



پژوهش در آموزش شیمی



<http://chemedu.cfu.ac.ir>

نانو فناوری و ضرورت آموزش آن در مدارس، بررسی چالش های پیش رو

امیرحسین چشمه خاور^{۱*}، زینب خزایی

^۱گروه علوم پایه، دانشگاه فرهنگیان، اصفهان، ایران

^۲بخش شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

ظهور فناوری نانو علاوه بر انقلابی که در جهان به پا کرد، هیاهویی در نظام های آموزش کشورهای دنیا به وجود آورد تا افراد متخصص را در این زمینه تربیت کنند. برنامه های متنوع آموزشی برای رده های مختلف سنی نشان از توجه همه جانبه به سرمایه گذاری در این شاخه از فناوری دارد. گسترش استفاده از فناوری نانو در شاخه های مختلف صنعتی، پزشکی، الکترونیک، کشاورزی و بهداشت، نظام های آموزشی را بر آن می دارد تا با ارائه مفاهیم و سرفصل های مربوط به نانو مواد و کاربردهای آن، آگاهی دانش آموزان را در این زمینه علمی افزایش دهند. با گنجانیدن مطالب مرتبط با نانوفناوری به صورت تدریجی در کتب علوم و شیمی دوره متوسطه می توان تا حدودی خلاء آگاهی دانش آموزان در این شاخه علمی را جبران کرد. هر چند که آموزش اصولی این فناوری مستلزم برنامه ریزی مدون می باشد. استفاده از ابزارهای مناسب، تصاویر و طرح های تحقیق کلاسی می تواند در انتقال مفاهیم اصلی به دانش آموزان و درک بهتر مقیاس ها بسیار مفید باشد. نتایج نشان می دهد که نبود چارچوب و برنامه مدون، فراهم نبودن زیرساخت های کافی، حجم بالای کتب درسی و عدم تسلط دبیران، چالش های اصلی در زمینه آموزش فناوری نانو هستند.

کلیدواژه ها: آموزش نانو، فناوری نانو، آزمایشگاه نانو، آموزش شیمی

* نویسنده مسئول: (✉ a.cheshmekhavar@cfu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴

مقدمه

نانو فناوری، توانایی تولید مواد، ابزارها و سیستم های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطوح ملکولی و اتمی و تغییر خواصی است که در سطوح ظاهر می شود. از همین تعریف ساده بر می آید که نانو فناوری یک رشته جدید نیست، بلکه رویکردی جدید در تمامی رشته هاست. موضوع اصلی آن نیز مهار ماده یا دستگاه های در ابعاد معمولاً حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. در واقع نانو فناوری فهم و به کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستم هایی در این ابعاد است، که اثرات فیزیکی جدیدی که عمدتاً متأثر از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک است از خود نشان می دهند. استفاده از این فناوری در کلیه علوم پزشکی، پتروشیمی، علوم مواد، صنایع دفاعی، الکترونیک، کامپوترهای کوانتومی و غیره باعث شده که تحقیقات در زمینه نانو به عنوان یک چالش اصلی علمی و صنعتی پیش روی جهانیان باشد. لذا محققین، اساتید و صنعتگران ایرانی نیز باید در یک بسیج همگانی، جایگاه، موقعیت و وضعیت خویش را در خصوص این موضوع مشخص نمایند و با یک برنامه ریزی علمی دقیق و کارشناسانه به حضوری فعال در این جایگاه، ابراز وجود نمایند و برای چنین کاری طراحی یک برنامه منسجم، فراگیر و همه جانبه اجتناب ناپذیر است.

علوم و فناوری نانو، عنصری اساسی در درک بهتر طبیعت در دهه های آتی خواهد بود. از جمله موارد مهم در آینده، همکاری های تحقیقاتی میان رشته ای، آموزش خاص و انتقال ایده ها و افراد به صنعت خواهد بود. بخشی از تاثیرات و کاربردهای نانو تکنولوژی به شرح زیر می باشد:

۱ - تولید مواد و محصولات صنعتی: برخی از مزایای نانو ساختارها عبارتست از: مواد سبک تر، قوی تر و قابل انعطاف؛ کاهش هزینه عمر کاری از طریق کاهش دفعات نقص فنی؛ ابزارهایی نوین بر پایه معماری جدید؛ بکارگیری کارخانجات مولکولی که مزیت مونتاژ مواد در سطح نانو را دارند.

۲ - نانوفناوری در پزشکی و بدن انسان: نانوتکنولوژی در پزشکی رفتار مولکولی در مقیاس نانومتر در سیستم های زنده را اداره می کند. یعنی مقیاسی که شیمی، فیزیک، زیست شناسی و شبیه سازی کامپیوتری، همگی به آن سمت گرایش دارند. سهل شدن استفاده بهینه از دارو، مواد زیست سازگار با کارایی بالا، طراحی سیستم های جدید و هدفمند انتقال دارو به سلول ها و طراحی فرمولاسیون دارو ها می توانند به نحو حیرت انگیزی توان درمانی دارو ها را افزایش دهد.

۳ - دوام پذیری منابع کشاورزی، آب، انرژی، مواد و محیط زیست پاک: فناوری نانو منجر به تغییراتی شگرف در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب خواهد شد و پساب و آلودگی را کاهش خواهد داد. همچنین فناوری های جدید، امکان بازیافت و استفاده مجدد از مواد، انرژی و آب را فراهم خواهند کرد. در زمینه محیط زیست، علوم و مهندسی نانو، می تواند تاثیر قابل ملاحظه ای در درمان مسائل زیست محیطی از طریق کنترل انتشار آلاینده ها؛ در توسعه فناوری سبز جدید که محصولات جانبی

ناخواسته کمتری دارند و یا در مناطق حاوی فاضلاب، داشته باشد. زیرا توان حذف آلودگی های کوچک از منابع آبی (کمتر از ۲۰۰ نانومتر) و هوا (زیر ۲۰ نانومتر) و اندازه گیری و تخفیف مداوم آلودگی در مناطق بزرگتر را دارد.

۴- فناوری نانو در هوا و فضا: نانو فناوری در طراحی و ساخت مواد سبک وزن، پرقدرت و مقاوم در برابر حرارت، مورد نیاز برای هواپیماها، راکت ها، ایستگاه های فضایی و سکوها ای اکتشافی سیاره ای یا خورشیدی، تعیین کننده ای ایفا می کند. همچنین استفاده روزافزون از سیستم های کوچک شده تمام خودکار، منجر به پیشرفت های شگرفی در فناوری ساخت و تولید خواهد شد.

۵- کاربرد فناوری نانو در صنعت الکترونیک: با استفاده از این فناوری می توان ظرفیت ذخیره سازی اطلاعات را در حد ۱۰۰۰ برابر یا بیشتر افزایش داد و نهایتاً به ساخت ابزارهای ابرمحاسباتی به کوچکی یک ساعت مچی منتهی شود. همچنین ساخت تراشه ها در اندازه های فوق العاده کوچک به عنوان مثال در اندازه های ۳۲ تا ۹۰ نانومتر، و تولید دیسک های نوری ۱۰۰ گیگا بیتی در اندازه های کوچک امکان پذیر می گردد.

