



پژوهش در آموزش شیمی



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

طراحی آزمایش‌های ساده جهت تسهیل یادگیری مفاهیم شیمی متوسطه

دوم

امیر محمد بهرامی مداح^{۱*}، زهره سرکان^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی آموزش شیمی، دانشگاه فرهنگیان، پردیس علامه امینی تبریز، ایران

^۲ کارشناس نظارت بر مراکز پیش دبستانی، اداره کل آموزش و پرورش، همدان، ایران

چکیده

شیمی شاخه‌ای از علم است که به بررسی عناصر، ترکیب‌های ساخته شده از اتم‌ها، مولکول‌ها و یون‌ها، تأثیر مواد برهمدیگر و همچنین تغییراتی که یک ماده در حین انجام یک واکنش با مواد دیگر از خود نشان می‌دهد، می‌پردازد. شیمی همچنین یکی از دروس مهم مقطع دبیرستان است که در امتحانات نهایی و کنکور سراسری حائز اهمیت است. با این وجود، مشکلات در آموزش شیمی بسیار زیاد بوده و معلمان همواره به فکر یافتن راه حل‌هایی بوده‌اند. استفاده از کارهای عملی و آزمایشگاه شیمی یک راه حل بسیار مناسب برای افزایش میزان یادگیری شیمی است. آموزش شیمی توأم با استفاده از آزمایشگاه، می‌تواند دانش آموزان را وادار به تفکر کند و جذابیت بیشتری برای‌شان ایجاد کند. در همین راستا، این تحقیق با هدف طراحی آزمایش‌های ساده جهت تسهیل یادگیری مفاهیم دوره متوسطه دوم انجام شده است و چندین آزمایش ساده و کم هزینه که می‌تواند در امر یادگیری تسهیل ایجاد کند، طراحی شده است. روش مورد مطالعه، جست و جو در پایگاه‌های اطلاعاتی فارسی و انگلیسی و بررسی مقالات، کتب و پایان نامه‌های مرتبط با آموزش شیمی و کاربرد آزمایشگاه در آموزش شیمی است. و در پایان نیز به اهمیت استفاده از آزمایش‌ها برای تسهیل یادگیری شیمی پرداخته شده است.

کلیدواژه‌ها: یادگیری شیمی، آزمایش‌های ساده، مفاهیم شیمی، فهم دانش‌آموزان.

* نویسنده مسئول: (amirmohammadbahrnimaddah@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۸

شیمی مطالعه ساختار، خواص، ترکیبات، و تغییر شکل مواد است. این علم به عناصر شیمیایی و ترکیبات شیمیایی مربوط می‌شود که شامل اتم‌ها، مولکول‌ها، و برهم‌کنش میان آن‌هاست. شیمی از پرکاربردترین علوم تجربی است که به طور مستقیم در زندگی روزمره با آن مواجه هستیم. به‌جرات می‌توان گفت کسی نیست که در منزل و یا محیط کار با محصولات و کاربردهای شیمی در ارتباط نباشد (نادری، ۱۳۹۲). یادگیری علم شیمی تا حدی دشوار است و این دشواری برای فراگیران مبتدی آشکارتر است (پیله ور، ۱۳۹۷). امروزه آموزش شیمی در مدارس، به یکی از موضوعات دشوار و مورد توجه تبدیل شده‌است. تعداد اندکی از معلمان می‌توانند، شیمی را به نحو احسن و منطبق با اهداف آموزشی قصد شده آموزش دهند. در زمینه آموزش شیمی که علم آزمایش محور محسوب می‌شود، بیشتر به تشریح و بیان حقایق و اصول اولیه شناخته شده علمی پرداخته می‌شود که پس از مدتی کوتاه به فراموشی سپرده می‌شود. دانش‌آموزی که به مدرسه وارد می‌شود، باید برای زندگی در دنیای فردا آماده شود. به این ترتیب، نظام آموزشی باید به گونه ای برنامه‌ریزی شود که هم قوه جست و جوگری را در دانش‌آموزان شکوفا کند و دانستن و کشف مجهولات را برای آن‌ها لذت‌بخش و نشاط‌آور سازد و هم آن‌چه را برای زندگی در دنیای امروز و فردا به آن نیازمندند، به آن‌ها بیاموزد. درس شیمی که یکی از درس‌های اصلی دوره متوسطه است، به نوبه خود باید بتواند به هر دو هدف یاد شده، دست یابد.

از آن جایی که انسان ذاتاً کنجکاو و جستجوگر است، آزمایشگاه به عنوان مکانی مناسب برای اکتشاف حس کنجکاو وی به حساب می‌آید. فراگیران با انجام کارهای آزمایشگاهی می‌توانند در درستی مطالب نظری پژوهش نموده، توانایی اندیشیدن و استدلال خود را افزایش داده، به علم علوم تجربی علاقه‌مند گردیده، و حس همکاری با دیگران را در خود ایجاد و یا تقویت نمایند. متأسفانه توجه بیش از حد به بحث‌های نظری و کم‌اهمیت جلوه دادن کارهای عملی و آزمایشگاهی نه تنها کیفیت آموزش را پایین آورده است، بلکه سبب کاهش مهارت‌های عملی و حتی سلب آن از دانش‌آموزان گردیده است (لزون‌دور و هارمن^۱، ۲۰۱۶). آزمایش مهم‌ترین ابزار برای تدریس و یادگیری در آزمایشگاه به‌شمار می‌رود. وقتی که دانش‌آموزان نظریه‌های علمی را در کلاس درس می‌آموزند، می‌توانند با انجام آزمایش‌های مربوط، آنچه را که در نظر آموخته‌اند، در عمل تجربه کنند. در نظام

¹ Lazonder and Harmsen

آموزشی، آزمایشگاه‌ها از جمله امکاناتی هستند که معلمان و دانش‌آموزان، به‌ویژه برای آموزش درس‌های مرتبط با علوم تجربی از آن بهره می‌گیرند. دانش‌آموزان نظریه‌هایی را که در کلاس درس آموخته‌اند، با انجام آزمایش در آزمایشگاه تمرین می‌کنند. این روش یکی از مهم‌ترین راه‌ها برای رشد مهارت‌های علمی دانش‌آموزان است. مکان‌هایی مانند آزمایشگاه‌ها عرصه‌هایی را برای دانش‌آموزان فراهم می‌آورند که مهارت بیاموزند یا درستی نظریه‌های علمی را بیازمایند (اصغری و همکاران، ۱۳۹۹). تسهیل آموزش و یادگیری مستلزم تلاش همه عناصر دخیل در نظام آموزشی است. در این بین معلمان نخستین نیروی محرکه‌ای بوده که توانایی ایجاد بهترین موقعیت، برای فهمیدن مسائلی را دارا هستند که دانش‌آموزان با آن‌ها مواجه‌اند.

