

توسعه تفکر سیستمی با استفاده از یک فعالیت گروهی

محمداسماعیل نیکفر^{۱*}

۱- دکترای تخصصی ریاضی محض، دبیر ریاضی، آموزش و پرورش منطقه ۴، تهران، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات (m.s.nikfar@gmail.com)

خلاصه

تفکر سیستمی برای پرداختن به چالش‌های پایداری جهانی مورد نیاز است اما فرصت‌هایی برای توسعه این مجموعه مهارت‌ها به طور معمول در برنامه‌های درسی شیمی گنجانده نشده است. برنامه‌ریزی مجدد اغلب یک فرآیند طولانی است. موانع زیادی وجود دارد که تلاش‌ها را برای معرفی تفکر سیستمی در آموزش شیمی کند می‌کند. در مورد این که چه مهارت‌های تفکر سیستمی را می‌توان با یک مداخله مستقل در آموزش عالی توسعه داد یا در مورد این که آیا چنین تمرینی ارزشمند است، اطلاعات کمی در دست است. ما مصنوعات دانشجویی را که در طی یک فعالیت گروهی روی شیمی و تأثیراتی که معمولاً در شوینده‌های لباس‌شویی استفاده می‌شود، برای شواهدی مبنی بر درگیری با مهارت‌های تفکر سیستمی و دیدگاه عمل‌پایدار بررسی کردیم. اقتباسی از یک فعالیت مجازی که در قسمت خاصی از متن توضیح داده شده است، در یک دوره شیمی عمومی همزمان با مقدمه‌ای بر شیمی آلی معرفی می‌گردد. ما از ویژگی‌های تفکر سیستمی برای بررسی نقشه‌های مفهومی سیستم‌گرا و بازتاب‌های دانشجویان استفاده می‌کنیم. دانشجویان مهارت‌های تفکر سیستمی تحلیلی، پل زدن و کل‌نگری، به ویژه، شناسایی اجزای یک سیستم و مشاهده آن به عنوان کل، سازمان‌دهی روابط بین بخش‌ها، شناسایی مرزهای سیستم مربوطه و در نظر گرفتن نقش انسان‌ها استفاده نموده‌اند. با این حال، شواهد کمی از درگیری با ماهیت پویا سیستم‌ها وجود دارد. دانشجویان برای یادگیری شیمی سطح مولکولی ماده خاص ارزش قائل بوده‌اند. زیرا رویکرد مبتنی بر زمینه ارتباط شیمی را در زندگی آن‌ها برجسته می‌کند. آن‌ها نقش شیمی را در پایداری مورد تأیید قرار داده و انگیزه ایجاد تفاوت را اثبات نموده‌اند. این فعالیت با چارچوب تفکر سیستم‌های شیمیایی مطابقت داشته و هدف اصلی معرفی تفکر سیستمی در آموزش شیمی را محقق نموده تا شیمی را برای پایداری هدایت نماید.

کلمات کلیدی: آموزش عالی، شیمی آلی، پایداری، تحقیقات آموزش شیمی

۱. مقدمه

در قالب یک پژوهش جدید توسط (نیکفر، ۱۴۰۴) [۱] دوره‌های آزمایشگاهی محیطی منحصر به فرد را برای دانشجویان فراهم می‌آورد تا در فعالیت‌های دانشمندان شرکت کنند و مهارت‌های لازم را برای یک حرفه در علم توسعه دهند. یک پژوهش جدید توسط (نیکفر، ۱۴۰۴) [۲] در مورد کار بر روی پس‌زمینه کوانتوم بوده و مشکلات متعدد برای به‌کارگیری این پس‌زمینه در حوزه‌های متفاوت بحث شده و در نهایت به حضور موفقیت‌آمیز پس‌زمینه کوانتوم و دستاوردهای آن اشاره می‌نماید، ما به جدیدترین و مهم‌ترین پس‌زمینه در عصر حاضر، یعنی هوش مصنوعی، و به‌کارگیری آن برای شکل‌دهی یک دانشمند و به‌ویژه، یک ریاضی‌دان، در قالب یک پژوهش جدید توسط (نیکفر، ۱۴۰۴) [۳] اشاره می‌کنیم. برای ارجاع، (نیکفر، ۱۴۰۳) [۴] جدیدترین پژوهش‌های اخیر در زمینه استفاده از مدل‌های خبره و نوین در زمینه آموزش ریاضیات را معرفی نموده است. (نیکفر، ۱۴۰۳) [۵] در پژوهشی اخیر، به بررسی ابعاد مختلف استفاده از ابزار آزمایشگاه در آموزش شیمی می‌پردازد. همچنین (نیکفر، ۱۴۰۳) [۶] در تحقیقی که اخیراً منتشر شده است به بررسی استفاده از این ابعاد مختلف در آموزش فیزیک پرداخته است. همچنین برای بررسی انگیزش این پژوهش در مورد انجام تحقیق در مورد آموزش ریاضی، می‌توان به پژوهشی در مورد تأثیرات ریاضیات در دیگر رشته‌ها از جمله رشته و حرفه علوم کامپیوتر در مقطع آموزش عالی توسط (نیکفر، ۱۳۹۷) [۷] اشاره نمود.

تفکر سیستمی یک رویکرد شناختی برای تجزیه و تحلیل است [۸-۱۰]. این رویکرد برای توصیف و درک سیستمی تا حدی مورد نیاز است تا به وسیله آن، پیش‌بینی رفتار آینده و تأثیرگذاری بر سیستم به منظور تغییر مورد نیاز ممکن گردد. بنابراین تعجب‌آور نیست که تفکر سیستمی به عنوان یک شایستگی کلیدی برای توسعه خودآگاهانه در آموزش برای توسعه پایدار شناسایی شده است [۱۱، ۱۲]. رشته شیمی برای پرداختن به چالش‌های پایداری ضروری است. زیرا پایه مولکولی، پایداری را فراهم می‌آورد [۱۳]. این شکاف، الهام‌بخش برای رهبران فکری در این رشته بوده تا پروژه‌های تفکر سیستمی در آموزش شیمی را آغاز نمایند [۱۴، ۱۵]. اهداف گسترده‌تر در دستور کار بوده و در پروژه نیز بیان شده‌اند و عبارتند از

۲. برای پایداری

به طور خاص، هدف این است که نقش شیمی را در موضوعات پایداری پیش‌زمینه کند. از این طریق، به رشته‌های شیمی و غیرشیمی دست پیدا می‌کنیم که نمایانگر راه برای متخصصان آینده هستند که به وسیله آن، ممکن است مستقیماً از شیمی استفاده نمایند یا با شیمی‌دانان برای کار در راستای پایداری همکاری کنند.

۳. توسعه ظرفیت تفکر سیستمی از طریق آموزش شیمی

این امر شیمی‌دانان را مجهز می‌نماید تا فراتر از آن فکر کنند. کاربردهای فوری و با درنظر گرفتن پیامدهای بلندمدت، طراحی محصولات و فرآیندهای پایدارتر برای خدمت به همان هدف نیز تسهیل می‌گردد. چندین چالش برای این رویکرد شناسایی شده است. کمبود زمان برای اجراء فراتر از یک برنامه درسی از قبل طراحی شده و شامل زمان و تلاش مورد نیاز برای اصلاح کل برنامه درسی است. به علاوه، اطلاعات کمی در مورد میزانی که تفکر سیستمی را می‌توان از طریق مداخله با دامنه محدود در یک کلاس بزرگ شیمی عمومی پرورش داد، وجود دارد. برای دور زدن مانع برنامه درسی، ما ۴ ساعت

از زمان آزمایشگاهی را به یک تکلیف گروهی تفکر سیستمی در مورد مواد شوینده لباس شویی بدون تغییر در برنامه درسی مرتبط با درس نظری اختصاص می‌دهیم. این مداخله به طور مجازی در طول همه‌گیری انجام می‌گردد. این مشارکت بر طراحی خاصی به منظور ارزیابی نحوه نمره‌دهی به دانشجویان متمرکز است.

۴. طبقه‌بندی نتایج یادگیری

یافته‌ها، چالش‌های پیش‌روی دستیاران آموزشی را در نمره‌دهی ثابت زمانی که مهارت‌های تفکر سیستمی آن‌ها توسعه نیافته‌اند، برجسته می‌نماید. ما می‌زانی را که مداخله با الزامات تفکر سیستمی در شیمی مطابقت دارد، همان‌طور که پیشنهاد شده بود، بررسی نموده و مهارت‌های تفکر سیستمی را که برای این رویکرد ضروری تلقی می‌شد، استخراج می‌نماییم [۲۱-۱۶].

۵. بررسی ادبیات

چهار دسته کلی از چارچوب‌های مورد استفاده برای قرار دادن و هدایت تحقیقات آموزش شیمی عبارتند از سازنده‌گرا، هرمنوتیک، نظریه انتقادی و سازمانی. آن‌ها تفکر سیستمی را در میان چارچوب‌هایی دسته‌بندی می‌کنند که دانش شیمی را در کنار تفکر شیمیایی، استدلال مکانیکی، سه‌گانه شیمی و یادگیری سه‌بعدی سازمان‌دهی می‌کنند [۲۲]. در مفهوم‌سازی این‌که تفکر سیستمی می‌تواند در آموزش شیمی محقق گردد، پیشنهاد شده است که این رویکرد شامل ادغام رویکرد استدلال مکانیکی، تمرکز مبتنی بر زمینه، دیدگاه عمل پایدار در توسعه و کاربرد دانش شیمیایی و در پایان، شیوه‌ها و روش‌های تفکر است. چالش‌ها به عنوان مطالعه‌ای مناسب برای توسعه تفکر سیستمی در شیمی قلمداد می‌گردند. مفهوم‌سازی تفکر سیستمی در رشته‌های مختلف بررسی شده است تا یک تعریف عملیاتی برای زمینه آموزش شیمی ارائه نمایند. آن‌ها رویکرد ویژگی‌های ضروری برای طراحی یا اصلاح دستورالعمل درباره تفکر سیستمی را ارائه نموده‌اند. همچنین پیشنهاد شده است تا طراحی مداخلات آموزشی برای توسعه مهارت‌های تفکر سیستمی دانشجویان ایجاد گردد.

