



ORIGINAL RESEARCH PAPER

The role and importance of observing safety principles in laboratory work

Jafar Azamat ^{1,*}

¹ Department of Chemistry Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran

*Corresponding author: (✉) j.azamat@cfu.ac.ir

ABSTRACT

Keywords:

safety equipment,
safety tips in the
laboratory,
safety principles,
green chemistry.

The significance of practical work in various industries has made the importance of the laboratory work and familiarity with working in such environments, as well as the properties of different chemicals in life more tangible. Practical work in the laboratory plays a significant role in various areas such as oil, petrochemical, mineral, chemical, and pharmaceutical industries. On the other hand, health and safety is an issue that anyone working in a laboratory environment should attend to. Prevention of accidents and proper storage of materials, right use of chemicals during testing, and paying attention to the principles of green chemistry are all important things that must be followed in order to prevent the problems that may harm one's health. The use of explosives or flammable substances or mixtures is common in chemical laboratories and industrial centres. Lack of knowledge about the possible dangers of these types of materials often leads to explosions or fires, but they can be prevented by following safety precautions. A large number of chemical compounds that we deal with in laboratories are toxic. As a result, accuracy and safety are very important in order to prevent the entry of toxic foreign substances into the body. Therefore, in this article, an attempt has been made to look at this issue from a different point of view, so that it may bear useful implications for this field.

Received: 17 October 2023

Revised: 15 November 2023

Accepted: 21 January 2024

Published online: 01 February 2024

PP: 30-42

ISSN (Online): [2717-2279](https://doi.org/10.48310/CHEMEDU.2024.15073.1134)

Citation: Azamat, J. (2024). The role and importance of observing safety principles in laboratory work. *Research in Chemistry Education*, 5(4), 30-42.

 <https://doi.org/10.48310/CHEMEDU.2024.15073.1134>



پژوهش در آموزش شیمی، سال پنجم، شماره چهارم، صفحات ۳۰-۴۲



پژوهش در آموزش شیمی

<https://chemedu.cfu.ac.ir>


مقاله پژوهشی

نقش و اهمیت رعایت اصول ایمنی در کارهای آزمایشگاهی

جعفر عظمت^۱ ^۱ گروه آموزش شیمی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۱۴۶۶۵-۱۸۱۹ تهران، ایران.* نویسنده مسئول: j.azamat@cfu.ac.ir

چکیده

اهمیت و جایگاه کارهای عملی در صنایع مختلف باعث شده است که اهمیت کارهای آزمایشگاهی و آشنایی با نحوه کار در آن محیط و نیز آشنایی با خواص مواد شیمیایی مختلف در زندگی، ملموس تر گردد. کارهای عملی در آزمایشگاه در صنایع گوناگون همچون نفت، پتروشیمی، صنایع معدنی، شیمیایی و دارویی نقش بسزایی دارد. از سوی دیگر سلامتی و رعایت نکات ایمنی موضوعی است که هر فردی که در محیط آزمایشگاهی کار می کند، باید به آن توجه داشته باشد. پیشگیری از حوادث و نگهداری صحیح از مواد، درست استفاده نمودن از مواد شیمیایی در هنگام آزمایش و توجه به اصول دوازده گانه شیمی سبز از موارد مهمی است که باید رعایت شود تا از بروز مشکلاتی که ممکن است به سلامتی فرد آسیب برساند، جلوگیری شود. استفاده از مواد یا مخلوط های انفجار پذیر یا آتش زا در آزمایشگاه های شیمی و مراکز صنعتی رایج است. عدم اطلاع از خطرهای احتمالی این نوع مواد، اغلب به انفجار یا آتش سوزی منجر می شود، ولی می توان با رعایت نکات ایمنی از آنها جلوگیری کرد. تعداد بسیار زیادی از ترکیبات شیمیایی که در آزمایشگاه ها با آن ها سر و کار داریم سمی اند. در نتیجه دقت و ایمنی به منظور جلوگیری از ورود مواد خارجی سمی به بدن اهمیت به سزایی دارد. لذا بر این اساس در این مقاله سعی شده است تا با دیدی متفاوت به این موضوع نگاه شود تا شاید بتواند در این زمینه مثر ثمر واقع شود.

واژه های کلیدی:

تجهیزات ایمنی،
نکات ایمنی در آزمایشگاه،
اصول ایمنی،
شیمی سبز.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲

شماره صفحات: ۳۰-۴۲

شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۲۷۹



ارجاع: عظمت، جعفر (۱۴۰۲). نقش و اهمیت رعایت اصول ایمنی در کارهای آزمایشگاهی. پژوهش در آموزش شیمی، (۴) ۵، ۳۰-۴۲.

<https://doi.org/10.48310/CHEMEDU.2024.15073.1134>

مقدمه

اهمیت تجربه فردی دانش آموزان و دانشجویان در درک مفاهیم علوم تجربی بر کسی پوشیده نیست. انجام آزمایش در حضور دانش آموزان و دانشجویان انجام می‌گردد و همین امر باعث می‌شود درهای خلاقیت و کاربرد دانش بر روی آن‌ها باز شود. یادگیری زمانی می‌تواند معنادار باشد که روش‌های فعال یاددهی و یادگیری به عنوان ابزاری به کار گرفته شود تا زمینه تغییرات مطلوب در فراگیران فراهم آید. بدون شک با به کارگیری این روش‌ها می‌توان زمینه درگیری علمی، ادبی، عاطفی، سازگاری، خلاقیت، بلوغ فکری و مسئولیت پذیری را در دانش آموزان و دانشجویان فراهم آورد و همزمان با آن نیز حس اعتماد به نفس آن‌ها را در جهت یادگیری تقویت کرد (Wood-Black, 2019).

فعالیت و پژوهش در آزمایشگاه یکی از عوامل اصلی در آموزش هرچه بهتر شیمی است. زیرا فعالیت‌های آزمایشگاهی، دانش و مهارت فراگیران را افزایش می‌دهد و باعث تثبیت یادگیری موضوعات و افزایش میزان ماندگاری مفاهیم آموخته شده در آن‌ها می‌شود (Yu, 2023). همچنین سبب دست‌ورزی و کسب مهارت‌هایی می‌شود که در زندگی روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرد و زمینه‌های نوآوری، خلاقیت و تفکر انتقادی را در فراگیران فراهم می‌سازد (Motalifu, 2022). اجرای فعالیت‌های آزمایشگاهی چه در مدارس و چه در دانشگاه‌ها کاملاً اساسی و ضروری است، زیرا باعث فهم و درک دانشجویان و دانش آموزان و رفع سوالات احتمالی آن‌ها می‌شود (Lestari, 2016). با وجود ضرورت حضور فراگیران در آزمایشگاه، در عین حال آسیب‌های جدی در آزمایشگاه‌های شیمی وجود دارد (Brewster, 2023). همه افرادی که در آزمایشگاه فعالیت می‌کنند، باید طوری عمل کنند که ایمنی را برای خود و همکاران خود فراهم سازند. هنگامی که با مواد شیمیایی مختلف کار می‌شود، امکان بروز حوادث مختلف نظیر تماس پوستی و استنشام و یا ریخته شدن مواد در محیط وجود دارد، بنابراین بسیار مهم است که بدانیم در مقابله با این حوادث چگونه باید عمل نمود. اطلاعات لازم را برای این منظور در برگه‌هایی به نام برگه‌های اطلاعات ایمنی مواد جمع آوری می‌گردد که در موارد اضطراری می‌توان از آن‌ها استفاده کرد (Bishoff, 2010).

