی مواد مضر	تولوئن، زایلن، بوتانل، استالدئید، استیک انیدرید، آنیلین
۴	– احتمال سرطان زایی، جهش زایی و اختلالات ژنتیکی (بر اساس مطالعات انجام شده بر روی موجودات آزمایشگاهی) – سرطان زایی A2 (ACGIH) – گروه 2A(IARC) – گروه B (NTP) – ماده خیلی خورنده (۲>pH>۰ یا۱۴>pH>۱۱/۵) – ماده سمی	فرمالدئید، کادمیم، متیلن کلراید، اکسید اتیلن، اکریلو نیتریل، ۱و۳-بوتادین
۵	– سرطان زا، جهش زا و بانی اختلالات ژنتیکی در نوزادان – سرطان زایی A1 (ACGIH) – گروه 1(IARC) – گروه A (NTP) – ماده خیلی سمی	بنزن، سرب، ارسنیک، برلیم، وینیل کلراید، جیوه، کریستال سیلیکات

جدول ۲ ـ ضریب مخاطره بر حسب سمیت حاد

ضریب مخاطره	LD_{50} جذب شده از راه خوراکی در موش صحرایی (mg/Kg وزن بدن)	LD_{50} جذب شده از راه پوستی در موش صحرایی یا خرگوش (mg/Kg وزن بدن)	LC_{50} جذب شده از راه تنفسی در موش صحرایی (mg/Lit) در ۴ ساعت برای گاز و بخار	LC_{50} جذب شده از راه تنفسی در موش صحرایی (mg/Lit) در ۴ ساعت برای ذرات هوابرد
۲	۲۰۰۰<	۲۰۰۰<	۲۰<	۵<
۳	۲۰۰۰> تا ۲۰۰<	۲۰۰۰> تا ۴۰۰<	۲۰> تا ۲<	۵> تا ۱<
۴	۲۰۰> تا ۲۵<	۴۰۰> تا ۵۰<	۲> تا ۰/۵<	۱> تا ۰/۲۵<
۵	۲۵<	۵۰<	۰/۵<	۰/۲۵<

مرحله ۵ ـ انجام بازرسی و مصاحبه

یک بازرسی دقیق بر طبق وظایف کاری لیست شده در فرم شماره ۱ انجام دهید و در حین بازرسی با کارکنان مصاحبه کنید. **هدف از مصاحبه**، پیدا کردن همه وظایف لیست شده در فرم ۱ است و اینکه آیا همه کارکنان مد نظر قرار گرفته شده‌اند. به این ترتیب برای ارزیابی اینکه آیا همه کارگران با مواد شیمیایی سمّی و مضر مواجهه داشته‌اند، ضروری است که با کارکنان شاغل با توجه به تجربه کاری و روش اجرایی آنها صحبت شود. به عنوان مثال، آنها می‌توانند تشریح کنند که در حین تعمیر و نگهداری، کمبود نیروی انسانی، تغییر در تعداد افراد یا مقدار تولید چه اتفاقی می‌افتد و این تغییرات روی مواجهه با مواد شیمیایی سمّی و مضر چه تأثیری می‌گذارد.

اگر یک شغل، فرآیند یا واحد کاری جدید طراحی و برنامه ریزی شده ولی هنوز به بهره برداری نرسیده است، ارزشیابی فرآیندهای کاری مرتبط الزامی است و آن بایستی در فرم شماره ۱ اضافه شود. یک چک لیست برای بازرسی در پیوست شماره ۳ آمده است. این چک لیست بازرسی حول چهار محور زیر طراحی شده است :

۱) واحد کاری که در آن مواد شیمیایی سمّی مصرف یا تولید می‌شوند
۲) شکل انجام کار
۳) نحوه انتشار آلودگی
۴) مناطق مربوط به آلودگی

مرحله ٦ ـ جمع‌آوری اطلاعات طول مدت مواجهه و تکرار آن

برای کارگرانی که در معرض مواد شیمیایی سمّی قرار می‌گیرند، میزان مواجهه با توجه به مقدار، تکرار، راه و طول مدّت مواجهه تعیین می‌شود. اگر نتایج نمونه برداری از هوا برای وظایف معین قابل دسترسی هستند، فرم ۲a بایستی مورد استفاده قرار گیرد. جایی که نتایج نمونه برداری از هوا موجود نیست، فاکتورهای مواجهه می‌توانند برای محاسبه ضریب مواجهه مورد استفاده قرار گیرند و پارامترهای مربوط در فرم ۲b ثبت می‌شود.

فرم ۲a (نتایج پایش هوا قابل دسترسی هستند)

در فرم ۲a، طول مدت یک وظیفه خاص بایستی مشخص شود. اگر طول مدت وظیفه کمتر از ۸ ساعت بود، تکرار وظیفه بایستی تعیین شود. برای مثال، وزن کردن یک ماده اوّلیه در حدود ۲ ساعت زمان میبرد (D=۲)، اما این کار دو بار در روز و ۱۰ بار در هفته تکرار می‌شود (F=۱۰/week). ریخته‌گری تزریقی در سراسر طول شیفت کاری انجام می یابد، بنابراین طول مدت وظیفه ۸ ساعت است (D=۸) و تکرار آن یک بار در روز و ۵ بار در هفته است (F=۵/week).

اگر مواجهه به دو یا چند ماده شیمیایی (که تاثیرات آنها بر سلامتی مشابه است) وجود دارد. ردیفی که مربوط به **"ماده شیمیایی با تاثیرات مشابه"** است را با علامت"Y" (به منزله تایید) پر کنید. اطلاعات مربوط به تاثیرات مواد شیمیایی بر سلامتی می‌تواند از طریق شناسنامه ایمنی مواد شیمیایی (MSDS) بدست آید.

فرم ۲b (نتایج پایش هوا در دسترس نیست)

در فرم ۲b، پنج فاکتور فشار بخار یا اندازه ذرات، نسبت آستانه بویایی به حد مجاز مواجهه[1]، میزان کنترل، مقدار ماده شیمیایی مورد مصرف و ساعت کاری با توجه به جدول ۳ (جدول تعیین شاخص مواجهه) (Exposure Index) مشخص و ثبت می‌گردد. تعیین تمام فاکتورهای فوق الذکر الزامی نیست و با توجه به اطلاعات موجود، پارامترهای قابل دسترسی بکار برده می‌شوند، ولی مطمئناً هر چه تعداد شاخص‌های استفاده شده بیشتر باشد جوابی دقیق تر بدست خواهد آمد.