فعالیت‌های آزمایشگاهی یکی از ارکان اصلی آموزش شیمی محسوب می‌شود. اجرای اینگونه فعالیت‌ها دانش، مهارت و نگرش علمی دانش‌آموزان و دانشجویمان را افزایش می‌دهد. انجام فعالیت‌های آزمایشگاهی، علاوه بر تثبیت یادگیری و افزایش میزان ماندگاری مفاهیم آموخته شده، سبب دست‌ورزی و کسب مهارت‌هایی می‌گردد که در زندگی روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرند و زمینه‌های نوآوری، خلاقیت و تفکر انتقادی را در دانش‌آموزان فراهم می‌سازند. اجرای فعالیت‌های آزمایشگاهی در آموزش شیمی در مدارس و در دانشگاه‌ها، کاملاً اساسی و ضروری است و به ندرت ممکن است کسی آن را مورد سؤال قرار دهد.

در جریان انواع روش‌های آزمایشگاهی، شاگردان عملاً با به‌کاربردن وسایل و تجهیزات و مواد خاص درباره مفهومی خاص تجربه کسب می‌کنند. از این روش گاهی برای آشنا کردن شاگردان با جنبه‌های عملی یک مفهوم و زمانی برای فراهم آوردن محیطی مناسب برای حل مسأله‌ای به کار گرفته می‌شود. روش آزمایشی می‌تواند کیفیت یادگیری را افزایش دهد و یک عامل بسیار برانگیزاننده در فعالیت آموزشی باشد. این روش برای ارضای حس کنجکاوی و تقویت نیروی اکتشاف و اختراع و پرورش تفکر انتقادی فراگیران بسیار مناسب می‌تواند باشد. در درس‌هایی که جنبه عملی دارند، دانش‌آموزان با انجام کارهای آزمایشگاهی می‌توانند برای درک مطالب نظری به پژوهش بپردازند و به این ترتیب ضمن افزایش توانایی اندیشیدن و استدلال خود، به علوم تجربی علاقه‌مند می‌شوند و در نتیجه انتقال دانسته‌های خود به دیگران حس همکاری با دیگران را در خود ایجاد و تقویت می‌کنند. با این که در راستای تحقق این هدف در کتاب‌های درسی نظام جدید ما بخش آزمایشگاه شیمی گنجانده شده است اما باز هم مشاهده می‌شود که فعالیت‌های عملی مورد کم توجهی قرار

دارند. این امر نه تنها کیفیت علوم تجربی را پایین می‌آورد، بلکه سبب کاهش مهارت‌های عملی و حتی سلب آن‌ها از دانش‌آموزان می‌شود (هافستین، ۲۰۰۴).

استفاده از آزمایش‌های شیمی در آموزش شیمی علاوه بر ایجاد انگیزه باعث فهم بیشتر و بهتر علم شیمی می‌گردد و دانش‌آموزان با روش‌های علمی آشنا می‌شوند (نوجوان و همکاران، ۱۳۹۲). فعالیت آزمایشگاهی بخش ضروری و مکمل در تدریس و آموزش علوم تجربی از جمله شیمی است. هنگامی آموزش مفاهیم شیمی، همراه با انجام آزمایش در آزمایشگاه باشد می‌تواند دانش‌آموزان را وادار به تفکر، بحث و نتیجه‌گیری کند و در نهایت یادگیری را مطلوب و دلپذیر سازد (رجائی، ۱۳۹۲). همچنین آموزش عملی همراه با آموزش تئوری همواره باعث ایجاد شور و اشتیاق بیشتر برای دانش‌آموزان در امور تدریس بوده است. با انجام کار عملی یادگیری تسهیل بخشیده و در زمان نیز صرفه جویی می‌شود و همچنین باعث رشد خلاقیت، نوآوری و بالابردن روحیه کار گروهی بین دانش‌آموزان می‌شود (میرشکرائی، ۱۳۹۲). زمانی آموزش شیمی موفقیت‌آمیز خواهد بود که تدریس بسیاری از مفاهیم آن به همراه انجام آزمایش‌های مرتبط باشد (نادری، ۱۳۹۲). از آنجایی که بخش اعظم یافته‌های شیمی از راه مشاهده و اجرای آزمایش به دست می‌آید و ملاک یا معیار درستی آن‌ها انطباق داشتن با مشاهدات تجربی است، لذا بهترین راه یادگیری مؤثر شیمی، انجام آزمایش و مشاهده زنده پدیده‌های علمی است. ارتباط اهداف با فعالیت‌های معلم و دانش‌آموز مهم‌ترین مرحله آموزشی است. تعامل تجربیات معلم و دانش‌آموز است که در فضای آزمایشگاهی به صورت دو جانبه اتفاق می‌افتد. یادگیری و ساخت مفاهیم، حاصل فعالیت‌های این بخش از کار است و معلم باید راهکارهای اساسی و مهم را در کلاس ایجاد کند تا دانش‌آموزان بتوانند فعالانه در مسیر اهداف به حرکت درآیند (سراجیان اردستانی، ۱۳۹۲).

مهم‌ترین هدف‌های آموزشی از کارهای آزمایشگاهی عبارتند از: (اکبرزاده خیابوی، ۱۳۶۹)

- استفاده از آزمایشگاه‌ها می‌تواند ضمن بالا بردن کیفیت آموزش و یادگیری یک عامل بسیار تحریک‌کننده در فعالیت آموزشی باشد.
- آزمایشگاه و استفاده از آن در تدریس می‌تواند برای حس کنجکاوی و تقویت نیروی اکتشاف و اختراع و تفکر دانش‌آموزان و اعتماد به نفس و رضایت خاطر آن‌ها باشد.
- استفاده از آزمایشگاه و آزمایش کردن به هنگام تدریس فعالیت آموزشی و یادگیری را جالب توجه و شیرین می‌نماید و در نتیجه دانش‌آموزان خسته و بی‌حوصله نمی‌شوند.

- هنگامیکه معلم و دانش آموز به روش آزمایشگاهی در کنار هم کار می‌کنند حس تعاون و مشارکت در میان آن‌ها تقویت می‌شود.
- روش آزمایشگاهی سبب رشد و گسترش مهارت‌هایی می‌شود که در مجموع دانش آموز را به سوی مطالعه و تحقیق بیشتر سوق می‌دهد.
- جایگزین کردن آموزش فعال و مؤثر به جای آموزش حفظی و مصرفی در جهت تبدیل فن-آوری تقلید و مصرفی به فن‌آوری ابداع و تولید.
- افزایش توان علمی و عملی معلمان و ایجاد مهارت‌های لازم برای درک عمیق‌تر مفاهیمی که تدریس می‌کنند.

