

مروری بر ویژگیهای نظامهای آموزشی فناوری نانو در کشورهای توسعه یافته و لزوم راه اندازی، توجه و گسترش آن در مقطع کارشناسی در ایران

مهدی ارجمند^۱ و عباس سلیمی^۲

چکیده: باتوجه به جایگاه آموزشهای دانشگاهی در توسعه علمی و صنعتی کشور و نیز نقش آن در پیشرفت فناوری، در این مقاله به تجربیات و شیوه آموزش رشته نانوفناوری در برخی از کشورهای توسعه یافته به ویژه در مقطع کارشناسی پرداخته شده است که نشان دهنده لزوم توجه به رشته‌هایی از قبیل نانوفناوری در مقاطع پایین تر از تحصیلات تکمیلی است. در مقاله حاضر با هدف ارائه و مقایسه ویژگیهای دوره‌های آموزش نانوفناوری در کشورهای توسعه یافته مانند آمریکا، دانمارک، انگلستان و استرالیا به بررسی مواد آموزشی و عناوین دروس ارائه شده در مقطع کارشناسی نیز پرداخته شده است. همچنین کشور کره جنوبی به عنوان یک مدل موفق معرفی و مورد بررسی قرار گرفته است. باتوجه به ماهیت بین رشته‌ای این موضوع ایجاد رشته‌هایی در این زمینه نیاز به همکاری دقیق و نزدیک بین دانشکده‌های مختلف دارد. با توجه به اهمیت راه اندازی این رشته و گسترش آن در مقطع کارشناسی، برای حفظ و ارتقای جایگاه کشور در توسعه علم و فناوری نانو ایجاد زیرساخت‌های نرم افزاری و سخت افزاری مناسب در تصویب رشته‌های مرتبط و نیز گسترش آن به عنوان یک ضرورت مورد بحث قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: فناوری نانو، آموزش، کارشناسی

۱. دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده مهندسی شیمی، تهران، ایران. m_arjmand@azad.ac.ir
۲. کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران. a_chem27@yahoo.com

(دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱/۲۴)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/ ۸/۱۱)

۱. مقدمه

فناوری نانو یک زمینه علمی پیچیده شامل چیدمان جدید اتمها در یک سطح مولکولی است که برای اولین بار توسط اریک درکسلر^۱ معرفی شد [۱]. ریچارد فاینمن^۲ برنده جایزه نوبل فیزیک توانایی علم نانو را در یک سخنرانی تکان دهنده با نام «در پایین فضاهاى زیادى وجود دارد»^۳ مطرح کرد. اریک درکسلر قالب کاری برای مطالعه «وسایلی که توانایی حرکت دادن اشیاء مولکولی و مکان آنها را با دقت اتمی دارند» ایجاد کرد و در سال ۱۹۸۹ دان ایگلر^۴ در مرکز تحقیقات IBM آلمان اتمهای منفرد گزنون را روی صفحه نیکل حرکت داد، تا نام IBM را روی سطح نیکل نقش کند [۲، ۳ و ۴]. فناوری نانو یک بیان کلی و علم نانو و مهندسی نانو نیز دو عبارت متفاوت اند. فناوری نانو یا نانوفناوری رشته ای مرکب از دانش کاربردی و فناوری است که جستارهای گسترده ای را پوشش می دهد. موضوع اصلی آن نیز مهار ماده یا دستگاههایی در ابعاد کمتر از یک میکرومتر، معمولاً حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. در واقع نانوفناوری فهم و به کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستمهایی در این ابعاد است که اثرات فیزیکی جدیدی، عمدتاً متأثر از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک از خود نشان می دهند. علم نانو مطالعه بنیادین مواد و سیستمهایی است که ساختار و اجزایشان خصوصیات بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی تکامل یافته و جدیدی را به واسطه مقیاس کوچکشان نشان می دهند [۵].

مجلات علمی، فناوری نانو را انقلاب صنعتی جدید نامیده اند که موقعیتهای شغلی مرتبط با آن تا سال ۲۰۱۵ حدود دو میلیون نفر تخمین زده شده است [۶]. همچنین در سالهای اخیر رشد قابل توجهی در معرفی علم نانو و فناوری نانو در مدارس و به ویژه دبیرستانها وجود داشته است. برای نمونه در آمریکا اگرچه تعداد کمی از دبیرستانها دو ترم را رسماً به درس نانوفناوری اختصاص داده اند ولی مفاهیم نانو در کلاسهای مقاطع مختلف تحصیلی در مدارس تدریس می شود [۷ و ۴].

در سالهای ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ دانشگاه ملی مهندسی ایالات متحده آمریکا گزارشهایی با عناوین «مهندس ۲۰۲۰: چشم اندازهای مهندسی در قرن جدید» و «آموزش مهندس ۲۰۲۰: انطباق آموزش مهندسی با قرن جدید» منتشر کرد که هر دو بیانگر تأثیر و تغییرات محیطی همچون جهانی شدن بر حرفه مهندسی و آموزش مهندسان است. این تغییرات دلایل قابل توجهی برای اصلاح آموزش مهندسی و تفکر مجدد درباره چگونگی تربیت و آموزش نسل آینده مهندسی به وجود آورده است [۸].

-
1. Eric Drexler
 2. Richard Feynman
 3. There is Plenty of Room at the Bottom
 4. Don Eigler

نگاهی به ساختار و محتوای دروس در برنامه‌های آموزشی رشته‌های مهندسی در کشور نشان‌دهنده این واقعیت است که آموزش مهندسی هدف انتقال علوم مهندسی را دنبال می‌کند و کمتر به جنبه عملی آن به‌مثابه وجه تمایز مهم مهندسی با علوم پایه توجه دارد [۹].

برنامه‌ها و محتوای درسی از مهم‌ترین بخشهای آموزش علوم و مهندسی به شمار می‌رود. افزایش روزافزون حجم دانش و مطالب در علوم و مهندسی و انتخاب بهترین محتوا برای آموزش در کلاسهای درس موضوعی حیاتی در حوزه‌های مختلف علمی است. افزایش رقابت میان کشورها و نگرانیهایی از قبیل لزوم مراقبت از محیط‌زیست، متخصصانی آموزش‌دیده‌تر با مهارتهایی چندگانه را در حوزه مهندسی می‌طلبد [۱۰].