علاقه دانشجویان بین رشته‌ای برای تقویت همکاری و به اشتراک گذاشتن دیدگاه‌ها برای حل مشکلات پیچیده ضروری است. افزایش آگاهی از نیاز به تفکر سیستمی در مورد تفکر سیستمی، پایداری و شیمی سبز نیز گزارش شده است. رشته‌های غیر علمی با اجرای انواعی از فعالیت‌های تفکر سیستمی بر یادگیری مبتنی بر مشکل و پروژه تاکید دارند. برنامه توسعه، بازی کارتی، برنامه کامپیوتری اسکرچ، ابزار کمی و تکمیلی شیمی سبز، ترکیب سیستماتیک پرسش‌های ترکیبی و سیستمی، ترسیم حلقه‌های مفهومی سیستم‌گرا، نقشه‌ها و برنامه‌های افزودنی نقشه‌برداری مفهومی سیستم‌گرا، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب نموده‌اند. زیرا دانشجویان را در تفکر سیستمی درگیر می‌کنند. فعالیت‌هایی که اخیراً اجرا شده‌اند، نشان می‌دهند که نقشه‌برداری سیستم می‌تواند برای آموزش شیمی به طور معناداری استفاده گردد.

مشارکت دانشجویان به وسیله نقشه‌های سیستمی به آن‌ها اجازه می‌دهد تا ارتباط شیمی با سایر زمینه‌ها را تشخیص داده و در عین حال، از یادگیری در مورد ارتباط آن با مسائل علمی-اجتماعی و پایداری قدرانی نمایند.

قضاوت در مورد توسعه تفکر سیستمی دانشجویان در این مطالعات عموماً مبتنی بر توانایی دانشجویان برای اتخاذ

دیدگاهی جامع‌تر در مورد چگونگی ارتباط شیمی با زمینه‌های گسترده‌تر استوار است. برای پرداختن به فقدان تحقیق در مورد مهارت‌های تفکر سیستمی که دانشجویان از خود به راحتی نشان می‌دهند و مهارت‌هایی که نیاز به داربست واضح‌تری دارند، مهارت‌های تفکر سیستمی پایه دانشجویان داوطلب در مقطع کارشناسی، در حین ساختن نقشه‌های سیستمی در موضوعی مرتبط با تغییرات آب‌وهوا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مهارت‌ها براساس دستورالعمل‌های مداخله، اصطلاحات مورد استفاده، همپوشانی بین مهارت‌ها، و چالش ارزیابی یک مهارت خاص از تجزیه و تحلیل طراحی شده بودند. با این کار، دانشجویان تمام مهارت‌ها را کسب نمودند. اما مهارت‌های مرتبط در سطح تحلیلی بیش‌تر از سطح کل‌نگر کسب شده بودند.

۶. ویژگی‌های تفکر سیستمی از جدول شیمیدان

تشخیص یک سیستم به عنوان یک کل و نه فقط به عنوان مجموعه‌ای از قطعات، بررسی روابط بین بخش‌های یک سیستم و این‌که چگونه این اتصالات به رفتارهای چرخه‌ای سیستم منجر می‌گردند.

شناسایی متغیرهایی که باعث رفتارهای سیستم می‌شوند. از جمله، رفتارهای اضطراری منحصربه‌فرد در سطح سیستم، بررسی چگونگی تغییر رفتارهای سیستم در طول زمان، شناسایی تعاملات بین یک سیستم و محیط آن از جمله اجزای انسانی محیط می‌باشد.

یک متفکر سیستمی در آموزش شیمی بایستی هدف‌های رفتاری فوق را محقق نمایند.

در شیمی، آن‌ها توضیح می‌دهند که چگونه می‌توان هر کدام از موارد را هنگام نگاه تحلیلی به بخش‌هایی از سیستم و به شکل کل‌نگری در زمان در نظر گرفتن سیستم به عنوان یک کل تجلی نمود.

معرفی این رویکرد در موقعیت‌های مختلف، فرصتی را برای دانشجویان فراهم می‌آورد تا دانش و مهارت‌های تفکر سیستمی خود را توسعه داده، استفاده نموده و به موقعیت‌های روزمره منتقل نمایند [۲۳]. دانشجویان، به ویژه رشته‌های غیرشیمی، زمانی که ارتباط این رویکرد را با جامعه مدرن تشخیص دهند، انگیزه بیش‌تری برای یادگیری یک رشته به دست می‌آورند [۲۴-۲۶]. رویکرد استدلالی خطی یا افزایشی نیز برای دعوت ارزشمند است [۲۷-۲۹].

مهارت‌های خاصی که نیاز به توسعه بیش‌تر دارند، اتصال مفاهیم ماکروسکوپی با پدیده‌های سطح مولکولی، به تصویر کشیدن روابط استدلالی و دایره‌ای درون سیستم‌ها و توصیف تأثیرات انسانی بر سیستم هستند [۳۰]. علاوه بر این، مهارت‌های مرتبط با رفتارهای پویا به طور کلی فاقد ملاک‌های قبلی هستند [۳۱] ولی نشان می‌دهند که دانشجویان ممکن است دانش قبلی کافی برای مقابله با سیستم‌های دینامیکی پیچیده در شیمی نداشته باشند [۳۲-۳۵]. با وجود اطلاعات در مورد مهارت‌ها، مطالعات شامل گروه‌های کوچکی از دانشجویان بودند [۳۶-۳۹]. شواهد محدودی از آن‌چه می‌توان از طریق یک مداخله واحد در مقیاس به‌دست آورد، وجود دارد. برای پرداختن به این شکاف در تحقیق، مطالعه ما در مورد یک فعالیت واحد در مقیاس بزرگ که شامل نقشه‌برداری سیستم است، بوده که با سوالات تحقیقاتی زیر هدایت می‌گردد [۴۰-۴۳]. این پرسش‌ها توسط تکلیف و تفکر سیستمی برانگیخته شده است.

مهارت‌هایی که دانشجویان در مصنوعات خود نشان می‌دهند یا در مورد آن‌ها تامل می‌نمایند؟

این فعالیت تا چه حدی باعث نمایش تفکر سیستمی اصلی در مولفه‌های آموزش شیمی، استدلال مکانیکی، تمرکز مبتنی بر زمینه و دیدگاه کنش پایدار می‌گردد؟

ما از ویژگی‌های تفکر سیستمی در آموزش شیمی، به عنوان عدسی برای پاسخ به سوالات تحقیق یک و دو استفاده می‌کنیم [۴۴-۴۵].

۷. زمینه

این مطالعات در یک دانشگاه بزرگ تحقیقاتی و آموزشی نیز انجام پذیرفته است [۴۶-۴۸]. این مداخله در طول مولفه مقدماتی شیمی آلی اجرا شد اما در خدمت رشته‌های علوم بود که تنها ۵ درصد از آن‌ها در شیمی تخصص داشته‌اند. دو جلسه از شش جلسه آزمایشگاهی مورد استفاده برای نشان دادن نظریه تدریس شده در کلاس به این مداخله اختصاص یافت. این فعالیت با آموزش دستیاران جدید در تفکر سیستمی انجام‌پذیر است.

این مداخله بر روی سیستم‌های مرتبط با آلکیل بنزین سولفونات خطی، ماده شیمیایی که معمولاً در شوینده‌های لباس‌شویی یافت می‌گردند، متمرکز است. این موضوع به زمینه دانشجویان مرتبط است. زیرا مهم‌ترین ماده نقش‌آفرین در صنایع شیمیایی محسوب می‌گردد.

کف‌کردن یک مشکل آشکار در سیستم آبی است که از یک سکونتگاه غیررسمی در یک شهرداری محلی خارج می‌شود. جوامع روستایی برای ماهی‌ها، شستن لباس‌هایشان، تامین آب آشامیدنی و آبیاری محصولاتشان به سیستم‌های رودخانه‌ای وابسته‌اند. برای این مطالعه، فعالیت آنلاین گزارش شده به صورت چهره‌به‌چهره و در مقیاس بزرگ‌تر اجرا شد. دانشجویان موظف بودند با تماشای سه ویدیوی تعاملی که مهارت‌های نقشه‌برداری مفهومی، توضیحی در سطح مولکولی برای این‌که چرا روغن و آب با هم مخلوط نمی‌شوند و شیمی و اثرات مواد شوینده بر اقتصاد، محیط زیست و جامعه را معرفی می‌نمود، برای جلسه حضوری آماده شوند. در جلسه اول، آن‌ها به گروه‌های خانگی و یک کاربرگ ساختاریافته موجود در اطلاعات پشتیبانی مرتبط شدند که به وسیله آن، درگیری با شیمی هدایت می‌شد. سوالی که دانشجویان را وادار می‌سازد تا عملکرد سطح مولکولی در حذف روغن [۴۹-۵۱] از پارچه را در نظر بگیرند. پس از آن، با استفاده از یک طرح اره مثبت‌کاری یک زیر سیستم متفاوت که شامل زیرسیستم اقتصادی که شامل اثرات اقتصادی مرتبط با ساخت است، زیرسیستم زیست محیطی متمرکز بر اثرات زیست محیطی استفاده توسط مصرف‌کننده و آخرین زیرسیستم، زیرسیستم اجتماعی بر تأثیرات استفاده که بر مردم متمرکز شده است. گروه‌های زیرسیستم یک کلیپ استخراج شده از آماده‌سازی را با محتوایی که مستقیماً به زیرسیستم آن‌ها مرتبط بود، دوباره تماشا نمودند. سپس از یک کاربرگ پرس‌وجو هدایت شده استفاده نمودند. برای تعمیق یادگیری خود و کشف شیمی سطح مولکولی مرتبط با زیرسیستم خود، به عنوان مثال، سنتز شیمیایی، کف کردن، اختلال دو لایه فسفولیپید، در طی پرسش‌هایی از دانشجویان خواسته می‌شد تا مفاهیمی را که ممکن است به بیش از یک زیرسیستم تعلق داشته باشند، شناسایی نمایند. سپس گروه‌ها با استفاده از نقشه مفهومی، آموخته‌های خود را ثبت می‌نمودند.

دو هفته بعد، گروه‌ها برای دومین جلسه حضوری خود بازگشتند و در گروه‌های اصلی خود گرد هم آمدند. هر دانشجو

با یک نقشه مفهومی از زیرسیستم‌ها و تکمیل نمودن سوال تکمیلی به اصلاح محتوای کلیپ‌ها پرداخت.

