



## آموزش شیمی سبز، با طراحی و اجرای آزمایش‌های سبز

### در مبحث استوکیومتری شیمی متوسطه

مریم صباغان<sup>۱</sup>، جهان شاهی بیگباغی<sup>۲</sup> و محمدرضا امام جمعه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، شیمی آلی، علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران (نویسنده مسئول)، sabbaghan@srttu.edu

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، آموزش شیمی، علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

<sup>۳</sup> استادیار، برنامه‌ریزی درسی، علوم انسانی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

**چکیده:** هدف از انجام این پژوهش، آموزش شیمی سبز با طراحی و اجرای آزمایش‌های سبز در مبحث استوکیومتری شیمی متوسطه است. طرح آزمایشی از نوع پیش‌آزمون - پس‌آزمون بوده است. انتخاب دبیرستان محل اجرای طرح و انتخاب کلاس‌ها و اختصاص آنها به گروه‌های آزمایش و کنترل تصادفی است و دانش‌آموزان دختر پایه سوم متوسطه شهر جعفرآباد می‌باشد. روش کار پژوهش در دو مرحله و به صورت عملی که در مرحله اول، آزمایش چسب‌سازی جهت آموزش عملی مبتنی بر شیمی سبز، توسط گروه آزمون و در مرحله دوم آزمایش صابونی‌شدن که با توجه به جنبه‌های نگرشی موضوع و مبحث استوکیومتری بسیاری از اهداف شیمی سبز را در بر می‌گرفت، انجام شد. آزمایش صابونی شدن بدون در نظر گرفتن اهداف شیمی سبز برای گروه کنترل انجام شد. داده‌های مورد نیاز پژوهش برای حیطه شناختی به صورت سؤالات چهار گزینه‌ای، حیطه مهارتی به صورت چک‌لیست مشاهدات و حیطه نگرشی فراگیران، ترسیم نقاشی باز در راستای شیمی سبز جمع‌آوری شده است. جامعه آماری پژوهش، شامل گروه‌آزمون (۳۰ نفر) و گروه کنترل (۳۰ نفر) فراگیران متوسطه دوره دوم می‌باشد. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که از بین ۱۲ اصل شیمی سبز، فراگیران اهداف مربوط به اصول ۱-۲-۳-۴-۶-۷-۱۱ و ۱۲ را یاد گرفته‌اند و مورد توجه‌شان قرار گرفته است. همچنین آموزش بر اساس اهداف شیمی سبز، در تربیت دانش‌آموزانی مسئول، پرورش خلاقیت، تشویق و ایجاد انگیزه در آن‌ها برای مطالعه و پژوهش در زمینه شیمی سبز و جایگزین کردن روش‌های سبز به جای روش‌های سنتی در انجام واکنش‌ها نقش به‌سزایی دارد، و فراگیران راه‌های کاهش مصرف انرژی، به حداقل رساندن ضایعات و استفاده از کمترین مواد شیمیایی را بدون آفت کیفیت محصول یاد می‌گیرند.

**کلمات کلیدی:** آموزش شیمی سبز، طراحی آزمایش سبز، واکنش سبز، استوکیومتری، ارزشیابی.

## Designing and Implementation of Green Experiments on Stoichiometry Chemistry for Green Chemistry Education

Maryam Sabbaghan<sup>1</sup>, Jahan Shahi Bigbaghi<sup>2</sup>, Mohammad Reza Emamjomeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Assistant professor, Faculty of Science, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran. (sabbaghan@srttu.edu)

<sup>2</sup> Master of science, Chemistry Education, Faculty of Science, Shahid Rajaee Teacher Training University Tehran, Iran.

<sup>3</sup> Assistant Professor, Faculty of Humanity, Shahid Rajaee Teacher Training University Tehran, Iran.

**Abstract:** The purpose of this research is green chemistry education with the design and implementation of green chemistry experiments in stoichiometric subject in high school. The designing experiment was used to compare the green chemistry learning of experimental and control groups with pre-testing and post testing. The school selecting as well as the class selecting and assigning them to experimental and control groups is random sampling. The method was done in two stages, to begin the practical in education on the basis of green chemistry (Independent variable) experiment was performed by "How glue is made?" experiment. A next step, teaching saponification by means of green chemistry dealing with tendency aspects and stoichiometric topics of the subject is considered as in experiment which covers many of green chemistry objectives by experimental group. Saponification experiment was done for control group without considering green chemistry objects. The data collected through teacher-made tests for cognitive domain of learners and check lists for tendency and painting open drawing in green chemistry for skill domain of learners. In this study, statistic population consist of experimental group (N=30) and control group (N=30) in high school girl students in Jafarabad city. The research has been done through descriptive-evaluative method. The research has been done through descriptive-evaluative method. The results clearly indicated that the principle of 1, 2, 3, 4, 6, 7, 11 and 12 of green chemistry principles were learned by experimental group. Also, teaching on the basis of green chemistry objectives, play important role in educating responsible students discovering talent students, training creativity, encouraging and motivating students to study and research in the field of green chemistry and replacing green method by classical method.

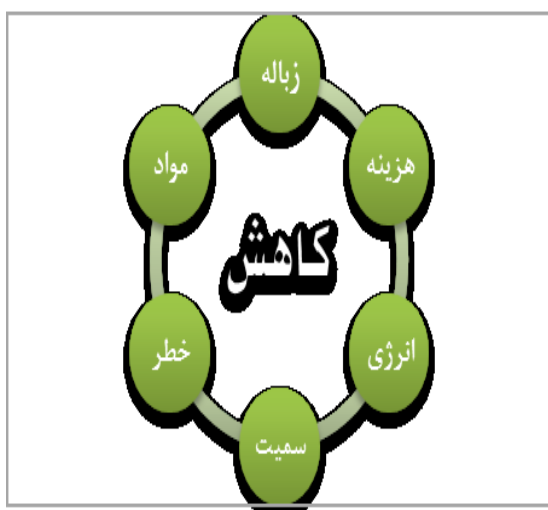
**Keywords:** Green Chemistry Education, Green chemistry, Green experiment, Green reaction, Evaluation

## ۱- مقدمه

اکثر مردم نسبت به واژه شیمی سبزی بی اطلاع هستند در حالی که حل مشکلات زیست محیطی و صنایع شیمیایی در قرن ۲۱ بدون آموزش شیمی سبزی امکان پذیر نیست. شیمی سبزی، یک وسیله مؤثر برای پرورش علاقه در دانش آموزان به شیمی و مواد است. برای جامعه‌ای آرمانی و همگام شدن با علم روز دنیا ما به ایده‌های جدیدی در امر آموزش و پرورش همانند، آموزش شیمی سبزی نیاز داریم. آموزش شیمی سبزی می‌تواند نگرشی نو برای زندگی راحت‌تر و ایمن‌تر باشد و به وسیله آن می‌توان مهارت‌های تفکر و حل مسأله را در فراگیران تقویت کرد [۱]. با توجه به تغییر رویکرد آموزش علوم در سطح جهانی، مسأله به‌روز نگه داشتن محتوای کتاب‌های درسی شیمی به نحوی که بتواند دانش آموزان را با دانش‌ها، نگرش‌ها و مهارت‌ها درگیر کند که هر چه بیشتر هماهنگی آن‌ها را با تغییرات و تحولات زندگی کنونی فراهم سازد، بیش از هر چیز مورد توجه مؤلفان و کارشناسان تهیه و تولید کتاب درسی شیمی قرار گرفته است. یک برنامه درسی شیمی اثربخش، در واقع یک برنامه درسی متکی بر فرایند حل مسأله و پرورش مهارت‌های تفکر است [۲]. این یک واقعیت اجتناب ناپذیر است، که نسل بعدی دانشمندان در دنیای متفاوت از نسل‌های قبلی زندگی خواهند کرد. بنابراین ما به ایده‌ها و نظرات جدید در آموزش شیمی احتیاج داریم. ما نمی‌توانیم آینده را پیش‌بینی کنیم اما می‌توانیم تأثیر روند آموزش و پرورش برای شکل دادن به آینده را پیش‌بینی کنیم، که منجر به آماده‌سازی ذهن دانش آموزان برای ترسیم آینده‌ای بهتر و توسعه پایدار گردد [۳].

امروزه در شیمی، انقلاب سبزی شکل گرفته است که از این رویکرد نو با عنوان «شیمی سبزی» یاد می‌شود، اصول شیمی سبزی مجموعه‌ای متنوع از شیوه‌های نوین می‌باشد که استفاده از آن به‌طور کلی هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و پیامدها و اثرات منفی زیست محیطی را به حداقل می‌رساند. در واقع شیمی سبزی تکمیل‌کننده و اصلاح‌کننده دروس شیمی است که می‌تواند تمام مفاهیم اساسی شیمی را از جمله استوکیومتری، اسیدها و بازها،

آنتالپی، سرعت واکنش‌ها و... را پوشش دهد [۴]. در سال ۱۹۹۰ علم جدیدی با نام‌های شیمی پاک، شیمی پایدار و شیمی سبزی در شیمی وارد شدند، که همه این اصطلاحات یک معنا دارند و آن هم شیمی سبزی است. به‌طور کلی شیمی سبزی، یعنی اختراع، طراحی و کاربرد فرآورده‌ها و فرایندهای شیمیایی به منظور کاهش یا حذف استفاده و تولید مواد خطرناک در فرآورده‌های شیمیایی در نظر گرفته می‌شود. (شکل ۱) جنبه دیگر تعریف در کاربرد و تولید نهفته، که به جای تمرکز روی مواد نامطلوب یک فرایند، به تمام مواد شرکت‌کننده در آن فرایند و چرخه تولید تمامی فرآورده‌های شیمیایی متمرکز است. شیمی سبزی راهی برای بحث درباره کاهش خطر و پیش‌گیری از آلودگی با معرفی خطرات ذاتی مواد به جای چگونگی و شرایط کاربرد آن‌ها است [۵].