هدف از این پژوهش ارائه و مقایسه ویژگی دوره‌های آموزش نانوفناوری در برخی کشورهای پیشرو در این زمینه و بررسی مواد آموزشی و عناوین دروس ارائه شده در مقطع کارشناسی است.

۲. فناوری نانو در جهان

صاحب‌نظران معتقدند، فناوری نانو بخش قابل‌ملاحظه‌ای از تحولات در فناوری را رقم خواهد زد و از این‌رو، رقابت سختی بین کشورها به وجود آمده است [۱۱]. تخمین زده می‌شود که طی ۱۰ تا ۱۵ سال آینده، ارزش تولیدات صنعتی و محصولات آن با استفاده از این فناوری در جهان سالانه به یک تریلیون دلار خواهد رسید. آمریکا توسعه پایه‌های علوم و مهندسی را با راهبرد چندرشته‌ای از طریق برنامه پیشگامی ملی فناوری نانو آغاز کرده است. همچنین ژاپن و اروپا برنامه‌های گسترده‌ای دارند و طرحهای فعلی آنها برای ۴ تا ۵ سال آینده برنامه‌ریزی شده است. تفاوت میان کشورها، در زمینه حوزه‌های تحقیق، سطح تلفیق برنامه‌ها با بخشهای مختلف صنعت و نیز برنامه زمان‌بندی شده تحقیق و توسعه است. مقیاس نانو، توانایی تبدیل شدن به کارآمدترین مقیاس را در ساخت و تولید دارد [۱۱]. در سال ۲۰۰۹ میلادی این دانش جدید بازاری به ارزش ۲۵۰ میلیارد دلار را به خود اختصاص داد که ۹۰ میلیارد دلار آن متعلق به محصولات نانومقیاس در ایالات متحده آمریکا بوده است. اکنون فناوری نانو در حال تکامل است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۰ به یک فناوری با هدف عام تبدیل شود که در بردارنده چهار نسل از محصولاتی است که پیچیدگی دینامیک و ساختاری آنها ارتقا یافته است: ۱. نانوساختارهای منفعل ۲. نانوساختارهای فعال ۳. نانوسیستمها و ۴. نانو سیستمهای مولکولی. تا سال ۲۰۲۰ افزایش همگرایی علم و دانش مهندسی نانومقیاس و نانوسیستمها منجر به توسعه کاربردهای انبوه فناوری نانو در صنعت، پزشکی و رایانه می‌شود [۱۲].

صنایعی که به مهندسانی با مهارتهای نانو نیاز دارند شامل صنایع شیمیایی، بسپار (پلیمر) و رنگ، علوم دارویی، پزشکی، الکترونیک و برق، کشاورزی، و نساجی است. از فناوری نانو می‌توان در

۲۲ مروری بر ویژگیهای نظامهای آموزشی فناوری نانو در کشورهای توسعه یافته و لزوم راه اندازی، توجه و...

زمینه های مواد پیشرفته، کاتالیستها، انرژیهای نو، حسگرها، رآکتورها، ساختمان، قطعات الکترونیکی و نوری و مهندسی ورزش بهره برد.

۳. نظامهای آموزشی در زمینه نانو و اهداف آنها

بخش اعظم مراکز مهم نانوفناوری در سراسر جهان در چند سال اخیر (از سال ۲۰۰۱) تأسیس شده اند. برای اولین بار برنامه آموزش نانوفناوری در دانشگاه تورنتو به عنوان یک رشته عرضه شد [۷]. برنامه آموزش مهندسی نانوسیستمها در دانشگاه لوئیزیانا^۱ در فوریه ۲۰۰۵ به عنوان اولین برنامه آموزش مهندسی نانوسیستمها در آمریکا عرضه شد [۱۳]. تعدادی از دانشگاههای آمریکا، اروپا، استرالیا و ژاپن با همکاری برخی مراکز تحقیقاتی، دوره های تحصیلی نانوفناوری را ارائه کرده اند. هدف اولیه این مراکز، تحقیق و توسعه در زمینه علوم و فناوری نانو است. بعضی از این مراکز تحقیقاتی از برنامه های آموزشی دانشگاههای مرتبط حمایت می کنند [۱۵].

در سال ۲۰۰۰ نیز دانشگاه فلیندرز^۲ در استرالیا نخستین دانشگاه در جهان بود که فناوری نانو را در مقطع کارشناسی ارائه کرد [۱۴]. این بخش به معرفی برخی دانشگاهها در نقاط مختلف دنیا و اهدافی که در ارائه فناوری نانو در مقطع کارشناسی دارند، می پردازد.

۳.۱. آمریکا

۳.۱.۱. دانشگاه سن دیه گو آمریکا^۳

فعالتهای بخش مهندسی نانو این دانشگاه بر علوم، مهندسی و فناوری نانو متمرکز شده است. بخش مهندسی نانو این دانشگاه مجری برنامه آموزش دروس کارشناسی رشته های مهندسی نانو و مهندسی شیمی است.

بخش مهندسی نانو دانشگاه سن دیه گو به عنوان ششمین بخش مهندسی مدرسه مهندسی ژاکوبس^۴ است که در جولای ۲۰۰۷ رسماً تأیید شد. مهندسی نانو، عملیات مهندسی بر روی مقیاس نانو و یا کنترل مواد در مقیاس مولکولی و اداره فرایندهایی است که در مقیاس نانو اتفاق می افتد. در مهندسی نانو تلاش می شود تا وسایل و سیستمهایی طراحی شود که در آنها خصوصیات منحصربه فرد