روش

پژوهش پیش رو بر نقش و اهمیت نکات ایمنی در آزمایشگاه شیمی در زمان آموزش، تدریس و فعالیت آزمایشگاهی شیمی تاکید دارد. هدف از رعایت نکات ایمنی در آزمایشگاه‌ها جلوگیری از بروز حادثه، قبل از وقوع آن است. با توجه به مطالب بررسی شده در این مقاله، توجه به این نکته ضروری است که در آزمایشگاه‌ها به دلیل ماهیت آن، احتمال مواجهه افراد با مواد شیمیایی سمی و سرطان زا بسیار زیاد می‌باشد و خطرات عدیده‌ای می‌تواند افراد حاضر در آن را تهدید کند. با آموزش و رعایت اصول ایمنی و فضایی مناسب می‌توان تا حد زیادی از برخی خطرات جلوگیری نمود و سلامت و ایمنی کارکنان را افزایش داد. بر این اساس، در این مقاله در نظر داریم که اصول اساسی ایمنی و سلامت در آزمایشگاه را مورد بررسی قرار دهیم تا معلمان، دانش آموزان و دیگر دست‌اندرکاران بتوانند در شناسایی خطرها و آمادگی برای رویارویی با آنها دید بهتری داشته باشند.

یافته‌ها

منظور از ایمنی شیمیایی، پیشگیری از اثرهای نامطلوب کوتاه‌مدت و بلندمدت در مراحل مختلف از جمله تولید، ذخیره‌سازی، حمل و نقل، استفاده و دفع مواد شیمیایی برای انسان و محیط زیست است (Sirinides, 2023). فضای آزمایشگاه‌های مدارس می‌تواند به دلیل وجود مواد شیمیایی سمی برای معلمان و دانش آموزان ناایمن باشد. بنابراین استفاده از مواد شیمیایی نیاز به آگاهی از عواملی دارد که مواد شیمیایی را خطرناک می‌سازد. برای حفظ امنیت، فرد باید درباره ایمنی به خوبی آموزش ببیند. شاید برخی معلمان در مدارس، دانش کافی در مورد ایمنی مواد شیمیایی را نداشته باشند. در مراکز دانشگاهی بجز توجه به مسائل مربوط به محیط زیست، توجه کمتری به ایمنی شده است، در حالی که در بخش‌های صنعتی برای مدیریت مواد شیمیایی و ایمنی تلاش بیشتری شده است (Sun, 2021).

دستیابی به توسعه پایدار نیازمند مدیریت مواد شیمیایی است. هدف از مدیریت صحیح مواد شیمیایی یا ایمنی شیمیایی، حفظ سلامت انسان و پیشگیری از اثر مواد شیمیایی بر محیط زیست است. این امر محقق نمی‌شود مگر اینکه در جهت افزایش آگاهی، پیشگیری، کنترل و مدیریت مواد شیمیایی اقدام شود. بسیاری از آزمایشگاه‌های موجود در مدارس کشورمان از متصدی آزمایشگاه بی‌بهره‌اند و توسط خود معلمان اداره می‌شوند. نبود دستورکار یا مرجعی خاص برای راهنمایی معلمان و دانش‌آموزان سبب شده است که بسیاری از اصول ساده ولی اساسی در آزمایشگاه‌های مدارس رعایت نشوند. اصولاً بایستی آزمایشگاه مدرسه شامل تمامی امکانات، تجهیزات و مواد موجود در آزمایشگاه‌های استاندارد باشند و اطمینان یافتن از اینکه زیرساخت‌های موجود در آزمایشگاه مدرسه در شرایط خوبی قرار دارد و استفاده از آنها ایمن است، نکته بسیار مهمی است. این بخش از اصول ایمنی بیشتر متوجه معلمان و مسئولان آزمایشگاه است که وظیفه مهمی در حفظ سلامت و ایمنی دانش‌آموزان و همچنین آموزش این اصول به آنان بر عهده دارند (Asiry, 2019).

بررسی نکات مهم در آزمایشگاه

تمامی کسانی که قصد انجام فعالیت‌های عملی آزمایشگاهی را دارند، اعم از دانش‌آموزان، دانشجویان و مربیان و متصدیان آزمایشگاه باید نکات مهم زیر را هنگام حضور در آزمایشگاه رعایت کنند و مسلماً عدم رعایت این نکات می‌تواند منجر به اتفاقات ناگواری در آزمایشگاه شود:

- بدون روپوش، دستکش، ماسک، و عینک، آزمایش انجام ندهیم.
- شیلنگ‌های آب و گاز را هرگز بدون بست استفاده نکنیم.
- هرگز از وسایل معیوب و شکسته استفاده نکنیم.
- حتماً به هرگونه ظرف حاوی مواد و محلول‌ها برچسب مناسب را الصاق نماییم.
- هرگز آزمایش در حال اجرا را بدون مراقبت رها نکنیم.
- خطرات موجود در آزمایشگاه را شناسایی کرده و روش‌های مقابله با آنها را بیاموزیم.
- محل کپسول‌های آتش‌نشانی را شناسایی و روش استفاده از آنها را بیاموزیم.
- با علائم و هشدارهای ایمنی آشنا شویم.

در کل باید بخاطر داشته باشیم که در کارهای آزمایشگاهی عدم رعایت هر کدام از نکات ساده بالا، می‌تواند منجر به حادثه جبران ناپذیری گردد. حوادثی که شاید خیلی دور از ذهن باشند، اما بعد از وقوع، فرصتی برای جبران نخواهد بود.

