Research in Chemistry Education, Vol 6, No 2, 29-47

Research in Chemistry Education

https://chemedu.cfu.ac.ir

Educational transformation, necessary for the development of green and sustainable chemistry

Maryam Souri [1,*]

1 Chemistry Department, College of Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

* Corresponding author: (msouri@pnu.ac.ir)

ABSTRACT

In recent decades, the issues such as confronting the destruction of the ozone layer, keeping water sources clean, and searching for renewable energy sources have been proposed and taught at different levels of chemistry education. Today, it is inevitable to add topics related to green chemistry in chemistry curricula and to develop systematic education of green chemistry. In addition, green chemistry education is considered the cornerstone of green and sustainable chemistry development. Therefore, one of the most challenging topics in educational planning is the development of green chemistry concepts at different educational levels. In addition, for the effectiveness of the concept of green chemistry in the quality of human life and the environment, it is necessary to spread the concepts and teachings of green chemistry beyond educational environments to society and industry. In this study, the publications about the teaching method of green chemistry at some of the schools and universities across the globe, as well as the methods of promoting it in different societies have been discussed, and the most important methods and applied experiences of this field have been highlighted. Research results indicate that achieving the desired state in implementing the principles of green and sustainable chemistry in the chemical industry requires an educational transformation in order to educate the citizens and workforce familiar with the principles of green chemistry.

Keywords:
Green chemistry
Environment
Green chemistry education
Sustainable development
Renewable Energy

RESEARCH ARTICLE

Received: 29 February 2024
Revised: 1 April 2024
Accepted: 17 April 2024
Published online: 28 April 2024
Print ISSN: 3041-9271
Online ISSN: 2717-2279

Citation: Souri, M. (2024) Educational transformation, necessary for the development of green and sustainable chemistry. *Research in Chemistry Education*, *6*(2), 29-47.
https://doi.org/ 10.48310/CHEMEDU.2024.16022.1229

© The author(s)
Publisher: Farhangian University

پژوهش در آموزش شیمی، سال ششم، شماره دوم، صفحات ۴۷-۲۹

پژوهش در آموزش شیمی
https://chemedu.cfu.ac.ir

تحول آموزشی لازمه‌ی توسعه شیمی سبز و پایدار

مریم سوری [۱،*]

۱. گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: (msouri@pnu.ac.ir)

چکیده

در دهه‌های اخیر مسائلی مانند مقابله با تخریب لایه اوزون، تمیز نگه داشتن منابع آب، و جستجو برای منابع تجدیدپذیر انرژی، در سطوح مختلف آموزش شیمی طرح و تدریس شده است. امروزه، افزودن موضوعات مرتبط با شیمی سبز، در برنامه‌های درسی شیمی و توسعه آموزش سیستماتیک شیمی سبز اجتناب‌ناپذیر است. علاوه بر آن، آموزش شیمی سبز سنگ بنای توسعه شیمی سبز و پایدار محسوب می‌شود. بنابراین، یکی از چالش-برانگیزترین موضوعات در برنامه‌ریزی آموزشی، توسعه مفاهیم شیمی سبز در سطوح آموزشی مختلف است. در این پژوهش مقالات منتشر شده در خصوص شیوه آموزش شیمی سبز، در مدارس و دانشگاههای برخی کشورهای جهان و همچنین، روشهای ترویج آن در جوامع مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. و مهمترین روش‌ها و تجربیات کاربردی این حوزه که پیش از این در برخی کشورهای توسعه یافته به‌طور موفقیت‌آمیز آزموده شده‌اند، مشخص گردیده است. مطالعات نشان می‌دهد رسیدن به وضعیت مطلوب در پیاده‌سازی اصول شیمی سبز و پایدار در صنایع شیمیایی، مستلزم تحول آموزشی به منظور تربیت شهروندان و نیروی کار آشنا به اصول شیمی سبز است.

واژه‌های کلیدی:
شیمی سبز
محیط زیست
آموزش شیمی سبز
توسعه پایدار
انرژی تجدید پذیر

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹
تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹
شاپا چاپی: ۹۲۷۱-۳۰۴۱
شاپا الکترونیکی: ۲۲۷۹-۲۷۱۷

ارجاع: سوری، مریم (۱۴۰۳). تحول آموزشی لازمه‌ی توسعه شیمی سبز و پایدار. پژوهش در آموزش شیمی، ۶(۲)، ۴۷-۲۹.

https://doi.org/ 10.48310/CHEMEDU.2024.16022.1229

© نویسندگان.
ناشر: دانشگاه فرهنگیان

مقدمه

آلودگی محیط زیست، زوال اکوسیستم‌ها، تغییرات آب و هوایی و افزایش مصرف انرژی، برخی از چالش‌های بی-سابقه‌ای هستند که با توسعه‌ی صنایع، جامعه جهانی با آن مواجه شده است. توسعه پایدار به معنای توسعه‌ی جوامع بشری به صورت سازگار با محیط زیست و بدون دست‌اندازی و تخریب منابع مورد نیاز نسلهای آینده است. توسعه پایدار مانع از تشدید چالش‌های مرتبط با فقر، نابرابری، آب و هوا و تخریب محیط زیست می‌شود (Hurst, 2019). شیمی پایدار بر به حداقل رساندن خطرات آلودگی در مسیر تولید مواد شیمیایی تأکید دارد؛ همچنین تلاش می‌کند تا فرآیندها را با نگاه همزمان به جنبه‌های زیست‌محیطی، رشد اقتصادی و کیفیت کلی زندگی به سطحی پایدار برساند (Centi & Perathoner, 2009). پایداری همچنین، مشوق نوآوری در طراحی مواد شیمیایی، فرآیندهای تولید و فناوری‌های جدید است.

شیمی سبز طراحی محصولات و فرآیندهای شیمیایی به نحوی است که، استفاده و تولید مواد خطرناک را کاهش دهد و یا حذف کند. شیمی سبز در طول چرخه زندگی یک محصول شیمیایی اعم از مراحل فرمولاسیون، ساخت، فرآوری، بسته‌بندی و توزیع، استفاده از محصول، بازیافت، استفاده مجدد و دفع ضایعات کاربرد دارد. با افزایش آلودگیهای زیست محیطی در دهه‌های اخیر شیمی سبز یک رویکرد اجتناب‌ناپذیر در توسعه شیمی و مهندسی شیمی محسوب می‌شود. آموزش شیمی سبز برای دستیابی به توسعه پایدار برای اولین بار، به عنوان یک هدف سیاسی در سراسر جهان طی "دستورالعمل ۲۱[1]" مطرح شد. این دستورالعمل داوطلبانه و غیرالزام‌آور حاصل کنفرانس سازمان ملل درباره محیط زیست و توسعه است؛ که در سال ۱۹۹۲ در ریودوژانیرو برگزار شد. این برنامه، یک دستورکار عملی برای سازمان ملل، دیگر سازمان‌های چندجانبه و دولت‌های سراسر جهان است که می‌تواند در راستای حفاظت از محیط زیست و منابع طبیعی اجرا شود (Eilks & Zuin, 2018; Li & Eilks, 2021). همچنین،کتاب "شیمی سبز در تئوری و عمل" که در سال 1998 توسط آناستاس[2] و وارنر[3] منتشر شد؛ بیش از پیش نگاه دانشمندان جهان را به موضوع شیمی سبز معطوف کرد (Anastas & Warner, 1998).

