



NAISL

Quarterly, 2018

Volume 2, Number 1

Pages 57 – 66

Print ISSN: 2588-6401

Online ISSN: 2588-641X

An introduction to basic principles of toxicology and their role in health, safety and environment (HSE)

Ali Partovinia *

Abstract

Toxicology is the science that studies the nature and frequency of toxic substances as well as risk factors for adverse effects of poisonous chemicals. Occupational, industrial and environmental toxicology, are different types of toxicology which have been introduced in this study. Most of chemical compounds have detrimental effect on human and environment and it is worth mentioning that, all chemicals are toxic at some dose and may produce harm if the exposure is sufficient. Therefore, the aim of this paper is to provide a report of the basic principles of toxicology such as different types of toxicity, dose-response curve, lethal dose, margin of safety and safe human dose as well as the risks associated with chemical exposures. This paper has also demonstrated that dose-response curves are useful for comparisons and calculations of chemical substances effects. Thereafter, the effects of chemical interaction such as synergism, potentiation, and antagonism are examined. Finally, in this survey, some of important toxic effects of organic solvents and airborne toxicants are also examined.

Key Words

Safety,
Margin of safety,
Toxicology,
Occupational toxicology,
Toxicology of solvents,
Toxicokinetics

(* Faculty of New Technologies Engineering, Shahid Beheshti University (SBU), Tehran, Iran.
E-mail: a_partovi@sbu.ac.ir
Tel: 09307513317



نشریه رویکردهای نوین در
آزمایشگاه‌های علمی ایران
سال دوم، شماره ۱
صفحات ۵۷ - ۶۶، ۱۳۹۷
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱۸-۲۵۸۸

آشنایی با مبانی و اصول سم‌شناسی و نقش آن در بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست (HSE)

علی پرتوی‌نیا*

سم‌شناسی علمی است که به بررسی ماهیت و فراوانی مواد شیمیایی و ترکیبات سمی و همین‌طور مطالعه فاکتورهای خطر در خصوص اثرات نامساعد و مضر آن‌ها می‌پردازد. سم‌شناسی را بر حسب اینکه در چه رشته‌ای از علوم به کار گرفته شود طبقه‌بندی می‌کنند. در این مقاله، سم‌شناسی محیطی، سم‌شناسی صنعتی و سم‌شناسی شغلی به عنوان طبقه‌ی مهمی از علوم سم‌شناسی معرفی شده‌اند. اغلب مواد شیمیایی عوارض جدی و خطرناکی برای محیط زیست و سلامت افراد به دنبال دارند و هم‌چنین لازم به ذکر است که تمام مواد شیمیایی در یک مقدار و دوز خاص، سمی هستند و در صورتی که زمان تماس با آن‌ها و در معرض قرار گرفتن آن‌ها به اندازه کافی طولانی باشد می‌توانند بسیار خطرناک باشند. بنابراین، هدف اصلی این مطالعه، معرفی اصول اولیه و مبانی سم‌شناسی نظیر انواع مختلف مسمومیت‌ها، منحنی دوز-پاسخ، دوز کشنده، حریم اطمینان، دوز خطرناک و محدوده سمیت مواد شیمیایی برای انسان می‌باشد. این مقاله هم‌چنین به اهمیت منحنی دوز-پاسخ و استفاده از آن برای محاسبات و مقایسه‌های مفید در خصوص اثرات مواد شیمیایی می‌پردازد. در ادامه اثرات تداخلی سمیت مواد شیمیایی مختلف که می‌توانند اثر افزایشی، هم‌نیروبخشی، پتانسیلی و تقابلی داشته باشند، بررسی شده است. در بخش نهایی این مطالعه، برخی از اثرات سمیت قابل توجه حلال‌های آلی و سموم هوابرد نیز ارائه شده است.

چکیده



علی پرتوی‌نیا

واژگان کلیدی

ایمنی،
حریم ایمنی،
سم‌شناسی،
سم‌شناسی شغلی،
سم‌شناسی حلال‌ها،
سینتیک مواد سمی

(* دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی
ایمیل: a_partovi@sbu.ac.ir
تلفن: ۰۹۳۰۷۵۱۳۳۱۷

سم‌شناسی^۱ شاخه‌ای از علوم مختلف نظیر شیمی، زیست‌شناسی، پزشکی، بهداشت است که به بررسی مواد شیمیایی، سموم، داروها، و تأثیرات زیان‌آور عوامل شیمیایی و فیزیکی بر سامانه‌های زنده می‌پردازد. سم^۲ به ماده‌ای اطلاق می‌شود که سبب برهم زدن تعادل حیاتی موجود زنده می‌شود و مصرف و تماس با مقدار جزئی از آن باعث مسمومیت شده و حتی گاهی منجر به مرگ می‌شود. سمومی که از مسیرهای مختلف وارد بدن موجود زنده می‌شوند می‌توانند باعث ایجاد تغییراتی در عملکرد زیستی بافت هدف در موجود زنده شوند که این تغییرات در علم سم‌شناسی مورد بررسی قرار می‌گیرند. با مطالعه سم‌شناسی و بررسی اثرات سوء مواد شیمیایی روی انسان و ارگانسیم‌های زنده می‌توان با مشخص نمودن خطرات ناشی از آن‌ها، راهکارهای لازم برای پیشگیری، ایمنی و همچنین فعالیت‌های درمانی ارائه داد [۵، ۶، ۷، ۱].

