

استدلال و یادگیری علوم: نقش بحث انتقادی و مشارکتی

Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse

Jonathan Osborne

Science 328, 463 (2010)

مترجم: نیما یزدانبخش

تهران، دانشگاه تهران، دانشکده زیست شناسی

پست الکترونیکی: yazdanb@ut.ac.ir

چکیده

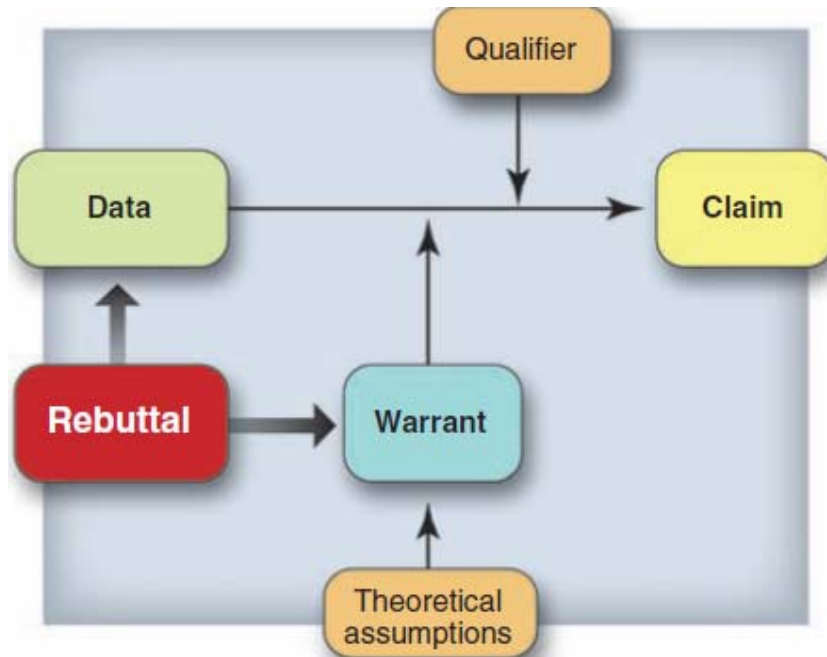
بحث و استدلال در علوم نقش کلیدی دارند. با این حال، در آموزش علوم به این دو مولفه اساسی توجه چندانی نمی شود. تحقیقات اخیر نشان می دهد که وارد کردن دانشجویان به بحث ها و مناظره های مشارکتی موجب می شود آنها نه تنها درک بهتری از مفاهیم به دست آورند، بلکه مهارت و توانایی بیشتری در استدلال علمی کسب نمایند. از آنجا که یکی از ویژگی های یک دانشمند، شک منطقی و انتقادی است، اختصاص ندادن فرصتی برای تمرین بحث و استدلال علمی در روال آموزشی کنونی نقص قابل ملاحظه ای به حساب می آید. با این حال، علی رغم آنکه اطلاع از روال های صحیح و نقاط قوت لازم است، دانستن کاستی ها و اشتباهات نیز به همان اندازه اهمیت دارد. این مقاله ضمن ارائه نتایج تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته است، کاربرد آنها را در آموزش و یادگیری علوم مورد بحث و بررسی قرار می دهد.

باید ایده های خود را در معرض بررسی همکارانشان قرار دهند. اما در آموزش علوم چه روالی دنبال می شود؟

آموزش علوم و نبود استدلال

فقدان استدلال در آموزش علوم قابل ملاحظه است (۴، ۵). علی رغم اینکه مدرسين و مربیان توضیحات بسیاری برای توجیه جایگاه خالی استدلال در آموزش علوم ارائه می دهند، هیچ یک از مطالب آنها برهانی قابل قبول نیست. ارائه توضیح برای یک واقعیت به منزله تایید صحت آن واقعیت است. در مقابل، بحث و استدلال تلاشی برای اثبات یک واقعیت است، که معمولاً شامل ادعایی می باشد که ممکن است با داده ها، احکام (که داده را به ادعا ارتباط می دهند)، ضمانت ها (فرضیه های احکام)، و یا توصیف کننده ها (محدودیت های ادعا) پشتیبانی شود (شکل ۱). ممکن است تمام این ارکان یا بخشی از آنها رد شوند و یا با استدلال مخالف مواجه شوند (۶). استدلال های رد کننده با کیفیت ترین استدلال ها به حساب می آیند چرا که باید قادر به مقایسه، ایجاد تضاد و تفکیک بخش های مختلف یک ادعا باشند. استدلال های علمی می توانند به شکل کلامی و یا نوشتاری باشند و اغلب توسط نمودار ها و یا مدل های نمادین پشتیبانی می شوند.