شیمی سبز بر دوازده اصل اساسی استوار است:

- جلوگیری از تولید پسماند به جای تصفیه و پاکسازی انبوه زباله‌ها
- اقتصاد اتمی

[1] Agenda 21
[2] Paul T. Anastas
[3] John C. Warner

- روش‌های سنتز شیمیایی کم‌خطر
- طراحی مواد شیمیایی ایمن‌تر
- حلال‌ها و مواد کمکی ایمن‌تر
- طراحی مناسب برای افزایش بهره‌وری انرژی
- استفاده از مواد اولیه تجدیدپذیر
- کاهش مشتقات
- استفاده از کاتالیزورهای مؤثرتر
- طراحی مناسب برای تخریب‌پذیر بودن محصولات با کمترین آسیب به محیط زیست
- تجزیه و تحلیل زمان واقعی برای پیشگیری از آلودگی و پیش‌بینی زمان تشکیل مواد خطرناک
- توسعه روشهای شیمیایی ایمن‌تر برای پیشگیری از حوادث

دانشمندان آینده باید به دانش کافی از شیمی سبز برای حمایت از توسعه پایدار مجهز شوند (Haack et al., 2013; Programme, 2019). امروزه شیمی سبز مورد توجه بسیاری از دانشگاهها، صنایع و دولتهاست. این جنبش در حال گسترش به سراسر جهان است؛ و ضرورت آن در سطح بین المللی به رسمیت شناخته شده است (Wang et al., 2018).

پیشینه پژوهش

برای توسعه پایدار صنایع شیمیایی، مفهوم شیمی سبز یک عامل تعیین‌کننده است. استفاده بهینه از منابع، حفاظت از محیط زیست و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در گرو آشنایی متخصصان صنایع شیمیایی، با ضرورت و مفاهیم شیمی سبز است. از این رو گنجاندن مفاهیم و راهکارهای وابسته به شیمی سبز در دوره‌های آموزشی پایه و تخصصی، از اهمیت استراتژیک برخوردار است. ایجاد یک جامعه آگاه به مفهوم شیمی سبز و توسعه پایدار، متشکل از متخصصان، معلمان، دانش‌آموزان و مردم از ضرورتهای پیشرفت کشور در حوزه‌های نوین دانش و صنعت است .

فرایند توسعه شیمی سبز به سختی می‌تواند بدون سیاست‌گذاری، آموزش و تبلیغات و اطلاع‌رسانی اتفاق بیفتد. چهار مؤلفه اصلی شیوه‌های آموزشی عبارتند از: مدرس، علم‌آموز، محتوای آموزشی و محیط (متشکل از تعاملات بین فراگیران و مربیان، جامعه و فرهنگ). مدرسه و دانشگاه فضا، استانداردها و منابعی را برای وقوع آموزش و یادگیری فراهم می‌کنند. جامعه مسئولیت آموزش عمومی را بر عهده می‌گیرد و بر خط‌مشی و عملکرد مدارس و دانشگاه‌ها

تأثیرگذار است (Sjöström et al., 2016). جهت گسترش شیمی سبز در جامعه در گام اول تقویت تفکر و فلسفه شیمی سبز با ترویج آموزش شیمی سبز از دبستان تا دانشگاه، بایستی مورد توجه سیاست‌گذاران آموزش کشور قرار گیرد. آموزش شیمی سبز باید در تمام حوزه‌های آموزش و یادگیری شیمی نفوذ کند (Zuin et al., 2021). پس از آن انتقال مفاهیم از دانش‌آموزان و دانشجویان و متخصصان به آحاد شهروندان امکان‌پذیر خواهد بود. با گذشت زمان پیاده‌سازی اصول شیمی سبز از صنایع شیمیایی مناطق توسعه‌یافته به مناطق کمتر توسعه‌یافته سرایت خواهد کرد .

برای توسعه شیمی سبز لازم است برنامه‌های درسی شیمی از سطح دبیرستان و در زمانی که سنگ‌بنای دانش شیمی در ذهن فراگیران گذاشته می‌شود شامل ایده‌های شیمی سبز باشد. مطالعات نشان داده‌اند که دوره‌های شیمی سبز و توسعه پایدار می‌تواند تفکر انتقادی، حل مسئله و مهارت‌های ارتباطی دانش‌آموزان را تقویت کند و علاقه و انگیزه آن‌ها را برای یادگیری شیمی افزایش دهد. این امر برای درک توسعه پایدار در سطح ملی و جهانی ضروری است (Marteel-Parrish, 2007). چالش‌های کلیدی در حوزه آموزش شیمی سبز شامل تهیه محتوای آموزشی متناسب با سطح علم‌آموزان، گنجاندن شیمی سبز در برنامه درسی ملی طبق یک رویکرد یکپارچه، توسعه آزمایش‌ها و فعالیت‌های شیمی سبز فراگیر، آموزش مربیان آموزش دیده، توسعه بسترهای[1] مناسب برای تهیه و توزیع محتوای آموزشی و اشتراک داده‌ها و تجربیات قابل انتقال است.

پژوهشگران و فعالان حوزه آموزش شیمی در ایران در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای توسعه آموزش شیمی سبز انجام داده‌اند. به عنوان مثال در پژوهشی، طراحی و اجرای آزمایش‌های سبز در مقطع متوسطه مورد بررسی قرار گرفته است (صباغان و همکاران، ۱۳۹۵). در پژوهش‌های دیگری راهکارهایی برای گنجاندن رویکرد سبز در متون درسی شیمی مورد مطالعه قرار گرفته است (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲؛ حبیبی و همکاران، ۱۳۹۶؛ احمدی و خدایی، ۱۴۰۰). مقاله حاضر در ادامه این دست پژوهش‌ها تهیه شده است.

روش

در بسیاری از کشورهای توسعه یافته شیمی سبز در محتوای آموزشی دوره‌های تحصیلی مختلف، از دبستان تا دانشگاه گنجانده شده است و تلاش‌های موفقیت‌آمیزی برای ارتقای دانش عمومی شهروندان در این زمینه و توسعه الزام‌آور مفاهیم بنیادی شیمی سبز و پایدار به صنایع مختلف صورت گرفته است. برای انجام این پژوهش تازه‌ترین مقالات چاپ شده در زمینه آموزش شیمی سبز، مورد مطالعه قرار گرفته است و داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری

[1] Platforms

گردیده‌اند. این مقالات در بر گیرنده تجربیات کشورهای مختلف، از جمله ایالات متحده آمریکا، چین، انگلستان، برزیل، انگلستان و... بودند. سپس با بررسی اقدامات انجام شده در سیستم آموزشی کشورهای مختلف و تحلیل محتوایی و ارزیابی دقیق موضوعات، راهکارهای کلی آموزش و اشاعه شیمی سبز استخراج و مورد بحث قرار گرفته است.

یافته‌ها

در این بخش راهکارهای آزموده توسط کشورهای پیشرو در زمینه آموزش و پیاده سازی شیمی سبز تحت هشت محور مورد بررسی قرار گرفته است. بسیاری از این موضوعات در سیستم آموزش و پرورش و آموزش عالی کشور ما قابل استفاده هستند.