بدون هیچ شکی می توان گفت که نانوفناوری یکی از کلیدهای ورود به علوم نوین در عصر جدید است. "فناوری نانو موج چهارم انقلاب صنعتی است که در تمامی گرایش های علمی راه یافته است تا جایی که در یک دهه آینده برتری فرایندها، وابسته به این تحول خواهد بود" (سیدی مطلق و دیگران، ۱۳۹۲). فناوری نانو یک علم بین رشته ای است که در اکثر علوم مهندسی و علوم پایه کاربرد دارد. از این رو، آموزش فناوری نانو در عصر حاضر، یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. آشنایی نسل جدید با این فناوری امری ضروری به نظر می رسد و در این بین آموزش و پرورش به عنوان نهاد اصلی آماده سازی نسل جدید برای ورود به عرصه های نوین علوم و فناوری باید نقش مهمی را ایفا نماید. امروزه نانو فناوری یکی از حوزه های مهم آموزش علوم در بسیاری از کشورهای توسعه یافته است. به عنوان مثال در تایوان آموزش فناوری نانو با روش های گوناگون به دانش آموزان از دوره ابتدایی صورت می گیرد (بروجیان بروجنی، صفری، ۱۳۸۹). در ژاپن علاوه بر دبیرستان ها آموزش نانو را به سطوح پایین تر یعنی دبستان نیز گسترش داده اند. پازل های کودکانه نمونه بارز این آموزش هاست. در سایر کشور های پیشرفته نظیر آمریکا و آلمان نیز برنامه های متنوعی برای آموزش نانو توسعه داده شده اند.

با وجود تاکید زیاد در اسناد بالادستی کشور از جمله سند چشم انداز و نقشه جامع علمی و فناوری درباره توجه نهادها و متولیان آموزشی کشور به فناوری نانو انجام شده است و به رغم وجود نقاط جالب توجه برای ورود آنها در محتوای درسی پیش از دانشگاه، بررسی به عمل آمده از برنامه درسی شیمی، فیزیک و زیست شناسی دوره متوسطه نشان می دهد که توجه به فناوری نانو در

محتوای درسی این کتاب ها قابل ملاحظه نمی باشد و تنها به اشارات انگشت شماری به فناوری نانو در محتوای کتاب های درسی مذکور بسنده شده است. در صورتی که حضور این حوزه جدید در آموزش ها و برنامه های غیر رسمی چشمگیرتر بوده است، به گونه ای که در حال حاضر تعداد جالب توجهی از پژوهش سراهای دانش آموزی در سطح کشور مشغول به آموزش های نظری و عملی به دانش آموزان در این زمینه هستند (مهربان، ۱۳۹۳، ص، ۵-۳۴). نانوفناوری یکی از حوزه های مهم تحقیقاتی در سطوح تحصیلات تکمیلی کشورمان می باشد ولی در سطوح قبل از دانشگاه، برنامه ریزان، مدیران، معلمان و آموزگاران هنوز اثرات آینده فناوری نانو را نشناخته اند و به همین دلیل قطعاً نیازهای آموزشی آن را نمی دانند و این در حالی است که اغلب کشورهای پیشرو آموزش نانو را به سطوح قبل از دانشگاه وارد ساخته و به طور بسیار جدی به آن می پردازند (خدایاری شهسواری و دیگران، ۱۳۹۲). در سند راهبرد ده ساله توسعه فناوری نانو در ایران به منظور دست یابی به اهداف سند چشم انداز ایران ۱۴۰۴، حضور در زمره کشورهای پیشتاز در فناوری نانو و ارتقای جایگاه ایران در بین این کشورها، در یک افق ده ساله به تصویر کشیده شده است، که حمایت همه جانبه آموزش و پرورش و آموزش عالی برای دستیابی به این اهداف ضروری می باشد. با توجه به اهمیت این موضوع، این پژوهش به دنبال تبیین ضرورت آموزش نانوفناوری در مدارس و ارائه راهکارهایی در جهت آموزش هرچه بهتر این فناوری و همچنین بررسی چالش های آموزش این علم در مدارس کشورمان و ارائه پیشنهاداتی برای غلبه بر این چالش هاست.

روش پژوهش

پژوهش حاضر شامل بیان مفاهیم و کاربردهای فناوری نانو، ضرورت و روش آموزش آن در مدارس می باشد. همچنین از آن جهت که نتایج این پژوهش در کار برنامه ریزان درسی و معلمان متوسطه دوم قرار می گیرد، از نوع پژوهش های کاربردی است. ابزار بکار گرفته شده این پژوهش تمامی منابع موجود و در دسترس از جمله کتاب ها، مجلات، سایت های اینترنتی و مصاحبه با متخصصان این حوزه می باشد.

نتایج و بحث

۱- آموزش فناوری نانو

ظهور فناوری نانو علاوه بر انقلابی که در جهان به پا کرد، هیاهویی در نظام های آموزش کشورهای دنیا به وجود آورد تا افراد متخصص را در این زمینه تربیت کنند. برنامه های متنوع آموزشی برای رده های مختلف سنی نشان از توجه همه جانبه به سرمایه گذاری در این شاخه از فناوری دارد. کشور

ما ایران هم که در این زمینه جایگاه مناسبی دارد برنامه‌های گوناگونی برای آموزش فناوری نانو دارد که بیشتر مربوط به دانشجویان دانشگاهی است. از نظر تعداد مقالات ثبت شده دانشگاهیان در سال گذشته، ایران دارای رتبه چهارم در جهان و رتبه اول در میان کشورهای اسلامی در زمینه مطالعات نانو می‌باشد. در جدول ۱، رده‌بندی جهانی در عرصه نانوفناوری را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱. جایگاه ایران در رده بندی جهانی تحقیقات در زمینه نانو فناوری.

رتبه	کشور	تعداد مقالات	سهم (درصد)
1	چین	65548	36.76
2	آمریکا	24100	15.64
3	هند	12618	8.19
4	ایران	8791	5.70
5	کره جنوبی	8732	5.67
6	آلمان	8436	5.47
7	ژاپن	7236	4.70
8	فرانسه	5714	3.71
9	انگلستان	5537	3.59
10	روسیه	4875	3.16
11	اسپانیا	4352	2.82
12	ایتالیا	4298	2.79
13	استرالیا	3724	2.42
14	کانادا	3394	2.20
15	تایوان	2962	1.92
16	عربستان	2802	1.82
17	برزیل	2788	1.81
18	لهستان	2454	1.59
19	سنگاپور	2278	1.48
20	ترکیه	2196	1.42

توجه کمتر به آموزش فناوری نانو به دانش آموزان می‌تواند پیامدهای -ناگواری برای نظام آموزش کشور داشته باشد که به مرور زمان مشخص می‌گردد. حال آن که، در صورت آشنایی دانش آموزان با نانو فناوری آنها قادر خواهند بود علوم جدید را به زبان ساده و از طریق تعامل بشناسند. یکی از مزیت‌های قرار گرفتن علوم و فناوری نانو در برنامه درسی دانش آموزان این است که آنها را قادر می‌سازد ارتباطی منطقی‌تر بین مفاهیم علوم فیزیک، شیمی و زیست شناسی و کاربرد نانو در آن حوزه‌ها برقرار نمایند. بدین ترتیب آنها قادر خواهند بود آن علوم را با هم مقایسه کنند و نتیجه می‌گیرند که انسان‌ها در تمام دوره‌ها در زندگی بسته به پیشرفت علم همیشه از فناوری‌های مختلف استفاده کرده‌اند که نانوفناوری هم یکی از آنها است. ضمن اینکه می‌توانند رشته‌های مطالعاتی بسیار متنوع را دنبال کنند که به آنها این امکان را خواهد داد که با کاربرد نانو فناوری جهان را تغییر دهند.