مرحله ۷ ـ تعیین ضریب مواجهه

ضریب مواجهه هم می‌تواند از طریق تعیین سطح مواجهه واقعی و هم می‌تواند از طریق تعیین شاخص‌های مواجهه بدست آید.

الف ـ تعیین ضریب مواجهه با استفاده از تعیین سطح مواجهه واقعی

مواقعی که نتایج حاصل از نمونه‌برداری و پایش هوا قابل دسترسی باشد، متوسط وزنی ـ زمانی هفتگی مواجهه (TWA_{week}) با استفاده از رابطه زیر تخمین زده می‌شود.

[1] OT/PEL(Odour Threshold /Permissible Exposure Level)

$$E = \frac{F \times D \times M}{W} \qquad (۱)$$

که در آن :

E = میزان مواجهه هفتگی (ppm یا mg/m^3)

F = تکرار مواجهه در هفته (تعداد در هفته)

M = شدت مواجهه (ppm یا mg/m^3)

W = متوسط ساعت کار در هفته (۴۰ ساعت)

D = متوسط طول مدت هر مواجهه (ساعت)

در رابطه (۱) فرض شده است که در زمانیکه وظیفه انجام نمی‌شود هیچگونه مواجهه‌ای وجود ندارد. این فرضیه بایستی در مورد هر وظیفه‌ای که تحت بررسی قرار می‌گیرد، مدنظر باشد تا صحت محاسبات تایید گردد.

ضریب مواجهه (ER) :

مقدار مواجهه (E) که از رابطه بالا بدست آمد با مقادیر مواجهه مجاز بلند مدت (PEL) مقایسه می‌شود سپس ضریب مواجهه(ER) از طریق جدول زیر تعیین می‌شود:

جدول ۳ ـ ضریب مواجهه

E/PEL	ضریب مواجهه (ER)
< ۰/۱	۱
۰/۱–۰/۵	۲
۰/۵–۱/۰	۳
۱/۰–۲/۰	۴
≤ ۲/۰	۵

مواجهه مرکب (Combined Exposure)

برای تماس با دو یا چند ماده شیمیایی که دارای اثرات مشابه هستند و در **فرم ۲a** با استفاده از حرف Y (تایید اثرات تجمعی) به آنها اشاره شده است، بایستی میزان مواجهه مرکب ($E_{Combined}$) طبق رابطه زیر محاسبه گردد :

$$E_{Combined} = \frac{E_1}{PEL_1} + \frac{E_2}{PEL_2} + \ldots + \frac{E_n}{PEL_n} \qquad (۲)$$

که در آن :

E = میزان مواجهه (ppm یا mg/m^3)

PEL = میزان مواجهه مجاز مربوطه (ppm یا mg/m^3)

مواجهه‌های بیشتر از ٤٠ ساعت در هفته:

میزان مواجهه مجاز بلند مدت (PEL) بایستی که برای مواجهه‌های بیشتر از ۴۰ ساعت در هفته کاهش داده شود. فاکتور کاهش هفتگی (F) که بایستی از میزان مواجهه مجاز بلند مدت (PEL) کسر گردد و مقدار آن از طریق رابطه زیر بدست می آید:

$$F = \frac{40}{H} \times \frac{(168 - H)}{128} \qquad (۳)$$

$$PEL_a = PEL - F \qquad (٤)$$

H = ساعات کاری در هفته(ساعت)

F = فاکتور کاهش هفتگی

PEL_a = میزان مواجهه مجاز تصحیح شده (ppm یا mg/m^3)

رابطه بالا از یک دید محافظه کارانه‌ای استفاده می‌کند و مقادیر استاندارد را خیلی پایین می آورد. روش‌های دیگری نظیر مدل OSHA و مدل‌های مربوط به علم داروشناسی نیز وجود دارند. وقتی که نیاز به یک تعدیل است، پیشنهاد می‌شود با یک فرد شایسته مشورت شود تا از مناسب و قابل اجرا بودن تعدیل اطمینان حاصل شود. بخاطر اینکه مدل‌های بیان شده اکثرا به صورت تئوری بوده و متکی بر فرضیات هستند ممکن است در مورد بسیاری از مواد شیمیایی صادق (عملی) نباشند، مواد شیمیایی باید دقیقاً شناخته شوند و در مواقعی که اطلاعات سم شناسی در مورد ماده شیمیایی محدود است بایستی کاملاً مراقب بود. لکن، فوائد حاصل از تعدیل حدود مواجهه مهم تر و بیشتر از تردید در مدل‌های تعدیل است. جاهایی که فهرستی از کارهای غیر معمول در حال انجام است، نیاز است که تعدیل حدود مواجهه بررسی شده و مدلی که بیشترین تناسب را داشته باشد انتخاب شود. برای تماس‌های کوتاه مدت و تا ۱۵ دقیقه و یک بار در روز، شدت مواجهه بایستی با مقادیر میزان مواجهه مجاز کوتاه مدت (PEL-Short Term) مقایسه شود.

مقدار بدست آمده برای ضریب مواجهه (ER) را در **فرم ۳** ثبت کنید.

ب ـ تعیین ضریب مواجهه با استفاده از تعیین شاخص‌های مواجهه

زمانیکه نتایج حاصل از نمونه برداری و پایش هوا در دسترس نباشد، ضریب مواجهه می‌تواند از طریق شاخص‌های مواجهه (EI) و با استفاده از رابطه زیر بدست آید:

$$ER = [(EI)_1 \times (EI)_2 \times \ldots (EI)_n]^{\frac{1}{n}} \qquad (۵)$$

که در آن:

n = تعداد فاکتورهای مواجهه استفاده شده است

شاخص‌های مواجهه در یک مقیاس عددی از ۱ تا ۵ و به ترتیب افزایش شدت مواجهه درجه بندی شده‌اند، به این معنی که عدد ۱ شدت مواجهه خیلی پایین، عدد ۵ خیلی بالا و عدد ۳ متوسط را نشان می‌دهد.