لوازم و تجهیزات ایمنی لازم در آزمایشگاه

رعایت نکات ایمنی و افزایش دانش ایمنی معلمان، دانش‌آموزان و دست‌اندرکاران باید همراه با بهبود تجهیزات و لوازم ایمنی باشد. حمایت مالی آموزش و پرورش برای تجهیز آزمایشگاه‌های مدارس برای ابزار و تجهیزات ایمنی می‌تواند در کنار آموزش اصول ایمنی به دانش‌آموزان، معلمان و کارکنان گام بزرگی برای بهبود وضع ایمنی در آزمایشگاه‌های مدارس باشد. رعایت و توجه به موارد زیر می‌تواند تا حد زیادی از بروز خطرات جدی بکاهد (Barkley, 2007):

- ابعاد آزمایشگاه باید متناسب با تجهیزات فیزیکی موجود در آن و دارای تهویه با کیفیت باشد.
- هود و سینک آزمایشگاهی مناسب، به تعداد کافی در آزمایشگاه ایجاد شده باشد.
- کپسول‌های آتش‌نشانی برای فرونشاندن آتش در آزمایشگاه‌ها موجود باشند.

- اسپیل کیت که امروزه در بسیاری از آزمایشگاه‌ها وجود دارد و باعث مهار، جذب، جمع‌آوری و خنثی‌سازی مایع‌های شیمیایی ریخته شده به روشی آسان، سریع و بدون نیاز به استفاده از آب و رقیق کردن، می‌شود و مایع‌های ریخته شده را تبدیل به پسماند جامد و قابل جمع‌آوری می‌کند.
- در هر آزمایشگاه باید دوش و محل شست‌وشوی چشم نصب شود.
- جعبه کمک‌های اولیه در آزمایشگاه موجود باشد.
- کلید اصلی برق جلوی آزمایشگاه و در دسترس باشد.
- شیر اصلی گاز جلوی آزمایشگاه و در دسترس باشد.
- همه آزمایش‌هایی که نیازمند استفاده از مواد شیمیایی فرار هستند، باید زیر هود انجام شوند. در واکنش‌هایی که ممکن است در نتیجه آنها بخار، دود یا غبار شیمیایی سمی ایجاد شود استفاده از هود ضروری است.
- تمام اتصالات برق باید یک اتصال به زمین و یک پریز برق سه شاخه داشته باشند.
- همه افراد هنگام نزدیک شدن به مواد شیمیایی و تجهیزاتی که احتمال ایجاد خطر برای چشم دارند باید از عینک‌های ایمنی محافظ استفاده کنند.
- روپوش آزمایشگاه که باید از جنس مناسب، غیرقابل اشتعال و به اندازه کافی بلند باشد و از گردن تا زانو را بپوشاند.
- هیچ دستکشی برای تمام شرایط آزمایشگاهی مناسب نیست و بایستی در موقعیت‌های مختلف از دستکش مخصوص استفاده شود. مثلاً هنگام کار کردن با مایع‌های خورنده باید از دستکش‌های مقاوم در برابر خوردگی استفاده کرد. دستکش‌ها باید در برابر نفوذ مواد شیمیایی حساسیت‌زا و سمی مقاوم باشد. در استفاده از حلال‌های مختلف و مواد خورنده باید دستکش مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

رفتارها و عادت‌های فردی ایمن در آزمایشگاه

وجود لوازم و تجهیزات ایمنی کافی و شرایط چیدمان، نگهداری، ذخیره‌سازی و دفع مناسب ضایعات شیمیایی برای ایمن بودن در آزمایشگاه کافی نیست. دانش‌آموزان و کارکنان باید درک درستی از شرایط آزمایشگاه و نحوه کار کردن در آن را داشته باشند و در زمینه خطرهای احتمالی و اقدامات ضروری برای رفع آن‌ها آموزش ببینند. آزمایشگاه‌های شیمی با وجود خطرهای بالقوه موجود، لزوماً مکان‌های خطرناکی نیستند، به شرط آن‌که کارکنان آن برخی نکات ابتدایی را رعایت کنند و رفتاری معقول و هوشیار داشته باشند (Gibson, 2014). در آزمایشگاه شیمی کار هر چه باشد، تعیین سرپرست برای آن الزامی است. البته، رعایت احتیاط و ایمنی، مسئولیت هر شخصی است که در آزمایشگاه کار می‌کند. در صورتی که در ایمنی آزمایش پیشنهاد شده‌ای تردید باشد بهتر است از راهنمایی‌های فردی با تجربه استفاده شود. همه کارکنان باید نسبت به کار خود مسئول باشند. آن‌ها باید همواره از آنچه در اطرافشان می‌گذرد و خطرهای ممکن که چه در ارتباط با کار دیگران و چه در ارتباط با آزمایش‌های خودشان موجود است، آگاه باشند. حوادث آزمایشگاهی اغلب به آن جهت رخ می‌دهد که برای به دست آوردن نتیجه بیش از حد عجله می‌شود. لذا کارکنان آزمایشگاه باید در مورد کاری که انجام می‌دهند، برخوردی عاقلانه، با احتیاط و منظم داشته باشند. به ویژه تمرکز در کار و حواس پرت نبودن توصیه می‌شود. به همین طریق حواس پرتی دیگران را نیز باید تذکر داد. در مورد آزمایش‌ها و عملیات رایج باید توجه داشت که آشنایی زیاد باعث کم شدن احتیاط نشود و با این احساس که «برای من اتفاقی نخواهد افتاد» مبارزه شود.

هیچ‌کس نباید در آزمایشگاه بدون روپوش بلند اجازه کار داشته باشد. رنگ سفید به دلیل این که چرک و لکه به خوبی روی آن دیده می‌شود ارجح است. علاوه بر این همه کارکنان، از جمله بازدید کنندگان باید تمام وقت از عینک یا پوشش چشمی ایمنی استفاده کنند. پوشش‌های چشمی و عینک‌های خوب و سبکی برای آزمایشگاه موجود است که

به منظور محافظت چشم‌ها و قسمت فوقانی صورت، ارائه می‌شوند. عینک‌های طبی ایمنی نیز البته از منابع خاص قابل دسترس‌اند، ولی گرانترند و برای شخصی که به طور تمام وقت در آزمایشگاه کار می‌کند، مناسب است. گفتنی است که به هنگام حادثه عینک‌های ایمنی معمولی در مقابل قطعات پرتاب شده درجات حفاظتی متغیری دارند، اما در مقابل پاشیده شدن مایعات داغ و خورنده و سمی و گازها، محافظت آن‌ها بسیار اندک است. در صورت پاشیده شدن شیمیایی، اولین کمک باید شستشوی کامل چشم‌ها با آب تمیز باشد. عدسی‌های درون چشمی مانع از شسته شدن موثر چشم‌ها می‌شوند و برداشتن آن‌ها باید زیر نظر پزشک مجرب صورت گیرد. محافظ چشم چسبان یا نقابی که تمام صورت را بپوشاند در این شرایط از چشم‌ها به مراتب بهتر محافظت خواهد کرد، در صورتی که آزمایشگاه‌های شیمی یا عملیاتی که انجام می‌گیرند احتمال خطر داشته باشند، به منظور محافظت بیشتر استفاده از حفاظ ایمنی شدیداً توصیه می‌شود. در هر حال، تمامی آزمایش‌هایی که با واکنشگرها یا حلال‌های سمی همراه هستند، باید زیر هود مناسب انجام گیرند و دستکش‌های پلاستیکی یک بار مصرف باید به دقت بازرسی شوند تا سوراخ نباشد.