شکل ۱- فواید شیمی سبزی

شیمی دانان سبزی برای شیمی سبزی، اصولی مبتنی بر ۱۲ اصل تعریف نمودند. این اصول ساده، منطقی، مفید و ضروری هستند و دانستن آن‌ها برای هر شیمی دانی لازم است.

- **اصل اول - پیشگیری:** به جای این که بعد از تولید مواد زائد راهی برای از بین بردن آن‌ها یا پاک کردنشان پیدا کنیم، از به وجود آمدن آن‌ها پرهیز نماییم.
- **اصل دوم - اقتصاد اتمی<sup>۱</sup>** (افزایش بهره‌وری از اتم): طراحی واکنش‌های شیمیایی به شیوه‌ای باشد، که فرآورده‌های نهایی بیشتری به دست آید. به عبارت

□ **اصل هشتم - کاهش مشتقات شیمیایی:** مشتقات غیر ضروری و استفاده از گروه‌های بازدارنده یا تغییرات فیزیکی و شیمیایی حد واسط به حداقل برسند و یا در صورت امکان از به کارگیری آن‌ها پرهیز شود.

□ **اصل نهم - کاتالیزگرها:** این معرفها با کاهش واکنش‌های جانبی و گزینش پذیری ضایعات را کاهش داده و سرعت فرایندها را بالا می‌برند. استفاده از کاتالیزگرها نسبت به معرف‌های استوکیومتری ترجیح داده می‌شود.

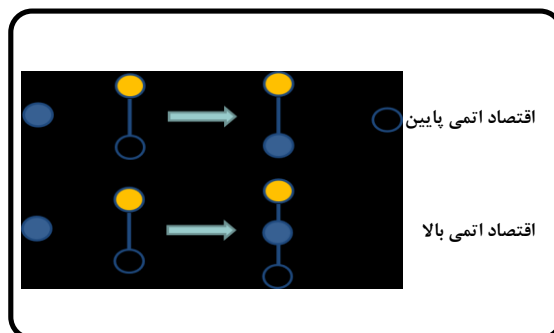
□ **اصل دهم - طراحی برای تخریب:** مواد شیمیایی را باید طوری طراحی کرد، که در انتهای عملکرد خود به محصولات تخریبی بی‌ضرری تجزیه شوند و در محیط باقی نمانند.

□ **اصل یازدهم - تخمین زمان واقعی یک واکنش:** برای پیشگیری از آلودگی باید پیشرفت واکنش را همواره پیگیری کنیم تا بدانیم چه هنگام واکنش کامل می‌شود، زیرا پس از کامل شدن واکنش، فراورده‌های ناخواسته جانبی تولید می‌شوند.

□ **اصل دوازدهم - کاهش احتمالی رویدادهای ناگوار:** در انجام فرایندهای شیمیایی، از گرما و حلال‌هایی بهره گرفته شود که احتمال انفجار آتش سوزی و رها شدن ناخواسته مواد شیمیایی را به حداقل برساند که در همین راستا آسیب‌های مرتبط با این رویدادها را می‌توان به تغییر دادن حالت یا ترکیب واکنشگرها کاهش داد [۶]. (شکل ۳)

دوازده اصل شیمی سبز، پیکره اصلی در آموزش شیمی سبز محسوب می‌شود ولی ارائه پیش‌نیاز برای آن ضروری است. می‌توان شیمی سبز را در مرحله اول به صورت جلوگیری از آلودگی در مقاطع ابتدایی تعریف کرد و به صورت مفصل‌تری در دبیرستان ادامه داد و به صورت کامل در برنامه درسی مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد دنبال کرد [۷]. استوکیومتری از مباحث مهم در شیمی است و با وجود گستردگی مطالب در راستای این بحث به خوبی می‌توان با طراحی آزمایش‌هایی بر مبنای شیمی سبز، مفهوم شیمی سبز را برای فراگیران گنجانده؛ به عبارتی، ما می‌توانیم مفهوم شیمی سبز را در این بحث بازتر کنیم و با طراحی آزمایش‌هایی در این راستا به هدف مورد نظر برسیم.

صحیح تر، مفهوم اقتصاد اتمی این است که به تمام مواد اولیه با این دید نگاه می‌شود که چه درجه‌ای از آن‌ها در تبدیل به محصولات دخالت می‌کند، بنابراین اگر تمام مواد اولیه به محصولات نهایی تبدیل شوند گفته می‌شود از نظر اقتصادی واکنش صددرصد انجام یافته است. (شکل ۲)



شکل ۲- اقتصاد اتمی

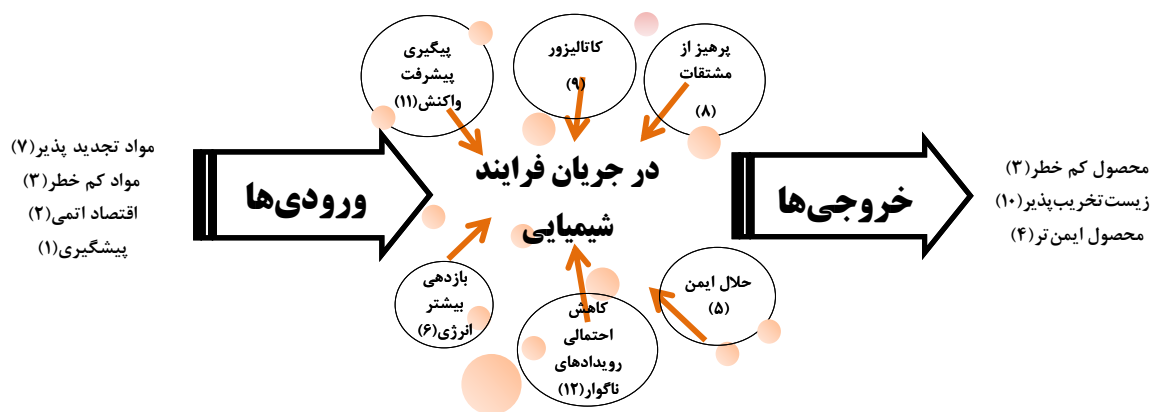
□ **اصل سوم - ساخت ترکیبات شیمیایی کم خطر<sup>۲</sup>:** تا جایی که عملی است، روش‌های تولیدی باید به نحوی طراحی شوند تا مواد تولید شده و مورد استفاده، حداقل سمیت و ضرر را به محیط زیست و سلامت بشر داشته و یا اصلاً این اثرات را نداشته باشند.

□ **اصل چهارم - طراحی مواد شیمیایی ایمن تر<sup>۳</sup>:** مواد شیمیایی باید طوری طراحی شود، که ضمن داشتن عملکرد مثبت، سمیت پایینی داشته باشند.

□ **اصل پنجم - حلال‌ها و مواد کمکی ایمن تر:** بهره‌گیری از حلال‌های ارزان و بی‌خطر و استفاده از مواد کمکی بی‌ضرر هر زمان که نیاز باشد. بنابراین، سیستم‌های آبی به دلیل مؤثر بودن و انتخاب‌گری، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

□ **اصل ششم - طراحی برای بازدهی بیشتر انرژی:** نیاز به انرژی در فرایندهای شیمیایی را باید بر اساس تأثیرات محیطی و اقتصادی تشخیص داد تا به حداقل برسد، سپس در صورت امکان سنتز مواد را باید در دما و فشار محدود اجرا کرد.

□ **اصل هفتم - استفاده از مواد اولیه تجدیدپذیر:** واکنش‌های شیمیایی باید به گونه‌ای طراحی شوند، تا از مواد اولیه‌ای که قابلیت بازگردانی دارند بهره بگیریم. مواد خام و بیولوژیکی در ارتباط تنگاتنگ با رفتار اقتصادی و زیست‌محیطی هستند.



شکل ۳- اصول ۱۲ گانه شیمی سبز در یک نگاه

## ۱-۱ آزمایشگاه سبز

آزمایشگاه‌های سبز در مدارس اهداف زیر را سرلوحه فعالیت‌های خود قرار داده‌اند.

- معرفی مفاهیم شیمی سبز و ارائه اصول و استراتژی‌های سبز؛
- به حداقل رساندن زمان، زباله و هزینه ظروف آزمایشگاهی و کاهش فضای نگهداری و ذخیره‌سازی مواد شیمیایی؛
- بالابردن ایمنی هنگام انجام آزمایش؛
- آموزش تکنیک‌های آزمایشگاهی سبز؛
- طراحی واکنش‌های شیمیایی به‌منظور کاهش میزان تولید فرآورده‌های بی‌هوده و افزایش محصول (اقتصاد اتمی)؛
- توجه بیشتر برای به دست آوردن نتایج مشاهده شده [۱۰].