ادغام دانش زیرسیستم با استفاده از بیان مزایا و معایب در قالب استفاده از ساخت نمودارهای توسعه نقشه مفهومی سیستم‌گرا می‌باشد. در این جلسه، یک ویدیوی آموزشی سهم شیمی در توسعه ماده پایدارتر را برجسته نمود و اقداماتی را پیشنهاد کرد تا افراد بتوانند برای کاهش اثرات منفی بالقوه که استفاده از مواد شوینده دارد، به آن توجه نمایند [۵۲].

۸. روش‌شناسی

دو چارچوب تفکر سیستمی برای آموزش شیمی به منظور تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها بکار می‌رود.

۹. جمع‌آوری داده‌ها

یک مداخله با یک فعالیت از دوره برای همه دانشجویان ثبت‌نام شده ادغام شد. گروه‌ها، نمودارها را به عنوان بخشی از فعالیت خود ارسال نمودند. تمامی دانشجویان بازتاب پس از فعالیت را برای تثبیت یادگیری خود و ارائه بازخورد تکمیل نمودند. برای این امر، از پاسخ به دو سوال زیر استفاده شد.

از عمل چه آموخته‌اید؟ می‌توانید دانش، درک یا مهارت خاصی را ذکر کنید و آیا جالب یا مفید بوده است؟

چه جنبه‌هایی را در موارد عملی دوست داشته‌اید یا از آن لذت برده‌اید؟

سوالات دعوت‌کننده برای دریافت انتقاد سازنده طراحی شده و دانشجویان اذعان نمودند که تا حد زیادی از این فعالیت راضی هستند. با این حال، برخی از دانشجویان پیشنهاد کردند که می‌توان زمان بیش‌تری را برای این فعالیت اختصاص داد [۵۳]. آن‌ها بایستی با آزادی کامل انتخاب گروه‌هایشان را انجام دهند. آن‌ها تمایل دارند که یک تجربه آزمایشگاهی برای حمایت از یادگیری شیمی مبتنی بر مواد شوینده داشته باشند. پس از این نظرات آزاد در مورد روند کار و پیشنهادات برای بهبود کار، تعداد کمی پویایی گروهی را منفی تجربه نموده‌اند اما برخی درخواست افزایش تعداد دستیاران آموزشی را داشتند [۵۴]. از آنجایی که این نوع از نقدها و پاسخ به روند تحقیقات ما کمکی نمی‌کند، در تجزیه و تحلیل ما برای این مطالعه منظور نشد. با این حال، ما از این نوع بازخوردها و پاسخ‌ها برای بهبود و گسترش فعالیت‌ها در آینده، به عنوان منبعی برای تدبیر و تعمق استفاده نموده تا به کمک آن افقی روشن را برای تحقیقات خود پدیدار نماییم.

اهداف تحقیق قبل از شروع مداخله برای دانشجویان توضیح داده شد و از دانشجویان دعوت به عمل آمد تا با استفاده از ارسال‌های فردی و گروهی برای تجزیه و تحلیل کمک‌رسان باشند. آن‌ها در پایان مداخله، رضایت خود را تایید نمودند [۵۵].

خلاصه معیارهای مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل تفکر سیستمی می‌تواند به صورتی ملموس بیان گردد. زنجیره استدلال روابط متعددی را بیان می‌کند که می‌تواند یک رفتار چرخه‌ای را توضیح دهد. پیش‌بینی تاثیر و بارتاب بر چند زیرسیستم مشهود، تاثیر انسان بر چند زیرسیستم گزارش شده، اضافه شدن نفوذ انسان در چند زیرسیستم خاص از جمله

بخش‌های کل‌نگر هستند. معیارهایی از قبیل روابط علت و معلولی که بازتاب مشهود دارند، توضیح مبنی بر این‌که چگونه این متغیرها بر رفتارها تاثیر می‌گذارند، گزارش با صراحت که چگونه چند مفهوم در طول زمان تغییر می‌کنند، در دسته پل‌زدن قرار می‌گیرند. چند مفهوم را در سطح زیرسیستم ذکر کرده و سپس تجزیه و تحلیل قطعات یک سیستم را گزارش دهید. سپس متغیرها را در هر رفتار اضطراری به همراه بازتاب و اشاره صریح به وابستگی زمان را به همراه بازتاب‌ها منعکس نمایید. این قبیل از رفتارهای رفتاری را می‌توان در دسته تحلیلی جای داد.

برای بررسی دومین سوال تحقیق خود، بازتاب‌ها را برای استدلال مکانیکی، ارجاع به شیمی مبتنی بر زمینه و دیدگاه کنش پایدار کدگذاری کرده و سپس از کدهای مشتق‌شده استفراپی استفاده نموده تا نشان دهیم که دانشجویان، درگیر استدلال مکانیکی در طول فعالیت بوده‌اند، از ارتباط شیمی قدردانی کرده‌اند، تصدیق نموده‌اند که مواد شیمیایی ممکن است هم مزایا و هم معایب داشته باشند که باید با هم در نظر گرفته شوند، اهمیت پایداری را نشان می‌دهند و به اهمیت پایداری عمل می‌کنند.

در گزارش یافته‌ها، پاسخ‌های دانشجویان و گزیده داده‌های ارائه شده، به همان شکلی که توسط دانشجویان بیان شده‌اند، نگهداری می‌گردند.

۱۰. یافته‌ها

براساس تکلیف، دانشجویان چه مهارت‌های تفکر سیستمی را نشان داده یا منعکس نموده‌اند؟

یک سیستم را به عنوان یک کل، نه فقط به عنوان مجموعه‌ای از قطعات تشخیص داده می‌گردد. ویژگی تفکر سیستمی، توانایی شناسایی اجزای یک سیستم، بررسی و درک سازمان آن‌ها و مشاهده سیستم به عنوان یک کل است. همه گروه‌ها به وضوح مهارت‌های تحلیلی را با افزودن بسیاری از مفاهیم جدید خود به شیوه‌ای منطقی نشان دادند. علاوه بر این، دانشجویان ملزم به تجزیه بخش‌ها، تجزیه و تحلیل ایده‌ها و تشریح کردن، می‌باشند. یادگیری این مطلب که فکر کردن منطقی به یک مشکل مهم است، می‌تواند هر مشکل اصلی را به مراحل بسیار ساده‌تر و کوچک‌تر تقسیم نماید. سطوح خوشه‌بندی از سه منظر کدگذاری می‌گردند: مفاهیم شیمی در مقیاس‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی، تاثیرات ناشی از مواد شیمیایی با برجسب اولیه و همچنین ملاحظات پایداری مرتبط با شیمی. با وجود این‌که به طور کلی، گروه‌ها شیمی ماکروسکوپی و تاثیرات اولیه را بر روی موارد خاص نشان دادند اما سطوح مختلف خوشه‌بندی را در بازتاب‌های خود نشان دادند. با این وجود، آن‌ها بیش‌تر در مورد تاثیرات اظهارنظر نموده‌اند.

تعیین که آیا دانشجویان می‌توانند سیستم را به عنوان یک کل واحد به تنهایی از طریق رویکرد درنظر بگیرند، ممکن نبود.

با این حال، آن‌ها مشارکت در این جنبه را در بازتاب خود آشکار نمودند به طوری که آن‌ها یادگیری برای دیدن تصویر بزرگ‌تر را به عنوان یک مزیت برای فعالیت ذکر نموده یا هدف فعالیت تفکر سیستمی را در نتیجه درک بهتر از خطرات و مزایای شیمی به واسطه حرکت به سمت پایداری عمومی در نظر گرفته‌اند. دو گروه شواهد روشنی از مهارت‌های تفکر را کل‌نگر ارائه کردند. آن‌ها واقعا از تجربه درک این‌که چگونه زیرسیستم‌ها مرتبط هستند، لذت برده‌اند و خاطرنشان نمودند

که بایستی به عنوان یک سیستم در نظر گرفته شده و بدین صورت منزوی نباشند. بدین ترتیب، آن‌ها به سادگی تصویر بزرگ‌تر یا بخش‌هایی از یک سیستم را که به عنوان نشانه‌ای جزئی از مهارت‌های تفکر کل‌نگر کدگذاری شده بود، ذکر می‌کنند.

روابط بین بخش‌های یک سیستم و این‌که چگونه این اتصالات به رفتارهای چرخه‌ای سیستم منجر می‌گردند، قابل بررسی و الزام به انجام مطالعه روی آن وجود دارد. در حالی که الزام اول شامل سازماندهی ساختاری اجزا برای تشکیل کل است، الزام دوم، روابط بین اجزا را پیشنهاد می‌کند. ما ویژگی تفکر سیستمی را شامل همه روابط دانسته و به به مواردی که به رفتارهای چرخه‌ای کمک می‌کنند، بسنده و اکتفا نمی‌نماییم.

انواع ارتباطات را هنگام کدنویسی برای مهارت‌های تحلیلی و انواع استدلال را برای ارزیابی مهارت‌های پل زدن و تفکر کل‌نگر بایستی در نظر بگیرید. ما مهارت‌های پل زدن را شامل روابط استدلالی پیچیده‌تر بین مولفه‌ها و مهارت‌های تفکر کل‌نگر در نظر گرفته و با استدلال مبتنی بر دلایل چند جزئی به نمایش رویکرد می‌پردازیم. بنابراین، از زنجیره‌ای از استدلال برای توضیح رفتارهای چرخه‌ای بالقوه در سیستم استفاده می‌کنیم. بعضی از گروه‌ها، ارتباطات غیرمستقیم، تعدیل‌شده و دایره‌ای را برای نشان‌دادن درگیری واضحی با مهارت‌های تفکر سیستمی استفاده می‌نمایند. در حالی که بازتاب‌ها، انواع روابط را متمایز نکرده‌اند اما برخی به یادگیری در مورد اهمیت نقشه‌های مفهومی در خلاصه کردن و پیوند مفاهیم مختلف با یکدیگر برای تشکیل تصویر بزرگ‌تری که به راحتی قابل درک است، پرداخته‌اند. در مورد بازتاب‌ها، گزاره‌های زیادی بوده‌اند که استدلال رابطه‌ای را با عبارات پیوندی مانند تاثیرها، علل و پیامدها مشخص نموده و حتی برخی از آن‌ها شامل یک جهت مانند کاهش، جلوگیری و مسدود هستند. این استدلال نشان‌دهنده پلی برای مهارت‌های تفکر جامع‌تر تلقی گردیده و از این رو به عنوان شواهدی از مهارت‌های پل‌زدن قلمداد می‌گردد. بازتاب‌ها، قدردانی از روابط را بدون نشان دادن علل بالقوه چرخه‌ای تایید می‌کنند.

