Research in Chemistry Education, Vol 5, No 4, 6-18

Research in Chemistry Education

https://chemedu.cfu.ac.ir

REVIEW PAPER

Why and how to teach nanotechnology in secondary schools

Amir Mohammad Bahrami Maddah [1,*], ***Zohre Serkan*** [2]

[1] *Master student of chemistry, Farhangian University, Tabriz, Iran*
[2] *Expert in supervision of preschool centers, General Directorate of Education, Hamadan, Iran*
[*] Corresponding author: (bahrami_maddah@cfu.ac.ir)

ABSTRACT

Nanotechnology is not a new field, but it is an interdisciplinary topic closely related to other branches of knowledge including physics, chemistry, medicine, energy, etc. Beside the revolution it created across the globe, the emergence of nanotechnology deeply influenced the education systems of the countries around the world so that they could train experts in this field. The expansion of the use of nanotechnology in various branches of industry, medicine, electronics, agriculture, and health, prompts educational systems to raise the students' awareness in this field by providing concepts and topics related to nanomaterials and their applications. Therefore, it is necessary to update the science taught at schools and integrate science and nanotechnology in a coherent way so that future generations and the workforce can make responsible scientific decisions. Among the advantages of nanoscience's over the other sciences is to enable students to better understand and communicate among branches of science. In this article, nanotechnology and the necessity and principles of its education in schools are emphasized. The study method is searching in Persian and English databases and reviewing articles, books, and the sources related to nanotechnology and its education. Finally, the results of teaching nanotechnology at schools are stated.

Keywords: Nanotechnology, educational principles, teaching nanotechnology, Science, microscope.

Received: 24 September 2023
Revised: 8 November 2023
Accepted: 13 January 2024
Published online: 30 January 2024
PP: 6-18
ISSN (Online): 2717-2279

Citation: Bahrami Maddah, A. M., Serkan, Z. (2024). Why and how to teach nanotechnology in secondary schools. *Research in Chemistry Education*, *5*(4), 6-18.
https://doi.org/ 10.48310/CHEMEDU.2024.15118.1142

پژوهش در آموزش شیمی، سال پنجم، شماره چهارم، صفحات ۱۸-۶

پژوهش در آموزش شیمی

https://chemedu.cfu.ac.ir

مقاله مروری

چرایی و چگونگی آموزش نانوفناوری در مدارس

امیر محمد بهرامی مداح [۱،*]، زهره سرکان [۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی آموزش شیمی، دانشگاه فرهنگیان، پردیس علامه امینی تبریز، ایران

[۲] کارشناس نظارت بر مراکز پیش دبستانی، اداره کل آموزش و پرورش، همدان، ایران

* نویسنده مسئول: (bahrami_maddah@cfu.ac.ir)

چکیده

نانوفناوری یک رشته جدید نیست، بلکه علمی بین رشته‌ای است که با سایر علوم مانند فیزیک، شیمی، دارویی، انرژی و... ارتباط تنگاتنگی دارد. با ظهور نانو فناوری، علاوه بر انقلابی که در جهان ایجاد شد، هیاهویی در نظام‌های آموزش کشورهای دنیا به‌وجود آورد تا افراد متخصص را در این زمینه تربیت کنند. گسترش استفاده از فناوری نانو در شاخه های مختلف صنعتی، پزشکی، الکترونیک، کشاورزی و بهداشت، نظام‌های آموزشی را بر آن می‌دارد تا با ارائه مفاهیم و سرفصل‌های مربوط به نانو، مواد و کاربردهای آن، آگاهی دانش آموزان را در این زمینه علمی افزایش دهند. بنابراین لازم است علوم ارائه شدنی در مدارس به‌روز بشوند و علوم و فناوری نانو به صورت منسجم در آن گنجانیده شود تا نسل‌ها و نیروی کار آینده، مسئولانه تصمیمات علمی بگیرند. از جمله مزیت‌های علوم نانویی با دیگر علوم، قادر ساختن دانش آموزان و دانشجویان به درک و ارتباط بهتر بین علوم است. در این مقاله چرایی و چگونگی آموزش نانوفناوری در مدارس مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش مورد مطالعه، جست وجو در پایگاه‌های اطّلاعاتی فارسی و انگلیسی و بررسی مقالات، کتب و پایان نامه‌های مرتبط با نانوفناوری و آموزش آن می‌باشد. در پایان نتایج حاصل از آموزش نانوفناوری در مدارس بیان می‌گردد.

واژه‌های کلیدی:
نانوفناوری،
اصول آموزشی،
آموزش نانوفناوری،
علم،
میکروسکوپ.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳
تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰
شماره صفحات: ۱۸-۶
شاپا الکترونیکی: ۲۲۷۹-۲۷۱۷

ارجاع: بهرامی مداح، امیر محمد؛ سرکان، زهره (۱۴۰۲). چرایی و چگونگی آموزش نانوفناوری در مدارس. پژوهش در آموزش شیمی، ۵(۴)، ۱۸-۶.

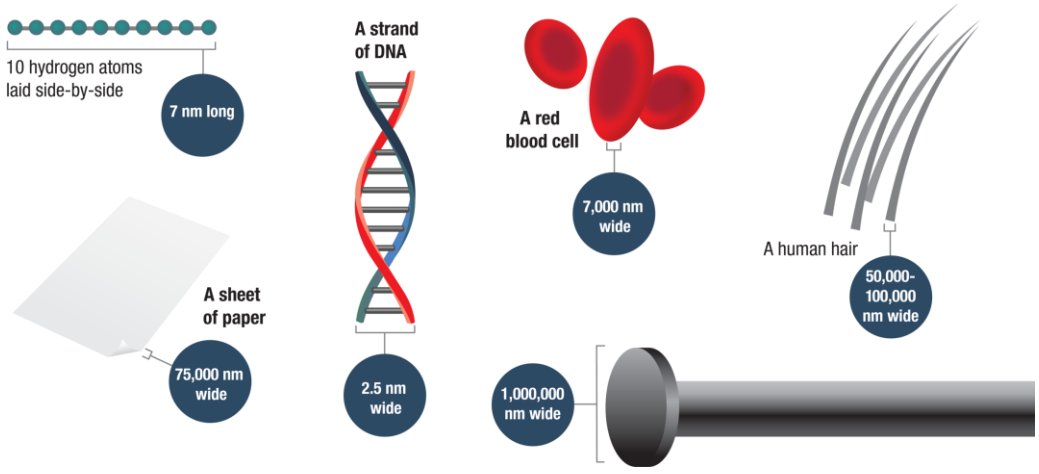
https://doi.org/ 10.48310/CHEMEDU.2024.15118.1142

