نانو فناوری، فرصتی طلایی برای توسعه

محمدرضا الزامی*

یک نانومتر یک میلیاردم متر ($m \frac{۱}{۱۰^{۹}}$ یا $m ۱۰^{-۹}$) است؛ مقیاسی که در آن اتم‌ها بر هم اثر متقابل دارند و مولکول‌ها با هم ترکیب می‌شوند. علوم و فناوری نانو عبارت است از: توانایی کنترل مواد در ابعاد نانومتری (میلیاردم متر) و بهره‌برداری از خواص و پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی این مقیاس در مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید.

در این مقاله با توجه به نوپا بودن فناوری نانو و اهمیت فوق‌العاده آن در جهان و همچنین عزم جدی کشور برای ورود به این فناوری سعی شده است تا ضمن آشنایی با مقوله نانوفناوری و بیان فواید و لزوم توجه ویژه به آن، وضعیت فعلی نانو فناوری در جهان مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین با انتخاب شاخص‌های متعارف، سعی شده است وضعیت این فناوری در نقاط مختلف دنیا از جمله در ایران مورد مقایسه قرار گیرد تا ضمن ارائه سیمای نانوفناوری در دنیا، جایگاه و وضعیت ایران در این زمینه برای خوانندگان محترم مشخص شود. همچنین با نگاهی اجمالی به نحوه برنامه‌ریزی اقتصادی مبتنی بر دانایی در هفتمین برنامه تحقیق و توسعه اروپا (FP7) سعی در ارائه نمونه‌ای مناسب از به کارگیری این الگوی جدید[1] اقتصادی در برنامه‌ریزی بالاترین سطوح فناوری برای استفاده بیش‌تر خوانندگان شده است. در پایان ضمن بیان فرصت‌ها، تهدیدها و نقاط ضعف و قوت، برای پیشرفت و توسعه سریع‌تر این فناوری و استفاده بهینه از مزایای فراوان آن در کشور راهکارهایی ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: نانوفناوری، نانو، اقتصاد مبتنی بر دانایی، شاخص‌ها، سرمایه‌گذاری

مقدمه

فناوری‌های نوین و نوظهور، فرصت‌های بی‌بدیل رقابتی را با خود به همراه می‌آورند. روند کاهش مصرف انرژی، کاهش مصرف مواد اولیه، کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، تولید

---

* کارشناس دفتر مطالعات زیربنایی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.
E-mail: elzami@gmail.com

1. New Paradigm

مبتنی بر نیاز و سفارش مشتری و نظایر آن، همه و همه نقش فناوری‌های نوین را در چرخه تولید در مقایسه با نقش سرمایه‌های فیزیکی، برجسته ساخته و به این ترتیب به محور اصلی رقابت در فضای کسب و کار جهانی تبدیل شده‌اند. اهمیت رو به رشد فناوری‌های نوظهور را می‌توان ناشی از دلایل زیر دانست:

الف) استفاده از فناوری‌های نوین به‌طور مؤثر و چشمگیری کیفیت محصولات تولیدی را متناسب با نیاز بازار ارتقا می‌بخشد.

ب) نوآوری در این حوزه‌ها به همکاری‌های جمعی و بنگاهی متکی است.

ج) رشد نرخ تحولات فناوری‌های نوین در جهان بسیار بالاست.

گفتنی است که استفاده مؤثر از این فناوری‌ها در چرخه تولید، به سرعت عمل و چابکی بسیاری نیاز دارد.

یکی از مهم‌ترین دلایلی که دولت‌ها را وادار می‌کند تا روند تحولات فناوری‌های نوین را به‌طور مستمر پیگیری کنند، نبود پیش‌شرط عبور از فناوری‌های سطح پایین و متعارف برای رسیدن به پیشرفت‌های جدید و توسعه یافته است. بنابراین هر کشوری با هر درجه از توسعه‌یافتگی، می‌تواند با ایجاد بستر مناسب، زمینه ورود به فناوری‌های نوین و استفاده از فرصت‌های رقابتی مرتبط با آن‌ها را فراهم سازد. به‌علاوه نکته مهم این است که چیدمان نهادهای مرتبط با سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی هر کشور به‌طور منطقی پاسخگوی نیازهای سیستم در حال تعادل است؛ اما ظهور فناوری‌های نوین و خلق فرصت‌های جدید رقابتی، این تعادل را بر هم می‌زند و طرح مجدد تقسیم کار را در عرصه جهانی سبب می‌شود و این به معنای به هم خوردن پاسخ ثابت و متعادل سیستم اقتصادی و اجتماعی در سطح ملی و ورود آن‌ها به دوره‌های گذار است.

علم و فناوری در این جهان پر رقابت، پر محدودیت و پیچیده، موقعیت‌های جدیدی را به وجود آورده است که می‌توان آن را موتور محرک توسعه اقتصادی و اجتماعی جهان دانست. اما بهره‌برداری درست از تحولات سریع علم و فناوری و مدیریت تحولات عملی و فناوری، مستلزم آن است که سیاست‌های علم و فناوری متناسب با تهدیدها و فرصت‌های آینده طراحی شود.

پس از انقلاب‌های کشاورزی و صنعتی، امروزه انقلاب نانوفناوری در حال وقوع است که در صورت استفادهٔ به موقع از فرصت‌ها، پتانسیل زیادی برای غافلگیری جامعه دارد. به عقیده صاحبنظران، مرزبندی آینده میان کشورها بر مبنای میزان توانمندی آن‌ها در عرصه نانوفناوری و سهم آن‌ها از تولیدات نانوفناوری جهان خواهد بود. گفتنی است که در حال

حاضر نانوفناوری در دوران طفولیت خود بسر می‌برد، زیرا فقط می‌توان ساختارهای ابتدایی این مقیاس را با کمی دقت عمل ساخت. با وجود این کاربردهای فراوانی از هم‌اکنون تا زمان رشد و تکامل این فناوری پیش‌بینی شده است.

نانوفناوری ذهن دانشمندان، مهندسین، اقتصاددانان و حتی سیاستمداران را تسخیر کرده است. برخورد کشورهای پیشرو در علم و فناوری با این فضای جدید، عمدتاً با هدف پیشتازی جهانی و خیز برداشتن برای کسب منافع اقتصادی بزرگ در آینده، همراه بوده است. براساس بخشنامه‌ای که در پاییز ۲۰۰۰ از کاخ سفید[1] به تمام ادارات دولتی فدرال فرستاده شد، نانوفناوری در صدر لیست رشته‌های نوین تحقیق و توسعه در ایالات متحده قرار گرفت. کره جنوبی از سال ۲۰۰۱ با تدوین برنامه‌ای ده‌ساله، اعلام نمود که قصد دارد از فرصت فراهم شده، برای تبدیل کشور کره جنوبی به یک کشور توسعه‌یافته استفاده کند و دهمین کشور جهان در فناوری نانو باشد.[2] رئیس جمهور کره جنوبی، این فرصت را بهترین و بزرگ‌ترین فرصت برای پیشرفت در تاریخ پنج هزارساله کشورش می‌داند. رهبر چین هم با بیان کاربرد قابل ملاحظه و استراتژیک فناوری نانو در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورش تصمیم جدی چین را مبنی بر در اولویت قرار دادن این فناوری اعلام کرد. گفتنی است کشورهایی مانند ژاپن، آلمان، امریکا، آفریقای جنوبی، فنلاند و ... برنامه‌های راهبرد توسعه فناوری خود را تدوین کرده و در حال اجرای آن هستند.