به جز موارد اضطراری، دویدن یا فعالیت بیش از حد شناخته‌شده در آزمایشگاه و اطراف آن و همچنین شوخی کردن و رفتارهای غیر مسئولانه ممنوع است. خوردن و آشامیدن نیز باید در آزمایشگاه ممنوع باشد. این امر از جذب مواد سمی جلوگیری می‌کند. نظم و ترتیب، عامل عمده‌ای در ایمنی آزمایشگاه است؛ آزمایشگاه‌های شیمی باید همیشه تمیز و مرتب نگه داشته شود. راه‌های عبور اطراف و میان میزها و نزدیک درهای خروجی نباید با دستگاه‌ها و وسایل اشغال شده باشد. کفیوش‌ها باید در شرایطی باشند که مانع از لیز خوردن و افتادن شوند. هرگونه آلودگی زمین یا میزها باید فوراً تمیز شود. با توجه به میز کار آزمایش کننده می‌توان درباره مهارت او نظر داد. میز باید همیشه تمیز و خشک باشد؛ این کار در صورتی که دستمال‌های خشک و مرطوب همیشه کنار دست باشند، بسیار ساده است. وسایلی که فوراً مورد استفاده نیستند، باید هر چه دورتر در قفسه‌ای که زیر میز است گذاشته شوند؛ در صورتی که لازم باشد آن‌ها روی میز قرار داده شوند، باید به صورتی تمیز و منظم، مرتب شوند. شیشه آلات کثیف باید در ظروف پلاستیکی دور از محل کار گذاشته شوند تا این که یا تمیز شوند یا دور انداخته شوند. زباله‌های جامد و کاغذ صافی نباید داخل ظرفشویی انداخته شوند (اوماری¹، ۲۰۲۲). تمامی شیشه آلات باید به دقت تمیز شوند و در اکثر موارد پیش از به کارگیری، در آزمایشگاه خشک شوند. بهتر است عادت شود همه شیشه‌آلات فوراً پس از استفاده شسته شوند، چون عموماً نوع آلودگی معلوم است. به علاوه، در صورتی که وسایل کثیف مدت قابل توجهی مانده باشند، تمیز کردن آن‌ها مشکل‌تر می‌شود، به ویژه اگر حلال‌های فرار در این فاصله تبخیر شده باشند. شایان ذکر است که یک مخلوط پاک کننده کلی برای تمام موارد وجود ندارد. شیمی‌دان باید با توجه به جنس ماده‌ای که باید پاک شود و مقدار آن، اقدام کند. مثلاً، در صورتی که بدنیم مواد ته ظرف خصلت بازی دارند، محلول رقیق هیدروکلریک اسید یا سولفوریک اسید می‌تواند آن‌ها را کاملاً حل کند. به همین صورت برای بقایای اسیدی، محلول رقیق سدیم هیدروکسید را می‌توان به کار برد. در این موارد محلول‌های آبی اسیدی و بازی را از طریق شستشو و با مقدار کافی آب باید خارج کرد. در صورتی که بدنیم ماده ته نشین شده در حلال‌های آلی ارزان قیمت حل می‌شود، باید از آن‌ها استفاده کرد. در چنین مواردی حلال باید در بطری‌های جمع آوری مناسب ریخته شود.

وقتی شیشه شور در دسترس باشد، ساده‌ترین راه برای زدودن مواد ته نشین شده، استفاده از شوینده‌های خانگی حاوی ساینده است، طوری که در شیشه خش نیفتد. پودر شستشو یا مستقیماً داخل ظرف ریخته و با کمی آب مرطوب می‌شود یا روی یک شیشه شور پاشیده می‌شود و روی سطح کثیف مالیده می‌شود؛ سطح شیشه باید آن قدر ساییده شود تا آلودگی آن پاک شود. این عمل در صورت لزوم باید تکرار شود. بالاخره، دستگاه باید به خوبی با آب مقطر آبکشی شود. در صورتی که ساییدن با مخلوط آب و پودر شستشو کاملاً رضایت بخش نباشد، می‌توان پودر را با یک حلال آلی مانند استون خیس کرد.

¹ Omari

پس از شستشو و آبکشی با آب مقطر، دستگاه‌های شیشه‌ای کوچک را می‌توان با گذاشتن در آون با دمای ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت تقریباً یک ساعت خشک کرد. اما بسیاری از وسایل بزرگ‌تر از آن‌اند که داخل آون خشک شوند و پس از شستشو اغلب باید زود استفاده شوند. در نتیجه روش دیگری برای خشک کردن به کار می‌رود. در صورتی که وسیله با آب تر شده باشد، باید آب را تا حد امکان خارج کرد و سپس وسیله را با کمی الکل صنعتی یا استون شستشو داد. به منظور صرفه جویی، الکل صنعتی یا استون آبدار را باید در یک بطری برچسب دار جمع‌آوری کرد تا برای استفاده مجدد از طریق تقطیر، بازیابی شود. پس از شستشو با حلال آلی، خشک شدن به کمک سشوار مخصوص آسان‌تر انجام می‌گیرد. این دستگاه یک بادبزن برقی است که هوا را از روزنه‌های یک صافی می‌مکد، از یک گرمکن عبور می‌دهد و از درون لوله‌هایی به سمت بالا می‌راند که پایه دستگاه هستند و طوری ساخته شده‌اند که بال‌ها و استوانه‌های دهانه تنگی را که خشک کردن آن‌ها با شیوه دیگر مشکل است در خود جای می‌دهند؛ در انتهای هر لوله نگهدارنده دستگاه تعدادی سوراخ تعبیه شده است که موجب درست پخش شدن هوای داغ می‌شوند. در صورت نیاز می‌توان هوای سرد را هم در آن جریان داد. مواد شیمیایی ناسازگار باید از هم جدا شوند. ظروف سنگین و بطری‌های حاوی مواد خطرناک باید هر چه سریع‌تر به انبار اصلی مطمئن خود که در آنجا نکات ایمنی نگهداری رعایت می‌شود، بازگردانده شوند. مقررات جدی در مورد مقدار حلال‌هایی که می‌توان در یک آزمایشگاه خاص نگاه داشت نیز موجود است. به علاوه، این حلال‌ها باید در اتاقک ضدآتش فولادی گذاشته شوند و از در اتاقک‌ها بخار نشت نکند. ضمناً به منظور ایمنی بیشتر حلال‌های آتشگیر و سمی فضای خاص مجهزی برای برداشتن حلال تخصیص داده شود. هر بطری که لازم باشد تا فاصله کوتاهی حمل شود، چه حاوی مواد شیمیایی خطرناک باشد چه بی‌خطر، باید زیر و گردن آن گرفته شود و هرگز تنها یکی از این دو نقطه گرفته نشود. به منظور حمل به مسافت‌های طولانی‌تر، باید از وسیله خاصی که به این منظور فراهم شده است استفاده شود.