امروزه سم‌شناسی را بر حسب اینکه در چه رشته‌ای از علوم به کار گرفته شود طبقه‌بندی می‌کنند.

سم‌شناسی صنعتی^۳، به ارتباط با موادی که فرد به اقتضای شغل خود در معرض آن قرار می‌گیرد می‌پردازد. سم‌شناسی شغلی^۴ علم مطالعه اثرات زیانبار عوامل شیمیایی است که افراد در طول مدت دوره شغلی خود ممکن است در محیط کاری با آن‌ها مواجهه داشته باشند. این نوع اثرات زیانبار ممکن است در بخش‌های مختلف صنعت یا سیستم‌های آزمایشگاهی مشاهده شود. واژه سم‌شناسی شغلی فراگیرتر از سم‌شناسی صنعتی است [۱، ۲، ۳، ۴].

سم‌شناسی محیطی^۵، شاخه‌ای از سم‌شناسی است که به بررسی سموم و آلاینده‌های محیط‌زیست و تغییرات در شرایط محیطی می‌پردازد [۴]. واژه سم‌شناسی محیطی، اولین بار در سال ۱۹۶۹

توسط رنه تراهاث^۶ با ترکیب دو واژه بوم‌شناسی^۷ و سم‌شناسی^۸ مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۹۴ بیان کامل‌تری از سم‌شناسی محیطی مطرح شد که در آن اشاره شده است که سم‌شناسی محیطی عبارتست از مطالعه اثرات بوم‌شناختی و سم‌شناسی آلاینده‌های شیمیایی بر جوامع و زیست‌بوم به همراه بررسی سرنوشت این آلاینده‌ها (شامل انتقال، تغییرات و شکست و تجزیه آن‌ها) در محیط‌زیست. از طرفی افزایش بی‌رویه مواد سنتزی و مصنوعی آلی، ضرورت هرچه بیشتر آشنایی با این مواد و نحوه کار با آن‌ها خصوصاً در حوزه فعالیت‌های آزمایشگاهی را آشکار می‌سازد. در این راستا برآوردها نشان می‌دهد که بیش‌تر از ۱۰ میلیون ماده شیمیایی وجود دارد که بیش از ۶۰۰۰ آن‌ها مورد مصرف عموم بوده و از طرفی سالانه ۵۰۰ ماده شیمیایی جدید به بازار عرضه می‌شود [۱، ۴].

۲ مفاهیم اولیه و مبانی سم‌شناسی

در معرض‌گذاری^۹ سم عبارتست از در معرض قرار گرفتن ارگانیزم یا اندام با سم و دوز^{۱۰} شامل مقدار کل سمی است که در بازه‌های زمانی متفاوت در اختیار ارگانیزم قرار می‌گیرد. برای نمونه ماده شیمیایی استریکنین^{۱۱} که به عنوان آفت‌کش مورد استفاده قرار می‌گیرد، سمی بسیار قوی بوده و ۳۰ میلی‌گرم آن یک دفعه و ۳ میلی‌گرم آن روزانه در مدت زمان ۱۰ روز از راه گوارش کشنده است. مسمومیت^{۱۲} عبارتست از به هم خوردن تعادل فیزیولوژیکی و یا بیوشیمیایی بدن به علت اثر سم که در مسمومیت سیستماتیک تمام اعضای بدن تحت تأثیر قرار می‌گیرند نظیر سیانور، در حالی‌که در نوع دیگر آن یک عضو یا بافت تحت عنوان ارگان هدف^{۱۳} تحت تأثیر قرار می‌گیرد برای مثال ماده شیمیایی بنزن، کلیه‌ها، سیستم خون‌ساز و سیستم عصبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۵، ۶، ۷، ۲، ۴].

^۱Toxicology

^۲Toxicant

^۳Industrial Toxicology

^۴Occupational Toxicology

^۵Environmental Toxicology

^۶Rene Truhaut

^۷Ecology

^۸Toxicology

^۹Exposure

^{۱۰}Dose

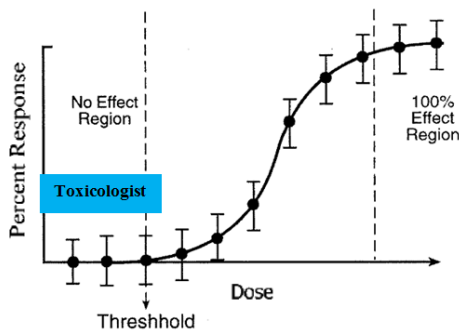
^{۱۱}Strychnine

^{۱۲}Intoxication/Poisoning

^{۱۳}Target organ



به مرگ ۵۰٪ از ارگانیزم‌ها یا موجودات در نمونه مورد بررسی شده است [۵].



شکل ۱: منحنی دوز-پاسخ برای یک ماده شیمیایی [۵]

برخی از سازمان‌ها از دوز کشنده (LD) به عنوان معیاری برای طبقه‌بندی مواد شیمیایی و سموم استفاده کرده‌اند. برای مثال، تقسیم‌بندی مواد برحسب دوز کشنده احتمالی از راه خوراکی برای انسان توسط انجمن بهداشت صنعتی آمریکا (AIHA)^۸ در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: طبقه‌بندی میزان سمیت یک ماده شیمیایی بر اساس میزان دوز کشنده احتمالی از راه خوراکی [۵]

ردیف	طبقه‌بندی سمیت	دوز (mg/kg)
۱	عملاً غیرسمی	> ۱۵۰۰۰
۲	اندکی سمی	۵۰۰۰ - ۱۵۰۰۰
۳	سمیت متوسط	۵۰۰ - ۵۰۰۰
۴	خیلی سمی	۵۰ - ۵۰۰
۵	به شدت سمی	۵ - ۵۰
۶	فوق سمی	< ۵

در جدول ۲، سمیت برخی مواد شیمیایی و دوز کشنده (۵۰) که روی موش صحرایی مطالعه شده است آورده شده است.

