

## آموزش کاوشگرانه شیمی برای مدرسان آینده

زهرا قهساره، شیوا اسکندری، فروزان گلابی، محمد حسین رودشتی، مرضیه روحانی، فروغ کاویانی، سیده ملاحات شادمان و مسعود آیت‌اللهی مهرجردی\*

دانشکده شیمی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، کنپستی 81746-73441

(تاریخ دریافت: 1398/9/6 تاریخ پذیرش: 1399/7/1)

آموزش کاوشگرانه یکی از روش‌های خلاقانه تدریس است که در نظام‌های آموزشی دنیا از محبوبیت زیادی برخوردار است. یکی از برتری‌های این روش، تقویت روحیه پرسشگری است تا دانشجو با توانایی‌های فردی خود به الگوسازی و تحلیل مسائل علمی بپردازد. برتری دیگر این روش، افزایش همکاری‌های گروهی بین دانشجویان است. برای اجرای این روش، در درس مباحث ویژه برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته شیمی در دانشگاه اصفهان، تصمیم گرفته شد تا با ساخت یک دستگاه ساده طیف‌سنج نوری، مفاهیم اولیه طیف‌سنجی آموزش داده شود. در این راستا، علاوه بر ثبت طیف جذبی محلول‌های متفاوت در ناحیه مرئی با استفاده از دستگاه ساخته‌شده، تاثیر انواع منابع تابش و عناصر متفرق‌کننده نیز بررسی شد. برای همخوانی طول‌موج خروجی طیف‌سنج با طول‌موج واقعی، از طیف‌جذبی محلول پتاسیم پرمنگنات استفاده گردید. مراحل مختلف ساخت این دستگاه، منجر به شناخت بیشتر قطعه‌های مختلف طیف‌سنج‌های نوری و ایجاد انگیزه در دانشجویان جهت درک عمیق‌تر مفاهیم این مبحث شد. هدف از انجام این شیوه، آشنایی هر چه بیشتر دانشجویان با آموزش کاوشگرانه به عنوان مدرسان آینده شیمی و به کارگیری آن در نظام آموزشی سنتی ایران می‌باشد. در پایان، از این روش آموزشی برای نوشتن این مقاله به صورت گروهی بهره گرفته شد تا تمام دانشجویان با نحوه نگارش مقاله و ارسال آن آشنایی پیدا کنند.

**کلید واژه:** آموزش کاوشگرانه، خلاقیت، طیف‌سنج نوری، مباحث ویژه، مدرسان آینده

### مقدمه

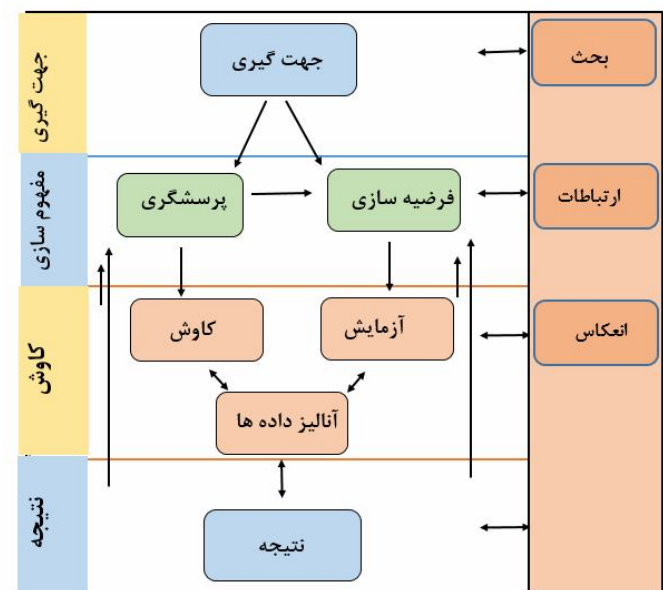
این شیوه آموزشی در تدریس درس‌های مختلف نظیر ریاضیات، زیست‌شناسی، فیزیک [9-11] و شیمی استفاده شود [12-15]. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده [16 و 17]، دانشگاه‌های ایران برخلاف مراکز آموزشی عالی دنیا، استقبال چندانی از این روش نداشته‌اند. به این ترتیب، در درس مباحث ویژه که برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه اصفهان ارائه شده، به دلیل آزادی عمل استاد در انتخاب سرفصل‌های درس، روش کاوشگرانه اجرا شد.

از این روش آموزشی برای انتقال بهتر مفاهیم درس طیف‌سنجی استفاده شد تا گامی در جهت بومی‌سازی و ترویج این روش آموزشی برداشته شود و دانشجویان امروز که مدرسان آینده محسوب می‌شوند، بتوانند مراکز آموزشی ایران را از برتری‌های آن بهره‌مند سازند. سپس از دانشجویان خواسته شد با روش آموزش کاوشگرانه، پژوهش‌ها و یافته‌های خود را برای نوشتن این مقاله به کار گیرند. نکته مهم در این زمینه، وقت کافی و امکانات لازم برای بالا بردن بهره‌وری این سامانه آموزشی است. در این پژوهش، با وجود تلاش و ممارست دانشجویان، به دلیل کوتاه بودن یک نیم‌سال تحصیلی و نبود امکانات کافی برای گسترش و بهبود دستگاه، تنها به بررسی کوتاه و اجمالی در این پژوهش اکتفا شد.