هدف علوم به دست آوردن اطلاعات جدید از دنیای طبیعی است، و بحث و انتقاد، دو راه اصلی برای رسیدن به این هدف به حساب می آیند. دانشمندان برای دعوی ایده های جدید خود (که می تواند شامل نظریه ها، راه های جمع آوری داده ها، و یا تفسیری جدید از داده های قدیمی باشد)، از استدلال استفاده می کنند. در مقابل، گروه دیگری از دانشمندان تلاش می کنند تا کاستی ها و محدودیت های ایده ارائه شده را مورد شناسایی قرار دهند؛ این روند به شکل غیر رسمی در جلسات گروه های تحقیقاتی و یا در همایش های علمی، و به شکل رسمی در داوری های علمی اجرا می شود (۱، ۲). به مرور زمان، ایده هایی که از این آزمایش های انتقادی سربلند خارج می شوند مورد پذیرش جامعه علمی قرار می گیرند و در نتیجه، علوم از طریق بحث و استدلال هدف اصلی خود را دنبال می کنند (۳). به این ترتیب، نقادی یک ویژگی جنبی علوم به حساب نمی آید، بلکه در حقیقت قلب تپنده فعالیت علمی است و بدون استدلال و ارزیابی، شکل گیری دانش و آگاهی معتبر غیر ممکن است. چه در مورد یک نظریه پرداز که مدلی جدید برای توصیف یک پدیده بخصوص ارائه می دهد، و چه محقق که یک روش تازه برای جمع آوری داده ها معرفی می کند، تمام دانشمندان



شکل ۱- نمودار استدلال تولمین (toulmin) تمامی استدلال هایی را که در کسب علم مورد استفاده قرار می گیرند نشان می دهد. برای نمونه، ادعایی مبنی بر اینکه شرایط آب و هوایی در حال تغییر است با داده هایی مانند افزایش سطح دی اکسید کربن و ذوب شدن یخچال های طبیعی پشتیبانی می شود. حکم مربوطه ارتباط میان داده ها را با این ادعا نشان می دهد. اغلب احکام بر اساس فرضیه های نظری شکل گرفته اند که به صورت ضمنی تایید شده اند. در نهایت، محدوده اعتبار یک ادعا به وسیله توصیف کننده ها تعیین می شود. استدلال ها در حین تلاش برای اثبات و یا رد ادعا و یا به چالش کشیدن اعتبار داده ها و احکام شکل می گیرند. استدلال های علمی بر اساس پیش بینی ها و نظریه ها، روش های جمع آوری داده ها، و نحوه تفسیر آنها شکل می گیرند.

آموزش هنوز بسیار ساده انگارانه و همانند یک روند انتقال مفاهیم دیده می شود که در آن دانش، به عنوان مجموعه ای از واقعیت های صریح و بدون تردید تعریف شده است و از یک متخصص به فرد مبتدی منتقل می شود. در این دیدگاه جهانی، ناتوانی در ارتباط یک استثنا، ولی موفقیت امری عادی به نظر می رسد. اما واقعیت این است که آموزش یک فرایند کاملاً پیچیده است که در آن شکست یک هنجار و موفقیت یک استثنا است (۱۲). برای نمونه ارزیابی ۱۴ کلاس که با روش های سنتی آموزش دیده بودند نشان می دهد که میانگین یادگیری دانشجویان قبل و بعد از آزمون تنها ۲۵ درصد بود. در مقابل، وقتی مربی درس را متوقف نموده و از دانشجویان خواست که مفاهیم ارائه شده را در گروه های کوچک (سه و یا چهار نفره) و یا دو به دو مورد بحث قرار دهند، میانگین یادگیری ۴۸ درصد بود (۱۳).