به طور معمول درک دانش آموزان از سود و زیان این علوم وابسته به نوع کاربرد آن است. فراگیران یاد می‌گیرند که منتقدانه بیندیشند، در هر موردی واقعیت‌ها را بررسی کنند و مزایا و معایب را بسنجند. به تازگی در بسیاری از کشورها مطالب نانو فناوری به نحوی در برنامه درسی دانش آموزان گنجانیده شده است و حتی آزمایشگاه‌های نانویی نیز تدارک دیده شده است.

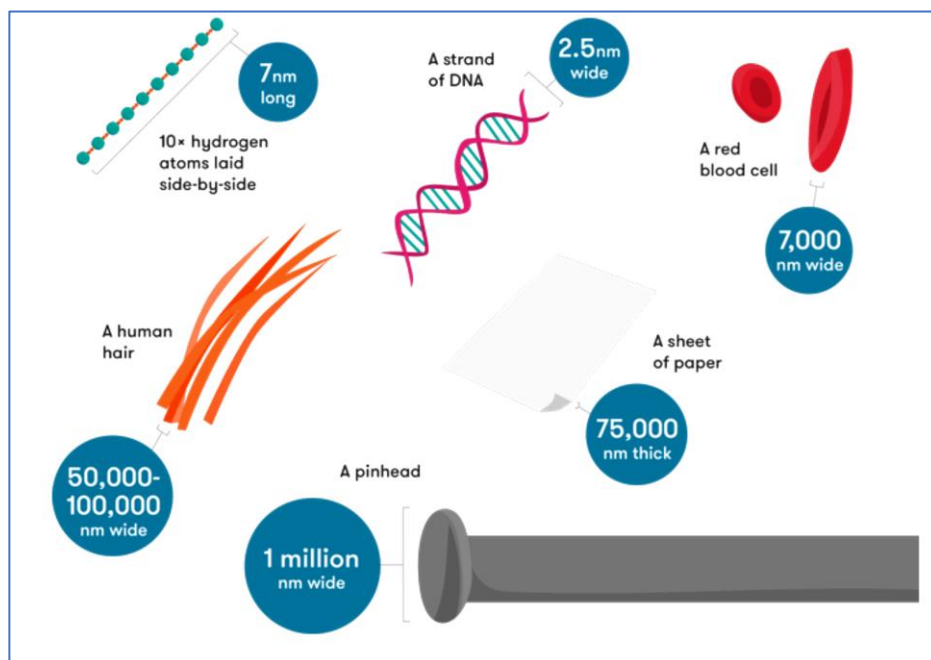
تاکنون کشورهای مختلفی از جمله امریکا، دانمارک، تایوان، کره جنوبی، سنگاپور و غیره در زمینه آموزش مفاهیم و کاربردهای نانو فناوری تحقیقات گسترده ای را منتشر کرده و همچنین در دوره‌های آموزشی کوتاه و بلند مدت در دوره متوسطه، بازده آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند (نادیرا، جفری، ۲۰۱۲؛ گیل و دیگران، ۲۰۱۳؛ فانش، ۲۰۰۱؛ جاشوا و دیگران، ۲۰۱۶؛ بن و دیگران). نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد دانش آموزان با توجه شیوه انتقال اطلاعات و روش تدریس، درک قابل قبولی از مفاهیم اصلی این علم داشته‌اند (آنتی، ۲۰۱۰). در میان روش‌های مورد بررسی، دو عامل اصلی تجسم و مشاهده تصاویر میکروسکوپی و انیمیشن‌ها به عنوان موثرترین عامل انتقال درست مفاهیم به دانش آموزان و درک بهتر ساختار شیمیایی و خواص ترکیبات در مقیاس نانو معرفی شدند (جرمی، ۲۰۰۹). بنابراین، چگونگی استفاده از مدل‌های تجسمی و دسترسی دانش آموزان و معلمان به فناوری‌های مدرن شناسایی ساختارهای شیمیایی نظیر میکروسکوپ‌های الکترونی، دو چالش اصلی این مطالعات می‌باشند. همچنین، عناوین در نظر گرفته شده برای آموزش در این طرح‌ها عموماً مشترک بوده و شامل مفاهیم پایه ای علم نانو، تجسم مقیاس، ساختارهای شناخته شده از این ترکیبات، خواص ویژه، و کاربردهای مختلف آنها در زندگی واقعی است. در ادامه، به توضیح این عناوین و نحوه انتقال آنها به دانش آموزان می‌پردازیم.

معرفی مفاهیم اصلی به دانش آموزان

مقیاس نانو به ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر اطلاق می‌شود. بدین معنا که از مقیاس سانتیمتر، میلی‌متر و میکرومتر هم پایین تر آمده تا جایی که به مقیاس یک میلیارد متر برسیم. برای درک بهتر این مقیاس، در نظر بگیریم که چنانچه ۱۰ اتم هیدروژن به حالت ردیف به صورت دانه‌های یک تسبیح کنار هم قرار گیرند اندازه ی رشته حاصل ۷ نانومتر خواهد بود. یک رشته دی ان ا (DNA) حدود ۲/۵ نانومتر است. پهنای یک گلبول قرمز خون ۷۰۰۰، ضخامت یک تار موی انسان ۵۰۰۰۰، ضخامت یک برگ کاغذ معمولی ۷۵۰۰۰ نانومتر و عرض ته یک سنجاق کوچک یک میلیون نانومتر است. در شکل ۱ این مثالها به صورت تصویری ارائه شده‌اند.

بنابراین، استفاده از مثال‌های قابل درک برای تجسم مقیاس نانو و مقایسه آن با دانسته‌های پیشین دانش آموز به درک بهتر مفاهیم اصلی کمک می‌کند. علاوه بر این، استفاده از تصاویر موجود

در سایت ها و مقالات منتشر شده و همچنین نمایش انیمیشن های سه بعدی در کلاس به درک بیشتر و سهولت انتقال مفاهیم خواهد انجامید.



شکل ۱: ارائه تصویری مقیاس نانو.

معرفی ساختارهای شناخته شده ترکیبات نانو

به منظور درک بهتر ساختار فیزیکی و شیمیایی ترکیبات در فناوری نانو، معرفی شبکه های تشکیل شونده و کاربردهای آنها می تواند بسیار مفید بوده و باعث ایجاد علاقه به موضوع و انگیزه برای مطالعه بیشتر در دانش آموزان شود. همچنین دانش آموزان می توانند طی پروژه های گروهی در کلاس، اطلاعات گسترده ای از این ترکیبات را در جست و جوی اینترنتی به دست آورده و به کلاس ارائه کنند. در جدول زیر تعدادی از نانو مواد و خواص و کاربردهای آنها ارائه شده است. همچنین ارائه اطلاعاتی در زمینه کاربردهای نانو فناوری در حفظ محیط زیست، تصفیه آب و پساب های صنعتی، ساخت مواد جدید که در بدنه خودروها، تلفن همراه، سازه های فلزی، شیشه ها و سطوح خود تمیز شونده، داروهای جدید و سیستم های دارو رسانی مدرن می تواند دانش آموزان را به مطالعه بیشتر و علاقه به آینده ی این شاخه از علم ترغیب کند. بنابراین، یکی از مهم ترین ابزارهای