هدف بنیادی از کار در آزمایشگاه و انجام آزمایش، پژوهش درباره درست بودن مطالبی است که در کتاب‌های درسی آموزش داده می‌شود. چه بسیار دیده شده است که معلم برای تفهیم مطلبی در کلاس درس ساعت‌ها وقت صرف کرده و در آخر هم نتیجه رضایت بخشی به دست نیاورده است. در صورتی که اگر همان مطلب را با انجام آزمایش ساده‌ای آموزش می‌داد، نتیجه بهتری می‌گرفت. آموزش بسیاری از مفاهیم شیمی با انجام آزمایش می‌تواند به آسانی انجام پذیرد. خواص گروهی و خواص تناوبی عنصرها، رسانایی محلول‌های آبی ترکیب‌های یونی، شناسایی کاتیون‌ها گرماسنجی و ... با انجام آزمایش‌های ساده، خیلی آسان آموزش داده می‌شود (پيله ور، ۱۳۹۷). در این پژوهش تعدادی آزمایش ساده بر اساس کتاب‌های درسی دوره متوسطه دوم طراحی شده است تا یادگیری مفاهیم درسی تحلیل گردد.

انجام آزمایش در حضور دانش‌آموزان یا توسط خود آن‌ها و درگیر کردن آن‌ها با فعالیت، فراگیران را در روند یادگیری فعال می‌سازد و درهای خلاقیت و کاربرد دانش را به روی آن‌ها می‌گشاید. یادگیری زمانی می‌تواند معنادار باشد که روش‌های فعال یاددهی - یادگیری به‌عنوان ابزاری طبیعی به کار گرفته شود تا اسباب تغییرات مطلوب در فراگیران فراهم آید. بدون شک با به‌کارگیری این روش‌ها می‌توان زمینه درگیری علمی، شادابی عاطفی، سازندگی و خلاقیت و بلوغ فکری و مسئولیت-پذیری را در دانش‌آموزان و دانشجویان فراهم آورد و همزمان با آن نیز، حس اعتماد به نفس آن‌ها را در جهت یادگیری تقویت کرد (نادری، ۱۳۹۲).

فعالیت‌های عملی آزمایشگاهی، نقش مؤثری در یادگیری عمیق و پایدار دانش‌آموزان دارد. انجام آزمایش علاوه بر ایجاد انگیزش در دانش‌آموزان، آن‌ها را با مراحل اکتشاف علم و روش علمی آشنا می‌کند تا مطالب‌ها را از نو کشف و تجربه کنند (صابری و دیگران، ۱۳۹۲). شیمی، علمی آزمایشگاهی

است و نمی‌توان آن را بدون انجام آزمایش برای دانش‌آموزان در سطوح متوسطه و دبیرستان به طور مؤثر آموزش داد. آزمایش‌ها و تجربه‌های عملی، اساس و پایه مفاهیم شیمی را تشکیل می‌دهند. علاوه بر این، آموزش شیمی با مشاهده و تجربه، حس کنجکاوی را برای یادگیری بیش‌تر در فراگیر ایجاد می‌کند و دیدگاه‌ها و نگرش‌های ملموس‌تری از علم شیمی را فراهم می‌آورد. در ضمن، آشنا نمودن فراگیر با فنون عملی، سبب ایجاد و پرورش خلاقیت‌ها و مهارت‌های عملی در او می‌شود. شیمی چون غذایی است که بدون چاشنی آزمایش دلچسب نیست. صدای یک انفجار کوچک و دیدن رنگ‌های زیبا و درخشان هر کسی را به هیجان می‌آورد؛ این شوق و اشتیاق می‌تواند زمینه کنجکاوی فراگیران را مهیا کند. شاید در بین درس‌های متوسطه دوم، ضرورت آموختن شیمی برای دانش‌آموزان، هرگز احساس نمی‌شود. ایجاد انگیزه و اشتیاق در فراگرفتن این درس به دبیران شیمی کمک می‌کند تا فراگیران، ضرورت آموختن این علم را احساس کنند. آزمایش‌های جذاب شیمی می‌تواند نقش مهمی در مسیر پیشرفت آموزش شیمی داشته باشد. (خزاعی، عمیدیان، خراشادیزاده، ۱۳۹۵). فعالیت‌های آزمایشگاهی از دیرباز نقشی متمایز و محوری در برنامه درسی شیمی به عنوان وسیله‌ای برای درک جهان طبیعی داشته است. برای سال‌های متمادی، مربیان شیمی پیشنهاد کرده‌اند که از درگیر کردن دانش‌آموزان در آزمایشگاه شیمی، مزایای زیادی حاصل می‌شود. مجموعه گسترده‌ای از متون نوشتاری نشان می‌دهد که آزمایشگاه یک روش منحصر به فرد از آموزش، یادگیری و ارزیابی را ارائه می‌دهد.

آزمایش کردن یکی از راه‌های آموختن اصول و نتایج کلی علم است که می‌تواند دانش‌آموزان را وادار به تفکر، بحث، نتیجه‌گیری و در نهایت یادگیری را مطلوب کند. آزمایش‌های شیمیایی سهم بسیار زیادی در ادراک فراگیران دارد. روش مستحکمی برای حفظ فرآیند بصری تدریس و اصولی برای پیشبرد هرچه عمیق‌تر اهداف آموزشی در علم شیمی محسوب می‌شود. آزمایش در آموزش شیمی جایگاه بسیار والایی دارد و توجه به فواید و تأثیرات آن تمام کوتاهی‌های آموزش انتزاعی شیمی را پوشش خواهد داد. تفهیم دانش‌آموزان در بسیاری از مباحث کتب شیمی ضامن توجه کافی و اجرای هوشمندانه رهنمودهای هر آزمایش برای یادگیری بیشتر و عمیق‌تر مباحث است. (احمدی و خدایی، ۱۳۹۹).

امروزه دانش‌آموزان این امکان را دارند که در زمینه‌های توصیفی و نظری شیمی به کتاب‌های فراوانی دسترسی پیدا کنند ولیکن اغلب آن‌ها نمی‌توانند به‌درستی بین شیمی تئوری و شیمی عملی (آزمایشگاه) ارتباط لازم را ایجاد کنند. در صورتی که استفاده بهینه از معلومات نظری کسب شده در

کلاس و توجیه پدیده‌ها فقط در آزمایشگاه قابل حصول است. بنابراین لزوم به کارگیری روش‌های درست و مناسب عملی به منظور درک هر مطلب نظری امری اجتناب‌ناپذیر است و با انجام آزمایش‌های گوناگون است که درک مفاهیم شیمی آسانتر می‌گردد (پیله ور، ۱۳۹۷). این گونه امور به امر تدریس کمک می‌کند، انگیزه و آگاهی به وجود می‌آورد و بر سرعت فرآیند یاددهی و یادگیری می‌افزاید. (پیله ور، ۱۳۹۷).