۱- عبور از شیوه‌های آموزش سنتی در مدارس و دانشگاهها

روشهای سنتی تدریس مستقیم، محدودیت‌های موجود در منابع آموزشی ضروری و شکاف فعلی بین تحقیقات علمی و آموزه‌های شیمی سبز از موانع موجود در مسیر آموزش شیمی سبز و پایدار است. در دانشگاه‌های پیشتاز برای توسعه شیمی سبز از یک رویکرد مشارکتی و پژوهش‌محور در تهیه محتوای آموزشی و ارتقای برنامه درسی استفاده می شود (Healey et al., 2016). رویکرد مشارکتی و پژوهش‌محور، یک رویکرد اساسی در تحقیق و توسعه است که بر اساس همکاری و مشارکت بین افراد برای حل مسائل و یافتن راه‌حل‌های نوین تعریف شده است .

با تقویت همکاری بین دانشجویان، اساتید، کارشناسان صنعت و محققان، دانشگاه‌ها می‌توانند برنامه‌های درسی جامعی را توسعه دهند که اصول شیمی سبز، محافظت از محیط زیست و توسعه پایدار را در بر داشته باشد. این رویکرد امکان تبادل ایده‌ها، تجربیات یادگیری عملی و دیدگاه‌های بین‌رشته‌ای را فراهم می‌کند و تضمین می‌کند که، علم‌آموزان برای مقابله با چالش‌های محیطی دنیای واقعی در حرفه آینده خود به خوبی مجهز شوند. علاوه بر این، ترکیب مطالعات موردی، آزمایش‌های واقعی و کار میدانی می‌تواند کاربرد عملی اصول شیمی سبز را افزایش دهد و درک دانش‌آموزان از موضوع را تقویت کند (Di Maria et al., 2019). به عنوان نمونه، دانشگاه کالیفرنیا با همکاری یک شرکت تولید مواد شیمیایی، به همراه تیمی از دانشمندان برجسته در زمینه شیمی سبز، برای توسعه یک دوره آموزشی نوآورانه در زمینه طراحی مواد پایدار و فرآیندهای تولید سبز، همکاری می‌کند.

۲- استفاده از شیوه‌های یادگیری فعال

آموزش مؤثر فراگیران نیازمند مواجه شدن آن‌ها با چالش‌های شیمی سبز در سطوح عمیق‌تر است. یکی از راه‌های رسیدن به این هدف، از طریق یادگیری فعال است. یادگیری فعال، یک رویکرد آموزشی است که به دانشجویان فرصت می‌دهد تا فعالانه در فرآیند یادگیری شرکت کنند و نقش اساسی در ساختن دانش و درک خود داشته باشند. این رویکرد بر اساس اصول مبتنی بر انگیزش، تعامل و تجربه می‌باشد. استراتژی‌های آموزشی مختلفی مانند یادگیری مبتنی بر پروژه، یادگیری مبتنی بر تحقیق، یادگیری تجربی، یادگیری زمینه‌ای، و یادگیری مشارکتی موجب تسهیل یادگیری فعال می شوند (Freeman et al., 2014; Hurst, 2019; Summerton et al., 2018; Warburton, 2003). در این روش‌ها دانشجویان فرصت دارند تا در فرآیند یادگیری با استفاده از گفتگو، تبادل نظر و همکاری با همکلاسی‌ها و استادان خود، اطلاعات را بررسی و تحلیل کنند و از تجربیات یکدیگر بهره‌مند شوند. همچنین، دانشجویان از طریق تجربه مستقیم و فعالیت‌های عملی می‌توانند بیشترین یادگیری را داشته باشند. بنابراین، مطالعه موردی، آزمایشات عملی و پروژه‌های عملی به وسیله دانشجویان دنبال می‌شود. پرسش و پاسخ سبب تشویق دانشجویان به ارائه سؤالات، بحث و گفتگو در مورد مباحث آموزشی می شود. این فعالیت‌ها باعث افزایش تمرکز و درک دانشجویان از مباحث می‌گردد. افزون بر این، دانشجویان به تحلیل و ارزیابی اطلاعات به شکل منطقی و کاربردی تشویق می‌شوند. این فرایند باعث توسعه تفکر انتقادی و توانایی‌های تحلیلی دانشجویان خواهد شد.

رویکردهای آموزشی دانشجو محور در تقویت درک مفهومی و توانایی تفکر تأثیر به‌سزایی دارد. بر این اساس، شیوه‌های سنتی یادگیری کلاسی با یادگیری فردی در خانه، جایگزین می‌شود. عناصر مهم آموزش در این گونه روش‌ها منابع یادگیری قبل از کلاس، زیرساخت‌های لازم کلاس درس و برنامه‌های مشارکت در کلاس هستند. دانش‌آموزان و دانشجویان فعالیت‌های آموزشی مورد نیاز خود را از طریق منابع آنلاین، قبل از کلاس و در خانه انجام می‌دهند. فراگیران منابعی مانند ویدئوهای سخنرانی از پیش ضبط شده، اسلایدهای پاورپوینت، مقالات علمی و کتابهای درسی را به عنوان مواد آموزشی قبل از کلاس مرور می‌نمایند. علاوه بر این، برخی از فناوری‌های پیشرفته مانند واقعیت مجازی، برنامه‌های تلفن همراه، شبیه‌سازی و نرم‌افزارهای تعاملی نیز برای فعالیت‌های پیش از کلاس مورد استفاده قرار می‌گیرد (Anand, 2021). زمان کلاس به بحث‌ها، سخنرانی‌های کوچک، فعالیت‌های گروهی، فعالیت‌های حل مسئله، تعاملات علم‌آموز و مدرس و کاربردهای مفهومی اختصاص می‌یابد. در شیوه‌های آموزشی سنتی علم آموزان منفعلانه به صحبت‌های مدرس گوش می‌دهند. اما نقش مدرس در شیوه‌های نوین آموزش طرح خط‌مشی کلی، رفع مشکلات، اصلاح اشتباهات، ارزشیابی و پاسخگویی به سؤالات علم‌آموزان است. آمادگی قبل از کلاس مسئولیت‌های مدرسان و

دانشجویان را در قبال یادگیری شیمی افزایش می‌دهد. معلمان می‌توانند مشکلات یادگیری را با بررسی فعالیت‌هایی که دانشجو قبل از کلاس انجام داده است شناسایی کنند. منابع یادگیری قبل از کلاس بحث استاد و دانشجو را در طول کلاس پیچیده‌تر می‌کند و باعث صرفه‌جویی در وقت می‌شود. ارتقاء مهارت‌های حل مسئله، اعتماد به نفس ارتباطی و مهارت‌های تفکر و یادگیری و خودراهبری علم آموزان از نتایج سودمند شیوه‌های آموزشی دانشجومحور است (Zendler & Greiner, 2020).

