



طراحی و اعتبارسنجی بسته آموزشی استوکیومتری برای پایه دهم: تلفیق مثلث جانستون، یادگیری معنی دار و الگوی اصلاح کج فهمی

محمد قربانی^۱، محمد میرزایی^۲، محمدصادق دادخواه^۳، سید مهدی محمدی^۴

چکیده

هدف: شکاف میان توانایی در حل مسائل الگوریتمی و درک مفهومی، یکی از پایدارترین چالش‌ها در آموزش شیمی است. محاسبات عددی در دقت بالا، از تئوری استوکیومتری به طور چشمگیری نمایان می‌شود. بسیاری از دانش‌آموزان می‌توانند محاسبات عددی را با دقت بالا انجام دهند، اما از تبیین پدیده‌ها در سطح زیرمیکروسکوپی باز می‌مانند. با وجود غنای پژوهش‌های تشخیصی در این حوزه، شمار معدودی که به طراحی راه‌حل‌های عملی برای کلاس درس پرداخته باشند، محدود است. هدف این مطالعه، طراحی یک بسته آموزشی منسجم برای تدریس مفهومی استوکیومتری در پایه دهم و اعتبارسنجی آن از نگاه متخصصان بود.

MDOI-02-2026.0093
MNR-94-2-99C5D2

روش: این پژوهش با رویکرد توسعه‌ای و به‌عنوان مرحله نخست یک مطالعه طراحی‌محور انجام شد. در گام نخست، بسته‌ای شش جلسه‌ای بر اساس تلفیق سه چارچوب نظری طراحی گردید: مثلث جانستون به‌عنوان چارچوب محتوایی برای سازماندهی توالی آموزش از سطح ماکروسکوپی به زیرمیکروسکوپی و سپس نمادین؛ نظریه یادگیری معنی دار آزوبل به‌عنوان چارچوب یادگیری با هدف پیش‌گیری از یادگیری طوطی‌وار؛ و الگوی پنج‌مؤلفه‌ای اصلاح کج‌فهمی (ارزشیابی، راهبردی، نوآوری، کاربردی، عاطفی) به‌عنوان چارچوب مداخله. بسته راهبردی بسته، مدل‌سازی ذره‌ای برای درگیر ساختن دانش‌آموزان با سطح زیرمیکروسکوپی پیش از ورود به محاسبات عددی بود. در گام دوم، بسته در اختیار سه دبیر باتجربه شیمی با میانگین ۱۲ سال سابقه تدریس قرار گرفت و نظرات آن‌ها از طریق پرسشنامه‌ای در طیف لیکرت (پنج پرسش بسته) و یک پرسش باز، حول چهار محور تناسب با برنامه درسی، قابلیت اجرا، جذابیت برای دانش‌آموزان، و پتانسیل اثربخشی گردآوری شد.

یافته‌ها: بسته نهایی شامل شش جلسه با عناوین «درک مول»، «نسبت‌های مولی»، «واکنش‌دهنده محدودکننده»، «محاسبات ترکیبی»، «شکار محدودکننده» و «از مدل تا محاسبه» گردید. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که دبیران، بسته را از نظر تناسب با برنامه درسی شیمی دهم (میانگین ۴٫۳ از ۵) و پتانسیل کاهش یادگیری طوطی‌وار (میانگین ۴٫۷ از ۵) مطلوب ارزیابی کرده‌اند. قابلیت اجرا با میانگین ۳٫۷ از ۵، پایین‌ترین امتیاز را به خود اختصاص داد که عمدتاً ریشه در نگرانی درباره زمان مورد نیاز برای اجرای فعالیت‌ها و محدودیت امکانات برخی مدارس داشت. دبیران، شبیه‌سازی‌های تعاملی PhET را جایگزینی مناسب برای مدل‌های فیزیکی در کلاس‌های کم‌امکانات دانستند.

نتیجه‌گیری: بسته آموزشی طراحی‌شده، چارچوبی عملیاتی و مبتنی بر نظریه برای تدریس مفهومی استوکیومتری ارائه می‌دهد. اعتبارسنجی اولیه حاکی از هم‌خوانی بسته با برنامه درسی ایران و ظرفیت بالقوه آن برای کاهش یادگیری طوطی‌وار از طریق درگیر ساختن نظام‌مند دانش‌آموزان با سطح زیرمیکروسکوپی است. گام بعدی، اجرای این بسته در یک محیط واقعی کلاس درس و سنجش تجربی اثربخشی آن در قالب یک اقدام‌پژوهی یا طرح نیمه‌آزمایشی خواهد بود.

واژگان کلیدی: استوکیومتری، مثلث جانستون، مدل‌سازی ذره‌ای، طراحی آموزشی، یادگیری طوطی‌وار، اعتبارسنجی.

^۱ . دکترای مهندسی شیمی، شاغل در آموزش و پرورش استان اصفهان

^۲ . دانشجوی رشته‌ی آموزش شیمی

^۳ . دانشجوی رشته‌ی آموزش شیمی

^۴ . دانشجوی رشته‌ی آموزش شیمی

۱. مقدمه

۱.۱. بیان مسئله

استوکیومتری به عنوان یکی از مفاهیم بنیادین شیمی، همواره در پژوهش های آموزش شیمی به عنوان یکی از چالش برانگیزترین مباحث برای دانش آموزان شناسایی شده است (نوری و همکاران، ۱۳۹۸؛ Tewapitak & Duangpummet, 2025). وجه متناقض این مسئله — که نخستین بار توسط Nakhleh (۱۹۹۳) با عنوان «شکاف میان حل مسئله الگوریتمی و درک مفهومی» صورتبندی شد — آن است که بسیاری از دانش آموزان، علی رغم توانایی در اجرای الگوریتم های محاسباتی و کسب نمرات قابل قبول در آزمون های کمی، فاقد درک مفهومی از پدیده های زیرمیکروسکوپی مرتبط با این محاسبات هستند. به بیان دقیق تر، دانش آموز می تواند نسبت های مولی را به درستی برقرار کند، جرم ماده مجهول را محاسبه نماید، و معادله شیمیایی را موازنه کند، اما هنگامی که از او خواسته می شود همان پدیده را در سطح اتم ها و مولکول ها توصیف کند یا واکنش دهنده محدودکننده را بر اساس استدلال مفهومی — و نه صرفاً مقایسه عددی — شناسایی نماید، با دشواری اساسی روبرو می شود.

