

# ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه<sup>۱</sup>

■ لیلا حبیبی بودالو\*  
■ مریم صباغان\*\*  
■ سیدمحمد رضا امام جمعه\*\*\*

## چکیده:

شیمی سبز<sup>۲</sup> یعنی ساخت و تولید محصولات جدید با استفاده از روش‌های جدیدی که متناسب با اهداف سه‌گانه محیط‌زیست پایدار، اقتصاد پایدار و جامعه پایدار باشد. هدف این مقاله ارائه راهکارهایی برای وارد کردن آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه با استفاده از تجارب کشورهای پیشرفته در این زمینه است. پژوهش حاضر یک پژوهش کیفی است، که با روش تطبیقی بردی<sup>۳</sup> و توصیفی - تحلیلی، برنامه درسی آموزش شیمی سبز در کشورهای آمریکا، استرالیا، چین، انگلستان و ایران را بررسی کرده است. مقاله حاضر تلاش می‌کند، عناصر اساسی برنامه درسی از جمله منطقی، هدف‌ها، محتوا، روش‌های تدریس و شیوه‌های ارزشیابی آموزش شیمی سبز در این کشورها را، برای تعیین ویژگی‌های برنامه درسی شیمی سبز در برنامه درسی دوره متوسطه بررسی نماید. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که اگرچه برنامه درسی شیمی در ایران به‌طور غیرمستقیم ارتباط قابل توجهی با شیمی سبز دارد، اما بین برنامه درسی آموزش شیمی سبز در ایران با کشورهای پیشرفته تفاوت‌هایی وجود دارد. بنابراین، با توجه به یافته‌های حاصل از این بررسی، راهکارهایی به‌منظور تلفیق آموزش شیمی سبز در برنامه درسی شیمی ارائه شد. سپس راهکارهای پیشنهادی به نظرخواهی متخصصان و کارشناسان برنامه درسی، اساتید شیمی، آموزش شیمی و کارشناسان محیط‌زیست گذاشته شد و نقطه‌نظرات آنان در این زمینه به‌صورت مصاحبه نیمه‌ساختار یافته جمع‌آوری گردید. مصاحبه‌شوندگان معتقد بودند که راهکارهای پیشنهادی، مناسب تلفیق با برنامه درسی شیمی است و ورود این مباحث به برنامه درسی شیمی ضروری می‌باشد. نتیجه این پژوهش می‌تواند در تهیه برنامه درسی جدید شیمی و یا غنی‌سازی برنامه درسی فعلی در ارتباط با تلفیق آموزش شیمی سبز مورد استفاده قرار گیرد.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۱۱/۲۸ تاریخ شروع بررسی: ۹۱/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۴/۴  
\* دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آموزش شیمی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی..... Leila\_habibi112@yahoo.Com  
\*\* استادیار گروه شیمی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی..... msaba16us@yahoo.com  
\*\*\* استادیار گروه تربیتی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی..... m\_r\_imam@yahoo.com

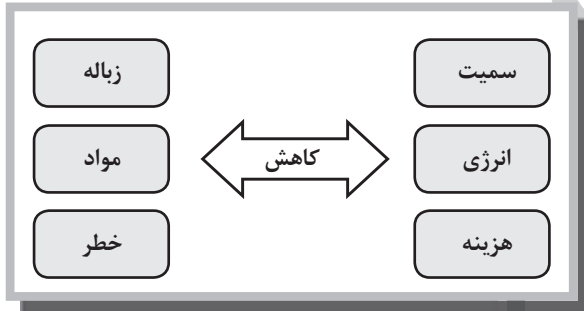
www.SID.ir

## کلید واژه‌ها:

آموزش شیمی سبز، برنامه درسی، توسعه پایدار، مطالعه تطبیقی.

## مقدمه

انفجار دانش، یکی از مسائل مهم در جوامع امروز است و برنامه‌ریزان درسی باید در مقابل آن، راه‌حل‌های منطقی داشته باشند، زیرا رشد اقتصادی هر کشوری به پیشرفت علمی مردم آن جامعه بستگی دارد (عصاره، ۱۳۸۶). بنابراین، برنامه درسی شیمی دبیرستان باید، براساس نیازهای افراد و نیازهای علمی جهان باشد (محمدی، ۱۳۸۳). با این‌که شیمی در پیشرفت تمدن آدمی نقش بنیادی دارد و جایگاه آن در اقتصاد، سیاست و زندگی روز به روز پررنگ‌تر می‌شود و طیف وسیعی از محصولات شیمیایی از جمله مواد دارویی، رنگ‌ها، کودها، مواد غذایی و ... را پوشش می‌دهد، اما آسیب‌های چشم‌گیری نیز به سلامت آدمی و محیط زیست وارد می‌کند (لانگ<sup>۱</sup> و کرجوف<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱). به همین دلیل امروزه، در شیمی انقلاب سبزی شکل گرفته است که از آن با عنوان «شیمی سبز» یاد می‌شود. استفاده از شیمی سبز منجر به کاهش عوامل آسیب‌زا می‌شود (شکل ۱). شیمی سبز کره زمین را تمیزتر، ایمن‌تر و بهره‌ورتر می‌نماید و در واقع شیمی سبز وجدان علم شیمی و راه آینده است (کر<sup>۳</sup> و بران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۹). از طرف دیگر بین شیمی سبز و توسعه پایدار اهداف



شکل ۱. فواید شیمی سبز

مشترک بسیاری وجود دارد. زیرا توسعه پایدار یعنی توازن میان منافع اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و این‌که توسعه پایدار در پی کشف علم از منظر اقتصاد، جامعه و محیط زیست است. در نتیجه، شیمی سبز و توسعه پایدار لازم و ملزوم یکدیگرند (الارونتگبه<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰).

- متخصصان شیمی سبز برای آن اصولی مبتنی بر ۱۲ اصل تعریف نموده‌اند، این اصول عبارتند از:
۱. **پیشگیری:** این اصل بدیهی‌ترین اصل شیمی سبز است. به جای این‌که بعد از تولید مواد زائد راهی برای از بین بردن آن‌ها یا پاک‌کردنشان پیدا کنیم، از به وجود آمدن آن‌ها پرهیز نمائیم.
  ۲. **اقتصاداتمی<sup>۶</sup> (افزایش بهره‌وری از اتم):** طراحی واکنش‌های شیمیایی به شیوه‌ای باشد که فراورده‌های نهایی بیشتری به دست آید. با کاهش میزان تولید فراورده‌های بی‌بهره و مازاد بازده واکنش‌ها را افزایش دهیم.
  ۳. **ساخت ترکیبات شیمیایی کم‌خطر:** تولید موادی که برای سلامتی انسان و محیط خطر کمتری داشته باشد و یا اصلاً خطری نداشته باشد.
  ۴. **طراحی مواد شیمیایی ایمن‌تر:** مواد شیمیایی باید طوری طراحی شود، که کمترین سمیت را داشته باشد.

۵. حلال‌ها و مواد کمکی ایمن‌تر: بهره‌گیری از حلال‌های ارزان و بی‌خطر و استفاده از مواد کمکی بی‌ضرر هر زمان که نیاز باشد.
  ۶. طراحی برای بازدهی بیشتر انرژی: نیاز به انرژی در فرایندهای شیمیایی را باید براساس تأثیرات محیطی و اقتصادی تشخیص داد تا به حداقل برسد.
  ۷. استفاده از مواد اولیه تجدیدپذیر و قابل بازیافت: واکنش‌های شیمیایی باید به گونه‌ای طراحی شوند تا از مواد اولیه‌ای که قابلیت بازگردانی دارند بهره بگیریم.
  ۸. کاهش مشتقات شیمیایی: مشتقات غیرضروری و استفاده از گروه‌های بازدارنده و حد واسط به حداقل برسند و یا در صورت امکان از انجام آن‌ها پرهیز شود.
  ۹. کاتالیز: در فرایندهای شیمیایی تا حد امکان گزینشی عمل کرده و با افزایش سرعت همراه باشد.
  ۱۰. طراحی برای تخریب: مواد شیمیایی را باید طوری طراحی کرد که عمل‌کردشان در نهایت به محصولات تخریبی بی‌ضرری تجزیه شوند و در محیط باقی نمانند.
  ۱۱. تخمین زمان واقعی یک واکنش: پیشرفت واکنش را همواره باید پی‌گیری کرد تا معلوم شود چه هنگام واکنش کامل می‌شود، زیرا پس از کامل شدن واکنش فرآورده‌های ناخواسته جانبی تولید می‌شوند.
  ۱۲. کاهش احتمالی رویدادهای ناگوار: بهره‌گیری از گرما در واکنش و حلال‌هایی است که احتمال انفجار آتش‌سوزی و رها شدن ناخواسته مواد شیمیایی را کاهش می‌دهند (وارنر<sup>۱۰</sup> و آناستاز<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۸).
- سابقه ورود شیمی سبز به برنامه درسی به اواخر دهه ۱۹۸۰ می‌رسد. نخستین بار در سال ۱۹۸۸ جان وارنر و بل آناستاز در کتابی تحت عنوان «شیمی سبز در تئوری و عمل»<sup>۱۲</sup> به تعریف اصول دوازده‌گانه شیمی سبز پرداختند. بنابراین در حدود بیست و دو سال از زمان آغاز رسمی شیمی سبز می‌گذرد. اولین تلاش برای ادغام شیمی سبز در کتاب‌های درسی توسط انجمن شیمی آمریکا<sup>۱۳</sup> و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۱۴</sup> در سال ۲۰۰۷ صورت گرفت (لیتروست<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۹).
- در ایران با توجه به این‌که در اصل ۵۰ قانون اساسی جمهوری اسلامی و نیز قانون حفاظت و به‌سازی محیط‌زیست به لزوم اجرای برنامه‌های آموزشی به‌منظور ارتقای فرهنگ حفظ محیط‌زیست تأکید شده است و سازمان حفاظت محیط‌زیست، ملزم به تنظیم و اجرای برنامه‌های آموزشی به‌منظور تنویر افکار عمومی، همکاری با مراجع مربوط در گنجاندن برنامه‌های درسی زیست‌محیطی و تهیه و اجرای برنامه‌های آموزشی محیط‌زیست شده است (مستشاری، ۱۳۸۳) اما تاکنون به این امر مهم در مدارس پرداخته نشده است و واژه شیمی سبز هنوز جایگاه ویژه‌ای در ادیان عمومی نیافته است. بنابراین، لازمه ایجاد تغییر و تحول در برنامه‌های درسی شیمی، مطالعه و بررسی مشکلات و تجربه‌های آموزشی کشورهای موفق در این زمینه است، تا بتوان با استفاده از یافته‌های پژوهشی و بازنگری مجدد در برنامه‌های کنونی، راهکارهایی برای ورود آموزش شیمی سبز در برنامه درسی شیمی دوره متوسطه با استفاده از تجارب کشورهای پیشرفته ارائه کرد (میرزایی، ۱۳۸۸). نتایج این تحقیق باعث گسترش اهداف

## ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه

توسعه پایدار، بهبود نظام آموزشی، تربیت شهروندانی مسئول، کشف استعدادها، پرورش دانش‌آموزانی خلاق، تشویق معلمان و دانش‌آموزان برای مطالعه و پژوهش در زمینه شیمی سبز و جایگزین کردن روش‌های سبز به جای روش‌های سنتی می‌گردد. در ضمن آن‌ها با راه‌های کاهش مصرف انرژی و به حداقل رساندن ضایعات آشنا می‌شوند و در نهایت به طراحی جامعه‌ای امن‌تر و سالم‌تر با شعار رسیدن به پایداری کمک می‌نماید. زیرا این یک واقعیت اجتناب‌ناپذیر است که نسل بعدی دانشمندان در دنیای متفاوتی با نسل‌های قبلی زندگی خواهند کرد. پس ما به ایده‌ها و نظرات جدید در آموزش شیمی احتیاج داریم. لذا، برنامه‌ریزان ناگزیرند برای جوابگویی به انتظارات جدید مخاطبان، با بهره‌گیری از نوآوری‌ها، برنامه را با تحولات جدید همگام و هماهنگ سازند. در واقع این پژوهش اقدام به آماده‌سازی اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان نظام آموزشی ایران در خصوص راهکارهایی مناسب برای ورود شیمی سبز در برنامه درسی مدارس ایران می‌نماید.

آموزش شیمی سبز در سال ۱۹۸۸ برای نخستین بار در برنامه درسی آمریکا (نیویورک) اجرا شده است. تا به امروز ایالت‌متحده آمریکا در زمینه تحقیقات برنامه‌های آموزشی سبز از سایر کشورها جلوتر می‌باشد. جان وارنر و آناساز (۱۹۹۰) از نخستین افرادی بودند که بر ادغام شیمی سبز در برنامه درسی مقاطع مختلف تحقیق نمودند (انجمن ملی شیمی آمریکا، ۲۰۱۲).

پولی‌کاف<sup>۱۶</sup> و وفیتزپاتریک<sup>۱۷</sup> (۲۰۰۲) در مقاله‌ای تحت عنوان «شیمی سبز: تغییر علم و سیاست» نتیجه گرفت که شیمی سبز علاوه بر اینکه علمی نوین است، در سیاست‌گذاری‌ها و اقتصاد کشورها نقش مهمی دارد. کرچوف<sup>۱۸</sup> (۲۰۰۵) در تحقیقی تحت عنوان «نقش برنامه درسی شیمی سبز در پایداری» بر لزوم برنامه درسی مبتنی بر توسعه پایدار در شیمی تأکید می‌کند. ایلینا<sup>۱۹</sup> (۲۰۰۸) در مقاله‌ای تحت عنوان «ادغام توسعه پایدار در برنامه درسی شیمی در روسیه» به نقش مؤثر شیمی سبز در توسعه پایدار می‌پردازد. کارپودان<sup>۲۰</sup>، اسماعیل<sup>۲۱</sup>، و ولف<sup>۲۲</sup> (۲۰۱۲) در مالزی، برای آزمایش‌های سال اول شیمی (تعادل و مفاهیم شیمیایی) در چارچوب فلسفه شیمی سبز ساختاری طراحی نمودند. یافته‌های تحقیقاتی آن‌ها نشان داد که این امر موجب بهبود یادگیری در دانش‌آموزان، ترویج و توسعه طراحی و مهارت تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط آن‌ها می‌گردد. کارپودان، اسماعیل و محمد<sup>۲۳</sup> (۲۰۱۲) میزان تأثیر یادگیری شیمی سبز را بر تغییر نگرش و رفتار دانش‌آموزان نسبت به محیط زیست بررسی کردند. بدین ترتیب که آن‌ها تدریس شیمی سبز ۱۷۳ معلم را مطالعه کردند. داده‌ها از طریق پرسش‌نامه که حاوی سؤالات دسته‌بندی شده برای ارزیابی میزان نگرانی و حس مسئولیت دانش‌آموزان نسبت به محیط زیست طراحی شدند. نتایج آن‌ها نشان داد که آموزش شیمی سبز می‌تواند نگرش و رفتار دانش‌آموزان را نسبت به محیط زیست افزایش دهد. ابوبکر<sup>۲۴</sup>، مُحدسام<sup>۲۵</sup>، طهیر<sup>۲۶</sup>، راجیانی<sup>۲۷</sup> و موسلان<sup>۲۸</sup> (۲۰۱۱) به بررسی تکنولوژی‌های سبز و نقش آن‌ها در توسعه پایدار پرداختند. کارپودان، اسماعیل و محمد (۲۰۰۷) با عنوان «تأثیر آموزش شیمی سبز در تغییر نگرش معلمان» تأثیر آموزش شیمی سبز بر نگرش ۱۱۰ معلم نسبت به مسائل زیست‌محیطی را

در مالزی بررسی کردند. از روی نتایج کمی و کیفی معلوم گردید که شیمی سبز الف: زمینه‌ای مناسب برای توسعه ارزش‌های انسانی در معلمان است و ب: منجر به تغییر در سبک زندگی آن‌ها می‌گردد. در محتوای کتاب شیمی سال اول ایران (شیمی برای زندگی) درباره نقش شیمی در زندگی و ارتباط انسان با محیط‌زیست، فناوری و جامعه گفت‌وگو می‌کند که با شیمی سبز ارتباط دارد. همچنین مستشاری (۱۳۸۳) در مقاله‌ای با عنوان «دیدگاه‌های آموزشی و پژوهشی شیمی سبز» به بیان ضرورت آموزش شیمی سبز در آموزش عالی می‌پردازد. در این مقاله با بهره‌گیری از تجارب کشورهای پیشرفته برای ارائه راهکارهای مناسب جهت ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه، ۳ سؤال زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

### ■ سوالات پژوهش

۱. در برنامه درسی کشورهای پیشرفته آموزش شیمی سبز چه جایگاهی دارد؟
۲. راهکارهای ورود شیمی سبز به برنامه درسی مدارس ایران کدام است؟
۳. نظر کارشناسان و متخصصان در مورد راهکارهای پیشنهاد شده در خصوص برنامه درسی شیمی سبز چیست؟

### ■ روش

این پژوهش یک مطالعه کیفی است که با روش تطبیقی به کمک الگوی بردی از یک طرف و نیز روش توصیفی-تحلیلی از طرف دیگر انجام شده است. الگوی بردی شامل چهار مرحله؛ توصیف<sup>۲۹</sup>، تفسیر<sup>۳۰</sup>، همجواری<sup>۳۱</sup> و مقایسه<sup>۳۲</sup> است. این پژوهش قصد دارد تا با بررسی برنامه درسی شیمی کشورهای پیشرفته (آمریکا، انگلستان، استرالیا، و چین) به پاسخگویی به پرسش‌هایی در مورد چگونگی ورود مفاهیم آموزش شیمی سبز در برنامه درسی شیمی ایران بپردازد و در نهایت ویژگی‌های برنامه درسی شیمی سبز مطلوب جهت آموزش در مدارس متوسطه را تعیین نماید. همچنین نظر به انتخاب چهار کشور فوق، که در واقع تلاش شده تا از کشورهای مطرح در دنیا در زمینه شیمی و نیز موفق در آزمون‌های بین‌المللی مثل تیمز، و از هر قاره یک کشور، باشند. پس از مقایسه برنامه‌های درسی گوناگون و تعیین ویژگی‌های برنامه درسی آموزش شیمی سبز، به منظور اعتباربخشی آن تصمیم گرفته شد با استفاده از روش مصاحبه نیمه‌ساختاریافته نظرات سنی تن از متخصصان در این زمینه جمع‌آوری و به صورت کیفی مورد تجزیه و تحلیل و تفسیر قرارگیرد و از طریق مصاحبه، نظرات آنان درباره ویژگی‌های برنامه درسی پیشنهادی جمع‌آوری شد. بدین منظور با برنامه‌ریزی قبلی، طی جلساتی به گفت‌وگو با سی نفر از متخصصان و صاحب‌نظران برنامه درسی، شیمی، آموزش شیمی و کارشناسان محیط‌زیست پرداخته شد و در جلسات مصاحبه جنبه‌های مختلف راهکارهای پیشنهادی، مورد بحث و بررسی قرارگرفت. سپس نتایج حاصل، به صورت کتبی جمع‌آوری شد و مورد تحلیل قرار گرفت.

## یافته‌ها

برای پاسخ به سؤال اول تحقیق، عواملی چون نظام آموزشی، نحوه اجرا و عناصر برنامه درسی شیمی سبز (منطق، اهداف، محتوا، روش‌های تدریس و ارزشیابی) در کشورهای پیشرفته مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. سپس برنامه درسی آموزش شیمی سبز در ایران با سایر کشورهای مورد مطالعه (وجوه مشترکشان) مقایسه گردید (جدول ۲-۱)، و نتایج در نموداری ترسیم شد (نمودار ۱-۱) که به‌طور خلاصه نتایج زیر به‌دست آمد:

از نظر نحوه اجرای برنامه شیمی سبز در این کشورها تفاوت‌ها و شباهت‌های زیر وجود دارد: پایه‌های اجرای برنامه درسی مورد مطالعه در کشورهای مطالعه متفاوت می‌باشد. در مدارس متوسطه آمریکا شیمی سبز در تمام پایه‌ها اجرا می‌شود. در استرالیا (ایالت ویکتوریا) و انگلستان این درس در سال‌های ۱۱ و ۱۲ برای ورود به دانشگاه به دانش‌آموزان تدریس می‌شود. در چین این درس جزو دروس انتخابی در سال‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ می‌باشد. در ایران درسی تحت عنوان شیمی سبز وجود ندارد، اما به شیمی سبز در شیمی سال اول دبیرستان به‌صورت غیرمستقیم و محدود پرداخته شده است.