-
1. Louisiana
 2. Flinders
 3. UC San Diego
 4. Jacobs School of Engineering

مواد نانومقیاس برای عملکرد و تواناییهای جدید به کار گرفته شود. این بخش در نوع خود اولین در آمریکا است که هر دو مقطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی در زمینه علوم و مهندسی نانو را ارائه می‌دهد. فعالیتهای تحقیقاتی و آموزش بخش مهندسی نانو در این دانشگاه بر روی سه شاخه اصلی فناوری نانو متمرکز شده است: ۱. فناوری نانو مهندسی پزشکی، ۲. نانومواد و مولکولی، ۳. فناوری نانو برای انرژی و محیط‌زیست. برنامه جدید مهندسی نانو در مقطع کارشناسی با ساختاری بی‌نظیر به دانشجویان اجازه می‌دهد تا هسته اصلی در زمینه آموزش مهندسی نانو را دنبال کند. دانشجویان در ابتدا باید رشته مهندسی رایج‌تری را به‌عنوان زمینه اصلی انتخاب کند؛ گزینه‌ها در این مورد عبارتند از: زیست‌فناوری، مهندسی برق، مهندسی مکانیک، مهندسی شیمی، مهندسی مواد. این دوره شامل ۵۹ واحد علوم پایه و ریاضیات، ۴۸ واحد عمومی و علوم اجتماعی، ۱۶ واحد آمادگی مهندسی، ۳۷ واحد عناوین اصلی مهندسی نانو، ۲۴ واحد از مجموعه واحدهای مهندسی (توضیح داده شده در بالا) و ۸ واحد انتخابی مهندسی نانو است. اهداف اولیه این برنامه عبارتند از:

- آماده کردن دانشجویان برای اشتغال در زمینه نانوفناوری از طریق ایجاد زمینه عمیق بین‌رشته‌ای مهندسی و علوم مقیاس نانو؛
- افزایش درک دانشجویان از مواد و خصوصیات آنها در مقیاسهای نانو و اتمی، شامل درک رابطه بین مقیاس و خصوصیات مواد؛
- آماده کردن دانش‌آموختگان ماهر و متبحر در علم و مهندسی در مقیاس نانو و کسب شرایط لازم برای اشتغال در صنایع رایج و آزمایشگاهها و صنایع مرتبط با نانوفناوری؛
- پرورش نسل جدیدی از مهندسان که توانایی مشارکت در شرکتهای مبتنی بر فناوریهای بسیار جدید را دارند به‌عنوان امری مهم برای ایجاد اشتغال، ثروت و زیرساختهای آموزشی؛
- امکان گسترش مهارتهای علمی و محاسباتی و حرفه‌ای دانشجویان و در نتیجه افزایش شانس برای کسب موقعیتهای شغلی جدید در مؤسسات دولتی و صنایع؛
- توانمند کردن دانشجویان برای ورود به محیط کاری از طریق توسعه توانایی برای کسب مهارتهای ارتباطی مؤثر، مدرن و بهره‌مندی از مهارتهای مهندسی و مشارکت سازنده در تعامل با گروههای رشته‌های مختلف؛
- ایجاد ارتباط آموزشی بین‌رشته‌ای مختلف از طریق مشارکت در پروژه‌های فراتر از زمینه‌های رایج علوم و مهندسی.

۲۴ مروری بر ویژگیهای نظامهای آموزشی فناوری نانو در کشورهای توسعه یافته و لزوم راه اندازی، توجه و...

۳.۱.۱. الزامات رشته مهندسی نانو در مقطع کارشناسی در دانشگاه سن دیه گو
برای دریافت درجه کارشناسی در مهندسی نانو دانشجویان باید ۱۹۳ واحد درسی زیر را با موفقیت پشت سر بگذرانند:

- ۴۸ واحد دروس عمومی به منظور تکمیل نیازهای کلی و عمومی؛
- ۶۰ واحد دروس ریاضیات و علوم پایه: شامل ۲۴ واحد ریاضیات، ۱۶ واحد فیزیک، ۱۶ واحد شیمی و ۴ واحد زیست شناسی؛
- ۱۶ واحد دروس آمادگی مهندسی: شامل اصول برنامه نویسی رایانه ای، آنالیز مدار و آزمایشگاه مدارها؛
- ۳۷ واحد دروس هسته مهندسی نانو: ۱ واحد سمینار (نانو ۱)، و ۹ واحد درس اصلی؛
- ۸ واحد دروس انتخابی مهندسی نانو؛
- ۲۴ واحد دروس متمرکز مهندسی؛ توصیه می شود دانشجویان همه دروس متمرکز مهندسی را از یک رشته انتخاب کنند. این دروس مربوط به رشته های زیر هستند:
زیست فناوری، مهندسی شیمی، مهندسی الکترونیک، مهندسی مکانیک، مهندسی مواد [۶].

۳.۲. اروپا

۳.۲.۱. دانشگاه کپنهاگ دانمارک^۱

اولین دانشجویان این رشته در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد از سپتامبر سال ۲۰۰۲ به تحصیل مشغول شده اند. از آنجایی که نانوفناوری علمی بین رشته ای است، دانشجویان سال اول دوره کارشناسی با مفاهیم و اصول اولیه علوم شیمی، فیزیک و زیست شناسی آشنا می شوند. با اخذ مدرک کارشناسی، دانشجو می تواند یا در مقطع بالاتر ادامه تحصیل دهد و یا به عنوان محقق به مطالعه و تحقیق در زمینه های مختلف علم فناوری نانو در مراکز تحقیقاتی صنعتی و یا دانشگاهی بپردازد. علاوه بر این، دانش آموختگان مقطع کارشناسی می توانند به ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد در سایر رشته ها از جمله بیوشیمی، زیست شناسی انسانی، شیمی، بیوانفورماتیک و فیزیک نیز اقدام کنند [۱۵].

۳.۲.۲. دانشگاه فنی دانمارک^۲

در دانشگاه فنی دانمارک برنامه آموزشی فیزیک و فناوری نانو در مقطع کارشناسی ایجاد شده است [۱۶].
چهار زمینه تحقیقاتی راهبردی در این بخش عبارتند از:

1. University of Copenhagen
2. Technical University of Denmark

- مهندسی پزشکی (بیومواد، نانودارو و مهندسی بافت و سلولی)؛
- انرژی، محیط‌زیست و ایمنی (سلولهای خورشیدی، کنترل کیفیت آب،...)
- مواد و ساخت (مواد جدید، ساخت میکروالیاف بَسپاری، میکروالیاف سیلیکونی)؛
- پمپها، حسگرها، اصلاح سطوح و پوششها.

۳.۲.۳. دانشگاه لیدز انگلستان^۱

دوره‌های فناوری نانو در مقطع کارشناسی دانشگاه لیدز قدیمی‌ترین در نوع خود در انگلستان است. این دوره شامل عناوین کلیدی علوم اصلی شامل شیمی، زیست‌شناسی، فیزیک، علم مواد و الکترونیک به همراه دروس مربوط به علم نانو و فناوری نانو است. فناوری نانو (شیمیایی)، مطالعه سیستم‌های مولکولی فناوری نانو است و برای افرادی که پیش‌زمینه شیمی دارند بهتر است. فناوری نانو (فیزیکی)، مطالعه سیستم‌های حالت جامد فناوری نانو است و در صورت داشتن پیش‌زمینه مقدماتی در فیزیک یا ریاضی مناسب‌تر است.