استدلال و فراگیری علوم

نتایج تحقیقات آموزشی که در دو دهه اخیر برای حل

هنگام توصیف ویژگیهای اصلی یک مفهوم علمی، بخش بزرگی از استدلال های ارائه شده برای شناخت و اثبات آن مفهوم نادیده گرفته می شوند. به این ترتیب، علم در دید دانشجویان به شکل حقیقتی یکپارچه و بیانی معتبر جلوه می کند که در آن چالش های نظری، ادله مربوطه و اهمیت آنها دیده نمی شوند (۷).

در نتیجه، دانشجویان تنها ایده هایی سطحی نگرانه و یا تصوراتی غلط از ذات علم کسب می کنند. علی رغم آنکه سازمان تحقیقات ملی، انجمن پیشبرد علوم امریکا، و نتایج تحقیقات فراوان بر اهمیت بحث و استدلال در یادگیری علوم تاکید دارند، این وضعیت همچنان پابرجاست (۸ - ۱۰).

یک توضیح که به شکل متداول ارائه می شود، عدم حضور بحث و استدلال در آموزش علوم را ناشی از تاکید بیش از حد معلمان، برنامه ها و کتابهای درسی بر دانسته ها می داند که موجب غفلت از چگونگی کسب آن دانش و نحوه فراگیری آن شده است (۱۱). در دل فرهنگ جوامع،

بهرتر در دانشجویانی هستند که در بحث و مناظره وارد می‌شوند (۲۵ - ۲۸) (شکل ۲). برای نمونه دانشجویانی که از آنان خواسته شد تا در بحث های گروهی کوچک مشارکت کنند، از نظر قدرت نطق و استدلال کلامی، یعنی همان توانایی هایی که در روال مرسوم آموزش علم نادیده گرفته می شوند (۲۹)، پیشرفت قابل ملاحظه ای نسبت به سایر دانشجویان به دست آوردند (۲۵). به علاوه، این گروه پیشرفت های قابل ملاحظه ای در استدلال غیر کلامی و درک مفاهیم علمی از خود نشان دادند. در مطالعه دیگری که بر روی دانش آموزان ۱۶ تا ۱۷ ساله در دو کلاس درسی ژنتیک انجام گرفت از آنها خواسته شد که در مورد جواب سوالاتی مشخص به مناظره استدلالی بپردازند. دانش آموزانی که وارد بحث شدند در مقایسه با گروه کنترل از دانش زیست شناسی به گونه ای مناسب تر استفاده کردند (۵۳,۲٪ در مقابل ۸,۹٪) (۲۶).

ارزیابی نتایج به دست آمده از ۱۸ تحقیق مختلف نشان داد که فعالیت های یادگیری به سه دسته اصلی قابل طبقه بندی هستند: فعالیت های تعاملی که نیازمند بحث و مناظره مشارکتی هستند (با یک همکار و یا مربی کارازموده)، فعالیت های سازنده که در آنها لازم است افراد محصولی مانند مقاله و یا گزارش آزمایشگاهی تهیه کنند، و یا فعالیت های عملی (و فعال) مانند انجام یک آزمایش (۳۰). مقایسه یادگیری حاصل شده از طریق هر یک از این سه رویکرد بیانگر وجود یک طرح سلسله مراتبی از فعالیتهای یادگیری بود که از تعامل (موثرترین) شروع شد، پس از آن فعالیت های سازنده قرار داشت و سرانجام به فعالیت های عملی (کم اثرترین) ختم می شد. این بررسی ها همچنین نشان دهنده وابستگی بحث گروهی که به گونه ای موثر در یادگیری نقش دارد، به برخی عوامل است. مهمترین این عوامل آن است که دانشجویان باید اصول تعاملات اجتماعی را فرا گرفته و درک کنند که هدف از این مباحثه، توجیه دیگران بر صحت استدلالهای آنها است. از سوی دیگر لازم است که بحث ها و استدلال های نمونه مدل سازی شده، و مربیان نتیجه خاص و روشنی را تعریف کنند. گروه های دانش آموزی نیازمند مطالبی هستند که آنها را در طرح سوالات مناسب و همچنین در تشخیص شواهد مرتبط و غیرمرتبط یاری دهد. به علاوه، باید توجه خاصی به توانایی نسبی اعضای گروه مبذول شود (۳۱ - ۳۴).