۱. تعریف نانوفناوری

تمامی محصولات و فراورده‌های مادی موجود در جهان هستی از قرار گرفتن منظم و هدفمند اتم‌ها (کوچک‌ترین واحد اجزای سازندهٔ مواد) در کنار هم به‌وجود آمده‌اند. هرچه تسلط و آگاهی انسان به رفتار و خصوصیات واحد سازنده مواد (اتم) بیش‌تر شود، امکان کنترل خصوصیات آن مانند نقطه ذوب، ظرفیت شارژ، خواص مغناطیسی و ... افزایش خواهد یافت. در این فضا، مواد و سیستم‌ها به علت اندازه‌شان می‌توانند به‌طور منطقی طراحی شوند و دارای خصوصیات و رفتارهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی جدید و بهبودیافته باشند.

نانوفناوری روش مناسبی برای ساخت و سرهم‌بندی اتم‌ها، مولکول‌ها، مواد، قطعات و

---

۱. ادارهٔ سیاستگذاری علوم و تکنولوژی و ادارهٔ مدیریت و بودجه ایالات متحده امریکا.

2. Yang Sung-jin, 2001, "MOST charts new course for nation's biotechnology", Korea Herald.

سیستم‌های مفیدِ دارای حداقل یک بعد در مقیاس نانومتر (nm) و بهره‌برداری از خصوصیات، ویژگی‌ها و پدیده‌های جدید حاصله در آن مقیاس است. هدف نانوفناوری ساخت مولکول به مولکول مواد در آینده است. همان‌طور که وسایل مکانیکی به ما اجازه می‌دهند که نیرویی فراتر از توان فیزیکی خود به دست آوریم؛ علم نانو و تولید در مقیاس اتمی هم این امکان را فراهم می‌سازد، تا بتوان از محدودیت‌های طبیعی مربوط به ابعاد و اندازه رها شده و درست روی واحدهای ساختاری مواد کار کرد؛ جایی که خواص آن‌ها مشخص شده و با تغییر در واحدهای آن می‌توان خواص مواد را بنا به خواست و نیاز بشر تعیین و از آن استفاده کرد.

بنابراین علوم و فناوری نانو عبارت است از: توانایی به دست گرفتن کنترل ماده در ابعاد نانومتری (میلیاردم متر) و بهره‌برداری از خواص و پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی این مقیاس در مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید. به همین دلیل نانوفناوری می‌تواند در آینده‌ای نه چندان دور امکان تولید کلیه فراورده‌های مورد نیاز بشر را با کیفیت بسیار بالا و هزینه فوق‌العاده پایین فراهم کند.

۳. تشریح مقیاس نانومتر و فواید نانوفناوری

یک نانومتر یک میلیاردم متر ($\frac{۱}{۱۰^{۹}}$ m یا $۱۰^{-۹}$ m) است. این اندازه تقریباً چهار برابر قطر یک اتم منفرد است. در مقایسه، یک جسم نانومتری با اندازه‌ای حدود ۱۰ نانومتر، هزار برابر کوچک‌تر از قطر یک تار موی انسان است. کوچک‌ترین مدارهای مجتمع (IC) امروزی با ابعادی حدود ۲۵۰ نانومتر در هر لایه به ارتفاع یک اتم، حدود یک میلیون اتم را در بر دارند.

البته نانو[1] یک پیشوند علمی به معنای «یک میلیاردم» است. مقیاسی که در آن اتم‌ها بر هم اثر متقابل دارند و مولکول‌ها با هم ترکیب می‌شوند. راز تولید و تنوع مواد و خواص آن‌ها نیز در همین ابعاد کوچک نهفته است. خواص مواد هم ناشی از اثر متقابل اتم‌ها و مولکول‌ها و جابه‌جایی آن‌ها در مقیاس بسیار کوچکِ اتمی (نانومتر) است. به همین دلیل مقیاس نانومتر از اهمیت بسیاری برخوردار است.

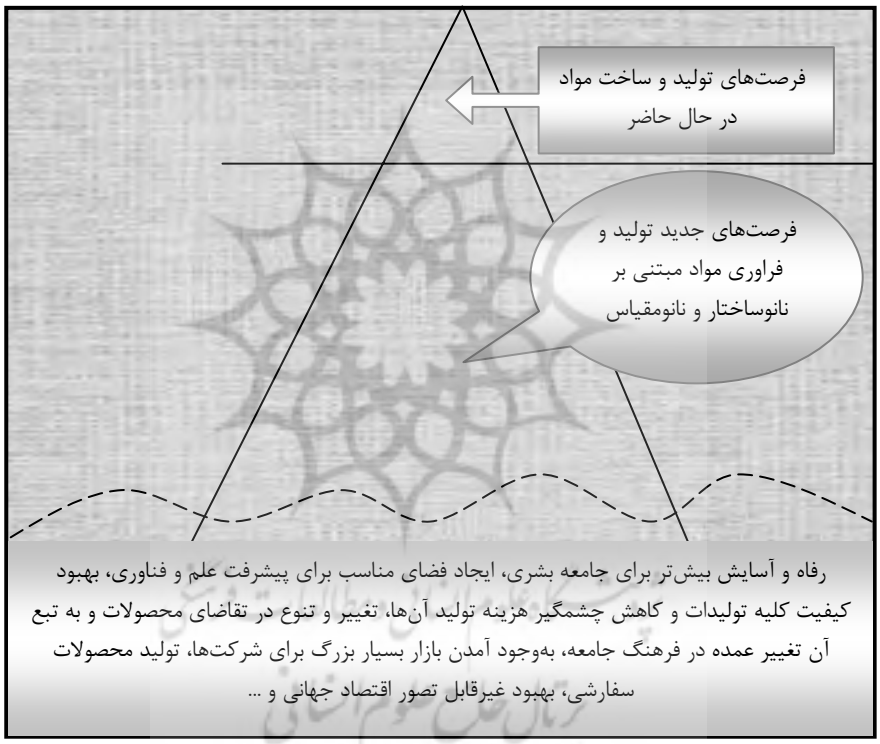
با تولید ساختارهایی در مقیاس نانومتر، امکان کنترل و هدایت خواص ذاتی مواد از جمله نقطه ذوب و جوش، خواص مغناطیسی، ظرفیت بار و حتی رنگ مواد بدون تغییر در

1. nano

ترکیب شیمیایی و بسیاری از رفتارها و خواص دیگر به‌وجود می‌آید.