Niaz و Robinson (۲۰۰۵) در یک بررسی تجربی، همبستگی میان توانایی حل مسائل عددی استوکیومتری و توانایی پاسخگویی به پرسش های مفهومی هم ارز را به طور معناداری پایین تر از حد انتظار گزارش کردند. این یافته، پیش تر در پژوهش Nakhleh (۱۹۹۳) در شیمی عمومی نیز مشاهده شده بود و نشان می دهد که موفقیت در مسائل الگوریتمی، لزوماً به معنای وقوع یادگیری واقعی نیست. Tewapitak و Duangpummet (۲۰۲۵) در مطالعه ای در تایلند، یک ابزار تشخیصی مبتنی بر مدل راش برای سنجش درک مفهومی استوکیومتری در سه سطح طراحی کردند و دریافتند که ۳۹٫۴۷٪ از دانش آموزان، تنها در پایه ای ترین سطح — یعنی موازنه معادلات — توانایی دارند. نکته تأمل برانگیز این پژوهش آن بود که بسیاری از دانش آموزانی که پاسخ عددی صحیح داده بودند، استدلال نادرستی برای انتخاب خود ارائه می کردند؛ نشانه ای آشکار از شکاف میان عملکرد الگوریتمی و درک مفهومی.

در ایران نیز پژوهش های متعددی ابعاد مختلف این شکاف را مستند کرده اند. امیری و همکاران (۱۳۹۲ الف؛ ۱۳۹۲ ب) در دو مطالعه جداگانه نشان دادند که کج فهمی های دانش آموزان و دانشجویان در مفاهیم شیمی کوانتوم و آنتروپی، حتی در سال های پایانی دوره کارشناسی نیز پایدار می ماند. میرزایی و قلیخانی (۱۳۹۵) با طراحی یک آزمون ۱۸ سؤالی دو مرحله ای، کج فهمی های رایج در مبحث اسید و باز را در دانش آموزان پیش دانشگاهی شناسایی و طبقه بندی کردند و نتیجه گرفتند که «نبود ارتباط میان سطوح سه گانه یادگیری (ماکروسکوپی، میکروسکوپی، و نمادین) از عوامل اصلی پیدایش کج فهمی است». نوری و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه ای مقایسه ای، کج فهمی های دانشجومعلمان رشته آموزش شیمی و دانش آموزان را در مفاهیم پایه ای مانند مول و جرم اتمی — که پیش نیازهای مستقیم استوکیومتری هستند — بررسی کردند. یافته هشداردهنده آن ها نشان داد که تنها ۳۸٫۷۸٪ از دانشجومعلمان به پرسش های مفهومی درباره مول پاسخ صحیح می دهند؛ به این معنا که کج فهمی ها می توانند در چرخه ای معیوب، از نسلی به نسل بعدی معلمان و دانش آموزان منتقل شوند. وجه مشترک پژوهش های فوق، توقف در مرحله «تشخیص» است. آن ها به خوبی نشان داده اند که مشکل چیست، در کجا متمرکز است، و چه عواملی در پیدایش آن نقش دارند. اما این پرسش که «راه حل عملی برای کلاس درس چیست؟» در این مطالعات بی پاسخ مانده است. معلمی که روزانه با این شکاف در کلاس درس روبروست، به



چیزی فراتر از فهرستی از کج‌فهمی‌ها نیاز دارد؛ او به یک نقشه راه عملیاتی نیازمند است. پژوهش حاضر در پاسخ به همین خلأ تعریف شده است. رویکرد اتخاذشده، طراحی یک بسته آموزشی مبتنی بر نظریه و اعتبارسنجی آن پیش از اجرا است، تا مداخله نهایی از پشتوانه نظری محکم و تأیید متخصصان برخوردار باشد. پرسش اصلی پژوهش این است: «بسته آموزشی مبتنی بر مثلث جانستون، نظریه یادگیری معنی‌دار آزوبل و الگوی اصلاح کج‌فهمی برای تدریس مفهومی استوکیومتری در پایه دهم چه ویژگی‌هایی باید داشته باشد و از نگاه دبیران باتجربه، تا چه حد با برنامه درسی ایران هم‌خوانی دارد؟»

۱.۲. اهمیت و ضرورت پژوهش

ضرورت انجام این پژوهش از دو منظر نظری و عملی قابل تبیین است.

از منظر نظری، ادبیات آموزش شیمی در ایران با یک عدم تقارن روبروست: شمار پژوهش‌هایی که به شناسایی و مستندسازی کج‌فهمی‌ها پرداخته‌اند، به مراتب بیشتر از پژوهش‌هایی است که یک راه‌حل عملی برای اصلاح آن‌ها طراحی کرده باشند. امیری و همکاران (۱۳۹۲الف؛ ۱۳۹۲ب) به ترتیب کج‌فهمی‌های شیمی کوانتوم و آنتروپی را بررسی کردند. میرزایی و قلیخانی (۱۳۹۵) کج‌فهمی‌های اسید و باز را با روش طبقه‌بندی چالیک و اباز مستند نمودند. نوری و همکاران (۱۳۹۸) همین مسیر را برای مفاهیم مول و سینتیک شیمیایی طی کردند. این پژوهش‌ها، علیرغم ارزش تشخیصی، یک محدودیت مشترک دارند: در پایان، به معلم نمی‌گویند که «اکنون چه باید کرد؟» پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف میان تشخیص و درمان، یک بسته آموزشی آماده برای اجرا در کلاس درس ارائه می‌دهد.

از منظر عملی، استوکیومتری به دلیل ماهیت کمی و انتزاعی خود، بیش از بسیاری از مباحث دیگر شیمی در معرض خطر غلبه رویکرد الگوریتمی و فروغلتیدن به ورطه یادگیری طوطی‌وار قرار دارد. معلم — خواه باتجربه و خواه تازه‌کار — با محدودیت‌های چندگانه‌ای روبروست: حجم بالای مطالب در زمان محدود، فشار آماده‌سازی دانش‌آموزان برای آزمون‌هایی که عمدتاً مهارت حل مسئله عددی را می‌سنجند، و ضرورت پرهیز از تدریس رویه‌ای. این عوامل در ترکیب با یکدیگر می‌توانند به چرخه‌ای معیوب منجر شوند: معلم به دلیل کمبود وقت، از تبیین مفهومی به سرعت عبور می‌کند و به تمرین فرمول‌ها می‌پردازد؛ دانش‌آموز نیز با مشاهده نمره قبولی، تصور می‌کند که مطلب را فراگرفته است، حال آنکه صرفاً الگوریتم‌ها را به خاطر سپرده است. طراحی یک بسته آموزشی آماده می‌تواند بخشی از این فشار را کاهش دهد. دسترسی به یک مسیر مشخص و اعتبارسنجی شده برای تدریس مفهومی، معلم را قادر می‌سازد تا با اطمینان بیشتری از توالی سنتی «فرمول نخست، مفهوم پس از آن» فاصله بگیرد. همچنین، با توجه به شرایط کنونی نظام آموزشی ایران — از جمله گسترش کلاس‌های مجازی، تراکم بالای دانش‌آموزان، و کمبود امکانات آزمایشگاهی در بسیاری از مدارس — بسته‌های آموزشی که با حداقل تجهیزات قابل اجرا باشند یا قابلیت تنظیم برای فضای برخط را داشته باشند، از اولویت بالاتری برخوردارند. بسته حاضر با گنجاندن شبیه‌سازی‌های رایگان PhET و پیش‌بینی فعالیت‌های جایگزین برای مدل‌های فیزیکی، این محدودیت‌ها را ملاحظه کرده است.