نقاط عمده تشابه و تفاوت در منطق برنامه درسی آموزش شیمی سبز در چهار کشور پیشرفته شامل موارد زیر است:

- تلاش در حل مشکلات به‌وجود آمده برای انسان و محیط زیست؛
  - تغییرنگرش عمومی مردم به شیمی و صنایع شیمیایی؛
  - گسترش اهداف توسعه پایدار؛
  - تأکید بر پایان‌پذیر بودن منابع طبیعی و لزوم صرفه‌جویی در مصرف؛
  - تربیت شهروندان مسئول و کاهش زباله‌های سمی و خطرناک و توسعه مهارت‌هایی که می‌تواند از طریق درگیر کردن شهروندان با نهادهای اجتماعی انجام گیرد.
- در ایران نیز توجه به مسائل محیط زیست و انسان، تربیت شهروندان مسئول، اصلاح آموزش و پرورش، بهره‌گیری از دانش‌های نو، پایان‌پذیر بودن منابع طبیعی و لزوم صرفه‌جویی، با سایر کشورها مشترک می‌باشد (وار ۳، ۲۰۰۱؛ ویلند ۳، ۲۰۰۸؛ الارونگبه، ۲۰۱۰؛ راهنمای برنامه درسی شیمی هنگ‌کنگ ۳، ۲۰۰۷؛ نوریس ۳، ۲۰۰۹؛ لیستر ۳۷ و هریسون ۳۸، ۲۰۰۹؛ برد ۳۹، ۲۰۰۸ و راهنمای برنامه درسی شیمی ایران، ۱۳۷۸).

اهداف مشترک و متفاوت برنامه درسی کشورها را می‌توان به نحو زیر بیان نمود: هر کدام از کشورهای پیشرفته، در آموزش شیمی سبز اهداف آموزشی مشخصی را دنبال می‌کنند که در همه آن‌ها سه هدف دانشی، مهارتی و نگرشی دیده می‌شود. اما در مدارس ایران به فعالیت‌های آزمایشگاهی (مهارتی) توجه نشده است (کلینگ شراین ۴۰ و اسپسارد ۴۱، ۲۰۰۹؛ برنامه درسی شیمی ویکتوریا ۴۲، ۲۰۰۷؛ راهنمای برنامه درسی شیمی ایران، ۱۳۸۷؛ نوریس، ۲۰۰۹؛ لیستر و هریسون، ۲۰۰۹).

## ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه

و برد، ۲۰۰۸ و راهنمای برنامه درسی شیمی هنگ کنگ، ۲۰۰۷).

مقایسه محتوای برنامه درسی شیمی سبز در کشورهای مورد مطالعه نشان می‌دهد:

مهم‌ترین شباهت محتوایی بین برنامه‌های درسی در چهار کشور پیشرفته مورد نظر تغییرات آب و هوا، معرفی شیمی سبز و اصول آن، توسعه پایدار، سوخت‌های جایگزین مانند بیودیزل و اقتصاد اتمی است. در این میان، وجه مشترک محتوای برنامه درسی ایران با کشورهای مذکور بررسی تغییرات آب و هوا و معرفی بیودیزل‌ها می‌باشد. در محتوای برنامه درسی کشورهای پیشرفته ۶ اصل از ۱۲ اصل شیمی سبز، به دانش‌آموزان معرفی می‌شود. در حالی که در برنامه درسی ایران تنها به دو اصل شیمی سبز، پیشگیری و استفاده از مواد اولیه تجدیدپذیر، آن هم به صورت غیرمستقیم اشاره شده است در جدول ۱. نمونه‌هایی از عناوین محتوای برنامه درسی شیمی سبز در کشورهای مورد مطالعه و ایران را می‌بینید، (آناستاز، بیچ<sup>۳۳</sup>، ۲۰۰۹؛ کندرات<sup>۳۴</sup> و ویکاس<sup>۳۵</sup>، ۲۰۱۲؛ راهنمای برنامه درسی شیمی هنگ‌کنگ، ۲۰۰۷؛ نوریس، ۲۰۰۹؛ لیستر و هریسون، ۲۰۰۹؛ پرد، ۲۰۰۸ و راهنمای برنامه درسی شیمی ایران، ۱۳۷۸)

مقایسه شیوه تدریس شیمی سبز در کشورها نشان می‌دهد که:

جهت‌گیری کلی آموزش شیمی سبز در برنامه درسی چهار کشور پیشرفته به سمت رویکرد فرایندی و در ایران به سمت رویکرد غیرفرایندی است. همچنین، شیوه تدریس در کشورهای مذکور بر اساس رویکردهای دانش‌آموز-محور است و معلم نقش راهنما و مشاور را ایفا می‌نماید.

مقایسه شیوه ارزشیابی شیمی سبز دانش‌آموزان در کشورها به نحو زیر است:

شیوه ارزشیابی براساس نظام آموزشی، نقش معلم، روش تدریس، محتوا و اهداف آموزشی شیمی سبز در هر کشور متفاوت است. البته در تمامی برنامه‌های درسی شیمی سبز این کشورها به هر سه حیطه ارزشیابی (شناختی، عاطفی و مهارتی) دانش‌آموزان توجه می‌شود و هر چهار کشور نگرشی واحد نسبت به محیط زیست و آینده بشر دارند، اما سهم این سه حیطه ارزشیابی در کشورها متفاوت می‌باشد. (اسباراتی<sup>۳۶</sup>، ۲۰۱۱؛ راهنمای برنامه درسی شیمی ایران، ۱۳۷۸؛ راهنمای برنامه درسی شیمی هنگ‌کنگ، ۲۰۰۷؛ نوریس، ۲۰۰۹؛ لیستر و هریسون، ۲۰۰۹؛ برد، ۲۰۰۸ و برنامه درسی شیمی ویکتوریا، ۲۰۰۷).

مطالعه برنامه درسی کشورهای پیشرفته نشان می‌دهد که آموزش شیمی سبز در کشورهای مورد مطالعه اقدامی ملی به‌شمار می‌رود. این کشورها برای اجرای آن شش عامل اصلی (دولت، ارزیابی، مشارکت‌های مردمی، آموزش و پرورش، ارتباطات و منابع آموزشی) را مورد توجه قرار داده‌اند که نقش آموزش و پرورش از بقیه پررنگ‌تر است. در هر شش عامل طبق شرح زیر وظایفی بر عهده دارند.

۱. دولت: دولت وظیفه فراهم کردن ابزار مناسب برای معلمان در کلاس درس و آزمایشگاه و نیز ایجاد مراکزی برای کسب اطلاعات در زمینه شیمی سبز را بر عهده دارد.

۲. ارزیابی: هدف از ارزیابی اطمینان از مؤثر بودن آموزش شیمی سبز به دانش‌آموزان، تعیین فاصله بین نیازهای فعلی و آینده و یافتن راه‌هایی برای تشویق آموزش شیمی سبز در تمام سطوح است.

ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه

۳. **ارتباطات:** به منظور توسعه یک راهبرد برای ارائه شیمی سبز در فعالیتهای گروهی، سازماندهی و هماهنگ کردن رویدادهای سبزی برای آگاهی دادن به عموم، اشاعه آموزش شیمی سبز از طریق برگزاری نمایشگاه، جوایز و... و استفاده از رسانه‌ها برای ترویج آموزش شیمی سبز، ارتباطات نقش مهمی ایفا می‌کنند.

۴. **مشارکت‌های مردمی:** این امر به منظور حمایت از راهبردهای آموزش شیمی سبز لازم است.

۵. **آموزش و پرورش:** تجدد نظر در کتاب‌های درسی برای اشاعه شیمی سبز، به‌کارگیری آزمایشگاه‌های سبزی، تأسیس مدارس سبزی و به‌کارگیری نرم‌افزارهای کامپیوتری (فرد با وارد کردن اطلاعات در مورد مواد اولیه، محصولات و مواد کمکی آزمایش خود می‌تواند اقتصاد اتمی را محاسبه کند و اطلاعات مورد نیاز برای استفاده از حلال‌های ایمن را به‌دست آورد و نتایج خود را به نمودار تبدیل کند و به شناسایی عوامل ناکارآمد بپردازد).

۶. **منابع آموزشی:** به منظور ایجاد و انتشار منابع آموزش شیمی سبز در کلاس‌های درس و آزمایشگاه‌ها در تمام سطوح آموزشی، توسعه مجلات آموزش سبز و آموزش مربیان حرفه‌ای در شیمی سبز ضرورت دارد (کندرا و ویکاس، ۲۰۱۲).

جدول ۱. عناوین محتوای شیمی سبز

| کشور     | عناوین محتوا  |
|----------|---|
| آمریکا   | شیمی سبز در اکثر مباحث ادغام شده و سه مقوله اساسی را در بر گرفته است: ۱. معرفی شیمی سبز ۲. شیمی سبز در صنعت ۳. جایگزینی آزمایش‌ها با آزمایش‌های سبز به صورتی که در هر دوره تحصیلی متناسب با رشد دانش آموزان محتواها عمق بیشتری پیدا می‌کنند. عناوین محتوا شامل: چرخه حیات و توسعه پایدار، پلیمرها، اسیدها، بازها و pH، تعادلات شیمیایی، سینتیتک، استوکیومتری، واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی و نیروهای بین مولکولی (وارنر، ۲۰۱۲ و تریپ <sup>۴۷</sup> ، ۲۰۱۲). |
| استرالیا | آب، هوا، کاربرد مواد شیمیایی در صنعت، تکنیک‌های سبزی، انرژی، ساختار اتمی (بازیافت - زباله‌های شیمیایی)، استوکیومتری (اقتصاد اتمی) و پیوندهای شیمیایی (شیمی سبز)، (برنامه درسی شیمی ویکتوریا، ۲۰۰۷).   |
| چین      | صنایع شیمیایی (پلاستیک زیست، تخریب‌پذیر، شیمی سبز، فرایندهای صنعتی) و شیمی مواد (اصول شیمی سبز، توسعه پایدار، اقتصاد اتمی)، (راهنمای برنامه درسی شیمی هنگ کنگ، ۲۰۰۷).   |
| انگلیس   | آب و هوا، پایداری (توسعه پایدار، صنایع شیمیایی، معاهده‌های جهانی)، شیمی آلی و نفت، مقدار ماده (موازنه شیمیایی، درصد اقتصاد اتمی، استفاده از شیمی سبز در فرایند هابر، آلکان‌ها و الکل‌ها)، کاربرد مفاهیم (اقتصاد اتمی، صنایع شیمیایی، گرم شدن زمین، فلزات واسطه و انرژی)، (کتاب‌های درسی متوسطه <sup>۴۸</sup> )  |
| ایران    | فراوان‌ترین مایع روی زمین، تنفس در هوایی پاکیزه، مصرف دوباره تنها راه ادامه زندگی و طلای سیاه، اندوخته‌ای رو به پایان (راهنمای برنامه درسی شیمی ایران، ۱۳۷۸).   |