ناتوانی روش های سنتی آموزش انجام شده، نشان دهنده نقش موثر بحث و مناظره مشارکتی در روند یادگیری است. شماری از نظریه پردازان بر اساس دیدگاه های علمی ای که زبان را به عنوان هسته یادگیری و تفکر تعریف نموده و آن را جزئی جدایی ناپذیر از این فرایند می داند، به بیان نظریه هایی برای آموزش پرداخته اند (۱۴ - ۱۷). یکی از نتایج این حرکت، شکل گیری دیدگاهی است که یادگیری را نتیجه تقابل روش های مرسوم با ایده های نوینی می داند که با آنها مواجه می شویم (۱۸). هر فرد از طریق یک روند ادراکی که شامل مقایسه و تضاد است و به وسیله بحث پشتیبانی می شود، به یک درک تازه دست می یابد. به این ترتیب یادگیری نیازمند آن است که دانشجو فرصت داشته باشد تا دعاوی را شناخته، ایده های آنها را توجیه نموده و خود نیز به چالش کشیده شود. با این که فرایند مذکور می تواند برای یک فرد نیز رخ دهد، مفاهیم جدید عمدتاً در حین بحث و مناظره با دیگران در معرض استدلال های مخالف و منتقدانه قرار گرفته و محک زده می شوند.

به این ترتیب، به منظور یادگیری تفکر صحیح و به دست آوردن درک بهتر، لازم است که بحث و استدلال آموزش داده شود (۱۹، ۲۰). فهمیدن اینکه چرا برخی ایده ها اشتباه هستند به اندازه فهم اینکه چرا سایر ایده ها ممکن است درست باشند اهمیت دارد. برای مثال، دانشجویانی که به مطالعه متونی پرداختند که در آنها دلیل اشتباه یا صحیح بودن مطالب مطرح شده توضیح داده شده بود به درک عمیق تری دست یافتند تا دانشجویانی که به مطالعه متونی پرداختند که تنها به توضیح مطالب صحیح پرداخته بودند (۲۱). به همین ترتیب، محققان پی برده اند که یادگیری در گروه هایی که ایده های مختلف در ذهن دارند بیشتر از آنهایی است که دارای پیش فرض های مشابه هستند و چه بسا در بسیاری از گروه های دوم هیچ گونه پیشرفتی ملاحظه نمی شود (۲۲، ۲۳). نتایج یک بررسی دیگر نشان داد که در آموزش گروهی، حتی اگر تفاوت بین افراد بر اساس تصورات غلط باشد نیز یادگیری قابل ملاحظه ای حاصل می شود که ماندگاری آن در آزمون های بعدی نیز چشم گیرتر است (۲۴).

این یافته ها توسط شماری از مطالعات کلاس محور نیز تایید می شوند، که همگی نشان دهنده یادگیری مفهومی



شکل ۲ - دانشمندان پیوسته نظریه ها، داده ها، و مفاهیم را به بحث می گذارند. پژوهش ها نشان می دهد که بحث و استدلال در کلاس درس می تواند باعث یادگیری مفهومی بهتر شود.

استدلال و منطق علمی

بحث و استدلال در آموزش علوم نیازمند آن است که دانشجویان به ایجاد و ارزشیابی برهان های علمی پرداخته و مطالب را بگونه ای علمی نقد کنند. بررسی ها تصویر پیچیده ای از توانایی دانشجویان در به عهده گرفتن استدلال علمی نشان می دهند (۳۵).