۱,۳. مرور پیشینه

پیشینه مرتبط با این پژوهش را می‌توان ذیل سه محور سازمان داد.

پیشینه ی پژوهش‌های تشخیصی. حجم قابل توجهی از ادبیات آموزش شیمی در ایران، به شناسایی و طبقه‌بندی کج‌فهمی‌ها اختصاص دارد. امیری و همکاران (۱۳۹۲الف) نشان دادند که کج‌فهمی‌های مفاهیم شیمی کوانتوم — نظیر اوربیتال و آرایش الکترونی — حتی در سال‌های پایانی دوره کارشناسی نیز پایدار می‌مانند. همان تیم پژوهشی در مطالعه دیگری (۱۳۹۲ب) این الگو را برای مفهوم آنتروپی تأیید کردند و نتیجه گرفتند که دوره‌های پیشرفته دانشگاهی، لزوماً به رفع کج‌فهمی‌ها منجر نمی‌شوند. میرزایی و قلیخانی (۱۳۹۵) با یک آزمون ۱۸ سؤالی دو مرحله‌ای، کج‌فهمی‌های اسید و باز را در دانش‌آموزان پیش‌دانشگاهی واکاوی کردند و عدم ارتباط میان سطوح سه‌گانه مثلث جانستون را به‌عنوان یکی از علل ریشه‌ای معرفی نمودند. نوری و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای مقایسه‌ای، کج‌فهمی‌های دانشجومعلم‌ان و دانش‌آموزان را در مفاهیم مول، جرم اتمی و انحلال‌پذیری بررسی کردند. یافته آن‌ها نشان داد که درصد قابل توجهی از دانشجومعلم‌ان — که خود مسئولیت تدریس این مفاهیم را در آینده بر عهده خواهند داشت — دارای کج‌فهمی‌های مشابه با دانش‌آموزان هستند، موضوعی که بر ضرورت مداخله در سطح تربیت معلم تأکید می‌کند. این پیشینه ارزشمند، هرچند برای ترسیم نقشه دقیق مسئله ضروری است، اما وجه مشترکشان توقف در مرحله تشخیص است.

چارچوب‌های نظری پشتیبان. سه چارچوب نظری، پشتوانه اصلی بسته آموزشی طراحی‌شده در این پژوهش هستند. مثلث جانستون (Johnstone, 2000) یادگیری شیمی را مستلزم درک هم‌زمان سه سطح بازنمایی می‌داند: سطح ماکروسکوپی یا دنیای مشاهدات عینی و قابل اندازه‌گیری، سطح زیرمیکروسکوپی یا دنیای نامرئی اتم‌ها، مولکول‌ها و برهم‌کنش‌های آن‌ها، و سطح نمادین یا زبان انتزاعی فرمول‌ها، معادلات و نمودارها. مشکل اصلی آموزش سنتی شیمی، به‌ویژه در مباحثی مانند استوکیومتری، آغاز از سطح نمادین و غفلت نظام‌مند از دو سطح دیگر است. نظریه یادگیری معنی‌دار آزوبل (Ausubel, 1968؛ به نقل از سیف، ۱۴۰۲) میان دو شیوه اساساً متفاوت از یادگیری تمایز قائل می‌شود: یادگیری طوطی‌وار و یادگیری معنی‌دار. در حالت نخست، اطلاعات جدید به‌صورت حفظی و بدون برقراری ارتباط با دانسته‌های پیشین در حافظه ذخیره می‌شوند. این نوع یادگیری شکننده، وابسته به بافت، و مستعد فراموشی سریع است. در مقابل، یادگیری معنی‌دار مستلزم سه شرط است: محتوای ارائه‌شده باید به‌خودی‌خود معنی‌دار باشد، یادگیرنده باید دانش پیش‌نیاز مرتبط را در اختیار داشته باشد، و یادگیرنده باید تمایل آگاهانه به برقراری پیوند میان دانش قبلی و جدید داشته باشد. تأکید آزوبل بر شرط دوم — «مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده یادگیری، آن چیزی است که یادگیرنده از قبل می‌داند» — برای طراحی آموزشی حیاتی است. الگوی پنج‌مؤلفه‌ای اصلاح کج‌فهمی که از یک فراترکیب از پژوهش‌های ایرانی در حوزه کج‌فهمی‌های شیمی استخراج شده است (کشاورز و مشکبید، ۱۴۰۲)، یک مداخله اثربخش را مستلزم پوشش هم‌زمان پنج مؤلفه می‌داند: ارزشیابی (تشخیص کج‌فهمی‌های ورودی)، راهبردی (به‌کارگیری روش‌های یادگیری فعال)، نوآوری (خلاقیت در بازسازی دانش)، کاربردی (پیوند مفاهیم با زندگی واقعی)، و عاطفی (ایجاد انگیزه و فضای امن برای پرسش‌گری). این الگو، نقشه راهی عملیاتی برای طراحی تلفیقی مداخلات آموزشی ارائه می‌دهد.



خلاً موجود. مرور فوق نشان می‌دهد که از یک سو، بدنه‌ای غنی از پژوهش‌های تشخیصی در دست است که ابعاد مختلف مسئله را روشن کرده‌اند، و از سوی دیگر، چارچوب‌های نظری محکمی برای طراحی مداخله در اختیار ماست. حلقه مفقوده، یک بسته آموزشی آماده است که این چارچوب‌ها را به فعالیت‌های عملی کلاسی ترجمه کرده باشد. پژوهش حاضر با هدف پر کردن همین شکاف اجرا شده است.

۲. چارچوب نظری

طراحی بسته آموزشی در این پژوهش، حاصل تلفیق آگاهانه و نظام‌مند سه چارچوب نظری است که هر یک نقشی متمایز را ایفا می‌کنند.