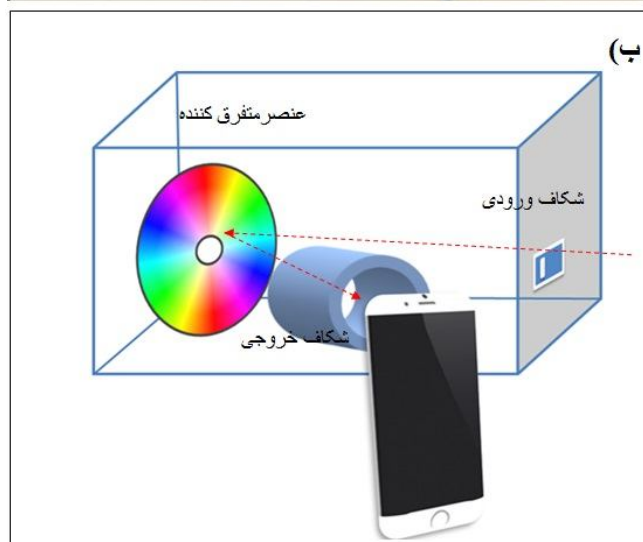
### روش پژوهش

برای اولین بار در دانشکده شیمی دانشگاه اصفهان، روش آموزش کاوشگرانه جهت پرورش مدرسان آینده، کلاس درس مباحث ویژه با هفت دانشجوی کارشناسی ارشد و یک دانشجوی دکتری در گرایش‌های شیمی تجزیه و نانوشیمی تشکیل شد. در این درس از ساخت دستگاه طیف‌سنج نوری به عنوان یک روش کاوشگرانه برای آموزش بخش‌های مختلف دستگاه استفاده شد. در پایان، این کلاس با نوشتن این مقاله جهت آموزش نگارش گزارش‌های علمی، تکمیل گردید. بر اساس این چارچوب، فرایند یادگیری کاوشگرانه با جهت‌دهی ذهن دانشجویان در جلسه‌های ابتدایی به کمک طرح مسئله، برای آشنایی آن‌ها با روش آموزش کاوشگرانه و شیوه

نظام آموزشی یکی از اصلی‌ترین نهادهای هر جامعه محسوب می‌شود تا جایی که برگزیدن سیاست‌های آموزشی هدفمند که پژوهش‌محور باشد، می‌تواند بستری مناسب، برای شکوفایی استعدادها و نسل آینده فراهم سازد [1]. آموزش کاوشگرانه، به عنوان یکی از روش‌های پژوهش‌محور، برای اولین بار در دهه 1910 میلادی، توسط جان دیویی معرفی گردید. او باور داشت، دانش‌آموزان در یک محیط آموزشی که امکان تجربه و رابطه متقابل با برنامه درسی وجود دارد، به خود می‌بالند. بنابراین، هم‌دانش‌آموزان باید امکان مشارکت در یادگیری خود را داشته باشند [2]. همان‌گونه که در شکل 1 نشان داده شده است، این نظریه بر چهار پایه اصلی جهت‌دهی، مفهوم‌سازی، کاوش و نتیجه‌گیری استوار است [3-5]. بر پایه این چارچوب، فرایند یادگیری کاوشگرانه با جهت‌دهی ذهن دانشجویان به کمک طرح مسئله آغاز می‌شود. در گام بعد، با توجه به جهت‌گیری ذهن دانشجو بر اساس مفهوم‌سازی که انجام شده است، امکان ایجاد دو رویکرد فرضیه‌سازی یا پرسشگری برای ادامه حل مسئله فراهم می‌گردد (مرحله فهم‌شناسی). سپس به کاوشگری یا طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌پردازد و در گام آخر به نتیجه نهایی منجر می‌گردد و دانشجویان می‌توانند پیرامون نتیجه‌های مبتنی بر پژوهش خود، به بحث و تبادل اطلاعات بپردازند [3]. این روش یادگیری به تدریج توانسته وارد نظام آموزشی شود، به طوری که امروزه به عنوان یک شیوه آموزشی معتبر و موثر در انتقال مفاهیم علمی، نه تنها در مدرسه‌ها، بلکه در دانشگاه‌ها شده است [6 و 7]. این روش نوین به جای تکیه بر روش‌های سنتی استاد محور، روحیه پرسشگری و توانایی‌های فردی دانشجویان را تقویت کرده تا بتوانند در برخورد با یک مسئله علمی، به الگوسازی و تحلیل مسئله بپردازند [8]. بدون شک، این مشارکت‌ها به فهم مسئله و یادگیری، کمک شایانی خواهند کرد. همه‌این موارد سبب‌شده تا از



شکل 1. چارچوب اصلی روش آموزش کاشفگرانه.



