بازسازی آموزشی با
مدلی برای آموزش علوم و فناوری نانو

غزال کیانپور و وحید امانی
دانشگاه فرهنگیان، پردیس شهید بهشتی تهران

چکیده

به دلیل سهم عمده علوم و فناوری نانو در سواد علمی نسل‌های آینده، پژوهش در زمینه آموزش علم نانو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا پژوهشگران ۹ عنوان اساسی و کلیدی در یاددهی و فهم مسائل این حوزه یادگیری معرفی کرده‌اند که بر پایهٔ آن، یک توالی یاددهی ـ یادگیری برای دانش‌آموزان دوره متوسطه با تمرکز بر موضوعاتی شامل: اندازه، ابزار، خواص وابسته به اندازه و علم/ فناوری/ جامعه گسترش پیدا کرده است. با استفاده از این توالی، آموزش علوم و فناوری نانو در پنج مرحله در دوره متوسطه، به این شرح اجرا می‌شود: مقدمه/ یک نانومتر چقدر کوچک است؟/ چگونه می‌توانیم جهان نانو را ببینیم؟/ خواص وابسته به اندازه/ ارزیابی خطرهای فناوری نانو.

در پایان، با جمع‌آوری داده‌های حاصل از پرسشنامه‌ها، گفت‌وگوها، برگه‌های کار در کلاس و دست‌نوشته‌های دانش‌آموزان می‌توان میزان درک آن‌ها از مسائل مربوط به علوم و فناوری نانو را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج حاصل از توالی یاددهی ـ یادگیری و به‌کار بستن مدل بازسازی آموزشی، نشان می‌دهد که آموزش مسائل مربوط به علوم و فناوری نانو در دوره متوسطه، در میزان فهم دانش‌آموزان از جهان نانو و شکل‌گیری دانش آن‌ها بسیار مؤثر است و به نظر می‌رسد یاددهی مسائل این موضوع حتی در سطوح آموزشی پایین‌تر نیز امیدبخش باشد.

کلیدواژه‌ها: علوم و فناوری نانو، مدل بازسازی آموزشی، یاددهی ـ یادگیری، آموزش نانو در مدارس

مقدمه

گسترش سریع علوم و فناوری نانو، NST[1] و اهمیت رو به رشد آن در جامعه، نگرانی‌های مربوط به آموزش این علم را در سراسر جهان برانگیخته است. در دو دهه گذشته پژوهش‌هایی درباره آموزش NST انجام شده است (استاورو و همکاران، ۲۰۱۵؛ هینگنت و همکاران، ۲۰۱۰، ص. ۱۲۱؛ جونز و همکاران، ۲۰۱۳، ص. ۱۴۹۰). با پی بردن به اهمیت فناوری نانو در پیشرفت علم و بهبود استانداردهای جامعه، بنیاد علوم ملی ایالات متحده[2] از کارگاه‌ها به منظور بررسی روش‌های تدریس علم نانو و ایجاد ایده‌های اساسی در زمینه آموزش این فناوری حمایت کرده است. ۹ عنوان اساسی که در آموزش NST از اهمیت فراوانی برخوردارند، عبارت‌اند از: اندازه، ساختار ماده،

نیروها و برهم‌کنش‌ها، اثرهای کوانتومی، خواص وابسته به اندازه، خودچیدمانی، ابزار، مدل‌ها و شبیه‌سازی و علم/ فناوری/ جامعه (استیونز و همکاران، ۲۰۰۹).

مطالعات مختلفی دربـــاره میزان فهم و بینش دانش‌آموزان از مسائل مربوط به فناوری نانو مانند اندازه و نسبت سطح به حجم انجام گرفته اســت (جونز و همکاران، ۲۰۰۷، ص. ۱۹۱؛ تیلور و جونز، ۲۰۰۹، ص. ۱۲۳۱؛ ســوارت و همــکاران، ۲۰۱۱، ص. ۵۱۲). در سال ۲۰۱۲ بلوندر[۳] و ساخنینی[۴] با هدف بررسی تصور دانش‌آموزان از جهان نانو، مدل آموزشی استانداردی ارائه دادند (بلوندر و ساخنینی، ۲۰۱۲، ص ۵۰۰). این مطالعه نشان داد که اســتفاده از روش‌های مختلف آموزشی با تأکید بر آموزش‌های دیــداری باعث افزایش درک جهان نانو و علاقه دانش‌آموزان به فناوری نانو می‌شود.