رفتارها نیز در بازتاب‌ها، اثری از یادگیری در مورد اثرات مواد شوینده بر محیط زیست، جامعه، اقتصاد و این‌که چگونه این بخش‌های مختلف بر یکدیگر تاثیر می‌گذارند، می‌باشند. البته برخی از رفتارها، مهارت‌های تفکر کل‌نگر را تایید می‌کنند. با این وجود، آن‌ها نمایش واضحی از استدلال مبتنی بر دلایل چند جزئی را جلوه‌نمایی می‌نمایند.

با توجه به پیچیدگی شناختی و چالش‌های بازنمایی برای به تصویر کشیدن استدلال چند جزئی، تعجب‌آور نیست که این مهارت کم‌تر به نمایش گذاشته می‌گردد.

متغیرهایی که در رفتارهای سیستم دخیل هستند، از جمله، رفتارهای اضطراری منحصربه‌فردی در سطح سیستم نام دارند. تشکیل میسل و کف کردن به عنوان رفتارهای نوظهور در سطح زیر میکروسکوپی در شیمی و در قسمت آموزش گنجانده می‌گردند. با این حال، با توجه به پیچیدگی ذاتی مداخله، اصطلاحات ظهور به صراحت آموزش داده نشده‌اند. با این وجود، ما علاقه‌مندیم که مشاهده کنیم که آیا هر یک از متغیرهای متعدد یا مهارت‌های تحلیلی را می‌توان به گونه‌ای به تصویر کشید که به یک ویژگی اضطراری یا مهارت‌های پل‌زدن کمک نمایند. ما مهارت‌های تفکر کل‌نگر را ارزیابی نکردیم زیرا دانشجویان واکان لازم را برای شناسایی یا توضیح رفتارهای اضطراری نداشته‌اند. در گفت‌وگوها، بدیهی است که صرفاً نشان دادن یک ویژگی اضطراری را نمی‌توان به عنوان درک مفهوم ظهور تفسیر نمود. یک ویژگی یا رفتاری که از متغیرها در یک سطح خوشه‌بندی پدیدار می‌گردد، زمانی است که سطحی از خوشه‌بندی به مفهومی ساده تبدیل می‌گردد.

[۵۶]. کف کردن، اگرچه یک ویژگی نوظهور است، توسط دانشجویان به عنوان یک مفهوم ساده در سطح کلان سیستم رودخانه تلقی می‌گردد. درگیری واضح این گروه با مهارت پل زدن در استدلال مبتنی بر تاثیر متغیرهای صادرات، سود و مشاغل بر رشد اقتصادی را می‌توان به عنوان یک ویژگی نوظهور نشان داد.

مورد بعدی را می‌توان در قالب بررسی چگونگی رفتارهای سیستم در طول زمان و تغییر آن مطرح نمود. سیستم‌های پویا در طول زمان تغییر می‌کنند، به دلیل تغییرات در اجزاء و روابط آن‌ها، مشاهده و تجزیه و تحلیل تغییرات رفتار گذشته می‌تواند منجر به شناسایی متغیرهایی گردد که بر رفتار یک سیستم تاثیر می‌گذارند [۵۷].

درک تاثیر این عوامل استدلالی به پیش‌بینی رفتار آینده سیستم منتهی شده، توصیف و توضیح تاثیر متغیرهای استدلالی، مهارت‌های پل زدن را تشکیل داده و استفاده از این الگوها را برای پیش‌بینی رفتار سیستم آینده، یک مهارت تفکر کل‌نگر است. دانشجویان وظیفه دارند تا ایده‌ها و مفاهیم خود را براساس یکی از دو سناریوی مرتبط با سیستم گسترش دهند.

بنابراین گسترش در این رویکرد، مربوط به یکی از این سناریوها به عنوان پیش‌بینی و درگیری دانشجو با مهارت‌های تفکر کل‌نگر تعبیر شده است. آن‌ها می‌توانند پیش‌بینی کنند که چگونه کربن دی‌اکسید منتشر شده در طول تولید می‌تواند بر الگوهای آب‌وهوای جهانی تاثیر بگذارد یا چگونه رودخانه‌هایی با غلظت بالا می‌توانند بر منابع آب سطحی تاثیر بگذارند. فراتر از این بحث، به دانشجویان آموزش داده نشد که نمایش دهند که چه متغیرهایی می‌توانند در طول زمان تغییر نمایند یا این‌که این تغییرات چگونه بر سیستم تاثیر می‌گذارند. این پروژه با متغیرهای زیادی پر شده بود که می‌توانستند در طول زمان تغییر کنند. با این حال، از آنجایی که دانشجویان برای نشان دادن متغیرهای وابسته به زمان یا تغییرات وابسته به زمان ترغیب نشده بودند و همچنین زمان به صراحت ذکر نشده بود، ما برای مهارت‌های تحلیلی و پل زدن در تجزیه و تحلیل کدنویسی ننموده‌ایم. هیچ ارجاعی به متغیرها و تغییرات در طول زمان برای هیچ یک از گروه‌ها وجود نداشت.

گروه‌ها، توسعه را برای هر یک از سناریوها در پروژه لحاظ نمودند. حتی برخی از گروه‌ها فقط عموماً پیش‌بینی خود را به تاثیرات بر یک زیرسیستم محدود می‌کنند که نشان‌دهنده نمایش جزئی مهارت‌های تفکر کل‌نگر است.

زیرسیستم محیطی، همچنین فقر را که یک تاثیر اجتماعی است، شامل می‌گردد اما این تاثیر را در زیر سیستم اجتماعی قرار نمی‌دهد. وقتی دانشجویان تاثیرات دو یا چند زیرسیستم را پیش‌بینی می‌کنند، این تاثیرات به عنوان درگیری واضح با مهارت‌های تفکر کل‌نگر تفسیر می‌گردد. در دریافت بازتابی از این مطالعه، شواهد بیشتری ارائه شد که مداخله آن‌ها را ملزم نمود تا پیش‌بینی نمایند. سپس آن‌ها بیان می‌کنند که این اقدامات عملی توانست ذهن آن‌ها را باز نموده که چگونه این محصولات، اگر چه مفید هستند، اما می‌توانند آسیب بسیار بیشتری به محیط زیست به عنوان یک آلاینده سیستم آبی و در نتیجه زندگی دریایی و گیاهی و همچنین جوامع کوچک وارد نمایند.

تعاملات بین یک سیستم و محیط آن، از جمله اجزای انسانی محیط را در این مطالعه شناسایی کرده‌ایم. در شناسایی یک سیستم برای مطالعه، لازم است مرزهای سیستم را با پرسیدن این‌که چه اطلاعاتی مورد بررسی قرار خواهند گرفت، مشخص نمود. سیستم‌های پیچیده بزرگ احتمالاً شامل اجزای تودرتوی کوچک‌تر هستند که سیستم‌هایی با مرزهای خود در سطح متفاوتی از سازمان قرار می‌گیرند. به این اجزای تودرتو زیرسیستم می‌گویند. تعریف یک سیستم، مرزها و

شناسایی زیرسیستم‌ها به فرد اجازه می‌دهد تا بر تعاملات مجموعه‌ای از بخش‌های درون یک سیستم و نحوه تأثیرگذاری سیستم بر سایر سیستم‌ها تمرکز نماید. برای این ویژگی، مهارت‌های تحلیلی را به عنوان شناسایی و توصیف مرزهای سیستم مناسب، مهارت‌های پل زدن به عنوان در نظر گرفتن تأثیرات سیستم بر سایر سیستم‌ها و مهارت‌های تفکر کل‌نگر را به عنوان در نظر گرفتن تأثیر فعلی و آینده انسان‌ها بر رفتارهای سطح سیستم توصیف می‌کنند. از آنجایی که سیستم بزرگ است، مناسب است که این ویژگی را از نظر زیرسیستم‌ها بررسی نموده، مرزهای زیرسیستم مناسب را مشخص کرده و تأثیرات یک زیرسیستم را بر دیگری در نظر بگیریم. قبل از ساخت رویکرد، گروه‌های خانگی موظف شدند، مرزهایی را به رویکرد جزئی اضافه نمایند تا زیرسیستم‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را مشخص نموده و مرزهایی را در اطراف گروه‌های زیرسیستم اضافی ترسیم کنند. دستورالعمل‌های ساخت رویکردها برای ترسیم مرزهای زیرسیستم پیشنهاد کمتری داشت اما این الزام در کار ارزیابی ارائه شده تعبیه می‌گردید. گروه‌ها به سادگی وظیفه داشتند، رویکرد خود را ایجاد نموده تا دانش سیستم خود را نشان دهند و به وسیله آن، بتوانند از یک نسخه جدید از رویکرد جزئی ارائه شده به عنوان نقطه شروع استفاده کنند. این رویکرد باعث تعامل با زیرسیستم‌ها شده و نشان می‌دهد که مفاهیم اضافه شده زیرسیستم با مرزهای زیرسیستم، نشان دادن روابط واضح در درون و بین زیرسیستم‌ها و سازماندهی سناریوی پیش‌بینی آن‌ها بین زیرسیستم‌ها و ایجاد زیرسیستم‌های جدید در صورت لزوم، ارزش‌گذاری خواهند شد.

شواهد گسترش مهارت‌های تفکر مرتبط با این ویژگی به طور قابل‌توجهی بارز هستند. هفت گروه با ترسیم زیرسیستم‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی بر روی رویکرد خود، مرزهای معقولی را معرفی نمودند که تا حدی مهارت‌های تحلیلی را نشان می‌دهند. گنجاندن فقر در زیرسیستم زیست محیطی، یک مرز معقول در نظر گرفته نشده است. یک گروه، یک مرز زیرسیستم جدید به زیرسیستم صنعتی اضافه کرده و علاوه بر نشان دادن سه زیرسیستم اصلی، کاربرد واضحی از مهارت‌های تحلیلی را نیز نشان داد. البته چند زیرسیستم نیز نام برده شده که نشان‌دهنده بخشی از دیدگاه سیستمی است. تعداد اتصالات بین زیرسیستم‌ها برای پی بردن به میزان درگیری در مهارت‌های پل زدن استفاده می‌گردد.