۲.۱. مثلث جانستون: چارچوب محتوایی و ساختاری

الگوی مثلث جانستون (Johnstone, 2000) یکی از شناخته‌شده‌ترین چارچوب‌ها در آموزش شیمی است. بر اساس این دیدگاه، درک کامل یک پدیده شیمیایی مستلزم آن است که یادگیرنده بتواند میان سه سطح بازنمایی رفت‌وآمد کند: سطح ماکروسکوپی (آنچه در آزمایشگاه می‌بینیم، لمس می‌کنیم یا اندازه می‌گیریم)، سطح زیرمیکروسکوپی (دنیای نامرئی اتم‌ها، مولکول‌ها، یون‌ها و برهم‌کنش‌های آن‌ها)، و سطح نمادین (زبان انتزاعی فرمول‌های شیمیایی، معادلات موازنه‌شده، نمادهای ریاضی و نمودارها). مشکل از جایی آغاز می‌شود که آموزش سنتی شیمی، به‌ویژه در مباحث کمی مانند استوکیومتری، وزن نابرابری به این سه سطح می‌دهد. توالی معمول تدریس، با ارائه فرمول‌ها و الگوریتم‌های محاسباتی (سطح نمادین) شروع می‌شود و دو سطح دیگر، یا به‌کلی نادیده گرفته می‌شوند یا به چند مثال سرپایی محدود می‌گردند. در بسته آموزشی حاضر، این توالی وارونه شده است. نقطه شروع هر مفهوم، یک فعالیت عینی یا شبیه‌سازی تعاملی است (سطح ماکروسکوپی)، سپس دانش‌آموز با مدل‌سازی فیزیکی یا ترسیمی، آن را در سطح ذره‌ای بازنمایی می‌کند (سطح زیرمیکروسکوپی)، و تنها در گام آخر، زبان فرمول‌ها و محاسبات به‌عنوان ابزاری برای توصیف آنچه فهمیده شده، معرفی می‌گردد (سطح نمادین).

۲.۲. نظریه یادگیری معنی‌دار آزوبل: چارچوب فرایند یادگیری

مثلث جانستون نشان می‌دهد که محتوای شیمی را باید در چه سطوحی ارائه کرد. نظریه یادگیری معنی‌دار آزوبل (Ausubel, 1968؛ به نقل از سیف، ۱۴۰۲) روشن می‌کند که این محتوا چگونه در ذهن یادگیرنده پردازش می‌شود. آزوبل میان یادگیری طوطی‌وار و یادگیری معنی‌دار تمایز قائل شد. در یادگیری طوطی‌وار، اطلاعات جدید به‌صورت حفظی و بدون برقراری ارتباط با دانسته‌های پیشین در حافظه ذخیره می‌شوند — مانند حفظ کردن مراحل یک الگوریتم بدون درک منطق پشت آن. این نوع یادگیری، شکننده و مستعد فراموشی سریع است. در مقابل، یادگیری معنی‌دار زمانی رخ می‌دهد که یادگیرنده آگاهانه میان دانش قبلی خود و اطلاعات جدید پل بزند و آن را در ساختار شناختی موجود خویش ادغام کند. آزوبل سه شرط را برای تحقق یادگیری معنی‌دار ضروری می‌داند: محتوای ارائه‌شده باید به‌خودی‌خود معنی‌دار باشد، یادگیرنده باید دانش پیش‌نیاز مرتبط را در اختیار داشته باشد، و یادگیرنده باید تمایل آگاهانه به برقراری این پیوندها داشته باشد. نکته کلیدی، تأکید آزوبل بر شرط دوم است: «مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده یادگیری، آن چیزی است که یادگیرنده از قبل می‌داند.» اگر این دانش قبلی ناقص یا نادرست باشد و معلم از آن بی‌خبر بماند، یادگیری جدید بر پایه‌ای سست بنا خواهد شد. به همین دلیل، آزوبل بر استفاده از «پیش‌سازمان‌دهنده‌ها» تأکید



می‌کند: مقدمه‌هایی آموزشی که پیش از ارائه محتوای اصلی در اختیار یادگیرنده قرار می‌گیرند تا میان دانش قبلی و اطلاعات جدید پل بزنند. در بسته آموزشی طراحی‌شده، یک جلسه کامل به ارزشیابی تشخیصی در ابتدای کار — در قالب یک آزمون دو مرحله‌ای — اختصاص یافته است تا پیش‌دانسته‌های دانش‌آموزان آشکار شود و طراحی آموزش بر پایه همان‌ها بنا گردد.

۲،۳. الگوی پنج‌مؤلفه‌ای اصلاح کج‌فهمی: چارچوب مداخله

مثلاً جانستون نشان می‌دهد که محتوای شیمی را در چه سطوحی باید بازنمایی کرد. نظریه آزوبل روشن می‌کند که این محتوا چگونه در ذهن یادگیرنده پردازش می‌شود. الگوی پنج‌مؤلفه‌ای اصلاح کج‌فهمی (کشاورز و مشک‌بید، ۱۴۰۲) گام بعدی را برمی‌دارد و به این پرسش پاسخ می‌دهد که یک مداخله آموزشی اثربخش باید از چه اجزایی تشکیل شود. این الگو از یک فراترکیب از پژوهش‌های فارسی‌زبان در حوزه کج‌فهمی‌های شیمی استخراج شده است. کشاورز و مشک‌بید (۱۴۰۲) با بررسی ۵۰ پژوهش در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ و انتخاب ۷ پژوهش که مشخصاً بر اصلاح کج‌فهمی متمرکز بودند، ۴۷ مفهوم را استخراج و در ۱۲ مقوله و نهایتاً ۵ مقوله هسته‌ای طبقه‌بندی کردند. این پنج مؤلفه که یک مداخله اثربخش باید هم‌زمان پوشش دهد، عبارتند از:

۱. ارزشیابی: پیش از هر اقدام اصلاحی، باید کج‌فهمی‌ها را شناسایی کرد. این مؤلفه شامل تشخیص پیش‌دانسته‌های نادرست، کشف تصورات بدیل، و پی بردن به شکاف‌های یادگیری پیش از شروع آموزش جدید است. ابزار تحقق این مؤلفه در بسته حاضر، یک آزمون تشخیصی دو مرحله‌ای است که در جلسه نخست اجرا می‌شود.

۲. راهبردی: پس از شناسایی مشکل، باید راهبردی فعال و مبتنی بر شواهد برای تغییر مدل‌های ذهنی نادرست به کار گرفت. این مؤلفه شامل ایجاد محیط یادگیری فعال، درگیر ساختن یادگیرنده در فرایند ساخت دانش، و بازنگری و درونی‌سازی مفاهیم بر اساس مدل‌های علمی است. در بسته حاضر، این مؤلفه از طریق مدل‌سازی ذره‌ای و چرخه یادگیری پیش‌بینی-مشاهده-تبیین تحقق یافته است.

۳. نوآوری: کج‌فهمی‌ها در برابر تغییر مقاوم هستند (Allen, 2014). صرفاً گفتن پاسخ درست به دانش‌آموز کافی نیست؛ یادگیرنده باید خود از مسیر تجربه، کشف و خلاقیت، مدل ذهنی نادرست را کنار بگذارد و مدل علمی را جایگزین کند. در بسته حاضر، بازی‌های آموزشی گروهی (مانند «مسابقه موازنه» و «کارآگاه محدودکننده») و شبیه‌سازی‌های تعاملی PhET در خدمت تحقق این مؤلفه بوده‌اند.