۴ تفسیر منحنی‌های دوز-پاسخ و دوز کشنده LD_{۵۰}

نکته قابل توجه و بسیار مهم این است که اگرچه میزان LD_{۵۰} می‌تواند بیانگر اطلاعات مفیدی در خصوص سمیت یک ماده شیمیایی باشد

مسمومیت بر اساس زمان بروز علائم به گروه‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شود که در ادامه به اختصار توضیح داده شده‌اند:

۱. مسمومیت فوق حاد^۱: در این حالت علائم مسمومیت چند ثانیه یا دقیقه بعد از ورود سم به بدن ظاهر شده و مرگ در مدت زمان چند دقیقه تا یک ساعت اتفاق می‌افتد.

۲. مسمومیت حاد^۲: علائم مسمومیت چند دقیقه تا چهار ساعت بعد از ورود سم به بدن مشاهده شده و مرگ در مدت زمان چند ساعت تا چند روز اتفاق می‌افتد. مسمومیت با علف‌کش پاراکوات^۳ و مونواکسید کربن از این نوع است.

۳. مسمومیت تحت حاد^۴: در این حالت سم با مقادیر کم‌تر وارد شده و مرگ پس از چند روز تا چند ماه اتفاق می‌افتد.

۴. مسمومیت مزمن^۵: در این حالت ورود سم با مقادیر جزئی در دفعات متعدد و طی زمان طولانی اتفاق افتاده و مرگ پس از سال‌ها اتفاق می‌افتد نظیر سیلیکوزیس و برونشیت مزمن ناشی از تنفس طولانی مدت بخارهای سیلیس (SiO_۲).

عوامل مؤثر بر سمیت ترکیبات عبارتند از غلظت یا تراکم، مدت زمان تماس، نوع ترکیب، مکانیزم عمل ماده شیمیایی مورد نظر، نوع ورود، جنس، سن، وزن و حساسیت یا مقاومت افراد و موجود زنده [۴، ۵].

۳ منحنی‌های دوز-پاسخ

در شکل ۱ منحنی دوز-پاسخ برای یک ماده شیمیایی فرضی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است تا محدوده‌ای مشخص (NOAEL)^۶، این ماده اثر سمیت نداشته و شناخت این محدوده در سم‌شناسی و استفاده از مواد شیمیایی بسیار حائز اهمیت است. با افزایش دوز ماده، سمیت آن افزایش یافته و جمعیت بیشتری از نمونه‌های مورد بررسی در معرض مسمومیت یا مرگ قرار خواهند گرفت. برای مثال LD_{۵۰}^۷ بیانگر میزان دوزی از ماده است که منجر



^۱Supra acute toxicity
^۲Acute toxicity
^۳Paraquat
^۴Subacute toxicity
^۵Chronic toxicity
^۶No-Observable-Adverse-Effect Level
^۷Lethal Dose
^۸American Industrial Hygiene Association

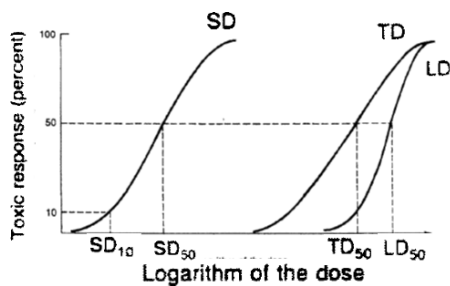
منحنی‌های دوز-پاسخ مربوطه و هم‌چنین استفاده از نتایج آن‌ها برای بررسی اثر سمیت و کشندگی روی انسان باید دقت شود که حساسیت موجودات نیز متفاوت است و باید به عنوان یک عامل در نظر گرفته شود. برای مثال جدول ۳ نتایج LD₅₀ (دوره دوز ۱۳ روز) برای ماده شیمیایی کلروفرم که در صنعت و آزمایشگاه‌ها بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد ارائه شده است [۵، ۶، ۷].

جدول ۳: نتایج LD₅₀ برای ماده شیمیایی کلروفرم در انواع مختلف موش‌های آزمایشگاهی و انسان [۵]

داده‌های دوز کشنده ۵۰ برای کلروفرم (راه دهانی)	
گونه مورد آزمایش	دوز کشنده ۵۰ (mg/kg/day)
خرگوش (Dutch Belted)	۱۰۰
موش (CD-1)	۲۵۰
انسان	۶۰۲
موش صحرایی (Sprague-Dawley)	۹۰۸
موش (Swiss)	۱۱۰۰
موش (ICR-Swiss)	۱۴۰۰
موش صحرایی (Wistar)	۲۱۸۰

برای یک نوع ترکیب شیمیایی مشخص مطابق شکل ۳، سه نوع پاسخ وجود دارد.

۱. منحنی دوز مؤثر (SD) معمولاً جهت بیان اثرات مفید یک ماده مثل تسکین درد بیان می‌شود.
۲. منحنی میزان دوز سمیت (TD) بیانگر اثرات سو یک ماده سمی غیر از مرگ است.
۳. منحنی میزان دوز کشنده (LD) که بیانگر مرگ است.