از آنجا که مقیاس نانو با تجربه‌های روزمره ما دسترسی‌ناپذیر اســت، نقش تجهیزات علمی متناسب در درک مقیاس و اندازه نانو برجسته می‌شــود (هینگنت و همکاران، ۲۰۱۰، ص. ۱۲۱؛ بلونــدر، ۲۰۱۰، ص. ۶۷) . جونز[۵] و همکارانش در ســال ۲۰۰۳ دریافتند که استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی[۶] به‌عنوان یک رابط لمســی، ســبب افزایش فهم دانش‌آموزان از مقیاس‌های نامرئی می‌شــود (جونز و همــکاران، ۲۰۰۳، ص. ۳۰۳). آن‌ها نشان دادند که استفاده از فناوری، عاملی بسیار مهم و سودمند جهت بهبود درک و آشنایی دانش‌آموزان با جهان نامرئی است.

همچنین بررسی‌ها نشان داد که افزودن انواع مختلف بازخورد لمســی، مانند لمس فعال و بازخورد حرکتی، همراه با تصویرســازی یارانه‌ای در یاددهی مقیاس‌های نامرئی، نه‌تنها آموزش را جذاب‌تر می‌کند بلکه می‌تواند بر شــیوه شکل‌گیری دانش و تصور دانش‌آموزان نیز بسیار اثرگذار باشد. با وجود اثر بالقوه کاربردهای NST در زندگی روزمره، آشــنایی با خطرها و مســائل انسانی مربوط به این کاربردها در جامعــه، عامــل مهمی در نگــرش و تصورات شهروندان نسبت به NST به شمار می‌رود و آگاهی دانش‌آموزان از این خطرها، در آمادگی آن‌ها برای شرکت در گفتمان‌های اجتماعی آینده در زمینه NST اهمیــت فراوانی دارد (جونــز و همکاران، ۲۰۰۶، ص. ۱۱۱؛ امبروجی و همکاران، ۲۰۰۸، ص. ۵).

در سال ۲۰۱۳ سیمون[۷] و همکارانش در یک بررسی دریافتند که اســتدلال‌های دانش‌آموزان از میزان خطرهای NST در دو دیــدگاه متفاوت از یکدیگر قرار دارد. یکی، دیدگاه مثبت‌گرا که عنوان می‌کند فرد و جامعه باید از فناوری‌های جدید اســتفاده کنند و دیگری، دیدگاه انتقادی نســبت به خطرهای احتمالی استفاده از فناوری‌های نوین و تهدید جامعه انسانی بود (سیمون و همکاران، ۲۰۱۳، ص. ۲۳۷۶). در این مقاله «مدل بازســازی آموزشــی»[۸]، که در سال ۲۰۱۵ توسط اســتاورو[۹] و همکارانش برای نخستین بار ارائه شد، بررسی می‌شود (استاورو و همکاران، ۲۰۱۵). در این مدل برای دانش‌آموزان دبیرســتانی یک توالی یاددهی ـ یادگیری[۱۰] مورد بحث و ارزیابی قرار گرفته است. هدف از ایــن کار، ثبت توانایی و مشــکلات دانش‌آموزان در یادگیری مسائل NST در محیط‌های واقعی کلاس درس است.

مدل بازسازی آموزشی

این مدل به‌عنوان یک چارچوب نظری جهت بررســی این پرسش است: آیا آموزش مباحث ویژه علمی، یاددهی اصول و مفاهیم بنیادی علم قابل اجرا و سودمند است؟ هدف اصلی مدل بازســازی آموزشی این اســت که همزمان با گسترش توالی یاددهی ـ یادگیری توازنی میان نگرانی‌های آموزشــی و محتــوای علمی ایجاد کند (دویت و همکاران، ۲۰۱۲، ص. ۱۳).