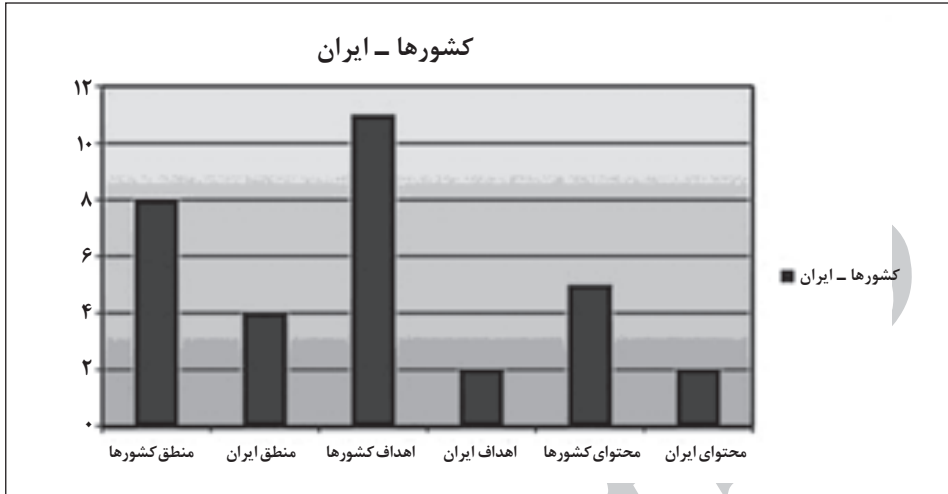


## ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه

## جدول ۲. مقایسه برنامه درسی آموزش شیمی سبز در ایران با کشورهای مورد مطالعه، در یک نگاه.

| موارد             | ایران   | کشورهای دیگر این پژوهش (وجوه مشترک)  |
|-------------------|---|--|
| نحوه اجرای برنامه | برای پایه ۹ به صورت الزامی برای تمام کشور   | پایه‌های اجرای برنامه درسی متفاوت است. در آمریکا الزامی برای پایه‌های ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹. در استرالیا (ایالت ویکتوریا) و انگلستان به صورت الزامی برای ورود به دانشگاه در سال‌های ۱۱ و ۱۲ در چین به صورت انتخابی در سال‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲.   |
| منطق              | توجه به مسائل محیط زیست و انسان - تربیت شهروندان مسئول - اصلاح آموزش و پرورش و بهره‌گیری از دانش‌های نو - پایان پذیر بودن منابع طبیعی و لزوم صرفه‌جویی. | حل مشکلات به وجود آمده برای انسان و محیط زیست - تغییر نگرش عمومی مردم به شیمی و صنایع شیمیایی - گسترش اهداف توسعه پایدار - پایان پذیر بودن منابع طبیعی و لزوم صرفه‌جویی در مصرف - اصلاح آموزش و پرورش و بهره‌گیری از دانش‌های نو - تربیت شهروندان مسئول و کاهش زباله‌های سمی و خطرناک و توسعه مهارت‌ها (وارنر، ۲۰۰۱، ویلند، ۲۰۰۸، الارنتگبه، ۲۰۱۰، راهنمای برنامه درسی شیمی هنگ کنگ، ۲۰۰۷، نوریس، ۲۰۰۹، لیستر و هریسون، ۲۰۰۹ و برد، ۲۰۰۸).   |
| اهداف             | درک اثرهای نامطلوب مواد شیمیایی بر انسان و محیط زیست ارج نهادن به نقش شیمی دانان در جامعه.  | جلوگیری از عواقب ناگوار شیمی بر محیط زیست و انسان - کاهش هزینه‌ها - اصلاح تصور عمومی در مورد شیمی - بالا بردن ایمنی در مدارس - استفاده از منابع تجدیدپذیر - کاهش زباله‌های آزمایشگاهی - درک نقش و تولید ایده‌های جدید در شیمی - علاقمند ساختن دانش آموزان برای ادامه تحصیل در شیمی و پرورش نیروی کار - توسعه تحقیقات سبز - ارج نهادن به نقش شیمی دانان در جامعه - جایگزین ساختن روش‌های سنتی با روش‌های جدید (کلینگ شراین، ۲۰۰۹، برنامه درسی ویکتوریا، ۲۰۰۷، نوریس، ۲۰۰۹، لیستر و هریسون، ۲۰۰۹ و برد، ۲۰۰۸، راهنمای برنامه درسی شیمی هنگ کنگ، ۲۰۰۷). |
| سازمان دهی محتوا  | سازمان دهی محتوا بر اساس رویکرد زیست فناوری شامل تغییرات آب و هوا و معرفی سوخت‌های جایگزین بیودیزل‌ها.  | سازمان دهی کلی محتوا بر اساس رویکرد فعالیت محوری می‌باشد. در آمریکا رویکرد آزمایشگاه محوری و در سایر کشورها (چین، انگلستان و استرالیا) رویکرد زمینه محوری در سازمان دهی محتوا غالب است. محتوای مشترک شامل: تغییرات آب و هوا، معرفی شیمی سبز و اصول آن، توسعه پایدار، سوخت‌های جایگزین مانند بیودیزل‌ها و اقتصاد اتمی.  |
| روش تدریس         | جهت گیری به سمت رویکرد غیر فرایندی - استفاده از سخنرانی، مباحثه و تفکر انتقادی.   | جهت گیری به سمت رویکرد فرایندی - در آموزش شیمی سبز کشور آمریکا آموزش مبتنی بر فعالیت‌های آزمایشگاهی و در استرالیا، چین و انگلستان بیشتر مبتنی بر حل مسئله است با راهبرد رفع اشکال و کار روی پروژه. روش‌های دیگر عبارتند از مباحثه و تفکر انتقادی (وارنر، ۲۰۱۲، برنامه درسی شیمی ویکتوریا، ۲۰۰۷، راهنمای برنامه درسی شیمی هنگ کنگ، ۲۰۰۷، نوریس، ۲۰۰۹، لیستر و هریسون، ۲۰۰۹ و برد، ۲۰۰۸).  |
| ارزشیابی          | در برنامه درسی از ارزیابی شناختی و عاطفی بحث به میان آمده است. اما در نهایت آزمون کتبی غالب است (راهنمای برنامه درسی شیمی، ۱۳۸۷)                        | چهار کشور پیشرفته دارای ارزشیابی توصیفی می‌باشند. با توجه به هر سه حیطه ارزشیابی (شناختی، عاطفی و مهارتی) - در آمریکا سنجش عملکرد دانش آموزان در آزمایشگاه به صورت فردی و گروهی با استفاده از ابزارهایی مانند چک لیست و مشاهده بر آزمون کتبی غالب است (ان اسپاربتی، ۲۰۱۱، راهنمای برنامه درسی شیمی هنگ کنگ، ۲۰۰۷، نوریس، ۲۰۰۹، لیستر و هریسون، ۲۰۰۹ و برد، ۲۰۰۸، برنامه درسی شیمی ویکتوریا، ۲۰۰۷).   |

ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه



نمودار ۱. میزان وجوه مشترک عناصر برنامه درسی شیمی سبز ایران با سایر کشورهای مطالعه شده (وجوه مشترک)

اگرچه شیمی سبز در حدود بیست و دو سال پیش معرفی شد، اما مفاهیم آن هنوز به طور کامل در برنامه درسی گنجانده نشده است. موانع متعددی در این راه وجود دارد که با توجه به آن‌ها راهکارهایی به منظور معرفی شیمی سبز در محتوای کنونی توسط کشورهای مطالعه شده ارائه شده است:

معرفی موضوع‌های جدید در برنامه درسی شیمی به علت حجم بالای محتوای کنونی و کمبود منابع آموزشی کار آسانی نیست (شکل ۲). خلاصه راهکارهای ارائه شده توسط کشورها به منظور معرفی شیمی سبز در محتوای کنونی را نشان می‌دهد (از این رو:

- می‌توان با یک راه جدید در تدریس و تلفیق مفاهیم کلیدی شیمی سبز را در محتوای حاضر ارائه کرد. در این جا نقش معلم و دانسته‌های او بسیار مهم است.

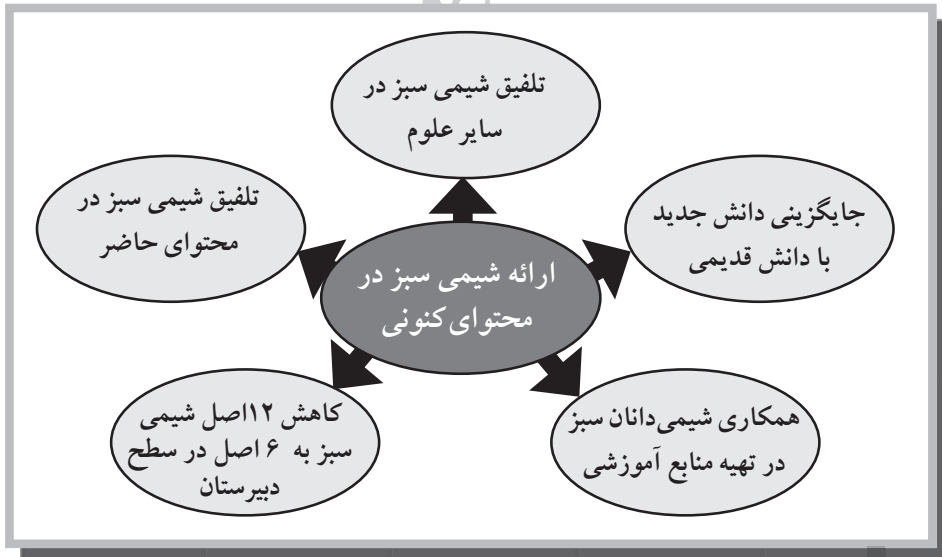
- کاهش دوازده اصل به شش اصل در ادغام شیمی سبز در برنامه درسی دبیرستان عملی‌تر و آسان‌تر است، شش اصل باقی‌مانده از اصول سبز را می‌توان در دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد ارائه کرد.

- می‌توان دانش‌های جدید را با دانش‌های قدیمی در کتاب‌های درسی جایگزین نمود. همچنین، روش‌های سنتی در آزمایشگاه را با روش‌های سبز تعویض نمود.

- می‌توان شیمی سبز را در سایر علوم تلفیق نمود.

- می‌توان از همکاری شیمی‌دانان سبز در تهیه منابع درسی استفاده نمود.