جدول ٤ ـ شاخص و فاکتورهای مواجهه

شاخص مواجهه / فاکتور مواجهه	۱	۲	۳	٤	۵
فشار بخار یا قطر آئرودینامیکی ذره	<۰.۱ mmHg	۰.۱ – ۱ mmHg	۱ – ۱۰ mmHg	۱۰ – ۱۰۰ mmHg	۱۰۰< mmHg
	قطر بزرگ، توده یا ماده مرطوب	قطر بزرگ و ماده خشک	ماده خشک و ذرات با قطر کمتر از ۱۰۰ میکرون	ماده خشک و ذرات ریز ۱۰۰-۱۰ میکرون	ماده خشک و ذرات ریز و پودری ۱۰میکرون>
نسبت آستانه بویایی به حد مجاز مواجهه $\frac{OT}{PEL}$	<۰.۱	۰.۱ – ۰.۵	۰.۵ – ۱	۱ – ۲	۲<
میزان کنترل آلاینده	کنترل کافی با نگهداری منظم	کنترل کافی با نگهداری نامنظم	کنترل کافی بدون نگهداری، غبار متوسط	کنترل نا کافی، محیط پر غبار	کلاً بدون کنترل، محیط پرغبارتر
مقدار ماده مورد مصرف در هفته	اغلب مقدار ناچیز ۱ کیلوگرم یا لیتر	مقدار کم مصرف ۱۰-۱ کیلوگرم یا لیتر	مقدار متوسط، کارگران آموزش دیده برای حمل و کار ۱۰۰-۱۰ کیلوگرم یا لیتر	مقدار زیاد، کارگران آموزش دیده برای حمل و کار ۱۰۰۰-۱۰۰ کیلوگرم یا لیتر	مقدار متوسط، کارگران آموزش ندیده برای حمل و کار ۱۰۰۰< کیلوگرم یا لیتر
ساعات کاری در هفته	ساعت۸>	۱۶ – ۸ ساعت	۲۴ -۱۶ ساعت	۳۲-۲۴ ساعت	۴۰ -۳۲ ساعت

در ردیف اول جدول فوق وقتی که ماده شیمیایی، یک مایع در دمای اتاق است، خطر مواجهه با آن بستگی به فشار بخار آن دارد که می‌تواند از روی شناسنامه ایمنی ماده شیمیایی (MSDS) بدست آید. فشار بخار به دما بستگی دارد. وقتی که فشار بخار یک مایع در دمای دیگری در MSDS ماده ثبت شده است، فشار بخار آن

می‌تواند با استفاده از رابطه آنتوان (Antoine) محاسبه شود. در مورد یک ماده شیمیایی جامد، خطر مواجهه تنفسی با آن بستگی به اندازه ذرات جامد دارد و برای قضاوت در مورد آن باید بازدیدهایی از محل کار انجام گیرد. اندازه ذرات از طریق محاسبه قطر آئرودینامیکی به دست می آید و رابطه آن در زیر آمده است :

$$D_a = D_P\sqrt{s.g} \qquad (٦)$$

که در آن :

D_a = قطر آئرودینامیکی

D_P = قطر ذره

$s.g$ = وزن مخصوص توده ماده شیمیایی

علاوه بر فشار بخار یا قطر آئرودینامیکی ذرات، ضریب مواجهه به میزان مواجهه مجاز (PEL) و آستانه بویایی قابل تشخیص یک ماده شیمیایی(OT) بستگی دارد که مقادیر آنها به ترتیب از پیوست ۴ و۵ قابل استخراج است و از روی ردیف دوم جدول ۴ در مورد آن قضاوت می‌شود.

احتمال مواجهه با یک ماده شیمیایی با توجه به تمهیدات کنترل مهندسی موجود و میزان کارایی آنها مشخص می‌شود. طراحی خوب و اجرای مناسب یک سیستم تهویه موضعی خطر مواجهه با مواد شیمیایی را خیلی کاهش خواهد داد و از سوی دیگر در یک فرآیند روباز با طراحی و نگهداری ضعیف مواجهه خیلی زیادی با ماده شیمیایی اتفاق خواهد افتاد. این اختلاف در ردیف میزان کنترل موجود (ردیف ۳ جدول۴) منعکس شده است.

فرآیند محدود یا محصور و بدون تماس مستقیم، انتشار و رها سازی غیر مشهود آلاینده ها، سرعت ربایش کافی در دهانه هودهای تهویه موضعی نمونه‌هایی از اقدامات کنترلی کافی و مؤثر هستند. در این روش ارزیابی تهیه و تدارک وسایل حفاظت فردی (PPE) جزو تدابیر کنترلی محسوب نمی‌شوند.

همچنین میزان مواجهه با یک ماده شیمیایی به مقدار ماده شیمیایی استفاده شده و طول مدت مواجهه یا کار با ماده شیمیایی بستگی دارد. این موضوع به ترتیب در ردیف‌های چهارم و پنجم جدول ۴ نشان داده شده است. یک دوره کاری هفتگی (معمولاً ۴۰ ساعت) به عنوان اساس تعیین ضریب مواجهه در نظر گرفته شده است. همانطور که مقادیر میزان مواجهه مجاز (PEL)نیز بر مبنای تماسهای ۴۰ ساعته بنا نهاده شده اند.

مثال:

گرد و غبار ریز پودر سیلیس (EI=۵) در حین عملیات وزن کشی تولید می‌شود و این وظیفه به مدت یک ساعت در روز و ۷ ساعت در هفته (EI=۱) انجام می‌شود. بر اساس بازرسی‌های بصری گرد و غبار متوسطی در محیط وجود دارد (EI=۳). مقدار استفاده شده کم است(EI=۲)، مطلوب است مقدار ضریب مواجهه (ER).

$$ER = \left[(EI)_1 \times (EI)_2 \times \ldots (EI)_n\right]^{\frac{1}{n}}$$

$$ER = \left[5 \times 3 \times 2 \times 1\right]^{\frac{1}{4}}$$

$$ER = 2.3$$

ج ـ تعیین ضریب مواجهه با استفاده از تخمین[A]

این بخش برای صنایعی که در مرحله طراحی هستند قابل اجراست. تکنیک‌های ارزیابی ریسک با استفاده از روابط تئوری می‌توانند به نتایج دقیقی منجر شوند. با این حال، عدم دسترسی به پارامترهای موجود در فرمول‌ها، خطای انسانی و عدم دقت می‌تواند منجر به نتایج سوال برانگیزی شود.