شکل 2. شکل ظاهری و شمای ساختار کلی دستگاه اول.

همراه پشت آن گذاشته شد. در میان جعبه نیز جایگاهی برای سل نمونه تعبیه شد و طیف محلول رنگی پتاسیم پرمنگنات با به کارگیری دو منبع تابش LED و لامپ تنگستن گرفته شد. در گام بعدی، برای ثبت طیف-انعکاسی، دوربین دیجیتال، داخل جعبه و در مقابل آن لوح فشرده قرار گرفت.

در مرحله آخر، جعبه‌ای به ابعاد  $14/47 \times 4/32 \times 4/06$  سانتی‌متر تهیه شد. در یک وجه، شکافی با پهنای  $0/6$  میلی‌متر به صورت افقی ایجاد شد و لوح دیجیتالی هم‌کاره داخل جعبه و با زاویه  $45$  درجه نسبت به آن قرار گرفت. سپس دوربین تلفن همراه و منبع تابش در یک موقعیت معین، ثابت گردید. در پایان، با منبع تابش تنگستن، طیف پتاسیم پرمنگنات گرفته شد. با مقایسه آن با طیف گرفته شده با طیف‌سنج تجاری مشخص شد که شکل کلی طیف‌ها شبیه یکدیگر است ولی مقداری جابجایی در طول موج و میزان جذب وجود دارد. برای از بین بردن این اختلاف، طول موج حاصل با اضافه کردن مقداری ثابت و میزان جذب با ضرب کردن مقدارهای جذب در یک مقدار ثابت، هماهنگ‌سازی شد. در این دستگاه‌ها، طول موج‌ها جاروب نمی‌شوند بلکه تمام پرتو با وارد شدن به لوح فشرده یا صفحه‌های دیجیتالی هم‌کاره، به عنوان شبکه تداخلی، به طیف رنگی طول موج‌های سازنده تفکیک و سپس شدت تکنک طول موج‌ها به کمک دوربین گوشی تلفن همراه، به عنوان آشکارساز با آرایه‌ای از حسگرهای نوری، ثبت می‌شوند.

## نتایج و بحث

### آموزش کاوشگرانه

پس از آشنایی بیشتر با روش آموزش کاوشگرانه، تصمیم گرفته شد این روش به صورت ویژه در شیمی، با ساخت دستگاه طیف‌سنج نوری ادامه پیدا کند. به همین منظور، در مورد قسمت‌های مختلف دستگاه از قبیل منبع تابش، ظرف نگهدارنده نمونه، عنصر متفرق‌کننده نور و آشکارساز در ناحیه مرئی، پژوهش و کاربردی‌ترین و در دسترس‌ترین قطعه‌ها استفاده شد.

### دستگاه طیف‌سنج نوری

**دستگاه اول**، در ابتدا شکاف ورودی برای ایجاد باریکه‌ای از نور به طول یک سانتی‌متر و پهنای یک میلی‌متر، با چاپگر سه‌بعدی، ایجاد شد. از بین عنصرهای متفرق‌کننده نور، لوح فشرده یا صفحه‌های دیجیتالی همه-کاره، به علت در دسترس بودن و تفکیک مناسب، بر روی وجه بنه دستگاه قرار داده شد. از دوربین تلفن همراه جهت ثبت تصویر استفاده شد (شکل 2). پس از ثبت طیف رنگی با دستگاه اول، عیب‌هایی از قبیل عدم تفکیک کامل طیف رنگی، کوچک بودن طول تصویر روی لوح فشرده، بزرگ بودن شکاف خروجی و ورود تابش هرز، ثابت نبودن منبع تابش و آشکارساز مشاهده شد.

به علت بزرگ بودن شکاف ورودی، تابش هرز وارد دستگاه شده و به جای یک تصویر طیفی رنگی، چند تصویر دیده می‌شود که با کاهش شکاف ورودی این مشکل‌ها برطرف شد. از طرفی، با ثابت نبودن محل منبع تابش، میزان نوری که به لوح فشرده می‌رسید متفاوت و تصویر در چندین جا ظاهر می‌شد. به علاوه، با دور کردن منبع تابش، وضوح تصویر از دست رفت و تابش محیط، اثر بیشتری روی تفکیک تصویر داشت. با

به کارگیری آن برای ساخت دستگاه، آغاز شد. در گام بعدی، با توجه به جهت‌گیری ذهن دانشجو، دانشجویان به پژوهش درباره چگونگی ساخت دستگاه پرداختند و در هر جلسه اطلاعات جمع‌آوری شده را در کلاس به اشتراک گذاشته و با پرسشگری و فرضیه‌سازی دانشجویان و همچنین جهتهای استاد، هدف و مرحله‌های ساخت دستگاه مشخص می‌گردید. سپس با مشارکت همه دانشجویان و راهنمایی استاد درس، دستگاه گامبه‌گام ساخته و آزمایش می‌شد و با توجه به مشاهده‌ها و یافته‌ها و نقطه‌نظرهای هر دانشجو، ایرادها و خوبی‌های دستگاه شناخته و برطرف می‌گردید. در پایان این کلاس، با آموزش کاوشگرانه، چگونگی نگارش یک گزارش علمی، چگونگی انتخاب مجله مناسب جهت انتشار آن دستاورد علمی و ارسال مقاله، فرآیند بررسی مقاله توسط مجله و در پایان چگونگی ویرایش مقاله بر اساس نظر داوران بررسی شد. در این زمینه، نقطه‌نظرهای همه دانشجویان و مهارت هر کدام در نگارش و ایده‌پردازی و درگیر بودن همه آنها در همه مرحله‌های نگارش، ارسال و ویرایش مقاله بررسی گردید. در این پژوهش، دانشجویان هرچه بهتر با برتری‌های کارهای گروهی آشنا شدند.