دانش‌آموختگان این دانشگاه مطابق با نیازهای صنعت آموزش دیده‌اند. دروس فناوری نانو این دانشگاه در دانشکده فرایند، محیط‌زیست و مهندسی مواد^۲ که ارتباط بسیار قوی با صنعت دارد، ارائه می‌شود. زمینه‌های تحقیقاتی فناوری نانو در لیدز شامل مشارکت با شرکت‌هایی مانند Sharp, Intel, Philips, Seiko Epson است.

از سال اول دانشجویان تجربه عملی فناوری نانو را با تمرین در گروه‌های کوچک برای کسب مهارت‌های میکروالکترونیک در دانشگاه به دست خواهد آورد. در طی سال دوم از میکروسکوپیها (ریزبین) و امکانات آزمایشگاهی مجهز برای انجام برخی آزمایشات و مشاهده آنها در سطوح جامد استفاده می‌کنند. همچنین دانشجویان ذرات مربوط به خود را ساخته و با جدیدترین اختراعات موجود اندازه‌گیریهای مربوط را انجام می‌دهند. سال آخر نیز در یک پروژه تحقیقاتی بر روی ساخت ابزارهای نانوالکترونیک، بررسی خصوصیات نانومواد یا نانو زیست‌فناوری کار می‌کنند. بسیاری از این پروژه‌ها مرتبط با صنایع هستند که می‌تواند موقعیت‌های مناسبی را برای دانشجویان در زمینه کار و تحصیل در آینده فراهم سازد [۶].

1. Leeds University

2. School of Process, Environmental and Materials Engineering

۲۶ مروری بر ویژگیهای نظامهای آموزشی فناوری نانو در کشورهای توسعه یافته و لزوم راه اندازی، توجه و...

۳.۳. استرالیا

۳.۳.۱. دانشگاه تکنولوژی سیدنی استرالیا^۱

پذیرش دانشجو در مقطع کارشناسی نانوفناوری به صورت تمام وقت و پاره وقت است. هدف از راه اندازی این رشته، پرورش محققان حرفه ای با مهارت علمی و عملی بالا برای کار در مراکز تحقیقاتی است. همچنین دانش آموختگان این رشته می توانند در مشاغل تحقیقاتی بسیاری که در زمینه های مختلف نانوفناوری فعال اند از جمله ساخت و توسعه حسگرهای شیمیایی و زیستی، ساخت داروهای جدید، ساخت وسایل پزشکی جدید و غیره مشغول به کار شوند [۱۵].

۳.۳.۲. دانشگاه فلیندرز استرالیا^۲

دانشجویان در این دانشگاه یکی از شاخه های زیر را دنبال می کنند [۱۴]:

• ابزارهای زیستی

• نانوساختارها

این دوره مهارتهای زیر را آموزش می دهد:

• توانایی درک و به کارگیری اصول علمی مدرن؛

• مهارتهای بازیابی و ارائه اطلاعات علمی به صورت شفاهی و نوشتاری برای مخاطبان مختلف؛

• مهارت در تجزیه و تحلیل اطلاعات و توانایی حل مشکلات؛

• توانایی در تجزیه و تحلیل و ارزیابی داده های عددی؛

• توانایی عملی در استفاده از رایانه و فناوری اطلاعات؛

• توانایی کار مؤثر گروهی؛

• درک نقش علم در اجتماع؛

• درک مباحث اخلاقی برآمده از طریق مطالعه علم.

۴. وضعیت آموزش فناوری نانو

در بسیاری از کشورهای پیشرفته و یا در حال توسعه تلاشهای گسترده و برنامه ریزی جامعی برای ایجاد دوره های مختلف آموزش رشته نانوفناوری با بهره گیری از توان مراکز تحقیقاتی و صنعتی در خارج از دانشگاهها انجام شده است.

اسامی برخی از دانشگاههایی که مجری دوره های مقطع کارشناسی فناوری نانو هستند، در جدول ۱ آورده شده است [۱۴ و ۷].

1. Technology Sydney

2. Flinders

جدول ۱: برخی از دانشگاه‌های دارای دوره مقطع کارشناسی رشته فناوری نانو [۱۴ و ۱۷]

کشور	دانشگاه	عنوان رشته
انگلستان	لیدز ^۱	نانوفناوری
استرالیا	فلیندرز ^۲	نانوفناوری
استرالیا	وسترن سیدنی ^۳ (دوره سه‌ساله)	نانوفناوری
استرالیا	ولونگونگ ^۴ (دوره سه‌ساله)	نانوفناوری
استرالیا	کرتین ^۵	نانوفناوری
استرالیا	گریفیث ^۶	فوتونیک و علم نانو
دانمارک	دانشگاه فنی دانمارک ^۷	علم نانو و نانوفناوری
ایرلند	دانشگاه شهر دوبلین ^۸	نانوفناوری و آنالیز سطح
کلمبیا	کارولینای جنوبی ^۹	نانوفناوری
انگلستان	هال ^{۱۰}	شیمی با نانوفناوری
استرالیا	دانشگاه فنی سیدنی ^{۱۱}	نانوفناوری
استرالیا	دانشگاه فنی سیدنی ^{۱۲}	نوآوری نانوفناوری
استرالیا	کوئینزلند ^{۱۳} (چهارساله)	نانوفناوری
استرالیا	ولز سوانسی ^{۱۴} (سه‌ساله)	فیزیک با نانوفناوری
دانمارک	کپنهاگ ^{۱۵}	نانوفناوری
انگلستان	ساکس ^{۱۶}	علم نانو و نانوفناوری
نروژ	کالج دانشگاه وست فولد ^{۱۷}	نانوفناوری
روسیه	دانشگاه مسکو ^{۱۸}	نانوفناوری
ترکیه	دانشگاه اقتصاد و فناوری اتحادیه اتاق بازرگانی و بورس ترکیه ^{۱۹} (TOBB)	علم مواد و مهندسی نانوفناوری

1. Leeds
2. Flinders
3. Western Sydney
4. Wollongong
5. Curtin
6. Griffith
7. Technical University of Denmark
8. Dublin City
9. South Carolina
10. Hull
11. Technology Sydney
12. Technology Sydney
13. Queensland
14. Wales Swansea
15. Copenhagen
16. Sussex
17. Vestfold University College
18. Moscow State University
19. TOBB(Turkiye Odalar Ve Borsalar Birliği) University of Economics and Technology

۲۸ مروری بر ویژگیهای نظامهای آموزشی فناوری نانو در کشورهای توسعه یافته و لزوم راه اندازی، توجه و ...

