نوآوری ها در آموزش زیست شناسی دوره کارشناسی و چرا ما به آن ها احتیاج داریم؟

Innovations in teaching undergraduate biology and why we need them?

Annv. Rev. Cell Dev. Biol. 2009. 25: 93-112

William B.Wood

مترجم: وحیده حسن زاده

پست الکترونیکی: hassanzadeh@khayam.ut.ac.ir

چکیده

انقلاب رو به رشدی در تدریس دروس مقدماتی علوم پایه به دانشجویان کارشناسی در جریان است. این انقلاب نتیجه نگرانی هایی درباره قابلیت رقابت آمریکا و نیز حاصل تحقیقات آموزشی جدیدی است که نشان می دهد چرا رویکردهای سنتی تدریس پاسخگوی نیازهای دانشجویان در کلاس های بزرگ نیست و پایه ای برای طراحی روش های بهبود یافته آموزش فراهم می کند. تحقیقات آموزشی رشته-محور در علوم زیستی و دیگر قلمروها شیوه های نوآورانه و نوید بخش متعددی را شناسایی کرده اند و کارایی آن ها را در افزایش یادگیری دانشجویان نشان داده اند. پذیرش گسترده آن ها می تواند تاثیر مهمی بر آموزش پایه ای دانشجویان زیست شناسی داشته باشد.

چالش چیست؟

دو نیروی عمده انقلاب در نحوه تدریس زیست شناسی و دیگر علوم در دبیرستان ها، مدارس عالی و دانشگاه ها را پیش می رانند. نخست، نگرانی های زیادی درباره قابلیت رقابت امریکا در حفظ و آموزش دانشجویان در رشته های علوم، فناوری، مهندسی و ریاضی (STEM[1]) وجود دارد. بسیاری از دانشجویان مستعد از دروس مقدماتی این دریافت را دارند که علم تنها مجموعه ای از حقیقت هاست که باید به حفظ کردن آن پرداخت و در نتیجه از برنامه های STEM، با درک اندکی که از چیستی علم دارند، انصراف می دهند. مربیان دانشجویانی هم که همچنان در علوم زیستی باقی می مانند نگران آن هستند که زیست شناسان پژوهشگر آینده آموزش مناسبی نمی بینند.

نیروی پیش برنده دوم اصلاح برنامه آموزشی، تحقیقات جدید متخصصین آموزش و دانشمندان علوم شناختی درباره نحوه یادگیری دانشجویان است. این تحقیقات شواهد قوی فراهم می کنند که روش های سنتی تدریس که در اغلب دبیرستان ها و دروس مقدماتی دوره کارشناسی رایج است برای کمک به یادگیری دانشجویان مطلوب نیستند. روش های تدریس تحقیق-محوری گسترش یافته که معلوم شده است کاراتر هستند و تعداد کم اما رو به رشدی از استادان دانشگاه و مدیران مطلع برای انتخاب این روش های تدریس فشار می آورند.

ورای یافته های کلی درباره نحوه یادگیری دانشجویان، امروزه تحقیقات آموزشی رشته-محور (DBER[2]) قابل ملاحظه ای وجود دارد که به تدریس و یادگیری یک رشته STEM خاص می پردازد. این گزارش به برخی از مهم ترین یافته های کلی درباره نحوه یادگیری دانشجویان اشاره می کند اما عمدتا بر نتایج و کاربردهای تحقیقات جدید آموزشی رشته-محور و به طور خاص تحقیقات آموزشی علوم زیستی تاکید می کند. این مقاله بر تدریس و یادگیری دانشجویان دوره کارشناسی به خصوص در کلاس های بزرگ جایی که نوآوری بیشتر مورد نیاز است تمرکز دارد.

دانشجویان چگونه می آموزند؟

در دهه شصت میلادی ایده های جدید درباره تدریس و یادگیری به تدریج توجه عموم را جلب کرد. سنت شکن های محبوبی مانند هلت و کزول[3] نواقص محیط های یادگیری غیر فعال را برای آموزندگان تمام سنین نشان دادند و در عوض از کلاس های دانشجو-محور و باز که به جای صرفا گوش کردن، خواندن و تماشا کردن یادگیری فعال را از طریق تجربه عملی با انجام افزایش می دهد

[1] Science, Technology, Engineering and Mathematics

[2] Discipline-Based Educational Research

[3] Holt and Kozol

طرفداری کردند. این نویسندگان که در زمان خود تندرو محسوب می شدند، جزئیات ایده هایی درباره شرایط بهینه برای یادگیری معنا دار را ترسیم کردند که به دنبال آن امتحان و با تحقیقات آموزشی زیادی تایید شده اند. همچنین طی سه دهه اخیر، پیشرفت ها در علوم شناختی به تدریج فعالیت های عصبی و تغییرات سیناپسی همراه با یادگیری را روشن کرده اند. نتایج تحقیقات در آموزش و شناخت در گزارش تاثیر گذار شورای تحقیقات ملی (NRC[1]) تحت عنوان *افراد چگونه می آموزند: مغز، ذهن، تجربه و مدرسه* مرور شده اند. نتیجه گیری های مهم این تحقیق می تواند به صورت زیر جمع بندی شود:

۶- یادگیری مستلزم بسط ساختارهای معرفت در حافظه بلند مدت است. طبق این دیدگاه سازنده گرا از آموزش، نحوه آموزش موثر باید از سطح دانش پیشین دانشجو (که می تواند شامل سوء برداشت ها باشد) آغاز شود. اطلاعات جدید بی ارتباط با دانش پیشین به سختی آموخته و یاد آوری می شود.

۷- هیچ دو شاگردی مثل هم نیستند: شاگردان در تجربه پیشین، آموزش پیشین، سبک های ترجیحی یادگیری، زمینه خانوادگی، زمینه فرهنگی و غیره از هم متفاوت اند. گوناگونی یک موهبت برای کار گروهی است زیرا اعضای متفاوت گروه چشم اندازها و مهارت های متفاوتی را به ارمغان می آورند البته این می تواند مانع یادگیری برخی دانشجویان شود مگر اینکه سطح و شیوه آموزش برای همه مناسب باشد.

۸- یادگیری با بازخوردهای مکرر، به عبارت دیگر محک زدن دانش جدید به موازات کسب آن، پیشرفت می کند. متخصصین آموزش این بازخورد را ارزیابی تکوینی در مقابل ارزیابی پایانی می نامند، که به امتحان های سنگین پس از یک دوره آموزشی طولانی مدت اشاره دارد. ارزیابی تکوینی بازخورد سودمندی برای مربی و دانشجویان فراهم می کند: پرسش این است که آیا دانشجویان مفهوم ارائه یا بحث شده را درک می کنند؟ آیا آن ها می توانند این مفهوم را در یک شرایط جدید به کار گیرند؟

۹- یادگیری موثر نیازمند آگاهی و پرسش از فرایند یادگیری خود است: اینکه من چقدر این مطلب را خوب می فهمم؟ برای فهم بهتر موضوع به چه اطلاعاتی نیاز دارم؟ چه چیزی را هنوز متوجه نمی شوم؟ آیا آن را به اندازه کافی می فهمم تا آن را خوب انتقال دهم؟ به این معنا که آن را در یک وضعیت جدید به کار گیرم؟ متخصصین آموزش این آگاهی را فرا شناخت[2] می نامند.