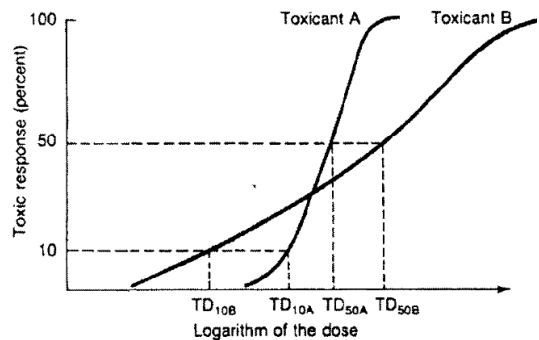
شکل ۳: سه نوع پاسخ برای یک ترکیب شیمیایی مشخص [۴، ۵]

^۱Sentinel doses
^۲Toxic doses
^۳Lethal Doses

اما LD₅₀ شاخص سمیت یک ماده شیمیایی نیست. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است بر اساس میزان دوز کشنده به نظر می‌رسد که ماده A نسبت به B سمی‌تر باشد زیرا LD₅₀ آن کوچک‌تر است و مقدار کم‌تری از آن نسبت به B موجب مسمومیت یا مرگ می‌شود، اما در دوزهای پایین ماده B نسبت به A سمی‌تر خواهد بود. بنابراین نمودارهای دوز-پاسخ می‌توانند برای مقایسه مواد شیمیایی در دوزهای مختلف مورد استفاده قرار گیرند [۴، ۵].

جدول ۲: سمیت نسبی تعدادی از مواد شیمیایی

دوز کشنده ۵۰ برای موش صحرایی با روش ورود ماده شیمیایی از طریق دهانی (mg/kg)		سمیت
۱۴۰۰	الکل	کم‌ترین
-		سمیت
۵۶۰۰	گلایفوزیت	بیش‌ترین سمیت
۳۰۰۰	نمک (کلریدسدیم)	
۱۳۷۵	مالاتیون	
۹۴۵	اسفایت	
۷۵۰	آسپرین	
۳۵۰	آمونیاک	
۳۰۰	دیازونین	
۵۰	نیکوتین	
۰/۹۳	آلدیکارب	
۰/۵۰	مس شلاته شده	
۰/۰۰۰	سم بوتولینوم	بیش‌ترین سمیت
۰/۱		بیش‌ترین سمیت



شکل ۲: منحنی دوز-پاسخ و ارزیابی و مقایسه سمیت مواد مختلف [۵]
از طرفی برای استفاده از مقادیر LD₅₀ یک ماده شیمیایی و



۶ اثرات تداخلی مواد شیمیایی

اثرات سمیت برخی از مواد شیمیایی در حضور برخی دیگر می‌تواند افزایش یابد برای مثال همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است استعمال سیگار در حضور ترکیب آزبست (پنبه نسوز)، سمیت نسبی این مواد را بسیار افزایش می‌دهد.

اثرات تداخلی سمیت مواد مختلف می‌تواند مستقل^۲، هم‌افزایی^۳، پتانسیلی و تقویتی^۴ و تداخلات کاهش‌دهنده^۵ باشد [۱، ۵].

در جدول ۶ اثرات تداخلی سمیت بین آمونیاک و تعدادی از مواد شیمیایی نشان داده شده است. مطابق جدول ۶ زمانی که نسبت مواد مختلف در حضور آمونیاک تغییر می‌کند اثرات سمیت آن‌ها نیز می‌تواند تغییر کند.

جدول ۵: اثرات تداخلی مواد شیمیایی [۱، ۵]

نمایش ریاضی اثرات تداخلی مواد شیمیایی		
نوع تأثیر	سمیت نسبی (فرضی)	مثال
افزایشی	۲+۳=۵	آفت‌کش‌های ارگانوفسفات
هم‌نیروی بخشی	۲+۳=۲۰	آزبست + سیگار کشیدن
پتانسیلی	۲+۰=۱۰	تتراکلرید کربن + الکل
تقابل	۶+۶=۸	تولون + بنزن
	۵+(-۵)=۰	کافئین + الکل
	۱۰+۰=۲	جیوه + ۳-۲ دی‌مرکابتو پروپانول

جدول ۶: اثرات تداخلی سمیت بین آمونیاک و برخی مواد شیمیایی [۵]

اثر تداخلی سمیت بین آمونیاک و دیگر مواد شیمیایی			
مواد شیمیایی	نقطه پایان سمیت	نسبت مواد	نوع اثر تداخلی
آمونیاک + سیانید	غلظت کشنده ۵۰، ۹۶ ساعت	۱:۱	افزایشی
آمونیاک + سولفید	غلظت کشنده ۵۰، ۲۴ ساعت	۱:۲/۲	تقابل
آمونیاک + مس	غلظت کشنده ۵۰، ۴۸ ساعت	۱:۱	افزایشی
	غلظت کشنده ۴۸، ۲۵ ساعت	۱:۱	هم‌نیروی بخشی
	غلظت کشنده ۴۸، ۱۰ ساعت	۱:۱	هم‌نیروی بخشی
آمونیاک + فنل	غلظت کشنده ۵۰، ۲۴ ساعت	۱:۰/۱	تقابل
		۱:۰/۷	افزایشی
آمونیاک + فنل + روی	غلظت کشنده ۵۰، ۴۸ ساعت	۱:۱:۰/۵	افزایشی
		۱:۷:۱	هم‌نیروی بخشی
		۱:۱:۶	تقابل