مفاهیم جدید نانوفناوری چنان گسترده است کـه پـیش‌بینـی تغییـرات ناشـی از آن در آینده چندان ساده نیست؛ اما با اطمینان می‌توان گفت که نانوفناوری فرصت‌های فراوانی را در تمامی زمینه‌ها از جمله ساخت مواد در اختیار ما قرار خواهد داد. همان‌طـور کـه در شـکل ۱ مشاهده می‌شود در حال حاضر، این فرصت‌ها خیلی گسترده نیست ولی در آینده با پیشـرفت این فناوری فرصت‌ها و نتایج مفید و بی‌شماری به‌وجود خواهد آمد.

شکل ۱. نمای شماتیک از تسهیم فرصت‌های ناشی از فناوری نانو در مراحل ظهور، رشد و بلوغ و آثار و نتایج آن بر حوزه‌های مختلف جوامع بشری



۳. تاریخچه فناوری نانو

دانشمندان یونان باستان بر این باور بودند که مواد را می‌توان آنقدر به اجزای کوچک تقسیم

کرد تا به ذراتی خرد ناشدنی دست یافت که این ذرات بنیان مواد را تشکیل می‌دهند. شاید بتوان «دموکریتوس»[1]، فیلسوف یونانی را پدر فناوری و علوم نانو دانست، چرا که حدود ۴۰۰ سال قبل از میلاد مسیح او اولین کسی بود که واژهٔ اتم را - که به معنای تقسیم‌نشدنی در زبان یونانی است - برای توصیف ذرات سازنده مواد به کار برد. دانشمندان تاکنون با تحقیقات و آزمایش‌های بسیار، ۱۰۸ نوع اتم و ایزوتوپ‌های زیادی کشف کرده‌اند. آن‌ها همچنین پی برده‌اند که اتم‌ها از ذرات کوچک‌تری مانند کوارک‌ها و لپتون‌ها تشکیل شده‌اند. با این حال این اکتشافات در تاریخ پیدایش چنین فناوری پیچیده‌ای، چندان مهم نبوده و در واقع نقطه شروع و توسعه اولیه فناوری نانو به‌طور دقیق مشخص نیست. شاید بتوان گفت که اولین نانوتکنولوژیست‌ها، شیشه‌گران قرون وسطایی بوده‌اند که از قالب‌های قدیمی[2] برای شکل‌دادن به شیشه‌ها استفاده می‌کرده‌اند. البته این شیشه‌گران نمی‌دانستند که چرا با اضافه‌کردن طلا به شیشه، رنگ آن تغییر می‌کند. در آن زمان برای ساخت شیشه کلیساهای قرون وسطایی از ذرات نانومتری طلا استفاده می‌شد و با این کار شیشه‌های رنگی بسیار جذابی به‌دست می‌آمد. این قبیل شیشه‌ها هم‌اکنون در بین شیشه‌های بسیار قدیمی یافت می‌شوند. رنگ موجود در این شیشه‌ها مبین این حقیقت است که مواد، با ابعاد نانو دارای همان خواص موادِ با ابعاد میکرو نیستند. در واقع یافتن مثال‌هایی برای استفاده از نانوذرات فلزی چندان دشوار نیست. رنگدانه‌های تزیینی جام مشهور «لیکرگوس» در روم باستان (قرن چهارم بعد از میلاد) نمونه‌ای از آن‌هاست[3]. آنالیز این شیشه نشان‌دهنده وجود مقادیر بسیار اندکی از بلورهای فلزی بسیار کوچک نقره و طلا با مقیاس ۷۰۰ نانومتر در ساختار آن است. حضور این نانوبلورها باعث رنگ منحصر به فردِ جام لیکرگوس شده است. ایرانیان نیز از این فناوری چندان بی‌بهره نبوده‌اند چرا که از قرون چهارم تا هفتم هجری، نانوذرات نقره و مس را برای تزئین سفال‌ها به‌کار می‌بردند. تحقیقات انجام شده بر روی لعاب‌ها بیانگر این مطلب است که پیدایش رنگ‌های متنوع در سفالینه‌های آن دوران به‌علت وجود نانوذرات نقره و مس در لعاب مورد استفاده برای تزیین سفال‌هاست. تصاویر ارائه شده توسط نوعی میکروسکوپ الکترونی موسوم به TEM[4] نشان می‌دهد که نانوذرات هم اندازه نقره با

---

1. Demokritus
2. Medial Forges
۳. این جام هنوز در موزه بریتانیاست و با تغییر جهت تابش نور، رنگ‌های متفاوتی به خود می‌گیرد. نور منعکس شده از آن سبز رنگ است ولی اگر نوری از درون آن بتابد، به رنگ قرمز دیده می‌شود.
4. Transition Electron Microscopy

قطر حدود ۲۰ نانومتر در پایهٔ شیشه‌ای لعاب روی سفال‌ها پخش شده است.[1] با وجود موقعیت‌های آن دوران، امروزه «ریچارد فاینمن»[2] پایه‌گذار نانو در معنای فعلی شناخته شده است. فاینمن در سال ۱۹۵۹ میلادی مقاله‌ای با عنوان «قابلیت‌های فناوری نانو در آینده» منتشر ساخت. فاینمن که بعدها جایزه نوبل را در فیزیک دریافت کرد در همان سال با سخنرانی در ضیافت شام انجمن فیزیک امریکا ایده فناوری نانو را برای عموم مردم مطرح کرد. سخنرانی وی با عنوان «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» حاکی از آن بود که می‌توان کل دایرةالمعارف بریتانیکا را روی یک سنجاق نگاشت، یعنی ابعاد واقعی آن را تا حد ۱/۲۵۰۰۰ کوچک کرد. وی از دوتایی‌کردن اتم‌ها برای کاهش ابعاد کامپیوترها سخن گفت (در آن زمان ابعاد کامپیوترها بسیار بزرگ‌تر از ابعاد کنونی بودند)؛ او احتمال می‌داد که ابعاد کامپیوترها را بتوان حتی از ابعاد کنونی نیز کوچک‌تر کرد. روند تقریبی شکل‌گیری فناوری نانو از آن زمان تاکنون در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱. روند تقریبی شکل‌گیری فناوری نانو به شکل کنونی