هدف و پیشینه پژوهش

مروری کوتاه بر تاریخچه آزمایشگاه شیمی:

اولین آزمایشگاه آموزشی شیمی به دست توماس تامسون^۱ در سال ۱۸۰۷ در بریتانیا، دانشگاه ادینبرگ تأسیس شد. در سال ۱۸۱۹ زمانی که تامسون به دانشگاه گالوسون پیوست، او کار آموزش در آزمایشگاه را در این دانشگاه مرسوم کرد. در سال ۱۸۲۴ لیببگیک آزمایشگاه شیمی در دانشگاه گیسن تأسیس کرد. این زمان یک دوران درخشان در قرن ۱۹ به حساب می‌آید. کلاس‌های آزمایشگاه به تدریج حدود ۵۰ سال توسعه یافت تا سرانجام در سال ۱۸۹۹، به این نتیجه رسیدند که باید به دانش‌آموزان اجازه داد، آزمایش‌ها را خودشان انجام دهند. تا این زمان، بیشتر مدارس در انگلستان این نکته را پذیرفته بودند و کار عملی را به عنوان یک نیاز ضروری برای تدریس لحاظ می‌کردند. بنابراین آموزش عملی در شیمی در دانشگاه‌های سراسر اروپا و شمال آمریکا توسعه یافت. کار عملی در این زمان نقش حیاتی در تایید نظریه‌هایی داشت که در کلاس تدریس شده بودند. با این وجود تأثیر تدریس از طریق کار عملی در شیمی هنوز مورد شک بود. یک قرن پیش آرمسترانگ^۲ آزمایش مستقیم به وسیله دانش‌آموزان را به جای آزمایش‌های نمایشی انجام شده از سوی معلم مورد دفاع قرار داد. با این وجود، در کار عملی فردی به دلیل تکرار آزمایش تا رسیدن به شرایط مطلوب زمان زیادی به هدر می‌رفت. بنابراین دوباره توجه به سمت نمایش آزمایش از طرف معلم جلب شد. در سال ۱۹۳۵، اسلنسنگر سهم کار آزمایشگاهی را در آموزش عمومی مورد بررسی قرار داد. او توجه کرد که دانش‌آموزانی که از قبل به شیمی علاقه نشان دادند، عادت دارند به جای اینکه آنچه در لوله آزمایش‌شان رخ می‌دهد را مشاهده کنند، آزمایش‌های خود را با توجه به دستور کار انجام دهند تا

¹ Thomas Thompson

² Armstrong

به نتایج مورد انتظار برسند (نورمن رید^۱، ۲۰۰۷). در اواخر قرن ۲۰، پیشنهادهای بیشتری از جمله تمرین‌های آزمایشگاهی، فیلم و ویدیوهای آموزشی، شبیه‌سازی‌های کامپیوتری برای تسهیل آموزش اثربخش در آزمایشگاهها ارائه شد (میری رامشه، ۱۳۹۲). به طور کلی آزمایش‌های شیمی با استفاده از دستورکارها یا کتاب‌های آزمایشگاه معرفی می‌شوند. در آزمایشگاه، دانش‌آموزان، آزمایش‌ها را به صورت گروهی انجام می‌دهند. این فعالیت گروهی شامل فرایندهای برنامه‌ریزی، طراحی و تجزیه و تحلیل است که گاهی به صورت گروهی و گاهی انفرادی انجام می‌گیرد (هوفستین^۲، ۱۹۸۲). پاجارز اشاره کرده است، هنگامی که دانش‌آموزان آزمایش انجام می‌دهند، می‌توانند اعتماد به نفس نسبتاً خوبی به دست آورند و آن را تقویت نمایند (پاجارز^۳، ۲۰۰۵).

برخی پژوهش‌های انجام شده در رابطه با آزمایشگاه شیمی و نقش آن در یادگیری:

جان هولمن در مقاله‌ای تحت عنوان هماهنگی آموزش علوم به زندگی واقعی می‌گوید: «اگر آموزش علوم به واقعیات زندگی نزدیک گردد، نه تنها دانش‌آموزان انگیزه بیشتری برای فراگیری پیدا می‌کنند بلکه بزرگسالان نیز آگاهی بیشتری به دست خواهند آورد.» (پیله ور، ۱۳۹۷). درس‌های علوم باید میان کار آزمایشگاهی و زندگی ارتباط برقرار سازند. علت روی گردانی درسین بزرگسالی از دروسی مانند شیمی و فیزیک، آن دسته دانش‌آموزانی هستند که بین زندگی اجتماعی و درس فراگیری شده در دبیرستان نمی‌توانند ارتباطی برقرار نمایند. گروهی از صاحب نظران و کارشناسان یونسکو اعتقاد دارند که «هر کجا علوم تجربی به شیوه ریاضی تدریس شود، علوم تجربی نابود می‌شود.» (پیله ور، ۱۳۹۷). از این رو معلمان علوم تجربی باید از تدریس آن به روش تدریس ریاضی و منطق پرهیز نموده و با به‌کارگیری تجارب علمی و آزمایشگاهی دانش‌آموزان را با دنیای واقعی آشنا نموده و این نکته را مدنظر داشته باشند که علوم تجربی مطمئناً ریاضی یا منطق نیست.

پل دهارت هرد (استاد دانشگاه استانفورد) می‌گوید: «کارآزمایشگاهی و کار عملی هسته مرکزی و اساس آموزش علوم را تشکیل می‌دهد.» (پیله ور، ۱۳۹۷). یادگیری از طریق کار در آزمایشگاه به ایجاد درک واقعی از آموزش علوم کمک فراوانی نموده و در فضای آزمایشگاه است که دانش‌آموزان مفاهیم و تئوری‌ها و مشاهدات را به‌عنوان وسیله‌ای جهت بررسی نظرات و اندیشه‌ها به کار می‌برند و

¹ Norman Reid

² Hofstein

³ Pajares

کار در آزمایشگاه باید فراهم‌کننده فرصت‌هایی برای دانش‌آموزان باشد تا بتوانند مشاهدات و یافته‌های خود را تعبیر و تفسیر نمایند. سایلر و الکساندر در کتاب برنامه ریزی درسی برای مدارس ضمن توجه به برنامه‌های آموزشی مدارس به مهارت‌های آزمایشگاهی اشاره نموده و نقش آزمایشگاه‌های موجود در مدارس را در بهبود مهارت‌های محاسبه‌ای و در نتیجه مهارت‌های اجتماعی با اهمیت می‌دانند. (پيله ور، ۱۳۹۷). زنده یاد پروفیسور عبدالسلام، فیزیکدان مسلمان پاکستانی و برنده جایزه نوبل و بنیان‌گذار فرهنگستان علوم جهان سوم، آموزش علوم را پایه‌ای برای رشد و توسعه دانسته و در این باره چنین گفته است: «رشد علوم و فنون (فن آوری) که از مشکلات اصلی و بسیار تأثیرگذار از کشورهای جهان سوم است، در گرو برنامه‌های اصولی برای آموزش بهینه علوم و نوآوری است. از عمده‌ترین وظایفی که در پیش روی مراکز آموزشی جهان سوم قرار دارد تلاش برای افزایش کمی و کیفی برنامه‌های آموزشی است.» (پيله ور، ۱۳۹۷).