به نظر می آید توانایی دانشجویان در بحث کردن، به ماهیت نتیجه نهایی وابسته است و دانشجویان رویکرد استدلالی خود را بیشتر بر اساس علاقمندی درونی خود انتخاب می کنند، تا اینکه از معیارهای منطقی استفاده کنند. عامل دیگری که در توانایی نقادی و استدلال دانشجویان نقش دارد، میزان اطلاعات آنها از موضوع مورد بررسی است. برای نمونه قدرت فرد در شناسایی تغییرات توأم، در صورتی که از یک مکانیزم نظری ممکن (مثلا اینکه سطوح دی اکسید کربن در اتمسفر می تواند موجب تغییرات آب و هوایی شود) اطلاع داشته باشند، به شکل چشمگیری افزایش می یابد (۳۶). نتایج یک تحقیق پیچیدگی شرایط را بیشتر کرد. در این تحقیق دانشجویان چینی دوره کارشناسی

فیزیک در مقایسه با دانشجویان آمریکایی همتراز خود در آزمونهای دانش محور بهتر عمل کردند (در بعضی موارد سه برابر بهتر)، در حالی که هیچ تفاوتی در عملکرد آنان در آزمون های عمومی مربوط به استدلال علمی وجود نداشت (۳۷). در مورد چگونگی و زمان کسب توانایی استدلال در دانش آموزان اختلاف نظر وجود دارد. گروهی معتقدند این توانایی در هنگام بلوغ شکل می گیرد در حالی که گروهی دیگر بر این باورند که حتی کودکان نابالغ نیز توانایی نتیجه گیری بر اساس شواهد را دارند (۳۸) و دشواری استدلال را برای دانش آموزان نه به توانایی استدلال آنها بلکه به محدودیت دانش آنها نسبت می دهند.

از سوی دیگر، دیدگاه ها در مورد آنکه چه چیزی استدلال علمی را به وجود می آورد نیز تا حدودی متفاوت است. اغلب تحقیقات انجام گرفته در مورد توانایی افراد در استدلال علمی شامل بررسی های روان شناختی آزمایشگاهی است که مهارت های افرادی با صلاحیت خاص را مورد مطالعه قرار می دهند. تحقیقات اولیه پیازه استدلال علمی را به عنوان توانایی انجام مجموعه ای از اعمال منطقی- ریاضی، از قبیل مرتب سازی، استدلال

منطقی، تفکر آماری، و به کار گیری مفاهیم انتزاعی تعریف کرد. برای نمونه، این که دانش آموزان بتوانند یکسان بودن حجم را، هنگامی که آب از یک پیستون باریک و بلند به درون یک پیستون کوتاه و پهن منتقل می شود، درک کنند (۳۹). تحقیقات اخیر بر مجموعه گسترده تری از مهارت ها مانند توانایی دانش آموز در ایجاد فرضیه های قابل آزمایش، ارائه طرح آزمایش، کنترل متغیرها، هماهنگ کردن نظریه ها و شواهد، و پاسخ دادن به شواهد غیر متعارف متمرکز است (۳۵).

جامعه شناسان گروهی دیگر از دانشمندان هستند که با دید تجربی خود استدلال های متقاعد کننده ای برای تایید ادعاهایشان ارائه می دهند. در مقابل، فلاسفه توصیفی ایده آل و اصولی از چگونگی عملکرد علوم بیان می کنند. با کنار هم قرار دادن دیدگاه این سه گروه می توان دریافت که مهارت های استدلالی که برای آموزش علوم مورد نیازند عبارتند از: - شناسایی الگوهای موجود در داده ها، مانند متغیرهای وابسته، و استنتاج؛ - مطابقت دادن نظریه ها با شواهد و تشخیص مستندات که یک ادعا را تایید یا رد می کنند و یا در اثبات آن بی اثر هستند؛ - ایجاد فرضیه های توضیحی و مستند و یا مدل هایی از پدیده های علمی و بحث و استدلال های متقاعد کننده ای که اعتبار آنها را تایید کنند؛ و - از بین بردن شک و تردید، که به حداقلی از اطلاعات در مورد مفاهیم مستند، از جمله روش های آماری، سنجش میزان خطا، و استفاده از آزمایش های مناسب همچون آزمونهای نمونه تصادفی دوسو کور، نیاز دارد.