در این روش میزان مواجهه بر حسب ppm یا mg/m^3 محاسبه می‌شود. میزان مواجهه بدست آمده می‌تواند با مقادیر PEL (درازمدت) مقایسه شده و برای بدست آوردن ضریب مواجهه(ER) استفاده شود. لازم به ذکر است که اگر مواجهه کمتر از ۸ ساعت باشد، میزان مواجهه بایستی قبل از مقایسه با حدود مواجهه مجاز درازمدت (PEL-Long Term) با استفاده از رابطه زیر به متوسط وزنی- زمانی ۸ ساعته (C_{TWA}) تبدیل شود:

$$C_{TWA} = \frac{C_1T_1 + C_2T_2 + ... + C_nT_n}{8} \qquad (۷)$$

که در آن :

C = غلظت مواجهه ppm یا mg/m^3

T = زمان مواجهه مربوطه hr

رابطه پیش بینی مواجهه تنفسی- برای عملیات انتقال:

این رابطه برای هر عملیات نقل و انتقال نظیر بار کردن تانکرها و بشکه‌ها مناسب می باشد.

$$C_{ppm} = \frac{(1.67\times10^4)(VP\times V\times f\times r)}{QK} \qquad (۸)$$

که در آن:

C_{ppm} = غلظت آلاینده بر حسب ppm

VP = فشار بخار بر حسب اتمسفر (atm)

مقدار 1.67×10^4 ضریب حاصل از تبدیل واحدها است.(برای تبدیل cm^3 به m^3 برای حجم(V)، تبدیل واحدهای پرشده در ثانیه به واحدهای پرشده در ساعت برای ضریب پرکنندگی r و cm^3/s به $m^3/\min$ برای ضریب تهویه(Q).

[A] فرض می‌شود، دمای مایع و دمای هوا با هم برابر هستند، اتلاف ماده ناچیز است، فقط یک منبع تولید آلودگی موجود است، شرایط پایدار حاکم است و قانون گازهای ایدآل برقرار است. از ریخت و پاش طی عملیات پر کردن صرف نظر شده است.

[B] میزان ورودی برای تخمین‌های فرضی مقداری است که در حدود مرکزی گستره تعیین شده قرار می‌گیرد.

[C] روش پرکردن مخازن، از پایین به بالا فرض شده است.

[D] تخمین میزان تماس به مراتب بیشتر از میزان واقعی مواجهه شغلی انجام می‌شود.

[E] روش پرکردن، همراه با تلاطم است.

[F] میزان تهویه در محیط باز بر حسب $m^3/\min$ (متر مکعب بر دقیقه) از سرعت تخمینی باد (V) بر حسب متر بر ساعت m/hr محاسبه می‌شود.

جدول ۵ ـ مقادیر ورودی پیش فرض

پارامتر	نوع ظروف		
	بشکه	کامیون تانکر دار	ماشین تانکر دار
V = حجم ظرف (m^3)	۰/۲۱	۱۹	۷۶
f = فاکتور اشباع (بدون واحد)	$0.5^{B,C}$ و $1.0^{B,E}$	$0.5^{B,C}$ و $1.0^{B,E}$	$0.5^{B,C}$ و $1.0^{B,E}$
Q = فاکتور تهیه ($m^3/\min$)	14^{D} و 85^{B}	$750V^{D,F}$ و $6700V^{B,F}$	$750V^{D,F}$ و $6700V^{B,F}$
r = ضریب پرکنندگی (واحد بر ساعت)	30^{D} و 20^{B}	۲	۱
K = فاکتور اختلاط (بدون واحد)	0.1^{D} و 0.5^{B}	0.1^{D} و 0.5^{B}	0.1^{D} و 0.5^{B}

رابطه پیش بینی مواجهه تنفسی ـ برای عملیات روباز[A]:

این رابطه می‌تواند برای فرآیندهایی مانند تمیز کاری یک تانک غوطه وری و شستشو، تمیزکاری و چربی زدایی سطوح فلزات مورد استفاده قرار گیرد:

$$C_{eq} = \frac{720VP\left[1/MW + 1/29\right]^{0.25} A}{MW^{0.165} QK\Delta X^{0.25}} \qquad (۹)$$

که در آن :

C_{eq} = غلظت آلاینده بر حسب ppm

VP = فشاربخار، بر حسب اتمسفر atm

MW = وزن ملکولی، بر حسب $gr/gr.mol$

این معادله برای موادی قابل استفاده است که فشار بخار آنها در حد کم تا متوسط باشد (یعنی کمتر از ۰/۰۵ اتمسفر). مقدار ۷۲۰ ضریب حاصل از تبدیل واحدها اســت. (تبدیل $cm^3/\min$ به $m^3/\min$ برای ضریب تهویه (Q).

جدول ٦ ـ مقادیر ورودی پیش فرض

پارامتر	عملیات	
	نمونه گیری	سایر سطوح باز
A = سطح (cm^2)	80^C و 40^B	^{D}
Q = ضریب تهیه ($m^3/\min$)	14^C و 85^B	14^C و 85^B
K = فاکتور اختلاط (بدون واحد)	0.1^C و 0.5^B	0.5^C و 0.1^B
ΔX = طول استخر در جهت جریان هوا(cm)	10^C و 7^B	^{D}

[A] فرض می‌شود دمای مواد و دمای هوای موجود در محل برابر با ۲۹۸ کلوین و فشار هوا برابر یک اتمسفر باشد. سرعت جریان هوا مساوی ۵۰/۸ cm/s (۱۰۰ $ft/\min$) در جهت موازی با استخر و مایع درون آن در نظر گرفته می‌شود. ضمناً فرض می‌شود که شرایط پایدار حاکم است. گرمای مورد نیاز برای تبخیر بوسیله محیط اطراف تامین می‌شود، پراکندگی و لبریز از لبه‌های استخر و در جهت جریان هوا ناچیز و قابل چشم پوشی است، هیچ گونه اختلاط در سطح روی استخر مایعات وجود ندارد، هیچ تهویه موضعی یا مانع فیزیکی در لبه‌های استخر وجود ندارد، قانون گاز ایده آل برقرار است.

[B] میزان ورودی پیش فرض برای تخمینهای فرضی مقداری است که در حدود مرکزی گستره تعیین شده قرار گیرد.

[C] تخمین میزان تماس به مراتب بیشتر از میزان واقعی مواجهه شغلی، انجام می‌شود.

[D] براساس عملیات صنعتی، تخمین زده می‌شود.

برای اطلاعات بیشتر در زمینه روش‌های ارزشیابی مواجهه بر اساس مدلهای تعادل جرمی به مجله انجمن بهداشت صنعتی آمریکا (AIHA)، سال ۱۹۹۶، شماره ۵۷ مراجعه کنید.