در مورد تأثیر کارهای عملی و آزمایشگاه آقای محمد اسداللهی برنده مدال برنز المپیاد شیمی در سال ۱۳۷۹ می‌گوید: «آزمون المپیاد شیمی در دو بخش تئوری و عملی انجام شد که بخش عملی آن برای ما مشکل بود. وی می‌گوید آموزش‌هایی که برای شرکت در مسابقات المپیادها داده می‌شود، بیشتر تئوری است. برای همین آزمون تئوری برای بچه‌های تیم ایران ساده بود، ولی به راحتی از عهده آزمون‌های عملی و آزمایشگاهی بر نمی‌آمدند. یکی از راه‌های جلوگیری از فرار مغزها توسعه امکانات آزمایشگاهی و عادت دادن جوانان به تحقیقات آزمایشی است. با توجه به آنچه که در این بحث مورد بررسی قرار گرفت به جرأت می‌توان گفت در شرایط فعلی یکی از مؤثرترین راه‌های آموزش پایدار در شیمی و علوم تجربی دیگر به کارگیری آزمایش و آزمایشگاه است. حال با روشن شدن جایگاه آزمایشگاه در درس شیمی، به نظر می‌رسد که در کتاب‌های شیمی دوره متوسطه آزمایش‌های جالب و متنوعی آورده شود. اما متأسفانه در کتاب شیمی آزمایش ویژه مباحث مختلف گنجانده نشده است و به صورت تلفیقی همراه با آزمایش‌های فیزیک-زیست و زمین‌شناسی در کتاب آزمایشگاه علوم آورده شده است. آیا حذف این آزمایش‌ها از کتب شیمی و آوردن آن‌ها در کتاب آزمایشگاه علوم در پیشبرد اهداف آموزش شیمی درست است؟ (پيله ور، ۱۳۹۷)

تجربه‌های یادگیری کسب شده در یک فعالیت آزمایشگاهی اثربخش و هدفدار آن قدر عمیق و دامنه‌دار هستند که دانشجویان می‌توانند در موقعیت‌های مختلف نیز از یافته‌های خود به نحو احسن

برای مشکل‌گشایی و حل مسائل مشابه استفاده نمایند (دامین^۱، ۱۹۹۹). رفتار دانشجویان در آزمایشگاه به‌طور مؤثری تحت تأثیر نوع فعالیت‌های آزمایشگاهی که در دستورالعمل آزمایشگاهی ذکر شده است، قرار دارد. تجزیه و تحلیل راهنمای انجام فعالیت‌های آزمایشگاهی و فعالیت‌های انجام گرفته در آزمایشگاه شیمی عمومی نشان می‌دهد که شکاف بزرگی بین اهداف آموزش آزمایشگاهی و نوع فعالیت‌های دانشجویان وجود دارد (هافستین و لونت^۲، ۲۰۰۴).

روش پژوهش

روش این مقاله مروری بدین صورت است که با مراجعه به منابع مختلف از جمله مقالات، مجلات، کتب و... تأثیر استفاده از آزمایشگاه و آزمایش کردن در یادگیری شیمی، مورد توجه قرار گرفته است. جامعه مورد مطالعه این تحقیق، تمام پژوهش‌های انجام شده در رابطه با همین موضوع است. معیار انتخاب مقالات، اولویت آن‌ها با توجه به در دسترس بودن متن کامل مقالات به روز و نگاشته شده از طرف متخصصین آموزش شیمی است که با جستجوی کلمات کلیدی در این زمینه از جمله: تأثیر استفاده از آزمایشگاه در آموزش شیمی، آموزش در شیمی مبتنی بر آزمایش، آزمایشگاه شیمی، طراحی آزمایشات کم هزینه، آموزش شیمی مبتنی بر آزمایشگاه، فعالیت‌های آزمایشگاهی و عملی، اهمیت آزمایشگاه و... در موتور جستجوگر گوگل و سایت‌های رسمی مرجع مقالات تخصصی مانند سیولیکا و پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی جمع آوری گردید. همچنین از برخی از کتب درسی مقطع متوسطه دوم نیز استفاده گردید. به این ترتیب تعداد ۲۳ منبع انتخاب شد و مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌های پژوهش

۱. تأثیر حجم هوا بر سوختن شمع

احتراق یا سوختن نتیجه یک فرایند شیمیایی گرمازا میان یک ماده سوختنی و عامل اکسیدکننده است که با تولید گرما و تغییر شیمیایی مواد اولیه همراه می‌شود. آزاد کردن گرما می‌تواند با تولید نور به صورت شعله یا درخشش باشد. مواد سوختنی پر کاربرد معمولاً از ترکیب‌های آلی (به ویژه