از سوی دیگر، مطالعه نحوه استدلال فرصتی برای شناخت انواع مختلفی از بحث ها و استدلال ها که در علوم به کار می روند به دست می دهد. این بحث ها ممکن است رقابتی باشند (نتیجه گیری بهترین توضیح ممکن)، مانند استدلال های داروین در مورد نظریه تکامل، و یا فرضیه ای - قیاسی، مانند پیش بینی پاستور در مورد نتیجه اولین آزمایش واکسن سیاه زخمش، و یا تنها یک تعمیم استنتاجی از طرح های اولیه ای که بوسیله "قوانین" بیان شده اند.

بالا بردن مهارت های استدلالی و مباحثه ای دانش آموز
آیا اگر مباحثات علمی مشخصه عمومی آموزش دانش آموزان باشد، آنها در استدلال علمی بهتر عمل

می کنند؟ مطالعات زیادی نشان داده است که آموزش صریح برخی استراتژی های ویژه، موجب ارتقای توانایی استدلال علمی دانش آموزان می شود برای نمونه، یک مطالعه آزمایشگاهی نشان داده است که عملکرد دانش آموزانی که کنترل متغیرها را از طریق مداخله هدف مند فرا گرفتند، بسیار بهتر از گروهی بود که چنین آموزشی ندیده بودند (۴۰). نتایج مشابهی از یک تحقیق کلاس محور به دست آمد که پیشرفت قابل ملاحظه ای را در تفکر راهبردی و فرا راهبردی دانش آموزان نشان می داد (۴۱). مهمترین شاهد این ادعا یک تحقیق کلاسی بود که در انگلستان انجام گرفت و در آن ۳۰ مبحث درسی که بطور خاص برای آموزش نحوه بحث و استدلال تهیه شده بود، برای مدت دو سال در ۱۱ مدرسه بر روی دانش آموزان کلاس هفتم و هشتم اجرا شد. در آزمون مربوط به اطلاعات ذهنی و نظری، نمره دانش آموزان مدرسی که این بررسی در آنها اعمال شد به شکل قابل ملاحظه ای بهتر از گروه کنترل بود (۴۲). به علاوه، همین دانش آموزان دو سال بعد نه تنها در علوم، بلکه در مهارت های زبانی و ریاضیات نیز عملکردی به مراتب بهتر از گروه کنترل داشتند، به گونه ای که محققین این بررسی اعلام کردند که برنامه آنها قدرت پردازش ذهنی را در دانش آموزان افزایش داده است. این یافته ها چندین بار توسط همان پژوهشگران تکرار شد، و جمع آوری داده ها از گروه های جدید در مدرسی که از این برنامه استفاده می کردند صورت گرفت. با این حال، شکلی از استدلال که در این بررسی ها مورد ارزیابی قرار گرفت محدود به توانایی دانش آموزان در انجام عملیات منطقی بر اساس مطالعات پیازه بود. در یک بررسی کلاسی که به مدت یک سال و با هدف پیشرفت توانایی دانش آموزان در ارائه استدلال و مباحثه انجام گرفت، بهبودهایی دیده شد، اما نتایج به دست آمده معنی دار نبودند (۴۳).

چالش های پیش رو

تحقیقات انجام گرفته روی توسعه مهارت های دانش آموزان در ارائه استدلال و بحث هنوز در مراحل اولیه خود قرار دارد و فاقد ابزارهای قابل اعتماد و موثقی است که بتوان به کمک آنها صلاحیت دانش آموزان را ارزیابی کرد. به علاوه، هنوز نیازمند فهم دقیق تر چگونگی یادگیری براساس استدلال هستیم، و اینکه چه ویژگی هایی از فضای