تخمین میزان مواجهه کارگر با مایعات داخل استخرهای تبخیر یا جوشش:

مدل پخش آلودگی به شکل استخری در نظر گرفته می‌شود که مواد شیمیایی در داخل آن ریخته شده‌اند. معادله زیر برای تخمین سرعت تبخیر و فرار یک مایع از داخل یک ظرف روباز استفاده می‌شود.

$$Q_m = \frac{MKAP_{sat}}{R_g T_L} \qquad (۱۰)$$

که در آن :

Q_m = سرعت تبخیر بر حسب Kg/s

M = وزن ملکولی آلاینده $Kg/Kg-mol$

K = ضریب انتقال جرم m/s

A = سطح تماس یا سطح استخرحاوی مایع m^2

P_{sat} =فشار بخار اشباع مایع $N/m^2\ orPa$

R_g =ثابت عمومی گازهای کامل که مساوی است با $8.314\,Pa\cdot m^3/mol\cdot K$

T_L =دمای مایع K

برای بدست آوردن ضریب انتقال جرم آلاینده‌ها طبق رابطه زیر عمل می‌کنیم:

$$K = K_0\left[\frac{M_0}{M}\right]^{\frac{1}{3}} \qquad (۱۱)$$

که در آن:

K_0 = ضریب انتقال جرم ماده مرجع یعنی آب که مساوی است با ($0.0083\,m/s$)

M =وزن ملکولی آلاینده ($Kg/Kg-mol$)

M_0 = وزن ملکولی آب ($Kg/Kg-mol$)

تخمین میزان مواجهه کارگر با بخارات سمّی با وجود تهویه ترقیقی:

غلظت متوسط (C_{ppm}) یک مایع فرار یا هر ماده‌ای که در یک محوطه وجود دارد با استفاده از دو پارامتر Q_m (سرعت تبخیر) و Q_V (سرعت تهویه) قابل محاسبه است. این غلظت می‌تواند برای هر کارگری که نزدیک یک استخر از مایعات فرار یا درب یک تانک ذخیره یا ظرف یک مایع فرار ایستاده است محاسبه شود.

سرعت تبخیر(Q_m) می‌تواند از رابطه ۱۰ بدست آید.

$$C_{(ppm)} = \frac{Q_m R_g T}{K Q_V P M}\times 10^6 \qquad (۱۲)$$

که در آن:

$C_{(ppm)}$ = غلظت متوسط یک بخار فرار در یک محوطه (ppm)

Q_m = سرعت تبخیر یک ماده فرار (Kg/s)

K = فاکتور اختلاط غیر ایده آل که بین ۰/۱ تا ۰/۵ متغیر است برای اختلاط کامل K برابر با ۱ است.

R_g = ثابت عمومی گازهای کامل که مساوی است با $8.314\,Pa\cdot m^3/mol\cdot K$

T = دمای منبع $^\circ K$

M = وزن ملکولی بخار خارج شده (فرار کرده) $Kg/Kg-mol$

Q_V = سرعت تهویه m^3/s

فرضیات

۱ ـ غلظت بخار محاسبه شده یک غلظت میانگین در محوطه مورد نظر است. ولی به صورت موضعی، غلظت‌های بالایی ایجاد خواهد شد، برای مثال کارگرانی که مستقیماً بالای یک ظرف (کانتینر در باز) در حال انجام کار هستند با غلظت بالای بخار مواجهه خواهند داشت.

۲ ـ شرایط پایدار فرض می‌شود و بخارات ساطع شده حالت تجمعی و انباشتگی ندارند.

مثال:

یک تانک حاوی تولوئن با سطح باز در یک محوطه طی یک عملیات و در دوره زمانی معین وزن می‌شود و سرعت تبخیر متوسط مایع در حدود $۰/۱\ gm/\min$ و سرعت تهویه برابر $۱۰۰\ ft^3/\min$ است. دمای آن برابر $۸۰\ ^\circ F$ درجه فارنهایت و فشار برابر یک اتمسفر است. غلظت بخار تولوئن در محوطه را تخمین بزنید و آن را با حدود تماس مواجهه مجاز طولانی مدت(PEL) که برابر ppm ۱۰۰ برای تولوئن است مقایسه کنید.

راه حل:

$$Q_m = 0.1 \quad gm/\min \quad = 2.20\times10^{-4} \quad lbm/\min$$
$$R_g = 0.7302 \quad ft^3 atm/lbmol\,^\circ R$$
$$T = 80 \quad ^\circ F = 540 \quad ^\circ R$$
$$Q_V = 100 \quad ft^3/\min$$
$$M = 92 \quad lbm/lbmol$$
$$P = 1 \quad atm$$

$$C_{(ppm)} = \frac{Q_m R_g T}{K Q_V P M}\times10^6 \qquad \Rightarrow$$

$$K\cdot C_{(ppm)} = \frac{(2.20\times10^{-4})(0.7302)(540)}{(100)(1)(92)}\times10^6 \qquad \Rightarrow$$

$$K\cdot C_{(ppm)} = 9.43\,ppm$$

از آنجاییکه مقدار K (ضریب اختلاط) بین مقادیر ۰/۱ تا ۰/۵ متغیر است بنابراین انتظار می رود که مقدار C بین مقادیر ۱۸/۹ تا ۹۴/۳ ppm در تغییر باشد.

$$K = 0.5 \quad \Rightarrow \quad C_{(ppm)} = \frac{9.43}{0.5} = 18.9\,ppm$$
$$K = 0.1 \quad \Rightarrow \quad C_{(ppm)} = \frac{9.43}{0.1} = 94.3\,ppm$$

ضمناً نمونه برداری واقعی از بخارات برای اطمینان از عـــدم تجاوز غلظت بخارات تولوئن از مقادیر مجاز (PEL) توصیه می‌شود.

مرحله ۸ ـ تعیین ضریب ریسک

پس از تعیین ضریب مخاطره(مرحله چهارم) و ضریب مواجهه (مرحله هفتم)، ضریب ریسک طبق رابطه زیر بدست می آید :

$$RR = \sqrt{HR \times ER} \qquad (۱۳)$$

که در آن:

RR = ضریب ریسک

HR = ضریب مخاطره

ER = ضریب مواجهه

علت جذر گرفتن از نتیجه حاصل، بدست آوردن یک عدد در محدوده ۱ تا ۵ است. ریسک هر وظیفه و رتبه بندی آن با توجه به جدول زیر تعیین می‌شود:

جدول ۷ ـ ضریب ریسک

ضریب ریسک	رتبه
۰-۱/۷	ناچیز
۱/۷-۲/۸	کم
۲/۸-۳/۵	متوسط
۳/۵-۴/۵	زیاد
۴/۵-۵	خیلی زیاد

ریسک و رتبه بندی بدست آمده برای هر وظیفه در فرم ۳ ثبت می‌شود. این رتبه بندی در اولویت بندی اقدامات اصلاحی برای کاهش ریسک در کارخانه به ما کمک خواهد کرد.