سال	برخی از رویدادهای مهم در زمینه فناوری نانو
۱۹۵۹	سخنرانی مشهور فاینمن برنده جایزهٔ نوبل (فضای فراوان در پایین)
۱۹۷۴	به‌کار بردن واژه فناوری نانو توسط «نوریو تانیگوچی»[3] برای اولین بار
	ثبت اولین دستگاه الکتریکی مولکولی
۱۹۷۵	تهیه اولین رشته کربنی نانومتری
۱۹۸۱	اختراع دستگاهی توسط IBM با توانایی جابه‌جایی اتم‌ها به صورت تک‌تک
	اختراع میکروسکوپ تونل زنی مرورگر (STM)
	ارائه اولین مقاله علمی نانوفناوری مولکولی توسط «درکسلر»[4]
۱۹۸۵	کشف ساختار جدیدی از کربن (C_{60})
۱۹۸۶	اختراع میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)
۱۹۸۷	اولین ترانزیستور منفرد (تک الکترونی)
۱۹۹۰	به نمایش گذاشتن توانایی کنترل نحوه قرارگیری اتم‌ها توسط شرکت IBM

1. Applied Physica 79, 2004, 257-261.
2. Richard Feynman
3. Norio Taniguchi
4. Drexler

جدول ۱. روند تقریبی شکل‌گیری فناوری نانو به شکل کنونی

سال	برخی از رویدادهای مهم در زمینه فناوری نانو
۱۹۹۱	کشف نانولوله چند جداره
۱۹۹۳	کشف نانولوله تک جداره
	تولید اولین نقاط کوانتومی با کیفیت بالا
۱۹۹۴	اختراع سیستم مولکولی «چرخ و ترمز» توسط پرفسور «کلی»[1]
۱۹۹۷	ساخت اولین نانو ترانزیستور
۱۹۹۸	تولید سریع هیدروژن از مواد خام موجود در طبیعت
	ارائه ایده رایانه DNA توسط دکتر «لئونارد آولین»[2]
۲۰۰۰	ساخت اولین موتور DNA
۲۰۰۱	ساخت یک مدل آزمایشگاهی سلول سوخت با استفاده از نانو لوله
۲۰۰۲	ورود شلوارهای ضدلک به بازار
	اولین میکروماشین دستگاه توزیع انسولین
۲۰۰۳	تولید نمونه‌های آزمایشگاهی نانوسلول‌های خورشیدی
۲۰۰۶	تحقیق و توسعه برای پیشرفت در این عرصه با سرعت و جدیت تمام ادامه دارد

۱-۳. تاریخچه فناوری نانو در ایران

اگرچه ثابت شده که ایرانیان از قرون چهارم تا هفتم هجری[3] نانوذرات نقره و مس را برای تزیین سفال‌ها به‌کار می‌گرفته‌اند؛ اما از ورود ایران به عرصه این فناوری آن هم به شکل علمی و فعلی چند سالی بیش نمی‌گذرد. در این خصوص ایران - هر چند با تأخیر - با برگزاری چند کارگاه آموزشی در سال ۱۳۸۰ ورود خود را به این عرصه اعلام کرد. شاید بتوان گفت نقطه آغاز مباحث نانو در کشور به نامهٔ دکتر ابتکار در تاریخ ۱۳۷۹/۱۲/۱ به رئیس جمهور وقت برمی‌گردد. اما عملاً از سال ۱۳۸۰ با برگزاری کارگاه‌های آموزشی، ترویج و آموزش این فناوری شروع و با انجام فعالیت‌های دیگر از قبیل برگزاری سمینارها، چاپ کتاب و خبرنامه، راه‌اندازی

---

1. Kelly

۲. این رایانه مولکولی هوشمند توانست کوتاه‌ترین مسیر را شناسایی کند که این راه هفت شهر را به هم متصل می‌کرد.

3. Applied Physica 79, 2004, 257-261.

سایت و همچنین برگزاری جلسات با متخصصان و صاحبنظران ادامه یافته است. به تدریج ضمن ادامهٔ فعالیت‌هایی از این دست، به مانند کشورهای دیگر لزوم تهیه یک برنامهٔ بلندمدت برای توسعه فناوری نانو مورد توجه مسئولان و متخصصان قرار گرفت. چرا که تا قبل از سال ۱۳۸۲ فعالیت‌های نانو در کشور به صورت پراکنده و بی‌هدف دنبال می‌شد اما در شهریور ۱۳۸۲ با توجه به نظر مساعد رئیس جمهور وقت، جناب آقای خاتمی، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو در نهاد ریاست جمهوری تشکیل شد. از آن پس هماهنگی و سیاستگذاری امور مربوط به فعالیت‌های نانو در کشور زیر نظر این ستاد انجام می‌شود. به‌طوریکه در حال حاضر فناوری نانو در کشور به عنوان یکی از اولویت‌ها تعیین شده و هم‌اکنون در مرحله اجرای برنامه ۱۰ سالهٔ مصوب هیأت دولت در این زمینه است.

۴. چالش‌های موجود برای تجاری‌سازی محصولات نانو

همان‌طور که می‌دانیم هدف از فناوری نانو دستکاری تک‌تک اتم‌ها و قرار دادن آن‌ها در یک فضای اتمی به خصوص، طبق الگوی ویژه‌ای به منظور تولید محصول با ساختار مورد نظر است. برای تحقق این هدف سه مرحله وجود دارد:

مرحله اول - «اسمبل کردن»[۱] اتم‌ها و مولکول‌ها: در این فناوری دانشمندان باید قادر باشند تک‌تک اتم‌ها را دستکاری کنند. این امر به‌معنای توسعه روشی است که دانشمندان به واسطه آن بتوانند هر اتمی را که خواستند از مولکول مورد نظر جدا کرده و در موقعیت جدیدی که مایلند قرار دهند[۲]. مشکل این است که اتم‌ها به دلیل نیروهای جاذبه و دافعه الکتروستاتیکی، مغناطیسی و نیز جنبش دائمی‌شان به سادگی در کنار هم قرار نمی‌گیرند؛ زیرا در مقیاس اتمی (نانومتری) و در فضای کوانتیک، الگو و فضای ساختاری بسیار متفاوت با فضای کلاسیک و ماکروسکوپی است.[۳]

---

۱. «اسمبل کردن» در اینجا به معنای چیدمان مولکولی یا همان سر هم کردن مولکول‌هاست.

۲. در مورد مرحله اول تاکنون موفقیت‌هایی به دست آمده است. مثلاً در سال ۱۹۹۰ میلادی محققان توانستند ۳۵ اتم زنون را با استفاده از ابزار میکروسکوپی نیروی اتمی روی سطح یک کریستال نیکل قرار دهند و اتم‌ها را به گونه‌ای چیدند که به صورت واژه IBM دیده شود.

۳. در مقیاس اتمی ابعاد دیگری (مثلاً بعد زمان) به مؤلفه‌های موجود در دنیای ماکروسکوپی اضافه می‌شود که موضوع را بسیار پیچیده‌تر می‌کند. این در حالی است که حل مسائل موجود در مقیاس نانومتری در سه بعد، کاری بسیار مشکل است.