مقدمه

نانوفناوری، توانایی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطوح مولکولی و اتمی و تغییر خواصی است که در سطوح ظاهر می‌شود. از همین تعریف ساده برمی‌آید که نانوفناوری یک رشته جدید نیست، بلکه رویکردی جدید در تمامی رشته‌ها است. موضوع اصلی آن نیز مهار ماده یا دستگاه‌های در ابعاد معمولاً حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. نانوتکنولوژی یک حوزه علمی نوظهور و درارتباط با علوم شیمی، مواد، فیزیک، داروسازی و انرژی به سرعت در حال توسعه است. با به‌کارگیری فناوری در مقیاس نانو می‌توان خواص مختلفی از مواد مانند نوری، مغناطیسی، الکتریکی، فضایی و شیمیایی را مراقبت نمود. این خواص مراقبت شده منجر به کاربردهای جدید و مفیدی خواهد شد (Knobel, 2010). در واقع نانو فناوری فهم و به کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستم‌هایی در این ابعاد است، که اثرات فیزیکی جدیدی که عمدتاً متاثر از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک است از خود نشان می‌دهند. استفاده از این فناوری در کلیه علوم پزشکی، پتروشیمی، علوم مواد، صنایع دفاعی، الکترونیک، کامپوترهای کوانتومی و غیره باعث شده است که تحقیقات در زمینه نانو به عنوان یک چالش اصلی علمی و صنعتی پیش روی جهانیان باشد. در حال حاضر بازار محصولات بر مبنای فناوری نانو در سطح جهانی بیش از ۱۰۰۰ میلیارد دلار برآورد می‌شود. حدود ۲ میلیون پرسنل در این حوزه مشغول بکار هستند. به‌منظور برآورد شدن این تقاضا، کارکنان مربوطه بایستی در حوزه‌های مختلف تولید و کاربرد این فناوری مهارت لازم را به دست آورند (Meyyappan, 2004).

مقیاس نانویی:

مقیاس نانویی به ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر اطلاق می‌شود. بدین معنا که از مقیاس سانتی‌متر، میلی‌متر و میکرومتر هم پایین‌تر آمده تا جایی‌که به مقیاس یک میلیاردم متر رسید. 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 رشته حاصل ۷ نانومتر خواهد بود. یک رشته DNA حدود ۲/۵ نانومتراست. پهنای یک گلبول قرمز خون ۷۰۰۰ نانومتر، ضخامت یک تار موی انسان ۵۰۰۰۰ نانومتر، 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 (Alford, 2009).



شکل ۱- ارائه تصویری مقیاس نانویی

مشاهده مقیاس نانویی:

درحالیکه به نظر می‌رسد این مقیاس زیر چشم انسان قرار دارد، اما در عمل، دنیای بسیار ریز در فاصله‌ای بسیار دور قرار دارد. این دنیا در ورای هر حسی وجود دارد. بنابراین باید دید که دانشمندان چگونه به رخدادهای آن پی می‌برند. به جرأت می‌توان گفت برای مشاهده دنیای بسیار ریز به ماشین‌های بسیار پیچیده و بزرگ نیاز است. در گذشته دور حدود سال ۱۹۳۰ میلادی دانشمندان با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی

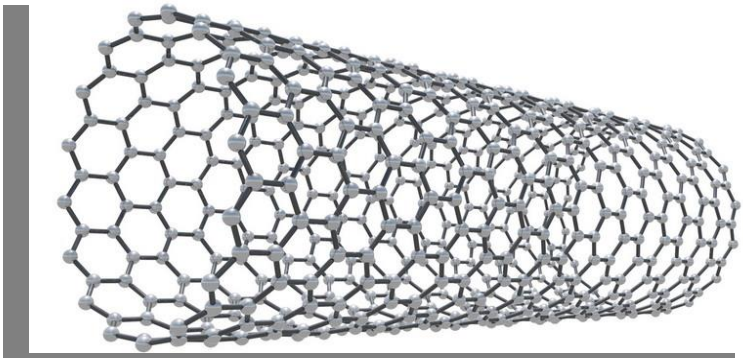
انتقالی (TEM) و میکروسکوپ الکترونی میدانی (FIM) مشاهداتی در مقیاس نانویی داشتند. این میکروسکوپ‌های الکترونی یک پرتو الکترونی را بر روی نمونه تابانیده و وضوح و تفکیک تصویری بهتر از میکروسکوپ نوری مرسوم فراهم می‌نمایند. این میکروسکوپ‌ها بزرگنمایی تا یک میلیون برابر دارند در حالی که میکروسکوپ معمولی تا ۱۵۰۰ برابر بزرگنمایی دارد. بدین ترتیب آغاز نانوفناوری اعلام شد. به‌تازگی با استفاده از میکروسکوپ تونلینگ روبشی (STM)، میکروسکوپ با نیروی اتمی(AFM) و هلوگرافی مشاهده مقیاس نانویی اجسام در سطح اتمی و در فضای سه بعدی نیز امکان‌پذیر شده‌است. بدین ترتیب بررسی خواص مکانیکی و سطحی اجسام از قبیل زبری و نرمی قابل ارزیابی می‌شود (Roco, 2006).