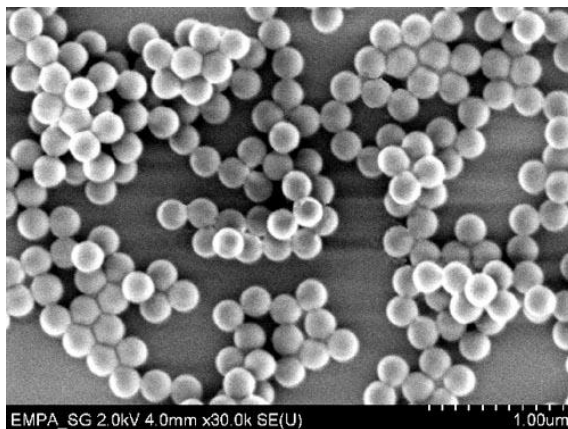
معلم در دوره آموزشی فناوری نانو در مدارس، استفاده از ابزارهای تجسمی و تصویری در ارائه مطالب می‌باشد. عامل مهم دیگر، استفاده از مدل‌های مولکولی است. دسترسی مدارس به انواع مدل‌های مولکولی از شبکه‌های نانو ساختار به درک بهتر نوع پیوندهای شیمیایی و هندسه فضایی ترکیبات کمک خواهد کرد. علاوه بر این، استفاده از DVD های حاوی تصاویر متحرک علاوه بر هندسه ساختاری، می‌تواند خواص نوری، الکترونی و مکانیکی نانو مواد را برای دانش آموزان به راحتی متصور کند.

جدول ۲. تعدادی از ساختارهای شناخته شده نانومواد به همراه خواص و کاربردها.

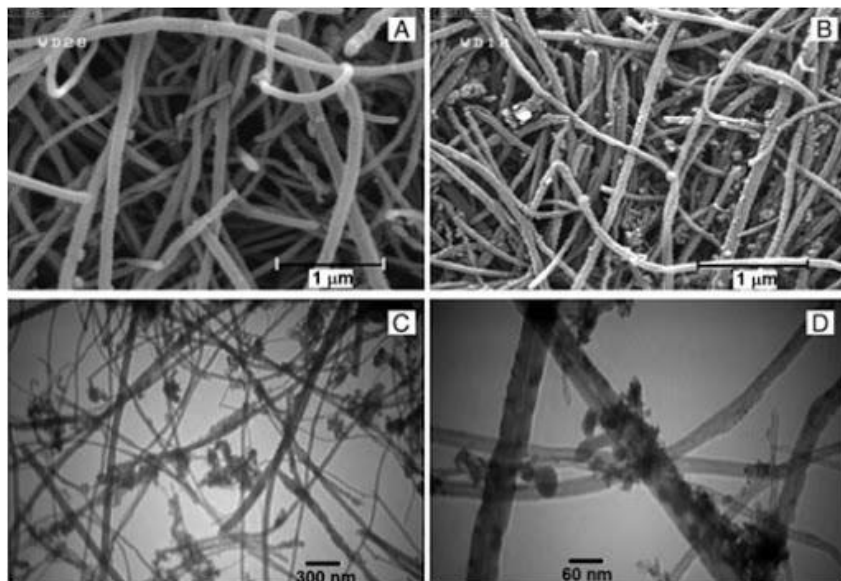
نانو ماده	خواص	زمینه‌های مورد استفاده
C60	بسیار پایدار است، مقاومت بالا، تحمل حرارت و فشار بالا، ممکن است با گونه‌های دیگر واکنش نشان دهد، حفظ هندسه کروی، امکان به دام انداختن اجزای کوچکتر در خود، دوپینگ با دیگر فولرنها، رسانایی بالا.	روان کننده ها، پلیمرها، تونرها، رنگدانه ها، سیستم‌های دارو رسانی
نانو لوله ها	بسیار سبک، مقاوم و انعطاف پذیر، می‌تواند مانند هادی ها، نیمه هادی ها یا عایق ها عمل کند، الکترون ها درون نانولوله ها بدون از دست دادن انرژی حرکت می‌کنند که آنها را به اتصال دهنده‌های ایده آل در ابزارهای الکتریکی تبدیل می‌کند.	میکروالکترونیک-میکرومدارها ، تلفنهای همراه، رایانه ها، پانل‌های بدنه پلاستیکی هادی، پلیمرها و روکش ها، مقاومتها، مواد مصنوعی جایگزین استخوان، سیستم‌های تحویل دارو، بیوسنسورها، سمعک
نانو سیم ها	رشته‌های شیشه ای بسیار ریز با قطر تقریباً ۵۰ نانومتر که می‌تواند برای هدایت نور استفاده شود، فوق العاده قوی، انعطاف پذیر و نازک، دارای خواص فلزی و مغناطیسی	دستگاه‌های نوری، سنسورهای نوری، شناسایی مولکولها به صورت انتخابی (برای مثال: سلول‌های سرطانی)
نقاط کوانتومی	ذرات نانو (۱-۱۰ نانومتر)، حاوی مقادیر کمی الکترون آزاد، بلورهای نیمه هادی که فوتون‌های نور را جذب و نشر می‌کنند، اندازه نقاط تعیین کننده طول موج جذبی است.	برای ردیابی مولکولهای DNA در سلولها به کار می‌رود، جایگزین منابع نوری، حسگرهای زیستی برای شناسایی عوامل جنگ بیولوژیکی.

استفاده دانش آموزان از آزمایشگاه های نانویی

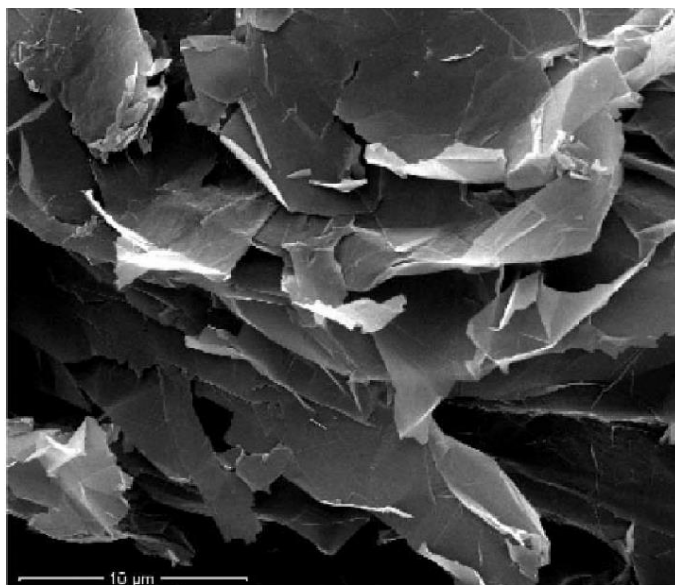
پس از انتقال مفاهیم اصلی و معرفی ویژگی ها و کاربردهای نانو مواد، دانش آموزان می توانند با دسترسی به آزمایشگاه ها و مواد و ابزارهای لازم برای تهیه مواد در مقیاس نانو، با شیوه سنتز این ترکیبات آشنا شوند. چالش اصلی در این بخش، تجهیز مدارس به مواد و دستگاه های لازم و یا دسترسی به آزمایشگاه های دانشگاه است. همانطور که اشاره شد مقیاس نانو زیر چشم انسان قرار دارد و این دنیا در ورای هر حسی وجود دارد. بنابراین باید دید که دانشمندان چگونه به رخدادهای آن پی می برند. به جرأت می توان گفت برای مشاهده دنیای بسیار ریز به ماشین های بسیار پیچیده و بزرگ نیاز است. در گذشته دور حدود سال ۱۹۳۰ میلادی دانشمندان با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و میکروسکوپ الکترونی میدانی (FIM) مشاهداتی در مقیاس نانویی داشتند. این میکروسکوپ های الکترونی یک پرتو الکترونی را بر روی نمونه تابانیده و وضوح و تفکیک تصویری بهتر از میکروسکوپ نوری مرسوم فراهم می نمایند. این میکروسکوپ ها بزرگ نمایی تا یک میلیون برابر دارند در حالی که میکروسکوپ معمولی تا ۱۵۰۰ برابر بزرگنمایی دارد. به تازگی با استفاده از میکروسکوپ تونل زنی روبشی (STM)، میکروسکوپ با نیروی اتمی (AFM) و هولوگرافی مشاهده مقیاس نانویی اجسام در سطح اتمی و در فضای سه بعدی نیز امکان پذیر شده است. بدین ترتیب بررسی خواص مکانیکی و سطحی اجسام از قبیل زبری و نرمی قابل ارزیابی می شود. برای کمک به تجسم انواع ساختارهای نانو و تاثیر روش سنتز بر شکل نهایی ذرات می توان از تصاویر بدست آمده از این میکروسکوپ های پیشرفته در کلاس استفاده کرد. برای مثال تصاویر زیر، تنوع شکل ظاهری نانو مواد را به صورت نانو ذرات، نانو لوله ها، نانو صفحات و نانو سیم ها نشان می دهند.