۱۰- یادگیری در جامعه ای از فراگیران که برای دانش آموخته شده ارزش قائل اند افزایش می یابد. در اوایل کودکی این جامعه خانواده است؛ در دانشگاه می تواند یک گروه از دانشجویان باشد که برای حل یک مسئله یا تکمیل یک پروژه تحقیقاتی با هم کار می کنند.

۱۱- یادگیری ساختار مغز را تغییر می دهد و وسعت تغییر با درجه پیچیدگی، تحریک و درگیری عاطفی در محیط یادگیری افزایش می یابد. یادگیری که در آن سطوح انگیزه، کنجکاوی و توجه دانشجو بالاست، به عنوان مثال، طی یک تلاش گروهی برای حل یک مسئله برانگیزنده نسبت به یادگیری طی فعالیت های نسبتا منفعلانه مثل خواندن یک متن درسی یا گوش دادن به یک سخنرانی بهتر محقق می شود.

۱۲- یادگیری در یک حوزه خاص از دانش مانند علوم زیستی می تواند به صورت یک پیوستار از حالت نوآموز تا وضعیت یک متخصص دیده شود که طی آن ما می خواهیم دانشجویان پیشرفت کنند. دانش یک متخصص ساختار منسجمی را تشکیل می دهد که در آن مفاهیم جدید می توانند به سادگی جا بیافتند و از آن ها اطلاعات مرتبط بازیافت شوند. بعکس، دانش جدید برای یک نوآموز اغلب مجموعه ای از واقعیت های نامرتبط به نظر می رسد که حفظ کردن و بازیافت آن ها مشکل است. به عبارت دیگر، متخصصین بین اطلاعاتی که در اختیار دارند الگوهای معنا دار و ربط می بینند و از آن استفاده می کنند در حالی که نوآموزان نمی توانند این کار را انجام دهند.

شیوه های نوید بخش برای افزایش یادگیری دانشجویان

[1] National Research Council

[2] Metacognition

بسیاری از استادان در آموزش عالی در کلاس های درس کم تعداد و سمینارها از گفت و شنود سقراطی و کار گروهی دانشجو–محور استفاده می کنند ولی آن ها معتقدند در برابر صدها دانشجو در تالار سخنرانی با صندلی های ثابت برای سخنرانی جایگزینی وجود ندارد. با این حال، مربیان نوآور که به دنبال تحقیقات آموزشی رشته–محور هستند شیوه های تدریس دیگری را ایجاد و امتحان کرده اند که به طور قابل ملاحظه ای از سخنرانی های سنتی موثر تر به نظر می رسند. این پژوهش ها برای تغییر کلاس های درس بزرگ تعدادی شیوه نوید بخش را شناسایی کرده اند که یادگیری دانشجویان و درک مفاهیم را افزایش می دهد.

فروید[1] بر اساس دو معیار ارزیابی مفیدی از شیوه های نوید بخش معرفی کرده است: الف) عملی بودن اجرا (گستره قابلیت کاربرد در کلاس های درس STEM، آزادی از محدودیت منابع، سهولت تغییر رویه برای مربیان)؛ ب) شواهد نشان دهنده کارآمدی در افزایش یادگیری دانشجویان (از شواهد قوی، مانند مطالعات مقایسه ای با کیفیت بالا، تا شواهد ضعیف مانند مطالعات کاربردی توصیفی صِرف). پاراگراف های بعدی این شیوه ها را با شیوه های معمول در آموزش سنتی مقایسه و آن ها را بر اساس دو معیار ذکر شده فروید ارزیابی می کند. این شیوه های کاربردی بر پایه نه جنبه سازمان داده شده اند.

۱- سازمان دهی محتوا: برنامه درسی در برابر هدف های ویژه یادگیری

تفاوت بین آماده سازی یک برنامه درسی و تدوین هدف های یادگیری بنیادی تر از آن است که به نظر می رسد. یک برنامه درسی تیپیک مربی–محور است و مباحثی را فهرست می کند که مربی درباره آن ها سخنرانی کرده، تکالیف خارج از کلاس را تعیین خواهد کرد ولی به دانشجویان درباره سطح درکی که باید برای آن تلاش کنند یا مهارت هایی که باید بیاموزند اطلاعات چندانی نمی دهد. در زیست شناسی ملکولی به عنوان مثال، فرایند رونویسی می تواند در سطوح بسیاری درک شود که عموما در برنامه درسی مشخص نشده اند. بعکس، هدف های یادگیری دانشجو–محور و روشن تر هستند؛ این هدف ها توصیف می کنند که یک دانشجوی موفق باید بتواند چه کاری را در پایان کلاس درس یا واحد درسی انجام دهد. به عنوان مثال، دانشجویان باید بتوانند"آنزیم اصلی کاتالیز کننده رونویسی" را نام ببرند،"روابط توالی نوکلئوتیدی بین دو رشته DNA الگو و RNA محصول رونویسی را توضیح دهند"، مرحله ای از طویل شدن یک رونوشت RNA را با نشان دادن توالی های نوکلئوتیدی ناحیه در حال رونویسی و جهت هر دو رشته DNA و RNA ترسیم کنند" یا " پیامدهای فرایند رونویسی را وقتی یکی از چهار نوکلئوزید تری فسفات ها در دسترس نیست پیش بینی کنند".