جدول ۲: دروس ارائه شده مهندسی نانو در برخی دانشگاههای معتبر جهان [۱۹، ۱۸، ۱۴، ۶ و ۵]

نام دانشگاه	عناوین دروس مقطع کارشناسی
دانشگاه سن دیه گو آمریکا	هم اندیشی مهندسی نانو، محاسبات مهندسی نانو با استفاده از نرم افزار MATLAB، آزمایشگاه خصوصیات فیزیکی مواد، معرفی مهندسی نانو، پایه های مهندسی نانو: اصول بیوشیمیایی، پایه های مهندسی نانو: اصول فیزیکی، کریستالوگرافی جامدات، علم مواد، مدل سازی سیستم های نانومهندسی، مشخصات سیستم های مهندسی نانو، سنتز و ساخت سیستم های مهندسی نانو، طراحی سیستم مهندسی نانو (۱)، طراحی سیستم مهندسی نانو (۲)، طیفسنجی و میکروسکوپ (ریزبین) نوری در مقیاس نانو، ترمودینامیک مواد، مکانیک نانو مواد، انتقال فاز و سینتیکها، نانومواد، انتخاب مواد در مهندسی، مواد نانو و میکرو پیشرفته برای ذخیره سازی و تبدیل انرژی، خصوصیات مغناطیسی و الکتریکی و دی الکتریکی مواد مهندسی، رفتار مکانیکی مواد، کارآموزی مهندسی، مطالعه مستقل
دانشگاه کوپننلند استرالیا	بیوشیمی و زیست شناسی مولکولی، فناوری سولولهای بنیادین، زیست فناوری، تجاری سازی محصولات زیست فناوری، شیمی ۱، شیمی ۲، شیمی فیزیک، شیمی آلی و معدنی، شیمی تجربی، شیمی آلی پیشرفته، تعیین ساختار مولکولی، علم نانو: خودمونتاژی، علم نانو: سنتز، شیمی تجربی پیشرفته، آنالیز داده های علمی، چالش های جهانی در زیست شناسی، فیزیک حرارت و مکانیک ۱، تئوری و تمرین در علم
دانشگاه تکنولوژی سیدنی استرالیا	شیمی ۱، مدل سازی ریاضی، علوم نانو ۱، اصول فیزیک، شیمی ۲، ریاضیات و محاسبات، علوم نانو ۲، فیزیک ۲، میکروسکوپ (ریزبین) الکترونی و حسگرها، شیمی فیزیک، علم تصویربرداری، ریاضیات برای علوم تجربی، نانومواد، بیوشیمی ۱، فناوری کوانتوم، تحقیق، فناوری و نوآوری، نانوفناوری مولکولی، الکترونیک کاربردی، فرآیندهای سطح، نانو ابزارها و علم حالت جامد، زیست نانوفناوری
دانشگاه فلیندرز استرالیا	شیمی ۱ا، شیمی ۱ب، فیزیک ۱ا، فیزیک ۱ب، بیولوژی ۱ب، ریاضیات ۱ا، ریاضیات ۱ب، مدیریت، پدیده کوانتوم، ساختار شیمیایی، شاخه ابزارهای زیستی: مهارتهای آزمایشگاهی برای بیولوژیستها، بیولوژی مولکولی، آنالیز داده های تجربی ۱، شیمی تجزیه ای، شیمی آلی 2a، شیمی معدنی و بیومعدنی، علم بسیار، شیمی معدنی، زیست حسگرهای ۲، شاخه نانوساختارها: مکانیک های آماری، آنالیز داده های تجربی ۲، پدیده کوانتوم ۲، علم سطح و حالت جامد، مدل سازی کوانتوم، الکترونیک نوری، آنالیز پیچیده، نانوساختارها ۲، مدیریت سرمایه گذاری، پروژه تحقیقاتی نانوفناوری، شاخه ابزارهای زیستی: مدیریت سرمایه گذاری 2b، ابزارهای بیولوژیکی پیشرفته ۱، ابزارهای زیستی پیشرفته ۲، نانوفناوری پیشرفته ۱، شاخه نانوساختارها: مدیریت سرمایه گذاری 2b، نانوفناوری پیشرفته ۱، نانوساختارهای پیشرفته ۱، نانوساختارهای پیشرفته ۲، نانوساختارهای پیشرفته ۳، نانوساختارهای پیشرفته ۴، زیست حسگرهای ۱، شاخه نانوساختارها: ترمودینامیک، اپتیک و لیزر، الکترومغناطیس، ریاضیات برای علوم تجربی، محاسبات بردار، جبر خطی و معادلات دیفرانسیل، نانوساختارها، سرمایه گذاری های بر پایه علوم، اقتصاد مدیریتی، کارایی، شاخه ابزارهای زیستی: زیستی سلولی مولکولی، آزمایشگاه زیستی سلولی مولکولی، زیست شناسی و دست کاری DNA، شیمی آلی 2b
دانشگاه چولونگ کورن تایلند ^۱	ریاضیات پایه برای مهندسان، حساب دیفرانسیل و انتگرال برای مهندسان ۱، حساب دیفرانسیل و انتگرال برای مهندسان ۲، فیزیک برای مهندسان، آزمایشگاه فیزیک برای مهندسان، شیمی عمومی ۱، آزمایشگاه شیمی عمومی، بیولوژی برای مهندسان، آزمایشگاه بیولوژی برای مهندسان، شیمی آلی پایه، آزمایشگاه شیمی آلی، شیمی فیزیک ۱، بیوشیمی ۱، ریاضیات برای نانوفناوری، آمار برای علوم تجربی، آموزش صنعتی، مواد مهندسی ۱، مواد مهندسی ۲، استاتیک و مکانیک مواد، مدارهای الکتریکی، آزمایشگاه الکترونیک و برق، دینامیک، ابزارهای الکترونیک ۱، اندازه گیری و دستگاهها، مشخصات ماده، ترمودینامیک آماری، پدیده انتقال، مهندسی کنترل، روش تحقیق، IT برای ارتباطات، پروژه مهندسی نانو، برنامه نویسی رایانه، مکانیک سیالات، فناوری ساخت نانو و میکرو، مکانیک کوانتوم، آنالیز تأثیر و رفتار شکست، هم اندیشی نانو، بایوسستمها و پدیده های انتقال زیستی، ابزار الکترونیک ۲، نانو الکترونیک، سیستم های میکرو و نانو الکترومکانیک، الکترونیک مهندسی پزشکی، زیست نانوفناوری، طراحی مهندسی مکانیک، عناوین ویژه در مهندسی نانو ۱، عناوین ویژه در مهندسی نانو ۲، عناوین ویژه در مهندسی نانو ۳