موفقیت این سبک از آموزش وابسته به تعهد فراگیران به وظایف یادگیری قبل از کلاس و فعالیت‌های درون-کلاسی است. یادگیری مطالب پیش از کلاس گوش دادن فعال و یادگیری تعاملی در طول زمان کلاس را تسهیل می-کند. زیرساخت‌های موجود در کلاس درس، نقش مهمی در افزایش مشارکت فراگیران و اثربخشی کلاس دارد. کلاس درس باید به ابزارهای فناورانه مورد نیاز برای انجام فعالیت‌های یادگیری گروهی و فردی برای یادگیری بهتر مجهز شود. نکته قابل توجه آن است که ارزشیابی مستمر فعالیت‌های قبل از کلاس و داخل کلاس برای افزایش مشارکت و انگیزه و بهبود نتایج یادگیری ضروری است.

۳- استفاده از رویکرد تفکر سیستمی

برای پرداختن به مبرم‌ترین چالش‌های جهانی، رویکردهای سیستمی بسیار کاربردی هستند و از این رو شایسته است که تفکر سیستمی در آموزش شیمی سبز (به عنوان یک چالش جهانی) تعبیه شود؛ به‌طوری که دانشمندان، مهندسان و سیاست‌گذاران فردا به ابزارهایی برای کمک به پیاده سازی شیمی سبز و پایدار مجهز شوند. تفکر سیستمی یک رویکرد یادگیری و تفکر است که با دیدگاهی گسترده و جامع نسبت به مسائل و موضوعات مختلف نگاه می‌کند. این رویکرد بر این اصل تأکید دارد که همه چیز در جهان به صورت سیستم‌های پیچیده و مرتبط با یکدیگر است. و برای درک کامل مسائل، باید از دیدگاه سیستمی به آنها نگاه کرد. تفکر سیستمی تفکری کل‌نگر است و وابستگی متقابل و تعاملات اجزای سیستم با یکدیگر را مورد بررسی قرار می‌دهد (Cabrera et al., 2008). بعضی از ویژگی‌های تفکر سیستمی عبارتند از:

- تمرکز بر ارتباطات: تفکر سیستمی به بررسی روابط بین عناصر مختلف یک سیستم می‌پردازد؛ و تأکید دارد که تغییر در یک قسمت می‌تواند تأثیر زیادی بر سایر بخش‌ها داشته باشد.

- دیدگاه جامع: این رویکرد به دنبال درک جامع و کلی مسائل است و تلاش می‌کند تا تأثیرات طولانی مدت و جنبه‌های مختلف یک موضوع را در نظر بگیرد.

- تأکید بر نظم و هماهنگی: تفکر سیستمی به دنبال شناختن الگوها و ساختارهای موجود در یک سیستم است؛ و تلاش می‌کند تا به فهم بهتری از نظم و هماهنگی درونی سیستم برسد.

-تحلیل پویایی: تفکر سیستمی به بررسی تغییرات و پویایی‌های موجود در یک سیستم می‌پردازد؛ و تأثیر این تغییرات بر روند کلی سیستم را مورد بررسی قرار می‌دهد.

- استفاده از مدل‌ها و شبیه‌سازی: این رویکرد از مدل‌ها و شبیه‌سازی‌ها برای تجسم و درک بهتر فرآیندهای سیستمی استفاده می‌کند و از آنها برای پیش‌بینی و تحلیل نتایج مختلف استفاده می‌کند.

با استفاده از تفکر سیستمی، افراد قادر خواهند بود تا به‌طور جامع‌تری به مسائل نگاه کنند، الگوها و ارتباطات موجود را درک کنند و به راه‌حل‌هایی جامع برای مسائل پیچیده دست یابند. تفکر سیستمی از چارچوب‌ها، استراتژی‌ها و ابزارهای شناختی استفاده می‌کند تا امکان تجسم ارتباطات و روابط بین اجزای سیستم‌های پیچیده و پویا را به‌همراه بررسی چگونگی تغییر سیستم در طول زمان و ارتباط پدیده‌های قابل مشاهده سیستم با تعاملات بین اجزای آن فراهم کند. رویکرد تفکر سیستمی در زمینه‌های آموزشی می‌تواند به فراگیران کمک کند تا مهارت‌های تفکر متعالی‌تری را برای رویارویی با مشکلات پیچیده و بین‌رشته‌ای در دنیای واقعی کسب کنند. ارزیابی ارتباطات بین اجزای یک سیستم و پیش‌بینی خروجی‌های آن، به درک جامعی از کل سیستم‌ها ختم شود (Hurst, 2020).

تاکنون تجربیات عملی بسیاری در حوزه رویکرد تفکر سیستمی در آموزش شیمی سبز با درنظر گرفتن مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی، سیاسی و اجتماعی و همچنین ویژگی‌های فنی و علمی گزارش شده است (Hurst et al., 2019). استفاده از تفکر سیستمی در آموزش شیمی سبز می‌تواند به دانشجویان کمک کند تا، به‌طور جامع‌تری به موضوعات مربوطه نگاه کنند و ارتباطات بین عناصر مختلف موجود در فرآیندها و مواد را درک کنند. برخی از مثال‌های استفاده از تفکر سیستمی در آموزش شیمی سبز عبارتند از:

- تحلیل چرخه حیات محصولات: دانشجویان می‌توانند با استفاده از تفکر سیستمی چرخه حیات محصولات را تحلیل کنند و اثرات محیط زیستی مختلف را در هر مرحله از تولید، استفاده و دفع محصولات در نظر بگیرند.

- مدل‌سازی بوم‌شناسی سیستم‌ها[1]: دانشجویان می‌توانند با استفاده از تفکر سیستمی مدل‌های بوم شناسی را برای بررسی تأثیرات مختلف عوامل بر محیط زیست و تعادل‌های زیستی طراحی و تجزیه و تحلیل کنند.

[1] Systems ecology

- تحلیل انتقال مواد در فرآیندهای تولید سبز: با استفاده از تفکر سیستمی، دانشجویان می‌توانند انتقال مواد و انرژی در فرآیندهای تولید سبز را بررسی کرده و بهینه‌سازی فرآیندها را برای حداقل کردن آثار منفی بر محیط زیست مد نظر قرار دهند.

- تجزیه و تحلیل سیستم‌های توزیع و استفاده از انرژی: با استفاده از تفکر سیستمی، دانشجویان می‌توانند سیستم‌های توزیع و استفاده از انرژی را تجزیه و تحلیل کرده و توصیه‌های لازم را برای کاهش مصرف انرژی و بهبود کارایی سیستم‌ها پیشنهاد کنند.

- تحلیل تأثیرات فناوری‌های نوین بر محیط زیست: دانشجویان می‌توانند با استفاده از تفکر سیستمی تأثیرات فناوری‌های نوین مانند نانوتکنولوژی و بیوتکنولوژی بر محیط زیست را بررسی کرده و اقدامات لازم برای کنترل و کاهش اثرات آن‌ها را ارزیابی کنند.

۴- اهمیت به روز رسانی آزمایشگاه‌ها و آموزش در آزمایشگاه‌ها

تکنسین‌های آزمایشگاهی و دستیاران آموزشی به منظور تعبیه اصول شیمی سبز در تدریس آزمایشگاهی در مقطع کارشناسی و جایگزینی مواد شیمیایی خطرناک و ناپایدار مورد استفاده در شیوه‌نامه‌های آزمایشگاهی تربیت می‌شوند.