## ۲-۱ بیان مسأله

هیچ وظیفه‌ای به اندازه آموزش افراد یک جامعه، به‌ویژه جوامع در حال توسعه، در تحکیم ارزش‌های آن جامعه، انتقال دانش و تکنولوژی و افزایش توان تولیدی آن، نقش اساسی ندارد. بنابراین در طراحی یک جهان امن، سالم، و پایدار آموزش نسل آینده بسیار حائز اهمیت بوده و با توجه به فشاری که بشر بر این سیاره وارد ساخته ما نیاز به کادر حرفه‌ای در شیمی برای توسعه و اجرای شیوه‌های شیمی سبز داریم. پیشرفت شیمی سبز بدون

آزمایشگاه، ساده‌ترین محل برای درک شیمی سبز برای دانش‌آموزان و بخش اساسی از برنامه درسی است. هر چه دانش‌آموزان زمان بیشتری را در آزمایشگاه سپری کنند، در یادگیری آن‌ها تأثیر بهتر دارد. آزمایشگاه مکانی است که در آن دانش‌آموز، شیمی را لمس می‌کند. اگر تنها از روش سخنرانی برای پرداختن به اصول شیمی سبز استفاده نماییم، برای دانش‌آموز جذاب نخواهد بود؛ زیرا تا زمانی که شیمی سبز به مرحله عمل در نیاید، دانش‌آموز قادر به درک آن نخواهد بود. اولین برنامه درسی سبز برای آزمایشگاه مربوط به اواسط سال ۱۹۹۰ می‌باشد که توسط گروه شیمی دانشگاه اورگان آمریکا تدوین گردید. آن‌ها کتاب راهنمای آزمایشگاه تحت عنوان شیمی سبز را که واکنش‌های شیمی آلی را پوشش می‌داد برای دانشجویان منتشر کردند [۸]. در آزمایشگاه سبز، امکان نوآوری و طراحی مجدد آزمایش‌ها برای فراگیران به وجود می‌آید، می‌توان تمریناتی برای فراگیران در نظر گرفت که فرصت تجزیه و تحلیل واکنش‌ها و قدرت قضاوت آن‌ها را برای انتخاب مواد اولیه و نوع واکنش، اقتصاد اتمی و حفاظت محیط زیست افزایش دهد. همچنین انجام پروژه‌های گروهی و یا فعالیت‌هایی در قالب مشکلات اجتماعی در یادگیری شیمی سبز می‌تواند مهم باشد، اگر دانش‌آموزان مستقیماً به ارتباط شیمی سبز در زندگی روزمره پی ببرند یادگیری با معنا خواهد بود [۹].

• تبادل نظر بین دانشمندان جهان به منظور توسعه شیمی سبز [۱۴].

آموزش شیمی سبز در کشورهای پیشرفته از ۱۹۹۰ آغاز شده است و برای نخستین بار در برنامه درسی ایالات متحده دیده شده است. جان وارنر و همکارانش (۱۹۹۰) جزء نخستین افرادی بودند که بر ادغام شیمی سبز در برنامه درسی مقاطع مختلف تحقیق نمودند. یافته‌های تحقیقاتی زاریدا و همکاران (۲۰۰۸) برای آزمایش‌های بحث تعادل و مفاهیم شیمیایی، بر مبنای اهداف سبز نشان داده این امر موجب بهبود یادگیری در دانش‌آموزان، ترویج و توسعه طراحی و مهارت تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌گردد. لاینور و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله‌ای با عنوان «شیمی سبز در برنامه درسی» به لزوم برنامه درسی شیمی سبز به منظور حفاظت محیط‌زیست پرداختند. مجسوریو همکاران (۲۰۰۹) میزان تأثیر یادگیری شیمی سبز را بر تغییر نگرش و رفتار دانش‌آموزان نسبت به محیط‌زیست بررسی کردند.

در ایران افراد بسیاری در مقطع کارشناسی ارشد و دکترا در تحقیقات خود از شیمی سبز بهره گرفته‌اند. از جمله: بازگیر (۱۳۸۴)، فلاح (۱۳۸۷)، شکوهی (۱۳۸۸)، نوروزی (۱۳۸۹) و گلزار (۱۳۹۰) که پایان‌نامه‌های خود را در زمینه شیمی آلی با استفاده از اصول سبز ارائه کرده‌اند. همچنین در پایان‌نامه کارشناسی ارشد، لیلای حبیبی با عنوان «شناسایی جایگاه شیمی سبز در برنامه درسی کشورهای پیشرفته به منظور ارائه راه کارهای مناسب برای برنامه درسی مدارس ایران» به ضرورت و اهمیت شیمی سبز و ورود این مبحث مهم به برنامه و کتاب درسی اشاره شده است. مستشاری (۱۳۸۲) در مقاله‌ای با عنوان «دیدگاه‌های آموزشی و پژوهشی شیمی سبز» با بیان چشم‌اندازهای آموزشی شیمی سبز در مقطع تحصیلی گوناگون به‌ویژه در شاخه‌های تخصصی آن تلاش شده است تا دیدگاه‌های واقعی این تحول و شاخه‌های وابسته به آن در آموزش عالی شناسانده شوند. سروری (۱۳۸۵) در مقاله‌ای تحت عنوان «اصول دوازده گانه شیمی سبز» اصول سبز را تشریح می‌نماید. بداقی (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان «شیمی سبز» به

حضور در آموزش و پرورش، که یکی از جایگاه‌های اصلی و کلیدی شیمی سبز می‌باشد، امکان‌پذیر نیست [۱۱]. چنانچه اصول آموزش شیمی سبز به‌طور فراگیر در مقاطع تحصیلی اعمال گردد، می‌توان انتظار داشت که دانش‌آموختگان علاقه‌مند به اهداف این تحول، وارد اجتماع شوند. شیمی سبز یک رویکرد مبتنی بر علم است و با تمرکز بر پایداری شروع می‌شود، پس در نتیجه باید برنامه آموزشی شیمی سبز ابتدا در مدارس رشد یابد و سپس در جامعه پیاده شود. معرفی شیمی سبز در سطح دبیرستان چندین فایده دارد:

- باعث رشد خلاقیت و نوآوری در دانش‌آموزان می‌شود.
- باعث از بین رفتن ترس دانش‌آموزان از شیمی و علاقه‌مند ساختن آن‌ها به آن می‌شود.
- استفاده از آزمایش‌های شیمی سبز باعث بهبود ایمنی و به حداقل رساندن استفاده از مواد خطرناک می‌شود.
- اجرای آزمایش‌های سبز باعث کاهش تولید زباله و در نتیجه هزینه‌های دفع زباله می‌شود.
- شیمی سبز می‌تواند در شیوه‌های سازگار با محیط‌زیست، علاقه به مسائل زیست‌محیطی را در دانش‌آموزان تقویت نماید [۱۲].

از رویکردهای گوناگون در آموزش شیمی سبز در کلاس می‌توان بهره گرفت که مناسب‌ترین آن، رویکرد دانش‌آموز-محور است، در فرایند یاددهی-یادگیری شیمی سبز برای این‌که یادگیری معنادار باشد، بهتر است دانش‌آموزان را در فعالیت‌های سبز درگیر کرد [۱۳]. جامعه باید برای آموزش شیمی سبز امکاناتی را تدارک ببیند، برخی از الزامات آموزش شیمی سبز در جامعه عبارتند:

- ایجاد مرکز ملی شیمی سبز برای گسترش آن؛
- در اختیارگذاشتن بودجه تحقیقاتی برای پژوهش‌های سبز؛
- گسترش مواد آموزشی در برنامه درسی؛
- بالابردن انگیزه برای پیاده‌سازی فن‌آوری‌های شیمی سبز در صنعت برای جبران موانع سرمایه‌گذاری موجود؛

معرفی شیمی سبز و ضرورت این علم در شیمی پرداخته است [۱۵].

در اهمیت و ضرورت این پژوهش باید گفت که تغییر و تحولات سریع در سطح جهانی ایجاب می‌کند تا ما بتوانیم این شیمی کلاسیک را در مسیر شیمی سبز هدایت کنیم و از آن جایی که چالش‌های بزرگی در ارتباط با علوم و فناوری قرن ۲۱ در مقابل نظام آموزشی کشورمان قرار دارد، باید راه‌کارهای وارد شدن این مباحث در کتاب‌های درسی مشخص شود. نتایج این تحقیق باعث گسترش اهداف توسعه پایدار، بهبود نظام آموزشی، تربیت شهروندانی مسئول، کشف استعدادها، پرورش دانش‌آموزانی خلاق، تشویق و ایجاد انگیزه در معلمان و دانش‌آموزان برای مطالعه و پژوهش در زمینه شیمی سبز و جایگزین کردن روش‌های سبز به جای روش‌های سنتی می‌گردد. در ضمن فراگیران با راه‌های کاهش مصرف انرژی و به حداقل رساندن ضایعات آشنا می‌شوند و در نهایت به طراحی جامعه‌ای امن‌تر و سالم‌تر که شعار آن رسیدن به پایداری است و نیز تربیت شهروندانی مسئول و آگاه، کمک می‌نماید.