تا چه حد فعالیت نمایشی، تفکر سیستمی اصلی در آموزش شیمی، مولفه‌های استدلال مکانیکی مبتنی بر زمینه تمرکز و چشم‌انداز اقدام پایدار ایجاد می‌نماید؟

کدهای استقرایی اولیه عبارتند از موضوعات پایداری، مالکیت و ارتباطات شیمی. این کدها با دو مورد از اجزای اصلی تفکر سیستمی به نام‌های چشم‌انداز کنش پایدار و تمرکز مبتنی بر زمینه طنین‌انداز می‌گردند. برای توسعه استدلال مکانیکی در دانشجویان، بایستی آن‌ها یاد بگیرند که در مورد فرآیندها چگونه فکر کنند تا بتوانند به ایجاد تعاملات علت و معلولی کمک نمایند.

اگرچه سوالات نیازی به دانشجویان نداشته و یا حتی آن‌ها را تحریک نمی‌کند، برای بازتولید این یادگیری، بازتاب‌های بسیاری نشان داد که دانشجویان از آموختن آن‌چه در یک رویداد اتفاق می‌افتد، قدردانی کردند. براساس طراحی پرس‌وجوی هدایت‌شده روی سطح مولکولی، دانشجویان با این فرآیندها درگیر شده و در پاسخ به دستورات و پرسش‌های از قبیل از کدام موارد برای شما لذت‌بخش است؟ چه موضوع جدیدی یاد گرفته‌اید؟ قدردانی خویش را در قالب کلمات ابراز نمودند. آشنایی با خواص مواد شوینده، نقش مهمی در از بین بردن کثیفی روی لباس ایفا می‌نماید. زیرا توضیح می‌دهد که چگونه مواد شوینده خود را به اشکال مختلف تبدیل می‌کنند تا زمانی که به نقطه‌ای برسند که بتواند کثیفی را پاک نماید.

درک نحوه عملکرد مواد شوینده از دیدگاه نظریه و شیمیایی بسیار مفید است. نحوه و منبع تولید از اطلاعات مفید هستند. از نقطه نظر بازتابی، دانشجویان در مورد یادگیری شیمی که نتایج ماکروسکوپی در سنتز یا عملکرد سورفکتانت‌ها را توضیح می‌دهد، نظر دادند.

در مبحث تمرکز مبتنی بر زمینه می‌توان موضوعات جدیدی بیان نمود. یکی از اهداف طراحی مداخله این بود که دانشجویان می‌توانند در ارتباط با شیمی در جامعه درگیر شوند. و قدردانی از شیمی را پرورش دهند. مواد مداخله از طریق نمونه‌هایی که از صنایع شیمیایی محلی، آلودگی یک سیستم رودخانه‌ای نزدیک، پیوندهایی با همه‌گیری کوید اخیر، تحقیقات در مورد تأثیرات بر جمعیت روستایی محلی و سلامت عمومی انسان‌ها به دست آمده است، از نظر محتوایی مرتبط ساخته شده‌اند. تجزیه و تحلیل بازتاب‌های دانشجویان نشان داد که آن‌ها برای یادگیری شیمی در زمینه، ارزش قائل هستند. نظرات بازتابی نشان می‌دهد که آن‌ها اکنون متوجه شده‌اند که شیمی فراتر از کلاس درس یا آزمایشگاه به کار می‌رود و شامل محاسبات و واکنش‌ها بیش‌تری می‌گردد که بر زندگی روزمره، دنیای واقعی و بسیاری از حوزه‌هایی که قبلاً از آن‌ها بی‌اطلاع بودند، تأثیر می‌گذارد. می‌توان گفت که ارتباط شیمی با زمینه مورد توجه قرار گرفته است.

در موضوع چشم‌انداز اقدام پایدار، دیدگاه کنش پایدار، توانایی تجزیه و تحلیل انتقادی تعاملات پیچیده بین سیستم‌های اجتماعی-محیطی و مشارکت در پایداری جهانی را با انجام اقدامات مسئولانه تعریف می‌گردد. برای توسعه چنین دیدگاهی، دانشجویان باید تشخیص دهند که پایداری مهم است یا هدفی که باید دنبال و اعمال نمایند. بازتاب‌ها نشان داد که آن‌ها از اهمیت در نظر گرفتن تأثیرات و ارتباط متقابل شیمی برای پایداری قدردانی نموده‌اند. از بازتاب‌های نمونه می‌توان به ادعایی اشاره نمود که درباره این که مردم چگونه می‌توانند زندگی پایدارتری داشته باشند، مطلب بیش‌تری آموخته‌اند. در ادعای دیگری، درباره استفاده روزمره از شیمی و تأثیر آن بر اقتصاد، جامعه، محیط‌زیست و همچنین پایداری منابع خاص یادگیری صورت گرفته است. در مورد تولید پایدار، اثرات متفاوت بر محیط زیست، جامعه و اقتصاد و نیاز به اجازه دادن به محققان برای یافتن محصولات پایدارتر یادگیری انجام پذیرفته است. بازتاب دانشجویان نشان‌دهنده آگاهی در حال رشدی است که پایداری مهم است و نیاز به تفکر در مورد تأثیرات شیمی برای پایداری وجود دارد. در توسعه دیدگاه اقدام پایدار، دانشجویان باید بیاموزند که خطرات فعالیت شیمیایی در نظر گرفته شود. در کنار مزایای محصولات شیمیایی، ملاحظات خاصی وجود دارد که کاربرد بازتابی مهمی را از درک شیمی در تصمیم‌گیری برای طراحی محصولات و فرآیندهای پایدارتر نشان می‌دهد. در مورد محدودیت‌ها و مزایای شیمی، بازتاب‌هایی را می‌توان به عنوان نمونه یاد کرد. برای درک این که چگونه می‌تواند یک مزیت بزرگ برای جامعه و اقتصاد باشد اما در عین حال مضرات زیادی برای محیط‌زیست داشته باشد، سنجیدن تمام مزایا و معایب جالب خواهد بود. در مورد این که چگونه عادات روزانه ما می‌تواند بر محیط‌زیست تأثیر بگذارد و منجر به گرم‌شدن کره زمین شود، یادگیری صورت گرفته است و با این نوع از یادگیری می‌توان سعی نمود از مسائل اجتناب ورزید [۵۸،۵۹].

هدف نهایی آموزش افراد، نگاه کردن به جهان با چشم‌انداز اقدام پایدار، مشارکت در تصمیم‌گیری مبتنی بر ارزش و ایجاد انگیزه برای اقدام در جهت پایداری عمومی است. برای دستیابی به این هدف، تفکر سیستمی، همان طور که در بالا ارزیابی شد، باید توسعه یابد. اما دانشجویان کلاس‌های شیمی نیز باید احساس مالکیت یا تمایل به حل مشکلات را افزایش دهند. کد نگرش مالکیت که از داده‌ها پدیدار شده است، زمانی اعمال می‌گردد که دانشجویان در مورد این که چگونه برای کمک به آینده‌ای پایدارتر عمل کنند، تعمق و تدبیر انجام دهند. نمونه‌هایی از تغییرات رفتاری موردنظر برای پایداری در

نتیجه مداخله بیان می‌گردند. برخی ابراز تمایل کردند که نحوه استفاده از مواد شوینده لباسشویی را تغییر دهند یا از گزینه‌های سازگار با محیط زیست برای پایدارتر شدن، استفاده نمایند. برخی دیگر به طور کلی به توجه بیش‌تر هنگام استفاده از محصولات شیمیایی اشاره دارند. بازتاب دیگری اشاره دارد که این اقدامات عملی به دانشجو دلیلی ارائه می‌دهد تا استفاده خود از محصولات مبتنی بر مواد شیمیایی را ارزیابی نموده، جایگزین‌هایی برای بهبود زندگی یافته و بتوان از آن‌ها برای بهبودی پایداری به طور کلی بهره برد. گزینه‌های دیگری نیز وجود دارد که توسعه نگرش مالکیت را نشان می‌دهد.

این یافته‌ها نشان می‌دهد که تمرکز مبتنی بر زمینه و دیدگاه اقدام پایدار در اولین خط از هر پژوهشی قرار دارد. گزینه‌های بازتاب، نشان‌دهنده نگرش در حال توسعه هستند اما این نگرش در مورد مالکیت مسئله‌ساز و مشکل است.

تجربه دانشجویان و این که آن‌ها برای یادگیری در مورد فرآیندهای شیمیایی در سطح مولکولی ارزش قائل هستند، از موارد الزام‌آور برای درک استدلال مکانیکی محسوب می‌گردد. در حالی که تمامی دانشجویان در مورد هر سه مولفه تفکر سیستمی اظهارنظر ننموده‌اند، طراحی مداخله شامل مولفه‌های اصلی، ارجاعاتی به آن‌ها و تاملات دانشجویان در مورد تجربه یادگیری آن‌ها قلمداد می‌گردد.

۱۱. بحث

مداخله‌ای برای پرداختن به پنج ویژگی تفکر سیستمی برای آموزش شیمی طراحی شده است. این برنامه در یک دوره بزرگ برای شیمی عمومی سال اول برای رشته‌های علوم به همراه آموزش دستیاران جدید برپایه تفکر سیستمی اجرا شد. در این زمینه، مشاهده سیستم به عنوان یک کل، مستلزم تفکر در مورد چگونگی سازمان‌دهی بخش‌ها، ارتباطات و ترسیم مرزهای زیرسیستم و روابط بین سیستم‌های مرتبط است. در یک محیط بزرگ کلاس شیمی عمومی، تفکر سیستمی احتمالاً تا حد زیادی بر روی اجزای سیستم متمرکز است. اما کاربردی از آن برای ترغیب دانشجویان به گسترش اتصالات در یک محیط و گروه کوچک وجود دارد. گروه‌ها، عموماً شامل مفاهیم شیمی در سطح میکروسکوپی و تاثیرات آن‌ها می‌گردند اما مفاهیم در سطح میکروسکوپی حذف می‌گردند. این سطوح، مرتبط با مهارت‌های پل‌زدن هستند. همه گروه‌ها با نشان دادن گزاره‌های علت و معلولی یا پیوندهای چرخه‌ای، مهارت‌های پل‌زدن را نشان می‌دهند اما تنها پنج گروه استدلال علت و معلولی چند جزئی، نشان‌دهنده تفکر کل‌نگر هستند. نمونه‌های کمی از مفاهیم میکروسکوپی وجود داشته است. درواقع می‌توان گفت هیچ رابطه‌ای در سطح استدلال علت و معلولی چند جزئی در نقشه‌های سیستم دانشجویان گنجانده نمی‌گردد.