هود باید از مواد شیمیایی اضافی و وسایل بی‌استفاده خالی شود. اگر لازم باشد مقداری از مواد شیمیایی ضروری که زیاد به کار برده می‌شوند، در زیر هود انبار شوند، باید تعیین شود که به چه منظور کنار گذاشته شده‌اند و به درستی قفسه‌بندی شوند. مواد شیمیایی سرطان‌زایی که کاربرد آن‌ها مجاز است، همیشه در انبار اصلی در قفسه‌هایی مخصوص نگهداری شوند؛ برای استفاده از آن‌ها باید از سرپرست آزمایشگاه اجازه گرفت. کلیه ظروف (بطری، آمپول، شیشه نمونه و غیره) مواد شیمیایی خریداری شده در بازار دارای برچسبی هستند که محتوای هر کدام را معلوم می‌کند و علامت خطر همراه با خلاصه‌ای از خطرهای ممکن و ایمنی مربوط به محتوای آن نیز آمده است. جداولی که در آن‌ها این علائم به طور خلاصه معنی شده باشند، باید در آزمایشگاه در معرض دید باشند. هنگامی که مواد شیمیایی به ظرف دیگری منتقل می‌شود، همان علامت خطر باید روی ظرف جدید چسبانده شود. در مورد ظروفی که برچسب‌هایشان گم شده است، محتوای آن‌ها باید به درستی شناسایی و مجدداً برچسب زده شوند؛ در صورتی که هرگونه تردیدی وجود داشته باشد، آن ماده باید به دلیل ایمنی دور ریخته شود. چون بسیاری از مواد شیمیایی به مرور زمان خراب می‌شوند، بهتر است تاریخ خریداری بطری روی برچسب آن نوشته شود.

شیشه آلات باید پیش از استفاده به دقت بررسی شوند و هر کدام که شکسته، لب پریده، ترک دار یا کثیف است حذف شود. ترک‌های ریز در شیشه آلات به ویژه هنگام استفاده در سیستم‌های تحت خلا خطرناک‌اند. بسیاری از کارهای دستی ساده با شیشه آلات نظیر بریدن میله و لوله شیشه‌ای، وسیله شیشه‌ای درست کردن، وارد کردن لوله شیشه‌ای یا دماسنج به چوب پنبه یا درپوش لاستیکی یا خارج کردن درهای محکم بطری‌ها، می‌تواند به بریدگی‌های جدی منجر گردد. باید دقت شود تا به شیوه‌ای صحیح انجام گیرد. تمامی وسایل و شیشه آلات تمیز که مورد استفاده نیستند، باید جمع‌آوری شوند و روی میزهای کار انباشته نشوند.

مواد دور ریختنی هرگز نباید در آزمایشگاه انباشته شوند. باید آن‌ها در ظروف جمع‌آوری و خارج گردند و به نحوی مناسب دور ریخته شوند. باید سطل‌های جداگانه دردار برای شیشه آلات شکسته و مواد آتش‌گیر وجود داشته باشد.

زباله‌های جامد بی‌ضرر باید در سطل ریخته شوند، در حالی که جامدات سمی باید در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی و در سطل جداگانه‌ای گذاشته شوند؛ به هر دو سطل باید به دقت برچسب زده شود. حلال‌های زاید نیز در ظرف‌های مناسب ریخته و برچسب زده شوند (مارتین^۱، ۲۰۲۰). اغلب مجتمع‌های بزرگ آزمایشگاهی طوری سازماندهی شده‌اند که مواد زایدشان به طریقی مناسب دور ریخته می‌شود؛ به عنوان مثال، آن‌ها امکان سوزاندن مقادیری از مواد آلی آتش‌گیر را دارند. ولی مؤسسات کوچک‌تر برای این امر باید با مراکز تخصصی قرارداد ببندند. مسئله دور ریختن مقادیر کمی از مواد شیمیایی سمی و خطرناک زاید را کارکنان هر آزمایشگاه می‌توانند با ابتکار خود حل کنند. رهنمون‌هایی درباره روش‌های مناسب دور ریختن، مثلاً در فهرست‌های مواد شیمیایی خالص به طور کامل نوشته شده است. مقررات محلی در ارتباط با ریختن زباله‌های شیمیایی در فاضلاب عمومی بسیار سختگیرانه است. تحت هیچ عنوانی زباله‌هایی که روی آن‌ها کار نشده است و حلال‌های آلی نامحلول در آب نباید به داخل ظرفشویی ریخته شوند.

هیچ کس نباید در آزمایشگاه تنها کار کند. آزمایش‌هایی که در شب باید جریان داشته باشند، بهتر است در اتاق ویژه کار شب انجام شوند. در غیر این صورت احتیاط‌هایی باید رعایت شوند و به صورت واضح روی دستگاه برچسبی زده شود که نوع واکنش و خطرهای احتمالی روی آن نوشته شده باشد. راهنمایی‌ها باید آن قدر واضح باشند که هر فردی بتواند آزمایش را در صورت اضطرار قطع کند و برچسب لطفاً دست نزنید، باید کنار هر دستگاهی که قرار است باز یا روشن باشد (مثل آب و برق) گذاشته شود. در اینجا نیز هر مؤسسه آیین‌نامه‌های خاص خود را در مورد آزمایش‌های پس از ساعات کار و شبانه منتشر می‌کند که باید اکیداً رعایت شوند (Altabbakh, 2015). هر شخصی که در آزمایشگاه‌های شیمی کار می‌کند، باید بداند که در خروجی و راه‌های خروج اضطراری کجا هستند و آیا به سهولت به آن‌ها دسترسی دارد یا خیر. تمامی کارکنان باید محل کپسول‌های آتش‌نشانی، پتوهای ضد آتش و دوش‌های اضطراری و روش استفاده از آن‌ها را بدانند. این گونه تجهیزات باید از جانب کارشناسان مرتب بازرسی شوند. کارکنان در ضمن باید از محل کمک‌های اولیه و نزدیک‌ترین تلفن باخبر باشند تا در مواقع ضروری از آن‌ها استفاده کنند؛ شماره تلفن گروه‌های پزشکی، بیمارستان‌ها و ماموران آتش‌نشانی باید کاملاً در معرض دید باشند.