این مدل سه جزء به این شرح را در برمی‌گیرد:

ـ تشــریح و تحلیل محتوای علمی مشــتمل بر بررســی تجزیه‌ای و تفسیری موضوع اصلی و تحلیل اهمیت یاددهی

مباحث ویژه علمی؛

ـ بررسی یاددهی و یادگیری شامل بررسی و توسعه دیدگاه‌های دانش‌آموزان به سمت دیدگاه‌ها و تفکرات علمی، بررسی و کار روی دیدگاه‌های معلمان و باور آن‌ها درباره مفاهیم علمی، یادگیری دانش‌آموزان و نقش آن‌ها در شروع و ادامه یادگیری؛

ـ طراحی و ارزیابی محیط‌های یاددهی و یادگیری شامل طراحی مواد آموزشی، فعالیت‌های آموزشی و توالی‌های یاددهی و یادگیری.

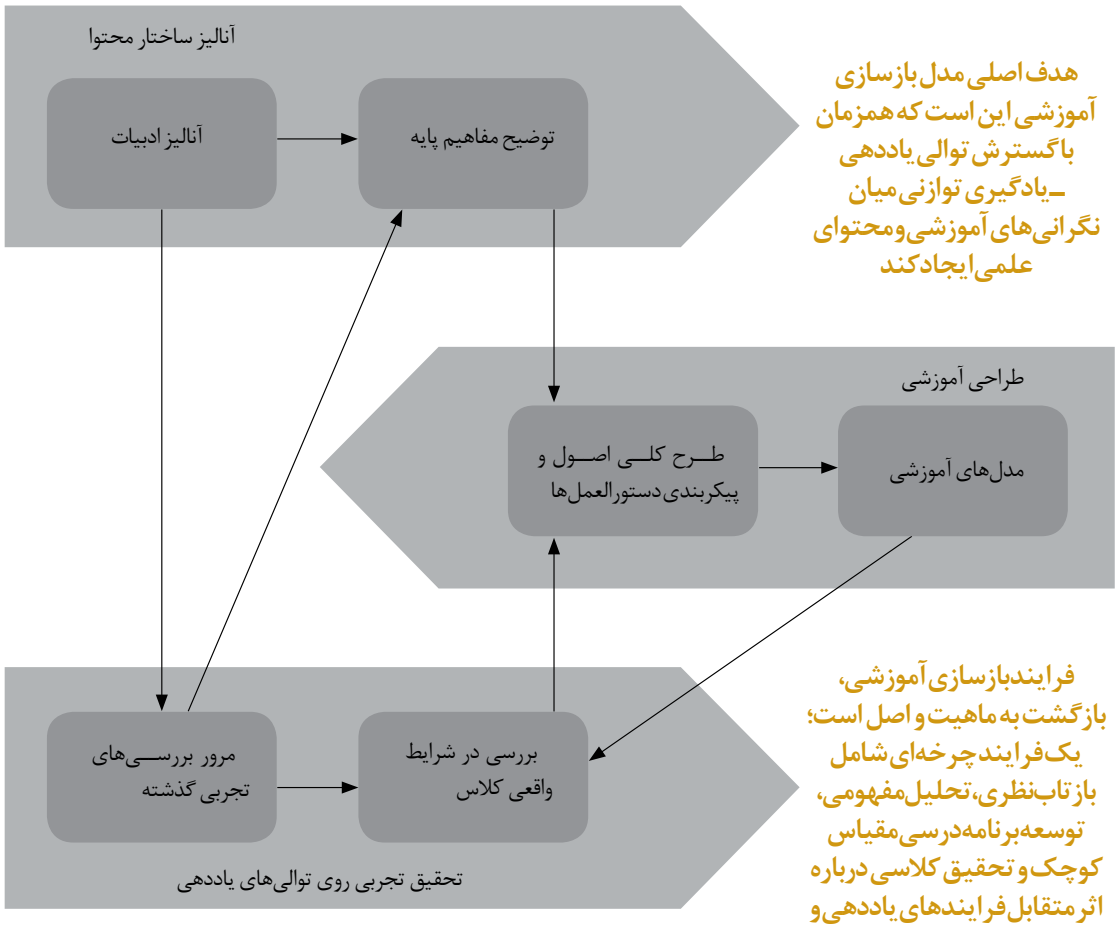
فرایند بازسازی آموزشی، بازگشت به ماهیت و اصل است؛ یک فرایند چرخه‌ای شامل بازتاب نظری، تحلیل مفهومی، توسعه برنامه درسی مقیاس کوچک و تحقیق کلاسی درباره اثر متقابل فرایندهای یاددهی و یادگیری. در این مدل، روش بازگشتی با یک توضیح از ساختار محتوای علمی آغاز شده و پس از آن تحلیلی روی ادبیات آموزش علم، جهت یاددهی علوم و فناوری نانو صورت گرفته است. با در نظر گرفتن تحلیل ادبیات آموزش علم، تشریح بیشتری از محتوای علمی صورت می‌گیرد که در گسترش و بهبود توالی یاددهی ـ یادگیری و بررسی ظرفیت‌ها و مشکلات دانش‌آموزان مورد استفاده قرار خواهد گرفت. بنا به شکل ۱، تحلیل محتوای علمی، بررسی دیدگاه‌های دانش‌آموزان و طراحی محیط‌های آموزشی در فرایندی چرخه‌ای با هم در ارتباط هستند (استاورو و همکاران، ۲۰۱۵؛ دویت و همکاران، ۲۰۱۲، ص. ۱۳).