### ۳-۱- سوالات پژوهش

ابتدا مسأله پژوهش که پایین بودن سطح آگاهی و درک و فهم دانش آموزان متوسطه از مفهوم شیمی سبز بود و پژوهشگر نیز بنابه تجربه خود از وجود این مشکل آگاهی داشت، در میان گذاشته شد. همچنین مطالعه منابع موجود از جمله کتاب «شیمی سبز در تئوری و عمل» و نیز کتاب «آموزش شیمی سبز» (مؤلفان هر دو کتاب از بنیانگذاران شیمی سبز هستند) و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه و مقالات موجود، اهمیت مطالعه درباره چگونگی آموزش شیمی سبز در سطح متوسطه را دو چندان نمود. بنابراین موضوع پژوهش با عنوان آموزش شیمی سبز، با طراحی و اجرای آزمایش‌های سبز در مبحث استوکیومتری شیمی متوسطه تعیین گردید. بنابراین سوالات پژوهش حاضر عبارتند از این که آیا؛ ۱- بین میزان یادگیری فراگیرانی که مبحث استوکیومتری را با آموزش مبتنی بر شیمی سبز، آموزش دیده‌اند با فراگیرانی که به‌طور سنتی آموزش دیده‌اند، در حیطه شناختی تفاوت وجود دارد؟

۲- بین میزان مهارت فراگیرانی که مبحث استوکیومتری را با آموزش مبتنی بر شیمی سبز، آموزش دیده‌اند با فراگیرانی که به‌طور سنتی آموزش دیده‌اند، در حیطه مهارتی تفاوت وجود دارد؟ ۳- بین میزان نگرش فراگیرانی که مبحث استوکیومتری را با آموزش مبتنی بر شیمی سبز، آموزش دیده‌اند با فراگیرانی که به‌طور سنتی آموزش دیده‌اند، در حیطه نگرشی تفاوت وجود دارد؟

### ۲- روش تحقیق

روش پژوهش از نوع شبه تجربی است و طرح آزمایشی در این پژوهش از نوع طرح پیش‌آزمون<sup>۴</sup> - پس‌آزمون<sup>۵</sup> با گروه کنترل<sup>۶</sup> است. در طرح مورد بحث، آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی چند مرحله‌ای<sup>۷</sup> انتخاب شده‌اند. این طرح مشتمل بر دو گروه که قبل و بعد از این که در معرض متغیر مستقل (X) قرار بگیرند، مقایسه می‌شوند. متغیر مستقل، آزمودنی‌های انتخاب شده در هر دو گروه به وسیله پیش‌آزمون مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند، متغیرهای پژوهش حاضر شامل:

- ۱) متغیر مستقل: آموزش مبتنی بر شیمی سبز،
  - ۲) متغیر وابسته: میزان یادگیری دانش‌آموزان در حیطه‌های شناختی، مهارتی و نگرشی،
  - ۳) متغیر کنترل (پیش‌آزمون): دانش اولیه آزمودنی‌ها.
- همچنین جامعه آماری پژوهش، دبیرستان‌های دخترانه شهر جعفرآباد که در سال تحصیلی ۹۳-۱۳۹۲ دارای پایه سوم دوره دوم متوسطه بودند، تعریف شد. حجم این جامعه طبق آمار اخذ شده از اداره آموزش و پرورش جعفرآباد، ۲۰۰ نفر می‌باشد. نمونه این پژوهش شامل ۶۰ نفر دانش‌آموزان دخترانه پایه سوم دوره دوم متوسطه (۳۰ نفر گروه آزمایش و ۳۰ نفر گروه کنترل) بود، که با روش نمونه‌گیری تصادفی چند مرحله‌ای انتخاب شده‌اند.

### ۱-۲ فرایند تحقیق

در گام نخست در راستای اجرا و آموزش شیمی سبز، آزمایشی برای فراگیران در نظر گرفته شده که هدف آن به چالش کشیدن و کنجکاو کردن فراگیران در مورد مسائل شیمی سبز بود. برای همین در محیط آزمایشگاه،

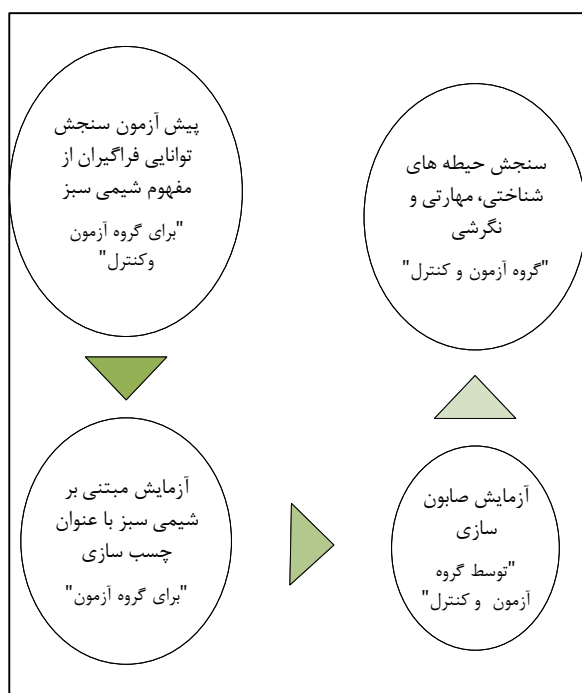
در گام دوم، فراگیران گروه آزمون در آزمایشگاه به صورت گروهی، آزمایش مربوط را انجام دادند و با بحث‌های گروهی مراحل قابل تغییر را شناسایی کردند و ضمن بازنویسی، دلایل تغییر مراحل را به کلاس گزارش دادند و با سایر گروه‌ها به اشتراک گذاشتند. سپس با همکاری معلم و فراگیران مراحل تغییر یافته با اصول ۱۲ گانه شیمی سبز مورد تطبیق قرار داده شد. (شکل ۵)

در گام سوم، طی بازه زمانی جداگانه و در کلاس اصول ۱۲ گانه شیمی سبز به همراه گروه آزمایش با اجرای یک دوره آموزشی تئوری (توسط پاورپوینت و فیلم آموزشی در راستای شیمی سبز)، دوباره بازخوانی گردید و با همکاری معلم و فراگیران برای هر یک از اصول ۱۲ گانه لوگوهایی طراحی شد (شکل ۶)، همچنین کلمات و اصطلاحهایی به اختصار گذاشته شد (شکل ۷) و فراگیران هر یک از اصول ۱۲ گانه را به صورت جداگانه در برگه‌های بزرگی نوشتند. در یک تابلو تا پایان آموزش‌ها نصب گردید تا فراگیران برای انجام یک آزمایش دیگر با عنوان "آزمایش صابون‌سازی با روش شیمی سبز" آماده شوند.

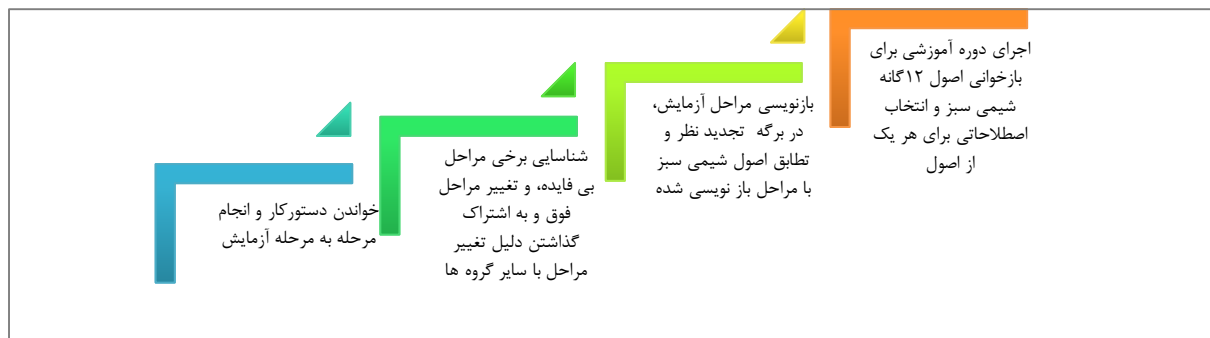
در گام چهارم، فراگیران گروه آزمایش (۱۵ گروه) با آگاهی از شیمی سبز و تلفیق آن با مفاهیم استوکیومتری و گروه کنترل (۱۵ گروه) بدون آگاهی از شیمی سبز، آزمایش مربوط به صابون‌سازی را انجام داده و با استفاده از یک چک لیستی، حیطة مهارتی فراگیران در زمینه اهداف شیمی سبز مورد سنجش قرار گرفت. (شکل ۸) در گام آخر، یک پس‌آزمون در زمینه حیطة شناختی، شامل سؤالات چهارگزینه‌ای به عمل آمد و همچنین برای سنجش حوزه عاطفی و نگرشی فراگیران، از آن‌ها خواسته شد که تصاویری در مورد شیمی سبز و رابطه‌اش با زندگی پایدار، ترسیم کنند.

معلم توصیه‌هایی به فراگیران (گروه آزمایش) مبنی بر این که شما به عنوان یک شیمی‌دان می‌خواهید، چسب درست کنید که در طی این فرایند اصول شیمی سبز را خواهید آموخت.