1. Chulalongkorn

<p>عناوین ویژه در مهندسی نانو، ۴. عناوین ویژه در مهندسی نانو، ۵. مطالعات مستقل، شیمی مولکولی، مهندسی نانوسیمار، مهندسی واکنش، هم‌اندیشی زیست - نانو، بیولوژی مولکولی و سلول، فناوری داروسازی و شیمی، برهم‌کنش زیستی با مواد، بیوشیمی، ۲. فیزیولوژی، الکترونیک مهندسی پزشکی، زیست نانو فناوری، شیمی آلی پیشرفته، آمار حیاتی، برنامه‌نویسی رایانه، معرفی ارگونومیک، سیستم‌های زیستی، ریاضی و مدل‌سازی رایانه‌ای سیستم فیزیولوژیکی، آمار حیاتی پیشرفته، عناوین ویژه در زیست نانو فناوری، عناوین ویژه در زیست نانو فناوری، ۲. عناوین ویژه در زیست نانو فناوری، ۳. عناوین ویژه در زیست نانو فناوری، ۴. مطالعات مستقل، طراحی‌های مهندسی و طراحی به کمک رایانه</p>	
<p>نانو فناوری (فیزیکی)، شیمی مدرن مقدماتی، اصول شیمی فیزیک، نانو فناوری کاربردی، عناوین ضروری نانو فناوری، مکانیزم‌های الکتروشیمی مولکولی در زیست فناوری، ابزار و مواد الکترونیک، میکروالکترونیک و نانو ساختها، موضوعات نانو فناوری، علم مواد، ریاضی برای متخصصین نانو فناوری ۱، مولکول‌های حیات، نانو فناوری کاربردی، ۲. عناوین موجود در نانو فناوری، ابزارهای الکترونیک نوری و ترانزیستورها، الکترونیک مولکولی، مشخصات و ساختار مواد، علم کلونید و نانوذرات، فیزیک و شیمی سطح و سطح مشترک، نانو فناوری کاربردی، ۳. ریاضی برای متخصصین نانو فناوری ۲، پروژه کاربردی نانو فناوری، مباحث اخلاقی و سرمایه‌گذاری نانو فناوری، فناوری نیمه‌رساناها، مواد برای کاربردهای اصولی، زیست نانو فیزیک، فوتونیک، مواد زیستی، انتخابی: اصول شیمی فرایند، اصول فیزیک مهندسی، محاسبات، ۱. مواد مهندسی، نانو فناوری در مهندسی پزشکی، نانو فناوری (شیمی)، مولکول‌های حیات، بافتها و فرآیندهای بدن انسان، مهارت‌های علوم نانو، مقدمه‌ای به شیمی مدرن، اصول شیمی فیزیک، نانو فناوری کاربردی ۱، موضوعات در نانو فناوری، مکانیزم‌های الکتروشیمی مولکولی در زیست فناوری، میکروالکترونیک و نانو ساختارها، موضوعات علمی ضروری برای نانو فناوری، غشاهای زیستی، اصول شیمی معدنی، نانو فناوری کاربردی ۲، عناوین موجود در نانو فناوری، نانو فناوری کاربردی ۳، علم کلونید و نانوذرات، الکترونیک مولکولی، پروژه کاربردی نانو فناوری، نانو فناوری در مهندسی پزشکی، ابزار و روش‌های الکتروشیمی، انتخابی: ریاضیات پایه، ریاضی برای متخصصان نانو فناوری ۱، مشخصات مواد، مشخصات و ساختار مواد</p>	<p>دانشگاه لیدز</p>

۵. فناوری و آموزش نانو در کره جنوبی به‌عنوان مدل موفق

سرمایه‌گذاری کره جنوبی در سال ۲۰۰۵ به ۲۷۷/۲ میلیارد وون رسید که نسبت به سال ۲۰۰۱ تقریباً ۲/۶ برابر شده است. در همین بازه زمانی تعداد پروژه‌ها ۳/۸ برابر شد و از ۱۰۱۵ به ۳۹۰۰ پروژه رسید. در سال ۲۰۰۷ با انتشار ۲۲۳۶ مقاله نانو در همان جایگاه پنجم جهان قرار گرفت [۲۰]. در سال ۲۰۱۲ کره جنوبی ۲۸۳۴ میلیارد تریلیون وون (۲/۶ میلیارد دلار) در زمینه نانو فناوری سرمایه‌گذاری کرده است که در سال ۲۰۱۳ به حدود ۲۹۲۹ تریلیون وون می‌رسد. همچنین در سال ۲۰۱۲ میزان انتشار مقالات به ۶۸۸۰ رسیده و در جایگاه چهارم دنیا قرار گرفت [۲۱]. از دانشگاه‌های مجری در این کشور در مقطع کارشناسی رشته نانو فناوری دانشگاه اینجه^۱ است که بخش مهندسی نانو در این دانشگاه در سال ۲۰۰۲ آغاز به کار کرده است. دروسی که در این بخش ارائه می‌شود به شرح زیر است [۲۲]:

۳۰ مروری بر ویژگیهای نظامهای آموزشی فناوری نانو در کشورهای توسعه یافته و لزوم راه اندازی، توجه و ...