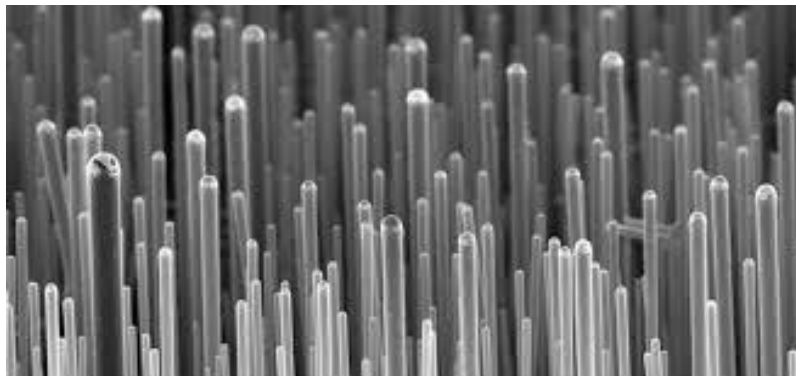
شکل ۲: نانو ذرات سیلیکا در زیر میکروسکوپ الکترونی SEM (ویوک و دیگران، ۲۰۱۰).



شکل ۳: نانو لوله‌های کربنی زیر میکروسکوپ‌های SEM و TEM (رائول و دیگران، ۲۰۱۵).



شکل ۴: تصویر SEM نانو صفحات ZnO (نایف محمد و دیگران، ۲۰۱۴).

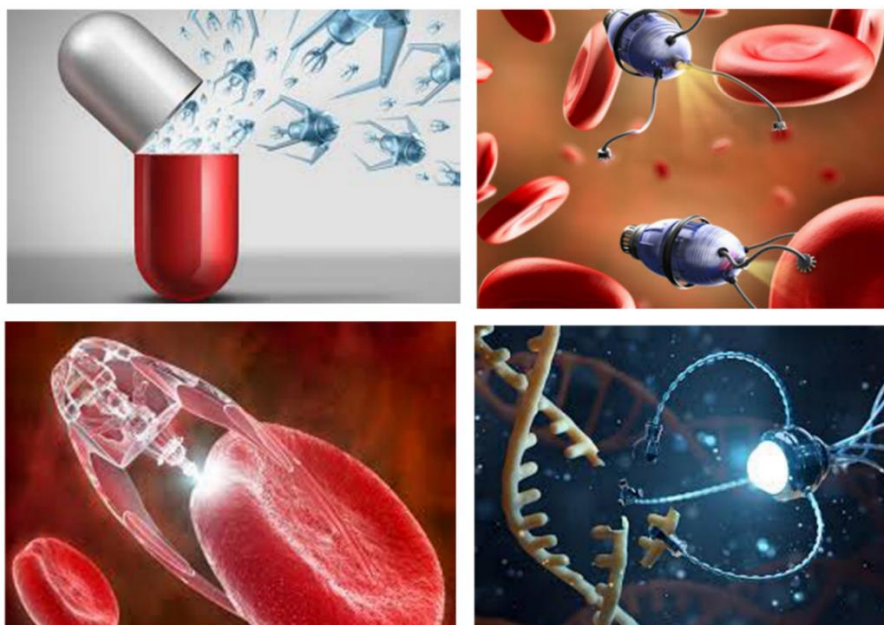


شکل ۵: نانو سیم های سیلیکون (کوئیکینگ و دیگران، ۲۰۰۵).

نمایش کاربردهای فناوری های نانو در بخش های مختلف زندگی روزمره

مطالعات گذشته نشان داده که کاربرد نانو مواد در صنایع مختلف، کشاورزی و پزشکی بسیار مورد توجه دانش آموزان بوده و منجر به افزایش انگیزه برای تحقیق و جست و جو در اینترنت می شود. مشاهده کاربردها به نوعی به تجسم خواص و ویژگی های فوق العاده این ترکیبات کمک کرده و بین مفاهیم بنیادی و محصولات تولید شده پیوند ایجاد می کند. به طور مثال: نمایش کاربرد نانو مواد در پزشکی و دارو رسانی، بهبود کیفیت مواد به کار رفته در خودروها و تلفن همراه، پوشش های با قابلیت های جدید نظیر تمیز شوندگی و مقاومت بالا در مقابل تخریب و حرارت، و تصفیه آب می توانند موضوعات قابل توجه بیشتر برای دانش آموزان باشند. تشکیل جلسات گروهی در کلاس و انتخاب این عناوین کاربردی برای جست و جو در اینترنت و تهیه پاورپوینت و ارائه آن به کلاس می تواند مشارکت دانش آموزان را در یادگیری مفاهیم نانو فناوری افزایش داده و دسترسی معلمان را به طیف گسترده تری از اطلاعات فراهم کند. در تصاویر زیر تعدادی از این موضوعات به طور خلاصه مطرح شده اند.

همان طور که مشاهده می شود ورود و پیشرفت فناوری نانو در بخش های مختلف زندگی و استفاده از آن در طرح های آینده صنعتی، پزشکی و کشاورزی به طور چشم گیری افزایش یافته و روز به روز گسترش می یابد. از این رو نیاز به آموزش مفاهیم فناوری نانو و شناخت ابعاد مختلف آن امری ضروری می نماید. به دلیل اهمیت روز افزون این بخش از علم شیمی، طرح های آموزشی مورد نیاز برای تدریس نانو فناوری به فضایی بیش از بخش بیشتر بدانید در کتاب های دوره متوسطه نیاز دارد.



شکل ۶: طرح‌هایی از کاربرد نانو مواد در پزشکی و دارو رسانی.



شکل ۷: طرح‌هایی از به کارگیری فناوری نانو در صنایع خودروسازی و تلفن همراه.