سپس دستورکار مربوط به آزمایش چسب به گروه‌های مربوط داده شد، و تأکید گردید که شاید در این دستور کار، برخی مراحل بی فایده، خطرناک، ناسالم و یا غیر ضروری باشد و برای همین برگه‌های تجدیدنظر در روش آزمایشگاه، در اختیار گروه‌ها قرار داده شد تا مراحل آزمایش بازنویسی گردد. (شکل ۴)



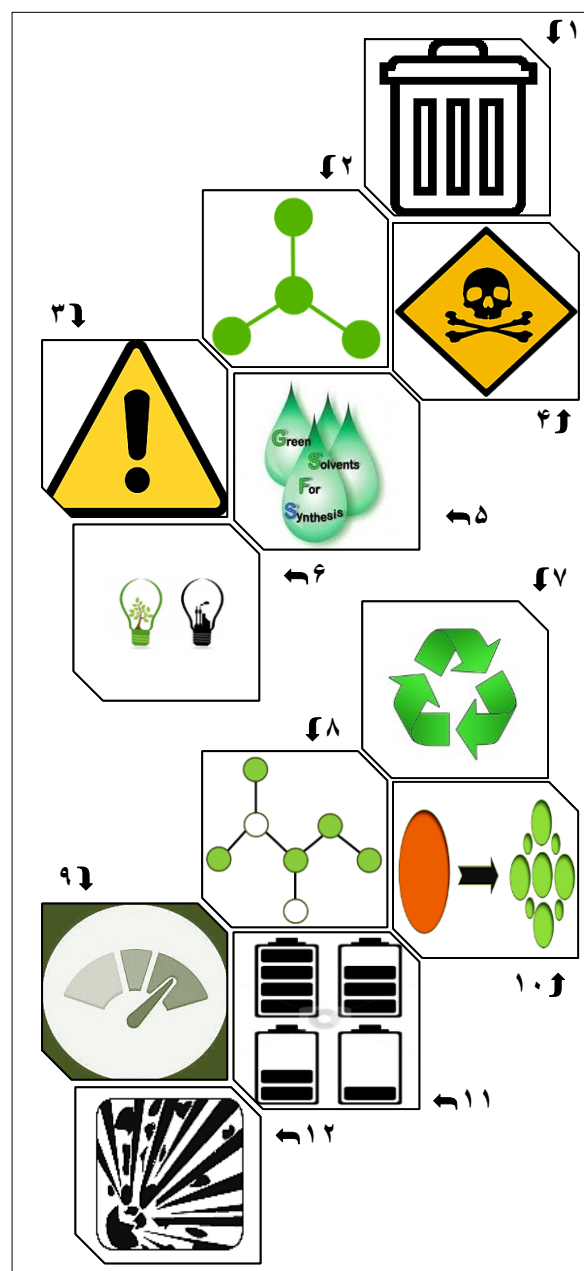
شکل ۴- فرایند تحقیق در یک نگاه



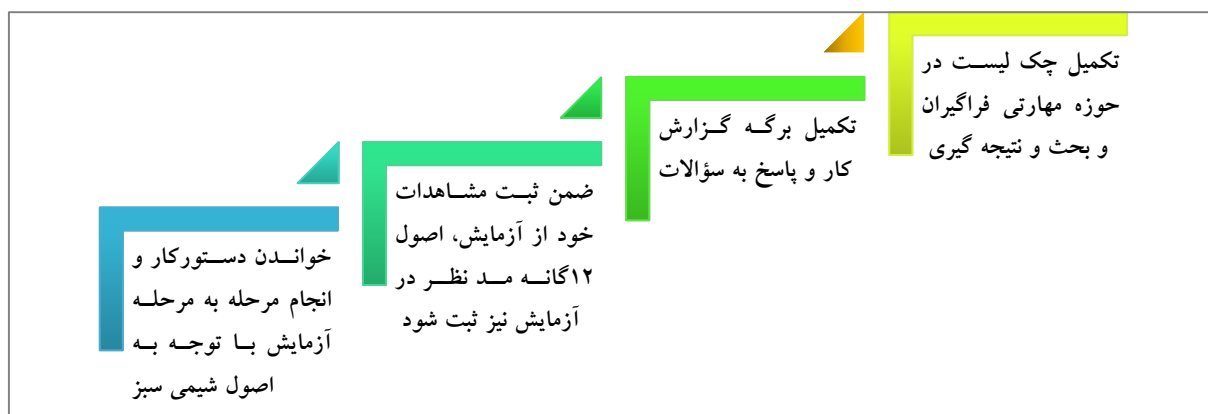
شکل ۵- مراحل انجام آزمایش مربوط به چسب‌سازی



شکل ۷- اصطلاحات به اختصار برای اصول ۱۲ گانه شیمی سبز



شکل ۶- لوگو برای اصول ۱۲ گانه شیمی سبز



شکل ۸- مراحل انجام آزمایش مربوط به صابون سازی



تجزیه و تحلیل کیفی آن و عدم وجود داده، پایایی آزمون انجام نگردیده است.

### ۳- بحث و نتایج

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های آمار توصیفی<sup>۱۰</sup> و استنباطی<sup>۱۱</sup> با کمک نرم افزار spss<sup>۱۲</sup> استفاده شد. با توجه به این که طرح آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق از نوع طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون با گروه کنترل است، سؤال‌های پژوهش با استفاده از آزمون t<sup>۱۳</sup> دو متغیره برای حیطة شناختی و آزمون ناپارامتریک من-ویتنی U<sup>۱۴</sup> برای حیطة مهارتی، تجزیه و تحلیل و حیطة نگرشی فراگیران با توجه به تصاویری که کشیده بودند به صورت کیفی تحلیل گردید.

داده‌های حاصل از هر سه حیطة در جداول جداگانه آمده و مورد تجزیه و تحلیل فرا گرفته است؛ حیطة شناختی (داده‌های مربوط به جدول ۳)، حیطة مهارتی (داده‌های مربوط به جدول ۴) و حیطة نگرشی (داده‌های مربوط به جدول ۵).

در جدول ۳، با توجه به این که در آزمون لوین، Sig به دست آمده در همه زیرمؤلفه‌های محتوایی مربوط به اصول ۱۲ گانه شیمی سبز، از ۰/۰۵ بزرگتر است، برای آزمون t از حالت تساوی واریانس‌ها استفاده می‌کنیم. با توجه به این که در آزمون t مقدار Sig. (2-tailed)، از ۰/۰۵ بیشتر به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که بین میزان یادگیری شیمی سبز فراگیران دو گروه کنترل و آزمایش، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین میزان یادگیری دانش‌آموزان دو گروه قبل از آموزش شیمی سبز، در همه زیرمؤلفه‌های محتوایی مربوط به اصول ۱۲ گانه شیمی سبز یکسان است.

در جدول ۴، با توجه به این که مقدار Sig به دست آمده برای t در زیر مؤلفه‌های مربوط به «اصول ۱-۲-۳-۴-۶-۷ و ۱۱» کمتر از ۰/۰۵ است، می‌توان نتیجه گرفت بین میانگین نمرات فراگیران گروه کنترل و گروه آزمایش در این زیرمؤلفه‌ها (اصول ذکر شده) تفاوت معناداری وجود دارد. ولی در مباحث مربوط به «اصول ۵-۸-۹ و ۱۰» مقدار Sig به دست آمده برای t، بیشتر از ۰/۰۵ است، پس تفاوت بین میانگین نمرات فراگیران گروه کنترل و گروه آزمایش در این موارد معنادار نیست.

### ۲-۲ ابزار گردآوری داده‌ها

اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش برای سنجش میزان تحقق اهداف شیمی سبز، با استفاده از آزمون محقق ساخته در سه حیطة شناختی، مهارتی و نگرشی در مبحث استوکیومتری گردآوری شد. به منظور سنجش میزان تحقق اهداف شیمی سبز در حیطة شناختی، سؤالات چهارگزینه‌ای برگرفته از سایت انجمن شیمی سبز آمریکا و همچنین کتاب «شیمی سبز در تئوری و عمل» طراحی و برای فراگیران اجرا گردید. تعداد سؤالات برای سنجش حیطة شناختی، ۴۰ سؤال بود که تعداد ۳ سؤال به علت داشتن ضریب دشواری و ضریب تمیز نامطلوب، از آزمون نهایی کنار گذاشته شدند، برای سنجش هر هدف شیمی سبز حداقل دو سؤال چهارگزینه‌ای طراحی و تهیه گردید. برای اندازه‌گیری اهداف شیمی سبز در حیطة مهارتی نیز چک لیستی شامل مهارت‌های عملی سبز (دوازده مهارت عملی) در راستای اهداف شیمی سبز طراحی و با توجه به مشاهدات اعمال فراگیران در آزمایشگاه، کامل گردید. و در آخر برای سنجش نگرش و باورهای فراگیران نسبت به شیمی سبز، رسم نقاشی توسط فراگیران در این زمینه بود.