علی‌رغم آموزش تقلیل‌گرایانه [۶۰]، اکثر گروه‌ها، علاوه بر مهارت‌های تحلیلی بیش‌تر بر مهارت‌های تفکر کل‌نگر متمرکز بودند. در طراحی ما، نقش کنش انسان به طور ضمنی، مطابق با نسخه انسانی‌شده آموزش شیمی می‌باشد که به طور صریح درباره تفکر مهارتی کل‌نگر منعکس می‌گردد. همه گروه‌ها، هر دو بخش سیستم و زیرسیستم را به طور همزمان در نظر گرفته که مهارت‌های پل‌زدن نامیده می‌گردند.

ویژگی‌های مرتبط با متغیرهای علت و ظهور و همچنین متغیر در طول زمان کم‌تر در پروژه و بازتاب آن حضور دارند. این مهارت‌ها با تفکر مرتبه بالاتر، نیاز به تمرکز و تلاش مرتبط هستند [۶۱]. با توجه به بازه زمانی کوتاهی که برای

فعالیت اختصاص داده شده است، اهداف یادگیری برای این نوع از ویژگی‌ها محدود به توضیح فرآیندهای نوظهور خاص در شیمی و پیش‌بینی تاثیر یک سناریوی معین می‌باشند.

با این حال، هیچ شواهدی مبنی بر درگیری عمیق‌تر با مهارت‌های تفکر پویا یا درگیری با تفکر موقتی وجود ندارند. مهارت‌های مرتبط بایستی خودآگاهانه با زمان بیش‌تری توسعه یابند. زیرا الزام‌آور است که دانشجویان، واژگانی را برای مفهوم‌سازی ظهور و روش‌های به تصویر کشیدن فرآیندهای سیستم پویا، دریافت نمایند [۶۲].

کاوش دقیق مهارت‌های تفکر سیستمی که توسط مداخله استخراج می‌گردند، با مطالعه تجربه دانشجویان از مداخله با استفاده از مولفه‌های اصلی پیشنهادی در تفکر سیستمی برای شیمی تکمیل می‌گردد. بررسی دومین سوال تحقیق ما از طریق این چارچوب نشان می‌دهد که فرآیندهای شیمیایی مورد استفاده برای نشان دادن ظهور در سطح زیر میکروسکوپی هم درک و هم ارزش‌گذاری شده است. دانشجویان اظهار داشته‌اند برای این نوع از یادگیری ارزش قائل هستند و شواهدی ارائه می‌دهند که از رویکرد استدلال مکانیکی، استقبال می‌کنند. دانشجویان به طور صریح برای نشان دادن تفکر مکانیکی خود و مهارت‌های استدلال مکانیکی آن‌ها ارزیابی نشده‌اند، با این حال، بازتاب‌های آن‌ها نشان داد که از یادگیری در مورد آن‌چه در سطح مولکولی اتفاق می‌افتد و با جنبه‌هایی از رویکرد استدلال مکانیکی همسو است، قدردانی می‌کنند.

دومین مولفه اصلی، تمرکز مبتنی بر زمینه در طراحی مداخله ذاتی است. این مولفه توسط دانشجویان جذب می‌گردد. همان‌طور که در طی کدگذاری استقرایی آشکار شد، رمز شیمی ارتباط ایجاد می‌کند، از بازتاب دانشجویان پدید آمده تا آن‌ها بتوانند ارتباط و کاربردهای شیمی را در زندگی خود و در دنیای خود مشاهده نمایند. دانشجویان در سایر مطالعات اخیر بازخوردی مشابه با درک نقشی که شیمی می‌تواند در پرداختن به چالش‌ها و حل مشکلات ایفا کند، ارائه می‌دهند.

سومین مولفه، چشم‌انداز کنش پایدار تا حدی تحت مهارت‌های تفکر جامع‌تر که با کنش انسانی در سیستم سروکار دارد، بررسی می‌گردد. با این حال، دیدگاه اقدام پایدار شامل نگرش‌ها و مهارت‌ها می‌گردد. این مولفه، مضمون مناسبی را برای تطبیق کدهای اضطراری، موضوعات پایداری و مالکیت ارائه می‌دهد که نشان می‌دهد که دانشجویان برای پایداری ارزش قائل بوده و مسئولیت انجام اقدامات پایدار را بر عهده دارند. آموزش تفکر سیستم‌ها با استفاده از زمینه‌های محلی مرتبط، احتمالاً نگرش مالکیت را ارتقا می‌دهد [۶۳]. ایجاد یک چشم‌انداز کنش پایدار براساس داده‌های مربوط به مسئولیتی با عنوان شیمی در زمینه پایداری که به صراحت برای برانگیختن تفکر سیستمی توسعه داده نشده است، یک چالش بزرگ است. دیدگاه اقدام پایدار بایستی پرورش داده گردد تا بتوانیم نتیجه بگیریم که جنبه‌هایی از سه مولفه اصلی در تاملات دانشجویان وجود دارد که خلاصه‌ای مهم را از آن‌چه دانشجویان در تجربه یادگیری برای آن، ارزشش قائل بودند، نشان می‌دهد.

اگر مطالعه خود را فقط به پاسخ‌دادن به اولین سوال تحقیق خود محدود کنیم، این نوع از بینش‌ها را از دست می‌دهیم.

در حالی که بحث در مورد مسائل مربوط به پایداری می‌تواند باعث تضعیف و شکست افراد گردد، زیرا اهداف توسعه پایدار می‌تواند در هنگام مطالعه یک سیستم بسیار دست‌نیافتنی به نظر برسد، ارجاع به فرصت‌هایی برای اقدام شخصی در داده‌ها نشان می‌دهد که دانشجویان از طریق مداخله احساس قدرت می‌کنند [۶۴،۶۵]. گنجاندن ملاحظات پایداری در

یک درس شیمی می‌تواند تصویر این رشته را از یک مشکل به بخشی از راه‌حل تغییر دهد. برخی از دانشجویان دریافتند که یادگیری آن‌ها از تفکر سیستمی و احساس مسئولیت آن‌ها برای عملکرد پایدارتر، قابل انتقال به زمینه‌های دیگر است. بنابراین این بازتاب از جانب آن‌ها، نشان‌دهنده این مطلب است که اهداف دستور کار پروژه محقق شده است. محدودیت‌های مطالعه و پیامدهای تحقیق و تدریس، دو منبع مورد استفاده برای این مطالعه برای کشف تعامل دانشجویان با تفکر سیستمی، ضروری می‌باشند. دانشجویان با به تصویر کشیدن سازمان و روابط بین اجزای سیستم در نمودارهای برگرفته از پروژه و همچنین مستندسازی بازتاب‌های خودشان در مورد تجربه یادگیری، تعامل خود را با تفکر سیستمی آشکار می‌کنند. پروژه‌ها به طور کلی و تا حدودی، شواهد قوی‌تری از مهارت‌های تحلیلی و مهارت‌های پل‌زدن ارائه می‌دهند. در مقابل، بازتاب‌ها شواهد بیش‌تری برای مهارت‌های تفکر کل‌نگر و پل‌زدن به همراه شواهدی از مهارت‌های تحلیلی پیشنهاد می‌کنند. بنابراین، هر دو شکل از شواهد، برای ارزیابی تعامل با تفکر سیستمی موردنیاز است. این پروژه می‌تواند برای کمک به دانشجویان در ایجاد ارتباط بین شیمی، محیط‌زیست و اقتصاد بسیار مفید باشد. تجربه آن‌ها از این نوع از مداخله نیز موثر خواهد بود.

این رویکرد در مقیاس بزرگ‌تر نیز امکان‌پذیر است. همچنین اشاره شده است که فقدان اعلان‌ها از طریق مصاحبه یا درخواست‌های خاص‌تر برای بازتاب به این معنی است که دانشجویان فقط آن‌چه را که برای اولین بار به ذهنشان خطور کرده، گزارش می‌دهند و ممکن است سایر یادگیری‌ها از قلم افتاده شده باشد. بنابراین، آن‌چه نقشه نشان می‌دهد، تصویر کاملی از آموخته‌ها را منعکس نمی‌کند. مصاحبه‌ها، مطالعه ما را در مورد تجربه دانشجویان غنی‌تر می‌کرد.

این مطالعه یادگیری و ارزش‌های بیان‌شده را اندکی پس از مداخله ارائه می‌دهد.

در سال‌های آتی، مطالعه‌ای با این موضوع پیشنهاد می‌گردد که یادگیری و ارزش‌های بیان‌شده پس از مداخله را ارائه نماید. در مطالعه‌ای دیگر می‌توان دوام یادگیری را بررسی نمود. به ویژه این مطالعه می‌تواند در رابطه با شناخت سهم شیمی در پایداری برای کسانی تلقی گردد که تمایل ندارند مطالعات بیش‌تری در ارتباط با شیمی داشته باشند.

۱۲. دوره‌ها

یافته‌های مطالعه وابسته به زمینه طراحی مداخله و محیط یادگیری هستند. یافته‌ها را نمی‌توان به راحتی تعمیم داد یا به موقعیت‌های دیگر منتقل نمود.

با این حال، مطالعه ما از یک مداخله در مقیاس بزرگ، یافته‌هایی را نشان می‌دهد. مشابه مطالعات انجام‌شده با گروه‌های بسیار کوچک‌تر در خصوص ویژگی‌های تفکر سیستمی که به راحتی استخراج می‌گردد و همچنین توسعه چشم‌انداز کنش پایدار از طریق مداخلات تفکر سیستمی، دانشجویان معمولاً قواعد اکتشافی سریع را برای تصمیم‌گیری اعمال می‌کنند. اما با وجود انتخاب قواعد اکتشافی سریع، اگر آن‌ها ملزم گردند، توانایی گسترش و تعمیق بیش‌تر تفکر خود را دارند. همچنین خاطر نشان می‌گردد که در بسیاری از مطالعات مربوط به تفکر سیستمی، دانشجویان همان‌طور که در این مداخله موفق بوده‌اند، به درخواست‌ها پاسخ مناسب دادند.

چالشی که برای همه زمینه‌ها وجود دارد، این است که تفکر سیستمی باید به طور منظم تحریک و انگیزش گردد تا

تبدیل به یک عادت شود. توصیه ما این است که به طور منظم، تفکر سیستمی را در فعالیت‌های آتی یا در طول یک دوره تشویق کنیم تا عادت دانشجویان را به شکل درگیری در تفکر عمیق‌تر ایجاد نماییم به طوری که آن‌ها باید ابعاد پیشرفته‌ای را در نظر بگیرند که شامل ظهور، تفکر زمانی گسترده و تعاملات پیچیده پویا می‌گردد.