مرحله دوم - خودهمانندسازی: یکی از مسائل مهمی که در حال حاضر محققین با آن درگیر هستند؛ مسأله خودهمانندسازی در مقیاس اتمی است. اگر انسان بتواند مولکول‌ها را در نانو کارخانه‌هایی با همان ابعاد تولید کند؛ گام بزرگی به سوی توسعهٔ نانوفناوری برداشته خواهد شد. در واقع این مرحله، تولید ماشین‌هایی موسوم به «نانواسکوپیک» به نام «اسمبلر» است که می‌تواند برای دستکاری اتم‌ها و مولکول‌ها برنامه‌ریزی شود.[۱]

مرحله سوم - نحوه استفاده از دستاوردهای مراحل قبلی: این مسأله که از فناوری نانو در چه زمینه‌های علمی و چگونه می‌توان استفاده کرد، موضوعی است که امروزه در محافل علمی و صنعتی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. البته تا به حال مواردی از استفاده فناوری نانو مشخص شده است. برای مثال «بافت‌های مستحکم» از جمله اولین محصولاتی هستند که توسط نانوماشین ساخته می‌شوند. با استفاده از این بافت‌ها می‌توان هر چیزی حتی الماس، غذا و ...، را به‌طور مصنوعی، با کیفیت بالا و با خواص طبیعی ساخت و جایگزین کرد.

۵. بحثی پیرامون دوراندیشی در نانوفناوری[۲]

۵-۱. تعریف

در زبان فارسی دوراندیشی (آینده‌نگاری) دو مفهوم تشخیص و تصمیم را در برداشته و معادل مناسبی برای عبارت «Foresight»[۳] است. یکی از تعاریف در این باره عبارت است از: «تلاشی منظم برای دانش، فناوری و اقتصاد آینده جامعه؛ با هدف شناسایی فناوری‌های عام نوظهور و تقویت حوزه‌های تحقیقات راهبردی برای کسب بیش‌ترین منافع اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی».

---

۱. هزاران سال به طول می‌انجامد تا یک اسمبلر، ماده‌ای تک اتمی تولید کند. به همین علت تریلیون‌ها اسمبلر لازم است تا به‌طور همزمان یک ماده را در یک محدوده زمانی خاص تولید کنند. برای تولید اسمبلرهای کافی، برخی نانوماشین‌ها با نام «اپلیکاتور» مورد نیاز است تا برای ساخت اسمبلرها برنامه‌ریزی شوند. تریلیون‌ها اسمبلر و اپلیکاتور، فضایی را به وسعت یک میلیمتر مکعب پر می‌کنند و حتی در این حال هم با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شوند. اسمبلرها و اپلیکاتورها در آینده مسئول تولید تمام کالاها خواهند بود و سرانجام جایگزین روش‌های سنتی کار و تولید خواهند شد. این امر باعث کاهش هزینه‌ها و در نتیجه موجب افزایش کیفیت و دوام محصولات می‌شود.

۲. برای مطالعهٔ بیش‌تر به منبع ۱۰ رجوع شود.

۳. در برخی متون این عبارت «آینده‌نگاری» ترجمه شده است.

۲-۵. اهمیت دوراندیشی در فناوری

فناوری‌های نوین فرصت‌های بی‌بدیل رقابتی را با خود به همراه می‌آورند. روندهای کاهش مصرف انرژی، کاهش مصرف مواد اولیه، کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، تولید مبتنی بر نیاز و سفارش مشتری و نظایر آن، همه و همه نقش فناوری‌های نوین را در چرخه تولید در مقایسه با نقش سرمایه‌های فیزیکی، برجسته ساخته و به این ترتیب به محور اصلی رقابت در فضای کسب و کار جهانی تبدیل شده‌اند. از طرف دیگر تجربه‌های گذشته درباره توسعه سایر فناوری‌ها نشان داده است که نبود چشم‌اندازی هر چند مختصر در زمینه فناوری‌های در حال توسعه و نیز عدم آمادگی کافی برای مواجهه با گسترش آن‌ها، لطمات جبران‌ناپذیری بر دولت‌ها و ملت‌ها وارد آورده است. مهم‌ترین شاخص‌هایی که دولت‌ها را به پیگیری مستمر روند تحولات فناوری‌های نوین وادار می‌کند نبود پیش‌شرط عبور از فناوری‌های سطح پایین و متعارف برای رسیدن به پیشرفت‌های جدید و توسعه‌یافته است. بنابراین هر کشوری با هر درجه از توسعه‌یافتگی، می‌تواند با ایجاد بستر مناسب، زمینه ورود به فناوری‌های نوین و استفاده از فرصت‌های رقابتی مرتبط با آن‌ها را فراهم سازد.

وقتی از آینده صحبت می‌شود ممکن است با نظرات و گزینه‌های متفاوتی روبه‌رو شد که نمی‌توان به همه آن‌ها جامه عمل پوشاند. بنابراین برای بهره‌برداری بهتر از تمامی نظرات و گزینه‌ها، روش‌های گوناگونی را برای ارزیابی آن‌ها به‌کار می‌برند.[۱]

---

۱. برخی از انواع روش‌های آینده‌نگاری:
- روش دلفی
- روش سناریوسازی
- روش پیمایش محیطی
- روش ذهن‌انگیزی
- روش تحلیل ثبت اختراع
- روش درخت وابستگی
- روش تحلیل ریخت‌شناسی
- روش تأثیر متقابل
- روش چرخه آینده

در تمامی این روش‌ها معمولاً سعی می‌شود معیارهای کلی برای ارزیابی تعیین و در هر مورد فناوری مربوط به این معیارها سنجیده شود. هدف از این روش‌ها ساختن هرچه بیش‌تر نقاط تاریک و مبهم فناوری‌های نوین است تا ارزیابی ساده‌تر و دقیق‌تر انجام شود. از دیگر دلایل استفاده از روش‌های دوراندیشی، دانستن زمان تغییرات در آینده است. البته منظور از زمان در سطوح مختلف، متفاوت است؛ مثلاً در کشاورزی منظور از زمان،

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

با به‌کار بردن روش‌های دوراندیشی می‌توان در یک سازمان یا یک کشور، دیدگاه مشترکی ایجاد کرد و در نهایت به یک وفاق عمومی - که اهمیت آن بر کسی پوشیده نیست - دست یافت.

