

Content analysis of electrochemical concepts presented in the chemistry (3) Secondary high school textbook based on the principles of green chemistry

Saied Moradpour¹, Masoumeh Ghalkhani², Rasol Abdullah Mirzaei^{3*}

Abstract

Introduction: Considering the role of science education in the economic growth of every country, it is included in the curriculum of k12 education. In the meantime, green chemistry has been given attention in science education. Green chemistry is one of the most fundamental approaches used in sustainable development. Textbooks are expected to pave the way for sustainable development by educating the principles of green chemistry. The goal of green chemistry is to design products and processes that are compatible with the environment and minimize the risks caused by chemicals. **Objective:** The application of the principles of green chemistry in the subject of electrochemistry in the chemistry textbook was investigated in this research.

Method: This research is descriptive-analytical and it uses the method of content Analysis. The statistical population of the study is the 3rd grade chemistry textbook and the studied sample is the second chapter of this book in terms of attention to electrochemical concepts, which includes pictures and text containing titles, written sentences, and questions. The research tool was the twelve principles of green chemistry. The research method was based on the census of the analysis units based on the aforementioned principles. To achieve content validity, the opinions of experts in chemistry education were considered and the results were presented in the form of descriptive statistics.

Findings: Findings from content analysis showed that about 31% of the content has an educational approach based on green chemistry, which refers to 9 principles of green chemistry. On the other hand, principles 8, 10, and 11 principles of green chemistry have not been considered. Also, due to the role of electrochemical knowledge in providing clean energy, the principle of maximum energy efficiency had the highest percentage of frequency in the designed content based on attention to the environment.

Keywords: Education, Principles of Green Chemistry, Electrochemistry, Content Analysis, Textbook.

1. M.S Student of Chemistry Education, Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

2. Associate Professor of Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

3. Associate Professor of Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran (Corresponding author). ra.mirzaei@sru.ac.ir ; mirzaei_r@yahoo.com

تحلیل محتوای مفاهیم الکتروشیمی ارائه شده در کتاب شیمی (۳) دوره دوم متوسطه بر اساس اصول شیمی سبز

سعید مرادپور^۱، معصومه قلخانی^۱، رسول عبدالله میرزائی^{۲*}

چکیده

مقدمه: باتوجه به نقش آموزش علوم در پیشرفت اقتصادی هر کشور، به آن در برنامه درسی دوره دوازده ساله آموزش و پرورش پرداخته می شود. در آموزش علوم، توجه به شیمی سبز جایگاه مهمی دارد. شیمی سبز به عنوان یکی از رویکردهای حیاتی در راستای توسعه پایدار، می تواند از طریق کتاب های درسی به صورت رسمی آموزش داده شود. هدف شیمی سبز، طراحی محصولات و فرایندهایی است که با محیط زیست سازگار بوده و خطرات ناشی از مواد شیمیایی را به حداقل برساند.

هدف: هدف این مقاله، بررسی کاربرد اصول شیمی سبز با تأکید بر الکتروشیمی در کتاب درسی شیمی ۳ است. **روش:** این مطالعه از نظر ماهیت تحقیق، از نوع توصیفی - تحلیلی است و در آن از روش تحلیل محتوا استفاده شد. جامعه پژوهش کتاب شیمی ۳ و نمونه مورد بررسی از نظر توجه به مفاهیم الکتروشیمی، فصل دوم این کتاب شامل تصاویر و متن حاوی عناوین، جملات نوشتاری و پرسش های ارائه شده می باشد. ابزار پژوهش اصول دوازده گانه شیمی سبز بود. روش پژوهش مبتنی بر سرشماری گویه های واحدهای تحلیل بر اساس توجه به اصول مذکور بود. برای نیل به روایی محتوایی، نظرات افراد متخصص در آموزش شیمی مورد توجه قرار گرفت و نتایج حاصل به صورت آمار توصیفی ارائه گردید.

یافته ها: یافته های حاصل از تحلیل محتوا نشان داد که حدود ۳۱٪ از محتوا دارای رویکرد آموزشی مبتنی بر شیمی سبز بوده که در آن به ۹ اصل از اصول دوازده گانه شیمی سبز اشاره شده، اما اصول ۸، ۱۰ و ۱۱ شیمی سبز، مورد توجه قرار نگرفته است.

نتایج: همچنین باتوجه به نقش دانش الکتروشیمی در تأمین انرژی پاک، اصل بازدهی انرژی دارای بیشترین درصد فراوانی در محتوای طراحی شده در راستای توجه به محیط زیست می باشد. **کلیدواژه ها:** آموزش، اصول شیمی سبز، الکتروشیمی، تحلیل محتوا، کتاب درسی.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آموزش شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
saeed_moradpoor@yahoo.com

۲. دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

ghalkhani@sru.ac.ir

۳. دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران (نویسنده ی مسئول)