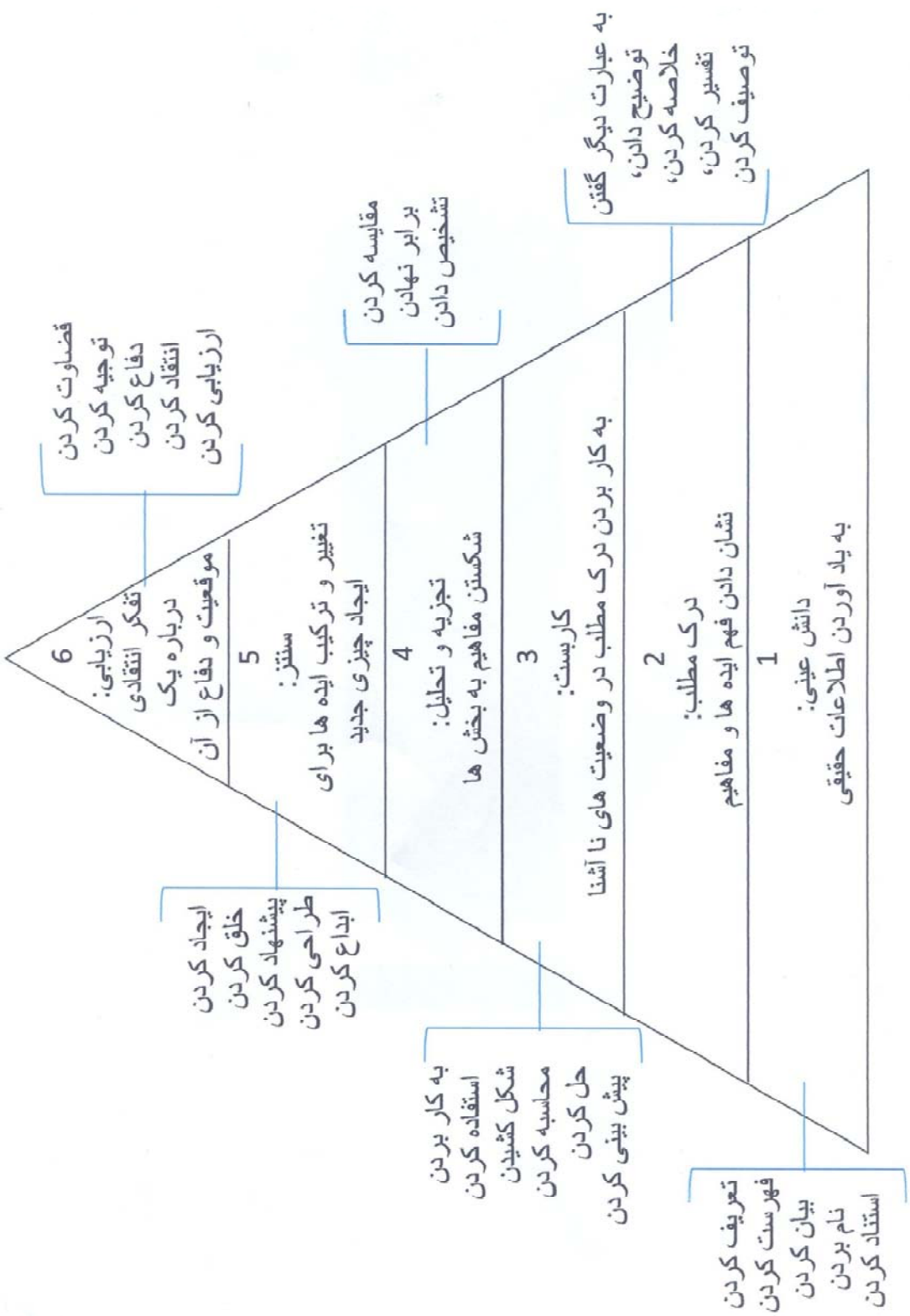
اهداف یادگیری بالا مستلزم سطوح متفاوت درک هستند. نیم قرن پیش، متخصص آموزش اهل آمریکا به نام بنجامین بلوم[2] طرح مفیدی برای دسته بندی این سطوح ایجاد کرد که به دسته بندی بلوم از حوزه شناخت مشهور شد (شکل ۱). هر یک از شش سطح درک بلوم می تواند با افعال مناسب برای یک هدف یادگیری در آن سطح همراه شود. به عنوان مثال، توانایی نام بردن یک آنزیم یا توصیف یک فرایند نیازمند تنها حفظ کردن اطلاعات مرتبط است (سطح یک) در حالی که توانایی پیش بینی یک پیامد (سطح سوم) یا دفاع از یک اصل بر اساس شواهد (سطح ششم) نیازمند درک مفهومی عمیق تری است. افعال به کار گرفته شده (شکل ۱) یک عمل یا توانایی را توصیف می کنند که می تواند با درخواست از دانشجویان برای انجام آن ارزیابی شود. اساسا، اظهاراتی مانند "دانشجویان باید درک کنند"، "بدانند" یا "متوجه باشند" اهداف یادگیری نامناسبی هستند زیرا دستیابی به آن ها بدون معیارهای عملکرد–محور روشن آزمودنی نیست. چون سطوح پایین تر یادگیری بلوم را با امتحان های چند گزینه ای و پاسخ های کوتاه ساده تر می توان ارزیابی کرد بسیاری از مربیان در کلاس های درس بزرگ STEM نه به دنبال حصول سطوح بالاتر درک هستند و نه در مورد آن امتحان می‌کنند.

مطالعه بیش از ۵۰۰ امتحان نهایی کلاس های درس زیست شناسی مقدماتی دوره کارشناسی و دانشکده پزشکی مشخص کرد که اغلب سوال ها در سطوح یک و دو بلوم و سوال ها در آزمون MCAT[3] و امتحان GRE (Graduate Record Examination) تنها کمی بالا تر قرار می گیرند.

[1] Froyd

[2] Benjamin Bloom

[3] Medical College Admissions Test



شکل ۱ - سطوح درک بلوم. این شِما که در ابتدا دسته بندی بلوم از حوزه شناخت نامیده شد شش سطح از درک مفهومی را طبق عملیات ذهنی که دانشجویان در هر سطح توانایی انجام آن را دارند تعریف می کند. هر یک از شش سطح درک بلوم می تواند با افعال مناسب برای یک هدف یادگیری در آن سطح همراه شود.

یک مطالعه تحقیقاتی دیگر درباره نحوه ارزیابی کلاس های درس زیست شناسی مقدماتی نشان می دهد که اکثریت قریب به اتفاق موارد آزمون در امتحان های نهایی در سطح یک بلوم هستند. با توجه به اینکه یادگیری اغلب دانشجویان در سطحی است که در امتحان پایانی مورد ارزیابی قرار می گیرد، تعجبی ندارد که آن ها تنها یک دانش سطحی از این کلاس های درسی کسب می کنند. مربیان می توانند با هدف قرار دادن سطوح بالاتر بلوم در تدوین اهداف یادگیری کلاس و ارزیابی معلومات دانشجویان با سوال های چالشی و مناسب در امتحانات این وضعیت را اصلاح کنند.

طراحی درس برای اهداف یادگیری از اصل طراحی پس رو پیروی می کند. مربی نخست مقاصد کلی یادگیری و سپس اهداف یادگیری خاص تر را برای دانشجویان در کلاس درس تدوین می کند. پس از تعریف این اهداف، او ارزیابی ها (هم تکوینی و هم پایانی) را طراحی می کند تا دستیابی به آن ها را بیازماید. فقط پس از این او مناسب ترین متن درسی یا دیگر منابع را انتخاب می کند و فعالیت های یادگیری درون و بیرون کلاس درس را، که بصورت کارا به تحقق اهداف می انجامد، برنامه ریزی می کند. در ابتدای کلاس درس، او به صورت روشن دانشجویان را از اهداف یادگیری مطلع خواهد کرد.