۳-۵. بخش‌های مختلف دوراندیشی در فناوری

در دیدگاه سنتی، فقط مناسب بودن فناوری برای انجام وظایف مورد نظر و دوره بازگشت سرمایه آن مورد توجه قرار می‌گیرد و معمولاً به تأثیرات اجتماعی و آثار آن بر بخش‌های مختلف زندگی بشر توجهی نمی‌شود. اما این شیوه نمی‌تواند مسائل مربوط به توسعه یک فناوری را در آینده به‌طور کامل در نظر بگیرد، چرا که عموماً دامنه تغییرات گسترده است و ایجاد یک تحول یا توسعه یک فناوری، آثار عمیقی در زمینه‌های مختلف برجای می‌گذارد.

بنابراین به نظر می‌رسد دوراندیشی باید در دو بخش انجام شود:

الف) محصولاتی که این فناوری برای ما در آینده تولید خواهد کرد.

ب) تأثیراتی از قبیل تأثیرات اجتماعی، تأثیر بر سلامتی، محیط‌زیست و سیستم حمل‌ونقل مواد که این فناوری بر زندگی انسان‌ها به‌جای خواهد گذاشت. مراحل بعدی پس از دوراندیشی درباره یک فناوری، برنامه‌ریزی و تلاش برای رسیدن به اهداف مورد نظر در آن زمینه است.

به‌طور خلاصه، مهم‌ترین ملاحظات مطرح در آینده‌نگاری عبارتند از: اهداف و رویکردها، ساختار حوزه‌های آینده‌نگاری، پشتیبانی و نتیجه‌گیری‌ها، بازیگران و سازمان آن‌ها، روش‌های تحقیق، خروجی‌ها و ارزیابی بازتاب‌ها.

۴-۵. نانوفناوری

فناوری نانو یکی از فناوری‌های جدید است که آینده بسیار روشنی برای آن پیش‌بینی می‌شود. دامنه تأثیر این فناوری بسیار گسترده بوده و گفته می‌شود این فناوری می‌تواند بیش‌ترِ جنبه‌های زندگی بشر را تحت تأثیر قرار دهد. از این‌رو به‌کارگیری شیوه مناسب برای برخورد با این پدیده و داشتن شناخت کافی از زمینه‌های مختلف آن بسیار مهم است.

←هنگام وقوع چرخه تغییرات و در صنعت، پشت سرهم بودن تغییرات است؛ یعنی کدامیک زودتر از دیگری به وقوع می‌پیوندد. با به‌کار بردن روش‌های دوراندیشی می‌توان زمان رخ دادن تغییرات مهم در صنعت و به‌طور کلی نوع زندگی بشر و همچنین ترتیب انجام این تغییرات را به‌دست آورد.

۱-۴-۵. آینده‌نگاری در نانوفناوری

همان‌طور که گفته شد شیوه طراحی سیاست‌های روز - که مبتنی بر بینش و درک ما از تهدیدها و فرصت‌های آینده است - به مهارت فراوان و عزم استوار نیاز دارد. آینده‌نگاری از جمله مهارت‌هایی است که به عنوان فرایندی سامان‌یافته و مشارکتی، برای ساخت چشم‌اندازهای میان‌مدت و بلندمدت به شمار می‌رود. در واقع آینده‌نگاری فرایندی است که با ایجاد ارتباط و هماهنگی بین سازمان‌ها و نهادهای جامعه، به سیاستگذاران و سیاستمداران کمک می‌کند تا بتوانند برنامه‌های مناسبی طراحی کنند. از این رو، آینده‌نگاری به عنوان یک ضرورت برای رسیدن به توسعه پایدار فناوری نانو اهمیت می‌یابد.

۵-۵. تجربه آینده‌نگاری فناوری نانو در ایران

نانوفناوری در دو سال گذشته به عنوان یکی از فناوری‌های پیشتاز مورد توجه دولت بوده است. تجربه نحوه ورود فناوری نانو به ایران، به خصوص در فاز معرفی، تجربه‌ای موفق بوده است که تا سال‌های متمادی می‌تواند سرمشق سایر نهادها باشد؛ اما این امر در مرحله نهادینه شدن با چالش‌های جدی روبه‌رو می‌شود. قطعاً برای گذران بهتر مسیر رشد و توسعه در حوزه فناوری نانو، باید متعاقب فعالیت‌های مثبت گذشته، به اقدامات ملی بنیادی از نوع آینده‌نگاری روی آورد تا بتوان در جهانی با محدودیت منابع و رقابت بالا - که فرصتی برای اشتباه کردن فراهم نمی‌سازد - با شناسایی اولویت‌های توسعه فناوری نانو و اجرای دقیق آن به بهترین وجه از پتانسیل این فناوری نوین در کشور استفاده کرد.

بر این اساس گروهی از پژوهشگران برای شناسایی آینده این فناوری،[۱] و به منظور تعیین خط‌مشی[۲] کشور در این فناوری از روش‌های مختلف آینده‌نگاری استفاده کرده‌اند و از میان روش‌های مختلف آینده‌نگاری، بر روش تحلیل ثبت اختراع، روش درخت وابستگی و روش تأثیرات متقابل تمرکز بیش‌تری داشته‌اند. نکته جالب این که به دلیل کمبود و یا ناشناس بودن متخصصان نانوفناوری در کشور، از روش‌های گروهی نظیر دلفی یا ذهن‌انگیزی استفاده نشده است. در ضمن درخت کاربری‌های نانو فناوری - که این گروه آن را تهیه کرده‌اند - نتیجهٔ خوبی از به‌کارگیری روش‌های آینده‌نگاری است؛ اما باید توجه داشت که با در نظر گرفتن پیچیدگی و هزینه‌بر بودن یک فرایند کامل از آینده‌نگاری، راه دراز و سختی پیش‌رو است.

---

۱. پژوهشگران دبیرخانه ستاد فناوری نانو

2. Road Map

با این توضیحات بدیهی است که دوراندیشی در نانوتکنولوژی ضروریست و گستردگی دامنه تأثیرات این فناوری در زندگی بشر ضرورت آن را بیش‌تر می‌کند. تا به‌حال کشورهایی مانند هلند و امریکا دوراندیشی را در فناوری نانو به‌کار گرفته‌اند. این دوراندیشی برای کشورهای در حال توسعه مانند ایران - که صنعت پیشرفته‌ای ندارند - باید با دقت و جامعیت زیادی انجام شود؛ چرا که با توجه به شرایط و اولویت‌های کشور انتخاب بخش‌های مناسب برای انجام فعالیت‌های تحقیقاتی کار دشواری است.

برای انجام دوراندیشی نانوتکنولوژی در مرحله اول باید شناخت خوبی از عناصر تشکیل‌دهنده این فناوری به‌دست آورد. بدیهی است که هر چه این شناخت کامل‌تر باشد انجام دوراندیشی ساده‌تر و دقیق‌تر خواهد بود.