- برای حل مشکل بودن درک شیمی سبز برای فراگیران دبیرستانی، می‌توان:
- شیمی سبز را در مرحله اول به صورت جلوگیری از آلودگی در مقاطع ابتدایی تعریف کرد و به صورت مفصل‌تری در مقاطع بالاتر ادامه داد که بچه‌ها درک گسترده‌تری از شیمی دارند.
  - شیمی سبز را به مسائل زندگی روزمره ربط داد تا بدین ترتیب درک مسائل شیمی سبز برای دانش‌آموزان ساده‌تر شود.
  - این واحد را مبتنی بر تشویق، به اختراع و تحقیق برای دانش‌آموزان برنامه‌ریزی نمود.
  - از حضور شیمی‌دانان در مدارس متوسطه برای راهنمایی دانش‌آموزان در انجام پروژه‌های سبز بهره گرفت.
  - با در نظر گرفتن جوایز برای دانش‌آموزان آن‌ها را به تولید یک محصول سبز تشویق نمود.
  - از آزمایشگاه برای تدریس شیمی سبز استفاده نمود؛ زیرا تا زمانی که شیمی سبز به مرحله عمل در نیاید، دانش‌آموز قادر به درک آن نیست.
  - توجه به شرایط، امکانات و خصوصیات و توانمندی دانش‌آموزان معلمان روش تدریس خود را انتخاب کنند. این امر باعث می‌شود که فراگیران با توانایی‌ها و استعدادها مختلف بتوانند به یادگیری شیمی سبز اقدام کنند و مهارت‌های تفکر و نگرش‌ها را در خود توسعه دهند.



شکل ۲ راهکار ارائه شده به منظور معرفی شیمی سبز در محتوای کنونی

### نداشتن اطلاعات کافی آموزگاران

- برگزاری سمینارهای مختلف، کارگاه‌های آموزشی، تعاملات معلمان با یکدیگر، آموزش

### راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه

الکترونیکی، راه‌اندازی سایت، انتشار مجلات و کتاب‌های آموزشی در اطلاع‌رسانی به معلمان بسیار مؤثر می‌باشد. در کارگاه‌ها شیمی‌دانان سبز به معلمان شیوه سبز را در کلاس توضیح می‌دهند و آن‌ها یک‌سری آزمایش را با استفاده از همین اصول انجام می‌دهند. کارگاه‌های آموزشی یکی از کارآمدترین و مؤثرترین راه‌های انتشار آموزش سبز است.

هزینه تأمین فضا و تجهیزات مناسب برای راه‌اندازی مدارس و آزمایشگاه‌های سبز - مشارکت‌های مردمی و پشتیبانی دولت تا حدودی این مشکل را برطرف می‌سازد (اسباریتی، ۲۰۱۱).

برای پاسخ به سؤال دوم تحقیق، ابتدا جایگاه آموزش شیمی سبز در برنامه درسی ایران بررسی شد و مشخص گردید که:

✓ به طور کلی کتاب‌های شیمی دوره دبیرستان، مطالب درسی اغلب به گونه‌ای سازمان یافته‌اند که تنها انبوهی از اطلاعات علمی را به دانش‌آموزان منتقل می‌کنند و فرصت هرگونه اندیشیدن و خلاقیت را از دانش‌آموزان سلب می‌نماید (بدریان، ۱۳۸۹).

✓ مفاهیم شیمی سبز به‌طور غیرمستقیم تنها در کتاب درسی شیمی دوره اول دبیرستان دیده می‌شود. بنابراین جای آموزش شیمی سبز هنوز در کتاب‌های درسی شیمی خالی است و به جرأت می‌توان گفت دانش‌آموزان با شیمی سبز و کاربردهای آن بیگانه‌اند. بنابراین با توجه به عدم آشنایی دانش‌آموزان و حتی والدین آن‌ها از اهمیت و جایگاه شیمی سبز، می‌توان به یقین گفت که نیاز به آموزش شیمی سبز در آموزش و پرورش، کتاب‌های درسی و کمک درسی و نیز برنامه‌های درسی رسمی و غیر رسمی به خوبی احساس می‌شود.

پس از این مرحله، با استفاده از نتایج حاصل از مقایسه برنامه‌های درسی آموزش شیمی سبز در کشورهای مورد مطالعه، و بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌های برنامه‌های درسی آن‌ها، یک برنامه درسی آموزش شیمی سبز که مناسب برای مدارس متوسطه باشد تدوین و معرفی گردید. این برنامه، از مطالعه برنامه‌های آموزش شیمی سبز کشورهای پیشرفته در چارچوبی مناسب، برای ورود به برنامه درسی شیمی فراهم گردید. در این چارچوب، منطق، اهداف، محتوا، اجرای درس و ارزیابی دانش‌آموز از نقاط مشترک و تأکید شده در بیشتر برنامه‌های درسی مذکور است. علاوه بر آن، در انتخاب برنامه درسی برای ورود به برنامه درسی شیمی به مواردی از جمله: در دسترس بودن مواد آموزشی لازم برای مدارس سراسر کشور، روش اجرای درس، موضوع فراگیر برای استفاده معلمان و ... نیز توجه گردید. عناصر برنامه درسی شیمی سبز پیشنهادی به شرح زیر است:

#### ● منطق آموزش شیمی سبز

نظام آموزش و پرورش وظیفه دارد، برنامه‌های آموزشی و درسی علوم را به نحوی سازماندهی کند که در اجرای آن همه توانایی‌های شناختی و شخصیتی دانش‌آموزان رشد کند و دانش‌آموزان با بهره‌گیری از

مزایای علوم و فناوری، توانمندی‌های لازم را برای رویارویی با تحولات جدید کسب نمایند. با آموزش شیمی سبز در مدارس می‌توان مهارت‌های تفکر را در دانش‌آموزان تقویت نمود (کن سی<sup>۴۹</sup>، ۲۰۰۹). از طرف دیگر برای عقب نماندن از دنیای رقابتی امروز، بهره‌گیری از دانش‌های روز دنیا، افزایش نگرانی‌ها در مورد به خطر افتادن سلامتی انسان، میزان مصرف منابع طبیعی و تخریب محیط زیست نیاز به تغییر الگوی آموزش و برنامه‌های درسی دارد. فلسفه آموزش شیمی سبز رسیدن به حداکثر بهره‌وری با حداقل انرژی و کاهش تولید زباله است. لذا برای جلوگیری از آلودگی و امداد رسانی به جامعه، آموزش شیمی سبز به نسل آینده ضرورت دارد. شیمی سبز در واقع کاربرد علم در زندگی واقعی است که با آموزش آن در مدارس چارچوبی برای آینده‌ای پایدار فراهم می‌شود. از سوی دیگر، اغلب دانش‌آموزان و معلمان از مفهوم توسعه پایدار بی‌اطلاع‌اند، در حالی که این مسئله بسیار حیاتی است (کنندرا و ویکاس، ۲۰۱۲). مضافاً این‌که سیستم آموزشی فعلی کشور ما (ایران) عمدتاً بر اصول تئوریک استوار می‌باشد. ممکن است دانش‌آموزان با تئوری‌های شیمی به خوبی آشنا باشند، اما این‌گونه تئوری‌ها به برطرف‌سازی مشکلات اجرایی منجر نمی‌گردد. از این‌رو، تغییر مواد آموزشی در جهت تطبیق با زندگی واقعی امروزی و گسترش مهارت‌های عملی الزامی است (جعفری هرندی، ۱۳۸۸).

### ● اهداف آموزش شیمی سبز

هدف از آموزش شیمی سبز آن است که فرصت‌هایی را برای دانش‌آموزان، فراهم کند و آن‌ها را به درک مبانی و برای درک و اصول این شاخه حیاتی از علم به شرح زیر آگاه سازد:

درک اینکه یک شیمی‌دان چگونه می‌تواند زمین را کنترل کند؛ بررسی راه‌های سازگاری با محیط زیست و کنترل مدیریت؛ اثرات نامطلوب فرایندهای صنعتی بر محیط زیست؛ کاهش ضایعات در آزمایشگاه‌ها و کاهش هزینه‌ها؛ توسعه علاقه به تحقیقات سبز؛ آگاهی از تأثیر شیمی سبز در اجتماع، اقتصاد، محیط زیست و فناوری؛

درک اهمیت محدودیت منابع طبیعی؛ حرکت در جهت رفع نیازهای جامعه؛

درک متقابل بین شیمی سبز و پایداری؛ افزایش همکاری بین دولت، آموزش و پرورش و سایر گروه‌های ذی‌نفع به سمت رویکرد سبز و اهمیت توسعه سوخت‌های تجدیدپذیر که به عنوان یک نیاز جهانی از اهداف آموزش شیمی سبز می‌باشد (کلینگ شراین، ۲۰۰۹ و لیسترو هریسون ۲۰۰۹).

### ● محتوا

شیمی سبز تکمیل‌کننده و اصلاح‌کننده دروس شیمی است و همه مفاهیم اساسی شیمی را از جمله اسیدها و بازها، سینتیک و... را پوشش می‌دهد. تلفیق اصول شیمی سبز در مواد آموزشی باعث می‌گردد که نقش شیمی در جامعه و محیط زیست پررنگ شود و دانش‌آموزان به فراگیری شیمی راغب‌تر شوند که با تأکید بر استدلال عینی از طریق جامعه، محیط زیست و اقتصاد به

### ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه

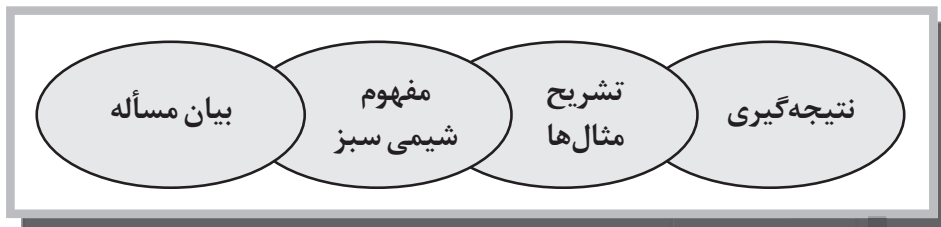
تجربیات علمی پویا خواهند رسید (کن سی، ۲۰۰۹). بهتر است، ادغام شیمی سبز در برنامه درسی آزمایشگاه هم با تغییر یا تعویض آزمایش‌های جدید با آزمایش‌های سنتی انجام گیرد. همچنین به لحاظ اهمیت اصول شیمی سبز پیشنهاد می‌شود ۶ اصل از ۱۲ اصل شیمی سبز مدنظر در تألیف کتاب‌های درسی مدارس قرار گیرد و ۶ اصل باقی‌مانده در سطوح دانشگاهی عرضه شود. ۶ اصل مورد نظر عبارتند از:

۱. پیشگیری بهتر از درمان و پاکسازی زباله‌ها است.
۲. از حداقل مقدار ممکن مواد در آزمایش‌ها استفاده شود.
۳. باید از موادی استفاده نمود که سمی نباشند.
۴. از حداقل انرژی بهره گرفت.
۵. باید از مواد تجدیدپذیر استفاده شود.
۶. باید از موادی استفاده نمود که بازده واکنش را افزایش دهند (کنن<sup>۵۰</sup> و وارنر<sup>۵۱</sup>، ۲۰۰۹).