رتبه بندی کاربستی فروید در شیوه طراحی درس حول اهداف یادگیری، بالاست. این شیوه در همه کلاس های درس STEM، بدون محدویت معنی دار منابع، بدون نیاز به تغییرات ریشه ای در روش های تدریس مربی قابل بکارگیری است. در مورد کارآمدی، هیچ مطالعه تجربی (تا آنجا که نویسنده می داند) برای مقایسه یادگیری دانشجو در درس های آموزش داده شده بر پایه برنامه درسی با کلاس های برگزار شده حول اهداف یادگیری وجود ندارد. با این حال، به نظر روشن می رسد که در کلاس های درسی که هدفش بوضوح سطوح بالاتر درک مفهوم است و مستلزم آن است که دستاورد این اهداف را در امتحانات و دیگر کارهای کلاسی نشان دهند یادگیری بیشتری رخ می دهد.

۲- سازمان دهی دانشجویان: کار فردی در برابر کار گروهی

سازمان دهی دانشجویان در گروه های کوچک برای کارهای داخل و خارج از کلاس می تواند تجربه کلاس درس را از رقابتی به همکاری تغییر دهد، به دانشجویان اجازه دهد از یکدیگر و همچنین از مربیان بیاموزند و به درگیر ساختن دانشجویانی کمک کند که ممکن است در غیر این صورت به طور فعال با محتوای کلاس درس درگیر نشوند. گروه ها می توانند روی تکالیف خانگی منظم، پروژه های طولانی مدت مانند تحقیق روی یک موضوع و ارائه پوستر و کار در کلاس، در کلاس های درسی که شامل حل مسئله و دیگر فعالیت های یادگیری طی زمان کلاس است، همکاری کنند.

رتبه بندی کاربستی برای سازمان دهی گروه پایین تر از اهداف یادگیری است، زیرا سازمان دهی گروه مستلزم تلاش مضاعفی از سوی مربی و تصمیم گیری در مورد به عنوان مثال چگونگی ایجاد گروه های کارا، تسهیل عملکرد آن ها وکمک به دانشجویان برای ایجاد مهارت های همکاری است. در مورد کارآمدی، تحقیقات در علوم اجتماعی نشان داده است که گروه ها به صورت کلی در حل مسائل پیچیده موثر تر از افراد هستند و کارایی گروه با تنوع اعضای آن افزایش می یابد. مطالعات مقایسه ای و متاآنالیزها شواهد قوی فراهم می کند که کار گروهی در کلاس های درس STEM به افزایش یادگیری دانشجویان کمک می کند. شواهد دیگری در رابطه با یادگیری فعال در گروه ها در کلاس وجود دارد که در چهارچوب شیوه چهار در ادامه آمده است.

همچنین استدلال های دیگری برای تشویق کار گروهی وجود دارد. با رواج فزاینده آموزش از راه دور، فرصت برای تلاش فکری گروهی دانشجویان یکی از مزایای اصلی دانشگاه های با آموزش کلاسیک است و این دانشگاه ها باید از آن بهره برداری کنند. همانگونه که استین[1] در کتاب خود *آنچه در آموزش عالی اهمیت دارد* نتیجه گرفت روابطی که دانشجویان با یکدیگر و با مربیان خود برقرار می کنند آن چیزی است که در آموزش عالی اهمیت دارد. به علاوه، ایجاد مهارت های کار گروهی در آماده سازی دانشجویان برای دنیای واقعی مهم است. وقتی دانشجویانی که با روش یادگیری سنتی، فردی و عموما رقابتی راحت هستند با کار گروهی مخالفت می کنند مربی می تواند خاطر نشان کند که زمانی که آن ها به نیروی کار

[1] Astin

می پیوندند احتمالا بخشی از یک گروه خواهند بود که اعضایش را انتخاب نکرده اند و به عنوان بخش مهمی از آموزش خود بناچار باید بیاموزند که چگونه به صورت کارا به عنوان عضوی از یک گروه کار کنند.

۳- بازخورد: ارزیابی پایانی در برابر ارزیابی تکوینی

یکی از جنبه های کلیدی آموزش موثر که در گزارش *مردم چگونه می آموزند* شناسایی شده بازخورد دادن به دانشجویان طی فرایند یادگیری است. کلاس های درس سنتی بازخورد را با برگرداندن تکالیف و امتحان های نمره داده شده به دانشجویان فراهم می کند، بازخوردی که اغلب برای استفاده بهینه بسیار دیر داده می شود چرا که مباحث کلاس درس در این زمان تغییر کرده است. در مقابل، ارزیابی تکوینی درون کلاس به دانشجویان و مربیان بازخورد فوری می دهد. نتایج می توانند شگفت باشند، بویژه برای مربیانی که سخنرانان گیرا و کارایی به شمار می آیند. آن ها در می یابند که فقط بخشی از دانشجویان توضیح به ظاهر روشن را درک کرده اند. دانشجویان نیز ممکن است شگفت زده شوند زیرا مفهوم ارائه شده پیش از آنکه از آن ها توضیحی در آن باره خواسته شود روشن و ساده به نظر می رسد. ولی مهم تر از آن، آگاهی از یک مشکل در درک مطلب اجازه می دهد بلافاصله و در چهارچوب همان متن جایی که بی شک برای دانشجویان قابل فهم تر است به آن بپردازند.

در دهه نود میلادی، اریک مازور[1] فیزیک دان با طرح سوال های چند گزینه ای که نیازمند کاربست مفهوم تحت بحث بود این نوع بازخورد را در کلاس هایش به دست آورد. در ابتدا، دانشجویان جواب های خود را با بلند کردن دست یا نشان دادن کارت هایی با رنگ های متفاوت مشخص می کردند. امروزه دستگاه های پاسخ مخاطب مرسوم به کلیکر ها که در اصل برای بازی های تلویزیونی ایجاد شده بود این نوع ارزیابی تکوینی را مناسب تر و موثرتر کرده اند. هر دانشجو یک کلیکر دارد، معمولا با پنج دکمه با برچسب های A-E که با یک گیرنده به کامپیوتر مربی وصل است. زمانی که دانشجویان با استفاده از کلیکرها به یک سوال چند گزینه ای پاسخ می دهند، پاسخ های آن ها به صورت الکترونیکی ثبت می شود و هیستوگرامی از نتایج برای مربی و سرانجام برای کلاس نمایش داده می شود. اینکه مربی چگونه می تواند به این اطلاعات پاسخ دهد در قسمت بعدی درباره یادگیری فعال بحث می شود اما محاسن ارزیابی تکوینی روشن است: پاسخ های دانشجو مستقل و بی نام هستند، پاسخ ها برای آنالیزهای بعدی توسط مربی در صورت تمایل ثبت می شود، مشکلات در یادگیری بلافاصله ظاهر می شوند و کلاس درس می تواند در جا به این مشکلات بپردازد.