نکته قابل توجه این است که هرچه فاصله منحنی‌ها از یکدیگر بیش‌تر شود عوارض و سمیت کاهش می‌یابد. حریم اطمینان یا ایمنی^۱ به عنوان یک شاخص برای بیان ایمنی یک دارو مطرح می‌شود که مطابق روابط زیر تعاریف متفاوتی می‌تواند داشته باشد.

$$\text{Margin of safety} = \frac{TD_{50}}{SD_{50}} \text{ یا } \frac{TD_{01}}{SD_{01}}$$

یکی از تعاریف رایج حریم اطمینان (MOS) عبارتست از نسبت دوزی که در محدوده کشندگی (LD_{01}) قرار دارد به دوزی که ۹۹٪ مؤثر است (SD_{99}) یعنی نسبت میزانی که یک نفر را مسموم می‌کند به میزانی که ۹۹ نفر را درمان می‌کند. نکته قابل توجه این است که هرچه حریم اطمینان یا ایمنی یک ماده شیمیایی بیش‌تر باشد در نتیجه سمیت آن کم‌تر خواهد بود [۴، ۵].

۵ عوامل مؤثر بر منحنی‌های دوز-پاسخ

عوامل مختلفی نظیر جنس، سن، نوع ورود ماده شیمیایی به ارگانیزم یا موجود زنده بر منحنی‌های دوز-پاسخ اثرگذار هستند. برای مثال مقادیر LD_{50} برای یک نمونه موش صحرایی آزمایشگاهی جهت بررسی تأثیرات نوع ورود دو ماده شیمیایی در جدول ۴ نشان داده شده است [۵].

جدول ۴: تأثیرات نوع ورود دو ماده شیمیایی [۵]

بررسی تأثیر شیوه ورود ماده شیمیایی بر پاسخ دوز کشنده ۵۰ (mg/kg)		
شیوه ورود ماده شیمیایی	استریکنین	ددت (DDT)
دهانی	۱۶/۲	۴۲۰
زیر پوستی	۳	۱۵۰۰
درون ماهیچه‌ای	۴	-
داخل صفاقی	۱/۴	۱۰۰
داخل وریدی	۱/۱	۴۰
داخل چشمی	-	-
پوستی	-	۳۰۰۰

^۱ Margin of safety

^۲ Additive

^۳ Synergistic

^۴ Potentiation

^۵ Antagonism



۷ محاسبه ایمنی برای آستانه سمیت: رویکرد دوز خطرناک برای انسان

برای محاسبه دوز خطرناک و محدوده سمیت مواد شیمیایی برای انسان، از موجودات و گونه‌های آزمایشگاهی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{SHD} = \frac{\text{NOAEL} = (mg/kg \text{ per day}) \times \gamma \text{ kg}}{\text{UF}}$$

$$= N \text{ mg/day}$$

که در آن NOAEL بیانگر دوزی است که در آن هیچگونه اثر سوئی مشاهده نمی‌شود. ^۱SHD بیانگر دوز بی‌خطر برای انسان و ^۲UF فاکتور عدم قطعیت است که به ذات و اعتبار نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده برای برون‌یابی بستگی دارد که از ۱۰ تا ۱۰۰۰۰ می‌تواند متغیر باشد. N نیز مقدار میلی‌گرم ماده مورد استفاده در واحد روز است. عدد ^۳UF در رابطه بالا نیز وزن یک انسان بالغ در نظر گرفته شده است [۵].

۸ سینتیک مواد سمی^۳

سینتیک مواد سمی به بررسی چگونگی ورود ماده سمی به بدن موجود زنده می‌پردازد. مراحل مختلفی که در سینتیک مواد سمی در نظر گرفته می‌شوند عبارتند از:

۱. جذب، که در آن ماده وارد بدن موجود زنده می‌شود. انواع جذب شامل جذب تنفسی، پوستی و گوارشی می‌شوند که مهم‌ترین راه ورود مواد شیمیایی به بدن در مسمومیت‌های شغلی، راه تنفسی است.

۲. توزیع، در این مرحله ماده پس از ورود به سایر قسمت‌های بدن منتقل می‌شود.

۳. متابولیسم، در این مرحله بدن ماده مورد نظر را توسط واکنش‌های سوخت و ساز به سایر متابولیت‌ها تبدیل می‌کند. در این قسمت، اغلب مواد چربی‌دوست که به سهولت از

غشاءها عبور می‌کنند و به کندی از بدن دفع می‌شوند به مواد هیدروفیل تبدیل شده و در نتیجه دفع آن‌ها به سهولت انجام می‌شود.

۴. تجمع، در این مرحله ماده وارد شده می‌تواند برای مدت زمانی در بخش یا بخش‌های مختلفی از بدن باقی بماند. مثلاً نیمه عمر سرب در خون ۱۴ تا ۲۱ روز و در استخوان‌ها تا ۳۲ سال نیز برآورد شده است.

۵. دفع، در این مرحله ماده مورد نظر یا متابولیت‌های تشکیل شده از بدن خارج خواهند شد. [۴، ۳، ۲، ۱، ۵].

۹ مواد شیمیایی و ایمنی

اغلب مواد شیمیایی عوارض جدی برای محیط زیست و سلامت افراد به دنبال دارند. به منظور توسعه اطلاعات در خصوص مواد شیمیایی به اشتراک‌گذاری آن‌ها، نهاد بین‌المللی در خصوص ایمنی مواد شیمیایی با عنوان IFCS^۴ تشکیل شد که در حال حاضر در خصوص شناسایی ماهیت و کنترل خطرات ناشی از مواد شیمیایی فعالیت دارد [۱].