### ابزار و مواد

جعبه مقوایی به ابعاد  $14/47 \times 4/32 \times 4/06$  سانتی‌متر، لامپ تنگستن (220 V، 25 W)، تلفن همراه هواوی مدل VNS-L21، سل نمونه استاندارد، و چراغ قوه با لامپ LED سفید (1000 W). پتاسیم پرمنگنات مرک (0/0500 مولار) برای ارزیابی کارایی دستگاه‌های ساخته شده، به کار رفت. یک قطعه از لوح فشرده با تعداد 625 شیار بر میلی‌متر، به عنوان شبکه تداخلی انعکاسی استفاده گردید. یک قطعه از لوح دیجیتالی-همه‌کاره با تعداد 1350 شیار بر میلی‌متر، هم به عنوان شبکه تداخلی-انعکاسی هم به عنوان شبکه تداخلی-عبوری، استفاده شد که برای شبکه تداخلی-عبوری، پوشش محافظ آن با نوار چسب جدا و از قسمت شفاف آن استفاده شد.

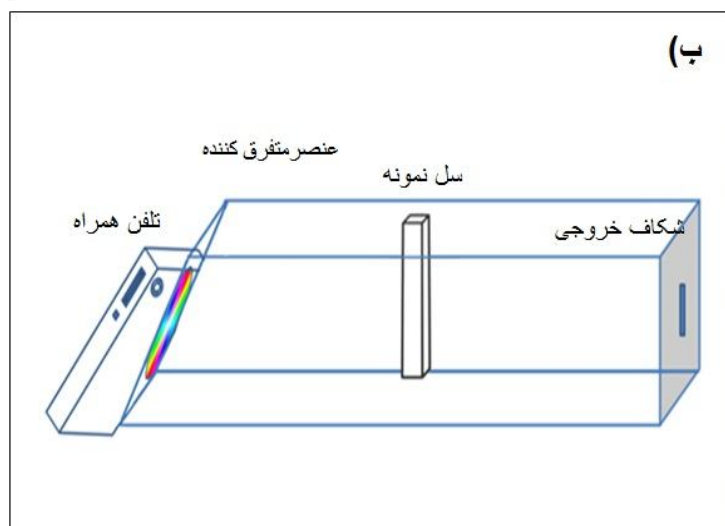
### دستگاه‌ها و نرم افزارها

از چاپگر سه‌بعدی (مدل M3D، ساخت آمریکا) برای ساخت شکاف ورودی استفاده شد. از دستگاه جذب مولکولی پرکین-المر 262، برای مقایسه طیف جذبی محلول پتاسیم پرمنگنات با دستگاه جدید استفاده شد. جهت اتصال دوربین تلفن همراه به رایانه، از نرم‌افزار دریدومک و برای ثبت طیف رنگی از نرم‌افزار ترمینو اسپکترومتر نسخه 2.6 استفاده شد (شکل 5).

### مرحله‌های ساخت دستگاه

در دستگاه اول، یک جعبه مقوایی، با الگوبرداری از طرح پیشنهادی، آماده گردید [18]. شکافی به ابعاد  $0/1 \times 1$  سانتی‌متر با استفاده از دستگاه چاپگر سه‌بعدی ساخته و سپس بر روی یک وجه جعبه نصب و لوح-دیجیتالی هم‌کاره (دی‌وی‌دی) روی وجه مقابل شکاف قرار داده شد. در وجه کناری شکاف، یک استوانه در یک موقعیت و زاویه مناسب تعبیه شد.

در دستگاه دوم، شکاف به صورت عمودی، بر روی یکی از وجوه ایجاد شد. سپس روبه‌روی آن، یک لوح دیجیتالی هم‌کاره در داخل جعبه با زاویه  $30$  درجه نسبت به شکاف (منبع تابش) قرار گرفت و دوربین تلفن



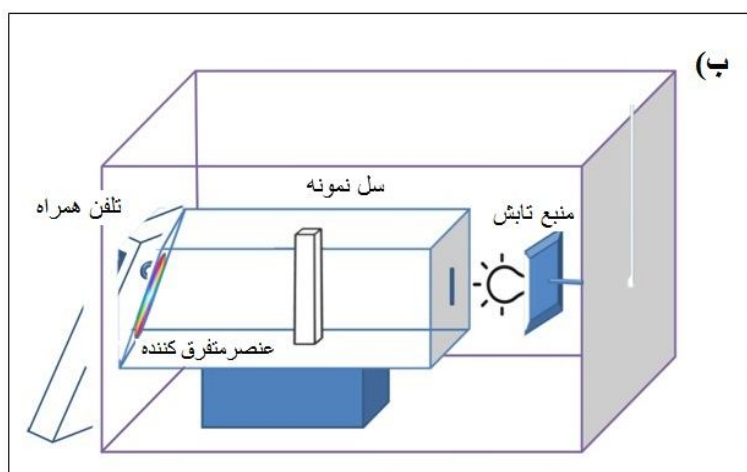
شکل 3. شکل ظاهری و شمای ساختار کلی دستگاه دوم.