آزمون های کوتاه مکرر نیز می توانند به عنوان ارزیابی تکوینی به کار آیند و تحقیقات نشان داده اند که گرفتن آزمون های کوتاه نسبت به مطالعه صرف به طور معناداری به یادگیری بیشتری منجر می شود. به علاوه، نتایج امتحان های کوتاه (و سوال های مفهومی در کلاس) برای مربی جهت طراحی سوال های امتحانی مناسب در ارزیابی های پایانی آینده سودمند هستند. نوع دیگری از ارزیابی تکوینی کاغذ یک دقیقه ای است که در آن از دانشجویان خواسته می شود یک گزارش کوتاه از آنچه طی درس پیشین سخت و آنچه را که جالب یافته اند بنویسند و به صورت ناشناس تحویل دهند. این تمرین تامل فوری دانشجو را تشویق می کند و مربی را از مشکلات احتمالی مطلع می کند. ممکن است از دانشجویان خواسته شود به صورت مثبت یا منفی درباره جنبه های عمومی کلاس درس اظهار نظر کنند. انواع دیگری از ارزیابی تکوینی در قسمت بعدی درباره فعالیت های درگیری فعال بحث می شود. هر فعالیتی که دانشجو را وادار به کاربست مفاهیم مورد بحث کند می تواند بازخورد مفیدی از درک مفهومی به دانشجویان و مربیان بدهد.

سهولت اجرای ارزیابی تکوینی بالاست؛ مربیان برای به دست آوردن بازخورد های گاه و بیگاه طی کلاس نیازی به تغییر روش تدریس خود ندارند، گرچه همان گونه که بیشتر در ادامه بحث می شود نتایج این بازخوردها می تواند روش های تدریس آن ها را تغییر دهد. کلیکرها یک خرج اضافی برای دانشجویان هستند که دانشجو می تواند آن را در صورت تمایل در پایان کلاس درس به دیگری بفروشد. با توجه به شواهد نشان دهنده کارآمدی، ارزیابی تکوینی عموما با فعالیت های درون کلاس پیوند دارد و نمی تواند به شکل مجزا و منفرد ارزیابی شود. مطالعاتی که

[1] Eric Mazur

ارزش ترکیبی این دو شیوه را نشان می دهد در قسمت بعدی آمده است.

۴- فعالیت های یادگیری در کلاس: گوش دادن و یادداشت برداری در برابر درگیری فعال

در کلاس های درسی بزرگ STEM، فعالیت سنتی یادگیری گوش دادن به خود سخنرانی است. حتی دانشجویانی که به سخنران توجه زیادی دارند عمدتا درگیر ثبت منفعلانه اطلاعات و بدون فرصت کافی برای تامل هستند. شواهد قانع کننده ای از تمام رشته های STEM وجود دارد که جایگزینی بخشی یا همه سخنرانی با فعالیت های داخل کلاس که دانشجویان را به صورت فعال درگیر می کند می تواند به صورت چشمگیری میزان یادگیری آن ها را افزایش دهد. در میان شیوه های نوید بخش که اینجا بررسی شده اند، این شیوه، به خصوص در ترکیب با شیوه دو، کار گروهی دانشجویان و شیوه ۳، ارزیابی های مکرر تکوینی، چشم گیرترین بهبودها را در همه مطالعات نشان داده است. بسیاری از فعالیت های درون کلاسی ممکن- مانند مغز باران، بازتاب حاصل از دنبال کردن بحث با یک همکلاسی و گزارش به کلاس (اشتراک اندیشه)، ترسیم نقشه مفاهیم، حل گروهی مسئله و غیره- در کتاب بسیار خوب *تدریس علمی* و در مجموعه ای از سوژه ها با عنوان *رویکردهای تدریس زیست شناسی و یادگیری* توسط آلن[1] و تنر[2] در مجله برخط *آموزش علوم زیستی*[3] به خوبی توصیف شده اند. جدول ۱ با اقتباس از هندلزمن[4] و همکاران (2007) ارائه سخنرانی سنتی چند موضوع را با جایگزین های یادگیری فعال مرتبط مقایسه می کند.

سوال های مفهومی درون کلاسی، به خصوص با استفاده از کلیکرها، می توانند ابزار یادگیری فعال موثری باشند. زمانی که یک سوال مفهومی چند گزینه ای دشوار به کلاس ارائه می شود و پاسخ اولیه تقریبا به صورت مساوی بین انتخاب پاسخ صحیح و یک یا چند انتخاب نادرست (منحرف کننده ها) تقسیم می شود، یک لحظه آموزنده پیش می آید: دانشجویان ممکن است مسرور یا متعجب شوند ولی آن ها دوست دارند بدانند چه کسی درست و چه کسی نادرست پاسخ داده است و در نتیجه آن ها از نظر عاطفی درگیر می شوند. به جای آشکار کردن پاسخ درست یا تلاش برای توضیح دوباره مفهوم، مربی اگر علاقه مند به کمک به یادگیری فعال باشد، باید از دانشجویان بخواهد پاسخ های خود را در گروه های کوچک بحث کنند، سعی کنند همکلاسی های خود را درباره انتخاب صحیح قانع کنند.

پس از چند دقیقه بحث، مربی رای گیری دیگری می کند و تقریبا همیشه، اکثریت دانشجویان حالا پاسخ صحیح را انتخاب خواهند کرد که سپس روشن شده و بحث می شود. دانشجویان اغلب بهتر از مربی شان می توانند استدلال معیوب هم سالان خود را شناسایی کنند و آن ها را به استدلال درست قانع سازند. مازور (2001) این پدیده را آموزش هم سالان نامید. می توان اینگونه استدلال کرد که دانشجویان کم سواد تر طی بحث تحت تاثیر فشار همکلاسی هایی که ایشان را مطلع تر می دانند قرار می گیرند، اما بعکس یک مطالعه جدید نشان می دهد که دانشجویان حتی زمانی که هیچکدام در گروه ابتدا پاسخ صحیح را نمی داند مفاهیم را طی بحث می آموزند.

سوال های کلیکی، برای اینکه موثر باشند باید مفهومی و چالشی باشند. به طور ایده آل آن ها باید شامل نکات انحرافی باشند، بر اساس سوء برداشت های شناخته شده دانشجو طراحی شوند و بتوانند سطوح درک بالاتر بلوم را ارزیابی کنند. طرح سوال های خوب دشوار اما ضروری است؛ سوال هایی که صرفا بر پایه اطلاعات آموزش داده شده جدید طراحی شده باشند دانشجویان را درگیر نمی‌کنند و در نتیجه استفاده آموزشی اندکی دارند. اگر مربی پس از رای گیری اولیه صرفا پاسخ صحیح را نشان دهد و پیش برود سوال های کلیکی نیز مفید نیستند. بحث دانشجویی پیش از ارائه پاسخ صحیح و نیز پس از آن برای یادگیری کلیدی هستند.

سوال های کلیکی معمولا مسائل تعریف شده و مشخص را مطرح می کنند که مستقیما با مبحث ارائه شده کلاس درس مرتبط است. سایر فعالیت های ارزشمند مسئله- محور می توانند بر اساس سوال های بزرگ تر و بدون نتیجه ساده باشند که گروه های دانشجویی می توانند مدت زمان طولانی تری از زمان کلاس و نیز خارج از کلاس روی آن کار کنند (قسمت های بعدی را ببینید).