فهرست‌بندی مواد شیمیایی

تمام مواد شیمیایی موجود در آزمایشگاه یا انبار شیمی باید همراه با طبقه‌بندی مناسب، فهرست شوند. این طبقه‌بندی شامل واکنشگرهای اکسند، واکنشگرهای کاهنده، مواد سمی و حساسیت‌زا، مواد خطرناک برای محیط‌های آبی، مواد آتشگیر و مواد خورنده است. طبقه‌بندی مواد شیمیایی از روی برگه‌های ایمنی مواد شیمیایی انجام می‌گیرد که از سوی شرکت تولیدکننده مواد ارائه می‌شود. برخی از نکات مهم که در فهرست بندی می‌بایست رعایت شود شامل موارد زیر هست:

- هر بار که یک ماده شیمیایی جدید دریافت می‌شود، فهرست موجودی مواد شیمیایی باید به‌روزرسانی شود.
- فهرست موجودی مواد شیمیایی باید حاوی اطلاعاتی جامع، از جمله نام شیمیایی، مقدار ماده موجود، نام تولیدکننده، خطرهای بالقوه، اطلاعات مربوط به نحوه دورریزی هر یک از مواد شیمیایی باشد.
- در همه مکان‌هایی که مواد شیمیایی، استفاده یا ذخیره می‌شوند باید یک فهرست موجودی به روز شده در دسترس باشد. فهرستی از مواد شیمیایی نیز باید روی در هر کمد نصب شود.
- همه مواد و ظرف‌های آزمایشگاهی باید برچسب داشته باشد.
- ظرف و تاریخ دریافت ماده شیمیایی باید مشخص شود. برای مواد شیمیایی که پس از باز شدن ظرف، واکنش می‌دهند، باید تاریخ باز شدن ظرف نیز مشخص شود.

¹ Martin

- اگر یک ماده شیمیایی در بطری اصلی خود ذخیره می‌شود، باید حاوی برچسب اصلی تولیدکننده، خطرهای بالقوه و تاریخ خرید باشد. برای موادی که در حال مصرف هستند نیز باید تاریخ باز شدن مشخص شود.
- اگر یک ماده شیمیایی به ظرف دیگری منتقل شده است، ظرف جدید باید به درستی برچسب‌گذاری شود و نام یا فرمول شیمیایی، غلظت ماده محلول، حلال، خطرهای بالقوه کارکردن با آن و نام فرد مسئول برای تهیه آن درج شود.
- برچسب‌های روی ظرف ورودی نباید برداشته یا مخدوش شوند. بطری‌های بدون برچسب نباید پذیرفته یا باز شوند.
- بهتر است برای نوشتن برچسب روی مواد شیمیایی، به‌ویژه برای حلال‌ها از مداد استفاده شود، زیرا رنگ خودکار با گذشت زمان از بین می‌رود.

بهداشت مواد شیمیایی

- لباس‌های آزمایشگاهی که به مواد شیمیایی آلوده شده‌اند باید جدا از لباس‌های دیگر شسته شوند.
- پس از کار با مواد خطرناک و پیش از ترک آزمایشگاه، حتی اگر دستکش داشته‌اید، دست‌ها را با آب و صابون بشویید؛ هرگز برای شست‌وشوی دستان از حلال‌های آلی استفاده نکنید.
- آزمایشگاه باید پس از هر جلسه و در پایان هر دوره تحصیلی تمیز شود.
- تمام سطوح کار و کف آزمایشگاه باید به‌طور مرتب تمیز شوند. ریختن یخ و مایع‌های دیگر یا رها کردن درپوش، مهره یا میله‌های شیشه‌ای روی زمین، ممکن است باعث لیز خوردن و افتادن افراد شود. وسایل دانش‌آموزان نیز باید دور از محل رفت و آمد قرار گیرند.
- مواد شیمیایی نشت‌شده باید بی‌درنگ پاکسازی شوند. مواد شیمیایی و مواد پاکسازی شده باید به شیوه‌ای مناسب دفع شوند.
- هرگز مواد شیمیایی را بو نکنید یا نجشید.
- به آرامی در اطراف و روی ماده پاشیده شده یا ریخته شده، ماده جاذب یا ماسه بریزید تا از پخش شدن آن جلوگیری شود. از یک جارو و خاک‌انداز پلاستیکی برای زیرورو و جابه‌جا کردن شن و ماسه یا ماده جاذب یا خنثی‌کننده استفاده کنید.

محدود کردن تماس با مواد شیمیایی

- روش‌های مورد استفاده، باید مصرف مواد شیمیایی را به کمترین حد ممکن کاهش دهد تا در عین حال که آموزش مؤثری صورت می‌گیرد تولید ضایعات شیمیایی به کمترین مقدار برسد.
- تنها آن دسته از مواد شیمیایی باید مورد استفاده قرار گیرند که شرایط تهویه آزمایشگاه برایشان مناسب باشد.
- از آن دسته از مواد شیمیایی باید استفاده شود که بتوان میزان تماس دانش‌آموزان و معلمان با آن‌ها را به کمترین مقدار ممکن رساند.
- تا حد امکان، باید مواد شیمیایی کم‌خطرتر را جایگزین مواد شیمیایی پرخطر کرد.
- از کمترین مقدار ممکن مواد شیمیایی در یک آزمایش باید استفاده کرد.
- تا حد امکان باید از تولید ضایعات شیمیایی خطرناک ترکیبی جلوگیری کرد.
- پیش از خرید ماده شیمیایی جدید، باید موجودی مواد شیمیایی بررسی و فهرستی از آن‌ها تهیه شود.
- دانش‌آموزان نباید با مواد شیمیایی غیرمجاز فعالیت یا آزمایش انجام دهند.

- از تنفس گاز، بخار و آئروسول‌های مربوط به مواد شیمیایی مورد استفاده برای آزمایش، خودداری شود.
- آزمایش بوهای شیمیایی باید با احتیاط و با رقیق کردن در هوا انجام شود.
- برای به حداقل رساندن خطر، خرید و نگهداری مواد شیمیایی باید به حداقل برسد.
- خرید مواد شیمیایی باید تنها برای آزمایش و به مقدار کافی برای استفاده در یک بازه زمانی معین انجام شود.