جدول ۳: دروس ارائه شده در دانشگاه اینجه [۲۲]

عناوین	محتوا
نانوفیزیک، شیمی عمومی ۱، نانو ریاضیات، فیزیک عمومی ۱، آزمایشگاه فیزیک عمومی ۱، ریاضیات عمومی ۱، (CAD) طراحی به کمک رایانه، نانوشیمی، اصول و کاربرد نرم افزار MATLAB، مهندسی مواد ۱، الکترونیک ۱، علم حیات، ریاضیات مهندسی ۱، فیزیک مدرن، الکترونیک حالت جامد ۱، مهندسی فیلم نازک، مهندسی اپتیکال ۱، مهندسی نیمه هادیها، فیزیک مواد بسیاری، بیولوژی مولکولی، مدارهای الکترونیک ۱، شیمی کاربردی، آنالیز طیفسنجی، مهندسی بایومواد، الکترومغناطیس ۲، طراحی بایو مولکول، بایولوژی مولکولی، ترمودینامیک، طراحی بایو مولکول، طراحی سیستم اتوماسیون، الکترومغناطیس ۲، مطالب ویژه ۱، مهندسی تجهیزات نیمه هادی، مواد فلزی، پلاستیک مهندسی، مقدمه‌ای به ابزار فتوولتائیک و مهندسی، موضوعات مهندسی نانو - گداختگی ۱، موضوعات مهندسی نانو - گداختگی ۲، فیزیک عمومی ۲، مقدمه‌ای به طراحی مهندسی مکانیک، دینامیک مکانیکی، ریاضیات عمومی ۲، شیمی عمومی ۲، آزمایشگاه شیمی عمومی، شیمی آلی، الکترومغناطیس ۱، مقدمه‌ای به مهندسی بسیاری، بیولوژی انسانی، مهندسی مواد ۲، الکترونیک ۲، الکترونیک دیجیتال، ریاضیات مهندسی ۲، مهندسی نانو ابزارها، زیست فناوری ژن، سنتز مواد زیستی، آنالیز ابزار، مهندسی ابزار الکترونیک نوری، مهندسی بسیار، مهندسی پزشکی، مدار الکترونیک ۲، الکترونیک حالت جامد ۲، پراش اشعه ایکس، مهندسی خلا، مهندسی نانو ابزارها، متالورژی فیزیکی، آماده سازی مواد بسیاری، طراحی پروژه، مطالب ویژه ۲، موضوعات مهندسی نانو - گداختگی ۳، موضوعات مهندسی نانو - گداختگی ۴، تحقیق بین رشته‌ای نانو- پزشکی، فرآیند بسیار، معرفی الکتروشیمی	

باتوجه به موفقیت کره جنوبی در زمینه کاربرد و توسعه نانو فناوری، با بررسی کارهای صورت گرفته در این زمینه به نظر می رسد یکی از راهکارهای مناسب برای توسعه علم نانو در کشور ایجاد مقطع تحصیلی مربوط در مقاطع پایین تر از تحصیلات تکمیلی باشد.

در ارتباط با مباحث مرتبط با آموزش این فناوری در داخل کشور، یکی از اهداف ارائه شده در راهبرد ده ساله توسعه فناوری نانو در ایران (۱۳۹۳-۱۳۸۳)، نهادینه شدن توسعه پویا و پایدار علوم، فناوری و صنعت نانو از طریق برنامه های اجرایی زیر بوده است [۱۷]:

- برگزاری مقاطع و گرایشهای مختلف آموزشی فناوری نانو با سازکارهای جدید و با در نظر گرفتن نیازها؛
- برگزاری مأموریتها و دوره های کوتاه مدت آموزشی، برگزاری دوره های تکمیلی برای دانش آموختگان رشته های مرتبط و ارائه دروس جدید برای دانشجویان این رشته ها؛
- تربیت نیروهای متخصص در رشته های مدیریتی، بازرگانی و حقوقی در زمینه نانو؛
- اعزام متخصص و کارشناس به مراکز علمی و صنعتی داخل و خارج برای فراگیری فناوری و مهارتهای مورد نیاز نانو؛
- فراهم کردن بسترهای مورد نیاز برای بهره گیری از متخصصان خارج از کشور در آموزش نیروی انسانی و نیز جذب دانشجویان خارجی.

صرف نظر از توجه به میزان تحقق اهداف برنامه راهبردی ده ساله توسط فناوری نانو در ایران، توجه به این نکته حائز اهمیت است که نسل اول محققان و دانش آموختگان علم و فناوری نانو با توجه به نبودن این بخش عموماً مفاهیم بنیادی و پایه مربوطه را به صورت غیر رسمی و مبتنی بر تجربیات و آموزه های شخصی و فراخور نیازشان فرا گرفته اند. ولی در دهه دوم توسعه این زمینه از علم و فناوری و

با گسترش و توجه روزافزون به آن و نیز توسعه کاربردهای جدید و توانایی بالقوه علوم و فناوری برای رفع نیازهای دانشگاه و لزوم توجه به آموزش دانشگاهی اصول بنیادی حاکم بر علم و فناوری نانو و نیز تربیت متخصصان مرتبط بر مبنای برنامه آموزشی مدون بر اساس نیازمندیها و اولویتهای ملی بیش از پیش احساس می‌شود. بنابراین تدوین آیین‌نامه‌های آموزشی، تصویب رشته‌های جدید و سرفصل دروس مرتبط با آن در شاخه‌های مختلف علوم و فناوری نانو در مقطع کارشناسی برای تربیت هدفمند نیروهای متخصص مورد نیاز صنایع و مؤسسات مرتبط با نانوفناوری به‌عنوان ضرورت در توسعه علوم و فناوری نانو مطرح است. به‌علاوه در شرایط فعلی با جایگزینی و راه‌اندازی رشته‌های به‌روز و کارآمد مرتبط با علوم و فناوری نانو در این مقطع در قالب برنامه کلان و راهبردی توسعه ملی علوم و فناوری کشور در رفع مشکل فوق نیز می‌تواند مؤثر واقع شود. در دهه اول برنامه آموزش علوم و فناوری نانو با توجه به نوع نیازهای مطرح و شرایط حاکم در این زمینه بیشتر مبتنی بر توسعه آموزش نانو در تحصیلات تکمیلی در دانشگاهها بنا شده است. در حالی که در مسیر توسعه برنامه آموزش از سطوح پایین آن در مدارس و تداوم آن در دانشگاه تا مقاطع تحصیلات تکمیلی، به آموزش زمینه‌های مختلف فناوری نانو به‌عنوان رشته‌های مستقل در مقطع کارشناسی توجه کمتری شده است. بررسی نظام آموزشی کشورهای توسعه‌یافته در این زمینه و بهره‌مندی از تجارب و آموزه‌های مدلهای موفق در راه‌اندازی رشته‌های جدید علوم و فناوری نانو در مقطع کارشناسی در کشور مؤثر خواهد بود.