[1] D. Allen
[2] K.Tanner
[3] CBE-Life Sciences Education
[4] Handelsman

جدول ۱ - مقایسه بین ارائه موضوعات در قالب سخنرانی سنتی و فعالیت های یادگیری فعال مرتبط

مفهوم	سخنرانی غیر فعال	کلاس فعال
بیان افتراقی ژن	همه سلول های یک موجود DNA یکسانی دارند اما ژن های متفاوت در زمان های متفاوت و بافت های متفاوت بیان می شوند. این بیان افتراقی ژن نامیده می شود.	اگر همه سلول های یک جانور DNA یکسانی دارند، پس چگونه سلول های بافت های متفاوت می توانند تا این حد متفاوت باشند؟
ساختار DNA و همانند سازی	جفت شدن بازهای مکمل اساس مکانیسم همانند سازی DNA است.	درباره ساختار DNA چه می دانید که می تواند مکانیسمی برای همانند سازی فراهم کند؟
آنالیز داده و تفسیر	بر اساس داده های ارائه شده در این اسلاید، پژوهشگران نتیجه گرفتند که *Snarticus inferensis* عامل بیماری است.	این داده ها از آزمایش یک را که توصیف شد در نظر بگیرید. کدام یک از نتیجه گیری های زیر را می توان از آن ها گرفت؟
زیست شناسی و جامعه	بسیاری از مردم درباره موجودات تراریخته نگرانی هایی دارند. برخی از این نگرانی ها درست و بقیه درست نیستند. تصمیم گیرنده خود شما هستید.	کلاس به دو دسته تقسیم می شود. یک گروه درباره منافع بالقوه موجودات تراریخت و گروه دیگر درباره پیامدهای مضر به تفکر و تبادل نظر واداشته می شوند.

این ها همه مثال هایی از آموزش حول درگیری دانشجو با یک مسئله به جای حول اطلاعات صرف معلوم هستند. پرینس و فلدر[1] تدریس قیاسی- انتقال واقعیت ها، مفاهیم انتزاعی و در نهایت (شاید) بحث درباره کاربست آن ها در مسائل واقعی زندگی- را با تدریس استقرایی- طرح یک مسئله در دنیای واقعی برای دانشجویان و رها کردن آن ها برای کشف مفاهیم مرتبط و واقعیت ها در فرایند حل مسئله- مقایسه کرده اند. در تدریس قیاسی، انگیزه دانشجو برای یادگیری واقعیت ها و مفاهیم اغلب عمدتا خارجی است که با تمایل برای به دست آوردن یک نمره خوب پیش می رود و مربی تلاش می کند با این تاکید که این دانش برای مطالعات آینده و حرفه آن ها مهم خواهد بود دانشجویان را درگیر نگه دارد. در مقابل، در تدریس استقرایی دانشجویان با یک سناریو دنیای واقعی روبرو هستند (بسته به گروه خاص دانشجویان تحت آموزش) که احتمالا آن را جالب می یابند و انگیزه آن ها ذاتی و بر پایه تمایل یافتن یک راه حل است. برچسب های گوناگونی به رویکردهای استقرایی از جمله جستجو- محور، سوال- محور، پروژه-محور، مورد-محور، سوال برانگیز و یادگیری کشفی داده شده اند. حوزه سوال ها می تواند از یک مجموعه سوال های کلیکی مرتبط در یک دوره کلاس درسی منفرد تا یک سوال پیچیده نیازمند چند هفته کار باشد که در آن اطلاعات جدید در پاسخ به نیاز دانشجویان به داده ها یا نتایج تجربی خاص داده می شود. فعالیت های مرتبط با یک بیماری، مسئله-محور و مورد-محور که در آن با دادن یک مجموعه از علائم از دانشجویان خواسته می‌شود به تشخیص برسند به طور گسترده در آموزش پزشکی استفاده می شود.

مربیانی که تمایل دارند در کلاس های درسی یادگیری فعال بیشتری داشته باشند ممکن است با مشکلات متعددی روبرو شوند. اجرای این روش تدریس می تواند شامل تلاش چشمگیری پیش از کلاس نسبت به شیوه های نوید بخش بحث شده در بالا باشد. گرچه طراحی یک کلاس درس جدید حول مدل یادگیری فعال ممکن است نسبت به آماده سازی سخنرانی ها برای یک کلاس درس سنتی جدید نیازمند تلاش بیشتری نباشد، دگرگونی یک کلاس درس سنتی نیازمند کار مضاعف جهت ایجاد فعالیت های موثر درون کلاسی و ارزیابی های تکوینی است. مسئله دیگر این است که کلاس های درس به سبک تالار اجتماعات با صندلی ثابت برای کار گروهی برهمکنشی چندان مناسب نیستند. چند موسسه کلاس های درس بزرگ با چینش صندلی هایی به سبک کافه برپا کرده اند که تدریس دانشجو-محور را بسیار تسهیل می کند و کلاس های درس این چنینی بیشتری برای تشویق به دگرگونی کلاس درس لازم است. مشکل نهایی، شاید سخت ترین

[1] Prince and Felder

برای برخی مربیان، این است که تدریس موثر در روش جدید نیازمند هم کنار گذاشتن برخی از کنترل ها در کلاس و نیز تغییر در چشم انداز از تدریس مربی–محور به یادگیری دانشجو–محور است. مربیان باید دیدگاه انتقالی پذیرفته شده رایج را که طبق آن باید همه آنچه دانشجویان برای دانستن لازم دارند به آن ها گفته شود رها کنند و در عوض بپذیرند که دانشجویان نه تنها در محیط برانگیزنده و حمایتی می توانند به تنهایی بسیار بیاموزند (دیدگاه سازنده) بلکه آن ها باید با توسعه این توانایی بتوانند به دانشمندان موفق یا شهروندان مطلع تبدیل شوند.

در مجموع در برابر سختی های بالقوه ذکر شده در بالا، شواهد روشن به دست آمده از تحقیقات آموزشی رشته–محور نشان می دهد که حرکت به سمت یادگیری فعال بیشتر در کلاس درسی دانشجو–محورتر می تواند یادگیری دانشجو را به میزان چشمگیری افزایش دهد. بازسازی کامل ضرورتی ندارد؛ حتی تغییرات تدریجی فزاینده می تواند اثر قابل توجهی داشته باشد.