در نظر گرفتن حداقل یک فصل جامع در یکی از سطوح متوسطه و استفاده از ابزارهای کمکی جهت آموزش مفاهیم می تواند خلاء مطالب عنوان شده را برای دانش آموزان پیش از ورود به دانشگاه تا حدی پر کند. این دوره آموزشی باید به گونه ای مباحث را عنوان و تشریح کند که دانش آموز در پایان فصل یا فصول "آشنایی با فناوری نانو" بتواند به سوالات زیر پاسخ دهد:

۱. نانو مواد چه ترکیباتی هستند؟
 ۲. چرا فناوری نانو مورد استفاده قرار گرفته است؟
 ۳. مقایسه ساختارهای نانو با مواد و مقیاس های شناخته شده قبلی.
 ۴. تفاوت نانو لوله ها، نانو ذرات، نانو صفحات و نانو سیم ها.
 ۵. فناوری نانو چگونه در زندگی واقعی تأثیرگذار خواهد بود؟
 ۶. کاربردهای نانو فناوری در صنایع، پزشکی، کشاورزی و بهداشت محیط زیست چیست؟
 ۷. فناوری نانو چگونه در آینده زندگی بشر تأثیرگذار خواهد بود؟
- همان طور که پیش تر اشاره شد، هدف اساسی نانوفناوری عبارت است از طراحی، نمونه سازی، شبیه سازی و تولید مواد با ساختار نانویی و یا ابزارهای نانویی با خواص فوق العاده و در نهایت تجاری سازی آنها برای استفاده در زندگی روزمره. از این رو، به منظور مواجه کردن دانش آموزان با مفهوم نانو فناوری رویکردهای زیر را می توان بکار برد:

- چگونگی درک، شناسایی و اندازه گیری خواص محصولات نانو ساختار تدارک دیده شود.
- فراهم نمودن تسهیلات طراحی، سنتز، مشابه سازی و یا فرایند ساخت آنها.
- انجام پروژه تحقیقاتی نانویی مقرون به صرفه.
- دسترسی به امکانات آموزشی که در تجسم مفاهیم و ساختارهای نانو مواد به دانش آموزان کمک کند.
- دسترسی به امکانات آزمایشگاهی مورد نیاز برای شناسایی، بررسی و درک بهتر ترکیبات تهیه شده در مقیاس نانو.
- برنامه ریزی مناسب و همراه با تعامل در جهت طرح درس در کلاس به صورت فعال و ایده پذیر.
- آشنایی کافی معلم با مراحل تجربی تهیه نانو مواد و کاربردهای آن در حال حاضر و همچنین پروژه های علمی آینده.
- ایجاد علاقه به موضوع و انگیزه جهت تحقیق دانش آموزان و ارائه مطالب جدید به کلاس (آموزش متکی به دانش آموز).

با وجود ضرورت‌هایی که برای آموزش فناوری نانو در مدارس وجود دارد و نیاز به ورود به این زمینه تحقیقاتی در کتاب‌های شیمی دوره متوسطه دیده می‌شود، اما این طرح آموزشی با چالش‌های مهمی نیز همراه است که در ادامه به آن‌ها می‌پردازیم.

۲- چالش‌های آموزش نانو در مدارس

نبود چارچوب مشخص برای آموزش و بین رشته‌ای بودن این علم

بررسی‌ها نشان می‌دهد که آموزش نانو در ایران به طور سلیقه‌ای بوده و مدرس اغلب تجارب شخصی خود و دیگران که با آن‌ها در تعامل بوده را به کار می‌برد. به عنوان مثال در یک دوره آموزش نانو که به صورت موازی در چند کلاس برگزار می‌شد هر یک از مدرسین با توجه به تجربیات شخصی خود به تدریس این دوره پرداخته بودند. به عنوان مثال در یک کلاس سنتز نانوساختارها محور اصلی بود، در کلاس دیگر کاتالیست‌ها و در کلاس دیگر سلول‌های خورشیدی. در حالیکه همه فراگیران در یک دوره یکسان شرکت کرده بودند. نانوفناوری یک علم گسترده بین رشته‌ای است که حوزه‌های مختلفی را در برمی‌گیرد. بنابراین برای آموزش آن در دوره متوسطه باید چارچوب مشخص و واحدی در نظر گرفته شود که تا حد قابل قبولی مفاهیم اصلی آن را پوشش دهد. فناوری نانو رویکردی کاملاً بین رشته‌ای دارد که برای آموزش آن باید از شیوه آموزش چندرشته‌ای استفاده کرد. این بدان معناست که نیروی کار فناوری نانو باید دارای بینش وسیعی از مفاهیم مختلف از جمله زیست‌شناسی، فیزیک، شیمی، اصول مهندسی طراحی، کنترل فرآیند و محصولات آن باشد. برای درک مفاهیم پایه‌ای نانوساختارها و قوانین در مقیاس نانو به تمامی علوم نیاز خواهیم داشت.

زیر ساخت‌ها

مدرن کردن دستگاه آموزشی، همراه ساختن آموزش ایران با پیشرفت‌های علمی و فناوری جدید، ساختن مدارس هوشمند و یا بکارگیری روش‌های جدید آموزشی مشارکتی برای تربیت نسل‌های جوان کارا، پرسشگر با توانایی درک و انطباق با دنیای در حال تحول قبل از هر چیز مستلزم امکانات و زیرساخت‌های مناسب است. رکود و درجا زدن نظام آموزشی ایران در سال‌های گذشته بیش از هر چیز به عدم توجه دولت به آموزش و کافی نبودن سرمایه‌گذاری در این حوزه مهم مربوط است. یک مقایسه ساده بین المللی نشان می‌دهد که سهم مخارج آموزشی در تولید ناخالص ملی ایران بسیار کمتر از کشورهای توسعه یافته است. سرانه هزینه هر دانش‌آموز هم با در نظر گرفتن قدرت خرید جامعه ایران حدود یک پنجم متوسط کشورهای توسعه یافته است. این دو شاخص به روشنی چرایی مشکلات کنونی آموزش ایران و فقر کیفی و کمی آن را هم نشان می‌دهند. از آنجایی که ما در نانوفناوری در مقیاس اتم و مولکول صحبت می‌کنیم لذا آموزش آن کمی متفاوت تر از سایر علوم می‌باشد. تدریس آن مستلزم آزمایشگاه‌ها و تجهیزاتی است که این مفهوم انتزاعی را برای فراگیر به

صورت ملموس در بیاورد. شاید ساده ترین ابزار برای مشاهده نانو ساختاره ها میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) باشد. یک جستجوی ساده در دانشگاه های کشور نشان می دهد که اکثر دانشگاه های ما، حتی دانشگاه هایی که هر ساله در رشته های مختلف مرتبط با نانوفناوری دانشجویی پذیرند از این دستگاه محرومند. بنابراین نمی توان از مدارس انتظار خاصی داشت. بعلاوه حداقل امکانات برای انجام آزمایشات ساده در مدارس موجود نیست، چه برسد به امکانات لازم برای سنتز نانو ساختار ها و بررسی خواص آنها. آزمایشگاه های مدارس یا اصلا وجود ندارند و یا محدود به تعدادی کم و چند عدد ظرف شیشه ای و پوستر بوده و یا فاقد یک متصدی فعال و آشنا به کارهای آزمایشگاهی می باشد. هزینه تهیه بعضی از وسایل و مواد مورد نیاز بسیار زیاد بوده طوریکه خود آموزشگاه قادر به خرید آنها نیست و آموزش و پرورش هم در این زمینه کمک چندانی به مدارس نمی کند و در صورت فراهم نمودن موارد درخواستی مدارس، مقدار و تعداد آن به حدی کم است که امکان انجام آزمایش برای تک تک دانش آموزان وجود ندارد و فقط دبیر مربوطه اجازه استفاده از آن را دارد. گاهی دبیر و متصدی هم از ترس شکستن و یا خراب شدن وسایل و مواد، به خود اجازه کار و استفاده از مواد را نمی دهند. در چنین شرایطی آموزشی نانو که اساسا یک علم انتزاعی است و به آموزش از طریق آزمایش و مشاهده نیاز مبرم دارد، امری محال به نظر می رسد.