ارزشی که این مطالعه به آن کمک می‌کند این است که نشان می‌دهد یک مداخله اضافی می‌تواند یادگیری مناسب و توسعه تفکر سیستمی را حتی در یک دوره آموزشی در مقیاس بزرگ که مستلزم میانجیگری یادگیری توسط دستیاران آموزشی غیر ماهر در تفکر سیستمی است، ایجاد نماید. همچنین ارزش ترکیب هر دو چارچوب را برای زمینه‌سازی تفکر سیستمی در آموزش شیمی نشان می‌دهد.

۱۳. نتیجه‌گیری

شیمی برای پرداختن به اهداف توسعه پایدار مهم است، با این حال، بسیاری از مردم، شیمی را با دستور کار پایداری مرتبط نمی‌دانند.

دانشجویان اصلی غیرشیمی در کلاس‌های بزرگ شیمی عمومی، اغلب شیمی را به عنوان مانعی برای غلبه بر آن و نه منبعی برای مقابله با مشکلات جهانی می‌دانند. این دیدگاه از شیمی با گنجاندن فعالیتی در جهت پایداری که تفکر سیستمی را توسعه می‌دهد، بهبود می‌یابد. علی‌رغم این‌که هیچ درخواستی مبنی بر تامل خاص برای دانشجویان الزام‌آور نبود، بیش از نیمی از گروه‌ها اهمیت پایداری را در زمینه یادگیری شیمی پیش‌زمینه دانسته یا اقداماتی را پیشنهاد نمودند که به عنوان فردی برای زندگی پایدارتر انجام دهند. این موارد، ارزش‌های اصلی پشت دستور کار این پروژه را در بر گرفته و به توسعه متخصصان آینده اشاره دارد که به پایداری کمک می‌کنند.

ما نشان‌دادن مهارت‌ها و نگرش‌های تفکر سیستمی را که توسط یک فعالیت در یک دوره بزرگ شیمی سال اول برانگیخته می‌گردد، با استفاده از دو چارچوب تفکر سیستمی بررسی نمودیم. شکل اصلاح‌شده جدول از ابعاد تحلیلی تا ابعاد کل‌نگر، به ترسیم دامنه مهارت‌های تفکر سیستمی که دانشجویان از خود نشان داده‌اند، کمک می‌کند. این نوع از تجزیه و تحلیل نشان داد که ویژگی‌های تفکر سیستمی، مشاهده یک سیستم به عنوان یک کل و همچنین شناسایی اجزای آن، سازماندهی سیستم در چارچوبی از روابط و شناسایی مرزها یا روابط بین سیستم‌های متصل از جمله نقش انسان به عنوان نتایج این مطالعه هستند. بنابراین، مطالعه ما از برون‌یابی یافته‌ها از مداخلات در مقیاس کوچک تا یک محیط در مقیاس بزرگ هنگامی که از رویکردهای آموزشی مشابه استفاده می‌گردد، پشتیبانی می‌کند.

علاوه بر این، سه جزء اصلی تفکر سیستمی برای شیمی محقق گردید. دانشجویان برای یادگیری استدلال مکانیکی، تمرکز مبتنی زمینه و دیدگاه کنش پایدار ارزش قائل هستند. این مداخله مستقل، شیمی را به عنوان علمی برای پایداری در ذهن دانشجویان به تصویر می‌کشد.

ایجاد تعادل بین نگرانی‌ها در مورد پایداری و امید به دانشجویان انگیزه می‌دهد تا در صورت امکان تفاوت ایجاد نمایند.

برای دستیابی به اهداف مهم است که قلب و ذهن دانشجویان را برای پذیرش دستور کار پایداری، علاوه بر توسعه ویژگی‌های تفکر سیستمی، درگیر نماییم.

با دور زدن مانع فرآیندهای اصلاح برنامه درسی که با واژه آهسته توصیف می‌گردید، نشان داده‌ایم که طراحی مناسب در فعالیت تفکر سیستمی در یک دوره بزرگ شیمی عمومی می‌تواند به یادگیری معنی‌دار در شیمی و تجربیات مرتبط با آن منجر شود. سرمایه‌گذاری زمان آزمایشگاهی برای این فعالیت برای تصویر شیمی خوب بوده و اقدامی الهام‌بخش به سمت آینده‌ای پایدار قلمداد می‌گردد.

۱۴. قدردانی

از افراد یا سازمان‌هایی که ما را در انجام پژوهش یاری کرده‌اند در این قسمت سپاسگزاری می‌نماییم.

بسیاری از تحقیقاتی که در این بررسی توضیح داده شده است از کار در دوره‌های مختلف، الهام گرفته شده است.

کار توسط همکاران مزبور بر روی کار عملی (از جمله تحصیل در مقطع دکترا)، از طریق حمایت و مشاوره بسیار تحت تاثیر قرار گرفته و در گسترش دامنه کار عملی و ایجاد دیدگاه انتقادی در مورد اثربخشی آموزشی ریاضیات کمک کرد.

در نهایت از دوستان، همکاران و دانشجویان که بسیار مفید بوده و در طول سال‌ها به رشد این موضوع کمک کرده‌اند و در بسیاری از این مطالعات تحقیقاتی در ارتباط با جامعه علمی همکاری کرده‌اند، سپاسگزاری می‌نماییم.

۱۵. مراجع

[۱] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۴، فرصت‌ها و محدودیت‌های مشارکت در فعالیت‌های علمی و عملی آزمایشگاه شیمی،

هشتمین کنگره ملی شیمی و نانو شیمی از پژوهش تا توسعه ملی، تهران.

<https://certificate.bcnf.ir/?codepaper=CHEMISTRY086371365>

[۲] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۴، چالش‌ها و فرصت‌های سواد کوانتومی برای آموزش آینده و حل مسائل فرارشته‌ای، نهمین

کنفرانس بین‌المللی فیزیک، ریاضی و توسعه علوم پایه، تهران.

<https://certificate.bcnf.ir/?codepaper=FMC097583615>

[۳] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۴، شکل‌دهی ریاضیدان با پس‌زمینه هوش مصنوعی با استفاده از یادگیری ماشین، اولین

همایش بین‌المللی هوش مصنوعی در آموزش و پرورش، روانشناسی، علوم تربیتی و مطالعات دینی، فرهنگی،

اجتماعی و مدیریتی در هزاره سوم، بوشهر.

<https://vcert.ir/?cc=maecon2-01250295>

[۴] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۳، مدل خبره برای تولید محتوا در آموزش ریاضیات، اولین کنفرانس ملی معلم خبره، بابل.

<https://new.vcert.ir/?cc=confn-09000917>



[۵] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۳، اهمیت آزمایشگاه در پیشرفت، پیاده‌سازی و پژوهش در آموزش شیمی، ششمین همایش ملی آموزش شیمی، تهران.

<https://chemconf6.cfu.ac.ir/paper?manu=34242>

[۶] نیکفر، م.ا.، ۱۴۰۳، اهمیت آزمایشگاه در پیشرفت، پیاده‌سازی و پژوهش در آموزش فیزیک، سیزدهمین همایش ملی فیزیک دانشگاه پیام نور، شیراز، ۵۷۲-۵۵۸.

[ID: 12491] <https://conference.pnu.ac.ir/Fars-NationalConferenceonPhysics13/>

[۷] نیکفر، م.ا.، ۱۳۹۷، تاثیرات ریاضیات بر علوم کامپیوتر، دومین کنفرانس آموزش و کاربرد ریاضیات، کرمانشاه.

<https://civilica.com/doc/824659>

[8] Evagorou, M.; Korfiatis, K.; Nicolaou, C.; Constantinou, C. (2009). An Investigation of the Potential of Interactive Simulations for Developing System Thinking Skills in Elementary School: A Case Study with Fifth- graders and Sixth-graders. *Int. J. Sci. Educ*, 31 (5), 655–674.

[9] Talanquer, V. (2019). Some Insights into Assessing Chemical Systems Thinking. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2918–2925.

[10] Arnold, R. D.; Wade, J. P. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Comput. Sci.*, 44, 669–678.

[11] Wiek, A.; Withycombe, L.; Redman, C. L. (2011). Key Competencies in Sustainability: A Reference Framework for Academic Program Development. *Sustain. Sci.*, 6, 203–218.

[12] Redman, A.; Wiek, A. (2021). Competencies for Advancing Trans- formations Towards Sustainability. *Front. Educ*, 6, 1–11.

[13] Mahaffy, P. G.; Matlin, S. A.; Holme, T. A.; MacKellar, J. (2019). Systems Thinking for Education about the Molecular Basis of Sustainability. *Nat. Sustain.*, 2 (5), 362–370.

[14] IUPAC. (2024). Learning Objectives and Strategies for Infusing Systems Thinking into (Post)-Secondary General Chemistry Education. *IUPAC project*. <https://iupac.org/project/2017-010-1-050/> (accessed 2024– 07–07).

[15] IUPAC. (2024). Systems Thinking in Chemistry for Sustainability: Toward 2030 and Beyond (STCS 2030+). *IUPAC Projects*. <https://iupac.org/project/2020-014-3-050>. (accessed 2024–07–07).

[16] Jackson, A.; Hurst, G. A. (2021). Faculty Perspectives Regarding the Integration of Systems Thinking into Chemistry Education. *CERP*, 22 (4), 855–865.