ra.mirzaei@sru.ac.ir ; mirzaei_r@yahoo.com

مقدمه و بیان مسئله

استفاده از سوخت‌های فسیلی باعث تولید دی‌اکسید کربن و گازهای سمی می‌شود که علاوه بر آلودگی هوا، باعث گرم شدن زمین و ایجاد مشکلات زیست‌محیطی شده و عواقب زیانباری برای جوامع ایجاد می‌کند. برای حل این مشکل بزرگ، از یک طرف باید مصرف سوخت‌های فسیلی را محدود کرده و از طرف دیگر سعی در جایگزین کردن منابع پاک و تجدیدپذیر داشت. در این راستا، شیمی سبز به عنوان ابزار اصلی در توسعه پایدار مورد توجه جوامع قرار گرفته است. مطالعه اسناد بالادستی نظیر نقشه جامع علمی کشور، سند تحول بنیادین (وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۹۰) و برنامه درسی ملی (شورای عالی آموزش و پرورش، ۱۳۹۱)، بیانگر جایگاه ویژه توسعه پایدار و اصول شیمی سبز در سیاست‌های کلان تدوین شده می‌باشد. مطابق نقشه جامع علمی کشور اصول شیمی سبز و آموزشی شیمی سبز، به ترتیب، جزء اولویت‌های سطح الف و ج در مبحث اولویت‌های علم و فناوری برای تأمین انرژی از منابع تجدیدپذیر و نو قرار گرفته‌اند (شورای عالی انقلاب فرهنگی، ۱۳۸۹). لازم است به کمک آموزش مباحث شیمی سبز دانش آموزان را با خطرات و سمی بودن مواد، روش‌های جلوگیری از حوادث و روش‌های صحیح استفاده از منابع سوخت‌های فسیلی و منابع انرژی‌های تجدیدپذیر آشنا کرده و ایده‌های شیمی سبز را در ذهنشان نهادینه کنیم. بنابر این، توجه به شیمی سبز در برنامه درسی کشورهای مختلف در آموزش و پرورش جایگاه خاصی یافته است. کتاب‌های درسی نقش محوری در نظام آموزشی کشورها دارند و اصلی‌ترین منبع آموزشی در برنامه درسی محسوب می‌شوند. بر این اساس، محتوای و نحوه ارائه مفاهیم کتاب‌های درسی در ارتقای سطح تفکر و عقلانیت، افزایش دانش علمی و خلاقیت دانش آموزان و به تبع آن، تقویت اعتماد به نفس و توانمندی جامعه بسیار مؤثر هستند. با توجه به اهمیت این مسئله، تحلیل کتاب‌های درسی می‌تواند در بهبود کیفیت آموزش و ارتقای سطح آن کمک کند (کرمی، ۱۳۹۲).

برای دستیابی به توسعه پایدار و حفاظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست، توجه به آموزش شیمی سبز در مدارس تمام جوامع بسیار مهم است. خوشبختانه، در ایران نیز در اسناد بالادستی، اهمیت ویژه‌ای به آموزش شیمی سبز داده شده است. با توجه به ارتباط متقابل بین انسان و طبیعت، برای رسیدن به توسعه پایدار، جلوگیری از تخریب منابع طبیعی، ضروری است. این امر نیازمند رویکردی ترکیبی از اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیازمندی‌های نسل‌های آینده است (یونسکو^۱، ۱۹۹۷). بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ توسط سازمان ملل تحت عنوان دهه «آموزش با هدف توسعه پایدار» نام‌گذاری شد. مطابق با تعریف کمیسیون جهانی محیط‌زیست و پیشرفت، توسعه پایدار به پیشرفتی اطلاق می‌گردد که تأمین نیازهای کنونی را بدون تضعیف قدرت نسل آینده در تأمین نیازهای خود ممکن سازد (لنکستر^۲، ۲۰۱۰). برقراری تعادل بین منافع اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی همراه با ارتباط مؤثر بین آنها از

1. UNESCO
2. Lancaster

اهداف توسعه پایدار است؛ بنابراین، شیمی سبز و توسعه پایدار و صنعت مکمل یکدیگر هستند (الاکه^۱، ۲۰۱۰). لوو ویلا^۲ محققى از دانشگاه یونیسفا در افریقای جنوبی در پژوهشى با نام «برنامه درسی سبز: آموزش پایدار در مؤسسات آموزش عالی» به بررسی برنامه‌های درسی ارائه شده مبتنی بر توسعه پایدار توسط مؤسسات آموزش عالی افریقای جنوبی در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ پرداخت. تحلیل نتایج حاصله نشان داد که تعریف برنامه درسی به صورت محلی مبتنی بر روش حل مسئله می‌تواند افراد جامعه را در راستای حل مسائل خود هدایت نماید. محقق همچنین توصیه‌هایی نیز برای جایگزینی مواد آموزشی با برنامه درسی سبز ارائه کرده است (لوو، ۲۰۱۳). همچنین پائو و همکارانش با انجام پژوهشی توصیفی با عنوان «اثر بخشی آموزش برای توسعه پایدار» بر روی دانش‌آموزان ۱۲ مدرسه از ۵۱ مدرسه کشور سوئد نشان دادند که آموزش صحیح و هدفمند، قادر به تأثیر گذاری پایدار بر نگرش دانش‌آموزان است؛ بنابراین، تربیت مؤثر برای نیل به توسعه پایدار با حفاظت از محیط‌زیست و مصرف بهینه منابع طبیعی ممکن می‌گردد (پاو^۳، ۲۰۱۵). اهداف شیمی سبز و توسعه پایدار مشترک هستند. در مفهوم عام، شیمی سبز به دنبال استفاده از علم شیمی برای جلوگیری از آلودگی‌ها و به طور خاص به معنی طراحی فرایندهای شیمیایی است که در آن‌ها، از به کارگیری و تولید مواد سمی برای سلامت آدمی و محیط‌زیست جلوگیری می‌شود. اگرچه شیمی سبز را نمی‌توان معادل شیمی محیط‌زیست معرفی نمود، اما شیمی سبز، به شناسایی منابع و مشکلات آلوده کننده‌های محیط‌زیست و پیشگیری از آلودگی‌ها در مرحله طراحی محصول یا فرایند شیمیایی قبل از تولید آن نیز می‌پردازد (حبیبی بودالو، ۱۳۹۶). در آموزش مباحث اصلی و بنیادی شیمی در برنامه درسی همه گرایش‌های مختلف شیمی، شیمی تجزیه، آلی، معدنی، شیمی فیزیک و شیمی عمومی، می‌توان از شیمی سبز استفاده کرد. آموزش درصد فراوانی و سمی بودن عناصر موجود در جدول تناوبی، اقتصاد اتمی و بهبود راندمان واکنش‌ها، انرژی تجدیدپذیر، پایداری پلاستیک‌ها در چرخه زندگی، تأثیر زیست‌محیطی آلاینده‌ها و طراحی کاتالیزورهای بازیافت‌پذیر از جمله این مثال‌ها است. آناستاز و وارنر^۴ شیمی سبز را تحت دوازده اصل مهم ارائه کردند (آناستاز و وارنر، ۱۹۹۸). اصول شیمی سبز به صورت آیین‌نامه‌هایی برای کار با مواد شیمیایی ناشناخته و جدید، تولید ترکیبات شیمیایی و فرایندهای فناورانه مرتبط با علم شیمی ارائه شده‌اند. اصل اول مربوط به حفظ محیط‌زیست است. اصول دیگر متمرکز بر مواردی نظیر سمی بودن، اقتصاد اتمی، حلال، استفاده از مواد اولیه تجدیدپذیر، تجزیه ترکیبات شیمیایی خطرناک به مواد ساده‌تر و غیرسمی که برای محیط‌زیست خطرناک نباشند. دوازده اصل ارائه شده برای شیمی سبز براساس پیشنهاد وارنر و آناستاز در سال ۱۹۹۸ به شرح زیر است:

1. Alake
2. Louw Willa
3. Pauw
4. Anastas & Warner

۱. **پیشگیری از تولید فرآورده‌های زائد (ارجحیت پیشگیری نسبت به درمان):** جلوگیری از تولید مواد زائد به جای یافتن راهی برای از بین بردن آنها بعد از تولید؛
 ۲. **اقتصاد اتمی:** واکنش‌هایی شیمیایی طراحی شوند که حداکثر اتم‌های مواد اولیه را به محصول تبدیل نماید و میزان تولید زباله‌های ناخواسته را کاهش دهیم؛
 ۳. **دوری از ترکیب‌های شیمیایی خطرناک برای انسان و محیط‌زیست:** باید کاربرد واکنش دهنده‌ها یا تولید محصولات با حداقل اثرات سوء روی سلامتی انسان یا محیط زیست مد نظر قرار گیرد؛
 ۴. **طراحی مواد شیمیایی ایمن‌تر و غیرسمی:** طراحی برای تولید مواد شیمیایی باید چنان باشد که ضمن داشتن بهترین عملکرد، کمترین سمی بودن را نیز به دنبال داشته باشند؛
 ۵. **کاربرد حلال‌ها و مواد کمکی ایمن‌تر:** اگر لازم بود از حلال‌های ارزان، بی‌خطر و سازگار با محیط‌زیست مانند آب و کربن‌دی‌اکسید استفاده شود؛
 ۶. **طراحی برای بازدهی بیشتر انرژی:** مراحل تولید و جداسازی مواد در واکنش‌های شیمیایی طوری طراحی گردند که همراه با کمترین مصرف انرژی و بیشترین بازده انرژی باشند؛
 ۷. **استفاده از مواد اولیه تجدیدپذیر و قابل بازیافت:** در طراحی واکنش‌های شیمیایی، استفاده از مواد اولیه قابل بازیافت مورد تأکید قرار گیرد؛
 ۸. **کاهش مشتقات شیمیایی و حذف مواد غیرضروری:** با محدود کردن مراحل مشتق‌گیری (نظیر کاربرد گروه‌های محدودکننده، نگهدارنده و یا تغییرهای شیمیایی و فیزیکی گذرا) می‌توان مصرف واکنشگرهای اضافی را کاهش داد و مانع تولید فرآورده‌های ناخواسته شد؛
 ۹. **کاتالیزگر:** به منظور کاهش دمای واکنش، کاهش مصرف انرژی، جلوگیری از انجام واکنش‌های جانبی و افزایش سرعت واکنش، از کاتالیزگرهای مناسب در واکنش‌ها استفاده شود؛
 ۱۰. **طراحی برای تجزیه‌پذیری:** باید در طراحی محصولات شیمیایی تخریب‌پذیر و تجزیه‌سریع آنها در محیط زیست را در نظر گرفت؛
 ۱۱. **تخمین زمان واقعی یک واکنش:** به منظور جلوگیری از تولید محصولات زائد که با ادامه فرایند پس از اتمام واکنش اصلی ایجاد می‌شوند، باید همواره پیشرفت واکنش را رصد نمود و سریع پس از کامل شدن فرایند تولید، واکنش را خاتمه داد.
 ۱۲. **کاهش احتمالی حوادث ناگوار:** عدم استفاده از مواد اولیه و حلال‌هایی که قابلیت انفجار، آتش‌سوزی و رهاسازی مواد شیمیایی خطرناک را دارند. برای مثال، با تغییر حالت فیزیکی واکنشگرها (مایع، جامد و گاز) یا ترکیب آنها خطرات احتمالی را کاهش داد (صبغان، ۱۳۹۵)؛
- آموزش مبتنی بر اصول شیمی سبز، خلاقیت دانشجویان را پرورش می‌دهد و انگیزه آنها در یادگیری مباحث شیمی سبز و تحقیق در این زمینه را تقویت می‌کند؛ بنابراین، فراگیران به‌خوبی روش‌های مصرف بهینه انرژی و کاهش چشمگیر مواد ناخواسته و استفاده کمتر از مواد شیمیایی را بدون افت کیفیت محصول یاد می‌گیرند (میرزایی، ۱۳۹۷). فراگیری و کاربرد اصول شیمی سبز زندگی سهل‌تر،

کم‌خطرتر و پایدارتری را مهیا می‌سازد. با آموزش مبتنی بر شیمی سبز، نسلی با تمایل به یادگیری مادام‌العمر برای زندگی بهتر و شهروندانی مسئولیت‌پذیر می‌توان پرورش داد. از جمله مزایای آموزش شیمی سبز به دانش‌آموزان می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود (کانن و وارنر^۱، ۲۰۰۹):

- * تقویت خلاقیت و ابتکار در فراگیران؛
- * رفع وحشت فراگیران از کار با مواد شیمیایی با کاربرد مواد شیمیایی سبز؛
- * علاقه‌مند کردن و تقویت نگرش فراگیران نسبت به مباحث شیمی و درک نقش مهم شیمی در زندگی؛
- * افزایش ایمنی و کاهش خطرات با مصرف مواد شیمیایی سبز؛
- * صرفه اقتصادی آزمایش‌های سبز با کاهش تولید ضایعات و مخارج دفع آن‌ها؛
- * افزایش تمایل به حفظ سلامت محیط‌زیست.