ایمنی و سلامت

در خصوص رعایت نکات ایمنی در آزمایشگاه و تاثیر مستقیم آن در سلامتی فردی که در آزمایشگاه مشغول به کار و تحقیق هست، نکات زیادی در بخش‌های قبلی گفته شد که مسلماً رعایت آنها منجر به کاهش خطراتی خواهد شد که هر فردی را در آزمایشگاه ممکن است تهدید می‌کند. علاوه بر موارد ذکر شده در قسمت‌های قبلی، رعایت موارد زیر نیز در حفظ سلامتی فرد بسیار موثر خواهد بود.

- هرگاه ماده‌ای شیمیایی با پوست تماس یافت، محل تماس را سریعاً با آب شست‌وشو دهید.
- اگر نشانه‌های قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی خطرناک ظاهر شد، درمان‌های فوری و مناسب پزشکی را انجام دهید.
- راه‌های دسترسی به وسایل اضطراری، دوش، چشم‌شوی‌ها و خروجی‌ها هرگز نباید با چیزی مسدود شود.
- در صورت تماس ماده شیمیایی با چشم، بی‌درنگ آن را به این روش با آب بشویید: پلک‌ها را باز نگه دارید و کل سطح چشم را به مدت ۱۵ دقیقه شست و شو دهید، سپس به پزشک مراجعه کنید.
- در صورت تنفس یا بلعیدن ماده شیمیایی بی‌درنگ کمک پزشکی بگیرید.
- در صورت آلودگی شدید به مواد شیمیایی، لباس آزمایشگاه را به سرعت از تن خارج کنید.
- شماره‌های اورژانس و آتش‌نشانی را همواره به یاد داشته باشید و آن‌ها را در معرض دید همگان قرار دهید.

اطلاع‌رسانی و آموزش مناسب

- برای کارمندان و دانش‌آموزان جدید باید دوره‌های آشنایی با اصول ایمنی در آزمایشگاه برگزار شود.
- مربی باید خطرها را بررسی و آن‌ها را برای دانش‌آموزان مشخص کند.
- محوطه‌های ذخیره‌سازی مواد به جز هنگام استفاده، قفل باشند و فقط کسانی به آن دسترسی داشته باشند که مجاز به استفاده از مواد شیمیایی هستند و در زمینه استفاده از مواد شیمیایی آموزش دیده‌اند.
- همه کارکنان آزمایشگاه برای خواندن و درک برگه اطلاعات ایمنی مواد باید آموزش ببینند.
- مربی آزمایشگاه باید آموزش‌های مربوط به کمک‌های اولیه را دیده باشد.
- آشنایی با علائم مربوط به خطر برای مربیان آزمایشگاه، معلمان و دانش‌آموزان ضروری است.
- آگاهی از محل برگه اطلاعات ایمنی مواد، مرجع‌های دیگر و روش استفاده از آن‌ها جزء آموزش‌های اساسی در این زمینه است.
- خطرهای بالقوه در استفاده از مواد شیمیایی باید در آموزش‌ها گنجانده شود.
- محل قرار گرفتن، استفاده و نگهداری از تجهیزات حفاظتی و ایمنی، اطلاعات در مورد عادت‌های کاری مناسب و فرایندهای ایمنی از دیگر آموزش‌های لازم در این زمینه است.
- نشانه‌ها و علائم مربوط به رویارویی بیش از حد با مواد شیمیایی باید به‌خوبی آموزش داده شوند.
- همه کارکنان باید درباره روش استفاده از هود آزمایشگاه، آموزش ببینند.

شیمی سبز و ایمنی در آزمایشگاه

شیمی سبز که با نام شیمی پایدار نیز شناخته می‌شود، عبارت است از طراحی محصول و فرآیندهایی که استفاده و تولید آلاینده‌های مضر برای محیط زیست و جانداران را حذف می‌کنند یا به حداقل می‌رسانند. آغاز به کار شیمی سبز از اوایل دهه ۱۹۹۰ در آژانس محیط زیست آمریکا بود. هدف این حوزه، تشویق صنایع و محیط‌های علمی جهت استفاده از علم شیمی بدون آلودگی محیط زیست می‌باشد. به عبارت دیگر مأموریت شیمی سبز، توسعه فناوری‌های شیمیایی است که استفاده یا تولید مواد خطرناک را در طراحی و ساخت محصولات شیمیایی به حداقل رسانده و یا حذف کند (Lancaster, 2002). در این میان استفاده از شیمی سبز در آزمایشگاه‌های شیمی می‌تواند منجر به جایگزینی روش‌ها و مواد نامتناسب با محیط زیست شود که اثرات نامطلوب بر سلامت انسان را کاهش خواهد داد. شیمی سبز با تمرکز بر روی کاهش آلودگی‌های صنعتی و بهینه‌سازی مصرف منابع تجدیدناپذیر کمک بزرگی به حفظ محیط زیست می‌کند و این کار را در قالب ۱۲ اصل شیمی سبز (Anastas, 1998) انجام می‌دهد که شامل موارد زیر است: پیشگیری از تولید فرآورده‌های بیهوده، بازده اتمی، فرآیندهای شیمیایی کم خطرتر، طراحی واکنش شیمیایی برای تولید مواد سالم‌تر، استفاده از حلال‌های ایمن، بکارگیری فرآیندهایی با بهره انرژی بالا، استفاده از مواد اولیه تجدیدپذیر، کاهش مشتقات، استفاده از کاتالیزورها، طراحی محصولات تخریب پذیر، بررسی لحظه‌ای برای پیشگیری از آلودگی، کاهش حوادث تصادفی.