- [17] Delaney, S.; Ferguson, J. P.; Schultz, M. (2021). Exploring Opportunities to Incorporate Systems Thinking into Secondary and Tertiary Chemistry Education through Practitioner Perspectives. *Int. J. Sci. Educ.*, 43 (16), 2618–2639.
- [18] Szozda, A. R.; Bruyere, K.; Lee, H.; Mahaffy, P. G.; Flynn, A. B. (2022). Investigating Educators' Perspectives toward Systems Thinking in Chemistry Education from International Contexts. *J. Chem. Educ.*, 99 (7), 2474–2483.
- [19] Biggs, J.; Collis, K. F. (1982). Evaluating the Quality of Learning; Elsevier. DOI: 10.1016/C2013-0-10375-3.
- [20] Reynders, M.; Pilcher, L. A.; Potgieter, M. (2023). Teaching and Assessing Systems Thinking in First-Year Chemistry. *J. Chem. Educ.*, 100 (3), 1357–1365.
- [21] York, S.; Orgill, M. (2020). ChEMIST Table: A Tool for Designing or Modifying Instruction for a Systems Thinking Approach in Chemistry Education. *J. Chem. Educ.*, 97 (8), 2114–2129.
- [22] Rodriguez, J. M. G.; Nardo, J. E.; Finkenstaedt-Quinn, S. A.; Watts, F. M. (2023). The Use of Frameworks in Chemistry Education Research. *CERP*, 24, 1109–1126.
- [23] Talanquer, V.; Szozda, A. R. (2024). An Educational Framework for Teaching Chemistry Using a Systems Thinking Approach. *J. Chem. Educ.*, 101 (5), 1785–1792.
- [24] Ho, F. M. (2019). Turning Challenges into Opportunities for Promoting Systems Thinking through Chemistry Education. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2764–2776.
- [25] York, S.; Orgill, M. K. (2024). Experienced Tertiary Instructors' Perceptions of the Benefits and Challenges of Systems Thinking in Chemistry Education. *J. Chem. Educ.*, 101 (1), 10–23.
- [26] Szozda, A. R.; Lalani, Z.; Behroozi, S.; Mahaffy, P. G.; Flynn, A. B. (2024). Systems Thinking (ST) Encourages a Safe Space to Offer Different Perspectives and Insights": Student Perspectives and Experiences with ST Activities. *J. Chem. Educ.*, 101 (6), 2290–2307.
- [27] Talanquer, V. (2015). Threshold Concepts in Chemistry: The Critical Role of Implicit Schemas. *J. Chem. Educ.*, 92, 3–9.
- [28] Tümay, H. (2016). Reconsidering Learning Difficulties and Misconceptions in Chemistry: Emergence in Chemistry and Its Implications for Chemical Education. *CERP*, 17, 229–245.
- [29] Tümay, H. (2023). Systems Thinking in Chemistry and Chemical Education: A Framework for Meaningful Conceptual Learning and Competence in Chemistry. *J. Chem.*



Educ., 100 (10), 3925–3933.

[30] Eaton, A. C.; Delaney, S.; Schultz, M. (2019). Situating Sustainable Development within Secondary Chemistry Education via Systems Thinking: A Depth Study Approach. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2968–2974.

[31] Reimagining Chemistry Education: Systems Thinking, and Green and Sustainable Chemistry Special Issue. *J. Chem. Educ.*, 2019, 96 (12), 2679–3044.
<https://pubs.acs.org/toc/jceda8/96/12>.

[32] Fowler, W. C.; Ting, J. M.; Meng, S.; Li, L.; Tirrell, M. V. (2019). Integrating Systems Thinking into Teaching Emerging Technologies. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2805–2813.

[33] Krab-Hüsken, L. E.; Pei, L.; de Vries, P. G.; Lindhoud, S.; Paulusse, J. M. J.; Jonkheijm, P.; Wong, A. S. Y. (2023). Conceptual Modeling Enables Systems Thinking in Sustainable Chemistry and Chemical Engineering. *J. Chem. Educ.*, 100 (12), 4577–4584.

[34] Armstrong, D.; Poë, J. C. (2020). The Science of Human Health - A Context-Based Chemistry Course for Non-Science Majors Incorporat- ing Systems Thinking. *J. Chem. Educ.*, 97 (11), 3957–3965.

[35] Guron, M.; Slentz, A. E. (2021). Novel Interdisciplinary Systems-Based Approach to Teaching Sustainability in Plastics. *J. Chem. Educ.*, 98 (12), 3767–3775.

[36] Nagarajan, S.; Overton, T. (2019). Promoting Systems Thinking Using Project- And Problem-Based Learning. *J. Chem. Educ.*, 96, 2901– 2909.

[37] Murphy, K. C.; Dilip, M.; Quattrucci, J. G.; Mitroka, S. M.; Andreatta, J. R. (2019). Sustainable Consumer Choices: An Outreach Program Exploring the Environmental Impact of Our Consumer Choices Using a Systems Thinking Model and Laboratory Activities. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2993–2999.

[38] Blatti, J. L.; Garcia, J.; Cave, D.; Monge, F.; Cuccinello, A.; Portillo, J.; Juarez, B.; Chan, E.; Schwebel, F. (2019). Systems Thinking in Science Education and Outreach toward a Sustainable Future. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2852–2862.

[39] Miller, J. L.; Wentzel, M. T.; Clark, J. H.; Hurst, G. A. (2019). Green Machine: A Card Game Introducing Students to Systems Thinking in Green Chemistry by Strategizing the Creation of a Recycling Plant. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 3006–3013.

[40] Kim, S.; Choi, H.; Paik, S. H. (2019). Using a Systems Thinking Approach and a Scratch Computer Program to Improve Students' Understanding of the Brønsted-Lowry Acid-Base Model. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2926–2936.



- [41] Reyes, K. M. D.; Bruce, K.; Shetranjiwalla, S. (2023). Green Chemistry, Life Cycle Assessment, and Systems Thinking: An Integrated Comparative-Complementary Chemical Decision-Making Approach. *J. Chem. Educ.*, 100 (1), 209–220.
- [42] Hrin, T. N.; Milenkovic, D. D.; Segedinac, M. D.; Horvat, S. (2017). Systems Thinking in Chemistry Classroom: The Influence of Systemic Synthesis Questions on Its Development and Assessment. *Think. Skills. Creat.*, 23, 175–187.
- [43] Kornfeld, J.; Stokoe, S. (2019). Introducing Chemistry through the Lens of Earth's Systems: What Role Can Systems Thinking Play in Developing Chemically and Environmentally Literate Citizens. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2910–2917.
- [44] Szozda, A. R.; Mahaffy, P. G.; Flynn, A. B. (2023). Identifying Chemistry Students' Baseline Systems Thinking Skills When Constructing System Maps for a Topic on Climate Change. *J. Chem. Educ.*, 100 (5), 1763–1776.
- [45] Aubrecht, K. B.; Dori, Y. J.; Holme, T. A.; Lavi, R.; Matlin, S. A.; Orgill, M.; Skaza-Acosta, H. (2019). Graphical Tools for Conceptualizing Systems Thinking in Chemistry Education. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2888–2900.
- [46] Ridley, A. J.; Wentzel, M. T.; Dugmore, T. I. J.; Hurst, G. A. (2024). Using a Temporal Systems Thinking Framework to Design and Redesign a Biorefinery. *J. Chem. Educ.*, 101 (3), 1379–1386.
- [47] Delaney, S.; Donnelly, S.; Rochette, E.; Orgill, M. (2024). A System Mapping Activity to Visualize Lithium's Interconnectedness to Societal and Environmental Aspects of the Green Energy Transition. *CTI*, 6 (2), 149–163.
- [48] Bruce, K.; Reyes, K. M. D.; Shetranjiwalla, S. (2023). Connecting the Periodic Table to the Planet with Systems, Life Cycle and Circularity Thinking. *Sustain. Chem. Pharm.*, 32, 101018.
- [49] Schultz, M.; Chan, D.; Eaton, A. C.; Ferguson, J. P.; Houghton, R.; Ramdzan, A.; Taylor, O.; Vu, H. H.; Delaney, S. (2022). Using Systems Maps to Visualize Chemistry Processes: Practitioner and Student Insights. *Educ. Sci. (Basel)*, 12 (9), 596.
- [50] Holme, T. (2020). Using the Chemistry of Pharmaceuticals to Introduce Sustainable Chemistry and Systems Thinking in General Chemistry. *Sustain. Chem. Pharm.*, 16, 100234.
- [51] Theobald, E. J.; Eddy, S. L.; Grunspan, D. Z.; Wiggins, B. L.; Crowe, A. J. (2017). Student Perception of Group Dynamics Predicts Individual Performance: Comfort and Equity Matter. *PLoS One*, 12 (7), e0181336.
- [52] SaSTICE. (2024). *Systems Thinking in Chemistry Education*. <https://sites>.



[google.com/view/sastice/examples](https://www.google.com/view/sastice/examples) (accessed 2024-08-07).

[53] Creswell, J. N.; Poth, C. N. (2018). *Qualitative Inquiry and Research Design Choosing Among Five Approaches*.

[54] Saldaña, J. (2013). *Coding Manual for Qualitative Researchers*. www.sagepublications.com.

[55] Reynders, M. (2022). Developing and Evaluating Systems Thinking in First-Year Organic Chemistry. Unpublished Master's dissertation, University of Pretoria.

[56] Jacobson, M. J. (2001). Problem Solving, Cognition, and Complex Systems: Differences between Experts and Novices. *Complexity*, 6 (3), 41–49.

[57] Richmond, B. (1997). The “Thinking” in Systems Thinking: How Can We Make It Easier to Master? *Systems Thinker*, 1–5.

[58] Mahaffy, P. (2004). The Future Shape of Chemistry Education. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 5 (3), 229–245.

[59] Sjöström, J.; Eilks, I.; Zuin, V. G. (2016). Towards Eco-Reflexive Science Education. *Sci. Educ. (Dordr)*, 25 (3), 321–341.

[60] Orgill, M.; York, S.; MacKellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. *J. Chem. Educ.*, 96 (12), 2720–2729.

[61] Ben-Zvi-Assaraf, O.; Orion, N. (2010). Four Case Studies, Six Years Later: Developing System Thinking Skills in Junior High School and Sustaining Them over Time. *J. Res. Sci. Teach.*, 47 (10), 1253–1280.

[62] Peretz, R.; Tal, M.; Akiri, E.; Dori, D.; Dori, Y. J. (2023). Fostering Engineering and Science Students' and Teachers' Systems Thinking and Conceptual Modeling Skills. *Instr. Sci.*, 51 (3), 509–543.

[63] Wisudawati, A. W.; Barke, H. D. (2024). Systems Thinking Approach to Understand Indonesia's Ocean Acidification. *Sustain. Chem. Pharm.*, 37, 101384.

[64] Dunlop, L.; Rushton, E. A. C. (2022). Education for Environmental Sustainability and the Emotions: Implications for Educational Practice. *Sustainability (Switzerland)*, 14 (8), 4441.

[65] Wu, J.; Snell, G.; Samji, H. (2020). Climate Anxiety in Young People: A Call to Action. *The Lancet Planetary Health*, 4, e435.



www.bc.bcnf.ir

9

th National Conference on
Innovation and Technology
in Biology and Chemistry
of I R A N

نهمین کنفرانس ملی

نوآوری و فناوری
علوم زیستی و
شیمی ایران