شیمی سبز تا حد زیادی یک علم تجربی است. بنابراین، می‌توان فراگیران را در طی فعالیت آزمایشگاهی با اصول شیمی سبز آشنا کرد. یکی از جنبه‌های مهم آموزش شیمی سبز، انتقال آزمایش‌ها از مقیاس کلان به مقیاس خرد است. در آزمایش‌های کوچکتر، میزان معرف‌ها به مراتب کمتر از آزمایش‌های معمولی است. بنابراین آلاینده‌های حاصل به‌طور طبیعی کاهش می‌یابند. با یادگیری اینکه چگونه می‌توان در تحقیقات شیمی و صنایع شیمیایی استفاده از منابع را به حداقل رساند، فراگیران می‌توانند اهمیت آموزش سبز را تشخیص دهند (Wang et al., 2018). از سوی دیگر، مواد خطرناک به تدریج با جایگزین‌هایی که سمیت کمتری دارند تعویض می‌شوند. به عنوان مثال، برای انجام آزمایش احتراق خود به خودی، معمولاً از فسفر سفید استفاده می‌شود. فسفر سفید بسیار سمی است و احتراق آن سبب تولید ماده خطرناک پنتوکسید فسفر می‌شود. این موضوع با اصول شیمی سبز مغایرت دارد. به‌عنوان یک جایگزین سبز، سیلیسید منیزیم برای آزمایش احتراق خود به خودی پیشنهاد شده است. آزمایش‌های سبز نه تنها برای جلوگیری از آلودگی، بلکه برای تقویت آگاهی زیست محیطی فراگیران ضروری هستند. بنابراین نحوه انجام آزمایشات سبز به یکی از اجزای مهم آموزش شیمی سبز تبدیل شده است.

۵- توسعه بسترهای آنلاین با محتوای آموزشی شیمی سبز

در سال‌های اخیر چندین بستر آنلاین جهت ارائه آموزش‌های کاربردی در سطوح علمی مختلف طرح‌ریزی شده است. این بسترها علاوه بر تأمین منابع و آموزش‌های مورد نیاز برای توسعه شیمی سبز باعث تسهیل یادگیری و اشتراک یافته‌های جدید به سریع‌ترین شکل ممکن در سطح جهانی شده‌اند. این بسترها امکانات متنوعی را برای کاربران و علاقمندان به شیمی فراهم می‌کنند، از جمله :

- دسترسی آسان به منابع آموزشی: بسترهای آنلاین آموزش شیمی از منابع متنوعی مانند ویدیوهای آموزشی، مقالات، کتب و منابع تعاملی بهره می‌برند که به کاربران این امکان را می‌دهد تا به راحتی به اطلاعات مورد نیاز برای یادگیری شیمی دسترسی پیدا کنند.

- آزمون‌ها و تمرینات عملی: اکثر بسترهای آنلاین آموزش شیمی امکان ارائه تمرینات عملی و آزمون‌های آنلاین را فراهم می‌کنند که به کاربران کمک می‌کند مهارت‌های عملی و تجربی را تقویت کنند.

- انجمن‌ها و انجمن‌های گفتگو: بسیاری از بسترهای آموزش شیمی به کاربران امکان ایجاد ارتباط با همدیگر و شرکت در گفتگوها و انجمن‌های مرتبط با شیمی را می‌دهند؛ که این امر به بهبود فهم مطالب و تبادل دانش کمک می‌کند.

- دوره‌های تربیت متخصص: برخی از بسترهای آموزشی شیمی دوره‌های تخصصی را در زمینه‌های خاصی مانند شیمی سبز، شیمی زیستی، طراحی دارو و... ارائه می‌دهند که به کاربران امکان پیشرفت در زمینه‌های مورد علاقه خود را می‌دهد.

- آموزش تعاملی: بسیاری از بسترهای آموزش شیمی از ابزارهای تعاملی مانند شبیه‌سازی‌ها، آزمایشگاه‌های مجازی و ... استفاده می‌کنند که این امر به کاربران کمک می‌کند تا مفاهیم شیمی را به طور عملی یاد بگیرند.

در ادامه برخی از بسترهای آنلاین آموزش شیمی شناخته شده در سطح دنیا مورد بررسی قرار می‌گیرند.

CHEM21: این وبسایت یکی از مشهورترین بسترهای آنلاین آموزش شیمی است. هدف این وبسایت ارائه روش-های تولید مواد شیمیایی برای صنایع دارویی قرن بیست و یکم می‌باشد. در این بستر که با مشارکت چندین شرکت داروسازی و گروه‌های تحقیقاتی از چندین دانشگاه اروپایی به وجود آمده است، برای دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد و شیمیدانان دارویی طیف وسیعی از آموزش‌های رایگان، قابل اشتراک‌گذاری و تعاملی برای ترویج استفاده از روش‌های شیمی سبز با تاکید بر ساختارهای دارویی ارائه شده است. این بسترها ویژگی‌ها و منابع مختلفی

را برای آموزش در زمینه شیمی سبز ارائه می‌دهند که دانشجویان و علاقمندان می‌توانند از آنها برای بهبود دانش و مهارت‌های خود استفاده کنند.

دانشگاه ییل[1]: دانشگاه ییل یک پایگاه داده جامع از ابزارها برای دانش‌آموزان و مربیان، در سطوح دبیرستان و کارشناسی طراحی کرده است؛ که بر روی شیمی سبز و طراحی ایمن‌تر مواد با منابع آموزشی موجود برای دانلود و استفاده در کلاس‌های درس زیست شناسی، شیمی یا علوم محیطی تمرکز دارد.

GCEN [2]: این بستر آموزشی تمرکز خود را به‌طور اختصاصی بر روی شیمی سبز معطوف کرده است و دوره‌های متنوعی را در این زمینه ارائه می‌دهد. این دوره‌ها شامل مباحثی از جمله اصول شیمی سبز، مواد حفاظت از محیط زیست، فرآیندهای سبز و ... می‌باشند.

GCER [3] : این بستر آموزشی به دانشجویان و معلمان منابع و ابزارهای آموزشی در زمینه شیمی سبز ارائه می‌دهد. این ابزارها شامل ویدیوهای آموزشی، مقالات، نمودارها و... است که به دانشجویان کمک می‌کند مفاهیم شیمی سبز را بهتر درک کنند.

GCI[4]: این بستر توسط انجمن شیمی آمریکا ایجاد شده است و منابع آموزشی متنوعی را در زمینه شیمی سبز فراهم می‌کند. این منابع شامل کتابخانه مقالات، وبینارها، رویدادها و... است که به دانشجویان و پژوهشگران امکان دسترسی به اطلاعات روزآمد و کاربردی را می‌دهد.

منابع آموزشی مؤسسه شیمی سبز وابسته به ACS [5]: این بستر نیز تحت پوشش انجمن شیمی آمریکا است و منابع آموزشی در زمینه شیمی سبز ارائه می‌دهد. این منابع شامل مقالات، ویدیوها، دوره‌های آموزشی و ... است که به دانشجویان و علاقمندان به درک شیمی سبز کمک می‌کند.