۴. کاربردی: یادگیری زمانی پایدار می‌شود که با زندگی واقعی پیوند بخورد. این مؤلفه شامل پر کردن شکاف میان محتوای دروس و تجارب روزمره، انتقال دانش به زمینه‌های جدید، و معنا بخشیدن به اطلاعات انتزاعی است. در بسته حاضر، پیوند مفاهیم استوکیومتری با مثال‌های ملموسی مانند پخت کیک (نسبت مواد اولیه)، مصرف سوخت خودرو (نسبت هوا به بنزین)، و فرایند صنعتی هابر (تولید آمونیاک) این مؤلفه را پوشش داده است.

۵. عاطفی: کج‌فهمی‌ها اغلب با اضطراب، ترس از قضاوت، و کمبود اعتمادبه‌نفس گره خورده‌اند. محیط‌های یادگیری تهدیدکننده که در آن اشتباهات دانش‌آموزان با واکنش منفی معلم یا هم‌کلاسی‌ها مواجه می‌شود، به پنهان شدن کج‌فهمی‌ها — و در نتیجه تداوم آن‌ها — دامن می‌زنند. این مؤلفه شامل ایجاد نگرش مثبت و انگیزه درونی، تقویت حس کنجکاوی، حمایت از کار گروهی، و فراهم‌سازی فضایی امن برای پرسش‌گری و اعتراف به «نهمیدن» است. در

بسته حاضر، تأکید بر فهم به جای سرعت، تشویق همکاری گروهی به جای رقابت فردی، و عادی سازی اشتباهات به عنوان فرصت های یادگیری، ابزارهای تحقق این مؤلفه بوده اند.

در بسته آموزشی حاضر، هر شش جلسه به گونه ای طراحی شده که ردپای هر پنج مؤلفه در آن دیده شود. برای نمونه، جلسه سوم با یک پرسش پیش بینی (ارزشیابی) آغاز می شود، سپس دانش آموزان با شبیه سازی (راهبردی) و مدل سازی ذره ای (نوآوری) درگیر می شوند، مفاهیم را با مثال همبرگر (کاربردی) پیوند می زنند، و در فضایی غیرتهدیددی به بحث و پرسش گری می پردازند (عاطفی). این تلفیق آگاهانه، بسته را از یک مجموعه فعالیت پراکنده به یک مداخله منسجم تبدیل می کند.

۳. روش شناسی

۳.۱. رویکرد کلی

این پژوهش با رویکرد توسعه ای و به عنوان مرحله نخست یک مطالعه طراحی محور (Design-Based Research) انجام شده است. مطالعات طراحی محور، برخلاف پژوهش های توصیفی که صرفاً به مستندسازی یک وضعیت موجود می پردازند، یا پژوهش های آزمایشی که در شرایط کنترل شده اجرا می شوند، در پی آن هستند که یک محصول آموزشی را در چرخه ای تکراری از طراحی، اجرا و بازبینی بسازند و همزمان، دانش نظری درباره فرایند یادگیری تولید کنند (Barab & Squire, 2004). این رویکرد، پلی میان نظریه های یادگیری و عمل کلاسی ایجاد می کند. آنچه در این مقاله گزارش می شود، تنها مرحله اول این چرخه یعنی طراحی اولیه و اعتبارسنجی خبرگانی است و مراحل اجرای میدانی و بازبینی، به پژوهش های آتی موکول شده است.

۳.۲. مرحله اول: طراحی بسته آموزشی

طراحی بسته بر اساس سه اصل راهنما انجام شد که مستقیماً از چارچوب های نظری استخراج شده بودند. اصل اول، حرکت از عینی به انتزاعی (برگرفته از مثلث جانستون): در هر جلسه، مفهوم مورد نظر ابتدا از طریق یک فعالیت عینی (آزمایش ساده، شبیه سازی رایانه ای، یا مثال ملموس) در سطح ماکروسکوپی معرفی می شود، سپس دانش آموزان آن را با مدل سازی ذره ای — با مهره های رنگی، نقاشی، یا نرم افزار — در سطح زیرمیکروسکوپی بازنمایی می کنند، و تنها در گام پایانی، فرمول ها و محاسبات عددی (سطح نمادین) وارد می شوند. اصل دوم، ارزشیابی تشخیصی پیش از آموزش (برگرفته از نظریه آزوبل): پیش از شروع تدریس، یک آزمون کوتاه دو مرحله ای از دانش آموزان گرفته می شود تا کج فهمی های ورودی آن ها آشکار گردد. اصل سوم، پوشش همزمان پنج مؤلفه (برگرفته از الگوی اصلاح کج فهمی): هر جلسه به گونه ای طراحی شده که ردپای هر پنج مؤلفه ارزشیابی، راهبردی، نوآوری، کاربردی و عاطفی در آن دیده شود. بر پایه این اصول، یک بسته شش جلسه ای (هر جلسه ۹۰ دقیقه) طراحی گردید. ساختار جلسات به این شرح است:

- جلسه اول با عنوان «درک مول»، هدفش تمایز مفهوم مول از جرم و تعداد ذرات است و کج فهمی «مول همان جرم است» را هدف می گیرد. فعالیت محوری در این جلسه، مدل سازی با مهره های رنگی و اجرای آزمون تشخیصی دو مرحله ای است. سطح آغازین، ماکروسکوپی در نظر گرفته شده است.