۶. پیشنهادها و نتیجه‌گیری

با توجه به اهدافی که در آموزش فناوری نانو وجود دارد که به برخی از آنها در تعدادی از دانشگاههای دنیا اشاره شد، به نظر می‌رسد که دانشجویان در ابتدا باید کاملاً با علوم اصلی و پایه، مفاهیم اصلی و کاربرد مربوط به این فناوری آشنا شوند و همچنین به خواص مواد و نانوساختارها، مدل‌سازی، چگونگی تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتایج علمی به دست آمده از آنها و نیز چگونگی سنتز و ساخت نانو ابزارها مسلط شوند.

برای رسیدن به این اهداف در دانشگاههای معتبر دنیا، امکان ایجاد دانشکده مجزا مربوط به فناوری نانو و یا در برخی از دانشکده‌ها از جمله برق، مکانیک و هوافضا، مهندسی شیمی و مواد، شیمی و فیزیک وجود دارد. با وجود ماهیت بین رشته‌ای این شاخه، دروس ارائه‌شده باید ترکیبی از علوم پایه و رشته‌های مهندسی باشند. دانشکده‌ها می‌توانند رشته نانو را با تمرکز بر روی زمینه اصلی موجود در دانشکده خود ارائه دهند.

همچنین برای ایجاد فضای تحقیقاتی قوی و مؤثر و درک بهتر دانشجویان از آموخته‌های تئوری، دانشکده‌های ارائه‌دهنده باید ارتباط گسترده‌ای با صنایع و به‌خصوص مراکز تحقیقاتی فعال در زمینه

۳۲ مروری بر ویژگیهای نظامهای آموزشی فناوری نانو در کشورهای توسعه یافته و لزوم راه اندازی، توجه و...

نانو برقرار کنند تا علاوه بر کسب تجربه برای دانشجویان، فضای لازم برای بازار کار آنها نیز در آینده بیش از پیش مهیا شود. این روند در بسیاری از دانشگاههای معتبر دنیا با سرعت بسیار زیاد در حال رشد و گسترش است.

باتوجه به اهمیت موضوع نانوفناوری و نقش آن در صنایع و علوم مختلف و نیز نگرشی که در کشورهای دیگر نسبت به این موضوع وجود دارد بایستی تغییراتی در آموزش در این زمینه ایجاد شود. تا آنجا که حتی در برخی کشورهای مهم بحث مربوط به فناوری نانو در دوران دبیرستان نیز به روشهای مختلف ارائه می شود تا دانش آموزان آشنایی حداقلی با آن داشته باشند.

ماهیت بین رشته ای این موضوع وجود رشته هایی در این زمینه را نیازمند همکاری دقیق و نزدیک بین دانشکده های مختلف می کند. در صورت نبود امکانات جهت راه اندازی مقاطع تحصیلی مختلف به ویژه کارشناسی می توان با تشکیل دوره هایی چند هفته ای با کمک مراکز تحقیقاتی و علمی در زمینه نانوفناوری دانشجویان و حتی دانش آموزان را تا حدودی با این علم مهم آشنا کرد.

مراجع

1. http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nanoengineering_topics
2. <http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/>
3. Toumey, Christopher, (2008), Reading Feynman into nanotechnology: a text for a new science, USC Nano center, University of South Carolina Toumey, Reading Feynman Into Nanotechnology, p. 133.
4. Teaching Nanotechnology in the High School Curriculum(2004), A teacher's guide ken bowles apopka high school UCFNANOPAC-First edition
5. <http://nanoengineering.ucsd.edu/undergrad-programs/degree>
6. <http://www.engineering.leeds.ac.uk/speme/undergraduate/nanotechnology/degree-nanotechnology-physical/index.shtml>, (Undergraduate Degree Courses 2014 Nanotechnology, Faculty of Engineering, University of Leeds)
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology-education>
۸. یعقوبی، محمود و مطهری نژاد، حسین (۱۳۹۰)، ضرورت های اصلی در تدوین راهبردهای آموزش مهندسی ایران، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال سیزدهم، شماره ۵۱، صص ۳۱-۵۱.
۹. ندیمی، حمید (۱۳۹۱)، آموزش علوم مهندسی یا طراحی مهندسی: تأملی درباره آموزش مهندسی در ایران، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال چهاردهم، شماره ۵۶، صص ۱۶-۱.
۱۰. سلطانی، اصغر (۱۳۹۲)، رویکرد سیستمی در تدوین و نوسازی برنامه درسی در آموزش مهندسی، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال پانزدهم، شماره ۵۹، صص ۱-۲۴.
11. <http://www.bashgah.net/fa/content/show/26852>

مهدی ارجمند و عباس سلیمی ۳۳

۱۲. عنایتی، ابراهیم (۱۳۹۲)، چشم‌انداز توسعه فناوری نانو: پیشگامی ملی فناوری نانو در ده سال آینده، *ماهنامه فناوری نانو*، سال دوازدهم، شماره ۹، پیاپی ۱۹۴، صص. ۳۷ - ۳۲.
13. <http://coes.latech.edu/nanosystems-engineering/nseobjectives.php>
۱۴. دبیرخانه ستاد ویژه فناوری نانو ریاست‌جمهوری، فضای جهانی (۱۳۸۳)، آموزش فناوری نانو، شماره ۶، ویرایش دوم.
15. <http://education-old.tums.ac.ir/content/?contentID=204>
16. <http://www.kt.dtu.dk/english>
۱۷. راهبرد آینده (۱۳۸۴-۱۳۹۳)، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، نهاد ریاست‌جمهوری.
18. http://www.uq.edu.au/study/plan_display.html?acad_plan=NANOTX2055
19. <http://www.ise.eng.chula.ac.th/web/?q=node/46>
۲۰. فناوری نانو در کره جنوبی، *ماهنامه فناوری نانو*، سال دوازدهم (۱۳۹۲)، شماره ۹، پیاپی ۱۹۴، صص. ۴۱ - ۳۸.
21. <http://statnano.com/news/4545>
22. <http://www.inje.ac.kr/english/>