در جهان مدرن و فناورانه امروز، انرژی نقش کلیدی را بازی می‌کند و دانش الکتروشیمی به عنوان پایه علمی آن، در توجه به تولید انرژی پاک نقش مهمی ایفا می‌کند. لازم به ذکر است که مبنای تولید و ذخیره انرژی پاک و تجدیدپذیر، از جمله سلول‌های خورشیدی، سلول‌های سوختی، باتری‌ها و ابرخازن‌ها بر پایه واکنش‌های الکتروشیمیایی هستند. بنابر این، آموزش انرژی سبز در بستر مفاهیم الکتروشیمی بسیار اهمیت دارد. با توجه به رویکرد جهانی بر توسعه پایدار و تأکید بر شاخص‌های سلامتی، بهداشت، اقتصاد، محیط زیست و انرژی در برنامه درسی ملی ایران و سایر کشورها (شورای عالی آموزش و پرورش، ۱۳۹۱)، اکنون این سؤال مطرح می‌شود که آیا محتوای الکتروشیمی در کتاب شیمی (۳) می‌تواند زمینه‌ای مناسب برای آموزش شیمی سبز باشد؟ آیا محتوای ارائه شده در فصل دوم کتاب شیمی (۳) با عنوان «آسایش و رفاه در سایه شیمی»، به طور مناسب به آموزش اصول دوازده‌گانه شیمی سبز پرداخته است؟

روش‌شناسی

مقاله حاضر، تحقیق کاربردی در حوزه علوم رفتاری محسوب می‌شود. این پژوهش از نظر ماهیت تحقیق، از نوع توصیفی - تحلیلی است که از روش تحلیل محتوا استفاده شده است. جمع‌آوری اطلاعات و پاسخ به سؤال‌های پژوهش به روش کیفی - توصیفی انجام شد که روشی متداول در تحلیل محتوای کتاب‌های درسی می‌باشد. در تحلیل محتوا، پژوهشگر ابتدا ویژگی‌های خاص (پیام‌های رسمی) موجود در محتوا را تعیین و سپس آنها را درک و ثبت می‌نماید؛ لذا، ابتدا کدگذاری منظم و طبقه‌بندی پیام‌های منتخب انجام می‌شود. در مرحله بعد به تجزیه و تحلیل پیام‌ها پرداخته می‌شود (برلسون^۲، ۱۹۵۲). با یافتن ارتباط بین اهداف موردنظر و محتوای مورد بررسی به کمک تحلیل محتوا می‌توان برای بهبود آن اقدام نمود (نوراللهی، ۱۳۹۵). منبع تحلیل در این پژوهش کتاب درسی شیمی

1. Cannon & Warner
2. Berelson

(۳) پایه دوازدهم بود که با کد درسی ۱۱۲۲۱۰ در سال ۱۳۹۷ چاپ شده است. این کتاب چهار فصل دارد که محتوای فصل دوم آن با عنوان «آسایش و رفاه در سایه شیمی»، مرتبط با دانش الکتروشیمی است که در این مقاله تحلیل شد. کل محتوای فصل دوم به واحدهای منطقی (واحدهای تحلیل) تقسیم شد که هر یک ایده یا معنای خاصی را در برمی گیرد. واحدهای تحلیل در این پژوهش شامل عناوین کلی و جزئی، جملات ارائه شده در متن، تصاویر و پرسش‌های ارائه شده در فصل مذکور بودند. با مطالعه هر صفحه از فصل دوم کتاب درسی، گویه‌های (جملات و تصاویر) مرتبط با اصول دوازده گانه شیمی سبز یادداشت و طبقه‌بندی و با ذکر مشخصات گویه (صفحه و پاراگراف) در سیاهه مربوط به واحدهای تحلیل نوشته شدند. پس از اتمام یافتن گویه‌ها، میزان فراوانی و درصد گویه‌ها محاسبه و به تفسیر و تحلیل نتایج پرداخته شد.

برای اجرای پژوهش ابتدا توسط افراد متخصص در آموزش شیمی و آشنا با اصول شیمی سبز، گویه‌های واحدهای تحلیل براساس توجه به اصول دوازده گانه شیمی سبز کدگذاری شد و بعد از کدگذاری محتوای فصل دوم در واحدهای تحلیل براساس اصول شیمی سبز، مواردی که افراد نظردهنده دارای نظر متفاوت بر روی کدهای اجزای تحلیل بودند مجدداً مورد بحث قرار گرفت تا با بررسی دلایل افراد متخصص، هم‌نوایی در کدگذاری حاصل گردد. انجام این فرایند منجر به اطمینان نسبی از تعیین صحیح موارد کدگذاری شده در نیل به روایی مناسب می‌شود و پیرو آن پایایی لازم برای تکرار نتایج در پژوهش حاصل می‌شود. لازم به ذکر است که در برخی موارد بیش از یک مؤلفه از اصول شیمی سبز به هر گویه در هر واحد تحلیل نسبت داده شد. از آمار توصیفی برای بیان نتایج حاصل از پژوهش که مبتنی بر سرشماری می‌باشد استفاده گردید تا تحلیل‌های لازم براساس آن انجام شود.