علم نانو اشیاء را تغییر می‌دهد:

یکی از عناصر هیجان انگیز عمل در دنیای نانو این است که مواد در این مقیاس در مقایسه با دنیای معمولی، رفتار متفاوتی نشان می‌دهند (Moosvi, 2014). اگر یک تکه طلای زرد رنگ را در نظر بگیریم، چنانچه آن را به قطعاتی تا مقیاس نانو خرد کنیم، رنگ قطعات وابسته به اندازه آن‌ها تغییر خواهد کرد. در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر با توجه به اندازه و شکل، قرمز، نارنجی، صورتی و یا سبز به‌نظر می‌رسند (Huang, 2011). همین طلا که در حالت عادی در مقیاس ماکرو و میکرو از نظر واکنش شیمیایی تقریبا خنثی می‌باشد، در مقیاس نانویی به عنوان کاتالیزگر واکنش عمل می‌کند (McFarland, 2004). بنابراین با مراقبت از اندازه و شکل مواد می‌توان رفتار آن‌ها مانند رنگ، رسانایی برق، نقطه ذوب، سختی و شکنندگی را نیز مراقبت نمود. این در حالی است که ترکیب شیمیایی و یا ساختار بلوری مواد تغییر داده نشده و فقط سطحِ در معرض دید، تغییر کرده است. در این هنگام نسبت سطح مواد به حجم آن‌ها به گونه‌ای فوق‌العاده زیاد شده است. از آنجایی که عمده واکنش‌های شیمیایی مواد در سطح آن‌ها رخ می‌دهد، بنابراین فعالیت شیمیایی بیشتر می‌شود. به همین دلیل شیمیدانان نسبت به مطالعه علم نانو بسیار علاقه‌مند شده‌اند (Frens, 1973). خواص کوانتومی مواد نیز در مقیاس نانو تحت تأثیر قرار می‌گیرند. فیزیک کلاسیک نمی‌تواند تغییر رنگ اشیاء را به علت تغییر اندازه بیان کند. بدین جهت از علم کوانتوم مکانیک استفاده می‌شود. به همین علت در مواردی علم نانو را علم نقاط کوانتومی نیز می‌گویند (Sweeney, 2006).

معرفی نانو مواد:

مواد نانویی، موادی هستند در مقیاس نانویی که خواصشان مانند رسانایی برق، رنگ و خواص مکانیکی با توجه به ابعادشان تغییر می‌کند. مواد نانویی شامل همه موادی است که ساختاری سطحی و یا عمقی در مقیاس نانویی دارند و می‌توانند مواد آلی، معدنی و یا زیستی باشند. صفحات نانویی، ذرات نانویی، سیم‌های نانویی و نانولوله‌ها را می‌توان در آزمایشگاه مهندسی نمود. ممکن است نانوذرات مانند دود، اسپری آب دریا، خاکستر آتشفشان، مواد معدنی، خاک‌ها، ذرات نمک در طبیعت نیز یافت شوند. تصویری از نانو لوله‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲- نانولوله‌های کربنی

کاربردهای فناوری نانو:

بخشی از تاثیرات و کاربردهای نانوتکنولوژی به شرح زیر می‌باشد:

۱- تولید مواد و محصولات صنعتی:

برخی از مزایای نانوساختارها عبارتست‌از: مواد سبک‌تر، قوی‌تر و قابل انعطاف؛ کاهش هزینهٔ عمر کاری از طریق کاهش دفعات نقص فنی؛ ابزارهایی نوین بر پایهٔ معماری جدید؛ بکارگیری کارخانه‌جات 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 سیستم‌های زنده را اداره می‌کند. یعنی مقیاسی که شیمی، فیزیک، زیست‌شناسی و شبیه‌سازی کامپیوتری، همگی به آن سمت گرایش دارند. سهل‌شدن استفادهٔ بهینه از دارو، مواد زیست سازگار با کارایی بالا، طراحی سیستم‌های جدید و هدفمند انتقال دارو به سلول‌ها و طراحی فرمولاسیون داروها می‌توانند به نحو حیرت‌انگیزی توان درمانی داروها را افزایش دهد.

۳- دوام‌پذیری 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 فناوری‌های جدید، امکان بازیافت و استفادهٔ مجدد از مواد، انرژی و آب را فراهم خواهند کرد. در زمینه محیط زیست، علوم و مهندسی نانو، می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای در درمان مسائل زیست محیطی از طریق کنترل انتشار آلاینده‌ها؛ در توسعهٔ فناوری سبز جدید که محصولات جانبی ناخواستهٔ کمتری دارند و یا در مناطق حاوی فاضلاب، داشته باشد. زیرا توان حذف آلودگی‌های کوچک از منابع آبی (کمتر از ۲۰۰ نانومتر) و هوا (زیر ۲۰ نانومتر) و اندازه‌گیری و تخفیف مداوم آلودگی در مناطق بزرگ‌تر را دارد.

٤- فناوری نانو در هوا و فضا:

نانو فناوری در طراحی و ساخت مواد سبک‌وزن، پرقدرت و مقاوم در برابر حرارت، مورد نیاز برای هواپیماها، راکت-ها، ایستگاه‌های فضایی و سکوهای اکتشافی سیاره‌ای یا خورشیدی، نقش تعیین کننده‌ای ایفا می‌کند. همچنین استفادهٔ روزافزون از سیستم‌های کوچک شدهٔ تمام خودکار، منجر به پیشرفت‌های شگرفی در فناوری ساخت و تولید خواهد شد.

٥- کاربرد فناوری نانو در صنعت الکترونیک:

با استفاده از این فناوری می‌توان 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 اندازه‌های فوق‌العاده کوچک به عنوان مثال در اندازه‌های ۳۲ تا ۹۰ نانومتر، و تولید دیسک‌های نوری ۱۰۰ گیگابایتی در اندازه-های کوچک امکان پذیر می‌گردد.