۵- فعالیت های یادگیری خارج از کلاس: مسئولیت مربی در برابر مسئولیت دانشجو در یادگیری

دل نگرانی همیشگی مربیانی که در صدد وارد کردن سوال های کلیکی و سایر فعالیت های یادگیری فعال در کلاس های درس هستند این است که فکر می کنند دیگر نمی توانند تمام محتوای سرفصل را پوشش دهند. نخست اینکه ممکن است این چیز بدی نباشد. پوشش بیشتر الزاما به معنای یادگیری بیشتر نیست و می توان استدلال کرد که درک عمیق دانشجو از چند مفهوم مهم ارزشمند تر از ارائه سطحی بسیاری مفاهیم است. با این وجود، مسئله محتوا واقعی است زیرا می تواند آماده سازی دانشجو برای کلاس های درس بعدی و آزمون های استاندارد شده مانند MCAT را تحت تاثیر قرار دهد. یک راه حل برای این مشکل گذاشتن مسئولیت بیشتر بر دوش خود دانشجویان برای یادگیری مفاهیم پایه است و دوباره این فناوری جدید است که راه حل عملی دارد. با استفاده از یک رویکرد که فیزیک دانان آن را تدریس بموقع[1] نامیده اند به دانشجویان تکلیف مطالعه داده می شود و از آن ها خواسته می شود تکلیف خانگی را برخط برای سایت اینترنتی کلاس درسی پیش از آنکه به یک موضوع در کلاس درس پرداخته شود ارسال کنند. مربی سپس می تواند نتایج را بررسی (نمونه گیری تصادفی اگر کلاس درس بزرگ است) و معین کند کدام مفاهیم را دانشجویان به نظر می رسد خود فهمیده باشند و سپس فعالیت ها را در کلاس درس بعدی بر روی مفاهیمی متمرکز کند که آن ها مشکل یافته اند. دانشجویان ممکن است در برابر به دوش گرفتن این مسئولیت مقاومت کنند ولی بازهم، یادگیری با عمل برای مطالعات پیشرفته بعدی ضروری است و نیز برای زندگی در دنیای واقعی، جایی که فرد برای یادگیری یک مفهوم نمی تواند منتظر سخنرانی باشد. رویکرد معکوس کلاس درس که به نوعی بسط تدریس بموقع است می تواند برای دانشجویان پذیرفتنی تر باشد. دانشجویان پیش از کلاس به فایل های صوتی سخنرانی پاور پوینت مربی یا ارائه مولتی مدیا دیگر که نمونه عملکرد انتقال اطلاعات سخنرانی در کلاس سنتی است دسترسی پیدا می کنند. زمان کلاس سپس می تواند به سوال های کلیکی، حل مسئله، تفسیر داده ها یا دیگر فعالیت های یادگیری فعال بدون نگرانی درباره کاهش پوشش محتوا اختصاص داده شود.

اجرای این روش ها با استفاده از اینترنت و یکی از برنامه های مدیریت کلاس بر اساس وب که امروزه در اغلب دانشگاه ها برای مربیان کلاس های بزرگ در دسترس است خیلی ساده است. بسیاری از اساتید نه تنها به افزایش یادگیری دانشجو با این روش ها بلکه حمایت قوی دانشجویان پس از پی بردن به اینکه چقدر به یادگیری آن ها کمک کرده است، اشاره کرده اند.

به طور کلی، روش محول کردن تکلیف خانگی در تدریس زیست شناسی کمتر استفاده می شود. تکلیف خانگی ممکن است کمک زیادی برای حفظ اطلاعات بنیادی نکند ولی در کلاس های درس تحول یافته ای که برای کمک به دانشجویان جهت دستیابی به سطوح بالاتر درک بلوم طراحی شده اند، تکالیف خانگی که دانشجویان را ناگزیر از کاربست مفاهیم، حل مسائل، پیش بینی نتایج، آنالیز داده ها و طراحی آزمایش ها می کنند یک مکمل بسیار ارزشمند برای تمرین های مشابه کلاسی به حساب می آیند. علاوه بر شکل های سنتی تر تکلیف خانگی،شبیه سازی های برهمکنشی و بازی های ویدویی آموزشی به

[1] Just-In-Time-Teaching

نظر می رسد به طور فزاینده ای به عنوان فعالیت های یادگیری خارج از کلاس مفید باشند.

۶- برهمکنش دانشجو-استاد در کلاس: صراحت فن آموزش

بسیاری از دانشجویان که با آموزش سنتی راحت هستند ممکن است با رویکردهای جدید تدریس و درخواست هایی که در کلاس های تحول یافته از آن ها می شود مانند مسئولیت بیشتر برای یادگیری در خارج از کلاس درس، لزوم شرکت در کلاس به صورت منظم، تاکید بر کار گروهی، امتناع مربی از گفتن همه آنچه باید فرا گیرند وغیره مخالفت کنند. بهترین راه برای مواجهه با این مخالفت ها، با توجه به تجربه نویسنده و دیگران تشویق بهره مندی حداکثر دانشجویان با بازبودن درباره دلایل آموزشی و منفعت های رویکردهای جدید است. به عنوان مثال، مربی می تواند چند دقیقه برای معرفی مفهوم سطوح بلوم وقت بگذارد و به دانشجویان یادآوری کند که مهارت هایی که احتمالا موفقیت آن ها را در دوره تحصیلات تکمیلی و بازار کار معین می کند مربوط به سطوح ۳ تا ۶ و نه سطوح یک و دو می شود (شکل ۱). مربیان می توانند به دانشجویان شواهد به دست آمده از تحقیقات آموزشی رشته- محور را نشان دهند که کار گروهی و یادگیری فعال می توانند به صورت چشمگیری یادگیری را افزایش دهند و خاطر نشان شوند که همان طور که در بالا گفته شد این فعالیت ها می توانند آن ها را برای زندگی در دنیای واقعی بهتر آماده کند. اما مربیان همچنین باید هم درد و حامی دانشجویانی باشند که با این تغییرات دست و پنجه نرم می کنند زیرا دانشجویان نیز مانند مربیان برای موفقیت با رویکردهای آموزشی جدید باید درک خود درباره تدریس و یادگیری را تغییر دهند.

فعالیت های یادگیری فعال که در بالا بحث شد میزان برهمکنش دانشجو-استاد را در مقایسه با ملزومات سخنرانی سنتی بسیار افزایش می دهد. استفاده از سوال های کلیکی همراه با آموزش همتایان، یک راه ساده برای حرکت کلاس ها از انتقال یکطرفه اطلاعات به گفتگوی دو طرفه بین مربی و دانشجویان و بین دانشجویان است.

۷- تماس دانشجو-استاد خارج از کلاس: ساعت اداری در برابر ارتباط افزایش یافته

امبچ و واورزینسکی (Umbach and Wawrzynski) به مطالعاتی اشاره می کنند که نشان می دهد عموما یادگیری دانشجو با افزایش تماس دانشجو-استاد افزایش می یابد و پیشنهاد می کند که استاد، در صورتی که زمان اجازه دهد، باید فرصت های بیشتری برای برهمکنش فراهم کنند. برهمکنش های دیگر می تواند شامل ویزیت های آشنایی کوتاه با دعوت به دفتر کار مربی یا برای کلاس های بزرگ ارتباط مجازی از طریق ارسال ایمیل به کلاس، فروم های[1] بحث کنترل شده یا استفاده از وب سایت های شبکه های اجتماعی باشد. جز ضرورتِ صَرفِ زمان بیشتر از سوی استاد، این شیوه برای اجرا ساده است و کارآمدی آن توسط مطالعات مختلف پشتیبانی می شود.