جدول ۱- پایایی سؤالات حیطة مهارتی

| تعداد سؤال | آلفای کرونباخ |
|------------|---------------|
| ۱۲         | ۰/۹۱۱         |

جدول ۲- پایایی سؤالات حیطة شناختی

| واریانس نمرات | ۵۷/۵۳ |
|---------------|-------|
| میانگین نمرات | ۲۲/۹۰ |
| KR21          | ۰/۸۷۲ |

روایی محتوای آزمون‌های این پژوهش توسط ۳ نفر از معلمان باتجربه شیمی، ۵ نفر دانشجو- معلمان دوره کارشناسی ارشد آموزش شیمی و ۲ نفر از استادان متخصص شیمی تأیید شده است. در این پژوهش به منظور بررسی پایایی آزمون‌ها از روش کودر-ریچاردسن<sup>۱۵</sup> (فرمول KR21) برای حیطة شناختی و از روش آلفای کرونباخ<sup>۱۶</sup> برای حیطة مهارتی استفاده شده که با توجه به مقادیر بدست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که آزمون‌ها از قابلیت اعتمادپذیری مناسبی برخوردار است (جداول ۱ و ۲). لازم به توضیح است که برای حیطة نگرشی به خاطر

جدول ۳- نتایج آزمون لوین و t برای پیش آزمون در زیرمؤلفه‌های محتوایی مربوط به اصول ۱۲ گانه شیمی سبز

| اصول ۱۲ گانه شیمی سبز | وارianسها | آزمون لوین برای برابری واریانس‌ها |   | آزمون t برای برابری میانگین‌ها در فاصله اطمینان ۹۵% |                 |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|---|---|-----------------|
|                       |           | Sig.                              | F | t   | Sig. (2-tailed) |
| اصل ۱                 | تساوی     | .۰۶۲                              |   | .۶۵۲  | .۵۱۷            |
|                       | عدم تساوی | .۸۰۵                              |   | .۶۵۲  | .۵۱۷            |
| اصل ۲                 | تساوی     | .۴۲۲                              |   | ۱/۱۲۳   | .۲۶۶            |
|                       | عدم تساوی | .۵۱۹                              |   | ۱/۱۲۳   | .۲۶۶            |
| اصل ۳                 | تساوی     | .۰۰۵                              |   | ۱/۳۷۱   | .۱۷۶            |
|                       | عدم تساوی | .۹۴۱                              |   | ۱/۳۷۱   | .۱۷۶            |
| اصل ۴                 | تساوی     | .۰۰۶                              |   | -۰/۲۹۸  | .۷۶۷            |
|                       | عدم تساوی | .۹۳۸                              |   | -۰/۲۹۸  | .۷۶۷            |
| اصل ۵                 | تساوی     | .۰۷۷                              |   | .۶۲۴  | .۵۳۵            |
|                       | عدم تساوی | .۷۸۳                              |   | .۶۲۴  | .۵۳۵            |
| اصل ۶                 | تساوی     | .۲۲۶                              |   | -۱/۳۵۱  | .۱۸۲            |
|                       | عدم تساوی | .۶۳۶                              |   | -۱/۳۵۱  | .۱۸۲            |
| اصل ۷                 | تساوی     | .۰۰                               |   | .۰۰   | .۰۰             |
|                       | عدم تساوی | .۰۰                               |   | .۰۰   | .۰۰             |
| اصل ۸                 | تساوی     | .۲۰۶                              |   | -۲/۱۲۱  | .۰۳۸            |
|                       | عدم تساوی | .۶۵۱                              |   | -۲/۱۲۱  | .۰۳۸            |
| اصل ۹                 | تساوی     | .۵۱۶                              |   | -۱/۲۴۸  | .۲۱۷            |
|                       | عدم تساوی | .۴۷۵                              |   | -۱/۲۴۸  | .۲۱۷            |
| اصل ۱۰                | تساوی     | .۰۹۹                              |   | .۳۴۸  | .۷۲۹            |
|                       | عدم تساوی | .۷۵۴                              |   | .۳۴۸  | .۷۲۹            |
| اصل ۱۱                | تساوی     | .۰۰                               |   | -۰/۴۱۱  | .۶۸۲            |
|                       | عدم تساوی | .۰۰                               |   | -۰/۴۱۱  | .۶۸۲            |
| اصل ۱۲                | تساوی     | .۰۰۹                              |   | -۰/۴۷۴  | .۶۳۷            |
|                       | عدم تساوی | .۹۲۳                              |   | -۰/۴۷۴  | .۶۳۷            |

در جدول ۵، با توجه به این که در آزمون من ویتنی-U، Sig به دست آمده برای زیرمؤلفه مهارت‌های مربوط به اهداف شیمی سبز «مهارت‌های دوم، سوم، چهارم، پنجم، ششم، هفتم، دهم، یازدهم و دوازدهم» کمتر از ۰/۰۵ است (جزئیات مهارت‌ها در ادامه آمده)، می‌توان نتیجه گرفت بین میانگین نمرات فراگیران گروه کنترل و گروه آزمایش در این زیرمؤلفه‌های مهارتی شیمی سبز ذکر شده، تفاوت معناداری وجود دارد. به عبارتی، بین سطح

فراگیران دو گروه کنترل و آزمایش بعد از آموزش شیمی سبز، از لحاظ میزان مهارت عملی مربوط به شیمی سبز در زیر مؤلفه‌های ذکر شده تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۴- نتایج آزمون لوین و t برای پس آزمون در زیرمؤلفه‌های محتوایی مربوط به اصول ۱۲ گانه شیمی سبز

| اصول ۱۲ گانه شیمی سبز | وارianسها | آزمون لوین برای برابری واریانس‌ها |       | آزمون t برای برابری میانگین‌ها در فاصله اطمینان ۹۵% |                 |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|-------|---|-----------------|
|                       |           | Sig.                              | F     | t   | Sig. (2-tailed) |
| اصل ۱                 | تساوی     |                                   | ۲/۸۶۷ | ۵/۸۸۱   | .۰۰۱            |
|                       | عدم تساوی | .۰۹۶                              |       | ۵/۸۸۱   | .۰۰۱            |
| اصل ۲                 | تساوی     |                                   | ۷/۸۳۴ | ۶/۸۴۰   | .۰۰۰            |
|                       | عدم تساوی | .۰۰۷                              |       | ۶/۸۴۰   | .۰۰۰            |
| اصل ۳                 | تساوی     |                                   | ۸/۹۱۸ | ۳/۷۶۷   | .۰۰۰            |
|                       | عدم تساوی | .۰۰۴                              |       | ۳/۷۶۷   | .۰۰۰            |
| اصل ۴                 | تساوی     |                                   | ۳/۸۶۱ | ۴/۳۲۲   | .۰۰۰            |
|                       | عدم تساوی | .۰۵۴                              |       | ۴/۳۲۲   | .۰۰۰            |
| اصل ۵                 | تساوی     |                                   | ۱/۱۵۰ | ۱/۷۶۳   | .۰۸۰            |
|                       | عدم تساوی | .۲۸۸                              |       | ۱/۷۶۳   | .۰۸۰            |
| اصل ۶                 | تساوی     |                                   | ۲/۲۵۰ | ۵/۴۵۰   | .۰۰۳            |
|                       | عدم تساوی | .۱۳۹                              |       | ۵/۴۵۰   | .۰۰۳            |
| اصل ۷                 | تساوی     |                                   | .۰۳۷  | ۳/۷۶۶   | .۰۰۲            |
|                       | عدم تساوی | .۸۴۹                              |       | ۳/۷۶۶   | .۰۰۲            |
| اصل ۸                 | تساوی     |                                   | .۷۰۴  | ۱/۸۱۷   | .۰۷۴            |
|                       | عدم تساوی | .۴۰۵                              |       | ۱/۸۱۷   | .۰۷۴            |
| اصل ۹                 | تساوی     |                                   | ۳/۴۹۸ | ۱/۱۸۰   | .۲۴۳            |
|                       | عدم تساوی | .۰۶۶                              |       | ۱/۱۸۰   | .۲۴۳            |
| اصل ۱۰                | تساوی     |                                   | ۳/۵۰۷ | ۱/۸۶۷   | .۰۶۷            |
|                       | عدم تساوی | .۰۶۶                              |       | ۱/۸۶۷   | .۰۶۷            |
| اصل ۱۱                | تساوی     |                                   | .۲۵۷  | ۳/۳۷۳   | .۰۰۱            |
|                       | عدم تساوی | .۶۱۴                              |       | ۳/۳۷۳   | .۰۰۱            |
| اصل ۱۲                | تساوی     |                                   | ۳/۲۸۰ | ۴/۴۶۴   | .۰۰۰            |
|                       | عدم تساوی | .۰۷۵                              |       | ۴/۴۶۴   | .۰۰۰            |

ولی در دیگر زیرمؤلفه‌های مهارتی مربوط به اهداف شیمی سبز «مهارت‌های اول، هشتم و نهم» مقدار Sig به دست آمده بیشتر از ۰/۰۵ است، بنابراین تفاوت بین میانگین نمرات فراگیران گروه کنترل و گروه آزمایش در

توجه به داده‌ها و آماره‌های ارائه شده، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نگرش و باور دو گروه آزمایش و کنترل در زمینه شیمی سبز وجود دارد.