توالی یاددهی ـ یادگیری

براساس این مدل، توالی یاددهی ـ یادگیری در پنج مرحله به اجرا در می‌آید که عبارت‌اند از:

مرحله اول مقدمه این مرحله، افزایش علاقه و شوق دانش‌آموزان به یادگیری علوم و فناوری نانو، با معرفی جهان نانو و کاربردهای متنوع آن مانند سلول‌های خورشیدی، مواد خودتمیزشونده و ... را هدف می‌گیرد.

مرحله دوم هدف اصلی این مرحله، آشنایی دانش‌آموزان با مقیاس نانو و پی‌بردن به این حقیقت است که وسایلی که ما در این مقیاس از آن‌ها استفاده خواهیم کرد با اندازه کار ما متناسب‌اند.

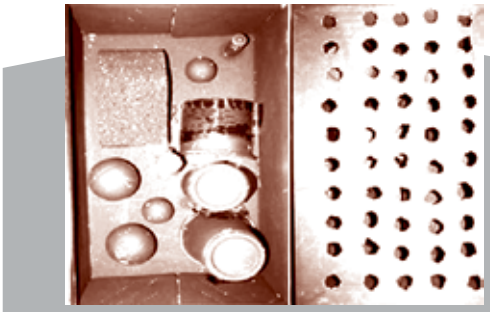


▲ شکل ۱ فرایند بازسازی آموزشی

بهتر است در این مرحله به دانش‌آموزان تکلیف‌هایی به این شکل داده شود: تصویر اشیای مختلف را به ترتیب اندازه آن‌ها از ۱ متر تا ۱ نانومتر (از بزرگ به کوچک) مرتب کنند، یک نوار کاغذی یک متری را به ۱۰ تکه و هر تکه را به ۱۰ تکه دیگر و همین‌طور تا آخر تقسیم کنند. می‌توانیم از آن‌ها بخواهیم که بلوک‌های ساختمانی را یک بار با پوشیدن دستکش و بار دیگر بدون پوشیدن دستکش بسازند تا به این واقعیت پی‌ببرند که برای کارایی و عملکرد بهتر، به ابزار همسان و متناسب با اندازه برای کارمان نیاز داریم.

***مرحله سوم:* چگونه می‌توانیم جهان نانو را ببینیم؟**

هدف این مرحله این است که دانش‌آموزان متوجه شوند که برای



▲ شکل ۲ جعبه سیاه

دیدن جهان نانو، باید از روش‌های غیرمستقیم استفاده کنیم. برای نمونه، می‌توان از قیاس جعبه سیاه استفاده کرد؛ اشیایی با ارتفاع و ویژگی‌های متفاوت (مانند درپوش‌های پلاستیکی و قوطی فلزی) را در جعبه مقوایی قرار دهیم و روی در جعبه سوراخ‌های ریز متعددی ایجاد کنیم، شکل ۲. (کاؤ و همکاران، ۲۰۰۶؛ ترنر و همکاران، ۲۰۰۶). سپس از دانش‌آموزان خواسته شود که اجسام درون جعبه را تشخیص دهند و به‌صورت نمایشی توضیح دهند که چه اجسامی درون جعبه قرار دارد.