احتیاط‌ها در مورد نانوفناوری:

همراه با گسترش هر نوع فناوری جدید، دامنه‌ای از نتایج منفی و مثبت مربوط به آن در ذهن انسان‌ها نقش می-بندد (Barab, 2005). همزمان با سرمایه گذاری در حوزه علم و فناوری نانو نیز نگرانی برخی از مردم در رابطه با مسائل اخلاقی، زیست محیطی و اقتصادی بروز می‌کند. از جمله بیان می‌شود که نانوذرات تولیدی بر سامانه‌های زیستی و سلامتی انسان چه اثری خواهند داشت؟ (Amory, 1999). در آزمایشگاه مشاهده شده که برخی از مواد نانویی نوعی بهم‌ریختگی در الیاف پروتئینی ایجاد نموده‌اند که شبیه بیماری‌های مغزی می‌باشند (Jones, 2007). شواهدی دال بر آسیب‌های ژنتیکی از سوی نانو ذرات نیز به‌دست آمده است (Harmer, 2010). اثر نانوذرات بر سامانه خون رسانی شامل قلب و عروق در حال مطالعه است. وضعیت سلامتی کسانی که برای طولانی مدت و یا روزانه در معرض نانوذرات هستند باید رصد شود (Bryan, 2015). مشاهده شده که نانو لوله‌های کربنی موجب بیماری سرطان و اختلال رفتاری در برخی حیوانات شده است. از آنجاکه چگونگی اثر نانوذرات در آزمایشگاه با محیط زیست متفاوت است، بنابراین با توجه به ساختار فیزیکی و شیمیایی مواد، نحوه اثرگذاری آن‌ها بر آب، خاک و هوا بایستی بررسی شود. زمانی‌که این مواد در محیط پخش می‌شوند، ممکن است به همان شکل در تماس با محیط باقی بمانند و یا اینکه در آب‌ها حل، ته

نشین، انباشت شده و یا با دیگر ملکول‌ها و یون‌های محیط اعم از معدنی، آلی و یا بیولوژیکی پیوند برقرار نمایند. احتمال دارد نانوذرات از یک میکروارگانیسم به میکروارگانیسم دیگر و یا در زنجیره غذایی جانداران دیگر منتقل شوند. چون نانوذرات متنوع هستند، بنابراین اثرات آن‌ها نیز متنوع خواهدبود. در هرحال اثرات مثبت و منفی هر دو بایستی مورد مراقبت باشد. با این وجود بسیاری از دانشمندان بر این باورند که علوم و فناوری نانو موجب پیشرفت فوق العاده‌ای در زمینه‌هایی همچون داروسازی، بیوتکنولوژی، تولید کالا و فناوری اطلاعات خواهد شد (Foley, 2006).

از این‌رو، با عنایت به توسعه و کاربرد علوم نانو، شهروندان، بخصوص دانش‌آموزان و دانشجویان باید با فواید و خطرات اجتماعی و اخلاقی آن آشنا باشند. با توجه به چند وجهی بودن این عرصه جدید، برنامه‌های آموزشی گوناگونی بصورت رسمی و غیررسمی در سطح جهان برای آموزش فناوری نانو تدارک دیده شده‌است (Betz, 1995). حتی برای دبیرستان‌ها آزمایشگاه‌های نانو فراهم شده است (Blumenfeld, 1991). ارزیابی پروژه نشان داده است که در آموزش نانوفناوری با رویکرد نیاز محوری، دانشجویان و دانش‌آموزان درک گسترده‌تر و بهتری از این مفهوم علمی خواهند داشت. امروزه بسیاری از آموزش‌های نانوشیمی بر پایه استفاده از دستگاه‌های بسیار پیچیده و دقیق می‌باشد. هدف اساسی نانوفناوری عبارت‌است از طراحی، نمونه‌سازی، مشابه سازی و تولید مواد با ساختار نانویی و یا ابزارهای نانویی با خواص فوق العاده و در نهایت تجاری سازی آن‌ها.

آینده نانو فناوری:

ده‌ها سال پژوهش و توسعه در علوم و فناوری نانو منافع غیرمنتظره‌ای را برای اجتماع به بار آورده‌است. این فناوری موجب بهبود کیفیت محصولات در عرصه‌هایی مانند ایمنی غذایی، دارویی، بهداشت، انرژی، حمل و نقل، ارتباطات، محیط زیست، صنایع خودرویی، نساجی، آرایشی و بهداشتی شده است. تا کنون حدود ۸۰۰ قلم محصول در بازار عرضه می‌شود که ادعا می‌شود با استفاده از فناوری نانو بهبود کیفیت پیدا کرده‌اند (Drane, 2009). مثالی از این نوع در مورد الیاف نانویی در شکل ۲ آورده شده است.

شکل۳- ذرات نانویی به سطح این الیاف ساختاری شبیه برگ‌های گیاه نیلوفر آبی داشته که آب و گرد گریز هستند.

مزیت تدریس نانوفناوری در مدارس:

یکی از مزیّت‌های قرار گرفتن علوم و فناوری نانو در برنامه درسی دانش‌آموزان 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 رشته‌های مطالعاتی بسیار متنوع را می‌توانند دنبال کنند که به آن‌ها این امکان را خواهد داد که با کاربرد نانو فناوری جهان را تغییر دهند. به‌طورمعمول درک دانش‌آموزان از سود و زیان این علوم وابسته به نوع کاربرد آن است. محصّلین

یاد می گیرند که منتقدانه بیندیشند، در هر موردی واقعیت‌ها را بررسی کنند و مزایا و معایب را بسنجند. به‌تازگی در بسیاری از کشورها مطالب نانوفناوری به نحوی در برنامه درسی دانش‌آموزان گنجانیده شده است و حتی آزمایشگاه‌های نانویی نیز تدارک دیده شده است (Planinsic, 2008).

توجه کمتر به آموزش فناوری نانو به دانش‌آموزان می‌تواند پیامدهای ناگواری برای نظام آموزش کشور داشته‌باشد که به مرور زمان مشخص می‌گردد . حال آن‌که، در صورت آشنایی دانش‌آموزان با نانو فناوری آن‌ها قادر خواهند بود علوم جدید را به زبان ساده و از طریق تعامل بشناسند. 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 (Tretter, 2006).