- جلسه دوم با عنوان «نسبت‌های مولی»، درک نسبت‌های مولی را از طریق مدل‌سازی و بازی دنبال می‌کند و کج‌فهمی «نسبت‌ها را باید حفظ کرد» را نشانه رفته است. فعالیت محوری آن، بازی گروهی «مسابقه موازنه» با مدل‌های فیزیکی است و سطح آغازین، زیرمیکروسکوپی است.
 - جلسه سوم با عنوان «واکنش‌دهنده محدودکننده»، کشف شهودی مفهوم محدودکننده را هدف می‌گیرد و کج‌فهمی «ماده‌ای که کمتر داریم محدودکننده است» را هدف قرار می‌دهد. فعالیت‌های محوری آن، شبیه‌سازی PhET و مثال ملموس همبرگ‌سازی است. سطح آغازین، ماکروسکوپی است.
 - جلسه چهارم با عنوان «محاسبات ترکیبی»، به تلفیق نظام‌مند مدل‌سازی با محاسبات عددی می‌پردازد و کج‌فهمی «فقط فرمول مهم است» را هدف می‌گیرد. فعالیت محوری، کاربرگ «جدول تبدیل سه‌سطحی» (ماکرو-زیرمیکرو-نماد) است و سطح آغازین، زیرمیکروسکوپی است.
 - جلسه پنجم با عنوان «شکار محدودکننده»، مقابله هدفمند با کج‌فهمی‌های رایج محدودکننده را دنبال می‌کند. کج‌فهمی هدف در این جلسه «ماده با جرم کمتر = محدودکننده» است و فعالیت محوری، کاربرگ «کارآگاه محدودکننده» با سناریوهای خلاف شهود است. سطح آغازین، زیرمیکروسکوپی است.
 - سرانجام جلسه ششم با عنوان «از مدل تا محاسبه»، تثبیت و درونی‌سازی مسیر کامل حل مسئله را هدف گرفته و نگران بازگشت به یادگیری طوطی‌وار است. فعالیت محوری در این جلسه، ساخت «نقشه راه استوکیومتری» توسط خود دانش‌آموزان است و سطح آغازین، نمادین.
- برای پرهیز از اطناب، صرفاً جلسه سوم (واکنش‌دهنده محدودکننده) به عنوان نمونه تشریح می‌شود تا نحوه تلفیق چارچوب‌ها در عمل نشان داده شود. این جلسه بر اساس چرخه «پیش‌بینی-مشاهده-تبیین» سازماندهی شده است.
- در بخش اول (پیش‌بینی، ۱۵ دقیقه)، معلم مسئله‌ای ساده را روی تخته می‌نویسد: «اگر ۵ مولکول هیدروژن و ۳ مولکول اکسیژن برای واکنش با هم در اختیار داشته باشیم، چند مولکول آب ساخته می‌شود؟» دانش‌آموزان ابتدا به‌طور انفرادی پاسخ خود را روی یک برگه یادداشت می‌کنند، سپس در گروه‌های چهارنفره با یکدیگر بحث کرده و پیش‌بینی گروه را روی تابلوی کلاس می‌نویسند. این مرحله، مؤلفه ارزشیابی (آشکار شدن شهودهای اولیه و کج‌فهمی‌های احتمالی) و مؤلفه عاطفی (ایجاد فضای امن برای ابراز نظر بدون ترس از اشتباه) را پوشش می‌دهد.
- در بخش دوم (مشاهده، ۳۰ دقیقه)، شبیه‌سازی تعاملی «واکنش‌دهنده‌ها، فرآورده‌ها و باقی‌مانده‌ها» از سایت PhET اجرا می‌شود. معلم ابتدا ۵ مولکول H_2 و ۳ مولکول O_2 را وارد می‌کند و واکنش را اجرا می‌نماید. دانش‌آموزان مشاهده می‌کنند که ۴ مولکول آب ساخته می‌شود و ۱ مولکول O_2 باقی می‌ماند. سپس خود دانش‌آموزان به‌نوبت پای تخته می‌آیند و تعداد مولکول‌های واکنش‌دهنده را تغییر می‌دهند تا رابطه میان «مقدار اولیه»، «نسبت استوکیومتری» و «ماده باقی‌مانده» را کشف کنند. این مرحله، مؤلفه راهبردی (یادگیری فعال) و مؤلفه نوآوری (استفاده از فناوری برای بازنمایی پویای سطح ذره‌ای) را محقق می‌سازد.
- در بخش سوم (تبیین، ۳۰ دقیقه)، هر گروه با استفاده از مهره‌های رنگی (سفید برای هیدروژن، قرمز برای اکسیژن)، سه سناریوی مختلف را مدل‌سازی می‌کند: سناریوی اول با نسبت دقیقاً استوکیومتری، سناریوی دوم با هیدروژن اضافی، و سناریوی سوم با اکسیژن اضافی. سپس معلم مفهوم «واکنش‌دهنده محدودکننده» را به‌طور رسمی معرفی می‌کند:



«ماده‌ای که زودتر تمام می‌شود و مقدار فرآورده را تعیین می‌کند.» در گام آخر، دانش‌آموزان همین سه سناریو را به زبان نمادین (فرمول شیمیایی و محاسبه عددی) ترجمه می‌کنند.

در بخش چهارم (۱۵ دقیقه)، معلم مثال «همبرگساز» را مطرح می‌کند: برای هر همبرگر ۲ تکه نان و ۱ تکه گوشت لازم است. اگر ۵ تکه نان و ۴ تکه گوشت داشته باشیم، چند همبرگر می‌توان ساخت؟ کدام ماده محدودکننده است؟ این مرحله، مؤلفه کاربردی (پیوند مفهوم انتزاعی با تجربه روزمره) را تأمین می‌کند.

۳,۳. مرحله دوم: اعتبارسنجی خبرگانی

پس از طراحی اولیه، بسته آموزشی در اختیار سه دبیر شیمی قرار گرفت. این دبیران به‌صورت هدفمند و بر اساس دو معیار انتخاب شدند: داشتن حداقل ۱۰ سال سابقه تدریس شیمی در مقطع متوسطه دوم، و آشنایی با مبانی نظری آموزش شیمی (از طریق مطالعه یا شرکت در دوره‌های ضمن خدمت). میانگین سابقه تدریس این سه نفر ۱۲ سال بود. بسته آموزشی در قالب یک فایل مکتوب شامل طرح درس شش جلسه، کاربرگ‌های دانش‌آموزی، و راهنمای معلم در اختیار آن‌ها قرار گرفت و پس از یک هفته فرصت مطالعه، نظراتشان گردآوری شد.

۳,۴. ابزار گردآوری داده‌ها

ابزار گردآوری داده‌ها، یک پرسشنامه محقق‌ساخته در دو بخش بود. بخش نخست شامل پنج پرسش بسته با طیف لیکرت پنج درجه‌ای (از ۱ = بسیار کم تا ۵ = بسیار زیاد) بود که چهار محور را می‌سنجید: تناسب بسته با برنامه درسی شیمی پایه دهم (یک پرسش)، قابلیت اجرا در یک کلاس واقعی ۳۰ نفره با امکانات متوسط (یک پرسش)، جذابیت فعالیت‌ها برای دانش‌آموزان (یک پرسش)، و پتانسیل بسته برای کاهش یادگیری طوطی‌وار (دو پرسش). بخش دوم، یک پرسش باز بود که از دبیران می‌خواست نقاط قوت و ضعف بسته را ذکر کرده و پیشنهادهای خود را بنویسند. روایی محتوایی پرسشنامه با بازبینی دو نفر از اعضای هیئت علمی گروه آموزش شیمی تأیید شد.

۳,۵. روش تحلیل داده‌ها

داده‌های بخش بسته پرسشنامه (پنج پرسش لیکرت) با استفاده از شاخص‌های آمار توصیفی (میانگین و انحراف معیار) تحلیل شدند. با توجه به حجم کوچک نمونه (سه نفر)، هیچ آزمون استنباطی به کار نرفت و نتایج صرفاً به‌صورت توصیفی گزارش می‌شوند. داده‌های حاصل از پرسش باز با روش تحلیل محتوای کیفی بررسی شدند. پاسخ‌ها چندین بار خوانده شدند، مفاهیم کلیدی استخراج گردید، و در نهایت در قالب چند تم اصلی دسته‌بندی شدند.