۶- استفاده از رسانه‌های اجتماعی در توسعه شیمی سبز

در عصر حاضر نمی‌توان از نقش رسانه‌های اجتماعی در آموزش غافل شد. تهیه محتوای آموزشی در مورد مفاهیم و آزمایش‌های سبز و به اشتراک‌گذاری ایده‌ها، دانش و فرصت‌های جدید در بسترهای مختلف شبکه‌های اجتماعی علاوه بر افزایش درک و تسلط فراگیران بر مفاهیم شیمی سبز، سبب ترویج آن در جامعه می‌گردد. به‌عنوان مثال،

[1] Yale University
[2] Green Chemistry Education Network (GCEN)
[3] Green Chemistry Education Resources (GCER)
[4] Green Chemistry Institute (GCI)
[5] ACS (American Chemical Society) Green Chemistry Institute Educational Resources

شبکه‌های اجتماعی می‌توانند برای ارتباط با همکاران در حوزه شیمی سبز، اطلاع‌رسانی در مورد دستاوردها و رویدادهای مرتبط، و ایجاد ارتباط با صنعتی‌ها و سازمان‌های مرتبط استفاده شوند. همچنین، این رسانه‌ها می‌توانند به منظور آگاهی بخشی در مورد موضوعات محیط‌زیستی و اهمیت شیمی سبز برای جامعه عمومی مورد استفاده قرار گیرند. پژوهشگران و دانشجویان می‌توانند در شبکه‌های اجتماعی گروه‌ها و انجمن‌هایی را تشکیل داده و ایده‌ها، مقالات و پروژه‌های مرتبط با شیمی سبز را به اشتراک بگذارند. این ارتباطات می‌توانند منجر به همکاری‌های پژوهشی و توسعه فناوری‌های جدید در حوزه شیمی سبز شوند. همچنین، می‌توان از طریق این بسترها، پویش‌ها و کنفرانس‌های مربوط به شیمی سبز را اطلاع رسانی نمود و افراد را به شرکت در آن‌ها تشویق کرد. این اقدامات می‌توانند به تبادل ایده‌ها و اطلاعات بین حوزه‌های مختلف شیمی سبز و صنایع مرتبط کمک کنند. شرکت‌های مرتبط با شیمی سبز می‌توانند از رسانه‌های اجتماعی برای ارتباط با مشتریان، تبلیغ محصولات شیمیایی سبز، و به‌اشتراک-گذاری راه‌حل‌های سبزتر برای صنایع مختلف استفاده کنند .

توسعه مهارت‌های اجتماعی از دیگر مزایای شرکت دانش‌آموزان و دانشجویان در این دسته از فعالیت‌هاست. با چنین رویه‌ای، دانش‌آموزان نیز می‌توانند به مربیان جهانی شیمی سبز تبدیل شوند. تأثیر مثبت بسترهای اجتماعی بر مشارکت و پیشرفت دانشجویان در مطالعات تجربی به اثبات رسیده است.

این سبک استفاده از رسانه‌های اجتماعی در توسعه شیمی سبز به‌صورت جهانی مورد استفاده قرار گرفته است. کشورهایی مانند ایالات متحده، کانادا، اروپا، چین، ژاپن، کره جنوبی و بسیاری از کشورهای دیگر از این فرصت‌ها برای توسعه دانش عمومی و ارتقای تحقیقات در حوزه شیمی سبز استفاده می‌کنند. این ارتباطات معمولاً توسط پژوهشگران، صنایع شیمیایی، دانشگاه‌ها، سازمان‌های غیرانتفاعی و سایر اشخاص و سازمان‌ها در حوزه شیمی سبز برقرار می‌شود.

۷- استفاده از رویکرد بازی‌سازی در توسعه دانش عمومی شیمی سبز

یکی دیگر از روش‌هایی که برای تشویق و تقویت یادگیری در حوزه شیمی سبز، در کشورهای توسعه یافته دنبال می‌شود؛ رویکرد بازی‌سازی است. از رویکرد بازی‌سازی می‌توان به عنوان یک ابزار مفید در توسعه شیمی سبز از طریق آموزش، انگیزه‌بخشی و ارتقای تفکر سبز و پایدار استفاده کرد. بازی‌های مبتنی بر شیمی سبز می‌توانند به شیوه‌های مختلفی در این زمینه اثربخش باشند، از جمله:

- آموزش مفاهیم شیمی سبز: ایجاد بازی‌های آموزشی که به طور تعاملی به کاربران مفاهیم و اصول شیمی سبز را آموزش دهند. این بازی‌ها می‌توانند به دانشجویان، دانش‌آموزان و عموم جامعه کمک کنند تا مفاهیم پایه و کاربردی شیمی سبز را درک کنند.

- شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی: با استفاده از بازی‌های شبیه‌سازی، می‌توان فرآیندهای شیمیایی را به‌طور واقع‌گرایانه مدل کرده و اثرات محیطی و اقتصادی مختلف را بررسی کرد. این نوع بازی‌ها می‌توانند به محققان و صنعتگران کمک کنند تا راهکارهای سبزتری را برای فرآیندهای شیمیایی ارائه دهند.

- تشویق به راهکارهای سبز: با استفاده از بازی‌هایی با موضوعاتی مانند "پازل شیمی سبز" یا "ماجراجویی شیمیایی سبز"، می‌توان افراد را به تفکر و ابداع راهکارهای سبزتر در حوزه شیمی تشویق کرد.

- جذاب‌سازی و ترغیب به مشارکت: با استفاده از بازی‌هایی که از عناصر مسابقه و جوایز استفاده می‌کنند، می‌توان افراد را به مشارکت فعال‌تر در پروژه‌ها و فعالیت‌های مرتبط با شیمی سبز ترغیب کرد.

تا کنون چندین بازی رایگان و سرگرم کننده (اندرویدی و ...) عرضه شده است که به کاربران این امکان را می‌دهد که مانند طراحان شیمی حرفه‌ای فکر کنند و یک محصول شیمیایی فرضی را با تکیه بر اصول شیمی سبز و با توجه به عملکرد و بهبود سلامت انسان و محیط زیست طراحی نمایند. در واقع از این طریق آموزش اصول شیمی سبز در کنار سرگرمی و جذابیت بازی‌ها اتفاق می‌افتد. در ادامه نمونه‌هایی از بازی‌های مرتبط با شیمی سبز که در بازار بازی‌های اندرویدی موجود هستند، معرفی می شوند:

Green Chemistry Game: این بازی یک بازی آموزشی است که به کمک آن می‌توان اصول شیمی سبز را به طور تعاملی یاد گرفت. این بازی شامل چالش‌ها، پازل‌ها و فعالیت‌های مختلف است که به کاربر کمک می‌کند تا با مفاهیم شیمی سبز آشنا شود.

Green Chemistry Challenge: این بازی از شما می‌خواهد تا با استفاده از محصولات شیمیایی مختلف، راهکارهایی برای کاهش آلودگی محیطی و استفاده بهینه از منابع را پیدا کنید.

Eco-Friendly Chemistry Lab: در این بازی، شما وظیفه دارید به عنوان یک دانشمند شیمی، آزمایشات و تحقیقات خود را در آزمایشگاه سبز انجام دهید و راهکارهای سبزتری برای فرآیندهای شیمیایی پیدا کنید.

Green Science - Eco Chemistry Game: این بازی از شما می‌خواهد به عنوان یک دانشمند، مواد شیمیایی مختلف را با استفاده از روش‌های سبزتر و پایدارتری تولید کنید و به محیط زیست کمک کنید.