پیشینه پژوهش

تاکنون روش‌هایی گوناگون به منظور آموزش نانو فناوری در مدارس در پیش گرفته شده است که در زیر به بررسی تعدادی از آن‌ها می‌پردازیم:

امروزه نانو فناوری یکی از حوزه‌های مهم آموزش علوم در بسیاری از کشورهای توسعه یافته است. تاکنون کشورهای مختلفی از جمله آمریکا، دانمارک، تایوان، کره جنوبی، سنگاپور و غیره در زمینه آموزش مفاهیم و کاربردهای نانو فناوری تحقیقات گسترده‌ای را منتشر کرده و همچنین در دوره‌های آموزشی کوتاه و بلند مدت در دوره متوسطه، بازده آن‌را مورد مطالعه قرارداده‌اند (Nadira, 2012؛ Fonash, 2001). نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد دانش‌آموزان با توجه به شیوهٔ انتقال اطلاعات و روش تدریس، درک قابل قبولی از مفاهیم اصلی این علم داشته‌اند (Antti, 2010). در میان روش‌های مورد بررسی، دو عامل اصلی تجسم و مشاهده تصاویر میکروسکوپی و انیمیشن‌ها به عنوان موثرترین عامل انتقال درست مفاهیم به دانش‌آموزان و درک بهتر ساختار شیمیایی و خواص ترکیبات در مقیاس نانو معرفی شدند (Jeremy, 2009). در تایوان آموزش فناوری نانو با روش‌های گوناگون به دانش‌آموزان از دوره ابتدایی صورت می‌گیرد (Brojeni, 2011). در ژاپن علاوه بر دبیرستان‌ها آموزش نانو را به سطوح پایین‌تر یعنی دبستان نیز گسترش داده‌اند. پازل های کودکانه نمونه بارز این آموزش هاست. در سایر کشورهای پیشرفته نظیر آمریکا و آلمان نیز برنامه‌های متنوعی برای آموزش نانو توسعه داده شده‌اند. درک دانش‌آموزان از مباحث پیچیده علمی در مقیاس نانویی مانند ساختار مولکولی ترکیبات، تقارن مولکولی و ساختار بلورین آن‌ها با تصویر سازی (پویانمایی- بازی‌های رایانه‌ای) و استفاده از نانوفناوری بهبود می‌یابد (Rieber, 1995).

از تجسّم در آموزش نانوشیمی و نانوفناوری می‌توان برای یادگیری مفاهیم اصلی شیمایی مانند پیوند، ساختار، واکنش پذیری، تعادل‌های شیمایی و اندازه ذرّات و بهبود خواص آن‌ها بهره جست. برنامه‌های آموزشی بصری باعث می‌شوند یادگیرنده به‌طور فعال در یادگیری فعال شده و انگیزه‌های یادگیری را بالا ببرد. مطالعات انجام شده در مورد درک دانش‌آموزان از مقیاس نانو بیشتر مربوط به دانش‌آموزان مسن‌تر است نه دانش‌آموزان دوره ابتدایی. در مطالعاتی که سعی در آشنایی دانش‌آموزان دوره ابتدایی با مباحث علوم و فناوری نانو دارند کمبود آن ذکر شده‌است. با این حال تلاش‌هایی برای بحث در مورد موضوعات علوم و فناوری نانو برای دانش‌آموزان دوره ابتدایی در زمینه‌های خارج از مدرسه وجود دارد. در آفریقای جنوبی نمایشگاهی از یک موزهٔ علمی که شامل تکنیک‌ها ، برنامه‌ها، پوسترها، فیلم‌ها و نمایشگرهای تعاملی در علوم و فناوری نانو است، برای بررسی میزان دانش آموزان ۲۲ تا ۲۳ ساله استفاده شده است. دانش‌آموزانی که از نمایشگاه نانو بازدید کردند دانش خود را در مورد علوم و فناوری نانو گسترش دادند اما مهم‌ترین نتیجه، افزایش علاقه دانشجویان به علوم و فناوری نانو بوده است. همچنین در تایوان یک دوره ۳ ساعته علوم و فناوری نانو برای ۳۱۳ دانش آموز دبستانی (پایه ششم) در قالب فعالیت‌های اردوگاهی برای ارتقای آموزش علوم

محبوب استفاده شده است. فعالیت‌های اردوگاه شامل مقدمه‌ای برای علوم و فناوری نانو، آزمایش‌هایی در مورد تأثیر نیلوفر آبی، بازدید از نمایشگاه نانو و معماهای تعاملی است. دانش‌آموزان ابتدایی پیشرفت‌های چشمگیری در درک خود در مورد مباحث علوم و فناوری نانو داشتند که به ترتیب در سه بخش با نام‌های "پدیده‌های نانو در جهان طبیعی"، "نانومواد و اثرات مقیاس گذاری آن‌ها" و "معنی، ویژگی‌ها و کاربردهای فناوری نانو" تقسیم شده‌اند.