۶. پیش‌بینی برخی از اهداف فناوری نانو

علم و فناوری نانو، به فهم استفاده بهتر از طبیعت، پیشرفت در تولید مواد با خواص متنوع‌تر و با کیفیت بالاتر و تغییرات عمده در صنعت، اقتصاد، بهداشت، بهبود وضعیت محیط زیست، انرژی، کشاورزی، حمل و نقل، حفظ منابع و ... منجر خواهد شد.[1] در مدت زمان ۱۰ الی ۱۵ سال آینده، بازار جهانی نانو در زمینه‌های مختلف سالانه فراتر از ۱۰۰۰ میلیارد دلار شکل خواهد گرفت.

۷. پیامدهای نادیده گرفتن فناوری نانو

فناوری نانو به دلیل قدرت خارق‌العاده، در آیندهٔ نه چندان دور، قابلیت بی‌ارزش کردن بدهی‌ها و دارایی‌های هر کشوری را دارد. به تدریج یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کشورها باید به سمت یافته‌های «نانو» متمرکز شود. کشورها باید اقتصاد خود را با این موضوع مهم تطبیق دهند از این‌رو در صورت سرمایه‌گذاری در این فناوری و دستیابی به دستاوردهای آن، بعضی کشورها می‌توانند به وسیله نانواسمبلرها و نرم‌افزارهای مناسب برخی کالاهای مصرفی را بسازند. در این صورت کشورهای بزرگ تولیدکننده و صادرکننده مانند ژاپن، امریکا و اروپا نیز مورد تهدید جدی واقع می‌شوند.

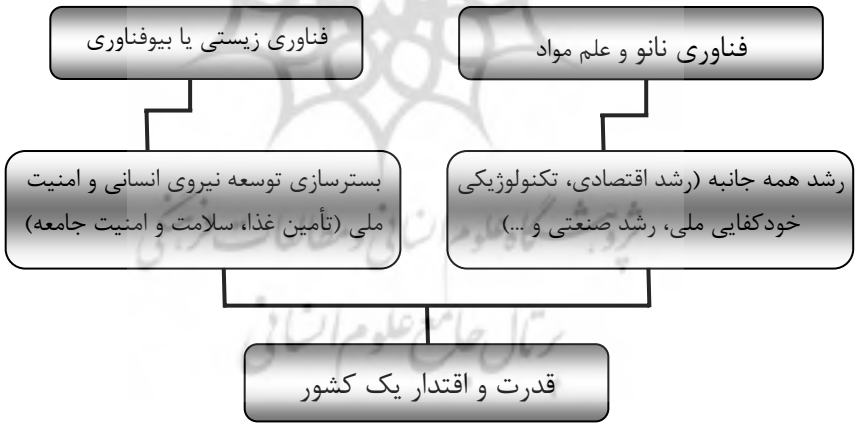
پیش‌بینی می‌شود با توسعه این فناوری به تدریج نفت بی‌ارزش شود و کشورهای

---

۱. برای مطالعه بیش‌تر به پیوست ۲ مراجعه شود.

تولیدکننده نفت و اوپک دچار بحران اقتصادی شوند. برای مثال الماس مصنوعی به‌طور انبوه تولید خواهد شد و در هر لحظه برای ساختن مواد معدنی و طلا می‌توان منبعی ارزان مانند دریا را مورد استفاده قرار داد. بنابراین در آینده مواد اولیه ارزش بسیار کمی خواهند داشت و فقط علم و فناوری است که مرز بین کشورهای توانمند و ناتوان را مشخص خواهد کرد.

نکته مورد توجه درخصوص فناوری نانو، راهبردی بودن آن است؛ زیرا نانو تمامی علوم را تحت تأثیر قرار خواهد داد و در حقیقت در آینده، برای علم فضای دیگری تعریف و بدون وارد شدن به این فضا حتی زندگی کردن هم مشکل خواهد بود. گفته می‌شود در آینده کشورها به دو دسته تقسیم خواهند شد: کشورهای دارای فناوری نانو و کشورهای فاقد فناوری نانو. در چنین فضایی کشورهای فاقد فناوری نانو هیچ قدرت و اعتباری ندارند و به شدت زیر سلطه خواهند بود؛ اما نوظهور بودن این دانش و فناوری، خود از نبود شکاف و فاصله قابل توجه علمی میان این کشورها و کشورهای توسعه یافته حکایت دارد. در واقع این بهترین فرصت برای ایران و کشورهای دیگر است تا عقب‌ماندگی‌های فراوان خود را از کشورهای توسعه‌یافته به یکباره جبران کرده و در عرصه رقابت‌های بین‌المللی تأثیرگذار باشند. ایران نیز اگر خواهان پیشرفت، توسعه، خودکفایی و حضور قدرتمند در عرصه جهانی است باید هرچه سریع‌تر مانند کشورهای کره، تایوان و چین به جرگه پیروان شتابان تحقیق و توسعه فناوری نانو ملحق شود.



۸. شاخص‌های ارزیابی پیشرفت کشورها در زمینه فناوری نانو

به‌منظور رتبه‌بندی صحیح‌تر کشورها در امر فناوری نانو به شاخص‌هایی نیاز است که براساس آن بتوان فعالیت کشورهای مختلف را با هم مقایسه کرد. گفتنی است که به دلیل نوظهور بودن این فناوری هنوز شاخص‌های مناسب و آمارهای دقیق و قابل اطمینانی در دست نیست. به هرحال برخی از شاخص‌ها که امروزه به‌کار می‌روند عبارتند از:

الف) اختراعات و انتشارات (تحقیقات پایه و کاربردی[۱])،

ب) سرمایه‌گذاری بخش دولتی:

۱.ب) بودجه دولتی،

۲.ب) سرانه سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در حوزه نانو[۲]،

۳.ب) سرمایه‌گذاری خطرپذیر در فناوری نانو،

۴.ب) فعالیت‌های تحقیق و توسعه (R&D)،

ج) سرمایه‌گذاری بخش خصوصی:

۱.ج) سرمایه‌گذاری شرکت‌ها برای محصولات تجاری،

۲.ج) سرمایه‌گذاری خطرپذیر،

د) توسعه بازار نانوفناوری:

۱.د) بخش دولتی،

۲.د) بخش خصوصی.

---

۱. از جمله شاخص‌های دیگری که در این زمینه تعریف می‌شوند عبارتند از:

- توسعه آزمایشگاهی
- طراحی و مهندسی کاربردها
- خدمات فنی
- استانداردها و گواهی‌ها

۲. از جمله شاخص‌های دیگری که در این زمینه تعریف می‌شوند عبارتند از:

- سهم پژوهش در زمینه نانو از تولید ناخالص داخلی،
- بودجه دولتی پژوهش و توسعه (R&D) فناوری نانو،
- سهم بودجه دولتی پژوهش و توسعه (R&D) فناوری نانو از هر یک میلیون دلار تولید ناخالص ملی،
- میزان سرمایه‌گذاری به ازای هر میلیون دلار رشد ناخالص داخلی (GDP).