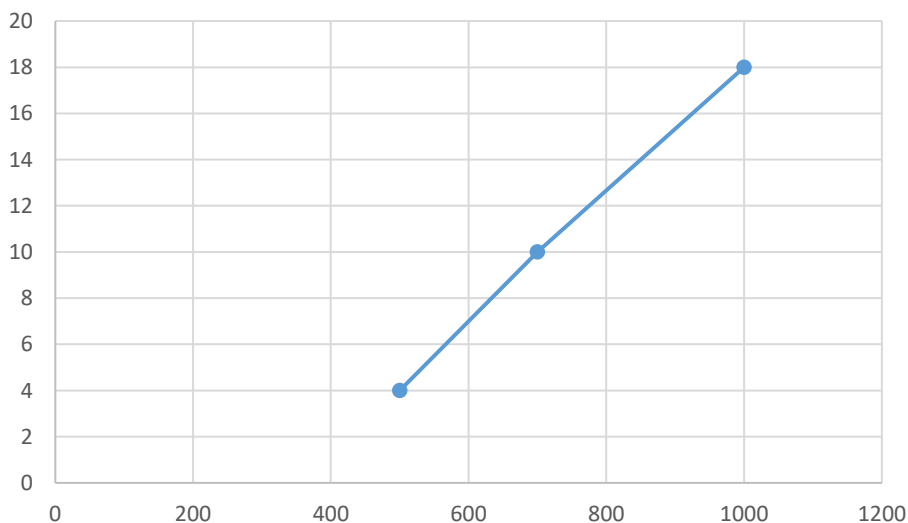
¹ Dumine

² Lunette

هیدروکربن‌ها) به صورت گازی، مایع یا جامد درست شده‌اند. همان‌طور که گفته شد، سوختن یک نوع واکنش اکسایش است؛ اما به خاطر سرعت بالای واکنش که منجر به تولید گرمای زیاد در زمان اندک و بالا رفتن دمای محیط واکنش و ایجاد نور و شعله می‌شود در دسته‌ای خاص قرار می‌گیرد. سوختن واکنشی است که در آن ماده‌ای با سرعت زیاد با اکسیژن ترکیب شده و علاوه بر تولید ترکیب‌های اکسیژن دار، گرما و نور نیز تولید می‌کند. همان‌طور که می‌دانید برای سوختن سه عامل ماده سوختنی، گرما و اکسیژن نیاز است. در آزمایش امروز به بررسی اثر اکسیژن در فرایند سوختن خواهیم پرداخت.

مواد و لوازم مورد نیاز: زمان سنج، سه شمع هم اندازه، کبریت، سه ظرف با حجم‌های ۵۰۰، ۷۰۰ و ۱۰۰۰ سی‌سی، زمان سنج

دستور کار: ابتدا یکی از شمع‌ها را با کبریت روشن می‌کنیم و پس از گذشت مدتی ظرف ۵۰۰ سی‌سی را روی آن قرار می‌دهیم داده و زمان سنج را روشن می‌کنیم؛ در ادامه تا خاموش شدن شمع صبر می‌کنیم و سپس زمان را یادداشت می‌کنیم. در آزمایشی که از سوی آزمایشگر انجام شد، این زمان ۴ ثانیه به دست آمد. سپس همین عمل را برای ظرف‌های ۷۰۰ سی‌سی و هزار سی‌سی انجام می‌دهیم. زمان برای ظرف ۷۰۰ سی‌سی برابر با ۱۰ ثانیه و برای ظرف ۱۰۰۰ سی‌سی برابر با ۱۸ ثانیه به دست می‌آید. اعداد به دست آمده را در نمودار رسم می‌کنیم (شکل ۱).



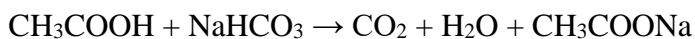
شکل ۱. زمان خاموش شدن شمع بر اساس حجم ظرف

با انجام این آزمایش، دانش‌آموزان به خوبی با تأثیر مقدار اکسیژن در عمل سوختن آشنا می‌شوند و نیاز به حفظ کردن این مطالب ندارند.

۲. تأثیر کربن دی‌اکسید بر روی سوختن شعله چراغ بونزن

دانستیم که یکی از محصولات واکنش سوختن کامل، کربن دی‌اکسید است. کربن دی‌اکسید همچنین با ممانعت کردن از حضور اکسیژن در کنار شعله، مانع عمل سوختن می‌شود و باعث خاموش شدن شعله می‌گردد. این آزمایش قصد دارد تأثیر کربن دی‌اکسید بر روی شعله را مورد بررسی قرار دهد.

مواد و لوازم مورد نیاز: چراغ بونزن، کبریت، جوش شیرین، سرکه، بشر دستورکار: واکنش بین سرکه و جوش شیرین باعث تولید گاز کربن دی‌اکسید می‌گردد (واکنش ۱).



واکنش ۱

ابتدا چراغ بونزن را با کبریت روشن می‌کنیم. سپس درون بشر مقداری جوش شیرین اضافه می‌کنیم. در ادامه کمی سرکه به آن اضافه کرده و بر روی بشر، درپوشی قرار می‌دهیم تا مانع از خروج گاز گردد. پس از مدتی بشر را بالای شعله چراغ بونزن گرفته و به صورتی آن را خم می‌کنیم که گاز تولیدی در پیرامون شمع پراکنده شود. افزایش غلظت کربن دی‌اکسید در اطراف شعله شمع باعث ممانعت از حضور اکسیژن در آن محیط شده که در نتیجه باعث خاموشی شمع می‌شود. با انجام این آزمایش دانش‌آموزان درمی‌یابند که گاز کربن دی‌اکسید با اینکه با چشم قابل دیدن نیست، اما حضور آن در کنار شعله با ممانعت از حضور اکسیژن در کنار آن، باعث خاموشی شعله می‌شود.

۳. بررسی پدیده اسمز

اسمز یا گذرندگی به فرایندی گفته می‌شود که طی آن حلال از طریق یک غشای نیمه تراوا از جایی که محلول رقیق‌تر است به جایی که محلول غلیظ‌تر است، نفوذ می‌کند. غشای نیمه تراوا،

پرده‌ای است که گذر دهی انتخابی دارد و فقط به مولکول‌های کوچک مثل آب اجازه عبور می‌دهد و از عبور مولکول‌های بزرگ مانند اغلب یون‌ها و مولکول‌ها جلوگیری به عمل می‌آورد. در طی انجام فرایند اسمز، فقط حلال یا آب می‌تواند از غشای نیمه تراوا عبور کند و یون‌ها، مولکول‌ها و سایر املاح درشت موجود در حلال نمی‌توانند از این غشا عبور کنند. پس با گذر زمان، سطح محلول رقیق کاهش و سطح محلول غلیظ افزایش می‌یابد.

فشار لازم برای برای توقف کامل اسمز را فشار اسمزی می‌نامند. همچنین فشار اسمزی عامل حرکت مولکول‌های آب می‌باشد، پس هرچه اختلاف غلظت در محلول رقیق و غلیظ بیشتر باشد، فشار اسمزی بیشتر است و آب با سرعت بیشتری از محلول رقیق به سمت محلول غلیظ، از خلال پرده نیمه تراوا گذر می‌کند. با گذر زمان، فشار اسمزی به مرور کاهش می‌یابد تا اینکه به صفر برسد، در اینجا فرایند اسمز متوقف می‌گردد.