جونز و همکارانش از فیلم "قدرت‌های ده" استفاده کردند و تأثیر این فیلم را در مفهوم اندازه ذرات نانو در دانش‌آموزان دوره متوسّطه بررسی کردند. نتایج نشان داده است که این فیلم به دانش‌آموزان کمک کرده تا توانایی‌های دهگانه را در نسبت اندازه‌ها بهتر درک کنند. درانه و همکاران در پژوهشی بیان داشتند که بایستی خواص منحصر به فرد مواد نانویی را در آموزش مورد عنایت قرار داد. برای فهم بهتر این خواص و نشان دادن رفتار اتم‌ها و مولکول‌ها معمولا از دستگاه‌های مجهز سمعی و بصری استفاده می‌نمایند. به منظور ارائه یک مفهوم مرتبط با شیمی به دانش-آموزان، تعریفی ساده و روشن را می‌توان به این صورت ارائه داد: علم نانو عبارت‌است از مطالعه چیزهای بسیار کوچک در مقیاس نانویی و نانوفناوری شامل توسعه فنی آن مطالعات و تولید قطعاتی مانند اجزاء الکترونیکی و تراشه‌های رایانه‌ای در مقیاس نانویی است. به بیان دیگر علم نانو یعنی فکری بزرگ برای تهیه ابزاری بسیار ریز است. در واقع این مقیاس اندازه‌هایی حداکثر تا ۱۰۰ نانومتر است. یک نانومتر یعنی یک میلیاردم متر. اندازه‌ای که خواص فیزیکی و شیمیایی مواد و اشیاء در آن تغییر اساسی را نشان می‌دهند. در هرحال این علم به دنیای اطراف انسان‌ها شکلی جدید خواهد بخشید. اما چگونه عمل می‌کند و یا به بشریت کمک می‌کند نیاز به گذشت زمان دارد. بدین جهت مثبت و یا منفی بودن این تغییرات برای انسان‌ها هنوز جای بحث زیادی دارد (Saidi, 2017). نانوفناوری یکی از حوزه‌های مهم تحقیقاتی در سطوح تحصیلات تکمیلی کشورمان می‌باشد ولی در سطوح قبل از دانشگاه، برنامه‌ریزان، مدیران، معلمان و آموزگاران هنوز اثرات آینده فناوری نانو را نشناخته‌اند و به همین دلیل قطعا نیازهای آموزشی آن را نمی‌دانند 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 می‌پردازند (Lin, 2015). در این مقاله سعی بر این است که اصول آموزش نانوفناوری در مدارس بررسی و ارائه گردد.

روش

فناوری نانو یک علم بین رشته‌ای 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 می‌رسد و در این بین آموزش و پرورش به عنوان نهاد اصلی آماده سازی نسل جدید برای ورود به عرصه‌های نوین علوم و فناوری باید نقش مهمی را ایفا نماید. فلذا در این بخش به بررسی اصول آموزش نانوفناوری در مدارس می‌پردازیم.

آموزش نانوفناوری:

چالش امروزی در فراهم کردن آموزش‌های بین رشته‌ای برای دانش‌آموزان و دانشجویان است که فهمی وسیع را از علوم پایه مانند فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، زمین شناسی و غیره را به‌بار آورد. ورود علوم نانویی به مدارس یک الگوی آموزشی جدید را ضروری ساخته است. از آنجا که ساختار علوم به‌نوعی دارای چهارچوب است، نمی‌توان به سادگی برخی از سرفصل‌های گذشته را حذف و به جای آن سرفصل جدید قرار داد. در آموزش علوم و فناوری نانویی بایستی به ویژگی‌های طبیعت، شکل و ساختار محصولات دقّت کافی وجود داشته‌باشد. مثال‌های زیر می‌تواند تصویری از این رویکرد را ارائه نماید. فنّاوری نوین جدید بودن فناوری بازتاب دهنده ویژگی‌های جدید محصول است که خواص کیفیتی و کمیتی نو و بالا را ارائه می‌کند و با محصولات سنتی و پایه تفاوت دارد. بنابراین آموزگاران

بایستی محیط و راهبرد منسجمی را در پیش گیرند تا دانش‌آموزان را تشویق به مواجه با دستاوردهای علوم جدید نمایند. ضرورت آموزش نانوفناوری با زیر ساخت لازم سابقا مورد تأکید قرار گرفته است.
برای آموزش نانو شیمی و نانو فناوری ابتدا لازم است چند تعریف را بصورت کاملا ساده برای دانش‌آموزان توضیح دهیم. دو اصطلاح علم نانویی و نانوفناوری در امور روزمره معمولا مترادف و یا جابه‌جا به کار می‌روند، درحالیکه معنا و محدوده‌ای متفاوت دارند.

علم نانو:

علم نانو عبارت‌است از مطالعه ساختارها و مواد در مقیاس فوق‌العاده ریز و متعاقبا نشان دادن خواص منحصر به فرد و جذاب آن‌ها. این علم ویژگی چند وجهی و بین رشته‌ای شامل تخصص‌های شیمی، فیزیک، زیست شناسی، مواد، انرژی، داروسازی و مهندسی‌های مختلف است که موجب درک بهتر انسان از محیط اطراف می‌شود.

نانوفناوری:

نانوفناوری که گاهی هم تولید مولکولی بیان می‌شود، عبارت‌است از طراحی، تولید و کاربرد ساختارها، تجهیزات و سامانه‌ها در مقیاس نانویی.

آزمایشگاه نانویی:

آزمایشگاه و تجربه مربوطه در آموزش فناوری نانویی می‌تواند اصل موضوع و نتایج آن را به دانش‌آموزان ملموس نماید. به‌عنوان مثال یک راه برخورد با مسئله این است که عنوانی خاص از نانوفناوری را شناسایی و انتخاب نموده (به‌عنوان مثال شرح عملکرد یک دستگاه و یا یک ماده) آنگاه آن‌ها را با علوم موجود تلفیق نماییم. به‌عنوان نمونه می‌توان دستگاه میکروسکوپ با نیروی اتمی را انتخاب و سپس عملکرد آن را در حوزه علوم نانویی آموزش داد. رویکرد آموزش بر مبنای نیاز درسی نیز به‌وسیله برخی محققان مورد تأکید قرار گرفته است.

نمایش کاربردهای فناوری های نانو در بخش‌های مختلف زندگی روزمره:

مطالعات گذشته نشان داده که کاربرد نانو مواد در صنایع مختلف، کشاورزی و پزشکی بسیار مورد توجه دانش‌آموزان بوده و منجر به افزایش انگیزه برای تحقیق و جست‌وجو در اینترنت می‌شود. مشاهده کاربردها به نوعی به تجسم خواص و ویژگی‌های فوق‌العاده این ترکیبات کمک کرده و بین مفاهیم بنیادی و محصولات تولید شده پیوند ایجاد می‌کند. به طور مثال: نمایش کاربرد نانو مواد در پزشکی و دارو رسانی، بهبود کیفیت مواد به کار رفته در خودروها و تلفن همراه، پوشش‌های با قابلیت‌های جدید نظیر تمیز شوندگی و مقاومت بالا در مقابل تخریب و حرارت، و تصفیه آب می‌توانند موضوعات قابل توجه بیشتر برای دانش‌آموزان باشند. تشکیل جلسات گروهی در کلاس، انتخاب این عناوین کاربردی برای جست‌وجو در اینترنت و تهیه پاورپوینت و ارائه آن به کلاس می‌تواند مشارکت دانش‌آموزان را در یادگیری مفاهیم نانو فناوری افزایش داده و دسترسی معلمان را به طیف گسترده‌تری از اطلاعات فراهم کند. ورود و پیشرفت فناوری نانو در بخش‌های مختلف زندگی و استفاده از آن در طرح‌های آینده صنعتی، پزشکی و کشاورزی به طور چشم‌گیری افزایش یافته و روزبه‌روز گسترش می‌یابد. ازاین‌رو نیاز به آموزش مفاهیم فناوری نانو و شناخت ابعاد مختلف آن امری ضروری می‌باشد.

همانطورکه پیشتر اشاره شد، هدف اساسی نانوفناوری عبارت است از طراحی، نمونه‌سازی، شبیه‌سازی 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 دانش‌آموزان با مفهوم نانو فناوری رویکردهای زیر را می‌توان بکار برد:

- چگونگی درک، شناسایی و اندازه‌گیری خواص محصولات نانوساختار 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 دانش‌آموزان کمک کند.
- دسترسی به امکانات آزمایشگاهی مورد نیاز برای شناسایی، بررسی و درک بهتر ترکیبات تهیه شده در مقیاس نانو.
- برنامه‌ریزی مناسب و همراه با تعامل در جهت طرح درس در کلاس به صورت فعال و ایده‌پذیر.
- آشنایی کافی معلم با مراحل تجربی تهیه نانو مواد و کاربردهای آن در حال حاضر و همچنین پروژه‌های علمی آینده.
- ایجاد علاقه به موضوع و انگیزه جهت تحقیق دانش‌آموزان و ارائه مطالب جدید به کلاس (آموزش متکی به دانش آموز).

مشکلات و چالش‌های آموزش نانوفناوری در مدارس:

آموزش نانو فناوری مانند هر امر دیگری خالی از چالش نیست. در ادامه به بررسی چند مورد از چالش‌ها و ارائه راهکار پیشنهادی برای بهبود آن به اختصار می‌پردازیم:

۱- زیر ساخت‌ها:

از آنجایی که ما در نانوفناوری در مقیاس اتم و مولکول صحبت می‌کنیم لذا آموزش آن کمی متفاوت‌تر از سایر علوم می‌باشد. تدریس آن مستلزم آزمایشگاه‌ها و تجهیزاتی است که این مفهوم انتزاعی را برای فراگیر به بررسی چالش‌های پیش رو صورت ملموس در بیاورد. شاید ساده‌ترین ابزار برای مشاهده نانو ساختارها، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) باشد. یک جستجوی ساده در دانشگاه‌های کشور نشان می‌دهد که اکثر دانشگاه‌های ما، حتی دانشگاه‌هایی که هر ساله در رشته‌های مختلف مرتبط با نانوفناوری دانشجو می‌پذیرند، از این دستگاه محرومند. بنابراین نمی‌توان از مدارس انتظار خاصی داشت. به‌علاوه حداقل امکانات برای انجام آزمایشات ساده در مدارس موجود نیست، چه برسد به امکانات لازم برای سنتز نانو ساختارها و بررسی خواص آن‌ها. آزمایشگاه‌های مدارس یا اصلا وجود ندارند و یا محدود به تعدادی کمد و چند عدد ظرف شیشه‌ای و پوستر بوده و یا فاقد یک متصدی فعال و آشنا به کارهای آزمایشگاهی می‌باشد. 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 نمی‌کند 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 نمی‌دهند. در چنین شرایطی آموزش نانو که اساسا یک علم انتزاعی است و به آموزش از طریق آزمایش و مشاهده نیاز مبرم دارد، امری محال به نظر می‌رسد.

با توجه به وضعیت موجود، تجهیز مدارس برای آموزش نانو امری دشوار به نظر می‌رسد. دراین 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 خواهدبود.

۲- حجم بالای کتاب درسی:

یکی از موضوعات مورد بحث در آموزش و پرورش حجم بالای کتاب درسی و متناسب نبودن حجم مطالب با میزان ساعت‌های آموزشی می‌باشد. حجم بالای مطالب و سنگین بودن محتوای کتاب‌ها عملا مجالی برای پرداختن به حوزه‌های جدید علوم باقی نمی‌گذارد. بازنگری کتاب‌های درسی در سال‌های اخیر تا حدی این چالش را تعدیل کرده‌است،

اما با وجود تعطیلی پنجشنبه‌ها و تعداد بالای تعطیلی در اثر آلودگی هوا همچنان مشکل کمبود زمان و فشردگی دروس وجود دارد. امروزه بچه‌ها مجبورند حجم بالایی از محفوظات و پرسش و پاسخ را فرا بگیرند که عملا کاربردی در زندگی آن‌ها ندارد و این امر فرسنگ‌ها با آنچه به عنوان برنامه آموزشی و هدف درس تعریف شده است، فاصله دارد. بنابراین عملا فرصتی برای انجام آزمایش و برانگیختن خلاقیت دانش‌آموزان در زمینه آموزش علوم جدید نظیر نانو باقی نمی‌ماند.

با توجه به حجم و تراکم موضوعات درسی عملا 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 کمک رسانی 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 کاملا رضایت بخش بوده‌است.

۳- عدم تسلط دبیران در حوزه نانو فناوری

با توجه به پیشرفت‌های روز دنیا در عرصه‌های مختلف آموزش و تحصیل علم دانش‌آموزان هم باید متحول و در واقع منطبق با شرایط و پیشرفت‌های 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 کتاب‌های 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 پیش رو در آموزش این علم می‌باشد.

باید به آموزش معلمان و بروز 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. به‌علاوه، 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 محتوای آموزشی برای رده‌های مختلف سنی داشته باشند و آموزش و پرورش می‌تواند از این افراد در زمینه آموزش استفاده کند.