۱۰ مدیریت ایمنی مواد شیمیایی در محیط کار

ایمنی^۵ عبارتست از میزان درجه دور بودن از خطرات یا در امان بودن از ریسک غیر قابل قبول یک خطر. ریسک^۶ تابعی از احتمال و پیامدهای ناشی از وقوع یک اتفاق خطرناک می‌باشد. از طرفی به احتمال به وجود آمدن آسیب و صدمه از یک خطر معین ریسک می‌گویند. ارزیابی ریسک^۷ به فرآیند کلی برآورد نمودن میزان ریسک و تصمیم‌گیری در خصوص قابل تحمل بودن ریسک، ارزیابی ریسک گفته می‌شود [۵، ۱].

قوانین مربوط به استفاده از مواد شیمیایی در محیط کار بسیار گسترده و متعدد می‌باشند. دو عامل مهم در تعیین خطر مواد شیمیایی ایفای نقش می‌کنند که عبارتند از:

^۱Safe Human Dose

^۲Uncertainty Factor

^۳Toxicokinetics

^۴Intergovernmental Forum on Chemical Safety

^۵Safety

^۶Risk

^۷Risk assessment



مقالات علمی

منجر به خفگی افراد شوند. در صورت کاهش میزان اکسیژن در بخش فوقانی دستگاه تنفسی به کم‌تر از ۱۰ تا ۱۲ درصد، افراد دچار خفگی ساده خواهند شد [۱، ۲، ۳].

سمیت حلال‌ها به میزان توانایی آن‌ها در حل نمودن ترکیبات چرب وابسته می‌باشد. حلال‌هایی که به مقدار زیاد چربی‌دوست هستند قابلیت این را دارند که در چربی‌ها یا بافت‌هایی که حاوی مقادیر زیادی چربی هستند تجمع یابند. اختلال در فعالیت سیستم اعصاب مرکزی، اولین اثر سمی که برای حلال‌ها در نظر گرفته‌اند می‌باشد. خاصیت مختل‌کنندگی فعالیت سیستم اعصاب مرکزی یک ترکیب آلی، با هالوژناسیون آن به مقدار زیاد و با افزودن گروه‌های الکلی به آن به میزان کم‌تر، افزایش می‌یابد.

اثرات گروه‌های عاملی را از منظر ایجاد اختلال در سیستم اعصاب مرکزی می‌توان به صورت زیر دانست:

اسیدهای آلی > استرها > اترها > ترکیبات هالوژنه
آلکان‌ها > آلکن > الکل‌ها

علائم و نشانه‌های افسردگی عصبی ناشی از حلال‌ها به صورت سردرد، تهوع، استفراغ، سرگیجه و خواب‌آلودگی است و در صورت ادامه مواجهه بیشتر با حلال، از دست رفتن هوشیاری و مرگ به علت نارسایی تنفسی رخ می‌دهد. دومین اثر قابل توجه حلال‌های آلی تحریک پوست و غشاء است و تقریباً ۲۰٪ التهاب‌های پوستی شغلی ناشی از حلال‌ها است. خواص تحریک‌کنندگی حلال‌های آلی را می‌توان بر حسب گروه‌های عاملی به صورت زیر مطرح نمود.

آلکان‌ها > الکل‌ها > آلدئیدها و کتون‌ها > اسیدهای آلی > آمین‌ها
تعدادی از حلال‌ها باعث واکنش‌های حساسیت‌زا پوست می‌شود که از این میان می‌توان به ترپنتین و فرمالدئید اشاره نمود. فرمالدئید یک محرک قوی است و اثرات موضعی آن بیش‌تر از اثرات سیستمیک حائز اهمیت است. ارتباط بین غلظت و اثرات تحریکی آن توسط آکادمی ملی علوم در سال ۱۹۸۱ تنظیم شده که در جدول ۸ نشان داده شده است [۱، ۳].

۱. خواص ذاتی ماده نظیر سمیت، اشتعال‌پذیری، خوردگی.

۲. فاکتورهای مرتبط با مواجهه نظیر احتمال، مدت زمان، دفعات تکرار، شدت.

شناسایی مواد شیمیایی خطرناک شامل تعیین ضوابطی که براساس آن‌ها مواد شیمیایی خطرناک تشخیص داده می‌شوند. تعیین الزامات سیستم اطلاع‌رسانی خطرات مواد شیمیایی مانند برچسب‌گذاری یا تهیه اطلاعات ایمنی مواد شیمیایی (MSDS) و الزامات مربوط به آموزش مناسب افراد. اجزای اصلی یک سیستم مدیریت ایمنی مواد شیمیایی عبارتند از شناسایی مواد سمی و خطرناک، موارد اورژانسی مربوط به مواد شیمیایی، حوادث محتمل در خصوص مواد شیمیایی و بازتوانی و بهبود افراد آسیب‌دیده [۱].

در جدول ۷ رویکردهای مربوط به ایمنی مواد شیمیایی ارائه شده است.