یافته‌ها

در این مطالعه، تمام محتوای فصل دوم کتاب درسی شیمی (۳) با عنوان «آسایش و رفاه در سایه شیمی» که موضوع آن الکتروشیمی است، در چهار واحد تحلیل تفکیک شد و مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های هر یک از این ۴ واحد تحلیل براساس اصول شیمی سبز که در مقدمه به آن اشاره شد در ۱۲ مؤلفه (اصل پیشگیری، اقتصاد اتمی، کاهش خطر، کاهش سمی بودن، حلال‌های سبز، بازدهی انرژی، مواد تجدیدپذیر، کاهش مشتقات، کاتالیزگر، تجزیه‌پذیری، تخمین زمان و کاهش اتفاقات ناگوار) طبقه‌بندی و در جدول‌های محقق ساخته سازماندهی و تحلیل شد. نتایج بررسی در جدول ۱ برحسب فراوانی و درصد در هر کدام از مؤلفه‌های شیمی سبز ارائه شده است. بررسی داده‌های ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که در همه عناوین ارائه شده در ارتباط با موضوع الکتروشیمی در فصل دوم کتاب شیمی (۳)، به رویکرد شیمی سبز با تمرکز بر بازدهی انرژی توجه شده است. البته در این میان مؤلفه‌های پیشگیری، اقتصاد اتمی، کاهش سمی بودن و بازدهی انرژی تنها اصولی از شیمی سبز هستند که در عناوین کتاب در فصل دوم به آنها اشاره داشته است. اگرچه میزان توجه به آموزش این

چهار اصل شیمی سبز به یک اندازه در محتوا صورت نگرفته و توجه به موضوع بازدهی انرژی در شیمی سبز با در نظر گرفتن ماهیت دانش الکتروشیمی در تعامل با موضوع انرژی الکتریکی در راستای افزایش بازده بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

در تحلیل متن فصل دوم کتاب درسی شیمی (۳)، تمام عبارت‌های این فصل براساس اصول شیمی سبز مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار، هر عبارت در انطباق با اصول شیمی سبز مورد تحلیل و ارزشیابی قرار گرفت. یافته‌های حاصل از جدول ۱ نشان می‌دهد که از مجموع ۴۶۱ عبارت فصل دوم، به تعداد ۱۱۷ بار (۲۵/۴٪) به اصول شیمی سبز در عبارت‌های این فصل در ۸ مؤلفه (۶۶/۶٪) از اصول دوازده گانه شیمی سبز اشاره شده است و به مؤلفه‌های حلال‌های سبز، کاهش مشتقات، تجزیه پذیری و تخمین زمان اشاره نشده است. همچنین میزان اشاره به ۸ مؤلفه در متن فصل دوم کتاب شیمی (۳)، به یک‌میزان نبوده و مؤلفه بازدهی انرژی و اصل پیشگیری همانند عنوان‌های مورد استفاده در این فصل بیشتر در محتوای آموزشی مورد توجه قرار گرفته است. فصل دوم کتاب شیمی (۳) در مجموع دارای ۶۵ تصویر است که یافته‌های حاصل نشان می‌دهد تعداد ۵۳ تصویر (۸۱/۵٪) دارای رویکرد شیمی سبز بوده که حاکی از آن است که در اکثر تصاویر این فصل اصول شیمی سبز شامل مؤلفه‌های اصل پیشگیری، اقتصاد اتمی، کاهش سمی بودن، حلال‌های سبز، بازدهی انرژی، مواد تجدیدپذیر و کاتالیزور مورد توجه قرار گرفته است. البته در ۷ اصل (۵۸/۳٪) از اصول دوازده گانه شیمی سبز از اصول شیمی سبز در تصاویر فصل دو، به طور عمده به اصل بازدهی انرژی توجه شده و مؤلفه‌های کاهش خطر، کاهش مشتقات، تجزیه‌پذیری، تخمین زمان و کاهش اتفاقات ناگوار مورد توجه واقع نشده است که این موضوع همبستگی خوبی با توجه به اصول شیمی سبز در محتوا و عناوین این فصل هم دارد. در تحلیل پرسش‌های فصل دوم کتاب شیمی (۳) براساس رویکرد آموزش سبز، تمام پرسش‌های فصل دوم کتاب درسی، شامل «خود را بیازمایید»، «با هم ببندیشیم»، «کاوش کنید»، «پیوند با ریاضی»، «پیوند با صنعت» و «تمرین‌های دوره‌ای» فصل شمارش و براساس مؤلفه‌های شیمی سبز مورد بررسی قرار گرفت. از مجموع ۷۲ پرسش فصل دوم، تعداد ۱۴ پرسش (۱۹/۴٪) دارای رویکرد شیمی سبز هستند. داده‌های ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که مؤلفه‌های اصل پیشگیری، اقتصاد اتمی، کاهش سمی بودن، بازدهی انرژی، مواد تجدیدپذیر از اصول شیمی سبز در پرسش‌های فصل ۲ مورد توجه قرار گرفته است. از ۵ اصل مذکور (۴۱/۷٪) از اصول دوازده گانه شیمی سبز، توجه عمده بر روی اصل بازدهی انرژی بود که می‌تواند از توجه به اصل بازدهی انرژی در عناوین، محتوا و تصاویر این فصل منتج شود.