جوامع خواهد بود (۴۷). پژوهشهایی که تا کنون انجام شده نشان می‌دهد که در ارتباط بودن با علوم به تنهایی باعث ایجاد چنین توانایی‌هایی نمی‌شود. در واقع شاهد آن هستیم که پرورش مهارت شک‌نقدانه که یکی از ویژگی‌های اساسی یک دانشمند است، در آموزش علوم از اهمیت بسیار کمی برخوردار است. این در حالی است که تحقیقات نشان داده است که آموزش ارائه برهان، استدلال و تفکر منتقدانه به دانش‌آموزان، منجر به یادگیری عمیق‌تر مفاهیم می‌شود. هرچند این امر تنها زمانی رخ می‌دهد که دانش‌آموزان به صورت هدفمند امکان کاوش آگاهانه ایده‌ها، شواهد، و استدلال‌ها را داشته باشند و خلاصه اینکه چگونه آنچه را که می‌دانیم آموخته ایم، چرا این دانش مهم است و این آگاهی چگونه به دست آمده است. شواهد نشان می‌دهند که چنین رویکردی برای دانش‌آموزان بسیار جذاب است (۴۸). بنابراین، بحث مشارکتی و گروهی که در آن دانش‌آموزان فعالانه ایده‌ها و عقاید یکدیگر را به چالش می‌کشند، فرصتی است برای ارتقای کیفیت تجارب دانش‌آموزان و نیز افزایش دامنه تفکر و نهایتاً یادگیری علوم.

آموزشی بهترین استدلال‌ها را در میان دانش‌آموزان شکل می‌دهد (۴۴). مسائل زیادی در مورد چگونگی سازماندهی گروه‌ها برای یادگیری و چگونگی پشتیبانی و فراگیری هنجارهای تعاملات اجتماعی روشن شده است، اما اینکه چگونه چنین گروههایی می‌توانند در جهت استدلال‌های انتقادی و دقیق حمایت شوند، کمتر شناخته شده است (۴۵). آنچه واضح است آن است که برای تقویت مهارت دانش‌آموزان، باید نه تنها نحوه استدلال مشخصاً آموزش داده شود، بلکه دانش‌آموزان با ویژگیهای فرا-زبانی استدلال (ادعاها، ادله، شواهد و برهان‌های مخالف) مورد نیاز برای شناسایی اجزای اصلی استدلال خود و دیگران نیز آشنا شوند (۴۶). خصوصاً لازم است حساسیت دانش‌آموزان کم سن و سال‌تر نسبت به بار منفی این کلمات کاهش داده شود و به گونه‌ای تربیت شوند که بحث و استدلال را به عنوان یک روند اساسی در تولید دانش و یادگیری ببینند.

بی‌شک کارفرمایان، سیاستگذاران و آموزش‌دهندگان معتقدند که توانایی افراد در ارائه استدلال‌های مشارکتی و انتقادی یک مهارت اساسی است که در آینده مورد نیاز

منابع

1. K. Popper, *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge* (Routledge and Kegan Paul, London, 1963).
2. B. Latour, S. Woolgar, *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts* (Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, ed. 2, 1986).
3. H. Longino, *Science as Social Knowledge* (Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1990).
4. P. Newton, R. Driver, J. F. Osborne, *Int. J. Sci. Educ.* 21, 553 (1999).
5. S. P. Norris et al., *Sci. Educ.* 92, 765 (2008).
6. S. Toulmin, *The Uses of Argument* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1958).
7. J. F. Osborne, S. Collins, *Int. J. Sci. Educ.* 23, 441 (2001).
8. National Research Council, *Inquiry and the National Science Education Standards* (National Academy Press, 2000).
9. American Association for the Advancement of Science, *Science for All Americans: A Project 2061 Report on Literacy Goals in Science, Mathematics and Technology* (AAAS, Washington, DC, 1989).
10. National Academy of Science, *National Science Education Standards* (National Academy Press, Washington, DC, 1995).
11. R. Driver, P. Newton, J. F. Osborne, *Sci. Educ.* 84, 287 (2000).
12. M. Reddy, in *Metaphor and Thought*, A. Ortony, Ed. (Cambridge Univ. Press, New York, 1979).
13. R. R. Hake, *Am. J. Phys.* 66, 64 (1998).
14. J. Wertsch, *Voices of the Mind: A Sociocultural Approach to Mediated Action* (Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 1991).
15. M. A. K. Halliday, *Linguist. Educ.* 5, 93 (1993).
16. N. Mercer, K. Littleton, *Dialogue and Development of Children's Thinking: A Sociocultural Approach* (Routledge, London, 2007).
17. R. Alexander, *Towards Dialogic Teaching: Rethinking Classroom Talk* (Dialogos, York, 2005).
18. G. Bachelard, *The Philosophy of No: A Philosophy of the New Scientific Mind* (Orion Press, New York, 1968).
19. D. Kuhn, *Harv. Educ. Rev.* 62, 155 (1992).
20. M. Billig, *Arguing and Thinking: A Rhetorical Approach to Social Psychology* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, ed. 2, 1996).
21. C. Hynd, D. E. Alvermann, *J. Read.* 29, 440 (1986).