حجم بالای کتاب درسی

یکی از موضوعات مورد بحث در آموزش و پرورش حجم بالای کتاب درسی و متناسب نبودن حجم مطالب با میزان ساعت های آموزشی می باشد. حجم بالای مطالب و سنگین بودن محتوای کتابها عملا مجال برای پرداختن به حوزه های جدید علوم باقی نمی گذارد. بازنگری کتاب های درسی در سال های اخیر تا حدی این چالش را تعدیل کرده است، اما با وجود تعطیلی پنجشنبه ها و تعداد بالای تعطیلی در اثر آلودگی هوا همچنان مشکل کمبود زمان و فشردگی دروس وجود دارد. امروزه بچه ها مجبورند حجم بالایی از محفوظات و پرسش و پاسخ را فرا بگیرند که عملا کاربردی در زندگی آنها ندارد و این امر فرسنگ ها با آنچه به عنوان برنامه آموزشی و هدف درس تعریف شده است فاصله دارد. بنابراین عملا فرصتی برای انجام آزمایش، انجام بازی های رایانه ای و بر انگیختن خلاقیت دانش آموزان در زمینه آموزش علوم جدید نظیر نانو باقی نمی ماند.

عدم تسلط دبیران در این حوزه

با توجه به پیشرفت های روز دنیا در عرصه های مختلف، آموزش و تحصیل علم دانش آموزان هم باید متحول و در واقع منطبق با شرایط و پیشرفت های روز دنیا باشد. برای رسیدن به این هدف تنها تغییرات کتب درسی کافی نیست. یکی از ایرادات مهمی که به این تغییرات مداوم وارد است، عقب ماندن دانش گذشتگان از کتاب های درسی جدید است. به این ترتیب که دیگر نه تنها والدین برای

حل مشکلات درسی فرزندانشان کمک چندانی نمی‌توانند کنند که حتی معلم‌ها و دبیرانی که جلسات آموزشی این کتاب‌ها را هم می‌گذرانند در بسیاری از موارد با مشکلاتی روبه‌رو هستند. بنابراین عدم تسلط دبیران به علوم جدید نظیر نانوفناوری یکی دیگر از چالش‌های پیش‌رو در آموزش این علم می‌باشد.

پیشنهادات کاربردی

از آنجایی که با توجه به نتایج تحقیق، مهم‌ترین چالش‌های آموزش نانو در مدارس، نبود چارچوب مشخص برای آموزش این رشته، فراهم نبودن زیرساخت‌های لازم، حجم بالای کتب درسی و عدم تسلط دبیران به این حوزه می‌باشد، پیشنهادات کاربردی زیر مطرح می‌شود:

۱- با توجه به حجم و تراکم موضوعات درسی عملاً امکان ورود فناوری نانو به عنوان یک مبحث مستقل در کتب درسی وجود ندارد. بنابراین سازماندهی باید به گونه‌ای باشد که مطالب مربوط به فناوری نانو در ارتباط با مباحث دیگر باشد تا موجب تقویت آنها شود. در این صورت محتوای سازمان‌دهی شده، می‌تواند علاوه بر ایجاد درکی مناسب از علم فناوری نانو، در راستای درک و فهم سایر موضوعات درسی نیز کمک‌رسانی نماید. آموزش این علم به عنوان یکی از علوم تاثیرگذار در سال‌های آینده مستلزم برنامه‌ریزی مدون می‌باشد. برنامه‌ریزی جامعی که آموزش را در کتب علوم ابتدایی با استفاده از روش‌های فعال و جذاب برای دانش‌آموز آغاز کند. در بسیاری از کشورهای پیشرفته از این الگو استفاده شده و نتایج کاملاً رضایت‌بخش بوده است.

۲- با توجه به وضعیت موجود تجهیز مدارس برای آموزش نانو امری دشوار به نظر می‌رسد. در این زمینه ارتباط مدارس با دانشگاه‌ها و پارک‌های علم و فناوری می‌تواند راهکار مناسبی باشد. در این حالت نه تنها امکان استفاده از تجهیزات و امکانات دانشگاه‌ها و پارک‌های علم و فناوری برای دانش‌آموزان پدید می‌آید، بلکه بازدید از این مکان‌ها در ایجاد انگیزه و خلاقیت برای دانش‌آموزان هم مفید خواهد بود.

۳- باید به آموزش معلمان و به روز کردن آنها توجه ویژه‌ای داشت. آموزش دبیران باید بطور مستمر و متناسب با رشد فناوری‌های نوین در دو محور قبل و ضمن خدمت ارائه شود. حضور معلمان در کارگاه‌های آموزش نانو ارتباط مستمر با اساتید این رشته و همچنین ایجاد طرح‌های تشویقی برای معلمان فعال می‌تواند از راهکارهای دیگر برای بهبود کیفیت آموزش نانو در مدارس باشد. بعلاوه، نیاز به ایجاد رشته‌ای تخصصی به نام آموزش فناوری نانو در دانشگاه‌ها می‌تواند راهگشا باشد، همان‌طور که رشته‌هایی مثل نانو شیمی و نانو فیزیک تاسیس شده‌اند. متخصصان این رشته

باید مهارت کافی در تولید محتوی آموزشی برای رده های مختلف سنی داشته باشند و آموزش و پرورش می تواند از این افراد در زمینه آموزش استفاده کند.

۴- حمایت از سمینارها یا برگزاری جشنواره ها برای دانش آموزان و معلمان بخشی از روند آموزش نانو به دانش آموزان است. هر چند این فعالیت ها هم اکنون بصورت جسته و گریخته در کشور در حال انجام است ولی نیازمند توجه و انسجام بیشتری می باشد.

۵- تولید بازی های رایانه ای با هدف آموزش نانو، تولید محتوا در شبکه های اجتماعی، پخش فیلم ها و انیمیشن های مرتبط با نانو فناوری در مدارس، بازدید از نمایشگاه های محصولات و تجهیزات نانوفناوری و همچنین تهیه کتابچه ها و برشور هایی برای دانش آموزان که در آنها به کاربردهای فناوری نانو در زندگی روزمره پرداخته شده باشد از دیگر راهکارهای ساده آموزش این علم می باشد. همچنین می توان از نویسندگان کشورمان، تهیه کنندگان برنامه های تلویزیونی، اساتید و دانشجویان فعال در زمینه آموزش در زمینه نانو کارگروه هایی تخصصی برای تولید برنامه های جذاب در زمینه نانو برای رده های مختلف سنی استفاده شود.