می‌توان برای درک بهتر این مسئله از یک میکروسکوپ AFM ابتدایی شامل یک آهن‌ربا روی یک CD کوچک و یک نشانگر لیزری استفاده کرد (پلانینشچ و کواچ، ۲۰۰۸، ص. ۳۷؛ بلوندر، ۲۰۱۰، ص ۶۷). نمونه مورد نظر جهت کار با میکروسکوپ AFM نیز می‌تواند یک صفحه که روی سطح آن درپوش‌های[11] فلزی قرار داده شده و به وسیلهٔ کاغذ پوشیده شده باشد، شکل ۳. سپس پرتوی لیزر را روی سطح کاغذ به حرکت در می‌آوریم و از دانش‌آموزان می‌خواهیم نقطه‌های بازتاب لیزر روی دیوار را پس از برخورد به کاغذ نشانه‌گذاری کنند که نتیجه آن، پدیدار شدن یک نمودار خواهد بود. به کمک این نمودار دانش‌آموزان باید موقعیت درپوش‌ها را پیدا کنند. شکل ۴، نمونه‌ای از این میکروسکوپ ساده و روش کار با آن را نمایش می‌دهد.

▲ شکل ۳ مدل AFM قابل تهیه در مدارس

▲ شکل ۴ نمونه‌ای از نمودار حاصل از اسکن روی سطح نمونه

مرحله چهارم: خواص وابسته به اندازه-تغییرات نسبت مساحت سطح به حجم هدف این مرحله آموزش این نکته به دانش‌آموز است که با کوچک‌تر شدن اندازه اشیا، نسبت مساحت سطح به حجم افزایش می‌یابد و در نتیجه، خواص آن‌ها نیز تغییرات چشم‌گیری خواهد کرد. برای تفهیم این موضوع به دانش‌آموزان، می‌توان از نمونه‌هایی که در ادامه می‌آیند کمک گرفت.

شکل ۵ میخ فولادی (چپ)، رشته سیم فولادی (وسط) و رشته سیم‌های فولادی (راست)

نمونه‌ها

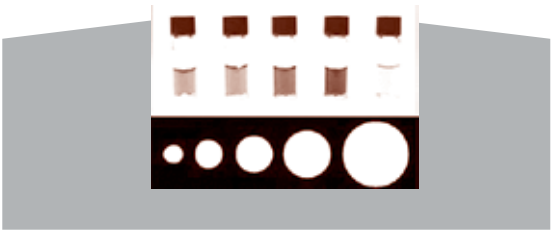
- می‌توان از سوختن متفاوت سه جسم فولادی در سه اندازه متفاوت استفاده کرد. نمونه‌ای از این اجسام در شکل ۵ نشان داده شده است.
- می‌توان از مقایسه رفتار متفاوت یک تکه سیب‌زمینی با آب‌اکسیژنه و سپس همان تکه سیب‌زمینی، هنگامی که به تکه‌های کوچک‌تر تقسیم شده است استفاده کرد، شکل ۶.

ـ بنـــا به شـــکل ۷، می‌توان یـــک مکعب را به ۸ مکعب و ســـپس ۲۷ مکعـــب کوچک‌تر تقســـیم کرد تـــا چگونگی افزایش ســـطح، در حالی‌که می‌داند حجم ثابت است را درک کند.

▲ شکل ۶ رفتار یک تکه سیب‌زمینی در واکنش با H_2O_2 (چپ) و همان سیب‌زمینی در تکه‌های کوچک در واکنش با H_2O_2 (راست)

▲ شـــکل ۷ مکعب کامل (راست) که به ۸ مکعب (وسط) و به ۲۷ مکعب (چپ) تقسیم شده است

ـ *تغییرات رنگ*؛ می‌توان از توضیح تغییـــرات رنگ در نانوذره‌های طلا برای تفهیم خواص وابســـته به اندازه استفاده کرد. به این ترتیب دانش‌آمـــوزان درمی‌یابند که رنگ‌های متفـــاوت کلوییدهای طلا، از تفاوت اندازه آن‌ها نتیجه می‌شود.