مرحله ۹ ـ اجرای اقدامات اصلاحی

اگر ارزیابی نشان دهد که انجام وظیفه در یک شغل، ریسک زیاد و قابل توجهی وجود دارد اقدامات اصلاحی مناسبی برای آن شغل بایستی در نظر گرفته شود. این اقدامات می‌تواند در زمینه‌های زیر صورت بگیرد:

۱) اقدام اصلاحی مناسبی را برای حذف یا کاهش ریسک انتخاب کنید، نظیر جایگزینی ماده شیمیایی سمی، نصب و راه اندازی سیستم تهویه موضعی یا تهویه ترقیقی، اجرای کنترل‌های مدیریتی و تامین وسایل حفاظت فردی؛

۲) دوره‌های آموزشی را برای کارکنان برنامه ریزی کنید؛

۳) در صورت نیاز از هوای محیط کار نمونه برداری کنید؛
۴) در صورت نیاز از نتایج معاینات پزشکی استفاده کنید؛
۵) تجهیزات مربوط به شرایط اضطراری و کمک‌های اوّلیه را فراهم و روش‌های اجرایی آنها را بررسی کنید.

اطمینان از اینکه ریسک در حد قابل قبول است یا نه به عهده کارفرما است. در زیر به برخی از اقدامات اصلاحی ممکن برای سطوح مختلف ریسک اشاره شده است:

ریسک ناچیز

- پایان ارزیابی
- ارزیابی مجدد هر ۵ سال یکبار

ریسک کم

- حفظ کنترل موجود
- انجام غیر مستمر نمونه برداری هوا (در صورت نیاز)
- ارزیابی مجدد هر ۴ سال یک بار

ریسک متوسط

- تکمیل و حفظ کنترل موجود
- انجام مستمر نمونه برداری هوا (در صورت نیاز)
- آموزش کارگران در صورت لزوم
- ارزیابی مجدد هر ۳ سال یک بار

ریسک زیاد

- تکمیل کنترل‌های مهندسی مؤثر
- انجام نمونه برداری هوا
- آموزش کارگران
- بهبود برنامه استفاده از وسایل حفاظت تنفسی (به پیوست ۶ مراجعه کنید)
- تهیه وسایل حفاظت فردی مناسب نظیر عینک، دستکش و...
- توسعه و تکمیل ایمنی فنی و تصحیح روش‌های انجام کار
- تنظیم دستورالعمل‌های شرایط اضطراری و کمک‌های اوّلیه
- ارزیابی مجدد بعد از انجام مراحل فوق

ریسک خیلی زیاد

- تکمیل کنترل‌های مهندسی مؤثر
- انجام نمونه برداری هوا
- آموزش کارگران
- بهبود برنامه استفاده از وسایل حفاظت تنفسی (به پیوست ۶ مراجعه کنید)
- تهیه وسایل حفاظت فردی مناسب نظیر عینک، دستکش و...
- توسعه و تکمیل ایمنی فنی و تصحیح روش‌های انجام کار
- تنظیم دستورالعملهای شرایط اضطراری و کمک‌های اوّلیه
- ارزیابی مجدد(ارزیابی دقیق) بعد از انجام مراحل بالا

مرحله ۱۰ـ مستند سازی ارزیابی

تمام ارزیابی‌ها بایستی بخوبی در فرم‌های مربوطه ثبت و به صورت نوشته یا بر روی رایانه نگهداری شوند. مستندات بایستی به صورت مختصر و خلاصه باشند و در آنها به موارد زیر اشاره شود:

۱) نام اعضای تیم ارزیابی
۲) توصیف واحد کاری
۳) تعداد افراد درگیر و شاغل
۴) محدوده کاری و زمان
۵) لیست کاملی از مواد استفاده و تولید شده و آیا شناسنامه ایمنی مواد در دسترس است یا خیر؟
۶) اطلاعاتی در مورد مخاطرات
۷) خلاصه فرایندها
۸) شناسایی ریسک‌ها
۹) یک جمع بندی در مورد ریسک‌ها
۱۰) پیشنهادات
۱۱) امضا، تاریخ و نظر تیم ارزیابی
۱۲) امضا، تاریخ و نظر کارفرما در مورد تایید ارزیابی

مرحله ۱۱ ـ بازنگری ارزیابی

در صورت تحقق یکی از شرایط زیر، بازنگری ارزیابی مورد نیاز است :

- ✓ ایجاد تغییرات در مقدار تولید، مواد اوّلیه، محصولات، فرآیندها و یا اقدامات کنترلی
- ✓ وجود گزارشی مبنی بر بیماری ناشی از کار در واحدهای کاری
- ✓ وقوع حادثه یا رویداد در اثر کنترل نامطلوب

- ✓ پایش‌های محیطی و فردی نشان دهنده نقص سیستم کنترل
- ✓ صدور گزارش جدید در رابطه با میزان سمیت، خواص شیمیایی و حد مجاز مواجهه مواد
- ✓ ارائه فن آوری جدید در زمینه سیستم کن

برخی از خطاهای عمده در فرایند ارزیابی ریسک عبارتند از:

الف ـ خطاهای ناشی از عدم کشف صحیح حقایق، به عنوان مثال عدم درک صحیح روش‌های اجرایی و محل استفاده از مواد

ب ـ خطاهای ناشی از عدم شناخت کافی مخاطرات مواد

ج ـ قضاوت با توجه به پیش داوری‌های نادرست

د ـ تردید در مجهولات، روش‌ها، مدل‌ها و فرضیات محاسبات

فرم‌ها

تجزیه فرایند کاری

فرم ۱

اعضای تیم ارزیابی :　　کارخانه:

تاریخ ارزیابی :　　واحد :

فرآیند	وظیفه	توصیف وظیفه	تعداد کارمند	مواد شیمیایی	ضریب مخاطره HR

تعیین ضریب مواجهه

فرم ۲a

(این فرم زمانی استفاده می شود که نتایج نمونه برداری از هوا قابل دسترسی است)

فرآیند :

وظیفه :

مواد / پارامتر	ماده شیمیایی اول	ماده شیمیایی دوم	.....
طول مدت مواجهه (D)			
تکرار مواجهه (F)			
شدت مواجهه (نتایج نمونه برداری از هوا) (M)			
ماده شیمیایی با تاثیرات مشابه (Y/N)			
میزان مواجهه (E)			
ضریب مواجهه (ER)			