نتیجه گیری

امروزه بسیاری از انسان ها با دستاوردهای فناوری نانو سروکار دارند و امیدوارند که بتوانند مشکلات زیادی را به کمک آن حل کنند. به هر حال فناوری نانو مانند هر حوزه علمی و صنعتی نو ظهور دیگر، ضمن حل مشکلات متعدد، دشواری های گوناگون را نیز به همراه خواهد داشت. بنابراین لازم است علوم ارائه شده در مدارس به روز شده و علوم و فناوری نانو به صورت منسجم در آن گنجانیده شود تا نسل ها و نیروی کار آینده مسئولانه و با آگاهی لازم تصمیمات علمی بگیرند. گسترش استفاده از فناوری نانو در شاخه های مختلف صنعتی، پزشکی، الکترونیک، کشاورزی و بهداشت، نظام های آموزشی را بر آن می دارد تا با ارائه مفاهیم و سرفصل های مربوط به نانو مواد و کاربردهای آن، آگاهی دانش آموزان را در این زمینه علمی افزایش دهند. با گنجانیدن حداقل یک فصل از نانو شیمی در یکی از پایه های دوره متوسطه می توان تا حدودی خلاء آگاهی دانش آموزان را در این شاخه علمی جبران کرد. استفاده از ابزارهای مناسب، تصاویر و طرح های تحقیق کلاسی می تواند در انتقال مفاهیم اصلی به دانش آموزان و درک بهتر مقیاس ها بسیار مفید باشد. پیش از هر چیز، دوره های آموزشی شامل مباحث نظری و تجربی آزمایشگاهی برای معلمان و آشنایی با عناوین مورد طرح در فصول نانو شیمی مورد نیاز می باشد. استفاده از ابزارهای آموزشی در کلاس و نحوه طرح درس مناسب برای درک بهتر مفاهیم باید زمینه سازی و فراهم گردد. علاوه بر این، تامین شرایط آزمایشگاهی و دسترسی به میکروسکوپ های الکترونی برای درک بهتر ساختارها و بررسی

خواص ویژه این ترکیبات نیز ضروری می‌باشد. بنابراین، می‌توان با همکاری بین مدارس و دانشگاه‌ها تا حدی این مشکل را مرتفع کرد.

منابع

برجیان بروجنی، محمود؛ صفری، جواد (۱۳۸۹)، لزوم تقویت آموزش نانو در مقطع ابتدایی. ستاد ویژه توسعه فناوری نانو.

سیدی مطلق، شیما؛ شاهپوند، مهوش؛ علائی، علی (۱۳۹۲). فناوری نانو در صنعت ساختمان و تاثیر آن در معماری. اولین همایش ملی نانوفناوری مزایا و کاربردها، دانشکده فنی شهید مفتاح، همدان.

خدایاری شهسواری، ایرج؛ جلیلی، لیلا؛ مهربان، زهرا؛ حاتمی، جواد (۱۳۹۲). آموزش فناوری نانو ضرورتی جدید در برنامه درسی. همایش ملی تغییر در برنامه درسی دوره های آموزش و پرورش، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

خدایاری شهسواری، ایرج؛ جلیلی، لیلا؛ زهرا، مهربان (۱۳۹۲). آموزش فناوری نانو در حوضه های چند فرهنگی، همایش ملی آموزش و پرورش چند فرهنگی، انجمن مطالعات برنامه درسی ایران واحد استان آذربایجان غربی، ارومیه.

مهربان، زهرا (۱۳۹۳). تلفیق رویکردی مناسب برای ورود علم و فناوری نانو به محتوای برنامه درسی. فصلنامه مطالعات برنامه درسی ایران، ۳۴، ۳۴-۵

Antti.L(2010), An analysis of the educational significance of nanoscience and nanotechnology in scientific and technological literacy, *Science Education International*, 21, 160-175.

Ben.P, Manuel.F, Matthew.V, Adem.F, Eli.F(2011), Implementing nanotechnology education in the high school classroom, 2011 Frontiers in Education Conference (FIE), Rapid City, SD, USA, IEEE, , pp. F4D-1-F4D-6.

Fonash .S.J (2001), Education and training of the nanotechnology workforce, *Journal of Nanoparticle Research*, 3, 79-82.

Jeremy.V.E (2009), Nanotechnology education: Contemporary content and approaches, *Journal of technology studies*, 35, 3-8.

Joshua.A.J, Dong-Joon.C, Jaywon.L, Jia.M.C, Flemming.B, Dawn.A.B, Mark.C.H, Paul.S.W, Nam-Joon. C(2016), Nanotechnology education for

the global world: training the leaders of tomorrow, ACS Publications, 10, 5595–5599.

Kuiqing.P, Ying.X, Yin.W, Yunjie.Y, Shuit.T.L, Jing.Z(2005), Aligned single-crystalline Si nanowire arrays for photovoltaic applications, *Small Journal*, 1, 1062-1067.

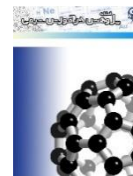
M.Gail.J, Ron.B, Grant.E.G, Virginie.A, Michael.F, Joel.C(2013), Nanotechnology and nanoscale science: Educational challenges, *International Journal of Science Education*, 35, 1490-1512.

Nadira,I.G ,Jeffrey.S.C(2012), Integrating nanotechnology into school education: a review of the literature, *Research in Science & Technological Education*, *International Journal of Science Education*, 30, 271-284.

Naif Mohammed.A, Elias.B.S, Abdul Halim.S, Mazliana.A.K, Moayad.H.F, Sahrim.H.A, Salahudeen.A. G(2014), A facile thermal-treatment route to synthesize ZnO nanosheets and effect of calcination temperature, *A Journal of PloS one*, 9, 103-134.

Raul.H.B, Angela.I.L.L, Miguel.V(2015), Scanning electron microscopy of carbon nanotubes dispersed in ionic liquid: solvent influence study, *Microchemical Journal*, 122, 137-143.

Vivek.P, Dongkyu.C, Xixiang.Z, Jean.M.B (2010), High-surface-area silica nanospheres (KCC-1) with a fibrous morphology, *A Journal of German Chemical Society*, 49, 9652-9656.



Nanotechnology and the Necessity of Teaching it in Schools; Investigation of Challenges

Amir Hossein Cheshme Khavar^{*1}, Zeynab Khazae²

¹Department of Science, Farhangian University, Isfahan, Iran

²Chemistry department, Tarbiat Modares university, Tehran, Iran

Abstract

The development of nanotechnology has caused a revolutionary wave in the education systems of countries around the world, to train experts in this field. The various educational programs for different age categories show a comprehensive focus on the investment in this field of technology. The expansion of the use of nanotechnology in various fields of industry, medicine, electronics, agriculture and health, persuaded the educational systems to increase students' knowledge of this science by providing concepts and topics related to nanomaterials and its applications. The lack of knowledge of the students can be partially compensated by gradually incorporating of the nanotechnology-related contents into high school science and chemistry textbooks. However, basic education of this technology requires principled training. The use of appropriate tools, images, and research in the classroom can be very helpful to teach the main concepts to the students and better understanding of the scales. Therefore, we hope to see the introduction of nanotechnology concepts into the schools in Iran and expanding of the students' knowledge of the progress by investigating the necessary conditions and facilities. The results show the lack of a written framework, lack of adequate infrastructure, high volume of textbooks and lack of adequate teachers are the main challenges in the field of nanotechnology education.

Keywords: Nanotechnology education, Nanotechnology, Nano Laboratory, Chemistry education.

*Corresponding Author: (✉ a.cheshmekhavar@cfu.ac.ir)