جدول ۷: رویکردهای مربوط به ایمنی مواد شیمیایی [۱]

هیچ سطحی از خطر قابل قبول نمی‌باشد.	مواد شیمیایی ممنوعه
ارزیابی اجباری همه مواد شیمیایی	بررسی و کنترل همه مواد شیمیایی
ارزیابی مواد شیمیایی مشکوک	غربالگری همه مواد شیمیایی
تعیین حدود مجاز مواجهه	مجوز مصرف مواد شیمیایی

شناسایی همه مواد شیمیایی سمی و خطرناک در محیط کار و آزمایشگاه و جمع‌آوری اطلاعات در این خصوص از موارد مهم در ارزیابی خطر مواد شیمیایی است [۱].

۱۱ سم‌شناسی حلال‌ها

اصولاً حلال‌های آلی ترکیبات خطرناکی هستند و از دو دیدگاه خطرات ایمنی و خطرات سمیت قابل بررسی هستند. حلال‌ها از منظر خطرات ایمنی، خطر اشتعال‌زایی دارند. نقطه اشتعال حلال‌های آلی بسیار پایین بوده و به راحتی آتش می‌گیرند. یکی از دلایل اصلی گسترش استفاده از حلال‌های کلرینه، بالا بودن نقطه اشتعال این حلال‌ها در شرایط عادی است. در طبقه‌بندی خطر آتش‌زایی حلال‌ها، حلالی که نقطه اشتعال آن‌ها کم‌تر از ۶۱ درجه سانتی‌گراد است کاملاً خطرناک هستند. در بحث خطرات سمیت می‌توان به خطر تبخیر شدن حلال‌ها اشاره نمود که این عامل باعث تبخیر حلال در محیط کاری و آزمایشگاه می‌شود. از طرفی فشار بخار حلال‌های آلی به اندازه‌ای زیاد است که بتواند اکسیژن را از محیط حذف نماید و در تماس‌های خیلی شدید



جدول ۸: ارتباط بین غلظت و اثرات تحریکی فرمالدئید [۳]

غلظت (ppm)	اثرات
۰/۰۵-۱/۵	آستانه بویایی
۰/۰۵-۲	سوزش و تحریک چشم
۰/۱-۲۵	تحریک بخش فوقانی دستگاه تنفسی
۵-۳۰	تحریک بخش فوقانی دستگاه تنفسی
۳۰-۱۰۰	ادم و التهاب ریه
۱۰۰	مرگ

آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC)^۱، عوامل سرطانزا را به چهار گروه

۱ عواملی که برای انسان قطعاً سرطانزا می‌باشند؛

۲A عواملی که برای انسان احتمالاً سرطانزا می‌باشند؛

۲B عواملی که می‌توانند برای انسان سرطانزا باشند؛

۳ عواملی که به عنوان سرطانزا برای انسان دسته‌بندی نشده‌اند؛

۴ عواملی که احتمالاً برای انسان سرطانزا نمی‌باشند

تقسیم‌بندی نموده است. در جدول ۹ برخی از حلال‌هایی که توسط IARC ارزیابی شده‌اند ارائه شده است [۱].

به‌طور کلی می‌توان گفت که حلال‌ها، یک گروه پر مصرف و نسبتاً وسیعی از مواد شیمیایی می‌باشند که در غلظت‌های بالا می‌توانند باعث سمیت در محیط‌های کاری و آزمایشگاهی شوند. از این رو به دست آوردن اطلاعات عمومی در خصوص خطرات و عوارض سمی حلال‌ها به عنوان یک گروه پر کاربرد، اجرای سیستم برجسب‌گذاری استاندارد برای حلال‌ها و داشتن برگه اطلاعات ایمنی مواد شیمیایی (MSDS) ضروری است [۱، ۲، ۳].

جدول ۹: طبقه‌بندی برخی حلال‌ها توسط IARC [۱]

گروه	حلال
۲B	اکریلونیتریل
۱	بنزن
۳	بروموفرم
۲B	تتراکلریدکربن
۲B	کلروفرم
۱	بیس-کلرومتیل اتر
۳	سیکلوهگزانون
۲B	۱و۲-دی کلرواتان
۲B	دی کلرومتان
۲B	۱و۲-دی کلروپروپان
۳	دی متیل فرم آمید
۳	دی متیل سولفید
۲B	۱،۳-دی‌اکسان
۱	اتانول
۲B	اتیل اکریلات
۳	اتیلن
۲A	فرمالدئید
۳	پراکسید هیدروژن
۳	متیل اکریلات
۳	متیل کلراید
۳	مونومر متیل متاکریلات
۱	روغن‌های معدنی
۲B	استایرن
۲A	تتراکلرواتیلن
۳	تولوئن
۳	۱و۱-تری کلرواتان
۳	۱و۲-تری کلرواتان
۲A	تری کلرواتیلن
۱	مونومر وینیل کلراید
۳	زایلین

۱۲ سم‌شناسی گازی و آلاینده‌های هوا برد

آلاینده‌های هوا برد از مهم‌ترین خطرات ایمنی و بهداشتی در محیط‌های کاری و آزمایشگاهی هستند. این آلاینده‌ها در صورت تماس با سیستم تنفسی می‌توانند باعث بروز مشکلات جدی شوند که به فاکتورهایی متعددی نظیر اندازه آلاینده استنشاق شده، میزان حلالیت، واکنش‌پذیری، شرایط مواجهه، شرایط ایونولوژیک بدن بستگی دارد. در

^۱International Association for Research on Cancer



مقالات علمی

محیط‌های کاری و آزمایشگاهی، امکان مواجهه با تعداد قابل توجهی از گازها وجود دارد که اثرات آن‌ها به ۴ گروه گازهای خفگی آور، محرک، حساسیت‌زا و سمی تقسیم می‌شوند. برای مثال گازهای خفگی آور گازهایی هستند که با داشتن اثر شیمیایی یا از حمل اکسیژن توسط خون جلوگیری می‌کنند یا اینکه اجازه مصرف اکسیژن را نمی‌دهند [۱، ۲، ۳].