تعیین ضریب مواجهه

فرم ۲b

(این فرم زمانی استفاده می شود که نتایج نمونه برداری از هوا قابل دسترسی نیست)

فرآیند :

وظیفه :

مواد / پارامتر	ماده شیمیایی اول	ماده شیمیایی دوم	.....
فشار بخار یا اندازه ذرات			
نسبت OT/PEL			
میزان کنترل موجود			
مقدار مورد استفاده در هفته			
ساعات کاری در هفته			
ضریب تماس ER			

گزارش نتایج ارزیابی ریسک

فرم ۳

فرآیند	وظیفه	مواد شیمیایی	ضریب مخاطره (HR)	ضریب مواجهه (ER)	میزان ریسک (RR)	رتبه	رتبه کل

پیوست‌ها

پیوست ۱ ـ تخمین مواجهه پوستی با مایعات

دوز جذبی کلّی روزانهٔ ناشی از جذب پوستی در اثر تماس پوستی با مایعات (D_{dl}) می‌تواند از طریق رابطه زیر محاسبه شود:

$$D_{dl} = \frac{W \times S \times A \times E \times F}{BW} \qquad (۱۴)$$

که در آن :

D_{dl} = دوز جذبی پوستی روزانه ($mg/Kg \cdot day$)

W = ترکیب درصد وزنی ماده در محصول (برای مثال ۰/۱ برای یک حلال ۱۰٪)

S = سرعت جذب پوستی (مقادیر تجربی آن داده می‌شود مانند $mg/cm^2 \cdot hr$ ۰/۳۲)

A = سطحی از پوست که مواجهه داشته (cm^2)

E = طول مدت تماس $\left(\frac{[hr/day][days/yr]}{365\ days/yr}\right)$

F = زمان تماس پوستی (کسری از طول مدت تماس به عنوان مثال $F = 2$ برای ۲۰٪ در تماس پوستی متناوب یا $F = 0.01$ برای تماس‌های پوستی تصادفی)

BW = متوسط وزن بدن کارگر (Kg)

جدول ۸ ـ استاندارد سطح پوست (A) برای یک کرد بزرگسال به صورت زیر است

عضو	سطح استاندارد
بازو(از بیخ شانه تا نوک انگشت) (Arms)	۲۲۸۰ cm^2
بازو(از بیخ شانه تا آرنج) (Upper arms)	۱۴۳۰ cm^2
ساعدها (Forearms)	۱۱۴۰ cm^2
دستها (Hands)	۸۴۰ cm^2
سر (Head)	۱۱۸۰ cm^2

دوز جذبی پوستی بدست آمده می‌تواند با مقادیر دوزهای کشنده ۵۰٪ برا ی جذب پوستی یک ماده شیمیایی خاص مقایسه شود.

مثال:

سرعت جذب پوستی، $0.32\,mg/cm^2 \cdot hr = S$

زمان تماس پوستی، $0.01 = F$ (تماس تصادفی فرض می‌شود)

سطح مواجهه یافته پوست، $1000cm^2 = A$ (تماس روی دست و ساعد فرض شده است)

طول مدت تماس، $4\,hr/day$ برای $30\,day/yr$ $= E$

ترکیب درصد وزنی، $0.9 = W$ (درصد وزنی ماده ۹۰٪ در محصول فرض شده است)

متوسط وزن بدن کارگر، $70Kg = BW$

$$D_{dl} = \frac{W \times S \times A \times E \times F}{BW}$$

$$D_{dl} = \frac{0.9 \times 0.32 \times 1000 \times 4 \times 30 \times 0.01}{70 \times 365} = 0.014\,mg/Kg \cdot day$$

پیوست ۲ ـ طبقه‌بندی مواد سرطانزا از سوی سازمان‌های مختلف

ACGHI – انجمن متخصصین بهداشت صنعتی دولتی آمریکا[۲]

A1 – سرطان زای تائید شده انسانی

A2 – مشکوک به سرطان زایی در انسان

A3 – سرطان زای تائید شده در حیوان

A4 – جزء مواد سرطان زای انسانی نیست

A5 – مشکوک به سرطان زایی در انسان نیست

IARC – آژانس بین المللی تحقیقات سرطان[۳]

گروه 1 – سرطان زای انسانی

گروه 2A – احتمال سرطان زایی در انسان

گروه 2B – امکان سرطان زایی در انسان

NTP – برنامه سم شناسی ملی و خدمات بهداشت عمومی، سازمان بهداشت و خدمات رفاهی ایالات متحده آمریکا[۴]

گروه A – سرطان زای انسانی

گروه B – سرطان زای انسانی به احتمال بالا

[2] American Conference of Governmental Industrial Hygienists
[3] International Agency for Research on Cancer
[4] National Toxicology Program، Public Health Service، U.S. Department of Health and Human Service

پیوست ۳ ـ چک لیست بازرسی

ملاحظات	مشاهدات	سوالات
مواد شیمیایی		
اگر پاسخ این سوالات مثبت است این مواد را به مواد شیمیایی فرم ۱ اضافه کنید		۱ـ آیا مواد شیمیایی اوّلیه و محصولات در سطح کارگاه رها یا پخش شده است؟
		۲ ـ آیا مواد شیمیایی دیگری برای تهیه محصولات دیگری استفاده می‌شود؟
		۳ ـ آیا فرآیند، محصولات جانبی تولید می کند؟
عملیات‌های کاری		
اگر پاسخ مثبت است باید این وظیفه به فرم ۱ اضافه شود.		۱. آیا وظیفه غیر معمولی طی فرآیند صورت می‌گیرد؟
اگر پاسخ هر کدام از این سوالات منفی باشد باید به فکر سایر راه‌های مواجهه بود. سطح ریسک بدست آمده در این راهنما نبایستی به عنوان یک شرایط واقعی در نظر گرفته شود بخاطر اینکه این روش فقط روی مواجهه تنفسی تاکید دارد.		۲. آیا عملیات کاری موجود به صورت صحیح انجام می‌شود؟
		۳. آیا لباس‌ها و تجهیزات حفاظت فردی مناسب استفاده می‌شود؟
		۴. آیا تسهیلات موجود نظیر رخت کن، دستشویی و رستوران در شرایط خوبی نگهداری می‌شوند؟
		۵. آیا اصول خانه داری و نظافت کارگاهی در محل کار رعایت می‌شود؟
اگر پاسخ مثبت است، میزان جذب پوستی را با استفاده از رابطه ۱۴ ارزیابی کنید.		۶. آیا امکان تماس پوستی وجود دارد؟