۴. یافته‌ها

۴,۱. توصیف بسته آموزشی طراحی شده

بسته آموزشی نهایی شامل شش جلسه ۹۰ دقیقه‌ای است که ساختار کلی آن در بخش روش‌شناسی تشریح شد. همان‌گونه که در توضیح مفصل جلسه سوم (واکنش‌دهنده محدودکننده) ملاحظه گردید، در هر جلسه، پنج مؤلفه ارزشیابی، راهبردی، نوآوری، کاربردی و عاطفی به‌طور هم‌زمان حضور دارند و مسیر یادگیری از سطح عینی به انتزاعی هدایت می‌شود.

۴,۲. نتایج اعتبارسنجی خبرگانی

نتایج ارزیابی دبیران از بسته آموزشی به شرح زیر است:

در محور «تناسب با برنامه درسی شیمی دهم»، میانگین نمرات ۴,۳ از ۵ با انحراف معیار ۰,۵۸ به دست آمد که در مجموع مطلوب ارزیابی می شود.

در محور «قابلیت اجرا در کلاس واقعی ۳۰ نفره»، میانگین ۳,۷ از ۵ با انحراف معیار ۰,۵۸ ثبت شد که نسبتاً مطلوب بوده اما نشان دهنده نیاز به بازبینی است.

در محور «جذابیت فعالیت ها برای دانش آموزان»، میانگین ۴,۰ از ۵ با انحراف معیار صفر به دست آمد که مطلوب است. در محور «پتانسیل بالقوه کاهش یادگیری طوطی وار»، دو پرسش مطرح شد. پرسش نخست میانگین ۴,۷ از ۵ با انحراف معیار ۰,۵۸ و پرسش دوم میانگین ۴,۳ از ۵ با انحراف معیار ۰,۵۸ را کسب کردند که اولی بسیار مطلوب و دومی مطلوب ارزیابی می شود.

همان گونه که مشاهده می شود، بالاترین میانگین (۴,۷) به پتانسیل کاهش یادگیری طوطی وار اختصاص دارد که بیانگر تأیید قوی منطق نظری و طراحی بسته از سوی دبیران است. در مقابل، قابلیت اجرا با میانگین ۳,۷ پایین ترین امتیاز را کسب کرده که نشان دهنده نگرانی های عملی برای پیاده سازی است.

۴,۳. تحلیل کیفی پاسخ های باز

تحلیل محتوای پاسخ های دبیران به پرسش باز، سه تم اصلی را آشکار ساخت:

تم اول: نگرانی درباره زمان اجرا. دبیران اتفاق نظر داشتند که ۹۰ دقیقه برای برخی جلسات — به ویژه جلساتی که هم مدل سازی ذره ای و هم محاسبات عددی را هم زمان پوشش می دهند — ممکن است کافی نباشد. این نگرانی، برای کلاس هایی با تراکم بالای دانش آموزان و در شرایطی که دانش آموزان با فعالیت های مدل سازی آشنایی قبلی ندارند، پررنگ تر بود.

تم دوم: پیشنهاد فعالیت های جایگزین برای کلاس های کم امکانات. دبیران بر ضرورت طراحی فعالیت های جایگزین برای مدرسی که به مهره های رنگی، تخته هوشمند، یا ویدئوپروژکتور دسترسی ندارند، تأکید کردند. پیشنهاد مشخص آن ها این بود که می توان مدل سازی ذره ای را با ابزارهای ساده تری مانند نقاشی روی کاغذ، دکمه های رنگی، یا حبوبات انجام داد، و شبیه سازی های PhET را در صورت دسترسی به یک رایانه، حتی به صورت نمایشی برای کل کلاس اجرا کرد.

تم سوم: تأکید بر ارزش نظری بسته. دبیران، پیوند خوردن سه چارچوب نظری (مثلث جانستون، یادگیری معنی دار آزوبل، و الگوی پنج مؤلفه ای) را نقطه قوت اصلی بسته دانستند. آن ها اشاره کردند که در دوره های ضمن خدمت، بارها با این چارچوب ها به صورت نظری آشنا شده اند، اما هرگز منبعی در اختیارشان قرار نگرفته که نشان دهد چگونه می توان این مبانی را در یک جلسه واقعی کلاس درس پیاده کرد.

۵. بحث و نتیجه گیری

۵.۱. جمع بندی یافته ها

این پژوهش با دو هدف اصلی انجام شد: طراحی یک بسته آموزشی برای تدریس مفهومی استوکیومتری در پایه دهم، و اعتبارسنجی آن از نگاه دبیران باتجربه. یافته ها نشان می دهند که هر دو هدف تا اندازه قابل قبولی محقق شده اند. در بخش طراحی، بسته ای شش جلسه ای تدوین شد که مسیر یادگیری را برخلاف روال مرسوم — یعنی از سطح نمادین به زیرمیکروسکوپی — طی نمی کند، بلکه از فعالیت های عینی و مدل سازی ذره ای آغاز می شود و در گام آخر به فرمول ها می رسد. تلفیق سه چارچوب نظری باعث شد که بسته صرفاً یک مجموعه فعالیت پراکنده نباشد، بلکه هر جلسه از منطق نظری مشخصی پیروی کند و هر پنج مؤلفه ارزشیابی، راهبردی، نوآوری، کاربردی و عاطفی به طور نظام مند در آن حضور داشته باشند.

در بخش اعتبارسنجی، دبیران بسته را از نظر تناسب با برنامه درسی (میانگین ۴,۳) و پتانسیل کاهش یادگیری طوطی وار (میانگین ۴,۷) بسیار مطلوب ارزیابی کردند. پایین ترین امتیاز به قابلیت اجرا (میانگین ۳,۷) تعلق گرفت که با توجه به بازخوردهای کیفی، عمدتاً ریشه در دو نگرانی دارد: زمان مورد نیاز برای اجرای کامل فعالیت ها، و محدودیت امکانات در برخی مدارس.

۵.۲. مقایسه با پژوهش های پیشین

یافته های این پژوهش از چند جهت با ادبیات موجود هم خوانی دارد. نخست، شکاف میان یادگیری الگوریتمی و درک مفهومی که مبنای طراحی بسته حاضر بود، در پژوهش های متعددی مستند شده است (Nakhleh, 1993; Niaz & Robinson, 2005; Tewapitak & Duangpummet, 2025). بسته حاضر، پاسخی عملی به همین یافته ها است.