جدول ۱: فراوانی گویه‌ها در واحدهای تحلیل اصول شیمی سبز در فصل دوم کتاب درسی شیمی (۳)

اجزای تحلیل در فصل دوم کتاب شیمی (۳)											مؤلفه‌های تحلیل مبتنی بر اصول شیمی سبز	
کل فصل		پرش‌های فصل		تصاویر فصل		عبارت‌های فصل		عناوین فصل		عنوان	شماره	
درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی			
۶/۹	۴۳	۲/۸	۲	۱۲/۳	۸	۶/۷	۳۱	۱۰	۱	اصل پیشگیری	۱	
۲/۵	۱۴	۱/۴	۱	۱۳/۸	۹	۰/۷	۳	۲۰	۲	اقتصاد اتمی	۲	
۰/۳	۲	۰	-	۰	-	۰/۴	۲	۰	-	کاهش خطر	۳	
۱	۵	۴/۳	۳	۱/۵	۱	۰/۲	۱	۱۰	۱	کاهش سمی بودن	۴	
۱	۶	۰	-	۹/۲	۶	۰	-	۰	-	حلال‌های سبز	۵	
۱۷/۴	۱۰۶	۹/۷	۷	۳۵/۴	۲۳	۱۵/۲	۷۰	۶۰	۶	بازدهی انرژی	۶	
۱/۶	۱۰	۱/۴	۱	۷/۷	۵	۰/۹	۴	۰	-	مواد تجدیدپذیر	۷	
۰	-	۰	-	۰	-	۰	-	۰	-	کاهش مشتقات	۸	
۰/۳	۲	۰	-	۱/۵	۱	۰/۲	۱	۰	-	کاتالیزور	۹	
۰	-	۰	-	۰	-	۰	-	۰	-	تجزیه‌پذیری	۱۰	
۰	-	۰	-	۰	-	۰	-	۰	-	تخمین زمان	۱۱	
۰/۸	۵	۰	-	۰	-	۱/۱	۵	۰	-	کاهش اتفاقات ناگوار	۱۲	
۳۱/۹	۱۹۴	۱۹/۴	۱۴	۸۱/۵	۵۳	۲۵/۴	۱۱۷	۱۰۰	۱۰	مجموع مؤلفه‌های شیمی سبز		

نتیجه‌گیری

موضوع انرژی و تولید آن براساس واکنش الکتروشیمیایی که می‌تواند منجر به ظهور فناوری باتری و سلول‌های سوختی شود بستر مناسبی برای پرداختن به موضوع انرژی سبز و آموزش اصول آن است. فناوری باتری و سلول‌های سوختی، به تنظیم و استفاده از واکنش‌های الکتروشیمیایی برای تولید انرژی می‌پردازند. این فناوری‌ها می‌توانند به کاهش استفاده از منابع انرژی آلاینده و غیرقابل تجدیدپذیر مانند سوخت‌های فسیلی کمک کرده و در عین حال، انرژی سبز را تأمین کنند. با توجه به اینکه این فناوری‌ها از واکنش‌های الکتروشیمیایی استفاده می‌کنند، قابلیت‌ها و مزایای شیمی سبز را نیز به خوبی دربر می‌گیرند. برای مثال، در باتری‌ها و سلول‌های سوختی، از نیروی الکتریسیته در واکنش‌های الکتروشیمیایی برای تأمین انرژی استفاده می‌شود. از جانب دیگر، این فناوری‌ها عملکردی بهتر و کارایی بالاتر در مقایسه با روش‌های سنتی تولید انرژی دارند. همچنین، تولید انرژی از طریق این فناوری‌ها به مراتب آلاینده و گازهای گلخانه‌ای کمتری تولید می‌کند. بنابر این، فعالیت‌های آموزشی مبتنی بر

فناوری باتری و سلول‌های سوختی می‌تواند مرکزی برای آموزش مفهوم انرژی سبز با تأکید بر اصول شیمی سبز باشد. از طریق طراحی محتوا و ارائه فعالیت‌های عملی مرتبط با آن می‌توان به یادگیری اصول شیمی سبز و مفاهیم الکتروشیمی کمک کرد و دانش‌آموزان را در راستای یادگیری این مباحث هدایت کرد.

بررسی و تحلیل محتوای فصل دوم کتاب شیمی (۳) براساس اصول شیمی سبز نشان می‌دهد که تعداد ۹ اصل از ۱۲ اصل شیمی سبز (۷۵٪ اصول شیمی سبز) توسط واحدهای چهارگانه تحلیل مورد توجه قرار گرفته است. توجه به اصول اول، دوم، چهارم و ششم در چهار واحد تحلیل (عناوین، متن محتوای آموزشی، تصاویر و ارزشیابی پرسش‌های فصل) صورت گرفته و در این میان بالاترین فراوانی در توجه به اصول شیمی سبز در فصل دوم را به ترتیب اصل ششم (طراحی برای بازدهی بیشتر انرژی) و اصل اول (اصل پیشگیری) به خود اختصاص داده‌اند که این در راستای توجه به ارتباط فناوری‌های روز دنیا به انرژی الکتریکی در تأمین آسایش و رفاه انسان و اهمیت سلامت جامعه و محیط‌زیست بوده که در برنامه درسی ملی نیز بر آن تأکید شده است. توجه به این دو اصل با فراوانی مطلوب از نکات مثبت در طراحی محتوای آموزشی مورد نظر می‌باشد. بررسی دقیق سایر اصول شیمی سبز در محتوای طراحی شده نشان می‌دهد که توجه به اقتصاد اتمی (اصل دوم شیمی سبز) در عناوین، متن و تصاویر در محتوای آموزشی مورد توجه بوده است در حالی که در پرسش‌های فصل دوم کتاب شیمی (۳)، مورد ارزشیابی قرار نگرفته است؛ بنابراین می‌توان به این اصل مهم اقتصادی، با طرح پرسش‌هایی کمی از قبیل محاسبه میزان رسوبات کاتدی، کاهش جرم آند، میزان فلز روکش شده در آبکاری، محاسبه جرم آلومینیم تولیدی در فرایند هال، محاسبه حجم گاز هیدروژن در برقکافت آب، محاسبه جرم سدیم در برقکافت نمک سدیم کلرید مذاب و ... توجه نمود. اصل هفتم شیمی سبز (استفاده از مواد تجدیدپذیر) در سه مورد از واحدهای تحلیل از جمله متن، تصاویر و پرسش‌های فصل دوم کتاب شیمی (۳)، مورد توجه قرار گرفته است، اما در عناوین فصل به آن اشاره نشده است. برای این منظور استفاده از عنوان «بازیافت فلز آلومینیم» در فرایند هال پیشنهاد می‌شود که در اصلاح محتوای طراحی شده مورد توجه قرار گیرد. اصل چهارم شیمی سبز (اصل کاهش سمی بودن)، با اینکه در همه چهار واحد تحلیل در محتوای آموزشی مورد توجه قرار گرفته اما به فراوانی کم این اصل بسنده شده است. این توجه اندک را می‌توان با افزودن تصاویر و چند عبارت نشان‌دهنده سمی بودن مواد حاصل از زباله‌های باتری‌ها، الکترولیت‌ها، لجن‌های آندی و ... در این فصل کامل تر نمود. همچنین اصل دوازدهم شیمی سبز (اصل کاهش اتفاقات ناگوار)، فقط در متن کتاب، پنج بار مورد توجه قرار گرفته، در حالی که در عناوین، پرسش‌ها و تصاویر به آن هیچ اشاره‌ای نشده است. این در حالی است که می‌توان این اصل را در سایر