منظور از توقف اسمز، توقف از لحاظ ماکروسکوپی می‌باشد. در نگاه میکروسکوپی، اسمز همواره در حال انجام است. ممکن است این سؤال ایجاد شود که چگونه با فعال بودن فرایند اسمز سطح محلول رقیق و غلیظ تغییر نمی‌کند و ثابت است؟

پاسخ این است که تعداد مولکول‌هایی که از محلول رقیق به محلول غلیظ وارد می‌شود، برابر با تعداد مولکول‌هایی است که از محلول غلیظ به رقیق وارد می‌شود و حاصل این فرایند این است که در نگاه ماکروسکوپی مقدار محلول‌ها ثابت می‌ماند و تغییر نمی‌کند.

برای آشنایی با مفهوم اسمز و درک کامل آن آزمایش زیر را انجام دهید:

مواد و لوازم مورد نیاز: تخم مرغ خام، آب مقطر (یا آب جوشیده سرد شده)، نی آبمیوه خوری

شفاف، مقداری خمیر بازی، اسپاتول فلزی، بشر ۱۰۰ mL

دستورکار: ابتدا حدود ۷۵ mL آب مقطر درون بشر بریزید. با لبه اسپاتول، به انتهای مدور تخم مرغ آهسته ضربه بزنید و با ناخن تکه کوچکی به اندازه نوک انگشت از پوسته آهکی آن را جدا کنید. مراقب باشید که پرده نازک زیر پوسته آسیب نبیند. در طرف مقابل، سوراخی به اندازه قطر نی ایجاد کنید و نی را به اندازه ۲ cm به درون تخم مرغ وارد کنید. مراقب باشید به زرده تخم مرغ آسیب نرسانید. فضای بین تخم مرغ و نی را با خمیر بازی به خوبی بپوشانید. حال تخم مرغ را از قسمت مدور درون بشر قرار دهید، به طوری که نی درون آن به سمت بالا باشد. بشر را به مدت ۱۰-۸ ساعت در جای مناسبی قرار دهید.

بعد از گذشت این زمان، مشاهده می‌شود که مقداری از سفیده تخم مرغ از نی بیرون ریخته است، علت رخ دادن این قضیه چیست؟

در این آزمایش، پوسته شفاف تخم مرغ، به عنوان غشای نیمه تراوا عمل می‌کند. درون تخم مرغ محیطی با غلظت بالا است. پس آب تمایل دارد به صورت طبیعی از درون بشر به درون تخم مرغ اسمز کند. با عبور آب از درون بشر به درون تخم مرغ، حجم محلول درون تخم مرغ افزایش یافته و به علت وجود پوسته آهکی تخم مرغ، امکان افزایش حجم میسر نیست، پس محلول درون تخم مرغ از نی بیرون می‌ریزد.

مفهوم دیگری به نام اسمز معکوس نیز وجود دارد. همان‌طور که از نام آن پیداست، در اسمز معکوس آب از محیط غلیظ به محیط رقیق از خلال غشای نیمه تراوا عبور می‌کند. اما این برخلاف میل طبیعی آب می‌باشد، پس باید با یک پمپ بر روی محلول غلیظ فشار ایجاد کرد تا فشار اسمزی معکوس ایجاد گردد. از این روش در دستگاه‌های تصفیه آب استفاده می‌شود که شکل آن را مشاهده می‌فرمایید.

۴. تأثیر دما بر انحلال نمک‌ها

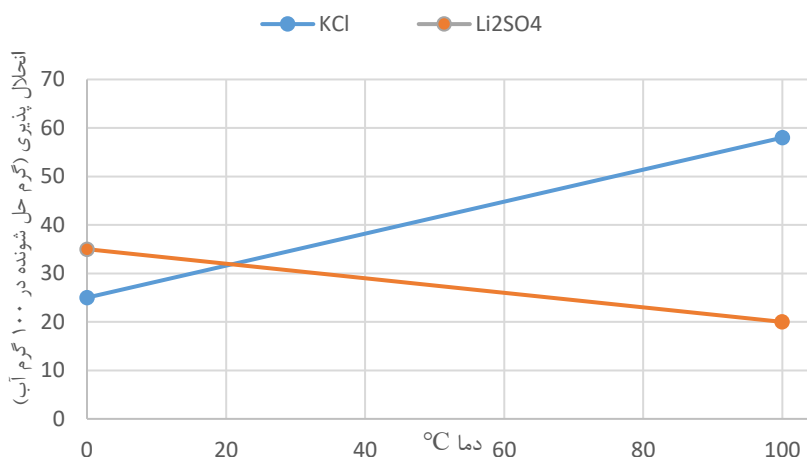
نمک طعام، یکی از موادی است که همواره در طبخ غذا از آن استفاده می‌کنیم. بر اساس تجربه می‌دانیم که با گرم کردن آب، مقدار نمک طعامی که در آن حل می‌شود، افزایش می‌یابد. آیا این قانون برای همه نمک‌ها صادق است؟ برای پاسخ به این سؤال آزمایش زیر را انجام دهید:

مواد و لوازم مورد نیاز: پتاسیم کلرید (KCl)، سولفات لیتیم (Li_2SO_4)، دو بشر به حجم ۲۵۰ mL، آب شرب، اسپاتول فلزی، چراغ بونزن

دستور کار: ابتدا در هر بشر، ۱۰۰ mL آب شیر با دمای 20°C بریزید. در بشر شماره ۱ پتاسیم کلرید و در بشر شماره ۲ لیتیم سولفات به آرامی بیفزایید و همزمان با اسپاتول محلول‌ها را هم بزنید. به محض اینکه دیگر نمک در حلال حل نشود، اضافه کردن نمک را متوقف کنید. سپس دو محلول را گرم کنید و به دمای 60°C درجه سانتی‌گراد برسانید. حال مانند مرحله قبل، سعی کنید مقدار بیشتری نمک درون حلال حل کنید. نتیجه آزمایش شگفت‌انگیز می‌باشد.

مشاهده می‌شود که با افزایش دما، مقدار بیشتری KCl می‌توان درون محلول حل کرد، اما Li_2SO_4 بیشتری درون محلول حل نمی‌شود، حتی مقداری از نمک Li_2SO_4 در انتهای بشر رسوب می‌کند. با مراجعه به جداول علمی بهتر می‌توان این مسئله را بررسی نمود.

به نمودار زیر که انحلال پذیری چند نمک بر اساس دما را مورد بررسی قرار می‌دهد، دقت کنید (شکل ۲). با توجه به نمودار، انحلال پذیری هر دو نمک پتاسیم کلرید (خط آبی پررنگ) و لیتیم سولفات (خط نارنجی رنگ) در دمای 20°C تقریباً برابر ۳۲ گرم در ۱۰۰ گرم آب است. نکته مهم این است که شیب انحلال پذیری پتاسیم کلرید -مانند اغلب نمک‌ها- بر اساس دما مثبت است، یعنی با افزایش دما، انحلال پذیری این نمک در آب نیز افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که شیب انحلال پذیری لیتیم سولفات -برخلاف اغلب نمک‌ها- در آب، بر اساس دما منفی می‌باشد؛ یعنی با افزایش دما، مقدار انحلال پذیری این نمک کاهش می‌یابد.