در جدول ۱۰ برخی از گازها و بخارات به همراه اندام‌هایی از بدن که تحت تأثیر قرار می‌گیرند آورده شده است.

جدول ۱۰: برخی از گازها و بخارات به همراه اندام‌های هدف [۱]

سیستم هدف	نوع اثر	منال‌ها
دستگاه تنفسی	تحریکی	گاز کلر، آمونیاک، اکسیدهای نیتروژن، دی و تری اکسید گوگرد، گاز فلوئور، گاز فسفین، فسژن، فرمالدئید، آکرولین
خورندگی خفگی ساده	خورندگی	بخارات اسید هیدروژن، متان، هلیوم، آرگون، نئون، اتیلن، اتان
خفگی سمی	حساسیت‌زایی	مونواکسید کربن، سیانید هیدروژن، سولفید هیدروژن، ایزوسیانات‌ها، آمین‌ها
اعصاب مرکزی		دی‌سولفید کربن، هیدروکربن‌های خطی، بخار حلال‌ها
خون‌ساز	سرطان‌زایی	آرسین، ونیل‌کلراید، نیکل کربونیل، فرمالدئید

روش مطمئنی نیست. لازم به ذکر است که بر اساس گزارش‌های موجود مواجهه با گاز H_2S منجر به مسمومیت و مرگ کارگران در فاضلاب‌ها، محل‌های استخراج و پالایشگاه‌های نفت و گاز شده است.

به طور کلی می‌توان گفت که آلاینده‌های گازی بسیار متنوع بوده و در دو دسته گازها-بخارات و ذرات معلق دسته‌بندی می‌شوند. شناخت این دسته از آلاینده‌ها در محیط‌های شغلی و آزمایشگاهی بسیار حائز اهمیت است [۱، ۲، ۳].

۱۳ نتیجه‌گیری

هدف اولیه و اصلی علم سم‌شناسی، خصوصاً سم‌شناسی شغلی، حفظ سلامت افراد است و در این راستا استفاده از اطلاعات سم‌شناسی یکی از اصول مهم در دستیابی به این هدف است. افراد ممکن است در طی تهیه، تولید یا بسته‌بندی مواد شیمیایی یا به واسطه استفاده از آن‌ها در محیط‌های کاری و شغلی، در معرض تماس با آن‌ها قرار بگیرند. بنابراین مطالعه سم‌شناسی و تحقیقات در زمینه سمیت مواد شیمیایی منجر به تعریف یک سطح از مواجهه (غلظت) می‌شود که در آن هیچ اثر سمی مشاهده نشود. به طور کلی می‌توان گفت سم‌شناسی در واقع ابزار اصلی در تعیین استانداردهای مواجهه در محیط کار برای افراد می‌باشد.

مراجع

[۱] ابراهیم نجف‌آبادی، کریم، شاه‌طاهری، سیدجمال‌الدین و قاضی خوانساری، محمود (۱۳۹۲). سم‌شناسی شغلی. تهران: انتشارات خسروی.

[۲] ثنایی، غلامحسین (۱۳۸۸). سم‌شناسی صنعتی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۳] حاجی قاسم‌خان، علیرضا (۱۳۹۰). سم‌شناسی صنعتی. تهران: انتشارات برای فردا.

[۴] دهقانی، روح‌الله (۱۳۸۹). سم‌شناسی محیط. تهران: انتشارات تکدرخت.

[5] Roberts, S. M., James, R. C. & Williams, P. L. (2000). Principles of Toxicology, Environmental and Industrial Applications. John Wiley & Sons.

[6] Shaw, I. & Chadwick, J. (2002). Principles of Environmental Toxicology. Taylor & Francis.

[7] Speegle M. (2013). Safety, Health, and Environmental Concepts for the Process Industry. Delmar, Cengage Learning.

^۱Hydrogen sulfide

از جمله گازهای خفگی آور ساده می‌توان به گازهای نادر، ازت و بخارات آب اشاره نمود. حضور دی‌اکسید کربن در هوا نیز باعث تحریک دستگاه تنفس می‌گردد. در صورتیکه غلظت ۲٪ آن ۵٪ تعداد تنفس را افزایش می‌دهد و میزان ۱۰٪ آن باعث گیجی، ضعف و سردرد می‌شود [۱، ۳].

سولفید هیدروژن^۱ گازی است بی‌رنگ، سمی و آتشگیر که بوی آن شبیه به بوی تخم مرغ فاسد است. اسید سولفیدریک، هیدروژن سولفور، هیدروسولفوریک اسید، گاز فاضلاب، گاز ترش و گاز مرداب از دیگر نام‌های این گاز است. در آزمایشگاه گاز سولفید هیدروژن را از واکنش هیدروکلریک اسید با سولفید آهن II به دست می‌آورند. در غلظت کم در حدود ۸ ppm^۱ می‌توان به آسانی بوی آن را حس کرد اما تماس یا غلظت‌های بیش‌تر از ۱۵ ppm^۱ باعث عدم تشخیص بوی آن می‌شود. بنابراین استفاده از روش بویایی برای تشخیص این گاز