لنز دوربین همانند یک شکاف خروجی عمل می‌کند). طول تصویر نشان-دهنده گستره طول موج منبع تابش است که در LED گستره طول موج کمتر و در نتیجه طول تصویر کمتر است. سپس برای ثبت طیف‌رنگی بازتابی، دوربین دیجیتال داخل جعبه در مقابل لوح فشرده قرار گرفت و بهترین زاویه لوح فشرده با حرکت میله پلاستیکی متصل به آن تنظیم شد. به دلیل نامناسب بودن زاویه 30 درجه بین منبع تابش و جسم متفرق‌کننده، میزان پرتوهای نور کمتری به لوح فشرده و دوربین گوشی همراه به عنوان آشکارساز رسیده و وضوح تصویر ثبت‌شده توسط دوربین دیجیتال کاهش یافت و همه رنگ‌ها در طیف قابل مشاهده نبود. و به این ترتیب، این روش ادامه پیدا نکرد.

دستگاه سوم. در انتها، برای ثبت بهترین تصویر و رفع عیب‌های دستگاه‌های قبل، دستگاه سوم طراحی گردید. با توجه به یافته‌ها از دستگاه قبل مشخص شد که افزایش فاصله منبع تابش با لوح فشرده تأثیری در بهبود کیفیت تصویر ندارد، در نتیجه منبع تابش به لوح فشرده نزدیک شد تا دستگاه، کوچکتر و استفاده از آن راحت‌تر شود. زاویه لوح فشرده با توجه به ابعاد دستگاه نسبت به منبع تابش از 30 درجه به 45 درجه تغییر کرد

ثابت کردن محل منبع تابش، سنج تغییر جای منبع تابش که روی وضوح تصویر اثر داشت نیز، حذف گردید. ثابت نبودن آشکارساز نیز روی وضوح تصویر اثر گذاشته و باعث می‌شد وقت زیادی برای ثابت نگه داشتن تلفن همراه صرف شود. از دیدن تصویر حاصل از دستگاه اول و مقایسه کارهای انجام‌شده در این زمینه در مقاله‌ها، نتیجه گرفته شد که رنگ‌ها به درستی تفکیک نشده و نیاز به اصلاح دستگاه می‌باشد.

دستگاه دوم. برای رفع نقص‌های دستگاه اول، دستگاه دوم طراحی شد. برای افزایش تکرارپذیری، محل منبع تابش داخل دستگاه ثابت شد. سپس برای تفکیک کامل طیف‌رنگی، لوح فشرده با زاویه 30 درجه نسبت به منبع تابش قرار گرفت [19]. همچنین، برای افزایش طول تصویر طیف‌رنگی بر روی تلفن همراه و کاهش تابش هرز، لنز دوربین با لوح فشرده تماس شد [20 و 21] و طیف‌رنگی دستگاه دوم ثبت گردید. تماس کردن صفحه‌های دیجیتالی همه‌کاره، با لنز دوربین، منجر به کاهش فاصله کانونی تصویر و بهبود وضوح تصویر بر روی لنز دوربین می‌شود. در این ناحیه، نور از عنصر متفرق‌کننده خارج و با دوربین گوشی تلفن همراه آشکارسازی می‌شود، در نتیجه شکاف خروجی با لنز دوربین برابر است



شکل 4. شکل ظاهری و شمای ساختار کلی دستگاه سوم.

به دلیل افزایش تعداد شیار در واحد سطح براساس رابطه براگ باشد.

کالیبره کردن: برای کالیبره کردن طیف جذبی، محلولی از پتاسیم پرمنگنات تهیه و از آن برای ثبت دو طیف با دستگاه‌های طیف‌سنج فرابنفش-مرئی لامپدا و پرکین-المر 262 (به عنوان مبنا) و دستگاه طراحی شده در مرحله نهایی استفاده شد. با استفاده از داده‌های برنامه تلفن-همراه و دستگاه تجاری، طیف‌های جذبی هر دو دستگاه رسم شد. اختلاف طول موج‌های بیشینه ثبت شده با دو دستگاه محاسبه و برای تصحیح تمام طول موج‌ها استفاده شد. همچنین، با مقایسه میزان جذب ثبت شده با دو دستگاه و ضرب کردن میزان جذب ثبت شده با دستگاه ساخته شده در یک مقدار ثابت، بیشترین برآزش صورت پذیرفت (شکل 6).