بازی‌های کامپیوتری با محوریت شیمی سبز نیز وجود دارند، اما تعداد آن‌ها نسبت به بازی‌های اندرویدی کمتر است. معمولاً این بازی‌ها به عنوان یک ابزار آموزشی و یا شبیه‌سازی محیطی استفاده می‌شوند. برخی از بازی‌های کامپیوتری مرتبط با شیمی سبز عبارتند از:

Green Chemistry Simulator: این بازی به شما این امکان را می‌دهد که به‌عنوان یک دانشمند شیمی، محیط‌های مختلف آزمایشگاهی را شبیه‌سازی کنید؛ و تلاش کنید تا راهکارهایی برای حل مسائل محیطی و استفاده بهینه از منابع را پیدا کنید.

EcoLab: Chemistry of the Future: این بازی یک شبیه‌سازی است که به شما اجازه می‌دهد تا به عنوان یک مدیر آزمایشگاه شیمی، تلاش کنید تا فرآیندهای تولید واحدهای شیمیایی را بهبود بخشیده و به محیط زیست کمک کنید.

Green Chemist: در این بازی، شما به عنوان یک شیمی‌دان متخصص در زمینه شیمی سبز و تولید پایدار، به مأموریت می‌روید تا از مواد خام مختلف استفاده کنید و فرآیندهای شیمیایی سبزتری را ایجاد کنید.

Sustainable Chemistry Tycoon: این بازی به شما این امکان را می‌دهد تا به عنوان یک کارآفرین شیمی، کسب و کار خود را راه‌اندازی کرده و تلاش کنید تا فرآیندهای تولیدی خود را به سمت شیمی سبز و پایدارتر هدایت کنید.

۸- گذراندن دوره‌های کارآموزی توسط دانشجویان

دوره‌های کارآموزی تابستانی برای دانشجویان مقطع کارشناسی و همکاری آن‌ها در پروژه تحقیقاتی مرتبط با شیمی سبز به عنوان بخشی از دوره آموزشی بایستی مورد توجه دانشگاه‌ها قرار گیرد. گذراندن دوره‌های کارآموزی توسط دانشجویان، اهمیت بسیاری در توسعه شیمی سبز دارد. دانش شیمی سبز و پایدار در آینده به عنوان یک مزیت برای کارجویان در حوزه‌های آموزشی و صنعتی محسوب خواهد شد.

استفاده از فرصت کارآموزی به دانشجویان مزیت‌های زیر را به همراه دارد:

- آموختن مفاهیم عملی شیمی سبز: در طول کارآموزی، دانشجویان می‌توانند مفاهیم عملی شیمی سبز را در محیط آزمایشگاه یا صنعت تجربه کنند و این مفاهیم را به کاربردهای واقعی در علم و صنعت بیاموزند.

- شرکت در تحقیقات پیشرفته: کارآموزی می‌تواند به دانشجویان این امکان را بدهد تا در پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط با شیمی سبز شرکت کنند و تجربه کسب کنند.

- آشنایی با فناوری‌های نوین: کارآموزی به دانشجویان این فرصت را می‌دهد تا با فناوری‌های نوین در زمینه شیمی سبز آشنا شوند و از آن‌ها استفاده کنند.

- کاربرد مفاهیم تئوری در عمل: کارآموزی به دانشجویان این امکان را می‌دهد تا مفاهیم تئوری کسب شده خود را در محیط عملیاتی اعمال کرده و تجربه کاری بدست آورند.

- رشد حرفه‌ای: کارآموزی می‌تواند به دانشجویان کمک کند تا مهارت‌های حرفه‌ای خود را تقویت کرده و شبکه حرفه‌ای خود را گسترش دهند.

به‌طور کلی، کارآموزی می‌تواند یک فرصت بسیار مفید برای دانشجویان باشد تا نه تنها دانش نظری خود را تقویت کنند، بلکه با مفاهیم و کاربردهای عملی شیمی سبز نیز آشنا شوند و به توسعه این حوزه کمک کنند. کارآموزی باید در سازمان‌ها و صنایعی صورت گیرد که برای کارآموز و سازمان پذیرنده او حداکثر اثربخشی را داشته باشد. بهترین محیط هایی که برای کارآموزی در زمینه شیمی سبز پیشنهاد می‌شوند عبارتند از:

- آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی: این مکان‌ها معمولاً پروژه‌های تحقیقاتی در زمینه شیمی سبز دارند و اغلب امکانات و تجهیزات لازم برای انجام کارآموزی را دارند.

- شرکت‌های شیمیایی: برخی از شرکت‌های بزرگ و کوچک در صنعت شیمی ممکن است پروژه‌های مرتبط با شیمی سبز را داشته باشند و از دانشجویان برای انجام کارآموزی در این زمینه استفاده کنند.

- سازمان‌های حفاظت محیط زیست: سازمان‌هایی که به حفاظت از محیط زیست متمرکز هستند، ممکن است به دانشجویان اجازه کارآموزی در زمینه شیمی سبز را بدهند تا به مسائل مرتبط با پایداری زیست محیطی کمک کنند.

- مؤسسات تحقیقاتی دولتی و خصوصی: برخی از مؤسسات تحقیقاتی در حوزه‌های دولتی و خصوصی نیز، به دانشجویان اجازه کارآموزی در زمینه شیمی سبز می‌دهند تا به توسعه و پیشرفت این حوزه کمک کنند.

نکته قابل توجه این است که؛ قبل از انتخاب مکان برای کارآموزی، مهم است که اطمینان حاصل شود که آن مکان به دانشجویان فرصت‌های مناسب برای یادگیری و توسعه مهارت‌های عملی در زمینه شیمی سبز ارائه می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

با وجود تفاوت‌های فرهنگی و تنوع رویکردهای آموزشی و سطوح متفاوت دسترسی به تجهیزات آزمایشگاهی و امکانات تجربی در کشورهای مختلف؛ همکاری جهانی و اشتراک‌گذاری رویه‌های قابل انتقال در سطح بین‌المللی سبب تسریع و تسهیل همگانی نمودن شیمی سبز خواهد شد. ارتباطات بین المللی می‌تواند زمینه‌ها و مطالب بالقوه‌ای را

برای آموزش و پیاده‌سازی شیمی سبز فراهم کند و طراحان استانداردهای برنامه و کتاب‌های درسی را برای دستیابی به نتایج بهتر با دنیا همگام کند.

در سطح جهانی آزمایش‌های سبز بسیاری در حال توسعه است و تمرکز فزاینده‌ای بر روی استفاده از معرف‌ها و تجهیزات ارزان و فراوان درحال شکل‌گیری است. ابداع و به‌اشتراک‌گذاری آزمایش‌های ابتکاری شیمی سبز می‌تواند در توسعه شیمی سبز در سراسر جهان نقش ارزنده‌ای داشته باشد. علاوه بر آزمایش‌های سبز، فعالیت‌های غیرآزمایشگاهی و روش‌های نوآورانه برای یادگیری دانشجومحور ابداع شده است. تعداد قابل‌توجهی بسترهای آنلاین برای برقراری ارتباط فعالان حوزه آموزش و پژوهش شیمی سبز در سطوح مختلف در حال ظهور هستند. برخی از این بسترها حتی در حال حاضر، به چندین زبان در دسترس هستند. تربیت تکنیسین‌های آزمایشگاهی و معلمان آگاه به اصول شیمی سبز؛ قدم اول برای همگانی کردن شیمی سبز و پایدار است. تقویت ارتباط و همکاری بین مربیان شیمی سبز در سطوح پایه و دبیرستان و معلمان دانشگاه، سایر سازمان‌ها و مقامات مرتبط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر آن نگارش منابع آموزشی متناسب با سطوح مختلف از مدرسه تا دانشگاه یک نیاز اساسی است. توسعه مجلات تخصصی در زمینه شیمی سبز و پایدار و تعریف جوایز ملی و بین المللی برای این موضوع می‌تواند سبب افزایش انگیزه پژوهشگران و رفع کاستی منابع علمی در حوزه آموزش و پژوهش شیمی سبز باشد.