شکل ۸ تغییر رنگ کلوییدهای طلا در مقیاس نانو

ـ *رفتار متفاوت نمونه‌های مختلف از آبدوست تا آبگریز هنگام جذب یک قطره آب*؛ برای نشان دادن این خاصیت می‌توان از توضیح رفتار نمونه‌های پارچه‌ای مختلف هنگام جذب آب (از آبگریز تا آبدوســـت) استفاده کرد. با این کار رفتار خودتمیزشوندگی نمونه‌های مختلف که ظرفیت جذب متفاوتی دارند نشان داده می‌شود، شکل ۹. برای درک بهتر ظرفیت جذب متفاوت آب در پارچه‌ها می‌توان از شبیه‌ســـازی ورود قطره آب اســـتفاده کرد، شکل ۱۰. در اینجا از گلوله سنگی در ســـه فضا با تراکم متفاوت استفاده شده است. این فضاها با استفاده از چندین میخ ایجاد شده است.

مرحله پنجم: ارزیابی خطـــرات نانوفناوری هدف این مرحله افزایش دانش و آگاهی دانش‌آموزان از خطرهای احتمالی NST است. در این راســـتا باید به دانش‌آموزان تفهیم کرد کـــه فناوری نانو یک علم نوظهور و هنوز در آغاز راه پیشـــرفت است و بسیاری از خطرها و کاربردهای سودمند آن هنوز به‌طور کامل آشکار نشده است.

کل فرایندهای یاددهی، به‌ویژه یاددهی به‌صورت عملی، نمایشی و تصویرسازی رایانه‌ای، درک دانش‌آموزان را نسبت به مسائل نانوفناوری، جامعه و اخلاق در عرصه علم و فناوری افزایش می دهد

▲ شکل ۹ سه نوع پارچه، با ظرفیت‌های متفاوت در جذب آب

▲ شکل ۱۰ شبیه‌سازی جذب آب در آ. پارچه‌های آبدوست (چپ)، ب. نیمه‌آبدوست (وسط) و پ. آبگریز (راست)

چگونگی ارزیابی

برای ارزیابی توالی یاددهی ـ یادگیـــری، می‌توان آن را برای تعداد معینی دانش‌آموز در دوره متوســـطه به‌کار بـــرد و داده‌های آن را به روش‌های زیر جمع‌آوری کرد.

ـ تنظیم پرسشنامه‌هایی برای ارزیابی تصور و ادراک دانش‌آموزان از مقیاس نانو، چگونگی رؤیت جهان نانو و اینکه خواص در این مقیاس چگونـــه تغییر می‌کنند. دانش‌آموزان باید پیـــش و پس از ارزیابی، به پرسش‌های این پرسشنامه پاسخ دهند.

ـ برگه‌هـــای کار در کلاس برای دانش‌آموزان تهیه و نتایج در طول مراحل مختلف آن ثبت شود.

ـ دست‌نوشته‌ها و یادداشت‌های جانبی دانش‌آموزان جهت پی بردن به برداشت‌های متمایز آن‌ها جمع‌آوری و در ارزیابی در نظر گرفته شود.

ـ گفت‌وگوی شـــخصی با دانش‌آموزان انجام و نسبت به ثبت عمق درک و تصور آن‌ها از جهان نانو اقدام شود.

نتایج

در سال ۲۰۱۵ استاورو[۱۲] و همکارانش در دانشگاه کرت[۱۳] کشور یونان، با اســـتفاده از اجرای مدل بازسازی آموزشی در یک کلاس ۱۵ نفره در دوره متوسطه، به این نتیجه رسیدند که تدریس مسائل مربوط به NST در بینش و نحوه شـــکل‌گیری دانش در ذهن دانش‌آموزان بسیار مؤثر است و به نظر می‌رسد یاددهی مسائل NST در سطوح آموزشی پایین‌تر نیز امیدبخش و دلگرم‌کننده باشد. این نتایج که در مجله «LUMAT» منتشر شد در ادامه ارائه خواهد شد (استاورو و همکاران، ۲۰۱۵).