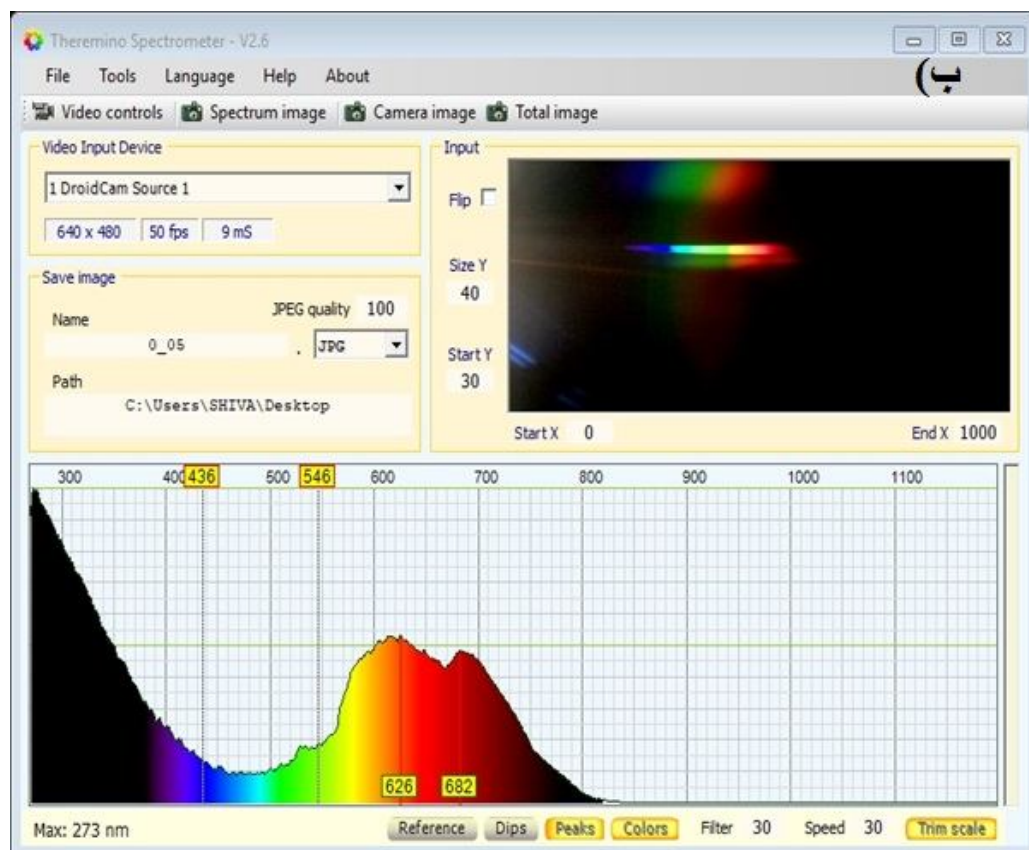
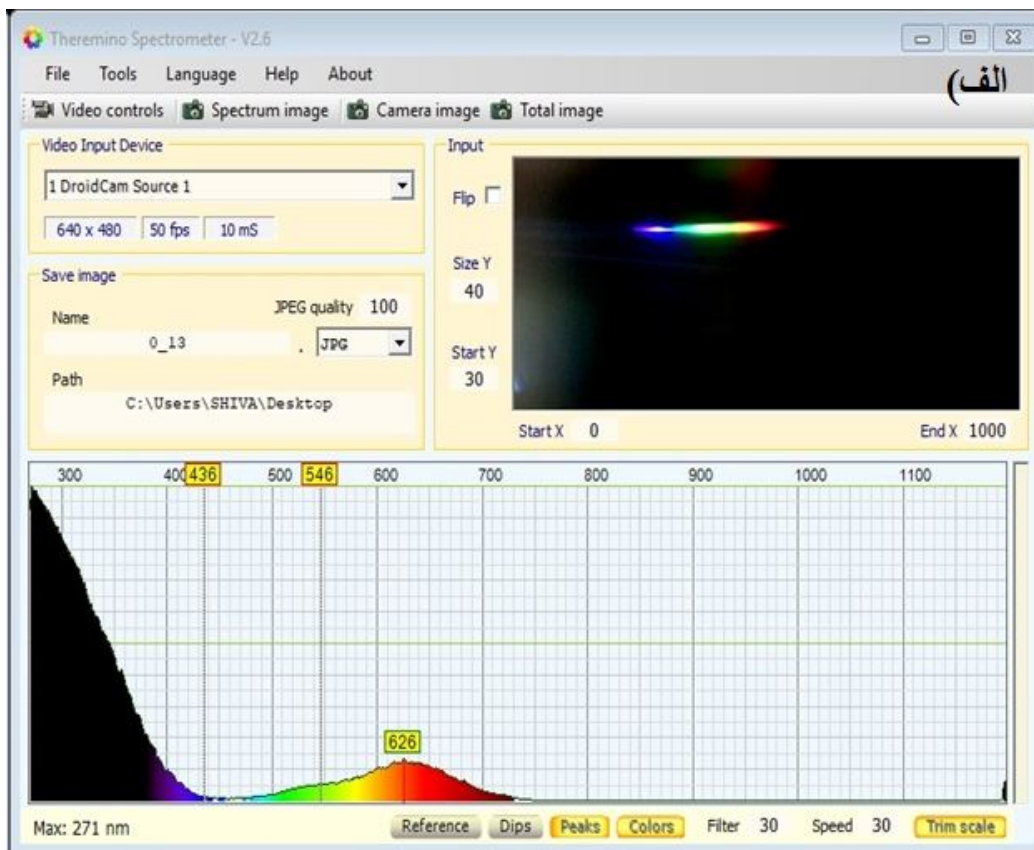
### نتیجه‌گیری