رسانه‌های اجتماعی می‌توانند در انتقال مفاهیم شیمی سبز نقش ارزنده‌ای ایفا نمایند. علاوه بر این امکان توسعه بازی‌های کمک آموزشی از طریق بسترهای آنلاین یا از طریق برنامه‌های تلفن همراه وجود دارد. با توجه به استفاده گسترده از فن‌آوری‌های تلفن همراه در کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه، رویکردهای بازی‌سازی برای آموزش شیمی سبز از طریق برنامه‌های کاربردی تلفن همراه ممکن است در سال‌های آتی مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به اهمیت موضوع شیمی سبز و جهت دسترسی عموم شهروندان به منابع معتبر، منابع فارسی موجود در زمینه شیمی سبز بایستی غنی‌تر شوند. در این مسیر تمرکز پژوهشگران برای توسعه شیمی سبز حول محورهای ترجمه کتاب‌ها و مقالات، ایجاد وبسایت‌ها و وبلاگ‌های تخصصی، برگزاری دوره‌های آموزشی، تشکیل گروه‌ها و انجمن‌های تخصصی و فعالیت فعالان این حوزه در شبکه‌های اجتماعی و به روزرسانی مستمر اطلاعات موجود در دسترس شهروندان ضروری به نظر می‌رسد.

در پایان یادآوری این نکته ضروری است که توسعه شیمی سبز در یک کشور دارای دو جنبه اساسی است: آموزش شیمی سبز و فعالیت‌های شیمی سبز. برای دستیابی به این دو هدف همکاری و همگرایی سه بخش سیاست، بازار و علم و فناوری ضروری است. به این ترتیب، موانع توسعه شیمی سبز و پایدار را نیز می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

موانع دانش و فناوری، موانع فرهنگی ناشی از ضعف سیاستگذاری و موانع اقتصادی.

مشارکت نویسندگان

انجام تحقیق و نگارش و ویرایش مقاله به عهده نویسنده بوده است.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است»

منابع

احمدی، یاور؛ خدایی، علیرضا (۱۴۰۰). بررسی راهکارهای ورود علم شیمی سبز در برنامه مطالعاتی تحصیلی و مقایسه اهداف و ویژگی های آن با سایر کشورهای توسعه یافته. پژوهش در آموزش شیمی، ۳(۴)، ۱۰۸-۸۷.

حبیبی بودلالو، لیلا؛ صباغان، مریم؛ امام جمعه، سیدمحمدرضا (۱۳۹۲). ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه. نوآوری های آموزشی، ۱۲(۴۸)، ۹۲-۷۱.

حبیبی بودلالو، لیلا؛ صباغان، مریم؛ امام جمعه، سیدمحمدرضا (۱۳۹۶). مطالعهٔ تطبیقی آموزش شیمی سبز در برنامهٔ درسی مدارس متوسطه (ایران و چهار کشور پیشرفته). نوآوری‌های آموزشی، ۱۶(۱)، ۹۰-۶۷.

صباغان، مریم؛ شاهی بیگباغی، جهان؛ امام جمعه، محمدرضا. (۱۳۹۵). آموزش شیمی سبز، با طراحی و اجرای آزمایش های سبز در مبحث استوکیومتری شیمی متوسطه. فناوری آموزش (فناوری و آموزش)، ۱۱(۱)، ۳۴-۲۱.

Anand, S.A. (2021). Flipped pedagogy: Strategies and technologies in chemistry education. *Materials Today: Proceedings*, 47, 240-246.

Anastas, P. T., Warner, J. C. (1998). Green Chemistry: Theory and Practice. Oxford University Press.

Cabrera, D., Colosi, L., Lobdell, C. (2008). Systems thinking. *Evaluation and program planning*, 31(3), 299-310.

Centi, G., Perathoner, S. (2009). From green to sustainable industrial chemistry. *In Sustainable Industrial Chemistry*, chapter 1, 1-72.

Eilks, I., Zuin, V. G. (2018). Editorial Overview: Green and Sustainable Chemistry Education (GSCE): Lessons to be learnt for a safer, healthier and fairer world today and tomorrow. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, A4-A6.

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the national academy of sciences*, 111(23), 8410-8415.

Haack, J. A., Berglund, J. A., Hutchison, J. E. (2013). ConfChem Conference on Educating the Next Generation: Green and Sustainable Chemistry-Chemistry of Sustainability: A

General Education Science Course Enhancing Students, Faculty and Institutional Programming. *Journal of Chemical Education*, 90(4), 515-516.

Healey, M., Flint, A., Harrington, K. (2016). Students as partners: Reflections on a conceptual model. *Teaching and Learning Inquiry*, 4(2), 8-20.

Hurst, G. A. (2019). Chapter 9 - The green formula for international chemistry education. In A. P. Dicks & L. D. Bastin (Eds.), *Integrating Green and Sustainable Chemistry Principles into Education*, 205-228.

Hurst, G. A. (2020). Systems thinking approaches for international green chemistry education. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 21, 93-97.

Hurst, G. A., Slootweg, J. C., Balu, A. M. (2019). International perspectives on green and sustainable chemistry education via systems thinking. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2794-2804.

Li, B., Eilks, I. (2021). A systematic review of the green and sustainable chemistry education research literature in mainland China. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 21, 100446.

Marteel-Parrish, A. E. (2007). Toward the greening of our minds: a new special topics course. *Journal of Chemical Education*, 84(2), 245.

Programme, U. (2019). Global chemicals outlook II: from legacies to innovative solutions: implementing the 2030 agenda for sustainable development. In: The United Nations Environment Programme.

Sjöström, J., Eilks, I., Zuin, V. G. (2016). Towards eco-reflexive science education: A critical reflection about educational implications of green chemistry. *Science & Education*, 25, 321-341.

Summerton, L., Hurst, G.A., Clark, J.H. (2018). Facilitating active learning within green chemistry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 56-60.

Wang, M.Y., Li, X.Y. (2018). Green chemistry education and activity in China. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 123-129.

Warburton, K. (2003). Deep learning and education for sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 4(1), 44-56.

Zendler, A., Greiner, H. (2020). The effect of two instructional methods on learning outcome in chemistry education: The experiment method and computer simulation. *Education for Chemical Engineers*, 30, 9-19.

Zuin, V. G., Eilks, I., Elschami, M., Kümmerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, 23(4), 1594-1608.

Di Maria, E., De Marchi, V., Spraul, K. (2019). Who benefits from university–industry collaboration for environmental sustainability? *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 20(6), 1022-1041.