۸- استفاده از دستیاران آموزشی: نمره دادن و گزارش تکالیف در برابر کمک به یادگیری دانشجویان

بسیاری از مربیان کلاس های درس بزرگ STEM از یک یا چند دستیار آموزشی کمک می گیرند که کار اصلی آن ها نمره دادن به تکالیف و امتحان هاست و شاید هدایت جلسات گزارش تکالیف برای مرور مطالب سخنرانی و راه حل ها برای مسائل تکالیف خانگی است. اگر دستیاران آموزشی در فرایند تحول کلاس درس سهیم شوند و تعلیم حداقل آموزشی داده شوند، آن ها می توانند به عنوان کمک سودمندی در کلاس درس برای بحث درباره سوال های کلیکی یا کارگروهی روی مسائل به کار روند. به علاوه، آن ها نوع جدیدی از تجربه تدریس را کسب کرده اند که در صورتی که خود در آینده استاد شوند می توانند از آن ها بهره مند شوند. بسیاری موسسات، این تعلیم را برای دانشجویان فارغ التحصیل STEM در برنامه های آماده سازی اساتید آینده فراهم می کنند. اجرای این شیوه بسیار ساده است و تحقیق برای ارزیابی کارآمدی آن در موسسه نویسنده و دیگر جاها در حال انجام است.

۹- آزمایشگاه های دانشجویی: تمرین های از پیش تعیین شده در برابر تحقیق

به عنوان یک راه حل برای مسئله آموزش نا کافی STEM برای دانشجویان کارشناسی گزارش کمیسیون بویر بنیاد کارنگی[2] پیشنهاد کرد که دانشگاه های پژوهشی با شرکت دادن دانشجویان بیشتر در پژوهش پیام های آموزشی و

[1] Forums
[2] Carnegie Foundation's Boyer Commission Report

پژوهشی خود را یکپارچه سازند. در آزمایشگاه های سنتی ملزوم بسیاری از کلاس های بزرگ سخنرانی دروس مقدماتی دانشجویان تمرین های از پیش معین شده ای را انجام می دهند که در آن ها ممکن است برخی تکنیک های آزمایشگاهی را یاد بگیرند ولی عموما درک اندکی از تحقیق علمی کسب می کنند. در انتهای دیگر طیف تجربهٔ کار آزمایشگاهی، برخی دانشجویان کارشناسی در آزمایشگاه های اساتید به عنوان کارآموز وارد می شوند و با کار در کنار دانشجویان تحصیلات تکمیلی و پسا دکتراها روی پروژه های تحقیقاتی که اغلب به چاپ مقاله منجر می شود، با نحوه انجام کار علمی آشنا می شوند. گرچه این تجربه بسیار مطلوب است، اغلب واحدهای آموزشی می توانند آن را تنها برای بخشی از مهاد های خود فراهم کنند. بین این دو انتها، برخی واحدهای آموزشی کلاس های آزمایشگاهی تحقیق-محور گوناگونی ایجاد کرده اند که برای آشنایی تعداد زیادی از دانشجویان با فرایند تحقیق طراحی شده اند. این کلاس های درس از آزمایشگاه های تحقیقاتی راهنمایی شده تا پروژه های تحقیقاتی گروهی بی انتها که ممکن است به انتشار مقالات توسط دانشجویان کارشناسی منجر شود نوسان دارد. اساتیدی که هدایت این کلاس های درس را به عهده می گیرند اغلب آن ها را به گونه ای طراحی می کنند تا نتایج حاصل بتوانند مستقیما به برنامه های پژوهشی آن ها کمک کنند.

اجرای کلاس های درس تحقیق-محور به جای آزمایشگاه های سنتی ممکن است نیازمند امکانات بیشتری از جمله تعلیم بیشتر برای دستیاران آموزشی باشد. گرچه فروید این شیوه نوید بخش را در خصوص شواهد برای کارآمدی پایین درجه بندی می کند، برخی مطالعات نشان داده اند که درگیری دانشجویان با مسائل تحقیقاتی واقعی یکی از راه های موثر برای حرکت دانشجویان در طول مسیر از مبتدی به متخصص است. در مقایسه با دانشجویانی که تنها کلاس های آزمایشگاهی سنتی را تجربه می کنند، منفعت های گزارش شده برای دانشجویان در برنامه های درسی تحقیق محور شامل درک عمیق تری از محتوا، افزایش اعتماد به نفس در توانایی آن ها برای درک و انجام علم، نگرش مثبت تر درباره علم و میزان ریزش کمتر می شود. این منافع در بین دانشجویان اقلیتی که از کلاس های درس به طور خاص استفاده می کنند آشکار است. بنابراین، منفعت های این شیوه نوید بخش می تواند شامل نه تنها افزایش یادگیری دانشجویان و ابقا تعداد بیشتری از آن ها در مهاد شود (مخصوصا اگر آزمایشگاه های تحقیق محور زود در برنامه درسی وارد می شود) بلکه همچنین به تحقیق استاد کمک می کند.

نتیجه گیری: عملکرد دوگانه آموزش زیست شناسی

کلاس های درس زیست شناسی مقدماتی دو هدف مهم دارند. یک هدف جلب کردن، برانگیزش و آماده کردن نسل بعدی زیست شناسان از جمله ستاره های تحقیقاتی آینده است. هدف دیگر کمک به عمده دانشجویانی است که زیست شناس یا حتی دانشمند نخواهند شد تا سواد زیست شناسی حداقلی به دست آورند و ماهیت علم، اهمیت شواهد تجربی و اصول پایه ای که سیستم های زیست شناسی بر آن استوار است را درک کنند. آن ها به عنوان شهروندان قرن بیست و یکم جهان به این دانش برای تصمیم گیری هوشمندانه درباره مسائلی مانند سلامت شخصی، ادعاهای متضاد در رسانه ها، سیاست انرژی، تغییر اقلیمی و حفظ منابع طبیعی نیاز دارند.

روش های سنتی تدریس از پیشرفت دانشجویان برتر کلاس های درس مقدماتی به کلاس های سطح بالا تر و تحصیلات تکمیلی، که ممکن است در آنجا در زمینه خود متخصص و به پژوهشگران ماهری تبدیل شوند، جلوگیری نمی کند. اما با روش های سنتی اغلب دانشجویان مردود می شوند و کلاس های درس مقدماتی را با این دید ترک می کنند که زیست شناسی مجموعه بزرگی از واقعیت های پراکنده است که ارتباط کمی با زندگی روزمره آن ها دارد و زود فراموش خواهد شد. بخشی از مسئله همان طور که در این مقاله توصیف شد در این نیست که ما به این دانشجویان چه چیزی تدریس بلکه چگونه تدریس می کنیم. ما باید بهتر عمل کنیم! پذیرش گسترده شیوه های نوید بخش تحقیق محور توصیف شده در بالا کمک خواهد کرد.