### ● روش‌های آموزش و یادگیری

در توسعه برنامه درسی شیمی سبز در کلاس می‌توان از رویکردهای گوناگونی بهره گرفت اما مناسب‌ترین رویکرد، با توجه به تجربیات سایر کشورها، رویکرد دانش‌آموزمحور است. این در حالی است که در اکثر روش‌های آموزش و یادگیری به رویکرد مسئله بیشتر تأکید شده است که هدف اصلی آن «یادگیری معنادار» شیمی است و با تکیه بر اینکه دانش‌آموز به یادگیرنده مادام‌العمر تبدیل شود (شکل ۲). البته معلمان در تدریس خود می‌توانند از روش‌های سخنرانی، حل مسئله و پرسش و پاسخ بهره گیرند. اما در خصوص شیمی سبز بهتر است، سخنرانی‌ها توسط دانش‌آموز در محیط آزمایشگاه انجام گیرد تا همه دانش‌آموزان در فعالیت‌های سبز درگیر شوند. به‌عنوان مثال، حین انجام آزمایش از دانش‌آموزان سؤالاتی پرسیده شود و آن‌ها هدایت شوند. تا روش‌های قدیمی را با روش‌های سبز جایگزین سازند و معایب روش‌های قدیمی را با مزایای روش‌های جدید مقایسه کنند. دانش‌آموزان بر اساس مشاهدات خود و با استفاده از اصول سبز می‌توانند در آزمایشگاه تصمیم‌گیری کنند. زیرا شیمی سبز استفاده از دانش در عمل است. مثلاً می‌توان آزمایشی را تعیین کرد تا بچه‌ها میزان زباله‌ای را که در آزمایش تولید می‌شود شناسایی کنند و در پایان به این نتیجه برسند که زباله مساوای با پول است؛ و یا اینکه دو واکنش انجام گیرد و از دانش‌آموزان خواسته شود به سؤالاتی از قبیل این که کدام واکنش به لحاظ اقتصادی و مواد اولیه مناسب‌تر است؟ و... پاسخ دهند. روش‌هایی از این دست نه تنها به آموزش شیمی سبز منجر می‌شود، بلکه به درک بهتر مفاهیم اصلی علم شیمی همانند معادله‌های شیمیایی، استوکیومتری، تعادل، مول و... کمک می‌کند. نمایش فیلم و نوشتن یک تحقیق در مورد تأثیر مواد شیمیایی در محیط زیست در آموزش شیمی سبز نیز کارآمد است (کنن و وارنر، ۲۰۰۹). برنامه درسی شیمی ویکتوریا، ۲۰۰۷. اسپاریتی، (۲۰۱۱).

## ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه



شکل ۳ نحوه ارائه شیمی سبز به روش بیان مسئله

## ارزشیابی

در برنامه درسی شیمی سبز، در همه کشورها بر هر سه حیطه شناختی، عاطفی و مهارتی در ارزشیابی تأکید شده است. ارزشیابی می‌تواند با توجه به عواملی نظیر توانایی در انجام تحقیق، روش جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها، قابلیت تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌های به دست آمده از تحقیق با استفاده از اصول سبز و ایجاد انگیزه به سمت تحقیقات سبز انجام گیرد (دری ۲۰۰۷، نوریس، ۲۰۰۹).

## جدول ۳. اهداف و محتوای برنامه درسی پیشنهادی شیمی سبز دوره متوسطه

| اهداف کلی  | محتوا  |
|--|--|
| ۱. دانش‌آموزان با شیمی سبز آشنا شوند.                | تغییرات آب و هوا، توسعه پایدار، شیمی سبز                                   |
| ۲. دانش‌آموزان با جایگاه شیمی سبز در صنعت آگاه شوند. | آلکان‌ها و الکل‌ها، کاتالیست‌ها، سوخت‌ها<br>ارزیابی لوازم آرایشی و بهداشتی |
| ۳. جایگزینی آزمایش‌های موجود با آزمایش‌های سبز       | آزمایش‌ها  |

## جدول ۴. محتوا و اهداف جزئی مربوط به محتوای برنامه درسی پیشنهادی شیمی سبز دوره متوسطه.

| اهداف جزئی  | محتوا    |
|---|----------|
| ارتباط بین شیمی، محیط زیست و جامعه را تحلیل نماید- در مورد حفظ محیط زیست احساس مسئولیت نماید- در مورد علت تغییرات آب و هوا اطلاعات جمع‌آوری نماید و اقدامات لازم برای کاستن این تغییرات را بررسی نماید- در مورد چگونگی بهبود کیفیت هوا در سطح منطقه، کشور و جهان بحث نماید- با نقش شیمی دانان در به حداقل رساندن تغییرات آب و هوا توسط: ارائه شواهد علمی به دولت‌ها به منظور بررسی گرم شدن کره زمین- بررسی راه‌حل‌های زیست محیطی همانند حذف ضایعات آشنا شود. اهمیت ایجاد همکاری‌های بین‌المللی برای ترویج کاهش آلودگی هوا توضیح دهد- درباره مکان مناسب برای ساخت یک کارخانه شیمیایی تحقیق نماید<br>(وارنرو و آناستاز، ۲۰۱۲. لیستر و هریسون، ۲۰۰۹. برنامه درسی شیمی ویکتوریا، ۲۰۰۷). | آب و هوا |

ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه

|  |   |
|--|---|
| <p><b>توسعه پایدار</b></p>                   | <p>علت حذف سرب در بتزین، رنگ، و اجزاء الکتریکی را توضیح دهد- کاربرد ایده توسعه پایدار را توضیح دهد- مثلث پایداری را رسم نماید- در مورد نقش شیمی در رسیدن به توسعه پایدار کنجکاو گردد- ارتباط شیمی با توسعه پایدار را تجزیه و تحلیل نماید- پایداری را در فرایندهای شیمیایی که بستگی به: تجدیدپذیر و یا تجدید ناپذیر بودن، اقتصاد اتمی، میزان محصولات و مواد زائد درک نماید (وارنر و آناستاز، ۲۰۱۲. لیستر و هریسون، ۲۰۰۹. برنامه درسی شیمی ویکتوریا، ۲۰۰۷).</p>   |
| <p><b>شیمی سبز</b></p>                       | <p>شیمی سبز را تعریف کند- با مزایای شیمی سبز در زندگی روزمره آشنا شود- در مورد فواید شیمی سبز گفتگو کند- در مورد علت انتخاب رنگ سبز در شیمی سبز شنبه سازی نماید- شیمی سبز را با شیمی محیط زیست مقایسه نماید- رابطه شیمی سبز را با توسعه پایدار تفسیر نماید- در مورد کاربرد شیمی سبز مشتاق گردد- با اقتصاد اتمی آشنا شود- اقتصاد اتمی را در یک معادله شیمیایی محاسبه نماید- علت اینکه برخی واکنش ها اقتصاد اتمی ۱۰۰٪ دارند در عوض برخی واکنش ها کارایی کمتری دارند را توضیح دهد- مزایای استفاده از فرایندهای شیمیایی با اقتصاد اتمی بالا و مواد زائد کمتر را شرح دهد- تفاوت بازده محصول و اقتصاد اتمی را درک کند- مزایای اقتصاد اتمی بالا را به لحاظ توسعه پایدار بیان کند- با راههایی که به وسیله آنها خطر کاهش می یابد کار با مقیاس کوچک، جایگزین کردن مواد درگیر در واکنش، انجام آزمایش با روش هایی که خطر کمتری دارند آشنا شود (وارنر و آناستاز، ۲۰۱۲. لیستر و هریسون، ۲۰۰۹. برنامه درسی شیمی ویکتوریا، ۲۰۰۷).</p> |
| <p><b>آلکان ها و الکل ها</b></p>             | <p>مشکلات زیست محیطی استفاده از آلکان ها به عنوان سوخت را بیان کند- برای حل مشکلات زیست محیطی استفاده از آلکان ها راه حل ارائه دهد- نقش شیمی دان را در به حداقل رساندن آسیب های وارده به محیط زیست درک نماید- با کاتالیست تبدیل کننده سولفور آشنا شود- با روش تولید اتانول به روش تخمیر آشنا شود- مزایای اقتصادی و زیست محیطی تولید اتانول به روش تخمیریان کند- در تهیه اتانول به دو روش (استفاده از تخمیر و اتن) با هم مقایسه کند (لیستر و هریسون، ۲۰۰۹. نوریس، ۲۰۰۹).</p>   |
| <p><b>کاتالیست ها</b></p>                    | <p>به درک درستی از فرایندهای صنایع شیمیایی که در حال حرکت به سمت شرایط سازگار با محیط زیست «سبز تر» هستند توسط: تغییر به سمت منابع تجدیدپذیر- پیدا کردن جایگزین هایی برای مواد شیمیایی خطرناک- کشف کاتالیزورهایی برای بالا بردن اقتصاد اتمی- استفاده کارآمد از انرژی برسد. با فلزات واسطه و ترکیبات آنها که به عنوان کاتالیست تبدیل کننده در آگرو خودروها آشنا شود. علت اهمیت کاتالیزورهای تبدیل کننده در اولویت تحقیقات شیمیایی و اکتشافات توضیح دهد (لیستر و هریسون، ۲۰۰۹. نوریس، ۲۰۰۹).</p>  |
| <p><b>سوخت ها</b></p>                        | <p>در مورد راه های رسیدن به انرژی بالا علاقه نشان دهد- مشخصات یک سوخت خوب را توضیح دهد- تأثیر انرژی را در عوامل: زیست محیطی، خطرات و ایمنی، مزایای اقتصادی و اجتماعی، کاتالیزورهای جایگزین برای انرژی پائین درک نماید- با راه های جایگزین نمودن منابع تجدید پذیر با منابع تجدید ناپذیر آشنا شود- با سوخت های بیودیزلی آشنا شود- سوخت های بیودیزلی را با اصول شیمی سبز تحلیل کند- بیودیزل را استفاده از منابع تجدید پذیر سنتز نماید- در مورد توسعه سوخت های جایگزین در کاهش گازهای گلخانه ای و ارتباط آن با تغییرات آب و هوا بحث کند- انرژی سوخت های فسیلی را با گیاهی مقایسه کند- پلاستیک های زیست تخریب پذیر را توضیح دهد- مزایای استفاده سوخت های هیدروژنی در وسایل نقلیه را با سوخت های فسیلی مقایسه کند- با هیدروژن به عنوان منبع انرژی در آینده آشنا شود (لیستر و هریسون، ۲۰۰۹. نوریس، ۲۰۰۹).</p>  |
| <p><b>ارزیابی لوازم آرایشی و بهداشتی</b></p> | <p>با مواد تشکیل دهنده در لوازم آرایشی و بهداشتی آشنا شود- موادمسمی موجود در لوازم آرایشی و بهداشتی را شناسایی کند- لوازم آرایشی و بهداشتی را با اصول شیمی سبز ارزیابی نماید- باتکنولوژی های سبز در تولید لوازم آرایشی و بهداشتی آشنا شود- لوازم آرایشی و بهداشتی سنتی و سبز را با هم مقایسه کند- به عنوان مصرف کننده مواد آرایشی و بهداشتی در قبال سلامتی خود و محیط زیست احساس مسئولیت کند- مواد تشکیل دهنده در صابون را نام برد- با سنتز صابون سبز آشنا شود- با مواد تشکیل دهنده شامپو آشنا شود- شامپوها را براساس معیار سبز ارزیابی کند (وارنر، آناستاز ۲۰۱۲).</p>  |
| <p><b>آزمایش ها</b></p>                      | <p>نکات ایمنی را حین انجام آزمایش رعایت کند- مواد سمی مانند کادمیم، جیوه، سرب، روی، لیتیم و... را با مواد سبز جایگزین شود- در پایان هر آزمایش اصول شیمی سبز به کار گرفته شده را نقد کند- در هر آزمایش از حداقل مواد استفاده شود- با استفاده از شیمی سبز آزمایش ها را ارزیابی کند- بعد از انجام هر آزمایش روش های سنتی را با روش های سبز مقایسه کند (وارنر و آناستاز، ۲۰۱۲. لیستر و هریسون، ۲۰۰۹. برنامه درسی شیمی ویکتوریا، ۲۰۰۷).</p>  |