جدول ۶- نتایج حیطه نگرشی به تفکیک گروه‌ها در دسته‌بندی تصاویر مربوط به شیمی سبز

| درصد   | تعداد تصاویر | گروه‌ها | دسته بندی تصاویر در راستای شیمی سبز |
|--------|--------------|---------|-------------------------------------|
| ۳۰٪    | ۹            | آزمایش  | دسته اول: بهره‌وری انرژی            |
| ۰      | ۰            | کنترل   |                                     |
| ۱۳/۳۳٪ | ۴            | آزمایش  | دسته دوم: سمی بودن مواد شیمیایی     |
| ۰      | ۰            | کنترل   |                                     |
| ۲۰٪    | ۶            | آزمایش  | دسته سوم: مواد تجدید پذیر           |
| ۰      | ۰            | کنترل   |                                     |
| ۶/۶۷٪  | ۲            | آزمایش  | دسته چهارم: ایمنی                   |
| ۰      | ۰            | کنترل   |                                     |
| ۲۳/۳۳٪ | ۷            | آزمایش  | دسته پنجم: آلودگی محیط زیست         |
| ۶/۶۷٪  | ۲            | کنترل   |                                     |
| ۶/۶۷٪  | ۲            | آزمایش  | دسته ششم: اقتصاد اتم                |
| ۰      | ۰            | کنترل   |                                     |

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توانیم بحث‌های زیر را برای حیطه‌های مورد مطالعه داشته باشیم:

### ۱-۳ بحث حیطه شناختی تحقیق

با توجه به نتایج حاصل از آزمون t جدول ۴، بین میانگین نمرات فراگیران گروه کنترل و گروه آزمایش در هشت اصل دوازده‌گانه شیمی سبز (اصول ۱-۲-۳-۴-۶-۷-۱۱ و ۱۲)، تفاوت معناداری وجود دارد. و این نشان‌دهنده تأثیر مثبت روش آموزش مبتنی بر شیمی سبز بر یادگیری فراگیران گروه آزمایش در اصول ذکر شده می‌باشد. ولی در چهار اصل دوازده‌گانه (اصول ۵-۸-۹ و ۱۰) شیمی سبز، تفاوت بین میانگین نمرات فراگیران گروه کنترل و گروه آزمایش معنادار نیست، که دلیل این امر را می‌توان در موارد زیر دانست:

- در مورد اصول پنجم و نهم به خاطر آگاهی و دانش ناکافی فراگیران با موضوع حلال (موضوع مربوط به فصل آخر شیمی سوم متوسطه)، و بحث مربوط به کاتالیزگر (موضوع مربوط به شیمی چهارم متوسطه) در

این زیر مؤلفه‌ها معنادار نیست؛ به عبارتی، بین سطح فراگیران دو گروه کنترل و آزمایش بعد از آموزش شیمی سبز، از لحاظ میزان مهارت عملی مربوط به شیمی سبز در زیر مؤلفه‌های ذکر شده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۵- نتایج آزمون من ویتنی U برای حیطه مهارتی در زیرمؤلفه مهارت‌های مربوط به اهداف شیمی سبز

| گروه    | رتبه   | آزمون من ویتنی-U |                 |                 |                     |
|---------|--------|------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
|         |        | Z                | Sig. (2-tailed) | Sig. (1-tailed) | Sig. [2*(1-tailed)] |
| اول     | آزمایش | ۱۸/۱             | ۷۳/۰۰           | ۰/۰۵            | ۰/۱۰۶               |
|         | کنترل  | ۱۲/۸             |                 |                 |                     |
| دوم     | آزمایش | ۳۰/۴             | ۳۸/۵۰           | ۰/۰۰۱           | ۰/۰۰۱               |
|         | کنترل  | ۱۰/۵             |                 |                 |                     |
| سوم     | آزمایش | ۲۱/۳             | ۲۵/۵۰           | ۰/۰۰۰           | ۰/۰۰۰               |
|         | کنترل  | ۹/۷              |                 |                 |                     |
| چهارم   | آزمایش | ۱۹/۱             | ۵۸/۵۰۰          | ۰/۰۱۵           | ۰/۰۲۳               |
|         | کنترل  | ۱۱/۹             |                 |                 |                     |
| پنجم    | آزمایش | ۲۱/۲             | ۲۷/۰۰           | ۰/۰۰۰           | ۰/۰۰۰               |
|         | کنترل  | ۹/۸              |                 |                 |                     |
| ششم     | آزمایش | ۲۰/۸             | ۳۲/۵۰           | ۰/۰۰۰           | ۰/۰۰۰               |
|         | کنترل  | ۱۰/۱             |                 |                 |                     |
| هفتم    | آزمایش | ۱۹/۸             | ۴۷/۵۰           | ۰/۰۰۳           | ۰/۰۰۶               |
|         | کنترل  | ۱۱/۱             |                 |                 |                     |
| هشتم    | آزمایش | ۱۷/۷             | ۷۹/۵۰           | ۰/۱۲۰           | ۰/۱۷۴               |
|         | کنترل  | ۱۳/۳             |                 |                 |                     |
| نهم     | آزمایش | ۱۷/۵             | ۸۲/۵۰           | ۰/۱۲۸           | ۰/۲۱۷               |
|         | کنترل  | ۱۳/۵             |                 |                 |                     |
| دهم     | آزمایش | ۲۲/۵             | ۷/۵۰            | ۰/۰۰۰           | ۰/۰۰۰               |
|         | کنترل  | ۸/۵              |                 |                 |                     |
| یازدهم  | آزمایش | ۲۲/۴             | ۹/۰۰            | ۰/۰۰۰           | ۰/۰۰۰               |
|         | کنترل  | ۸/۶              |                 |                 |                     |
| دوازدهم | آزمایش | ۲۳/۰             | ۰/۰۰۰           | ۰/۰۰۰           | ۰/۰۰۰               |
|         | کنترل  | ۸/۰              |                 |                 |                     |

همان‌طور که در جدول ۶ ملاحظه می‌شود، فراگیران گروه کنترل به جز در دسته پنجم (به نظر می‌آید فراگیران درک درستی از تفاوت شیمی سبز و شیمی محیط‌زیست نداشته‌اند)، در هیچ‌کدام از دسته‌های طبقه‌بندی شده بر اساس اهداف شیمی سبز، نتوانسته‌اند نگرشی نسبت به شیمی سبز داشته و نقاشی در این باره ترسیم کنند، که با

جز به جزء واکنش و ثبت مشاهدات در هر مرحله و مهارت نهم؛ رعایت ایمنی در آزمایشگاه، تفاوت بین میانگین نمرات فراگیران گروه کنترل و گروه آزمایش معنادار نیست، و دلیل این نتیجه، آشنایی قبلی آن‌ها با مهارت‌های ذکر شده است، در واقع آزمایش‌های طراحی‌شده مبتنی بر شیمی سبز کمک کرده است فراگیران علاوه بر این مهارت‌ها، مهارت‌های جدیدی در حیطه شیمی سبز به دست آورند.

### ۳-۳ بحث حیطه نگرشی تحقیق

داده‌ها و آماره‌های ارائه شده در جدول ۶، نشان‌دهنده تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نگرش و باور دو گروه آزمایش و کنترل در زمینه شیمی سبز است. با توجه به دسته‌بندی نگاره‌ها و تصاویری که فراگیران گروه آزمایش ترسیم کرده‌اند، اکثر تصاویر اشاره به موارد زیر دارد:

- آلودگی محیط زیست در نبود شیمی سبز (اشاره به اصل ۱)؛
  - سمی بودن شیمی سنتی و امروزی (اشاره به اصل ۳-۴)؛
  - استفاده انرژی بسیار کم در شیمی سبز (اشاره به اصل ۶)؛
  - مواد تجدیدپذیر (اشاره به اصل ۷)؛
  - اقتصاد اتمی (اشاره به اصل ۲)؛
  - ایمنی در کنار شیمی سبز (اشاره به اصل ۱۲).
- با تحلیل کیفی تصاویر می‌توان نتیجه گرفت که نگرش و باور فراگیران آموزش دیده، نسبت به اصول ۱-۲-۳-۴-۶-۷ و ۱۲ مثبت بوده و اهداف مربوط به این اصول را خوب فرا گرفته‌اند.

### ۳-۴ نوآوری تحقیق

با توجه به این‌که طرح آموزش مبتنی بر شیمی سبز با طراحی آزمایش‌های سبز، برای اولین بار در ایران برای دانش‌آموزان متوسطه دوم، مورد اجرا و سنجش قرار گرفته است می‌توان به نوآوری‌های زیر حاصل از تحقیق مورد نظر، اشاره کرد:

- طراحی آزمایش‌های سبز در مبحث استوکیومتری؛

بازه زمانی آموزش مبتنی بر شیمی سبز، درک درستی از این اصول نداشتند.

- در مورد اصول هشتم و دهم به خاطر بالا بودن سطح موضوع از سطوح درک و فهم فراگیران متوسطه، تفاوت معناداری بین گروه‌ها به وجود نیامده است.