شکل ۲. انحلال پذیری پتاسیم کلرید و لیتیم سولفات بر اساس دما

بحث و نتیجه‌گیری

آزمایشگاه‌ها یکی از عرصه‌های مهم فعالیت در مدارس می‌باشند. در آزمایشگاه است که فراگیران بخش عمده آموزش خود را دریافت می‌کنند. آن‌ها ضمن آزمایش پدیده‌هایی را مشاهده می‌کنند که به ناچار باید درباره آن‌ها و پیدایش آن‌ها بیندیشند و برای توجیه آن‌ها به آزمایش‌های تازه‌ای دست بزنند و با این شیوه است که استعدادها شکفته می‌شود. یکی از مشکلاتی که در انجام آزمایش‌های شیمی داریم، هزینه بر بودن و سخت بودن مواد اولیه است. در این مقاله سعی شد تعدادی آزمایش ساده طراحی شود تا یادگیری شیمی از این طریق برای دانش‌آموزان تسهیل گردد. اگر می‌خواهیم پل ارتباطی بین مراکز صنعتی و تکنولوژی کشور و دنیای آفرینش از یک طرف و مراکز آموزشی از

طرف دیگر برقرار کنیم، تنها راه آن اهمیت دادن به آزمایشگاه‌ها و تجهیز هرچه بیشتر آن‌هاست. آنگاه دانش‌آموزان فعالیت‌های ذهنی خود را با تجربیات عملی در هم می‌آمیزند و روحیه خلاقیت و نوآوری در آن‌ها افزایش می‌یابد.

منابع

- احمدی، یاور، خدایی، علیرضا (۱۳۹۹)، مروری بر اهمیت آزمایشگاه و آموزش شیمی مبتنی بر آزمایش، فصلنامه پژوهش در آموزش علوم پایه، ۲ (۲)، ۶۵-۵۳.
- اصغری، نسیم، امانی، وحید (۱۳۹۹)، اصول ایمنی در آزمایشگاه‌های مدارس، مجله رشد آموزش شیمی، ۱۲۹، ۳۴.
- اکبرزاده خیابوی، عظیم. اصول علم آزمایشگاه، انتشارات هاد، ۱۳۶۹.
- آل محمد، سیدعلی، ابراهیمی، محمد. انصاری، مریم. ساری (۱۴۰۱)، زیست شناسی (۱) پایه دهم دوره دوم متوسطه، تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- پیله ور، آذر (۱۳۹۷)، آموزش شیمی مبتنی بر آزمایشگاه و شیوه‌های ارائه‌ی آن، دهمین کنفرانس آموزش شیمی ایران، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- حذر خانی، حسن، عابدین، علیرضا (۱۳۹۷)، شیمی (۲) - پایه یازدهم دوره دوم متوسطه، تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- حذر خانی، حسن، عابدین، علیرضا (۱۳۹۶)، شیمی (۲) - پایه یازدهم دوره دوم متوسطه، تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- حذر خانی، حسن، عابدین، علیرضا (۱۴۰۰)، شیمی (۲) - پایه یازدهم دوره دوم متوسطه، تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- خزایی، مریم، عمیدیان، معصومه (۱۳۹۵)، نقش آزمایش در یادگیری مفاهیم شیمی، نهمین کنفرانس آموزش شیمی ایران، زنجان، دانشگاه زنجان.
- رجائی، صابر (۱۳۹۲)، چگونه آزمایشگاهی ایمن داشته باشیم؟ هشتمین سمینار آموزش شیمی ایران، سمنان، دانشکده شیمی دانشگاه سمنان.

- صابری، ستار، عشقی، حسین. اسماعیل زاده، محمد (۱۳۹۲)، طراحی فعالیت های عملی آزمایشگاهی کم هزینه در درس شیمی و زندگی، هشتمین سمینار آموزش شیمی ایران، سمنان، دانشگاه سمنان.
- قراری، محمد، محمدی، رضا، قربانی، محمود (۱۳۹۹)، بررسی آسیب‌ها و چالش‌های شیوع بیماری کرونا بر آموزش، مجله تخصصی اپیدمیولوژی ایران، ۱۶، ۳۷-۲۹.
- میرشکرائی، سید احمد، حسینی، سید جواد (۱۳۹۲)، اصول ایمنی در آزمایشگاه شیمی، هشتمین سمینار آموزش شیمی ایران، سمنان، دانشکده شیمی دانشگاه سمنان.
- نادری، سوسن (۱۳۹۲)، دستورالعمل‌های ایمنی آزمایشگاه شیمی، هشتمین سمینار آموزش شیمی ایران، سمنان، دانشکده شیمی دانشگاه سمنان.

Domain, D.S. (1999), Review of laboratory instructional styles, *Journal of Chemical Education*, 76, 543-547.

Lazonder, Ard W, Harmsen, Ruth. (2016), Meta-analysis of inquiry- Based learning: Effects of guidance, *Review of educational research*, 26(9), 629-192.



Designing simple experiments to facilitate teaching secondary high school level chemistry concepts

Amir Mohammad Bahrami Maddah^{1*}, Zohre Serkan²

¹Master student of chemistry, Farhangian University, Tabriz, Iran

²Expert in supervision of preschool centers, General Directorate of Education, Hamadan, Iran

Abstract

Chemistry is a branch of science that examines elements, compounds (made of atoms, molecules, and ions), the effect of substances on each other as well as the changes that a substance exhibits during reaction with other substances. Chemistry is also one of the important high school courses, which is important in the final exams and the national university entrance exam. Nevertheless, there are many problems in chemistry education, and teachers have always thought of finding solutions for them. Using practical work and chemistry lab is a very suitable solution to improve learning chemistry. Teaching chemistry with the use of a laboratory can make students think and make learning more appealing. In this line, this research has been conducted with the aim of designing simple experiments to facilitate the learning of the concepts of the junior high school, and several simple and low-cost experiments have been introduced that can facilitate learning. The study method is based on searching Persian and English databases and reviewing articles, books, and theses related to chemistry education, and the use of laboratory in chemistry education. Finally, the significance of using experiments to facilitate the learning of chemistry has been discussed.

Keywords: Learning chemistry, Simple experiments, Chemistry concepts, Students' understanding.

*Corresponding Author: (✉ amirmohammadbahramimaddah@gmail.com)

Received: 23 December 2022 / Accepted: 29 June 2023