در این بررسی، ابتدا سعی شد از روش آموزش کاوشگرانه برای انتقال مفاهیم پایه در درس طیف‌سنجی استفاده شود. این روش فرصت کشف فعال و آزمایش را در اختیار دانشجویان قرار داد تا جایی که انجام گام به گام این روش، به آنها حس نیاز به شناخت بهتر قطعه‌های نوری را

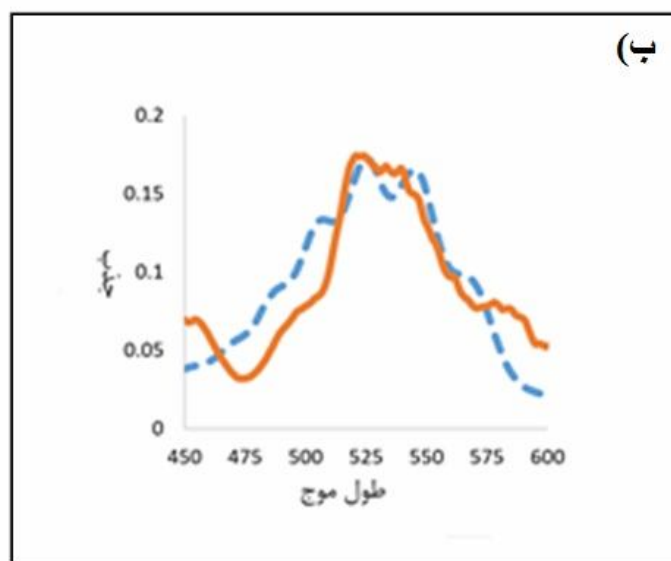
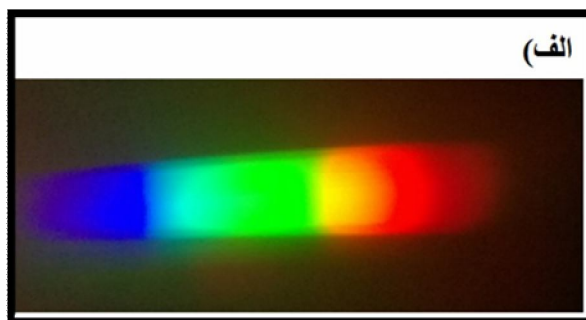
[22] تا وضوح و بزرگنمایی تصویر افزایش یابد (شکل 4). مکان آشکارساز و منبع تابش برای افزایش تکرارپذیری ثابت شد. شکاف ورودی به طول یک سانتی‌متر و پهنای 0/6 میلی‌متر نیز ایجاد شد [23]. در پایان، تصویر طیف به وسیله تلفن همراه ثبت شد.

نوع منبع تابش: در بررسی تأثیر نوع منبع تابش، طیف نشر نور برای لامپ تنگستن و LED سفید در دستگاه دوم ثبت شد. با توجه به محدوده طیفی این منبع‌های تابش [19] و مقایسه یافته‌ها، مشخص شد که لامپ تنگستن به دلیل پیوستگی در ناحیه مرئی و بیشتر بودن شدت تابش آن در طول موج‌های مختلف، تصویر بهتری ایجاد می‌کند (شکل 5).

عنصر متفرق‌کننده: برای انتخاب عنصر متفرق‌کننده، در ابتدا از لوح فشرده با 650 شیار بر میلی‌متر به صورت بازتابی و عبوری بهره گرفته شد. سپس، برای افزایش تعداد شیارها و در نتیجه قدرت تفکیک بهتر، از لوح دیجیتالی همکاره با 1350 شیار بر میلی‌متر به صورت عبوری استفاده شد. بنا بر پیشنهاد دانشجویان چند لوح دیجیتالی همکاره روی هم قرار گرفت به گونه‌ای که شیارها کاملاً بر روی هم منطبق نشوند. همانطور که انتظار می‌رفت، با مقایسه تصویر حاصل با تصویر یک لوح دیجیتالی همکاره تنها، قدرت تفکیک بهبود یافت که این می‌تواند



شکل 5. رحنمای شدت منبع‌های مورد استفاده در دستگاه دوم، الف: لامپ LED سفید، ب: لامپ تنگستن.