اندازه

بنـــا بر این پژوهش، دانش‌آموزان در زمینه اندازه اجســـام روزمره و آشنا مشکلی نداشـــتند بلکه در مورد اجسامی که با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شـــدند با سردرگمی روبه‌رو می‌شـــدند. در پایان پژوهش، درصد زیادی از دانش‌آموزان موفق شدند گستره مولکول‌ها و اتم‌ها را، به‌عنوان اجزای سازنده جهان ماده، در توالی درستی قرار دهند. البته کار آسانی نبود که اجسام را در محدوده اتم تا کوچک‌ترین شیء قابل رؤیت ـ که در اینجا یک تار موی انسان بود ـ مرتب کنند.

ابزار

بیشـــتر دانش‌آمـــوزان در آغاز فکـــر می‌کردند که بـــرش دادن و تکه‌تکه کردن یک نوار کاغذی به چندین برش نانومتری با وســـایل معمولی، امکان‌پذیر است. با انجام فعالیت‌های مرحله دوم آن‌ها متوجه شـــده‌اند که برای دستکاری اجسام، به ابزارهای نیاز دارند که ابعاد آن با اندازه شیء مورد نظر متناسب باشد. مهم‌تر از آن دریافتند که برای مشاهده اشیا در مقیاس نانو نیازمند ابزار خاصی همانند میکروسکوپ نوری هســـتند که از برهم‌کنش نور با ماده استفاده می‌کند زیرا اندازه ذره‌های نانو از طول موج نور کوچک‌تر اســـت. کار با میکروســـکوپ نیروی اتمی AFM به‌طور چشـــم‌گیر به فهم و درک دانش‌آموزان از جهان نانو و بینش آن‌ها نسبت به این جهان نامرئی کمک می‌کند.

خواص وابسته به اندازه

دانش‌آموزان در مورد خواص وابســـته به اندازه نظر خاصی نداشتند. آن‌ها تصور می‌کردند که اشیا، خواص ثابت و معینی دارند. همین باور ســـبب ایجاد برخی مشکلات در شروع کار بود اما به تدریج پذیرفتند که به علت تغییر اندازه اشـــیا، تغییـــر در خواص آن‌ها نیز امکان‌پذیر است. آن‌ها تلاش کردند مفهوم تغییر مساحت نسبت سطح به حجم را نیـــز درک کننـــد که البته این درک با توانایی اســـتدلال آن‌ها نیز متناسب بود. از این‌رو، جهت تسهیل درک این موضوع تأکید شد که با کوچک‌تر شـــدن اندازه، سطح آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. برای درک خواص نوری طلا، نیاز به زمان داشتند تا برایشان روشن شود که تغییر رنگ تنها در مقیاس نانو رخ می‌دهـــد. چالش اصلی دانش‌آموزان در توضیح تغییر خواص نوری طلا با این برداشت مرتبط بود که خواص مواد در هر اندازه‌ای که باشند، بدون تغییر و ثابت باقی می‌ماند. گفتنی اســـت که این کج‌فهمی، در عمق تفکر بیشتر معلمان نیز ریشه دارد (استاورو و اویلر، ۲۰۱۲، ص ۳۵۸).

علم، فناوری و جامعه: ارزیابی خطرها

در ایـــن تحقیق در جریان بحث در مورد اخلاق در حیطه نانو، پس از گفت‌وگوهای دوطرفه کلاســـی، در رد یا قبـــول این فناوری برای جامعه، ســـرانجام بیشتر دانش‌آموزان این فناوری را برای جامعه لازم دانســـتند و قبول کردندکه کاربرد علم نانو در بهبود زندگی و افزایش سطح استانداردها، نقش مهم و بسزایی دارد. از طرف دیگر یک نگرش انتقادی و احتیاطی نســـبت به خطرهای احتمالی و کاربردهای نوین آن داشـــتند که از ضرورت حفظ اخلاق و مســـائل انسانی سرچشمه می‌گرفت (استاورو و همکاران، ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری

بنا بر پژوهش‌های مختلف، با گســـترش توالی یاددهی ـ یادگیری، بینش و دیدگاه‌های دانش‌آموزان نســـبت بـــه ایده‌های اصلی NST بهبود یافته اســـت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کل فرایندهای یاددهی، به ویژه یاددهی به‌صورت عملی، نمایشـــی و تصویرســـازی رایانه‌ای، درک دانش‌آموزان را نســـبت به مسائل نانوفناوری، جامعه و اخلاق در عرصه علم و فناوری افزایش می دهد. سوارت[14] (سوارت و همکاران، ۲۰۱۱، ص. ۵۱۲) . ماگانا[15] (ماگانا و همکاران، ۲۰۱۲، ص. ۲۱۸۱) هم با اســـتفاده از این مدل به نتایج مشـــابهی دست یافت و این نشان می‌دهد که بیشتر یافته‌های پژوهشگران در مورد مشکلات و چالش‌هـــای دانش‌آمـــوزان از دید علمی بر هم منطبق هســـتند. ایـــن مدل در چارچوب یک طرح پژوهشـــی در اتحادیـــه اروپا با نام «Irresistible EU-project» در کشـــور یونان بسط و گسترش پیدا کرده است (استاورو و همکاران، ۲۰۱۵؛ دویت و همکاران، ۲۰۱۲).

پی‌نوشت‌ها

1. Nano Science and nano Technology 2. National Science Foundation
3. Blonder 4. Sakhnini 5. Jones 6. Atomic Force Microscope
7. Simonneaux 8. Model of Educational Reconstruction 9. Stavrou
10. teaching-learning sequence
11. cap 12. Stavrou 13. University of Crete 14. Swarat 15. Magana

منابع

1. Stavrou, D.; Michailidi E.; Sgouros G.; Dimitriadi, K., *international journal on math science and technology education*, 2015, 3(4).
2. Hingant, B.; Albe, V., *Studies in Science Education*, 2010, 46, 121.
3. Jones M.G.; Blonder R.; Gardner G.E.; Albe V.; Falvo M.; Chevrier J., *International Journal of Science Education*, 2013, 35, 1490.
4. Stevens, S.; Sutherland, L.; Krajcik, J., The 'big ideas' of nanoscale science and engineering. Arlington, VA: National Science Teachers Association press, 2009.
5. Jones, M.G.; Taylor, A.; Minogue, J.; Broadwell, B.; Wiebe, E.; Carter, G., *Journal of Science Education and Technology*, 2007,16, 191.
6. Taylor, A.; Jones, G., *International Journal of Science Education*, 2009, 3(9), 1231.
7. Swarat S.; Light G.; Park E. J.; Drane D., *Journal of Research in Science Teaching*, 2011, 48, 51.
8. Blonder, R.; Sakhnini, S., *Chemistry Education Research and Practice*, 2012, 13,500.
9. Blonder, R., *Journal of Nano Education*, 2010, 2, 67.
10. Jones, M.G.; Andre, T.; Superfine, R.; Taylor, R. L., *Journal of Research in Science Teaching*, 2003, 40(3), 303.
11. Jones, M. G.; Minogue, J.; Tretter, T. R.; Negishi, A.; Taylor, R., *Science Education*, 2006, 90(1), 111.
12. Ambrogi, P.; Caselli, M.; Montalti, M.; Venturi, M., *Chemistry Education Research and Practice*, 2008, 9, 5.
13. Simonneaux, L.; Panissal, N.; Brossais, E., *International Journal of Science Education*, 2013, 35(14), 2376.
14. Duit, R.; Gropengießer, H.; Kattmann, U.; Komorek, M.; Parchmann, I., The Model of Educational Reconstruction – A framework for improving teaching and learning science, 2012. *The World Handbook of Science Education – Handbook of Research in Europe (pp. 13-37). Rotterdam, Taipei: Sense Publisher.*
15. Kao, Y.; Cina, A.; Gimm, A., *The science teacher*, 2006, 73, 9, Dec 06.
16. Turner, K.; Campbell, J.; Tevaarwerk, E.; Chandrasekhar, V.; Chang, R.; Unterman, N.; Grdinic, M., *The science teacher*, 2006, 73, 9.
17. Planinšič, G.; Kovač, J., *Physics Education*, 2008, 43(1), 37.
18. Stavrou, D.; Euler, M., Exploring Primary Student Teachers' Conceptions of Size - Dependent Properties at the Nanoscale, *Proceedings of the IC-CE-ECRICE 2012 Conference, Rome*, August, 358.
19. Magana, A.; Brophy, S.; Bryan L., *International Journal of Science Education*, 2012, 34(14), 2181.