بحث و نتیجه‌گیری

علم نانو در عرصه‌ای فوق‌العاده ریز سیر می‌کند و قابلیت آن‌را دارد که اثر بسیار بزرگی بر زندگی انسان‌ها برجای گذارد. امروزه بسیاری از انسان‌ها با دستاوردهای فناوری نانو سروکار دارند و امیدوارند که بتوانند مشکلات زیادی را به کمک آن حل کنند. به‌هرحال فناوری نانو مانند هر حوزه علمی و صنعتی نوظهور دیگر، ضمن حل مشکلات متعدد، دشواری‌های گوناگون را نیز به‌همراه خواهد داشت. گسترش استفاده از فناوری نانو در شاخه‌های مختلف صنعتی، پزشکی، الکترونیک، کشاورزی و بهداشت، نظام‌های آموزشی را بر آن می‌دارد تا با ارائه مفاهیم و سرفصل‌های مربوط به نانو مواد و کاربردهای آن، آگاهی دانش آموزان را در این زمینه علمی افزایش دهند. بنابراین لازم است علوم ارائه شدنی در مدارس به‌روز شده و علوم و فناوری نانو به صورت منسجم در آن گنجانیده شود تا نسل‌ها و نیروی کار آینده مسئولانه و با آگاهی لازم و کافی، تصمیمات علمی بگیرند. پیش از هر چیز، دوره‌های آموزشی

شامل مباحث نظری و تجربی آزمایشگاهی برای معلمان و آشنایی با عناوین مورد طرح در فصول نانوفناوری مورد نیاز می‌باشد. استفاده از ابزارهای مناسب، تصاویر و طرح‌های تحقیق کلاسی می‌تواند در انتقال مفاهیم اصلی به دانش-آموزان و درک بهتر مقیاس‌ها بسیار مفید باشد. 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. اینکه قانونمندی در این فناوری چگونه خواهد بود و چه اثری بر تندرستی و زندگی انسان‌ها خواهد داشت و یا سود و زیان آن چیست را گذشت زمان نشان خواهد داد.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است»

COPYRIGHTS
©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

منابع

Alford, K., Calati, F., Clarke, A. (2009). Creating a spark for australian science through integrated nanotechnology studies at St. Helena secondary college. *Journal of Nano Education*, 1, 68–74.

Amory, A., Naicker, K., Vincent, J., Adams, C. (1999). The use of computer games as an educational tool: Identification of appropriate game types and game elements, *British Journal of Educational Technology*, 30, 311–321.

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

Barab, S., Thomas, M., Dodge, T., Carteaux, R., Tuzun H. (2005). Making learning fun: Quest Atlantis, a game without guns. *Educational Technology Research and Development*, 53, 86–107.

Betz, J. A. (1995). Computer games: Increase learning in an interactive multidisciplinary environment. *Journal of Educational Technology Systems*, 24, 195–205.

Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26, 369–398.

Bryan, L. A., Magana, A., Sederberg, D. (2015). Review of published research on pre-college students' and teachers' nanoscale science, engineering, and technology learning. *Nanotechnology Reviews*, 4, 7–32.

Drane, D., Swarat, S., Light, G. (2009). An evaluation of the efficacy and transferability of a nanoscience module. *Journal of Nano Education*, 1, 8–14.

Foley, T. E. (2006). Assessing the need for nanotechnology education reform in the United States. *Nanotechnology Law & Business*, 3, 476–484.

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

Frens, G. (1973). Controlled nucleation for regulation of particle size in monodisperse gold suspensions. *Nature Physical Science*, 241, 20–22.

Harmer, A.J, Columba, L. (2010). Engaging middle school students in nanoscale science, nanotechnology, and electron microscopy. *Journal of Nano Education*, 2, 91–101.

Huang, C.Y., Hsu, L.R., Chen, H.C. (2011). A study on the core concepts of nanotechnology for the elementary school. Journal of National Taichung University: Mathematics. *Science & Technology*, 25, 1–22.

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

Jones, G., Taylor, A., Minogue, J., Broadwell, B., Wiebe, E. Carter, G. (2007). Understanding scale: Powers of ten. *Journal of Science Education and Technology*, 16, 191–202.

Knobel, M., Murriello, S. (2010). The perception of nanoscience and nanotechnology by children and teenagers. *Journal of Material Education*, 32, 29–38.

Lin, S. Y., Wu, M. T. (2015). The effectiveness of a popular science promotion program on nanotechnology for elementary school students in I-Lan City. *Research in Science & Technological Education*, 33, 22–37.

McFarland, A. D., Haynes, C. L., Mirkin, C. A., Van Duyne, R. P., Godwin, H. A. (2004). Color my nanoworld. *Journal of Chemical Education*, 81, 544A-544B.

Meyyappan, M. (2004). Nanotechnology education and training. *Journal of Material Education*, 6, 311–320.

Moosvi Fazel, V., Kumar, A. (2014). Laboratory research motivated chemistry classroom activity to promote interests among students towards science. *Journal of Nano Education*, 6, 25–29.

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

Planinsic, G., Kovac, J. (2008). Nano goes to school: A teaching model of the atomic force microscope. *Physics Education*, 43, 37–45.

Rieber, L. P. (1995). A historical review of visualization in human cognition. *Educational Technology Research and Development*, 43, 45–56.

Roco, M. C. (2006). Nanotechnology's Future. *Scientific American*, 293, 39.

Saidi, T., Sigauke, E. (2017). The use of museum based science centres to expose primary school students in developing countries to abstract and complex concepts of nanoscience and nanotechnology. *Journal of Science Education and Technology*, 26, 470–480.

Sweeney, A. E. (2006). Social and ethical dimensions of nanoscale science and engineering research. *Science and Engineering Ethics*, 12, 435–464.

Tretter, T., Jones, G., Andre, T., Negishi, A.(2006). Conceptual Boundaries and Distances: Students' and Experts' Concepts of the Scale of Scientific Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 282–319.