از بین اصول ۱۲ گانه شیمی سبز می‌توان گفت که بسیاری از موارد ذکر شده می‌تواند در حوزه ایمن‌سازی کارهای آزمایشگاهی نقش موثری داشته باشد. به عنوان مثال در واکنش‌های نوآرایی (مانند نوآرایی کلایزن و یا فریز) با استفاده از ترندهای شیمی سبز می‌توان مقدار محصول غالب را تغییر داد و باعث افزایش بازده واکنش شد. همچنین می‌توان با استفاده از حلال‌های سبز (حلال‌های زیست سازگار بی خطر) در سنتز ترکیبات جدید، خطرات زیست-محیطی را کاهش داد. یکی از اصول شیمی سبز طراحی محصولاتی می‌باشد که از مواد کم خطرتر استفاده کرده و محصولاتی با خطرات کمتر تولید کند. در واقع می‌توان با استفاده از شیمی سبز، آلاینده‌های کمتری تولید کرد و از سنتز مشتقات جدید خطرناک جلوگیری کرد و یا می‌توان آزمایش‌هایی با خطرات کمتری طراحی کرد. پسماندهای آزمایشگاهی نیز یکی دیگر از مشکلات آزمایشگاه‌ها می‌باشد که منجر به ایجاد مشکلات زیادی در صنعت و به تبع آن در محیط زیست می‌شود. در عین حال هزینه نگهداری و دفع پسماندها نیز بسیار زیاد است. لذا می‌توان با نگرش‌هایی بر اساس شیمی سبز (مانند تصفیه‌های فیزیکی و شیمیایی و یا فرآیندهای جداسازی) هم تولید پسماندها را کاهش داد و هم هزینه دفع آن‌ها کاهش می‌یابد. در استفاده از کاتالیزها نیز می‌توان از شیمی سبز کمک گرفت و با استفاده از کاتالیزوهای مناسب، هم فرآیندهای ایمن با بازده بالا را طراحی کرد. در مطالعات موردی بر اساس کاربرد شیمی سبز می‌توان به مواردی مانند تولید متیل متاکریلات، تولید سبز اسید استیک، تولید چرم، سبز کردن صنعت رنگ، تولید پلی اتیلن، آفت‌کش‌های زیست سازگار و چندین مورد دیگر اشاره کرد که همه این فرآیندها با توجه به ماهیت ایمن شیمی سبز، منجر به کاهش خطرات آزمایشگاهی و ایمن‌سازی واکنش‌ها می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

آزمایشگاه‌ها یکی از بسترهای مناسب و خوب یادگیری شیمی و دیگر درس‌های علوم تجربی است. اما انجام آزمایش در آزمایشگاه باید همراه با حفظ ایمنی باشد. معلمان، مربیان و دیگر دست‌اندرکاران وظیفه حساسی در حفظ این ایمنی بر عهده دارند. اگرچه بسیاری از آزمایشگاه‌ها در سطح مدارس کشور فاقد امکانات ایمنی لازم هستند، اما با تغییر نگرش دانش‌آموزان و معلمان به مسأله ایمنی و آموزش اصول ایمنی می‌توان گام مهمی در حفظ سلامت و امنیت دانش‌آموزان برداشت. برگزاری کارگاه، سمینار و دوره‌های آموزشی کوتاه مدت در مورد اصول ایمنی برای دانش‌آموزان و معلمان در مدارس کشور می‌تواند سبب شود که آزمایشگاه‌هایی ایمن‌تر را در سطح کشورمان داشته

باشیم. اختصاص یک یا چند جلسه از مباحث آزمایشگاه به بررسی اصول ایمنی می‌تواند ایده بسیار خوبی برای بهبود اوضاع ایمنی شیمیایی در مدارس کشورمان باشد. طراحی و تدریس درسی با عنوان اصول ایمنی نیز بسیار کارساز خواهد بود. گنجانیدن اصول ایمنی در آزمایشگاه در کتاب‌های درسی و آزمایشگاهی علوم تجربی دوره‌های مختلف و تدریس آن‌ها، از دیگر اقدام‌های مؤثر به شمار می‌رود. در یک فرایند صحیح آزمایشگاهی دانش‌آموزان و دانشجویان و محققین قبل از حضور در آزمایشگاه باید آگاهی‌های لازم از چگونگی رعایت نکات ایمنی را داشته باشند و از سوی دیگر پیش از کار با یک ماده شیمیایی ابتدا باید آشنایی کافی با آن ماده و خطرات احتمالی ناشی از آن را کسب نمایند و سپس به سایر مراحل بپردازند.

تشکر و قدردانی

نویسنده مقاله مراتب قدردانی خود را از دانشگاه فرهنگیان به دلیل حمایت‌های انجام گرفته اعلام می‌دارد.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسنده بیان نشده است»



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

منابع

- Altabbakh, H., AlKazimi, M. A., Murray, S., Grantham, K. (2015). Safety awareness: Identifying a need for undergraduate engineering students. *Professional safety*, 60(8), 38-41 .
- Anastas, P. T., Warner, J. C. (1998). Green chemistry. *Frontiers*, 640.
- Asiry, S., Ang, L.C. (2019). Laboratory safety: Chemical and physical hazards. In W.H. Yong (Ed.). *Biobanking: Methods and Protocols* (pp. 243-252). New York: Springer.
- Barkley, W. E., Mickelson, C. A. (2007). Laboratory safety. *Methods for General Molecular Microbiology*, 995-1018.
- Brewster, D. T., Bycroft, B. L., Cooney, J. M. (2023). Safety and perceptions of risk in the handling of laboratory chemicals in a biological research community. *ACS Chemical Health & Safety*, 30(2), 63-71.
- Gibson, J. H., Schröder, I., Wayne, N. L. (2014). A research university's rapid response to a fatal chemistry accident: Safety changes and outcomes. *Journal of Chemical Health & Safety*, 21(4), 18-26 .
- Lestari, F., Budiawan, Kurniawidjaja, M. L., Hartono, B. (2016). Baseline survey on the implementation of laboratory chemical safety, health and security within health faculties laboratories at Universitas Indonesia. *Journal of Chemical Health and Safety*, 23(4), 38-43.
- Love, T. S., Roy, K. R., Sirinides, P. (2023). A national study examining safety factors and training associated with STEM education and CTE laboratory accidents in the United States. *Safety Science*, 160, 106058.
- Martin, J. A., & Miller, K. A. (2020). Starting and sustaining a laboratory safety team. *ACS Chemical Health & Safety*, 27(3), 170-182 .
- Motalifu, M., Tian, Y., Liu, Y., Zhao, D. (2022). Chemical process safety education in China: An overview and the way forward. *Safety Science*, 148, 105643.

- Omari Shekaftik, S., Nasirzadeh, N., Baba-Ahangar, T. (2022). Academic nanotechnology laboratories: investigating good practices and students' health status. *Journal of Nanoparticle Research*, 24(9), 177.
- Richards-Babb, M., Bishoff, J., Carver, J. S., Fisher, K. (2010). Keeping it safe: Chemical safety in the high school laboratory. *Journal of Chemical Health and Safety*, 17(1), 6-14.
- Sun, D., Wu, L., Fan, G. (2021). Laboratory information management system for biosafety laboratory: Safety and efficiency. *Journal of Biosafety and Biosecurity*, 3(1), 28-34.
- Wood-Black, F. (2019). Incorporating chemical safety awareness as a general education requirement- Case study. *Journal of Chemical Health and Safety*, 26(6), 32-35.
- Yu, D.-G., Li, Q., Song, W. (2023). Advanced technique-based combination of innovation education and safety education in higher education. *Journal of Chemical Education*, 100(2), 507-516.