شکل 6. الف) طیف رنگی آب مقطر به عنوان شاهد. ب) طیف جذبی محلول پتاسیم پرمنگنات ثبت شده با دستگاه طیفسنج تجاری (منحنی آبی) و دستگاه ساخته شده سوم (منحنی قرمز) با منبع تابش تنگستن.

### مراجع

- 1) E. Del Rey, S. Jimenez-Martin, J.V. Castello, Econ. Educ. Rev. 66 (2018) 51.
- 2) L.H. Barrow, J. Sci. Teach. Educ. 17 (2006) 265.
- 3) M. Pedaste, M. Mäeots, L.A. Siiman, T. De Jong, S.A. Van Riesen, E.T. Kamp, C.C. Manoli, Z.C. Zacharia, E. Tsourlidaki, Educ. Res. Rev. 14 (2015) 47.
- 4) J. Škoda, P. Doulik, M. Bilek, I. Šimonová, J. Balt. Sci. Educ. 14 (2015) 791.
- 5) R. Grob, M. Holmeier, P. Labudde, IJPBL 11 (2017) 6.
- 6) J.P. Kurdziel, J.A. Turner, J.A. Luft, G.H. Roehrig, J. Chem. Educ. 80 (2003) 1206.
- 7) F. Abd-El-Khalick, S. Boujaoude, R. Duschl, N.G. Lederman, R. Mamlok-Naaman, A. Hofstein, M. Niaz, D. Treagust, H.I. Tuan, Sci. Educ. 88 (2004) 397.

الفا می کرد. همگان همه تلاش خود را برای رفع نقص های سامانه طیفسنج نوری ساده خود به کار بردند و با بهبود کیفیت دستگاه، نتایج بهتری در طیف های خود به دست آوردند. هدف آموزش کاشف گرانه، گسترش و بومی ساز این روش در ایران و تربیت مدرسان آینده است تا بتوانند با به کارگیری این روش، به خلاقیت هر چه بیشتر دانشجویان کمک کنند. ابتدا یافته ها باید واضح و روشن تشریح و سپس بحث و تفسیر شوند. در تشریح یافته ها غالباً نباید به کارهای انجام شده قبلی ارجاع داده شود. اما در بحث و تفسیر، باید یافته ها را با یافته های بررسی های گذشته مقایسه نمود. این شیوه تدریسی باعث همکاری و همفکری، تقویت مفاهیم بنیادی، ایجاد انگیزه و خلاقیت در دانشجویان می شود و آن ها را از کارهای فردی به کارهای گروهی تشویق می کند. با این وجود، به کارگیری این روش نیاز به زمان کافی برای انجام فعالیت های گروهی داشته و بهتر است در دو نیمسال تحصیلی ارائه گردد تا نتیجه مطلوبتری را در برداشته باشد و امکانات لازم برای پیشبرد اهداف آن ها فراهم گردد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از حمایت های مادی و معنوی دانشگاه اصفهان در انجام این پژوهش صمیمانه قدر دانی می کنند.



- Society. New York, 2016.
- 15) M.G. Weaver, A.V. Samoshin, R.B. Lewis, M.J. Gainer, *J. Chem. Educ.* 93 (2016) 847.
- 16) ر. بنکدار سخی، رشد آموزش شیمی 15 (1397) 32.
- 17) ن. ارشدی، رشد آموزش شیمی 1 (1397) 32.
- 18) <http://www.sci-toys.com> (Oct. 2018).
- 19) <https://www.theremino.com/en/> (Oct. 2018).
- 20) A. McGonigle, T. Wilkes, T. Pering, J. Willmott, J. Cook, F. Mims, A. Parisi, *Sensors* 18 (2018) 223.
- 21) H.J.S. de Oliveira, P.L. de Almeida Jr, B.A. Sampaio, J.P.A. Fernandes, O.D. Pessoa-Neto, E.A. de Lima, L.F. de Almeida, *Sens. Actuators B Chem.* 238 (2017) 1084.
- 22) <http://SpectralWorkbench.org> (Oct. 2018).
- 23) E.K. Grasse, M.H. Torcasio, A.W. Smith, *J. Chem. Educ.* 93 (2015) 146.
- 8) A.W. Lazonder, R. Harmsen, *Rev. Educ. Res.* 86 (2016) 681.
- 9) M. Kogan, S.L. Laursen, *Innov. High. Educ.* 39 (2014) 183.
- 10) T.L. Derting, D. Ebert-May, *CBE Life Sci. Educ.* 9 (2010) 462.
- 11) J. Wang, D. Guo, M. Jou, *Comput. Hum. Behav.* 49 (2015) 658.
- 12) D. Mandler, R. Blonder, M. Yayon, R. Mamlok-Naaman, A. Hofstein, *J. Chem. Educ.* 91 (2014) 492.
- 13) M.A. Kerr, F. Yan, *J. Chem. Educ.* 93 (2016) 658.
- 14) G.W. Fahnhorst, Z.J. Swingen, D.K. Schneiderman, C.S. Blaquiere, M.T. Wentzel, J.E. Wissinger, *Green Chemistry Experiments in Undergraduate Laboratories*. American Chemical