### ۳-۲ بحث حیطه مهارتی تحقیق

با توجه به نتایج حاصل از آزمون من ویتنی-U جدول ۵، بین میانگین نمرات فراگیران گروه کنترل و گروه آزمایش در ۹ مهارت مربوط به شیمی سبز، شامل مهارت‌های ۲-۳-۴-۵-۶-۷-۱۰-۱۱ و ۱۲ تفاوت معناداری وجود دارد. این امر نشان‌دهنده تاثیر مثبت آموزش مبتنی بر شیمی سبز بر روی فراگیران گروه آزمایش می‌باشد. این ۹ مهارت‌ها را اگر با اصول ۱۲ گانه شیمی سبز تطبیق کنیم خواهیم داشت:

- مهارت دوم؛ مهارت پیگیری واکنش و کنترل فرایند واکنش (اشاره به اصل ۱۱).
  - مهارت سوم؛ مهارت استفاده از مواد شیمیایی به اندازه و مقدار واقعی (اشاره به اصل ۱).
  - مهارت چهارم؛ مهارت نحوه حرارت دادن محلول‌های شیمیایی (اشاره به اصل ۱۲).
  - مهارت پنجم؛ مهارت کاهش خطر از طریق کاهش تماس با مواد شیمیایی (اشاره به اصل ۳).
  - مهارت ششم؛ مهارت صرفه‌جویی در انرژی به کار رفته (اشاره به اصل ۶).
  - مهارت هفتم؛ مهارت خالص سازی و صاف کردن (اشاره به اصل ۳-۴).
  - مهارت دهم؛ مهارت استفاده از وسایل و ابزار آزمایشگاه در راستای هدف شیمی سبز (اشاره به اصل ۷).
  - مهارت یازدهم؛ مهارت برقراری ارتباط با اعضا در بحث و... " بحث در مورد مواد اولیه و محصولات تولیدی و حلال به کار رفته در راستای شیمی سبز " (اشاره به اصل ۳).
  - مهارت دوازدهم؛ مهارت در ترسیم واکنش توسط مدل گوی و میله از نظر اقتصاد اتمی (اشاره به اصل ۲).
- ولی در سه مهارت مربوط به شیمی سبز (مهارت اول؛ اندازه‌گیری و توزین مواد شیمیایی، مهارت هشتم؛ انجام

#### ۴- نتیجه گیری

با توجه به داده‌های مربوط به هر سه حیطة و تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که از بین دوازده اصل شیمی سبز، اهداف مدنظر شیمی سبز برای سطح دور متوسطه با شیوة ارائه شده، هشت اصل توسط فراگیران (اصول ۱- ۲- ۳- ۴- ۶- ۷- ۱۱ و ۱۲) در سطح متوسطه قابل درک و فهم، و نگرش آن‌ها به این اصل‌ها بیشتر است و اصول باقی‌مانده در سطح دانشگاه مورد بررسی و تحلیل قرارگیرد. و از اختلافات بارز نتایج تحقیق حاضر با دیگر پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه (پژوهش‌های وارنر و آنستاز که یادگیری و قابل فهم بودن اصول ۷، ۶، ۳، ۲، ۱ و ۱۰ را در دورة متوسطه دوم توسط فراگیران متذکر بودند)، می‌توان اشاره کرده که علاوه بر اصول ذکر شده به غیر از اصل دهم، فراگیران مورد سنجش ما اصول یازدهم و دوازدهم را در طرح آموزشی مبتنی بر شیمی سبز فرا گرفته‌اند.

به نظر می‌رسد یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر توانسته است در آموزش اهداف شیمی سبز بر اساس رویکرد فعالیت-محور که در برنامه درسی شیمی سبز بیشتر کشورهای توسعه یافته از جمله کشور آمریکا از پیش‌تازان در عرصه آموزش شیمی سبز، موفق باشد. می‌توان گفت که استفاده از رویکرد فعالیت-محور در سازماندهی محتوای شیمی سبز سبب می‌شود مفاهیم ارائه شده از جذابیت بیشتری برخوردار باشد و دانش‌آموزان با ملاحظه کاربرد عینی مفاهیم آموخته شده در زندگی واقعی، انگیزه و رغبت بیشتری برای مطالعه شیمی نشان دهند.

#### پی‌نوشت

- 1 Atomic Economics
- 2 Less Hazardous Chemical Syntheses
- 3 Designing Safer Chemicals
- 4 pre test
- 5 post test
- 6 Raudomized group
- 7 Multi-stage sampling
- 8 Kuder-richardson
- 9 Cronbach's Alpha
- 10 Descriptive Statistics
- 11 Inferential Statistics
- 12 Sciences Statistical Package for the Social
- 13 T. test
- 14 Mann-Whitney U

- طراحی سؤالات استاندارد شیمی سبز برای حیطة مهارتی؛
  - طراحی لوگوهایی برای هر اصل جهت سهولت در یادگیری معنادار؛
  - طراحی مهارت‌های سبز برای حیطة مهارتی؛
  - ترسیم تصاویری برای اصول ۱۲ گانه شیمی سبز.
- یافته‌های حاصل در هر سه حیطة دانشی، مهارتی و نگرشی می‌تواند به لحاظ تأثیر آموزش مبتنی شیمی سبز، بر یادگیری فراگیران در اصول ۱۲ گانه، با پژوهش‌های لیلیا حبیبی (۱۳۹۰)، اسکولز و همکارانش (۲۰۱۲)، کریستن (۲۰۰۶)، کارپودون و همکارانش (۲۰۱۲) و ... همسو باشد.
- در تبیین این یافته‌ها، همان‌گونه که آنستاز و جان وارنر (۲۰۰۰) معتقد هستند، دوازده اصل شیمی سبز، پیکره اصلی در آموزش شیمی سبز محسوب می‌شود ولی ارائه پیش‌نیاز برای آن ضروری است. شیمی سبز را می‌توان در مرحله اول به صورت جلوگیری از آلودگی در مقاطع ابتدایی تعریف کرد و به صورت مفصل‌تری در دبیرستان ادامه داد و به صورت کامل در برنامه درسی مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد دنبال نمود. با این اوصاف در دورة متوسطه، به خاطر ساده کردن موضوع علمی که درک آن به لحاظ انتزاعی برای دانش‌آموزان دشوار است، شش اصل از ۱۲ اصل شیمی سبز در کتاب‌های درسی ادغام شود و شش اصل باقی‌مانده آن در سطوح دانشگاهی عرضه گردد. شش اصل ادغام شده در کتاب‌های شیمی متوسطه عبارتند از اصول ۷، ۶، ۳، ۲، ۱ و ۱۰ که در زیر به ترتیب اشاره گردیده است:

۱. پیش‌گیری بهتر از درمان است.
۲. بهتر است از حداقل مقدار ممکن مواد در آزمایش‌ها استفاده و تمام مواد اولیه به فرآورده مورد نظر تبدیل شود.
۳. بهتر است از موادی استفاده نمود که سمی نباشند.
۴. بهتر است از حداقل انرژی استفاده کرد.
۵. بهتر است از مواد تجدیدپذیر استفاده کرد.
۶. بهتر است از موادی استفاده کرد که در پایان به مواد مفید تبدیل گردد.

## منابع

- [1] A.war, sylvia. 2001. Greening the curriculum. *American chemical society education programs* 73 (8):1247-1250.
- [2] Silver, J.G., W.M alksandr., and L. Artau jey.1912. *Of curriculum planning for better teaching and learning*. Translated by Gholam Reza Khvynzhad. Tehran: Publishing Beh nashr.
- [3] Abed, B., and SH.B Ashrafo Sadat.1387. Validate the model effective Teaching Science in Secondary Education For laboratory activities. *Journal of Educational* 28:۱۲۹-۱۵۶. [In Persian]
- [4] E.kerr, Margaret., and M.B. David. 2009. *Green chemistry education: using green chemistry to enhance faculty professional development opportunities*. Acs symposium series. American chemical society. Washington Dc: Oxford University Press.
- [5] Anastas, P., and I.J. Levy. 2009. *Green Chemistry Education. Changing the Course of Chemistry*. ACS Publications. Washington DC: Oxford University Press.
- [6] Anastas, Paul., and J. Warner. 1998. *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press.
- [7] Edward, J., and S. Breyman. 2005. Green Chemistry as Social Movement. *Science, Technology and Human Values* 30:190-193.
- [8] Long, steven., and K. Marry. 2011. Acs and its role in the fisher of chemistry education. <http://www.Acs.org/education/green>. (accessed July 28, 2014).
- [9] Omar, M.S. Ismail. 2016. Green Approach for Chemical Education in Chemistry Lab. *American Journal of Chemistry*. 6(2): 55-59
- [10] Zarnegar, Z., S. javad., and SH. ramezan. 1390. Planning Organization for Research and Education: Green Lab, the desire to action. Article presented, At the seventh National Conference of Chemical Education, Zanjan, Iran. [In Persian]
- [11] Andraos, J., and P. Dicks. Andrew. 2012. Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices. *Chem. Educ. Res. Pract* 13: 69–79.
- [12] Cann.c, Michael. 2009. *Green chemistry education: Greening the chemistry lecture*. Acs symposium series. American chemical society. Washington Dc: Oxford University Press.
- [13] Kapassa, M., K. Abeliotis., and M. Scoulllos. 2013. Knowledge, beliefs and attitudes of secondary school students on renewable feedstocks/biomass: the case of Greece. *Published online: Springer Science* 15:101–116.
- [14] Cann.c, Michael. 2009. *Green chemistry education: Greening the chemistry lecture*. Acs symposium series. American chemical society. Washington Dc: Oxford University Press.
- [15] Habibi, L., 1390. Identify the location of Green Chemistry the curriculum developed countries, In order to provide appropriate The school's iran curriculum, M.Sc Thesis, Shahid Rajaeec Teacher Training University. [In Persian]