پس از مقایسه برنامه‌های درسی آموزش شیمی سبز در کشورهای مختلف و تعیین چارچوب نظری و ویژگی‌های برنامه درسی شیمی سبز برای پاسخ به سؤال سوم پژوهش، به منظور اعتباربخشی الگوی پیشنهادی، تصمیم گرفته شد که با جمعی از صاحب‌نظران و متخصصان برنامه‌ریزی درسی و دست‌اندرکاران آموزش شیمی و کارشناسان محیط زیست گفت‌وگو شود و از طریق مصاحبه نظرات آنان درباره الگوی پیشنهادی برنامه درسی آموزشی شیمی سبز جمع‌آوری شود. بدین منظور با برنامه‌ریزی قبلی، طی جلساتی موفق به گفت‌وگو با ۳۰ متخصص و صاحب‌نظر شدیم. ۱۰ نفر از این افراد متخصص برنامه‌ریزی درسی، ۱۰ نفر متخصص در شیمی و ۴ نفر از کارشناسان محیط زیست بوده‌اند. همچنین با ۶ نفر از کارشناسان گروه شیمی دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی نیز گفت‌وگو شد. در جلسات مصاحبه با انجام مصاحبه‌های نیمه سازمان یافته سعی شد مطالبی که در برنامه پیشنهادی آموزش شیمی سبز بر آن‌ها تأکید شده است مورد بحث و بررسی قرارگیرد تا جنبه‌ها و ویژگی‌های مختلف برنامه درسی پیشنهادی، مورد بحث و بررسی قرارگیرد. این جنبه‌ها عبارت بود از:

۱. ترتیب اولویت‌بندی اهداف کلی و محتواها
۲. میزان ضرورت و تطابق محتوا با اهداف کلی و جزئی با محتوا در ویژگی‌های برنامه درسی شیمی سبز پیشنهادی
۳. چگونگی وارد کردن شیمی سبز به برنامه درسی شیمی. محورهای مذکور، محورهایی بودند که پژوهشگر با توجه به ویژگی‌های برنامه درسی پیشنهادی شیمی سبز برگزیده بود. از جمع‌بندی نظرات مصاحبه‌شوندگان روشن شد که:
 

اولاً، همه صاحب‌نظران در مورد اهمیت اهداف کلی و محتواها در برنامه درسی شیمی توافق داشتند و چگونگی اولویت‌بندی اهداف کلی و محتواها را، در برنامه درسی پیشنهادی به برنامه درسی شیمی، تأیید نمودند.

ثانیاً، همه صاحب‌نظران بر اهمیت آموزش شیمی سبز در مدارس تأکید داشتند و ورود آن را به برنامه درسی شیمی ضروری دانستند. همه کارشناسان با این موضوع موافق بودند که مسئله آلودگی کلان شهرها به ویژه شهرهای صنعتی، یکی از بزرگترین دغدغه‌های کنونی کشور محسوب می‌شود. از نظر آن‌ها، آموزش شیمی سبز نه تنها در مراکز علمی بلکه در کلیه صنایع، کارخانجات و... نیز ضرورت دارد و یک اقدام ملی محسوب می‌شود.

ثالثاً، همه مصاحبه‌شوندگان میزان ارتباط محتواهای پیشنهادی را در ارتباط با اهداف کلی و ارتباط اهداف جزئی با محتوای برنامه درسی شیمی را مورد ارزیابی قرار دادند و آن را تأیید نمودند. آن‌ها اظهار داشتند که در محتوای برنامه درسی شیمی فعلی، آموزش شیمی سبز مدنظر قرار نگرفته است و نه تنها دانش‌آموزان، حتی معلمان، با شیمی سبز آشنا نیستند بنابراین، ابتدا معلمان باید آموزش ببینند.

رابعاً، مصاحبه‌شوندگان محتواها و اهداف جزئی دیگری را پیشنهاد ندادند. اما برخی از آنان از بین

**ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه**

محتوای ارائه شده بر اهمیت محتوایی توسعه پایدار، شیمی سبز و ارزیابی لوازم آرایشی و بهداشتی تأکید نمودند، چون از نظر آن‌ها ارائه این محتواها برای دانش آموزان جذاب می‌باشد. همچنین مصاحبه شوندگان میزان ارتباط این برنامه درسی با برنامه درسی شیمی متوسطه را تأیید کردند. نتایج نظرخواهی مصاحبه شوندگان در مورد چگونگی ورود محتواهای پیشنهادی به برنامه درسی شیمی نشان می‌دهد که:

- مبحث «تغییرات آب و هوا» مناسب ورود در کتاب درسی شیمی پایه اول - شیمی برای زندگی - در بخش دوم (در پی پاکیزه!) می‌باشد.
- مبحث «توسعه پایدار» مناسب ورود در کتاب درسی شیمی پایه اول - شیمی برای زندگی - در بخش (مصرف دوباره تنها راه ادامه) می‌باشد.
- مبحث «شیمی سبز» مناسب ورود به کتاب درسی شیمی پایه دوم - شیمی ۲ و آزمایشگاه - می‌باشد.
- مبحث «آلکان‌ها و الکل‌ها» مناسب ورود به کتاب درسی شیمی پایه سوم - شیمی ۳ و آزمایشگاه - می‌باشد.
- مبحث «کاتالیست‌ها» مناسب ورود به کتاب درسی شیمی پایه سوم - شیمی ۳ و آزمایشگاه - می‌باشد.
- مبحث «سوخ‌ها» مناسب ورود به کتاب درسی شیمی پایه سوم - شیمی ۳ و آزمایشگاه - می‌باشد.
- مبحث «ارزیابی لوازم آرایشی و بهداشتی» مناسب ورود به کتاب درسی شیمی پایه چهارم - شیمی ۴ و آزمایشگاه - می‌باشد.
- «آزمایش‌های سبز» هم در همه کتاب‌های درسی شیمی قابل اجرا می‌باشند.

**■ بحث و نتیجه‌گیری ■**

امروزه، در کشور ما، آموزش اثربخش علوم در مدارس به یکی از موضوع‌های دشوار تبدیل شده است. در عین حال، به روزکردن محتواهای کتاب‌های درسی و وارد نمودن مباحث جدید به آن‌ها، اهمیت بسیار زیادی در پویایی آموزش و پرورش ایفا می‌کند. یکی از این مباحث آموزش شیمی سبز است. خوشبختانه آموزش شیمی سبز برای فراگیران نه تنها کسل‌کننده نیست بلکه موجب اشتیاق آن‌ها به فراگیری شیمی نیز می‌گردد و می‌تواند میزان علاقه‌مندی فراگیران برای ادامه تحصیل در زمینه‌های علوم را افزایش دهد. البته به موازات این امر باید آموزش مناسب و به موقع کادر آموزشی نیز در دستورکار قرار گیرد، تا امر آموزش با اختلال مواجه نگردد.

نتایج بررسی برنامه درسی کشورهای مطالعه شده نشان می‌دهد که شیمی سبز به رکن اساسی آموزش در آن کشورها تبدیل شده است به نحوی که آموزش شیمی سبز به یک فرایند ملی و حتی بین‌المللی تبدیل شده و سازمان‌های محیط زیست به منظور ترویج این

امر با مدارس همکاری می‌نمایند. اما در ایران آموزش شیمی سبز در مدارس بسیار کم‌رنگ و به صورت غیر مستقیم ارائه شده است. این در حالی است که ایده‌ها و رهنمودهایی چون جنبش نرم‌افزاری، چشم‌انداز بیست‌ساله و... و نیز، اصل پنجاهم قانون اساسی و برنامه‌های توسعه پنج‌ساله ایران، به نوعی نشان‌دهنده اهمیت محیط زیست و شیمی سبز و روش‌های نوین آموزشی در سطح جامعه بالاخص مدارس می‌باشند. امید است با تدوین «سند ملی آموزش و پرورش» و نیز «برنامه‌ریزی درسی ملی» برای آموزش علوم و استفاده از روش‌ها، الگوها و رویکردهای نوین همچون شیمی سبز اهمیت خاصی قائل شوند.