22. B. B. Schwarz, Y. Neuman, S. Biezuner, *Cogn. Instr.* 18, 461 (2000).
23. C. J. Howe, A. Tolmie, C. Rodgers, *Br. J. Dev. Psychol.* 10, 113 (1992).
24. G. J. Ames, F. B. Murray, *Dev. Psychol.* 18, 894 (1982).
25. N. Mercer, L. Dawes, R. Wegerif, C. Sams, *Br. Educ. Res. J.* 30, 359 (2004).
26. A. Zohar, F. Nemet, *J. Res. Sci. Teach.* 39, 35 (2002).
27. C. S. C. Asterhan, B. B. Schwarz, *J. Educ. Psychol.* 99, 626 (2007).
28. V. Sampson, D. Clark, *Sci. Educ.* 93, 448 (2009).
29. J. L. Lemke, *Talking Science: Language, Learning, and Values*, J. L. Green, Ed. (Language and Educational Processes Series, Ablex Publishing, Westport, CT, 1990).
30. M. Chi, *Top. Cogn. Sci.* 1, 73 (2009).
31. B. Barron, *J. Learn. Sci.* 12, 307 (2003).
32. P. Blatchford, P. Kutnick, E. Baines, M. Galton, *Int. J. Educ. Res.* 39, 153 (2003).
33. N. Mercer, R. Wegerif, L. Dawes, *Br. Educ. Res. J.* 25, 95 (1999).
34. L. K. Berland, B. Reiser, *Sci. Educ.* 93, 26 (2009).
35. C. Zimmerman, *Dev. Rev.* 27, 172 (2007).
36. B. Koslowski, J. Marasia, M. Chelenza, R. Dublin, *Cogn. Dev.* 23, 472 (2008).
37. L. Bao et al., *Science* 323, 586 (2009).
38. K. E. Metz, *Rev. Educ. Res.* 65, 93 (1995).
39. B. Inhelder, J. Piaget, *The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence* [English transl.] (Routledge and Kegan Paul, London, 1958).
40. D. Klahr, M. Nigam, *Psychol. Sci.* 15, 661 (2004).
41. A. Zohar, A. David, *Metacogn. Learn.* 3, 59 (2008).
42. M. Shayer, P. Adey, *J. Res. Sci. Teach.* 30, 351 (1993).
43. J. F. Osborne, S. Erduran, S. Simon, *J. Res. Sci. Teach.* 41, 994 (2004).
44. P. Jerman, P. Dillenbourg, in *Arguing to Learn: Confronting Cognitions in Computer-Supported Collaborative Learning Environments*, J. Andriessen, M. Baker, D. Suthers, Eds. (Kluwer, Dordrecht, Netherlands, 2003), pp. 205-226.
45. N. M. Webb, *Br. J. Educ. Psychol.* 79, 1 (2009).
46. L. R. Herrenkohl, M. R. Guerra, *Cogn. Instr.* 16, 431 (1998).
47. National Research Council, *Research on Future Skill Demands* (National Academies Press, Washington, DC, 2008).
48. S. B. Nolen, *J. Res. Sci. Teach.* 40, 347 (2003).