پیوست ۳ ـ چک لیست بازرسی (ادامه)

ملاحظات	مشاهدات	سوالات
انتشارات آلاینده ها		
اگر پاسخ مثبت است، این می‌تواند به این معنی باشد که کنترل ناکافی است(فرم۲b). اگر ضریب ریسک بعد از ارزیابی پایین بود، راه‌های دیگر مواجهه را مد نظر داشته باشید.		۱ ـ آیا مدرکی حاکی از آلوده سازی وجود دارد؟ به عنوان مثال وجود گرد و غبار یا فیوم در هوا یا روی سطوح، وجود مواد شیمیایی روی پوست یا لباس افراد، احساس بوی مواد شیمیایی، نشتی‌های واضح، ریخت و پاش و ترشح مواد شیمیایی و...
		۲ ـ آیا در کارگرانی که در حال انجام کارند، نشانه‌ای از مواجهه دیده می‌شود؟
		۳ ـ آیا پرونده‌های پزشکی کارگران نتایج غیر عادی نشان می‌دهد؟
اگر پاسخ مثبت بود فرم۲a می‌تواند استفاده شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که آیا اقدامات کنترلی کافی است.		۴ ـ آیا نمونه برداری و پایش هوای در محیط کار انجام می‌شود؟
تعیین مناطق مربوط به آلودگی		
اگر جواب مثبت است آنها را به وظایف درج شده در فرم ۱ اضافه کنید.		۱ ـ آیا کارگرانی وجود دارند که مجبور باشند به صورت مستقیم با مواد شیمیایی تماس داشته باشند یا نزدیک مناطق آلوده کار کنند یا از مناطقی که مواد شیمیایی استفاده، تولید، انبار، منتقل یا دفع شده اند، عبور کنند؟
		۲ ـ آیا کارگران مجبورند که در داخل فضاهای محدودی که ممکن است مواد شیمیایی در آنها وجود داشته باشند، وارد شوند؟
		۳ ـ آیا کارگران کارهایی نظیر تمیزکاری، انجام تعمیرات و کارهای دیگر را در جائیکه احتمال وجود مواد در آنها وجود دارد انجام می‌دهند؟

پیوست ٤ ـ حدود مجاز مواجهه با ترکیبات شیمیایی

لطفا برای کسب جدیدترین اطلاعات به نسخه اینترنتی کتاب "حدود مجاز مواجهه شغلی ۱۳۹۵" منتشره از وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. مرکز سلامت محیط و کار ایران به آدرس زیر مراجعه نمایید:

tosea.mui.ac.ir/sites/tosea.mui.ac.ir/files/files/movajehe-shoghli.pdf

پیوست ٥ ـ آستانه بویایی و غلظت‌های محرک مواد شیمیایی

لطفا به آخرین نسخه آستانه بویایی از سازمان بهداشت حرفه ای کشور آمریکا (AIHA) به تاریخ ۲۰۱۳ مراجعه نمایید:

www.pdo.co.om/hseforcontractors/Health/Documents/HRAs/ODOR%20THRESHOLDS.pdf

پیوست ٦ ـ برنامه حفاظت سیستم تنفسی

موضوعات کلیدی که در تنظیم یک برنامه حفاظت سیستم تنفسی کارگران بایستی مد نظر قرار گیرند عبارتند از:

۱ ـ آیا یک برنامه حفاظت تنفسی مستند وجود دارد؟

۲ ـ آیا ماسک‌های حفاظت تنفسی مورد استفاده مناسب هستند؟

۳ ـ آیا کارگران در رابطه با استفاده و نگهداری ماسک‌های حفاظت تنفسی آموزش لازم را دیده‌اند؟

۴ ـ آیا آزمون‌های ویژه برای تعیین اندازه وسایل حفاظت فردی تنفسی مناسب برای کارگران به صورت دو سال یک‌بار انجام می شود؟

۵ ـ آیا آزمون‌های پزشکی برای تعیین سلامت کارگران استفاده کننده از وسایل حفاظت تنفسی، هر سه سال یک‌بار انجام می‌شود؟

۶ ـ آیا علائمی وجود دارند که استفاده از حفاظ‌های تنفسی را در مناطق بخصوص نشان دهند؟

۷ ـ آیا بازرسی و ارزیابی منظم در مورد استفاده درست از وسایل حفاظت تنفسی وجود دارد؟

۸ ـ آیا وسایل حفاظت تنفسی در شرایط مناسبی نگهداری می شود؟

۹ ـ آیا از وسایل حفاظت تنفسی متصل به سیستم هوارسان استفاده می‌شود؟

۱۰ ـ آیا هوای استفاده شده در سیستم هوارسان، مورد آزمایش و دارای کیفیت مطلوب است؟

منابع استفاده شده برای نگارش این فصل مراجع اطلاعاتی زیر میباشند. نویسندگان این بخش مطالعه مراجع اصلی ارزیابی ریسک را توصیه می‌نمایند.

۱. -حدود مجاز مواجهه شغلی . مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی ایران ویرایش چهارم ۱۳۹۵

.

2. **Department of Occupational Health and Safety. Assessing health risks arising from the use of hazardous chemicals in the workplace. Ministry of Human Resources, Malaysia (2000).**

3. **Health and Safety Executive. COSHH Essentials: Easy Steps to Control Hazardous Substances, The Stationery Office, Norwich (2004).**

4. **International Agency for Research on Cancer (IARC). Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vols 1-76. Lyon, France: World Health Organization (2000).**

5. **International Program on Chemical Safety. International Chemical Safety Cards, Commission of the European Union, Luxembourg.**
www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_113134/lang--en/index.htm

6. **National Toxicology Program. 14th Report on carcinogens. Washington, DC: U.S. Department of Health and health Services, Public Health Services (2018).**
https://ntp.niehs.nih.gov/pubhealth/roc/index-1.html

7. **National Occupational Health and Safety Commission. Guidance note for the assessment of health risks arising from the use of hazardous substances in the workplace. NOHSC:3017 (2004).**

8. **Occupational Health Department. Guidelines for risk Assessment of occupational exposure to harmful chemicals. Ministry of Man Power and Occupational Health Department of Singapore (2005).**

9. **American Industrial Hygiene Association. Odor Thresholds for Chemicals with Established Health Standards, 2nd Edition 2013.**
www.pdo.co.om/hseforcontractors/Health/Documents/HRAs/ODOR%20THRESHOLDS