واحد‌های تحلیل نیز آموزش داد. به‌عنوان نمونه برای آموزش اصل دوازدهم، می‌توان به نکات ایمنی در هنگام کار و یا نگه‌داری سلول‌های گالوانی، سلول سوختی، باتری‌ها (شارژ و کاربرد آن) و... در محتوای آموزشی فصل دوم اشاره نمود که توصیه می‌شود محتوای طراحی شده از این جهت مورد بازنگری قرار گیرد. بررسی اصل نهم شیمی سبز (اصل کاتالیزگر) نشان می‌دهد که تنها یک‌بار در متن محتوای طراحی شده و یک‌بار در تصویر سلول سوختی به آن اشاره شده است در حالی که در عناوین و پرسش‌ها به آن هیچ اشاره‌ای نشده است. با توجه به محدودیت کاربرد کاتالیزگر در محتوای الکتروشیمی دبیرستان، شاید این کم‌توجهی به اصل نهم شیمی سبز در فصل دوم کتاب مذکور طبیعی به نظر برسد و ضرورتی به توجه بیشتر به آن در این فصل از کتاب احساس نمی‌شود. در این میان اصول هشتم (کاهش مشتقات)، دهم (طراحی برای تجزیه‌پذیری) و یازدهم (تخمین زمان واقعی واکنش) شیمی سبز در واحد‌های تحلیل فصل دوم کتاب شیمی (۳) مورد توجه قرار نگرفته‌اند. با توجه به کاربرد اصل هشتم شیمی سبز (کاهش مشتقات) در پژوهش‌های تخصصی علمی در سطوح دانشگاهی، آموزش این اصل به دانش‌آموزان در پایه دوازدهم ضروری به نظر نمی‌رسد. همچنین با ایجاد تغییراتی از قبیل استفاده از مواد تجزیه‌پذیر در فناوری باتری، اصل دهم شیمی سبز را در محتوا وارد نمود. برای مثال به‌خوبی می‌توان اصل دهم شیمی سبز را تحت عنوان کاربرد مواد تجدیدپذیر در مبحث باتری لیمویی یا میوه‌ای مطرح کرد. نظر به اینکه جنبه کمی و سینتیکی مبحث الکتروشیمی از اهداف آموزشی فصل دوم کتاب درسی شیمی ۳ نبوده است در نتیجه پرداختن به اصل یازدهم شیمی سبز در این محتوای آموزشی دشوار می‌باشد؛ لذا با توجه به موارد یاد شده توصیه می‌شود به موضوع فرآورده‌های شیمیایی قابل تجزیه در محیط‌زیست در طراحی محتوا توجه شود تا پوشش‌دهی اصل دهم شیمی سبز در موضوع انرژی و دانش الکتروشیمی صورت گیرد.

همسو با مطالعه حاضر، بررسی کتب شیمی آلی مورد تدریس در دانشگاه‌های آمریکا از نظر شیمی سبز نشان می‌دهد که در این کتب اقتصاد اتمی، حلال سبز، مواد تجدیدپذیر، کاتالیزگر و تجزیه‌پذیری از اصول شیمی سبز مورد توجه قرار گرفته و به پلیمرهای سبز، بازیافت و معرف سبز در این زمینه اشاره شده است که این نتایج بیانگر عدم توجه کامل به اصول شیمی سبز در این کتب درسی بوده و ضرورت بازنگری محتوای آموزشی این کتب را در راستای توجه به اصول شیمی سبز بیان می‌کند (جانسون، ۲۰۲۰). الکتروشیمی و فناوری‌های مبتنی بر این دانش که در فصل دوم کتاب شیمی (۳) با عنوان «آسایش و رفاه در سایه شیمی» به آن اشاره شده است می‌تواند بافتاری مناسب برای توجه به اصول شیمی سبز در راستای نیل به توسعه پایدار باشد. در کتاب حاضر توجه به اصول شیمی سبز به صورت متوازن انجام نشده است، بنابراین با طراحی مجدد محتوای فصل دوم و تغییر در چینش مفاهیم آموزشی مورد نظر، می‌توان به اصول شیمی سبز با در صد فراوانی مناسب پرداخت. برای نمونه، فناوری تولید هیدروژن و

سلول سوختی را می‌توان محور مرکزی طراحی محتوا برای تأمین رفاه و آسایش جامعه لحاظ نمود و در بافتار آن به مفاهیم الکتروشیمی با رویکرد تولید انرژی سبز پرداخت. لازم به ذکر است که آموزش محتوای آموزشی طراحی شده در بافتار مناسب به روش کاوشگری می‌تواند در یادگیری معنادار دانش‌آموزان در حیطه‌های گوناگون یادگیری با لحاظ اصول شیمی سبز مؤثر باشد؛ لذا علاوه بر محتوا، انتخاب روش تدریس مناسب با فراهم کردن فعالیت‌های عملی مرتبط با آن نیل به یادگیری اصول شیمی سبز را همراه با یادگیری مفاهیم الکتروشیمی می‌تواند غنا بخشد.