دوم، اصل «ارزشیابی تشخیصی پیش از آموزش» که در جلسه اول بسته گنجانده شده، مستقیماً از نظریه آزوبل ریشه می گیرد. پژوهش های داخلی نیز بارها بر ضرورت این ارزشیابی تأکید کرده اند (میرزایی و قلیخانی، ۱۳۹۵؛ نوری و همکاران، ۱۳۹۸). بسته حاضر، این هشدارها را جدی گرفته و گامی فراتر برداشته است: به جای آنکه صرفاً کج فهمی ها را فهرست کند، سازوکاری برای شناسایی و اصلاح آن ها پیشنهاد داده است.

سوم، الگوی پنج مؤلفه ای که چارچوب طراحی بسته را شکل داد، از فراترکیب کشاورز و مشکبید (۱۴۰۲) استخراج شده است. پژوهش حاضر، مصداقی عینی از تحقق این فراخوان است: الگویی نظری را برداشته و آن را به یک برنامه عملی شش جلسه ای تبدیل کرده است.

۵.۳. محدودیت ها

این پژوهش، پیش از هر چیز یک مطالعه طراحی محور در مرحله نخست است و نه یک مطالعه تجربی. محدودیت های آن را باید در همین چارچوب فهمید.



نخستین و مهم ترین محدودیت، فقدان اجرای میدانی بسته است. هرچند اعتبارسنجی دبیران اطلاعات ارزشمندی درباره کیفیت نظری بسته و تناسب آن با برنامه درسی به دست داد، اما تا زمانی که این بسته در یک کلاس واقعی اجرا نشود، نمی توان درباره اثربخشی تجربی آن قضاوت کرد.

دومین محدودیت، کوچک بودن نمونه اعتبارسنجی است. سه دبیر، هرچند باتجربه و آشنا با مبانی نظری آموزش شیمی، نماینده تمام معلمان شیمی ایران با تنوع گسترده زمینه های کاری، امکانات، و سبک های تدریس نیستند.

سومین محدودیت به ابزار اعتبارسنجی بازمی گردد. پرسشنامه محقق ساخته، اگرچه روایی محتوایی آن با بازبینی دو نفر از اعضای هیئت علمی تأیید شد، اما پایایی آن با روش های آماری (مانند آلفای کرونباخ) به دلیل حجم کم نمونه قابل محاسبه نبود. همچنین، قضاوت دبیران صرفاً بر اساس مطالعه بسته به صورت مکتوب بوده است، نه مشاهده اجرای واقعی آن در کلاس درس.

۵.۴. تلویحات و پیشنهادها

یافته های این پژوهش، دلالت هایی برای معلمان، برنامه ریزان درسی و پژوهشگران آتی دارد. برای معلمان شیمی: بسته طراحی شده، مسیری مشخص و مبتنی بر نظریه برای تدریس مفهومی استوکیومتری ارائه می دهد. معلمانی که تمایل دارند از توالی سنتی «فرمول نخست، مفهوم پس از آن» فاصله بگیرند، می توانند از این بسته به عنوان یک راهنمای عملی استفاده کنند. توصیه می شود که پیش از اجرا، بر اساس امکانات مدرسه، سطح آمادگی دانش آموزان، و زمان در دسترس، تنظیمات لازم را در فعالیت ها اعمال کنند.

برای برنامه ریزان درسی و طراحان دوره های ضمن خدمت: یافته ها نشان داد که دبیران مشتاق پیوند خوردن نظریه با عمل هستند، اما چنین منابعی به ندرت در اختیارشان قرار می گیرد. پیشنهاد می شود که در دوره های ضمن خدمت، به جای ارائه صرف چارچوب های نظری، بسته های آموزشی آماده ای مانند بسته حاضر در اختیار معلمان قرار گیرد و فرصتی برای تمرین عملی و بحث درباره چالش های اجرایی آن ها فراهم شود.

برای پژوهش های آتی: گام منطقی بعدی، اجرای این بسته در یک کلاس واقعی و سنجش تجربی اثربخشی آن — چه در قالب یک اقدام پژوهی و چه در قالب یک طرح نیمه آزمایشی — است. چنین مطالعه ای می تواند مشخص کند که آیا مزیت های نظری بسته، در عمل نیز به افزایش درک مفهومی و کاهش یادگیری طوطی وار منجر می شود یا خیر. همچنین، تکرار اعتبارسنجی با نمونه بزرگ تر و متنوع تر از دبیران می تواند تصویر کامل تری از نقاط قوت و ضعف بسته ارائه کند.

منابع

- امیری، ا.، شکرباغانی، ا.، و توکلی، ز. (۱۳۹۲الف). مقایسه کج فهمی های مفاهیم شیمی کوانتوم برای دانش آموزان سال آخر دبیرستان و دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته شیمی. هشتمین سمینار آموزش شیمی ایران، دانشگاه سمنان.



- امیری، ا.، تدین، س.، و توکلی، ز. (۱۳۹۲). مقایسه کج‌فهمی‌های مفهوم آنتروپی برای دانش‌آموزان سال آخر دبیرستان و دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته شیمی. هشتمین سمینار آموزش شیمی ایران، دانشگاه سمنان.
- سیف، ع. (۱۴۰۲). روان‌شناسی پرورشی نوین: روان‌شناسی یادگیری و آموزش (ویرایش هفتم). تهران: انتشارات دوران.
- کشاورز، ا.، و مشکبید، ف. (۱۴۰۲). شناسایی الگوی اصلاح کج‌فهمی‌های شیمی و ارتقای فرهنگ علمی. فصلنامه علمی-پژوهشی علوم و فناوری.
- میرزایی، ا.، و قلیخانی، م. (۱۳۹۵). بررسی کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان سال چهارم دبیرستان در مفهوم شیمی اسید و باز. نهمین کنفرانس آموزش شیمی ایران.
- نوری، ر.، حسینی، ا.، و امانی، و. (۱۳۹۸). بررسی کج‌فهمی‌های رایج دانش‌آموزان دوره دوم متوسطه و دانشجومعلمان رشته آموزش شیمی در مفاهیم سینتیک شیمیایی، جرم اتمی-مول و انحلال‌پذیری و مقایسه آن‌ها با یکدیگر. فصلنامه پویا در آموزش علوم پایه، ۵(۱۵).

- Allen, M. (2014). *Misconceptions in Primary Science* (2nd ed.). New York: Open University Press.
- Barab, S., & Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry — Logical or Psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9-15.
- Nakhleh, M. B. (1993). Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? Identifying conceptual students in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 70(1), 52-55.
- Niaz, M., & Robinson, W. R. (2005). Examining the relationship between students' algorithmic and conceptual understanding in chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*.
- Tewapitak, C., & Duangpummet, P. (2025). Development of a Measurement Instrument Using the Rasch Model to Assess Students' Conceptual Understanding in Stoichiometry. *KMUTT*.