در این تحقیق، به‌علت ضرورت آموزش شیمی سبز در برنامه درسی کشورمان برای پرهیز از هرگونه تصمیم عجولانه، به مطالعه و مقایسه برنامه درسی آموزش شیمی سبز در چهار کشور آمریکا، استرالیا، چین و انگلستان پرداخته شد، زیرا با عنایت به اهمیت جهانی این مبحث نوین، آموزش شیمی سبز در پیشبرد اهداف توسعه پایدار برای هر جامعه‌ای ضروری است. آموزش شیمی سبز علاوه بر این‌که منجر به افزایش اعتماد به نفس و حس خودباوری در بین آیندگان این مرزوبوم می‌گردد، زمینه‌های رشد جامعه را فراهم می‌سازد. از طرفی نتایج به‌دست آمده بیانگر این است که محتوای درسی آموزش شیمی سبز در ایران، هماهنگ با توسعه علوم و فناوری متحول نشده است. لذا، نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان آموزشی و مؤلفان کتاب‌های درسی کمک نماید تا با دید وسیع‌تری نسبت به تغییر برنامه درسی و رویکردهای آموزشی اقدام نمایند.

## پیشنهادها

- جهت تسهیل ورود شیمی سبز به برنامه درسی اقداماتی زیر انجام گیرد:
  - حضور شیمی دانان در مدارس به‌منظور تشویق دانش‌آموزان به شیمی سبز و راهنمایی آن‌ها برای انجام پروژه‌های سبز در طول دوران تحصیل
  - برگزاری همایش‌های مختلف و کارگاه‌های آموزشی برای دانش‌آموزان و معلمان به‌منظور علاقمندکردن آن‌ها به شیمی سبز
  - آموزش حرفه‌ای معلمان با ایجاد مرکز ملی شیمی سبز
  - راه‌اندازی سایت‌های آموزشی شیمی سبز
  - پررنگ نمودن نقش رسانه‌ها برای ترویج فعالیت‌ها آموزش و پرورش و انتشار مجلات و منابع آموزشی در زمینه آموزش شیمی سبز
  - طراحی آزمایش‌های سبز برای کتاب‌های درسی، متناسب با امکانات موجود
  - نظرسنجی از معلمان شیمی برای ورود مباحث شیمی سبز در برنامه درسی ایران.

منابع

- Norris, R. (2009). *chemistry for IGCSE*. Retrieved December 5, 2012, from <http://www.edexcel.com/migrationdocuments/IGCE/Chemistry.pdf>.
- Canc, Mi. (2009). *Greening the Chemistry Lecture Curriculum: Now is the Time to Infuse Existing Mainstream Textbooks with Green Chemistry*. Scranton: University of Scranton,.
- Cannon, A, & Warner, J. (2009). K-12 outreach & science literacy through green chemistry. In American chemical society (Ed), *Green chemistry education* (pp167-185). Washington Dc: Oxford uni.
- Chemistry curriculum and assessment guide secondary (Senior Secondary). (2007). *The Hong Kong Examinations and Assessment Authority*. Retrieved November 13, 2012, from [http://334.edb.hkedcity.net/doc/eng/chem\\_final\\_e\\_20091005.pdf](http://334.edb.hkedcity.net/doc/eng/chem_final_e_20091005.pdf).
- Chemistry Victorian curriculum (Senior Secondary). (2007). *Victorian curriculum & assessment authority VCE chemistry study design*. Retrieved July 6, 2012, from <http://www.vcaa.vic.edu.au/Documents/vce/chemistry/ChemistrySD-2013.pdf>.
- Ilina, E. (2008). *Integrating sustainable development into faculty of chemistry curriculum*. Paper presented at 2nd international IUPPC conference on green chemistry. Retrieved November 4, 2011, from <http://www.greenchemistry.ru/conferences/files/icgc2008/Abstracts/26031.pdf>.
- Karpudewan, M., Ismail, Z, & Mohamed, N. (2007). *Enhancing the acquisition of concepts central to sustainable development the rough green chemistry*. springer. Retrieved May 6, 2011, from [http://www.apfed.net/pub/apfed1/final\\_report/pdf/final\\_report.pdf](http://www.apfed.net/pub/apfed1/final_report/pdf/final_report.pdf).
- بدریان، عابد (۱۳۸۹). تعیین ضرورت‌ها، اهداف و بررسی حدود و شیوه‌های آموزش فناوری‌های نو در برنامه درسی مدارس. تهران: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی.
- جعفری‌هرندی، رضا، و سید ابراهیم میرشاه جعفری. (۱۳۸۸). بررسی تطبیقی برنامه درسی آموزش علوم در ایران و چند کشور جهان. *روانشناسی اندیشه‌های نوین تربیتی*، ۱۹، ۱۴۵-۱۹۳.
- سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. (۱۳۷۸). *راهنمای برنامه درسی شیمی*. تهران: وزارت آموزش و پرورش ایران.
- عصاره، علیرضا (۱۳۸۶). *مطالعات تطبیقی آموزش و پرورش دوره اول متوسطه در کشورهای منتخب*. تهران: یادواره.
- محمدی، محمدعلی (۱۳۸۳). *آموزش و پرورش و گفت‌وگوهای نوین*. وزارت آموزش و پرورش. تهران: پژوهشکده تعلیم و تربیت.
- مستشاری، مرتضی (۱۳۸۳). دیدگاه‌های آموزشی و پژوهشی شیمی سبز. *مجله محیط‌شناسی*، ۳۲، ۱۰۰-۱۰۴.
- میرزایی، عبدالله (۱۳۸۸). *مطالعه تطبیقی برنامه درسی شیمی ایران با چند کشور توسعه‌یافته و در حال توسعه*. تهران: مؤسسه پژوهشی برنامه‌ریزی درسی و نوآوری‌های آموزشی.
- Abu-Bakar, K., Mohd Sam, M.F. Tahir, MNH., Rajiani, I & Muslan, N. (2011). Green technology compliance in Malaysia for sustainable business development. *Journal of Global Management*, 2(1), 55-60.
- Anastas, P, & Beach, I. (2009). Changing the course of chemistry. In American chemical society (Ed), *Green chemistry education* (pp. 1-17). Washington Dc: Oxford uni.
- Anastas, P & Warner, J.C. (1998). *Green chemistry: Theory & practical*. New York: Oxford university press.
- War, A. S. (2001). *Greening the curriculum*. New york: American chemical society education programs.

- Lister, T.&Harrison,S. (2010). *Advancing learning changing live*. Retrieved July 5, 2012, from <http://www.edexcel.com/migration documents /GCE Chemistry10.pdf>.
- Long, S., &Kirchhoff, M. (2008). *Green chemistry education*. Retrieved April 21, 2010, from [www.acs.org/acsorg/education/chapter-16-chemistry-in-the-national](http://www.acs.org/acsorg/education/chapter-16-chemistry-in-the-national).
- Norris, R. (2009). *chemistry for IGCSE*. Retrieved December 5, 2012, from <http://www.edexcel.com/migrationdocuments/IGCE/Chemistry.pdf>.
- Oloruntegbe, K.o. (2010). chemistry for today & the future: sustainability through virile problem based chemistry curriculum. *Journal of basic & applied sciences*,4(5), 800-807.
- Poliakoff, M., & Fitzpatrick, M. (2002). Green Chemistry: Science and Politics of Change. *Journal of Science Magazine*, 807-810.
- Sbarbati, N. (2011). *Course on green chemistry for secondary school teachers*. Retrieved Jun 9, 2011, from [http://www. Beyond benign.org/K12education/high school .html](http://www.Beyondbenign.org/K12education/high school .html).
- Tripp, J. (2012). *Laboratory manual, chemistry in context*. Mc Graw-hill, New York: San Francisco state university.
- Voiland, L. (2008). *Promotes green chemistry in school*. Retrieved October 8, 2011, from <http://www.epa.gov/region 02/capp>.
- Warner, J., & Anastas, P. (2012). *Incorporating green chemistry into your high school curriculum*. Retrieved October 8, 2011, from <http://www.beyondbenign.org/K12education/highschool.html>.
- Karpudewan, M., Ismail, Z., & Mohamed, N. (2012). Green Chemistry: Educating Prospective Science Teachers in Education for Sustainable Development at School of Educational Studies. *Asia Pacific Journal of Educators and Education*, 28, 117-130.
- Karpudewan, M., Ismail, Z., & Wolff, M.R. (2012). The efficacy of green chemistry laboratory- based pedagogy: changes in environmental values of Malaysia pre services teachers. *International Journal of Science & Mathematics Education*, 10(3), 497-529.
- Kendra, S., & Vikas, M. (2012). *senior school curriculum*. Griffith: Central board of secondary education. Retrieved February 9, 2013, from <http://www.griffith.edu.au/students>.
- Kerr, M., & M. Brown, D. (2009). *Green chemistry education: using green chemistry to enhance faculty professional development opportunities*. Washington Dc: Oxford uni. press.
- Kirchhoff, M. (2005). promoting sustainability through green chemistry. *Journal Resources Conservation and Recyclin*, 44(3), 237-243.
- Klingshirn, M, & Spessard, G. (2009). *Green chemistry education: integrating green chemistry into the introductory chemistry curriculum*. Washington Dc: Oxford uni .press.
- Linthorst, J.A. (2009). An over view: origins & development of green chemistry. *History of Chemistry*, 12(1), 55-68.

ارائه راهکارهای مناسب برای ورود آموزش شیمی سبز به برنامه درسی شیمی دوره متوسطه

پی‌نوشت‌ها

۱. این مقاله برگرفته از رساله کارشناسی ارشد با عنوان "شناسایی جایگاه شیمی سبز در برنامه درسی کشورهای پیشرفته به منظور ارائه راهکارهای مناسب برای برنامه درسی مدارس ایران" می‌باشد.

2. Green chemistry

3. Bereday

4. Long

5. Kirchhoff

6. Kerr

7. Brown

8. oloruntegbe

9. Atomic Economics

10. Warner

11. Anastas

12. GreenChemistrywithin the practice and theory

13. American Chemical Society (ACS)

14. America En vironmental Protection Agency  
(EPA)

15. Linthorst

16. Poliakof

17. Fitzpatrick

18. Kirchhof

19. Ilina

20. Karpudewan

21. Smail

22. Wolff

23. Mohamed

24. Abu Bakar

25. Mohd Sam

26. Tahir

27. Rajjani

28. Muslan

29. Description

30. Interpretation

31. Juxtaposition

32. comparision

33. War

34. Voiland

35. chemistry curriculum and assessment guide  
secondary (Hong Kong)

36. Norris

37. Lister

38. Harrison

39. Beard

40. Klingshrin

41. Spessard

42. Chemistry Victorian curriculum

43. Beach

44. Kendra

45. Vikas

46. Sbarbati

47. Tripp

48. General Certificate of Secondary Education

49. Cann.c

50. Cannon

51. Warner