براساس مطالب ارائه شده، توجه به اصول شیمی سبز را در محتوای آموزشی می‌توان به روش‌های زیر جمع بندی نمود:

انتخاب موضوعات مرتبط با شیمی سبز: در طراحی و تدوین محتوای آموزشی، می‌توان انتخاب موضوعاتی که به اصول شیمی سبز مرتبط هستند، مدنظر قرار داد. به عنوان مثال، استفاده از مواد تجدیدپذیر، انرژی سبز، کاتالیزورهای سبز، فرایندهای بازیافت و ...

معرفی مثال‌های عملی: برای روشن‌تر شدن مفاهیم شیمی سبز، می‌توان در محتوای آموزشی از مثال‌های عملی استفاده کرد. این مثال‌ها می‌توانند شامل فناوری‌هایی باشند که در تولید انرژی سبز، مواد تجدیدپذیر، مانند سلول‌های سوختی و سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شوند.

بررسی عوارض زیست‌محیطی: در طول تدریس مفاهیم شیمی، می‌توان توجه به عوارض زیست‌محیطی استفاده از روش‌ها، فرآوری‌ها و محصولات غیرسبز را در دستور کار قرار داد. این کمک می‌کند تا دانش‌آموزان نقش شیمی سبز در کاهش این عوارض را درک و اهمیت آن را متوجه شوند.

ارتباط با نمونه‌های روزمره: در جریان تدریس مفاهیم شیمی سبز، می‌توان ارتباط مستقیم با نمونه‌های روزمره و برنامه‌های کاربردی در زندگی روزمره برقرار نمود. به این ترتیب، دانش‌آموزان می‌توانند درک بهتری از اهمیت اصول شیمی سبز در زندگی روزمره خود پیدا کنند.

در نهایت، توجه به اصول شیمی سبز در محتوای آموزشی کتب درسی می‌تواند با تأکید بر مفاهیم، مثال‌های عملی و رابطه با زندگی روزمره دانش‌آموزان، برای آنها فرصتی سودمند برای درک عمیق‌تر از مفاهیم شیمی سبز و اهمیت آن در زندگی ایجاد نماید.

منابع

- حییبی بودلالو، لیلا؛ امام جمعه، محمدرضا و صباغان، مریم. (۱۳۹۶). مطالعه تطبیقی آموزش شیمی سبز در برنامه درسی مدارس متوسطه (ایران و چهار کشور پیشرفته). *فصلنامه نوآوری های آموزشی*، ۶۱، ۵۷-۹۰.
- صباغان، مریم؛ شاهی بیگباغی، جهان و امام جمعه، محمدرضا. (۱۳۹۵). آموزش شیمی سبز با طراحی و اجرای آزمایش های سبز در مبحث استوکیومتری شیمی متوسطه. *فناوری آموزش*، ۱۱ (۱)، ۲۱-۳۴.
- شورای عالی آموزش و پرورش. (۱۳۹۱). *برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران*. تهران، انتشارات وزارت آموزش و پرورش.
- شورای عالی انقلاب فرهنگی. (۱۳۸۹). *سند نقشه جامع علمی کشور*.
- کرمی، زهره؛ اسدیگی، پژمان و کرمی، مهدی. (۱۳۹۲). تحلیل محتوای ریاضی ۱ پایه اول متوسطه براساس تکنیک ویلیام رومی و حیطة شناختی بلوم. *پژوهش در برنامه ریزی درسی*، ۲ (۱۰)، ۱۶۷-۱۷۹.
- میرزایی، سمیرا؛ انارکی فیروز، اعظم و عبدالله میرزایی، رسول. (۱۳۹۷). تأثیر آموزش شیمی سبز مبتنی بر فعالیت عملی بر روی یادگیری و نگرش دانشجو معلمان شیمی. *فصل نامه فناوری آموزش*، ۱۳ (۲)، ۳۴۹-۳۶۱.
- نورالهی، فریبا. (۱۳۹۵) تحلیل محتوای برنامه درسی مطالعات اجتماعی پایه ی ششم ابتدایی از منظر توجه به تربیت اخلاقی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی. وزارت آموزش و پرورش. (۱۳۹۰). *سند تحول بنیادین آموزش و پرورش*.
- Alake, E. M. & Oloruntegbe, K. O. (2010). Chemistry for today and the future :sustainability through virile problem-based chemistry curriculum. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 4(5), 800-807.
- Anastas, P. T & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry :Theory and Practice*. Oxford University Press ,New York.
- Berelson, B. (1952). *Content analysis in communications Research*. New York ,Free Press.
- Cannon, A & Warner, J. (2009). Green Chemistry Education :K 12-outreach and science literacy through green chemistry. *ACS Symposium Series*, 1022, Chapter 12, 167-185.
- Johnson, S., Meyers, M., Hyme, S., & Leontyev, A. (2020). Green Chemistry Coverage in Organic Chemistry Textbooks. *J. Chem. Educ.*, 97(2), 383-389.
- Lancaster, M. (2010). *Green chemistry an introductory text*. (2nd Ed.). London, Royal Society of Chemistry.
- Louw, W. (2013). Green Curriculum: Sustainable Learning at a Higher Education Institution: University of South Africa (Unisa). *The International Research Open and Distance Learning*,

Athabasca University, 14, 1-15.

Pauw ,J .B .,Gericke ,N .M .,Olsson ,D & .Berglund ,T .(2015) .The Effectiveness of Education for Sustainable Development .*Sustainability*, 7, 15693-15717.

UNESCO (1997). Educating for a sustainable future: a transdisciplinary vision for concerted action. Conference: *International Conference on Environment and Society: Education and Public Awareness for Sustainability*, Thessaloniki, Greece.