شاخص‌های یاد شده به دلیل نوظهور بودن فناوری نانو و در نتیجه کمبود و یا فقدان اطلاعات مورد نیاز، در متن مقاله بررسی نشده و صرفاً به نام آن‌ها اکتفا شده است.

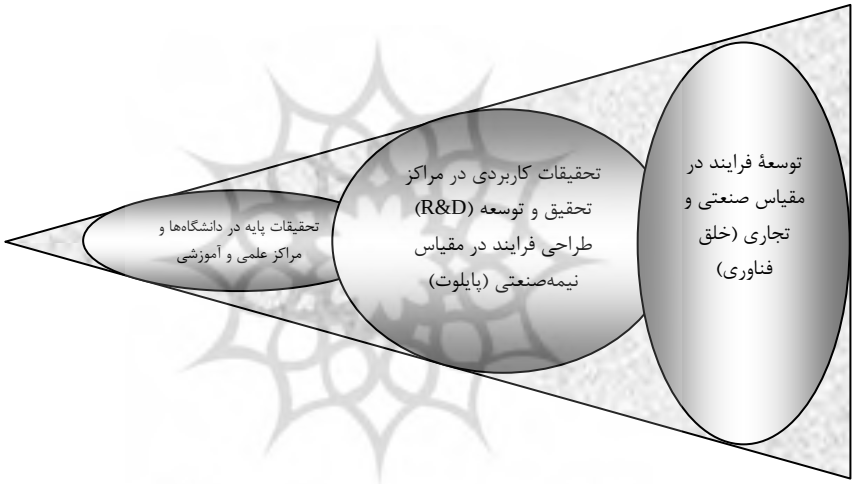
۹. نگاهی به وضعیت برخی از کشورها براساس شاخص‌های منتخب

الف) اختراعات و انتشارات (تحقیقات پایه و کاربردی)

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، فرایند تبدیل علم به فناوری (دانش بـه محصـول) از سه مرحله تشکیل شده است:

- تحقیقات پایه و آزمایشگاهی،
- تحقیقات کـاربردی در مراکـز (R&D) و توسـعهٔ فراینـد مربـوط بـه آن در مقیـاس نیمه‌صنعتی (پایلوت)،
- توسعهٔ فرایند در مقیاس صنعتی و تجاری (فناوری).

شکل ۲. شمایی کلی از فرایند تبدیل علم به فناوری (دانش به محصول)



دو مورد از مهم‌ترین شاخص‌ها برای انـدازه‌گیـری میـزان توسـعه کشـورها در فراینـد فوق‌الذکر، تعداد مقالات علمـی و اختراعـات ثبـت شـده اسـت. «مقـالات علمـی»، شـاخص فعالیت‌های علمی و «اختراعات»، شاخص قابلیت انتقال نتـایج علمـی بـه کاربردهـای عملـی است.[۱] به همین دلیل این دو شاخص برای ارزیابی فناوری‌ها به کار می‌روند؛ زیرا اختراعـات ارتباط مستقیم با پیشرفت فناوری و مقالات علمی ارتباط مستقیم با تحقیقات در دانشگاه‌ها

---

۱. از جمله معیارهای دیگر تعداد سمینارها و همایش‌های بین‌المللی است.

و مراکز علمی در هر کشور دارد. برای مثال از سال ۱۹۸۵ میلادی تاکنون تعداد ۳۹۶۶ اختراع در زمینه فناوری نانو در آمریکا ثبت شده است که این امر شاخص مهم ارزیابی فعالیت دولت‌ها و شرکت‌ها برای رقابت با یکدیگر است. در جدول ۲ اطلاعات مربوط به انتشارات و اختراعات کشورها طبقه‌بندی شده است.

جدول ۲. انتشارات و اختراعات ۱۵ کشور پیشتاز در زمینه نانوفناوری از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۹

ردیف	درصد انتشارات (۱۹۹۹-۱۹۹۷)		درصد اختراعات EPO & PCT (۱۹۹۹-۱۹۹۱)		انتشارات نرمال شده به ازای یک میلیون نفر جمعیت (۱۹۹۹-۱۹۹۷)		اختراعات EPO & PCT نرمال شده به ازای یک میلیون نفر (۱۹۹۹-۱۹۹۱)	
۱	امریکا	۲۳/۷	امریکا	۴۲/۰	سوئیس	۱۵۰/۲	سوئیس	۱۲/۲
۲	ژاپن	۱۲/۵	آلمان	۱۵/۳	اسرائیل	۹۱/۴	آلمان	۴/۴
۳	آلمان	۱۰/۷	ژاپن	۱۲/۶	سوئد	۷۳/۵	اسرائیل	۳/۹
۴	چین	۶/۳	فرانسه	۹/۱	آلمان	۶۱/۵	بلژیک	۳/۸
۵	فرانسه	۶/۳	انگلیس	۴/۷	دانمارک	۵۶/۹	فرانسه	۳/۶
۶	انگلیس	۵/۴	سوئیس	۳/۷	سنگاپور	۵۶/۸	امریکا	۳/۵
۷	روسیه	۴/۶	کانادا	۲/۰	استرالیا	۵۲/۶	هلند	۲/۴
۸	ایتالیا	۲/۶	بلژیک	۱/۷	فرانسه	۵۰/۰	سوئد	۲/۴
۹	سوئیس	۲/۳	هلند	۱/۷	فنلاند	۴۸/۳	ژاپن	۲/۳
۱۰	اسپانیا	۲/۱	ایتالیا	۱/۷	هلند	۴۷/۷	انگلیس	۱/۸
۱۱	کانادا	۱/۸	استرالیا	۱/۴	ژاپن	۴۶/۴	کانادا	۱/۵
۱۲	کره جنوبی	۱/۸	اسرائیل	۱/۱	بلژیک	۴۳/۶	استرالیا	۱/۳
۱۳	هلند	۱/۶	روسیه	۱/۱	انگلیس	۴۲/۷	اتریش	۱/۰
۱۴	هند	۱/۴	سوئد	۰/۹	امریکا	۳۹/۲	ایتالیا	۰/۵
۱۵	سوئد	۱/۴	اسپانیا	۰/۵	اسلوونی	۳۶/۰	اسپانیا	۰/۳

مأخذ: طرح مطالعاتی کاربردی نانوفناوری در صنایع رنگ، وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۲.

براساس ستون اول و دوم جدول فوق - که اطلاعات آماری را به صورت خام ارائه می‌دهند - امریکا مقام اول را کسب می‌کند؛ اما اگر این اطلاعات به صورت نرمال ارائه شوند، با تقسیم تعداد انتشارات و اختراعات بر جمعیت هر کشور، امریکا به مقام چهاردهم و ششم تنزل می‌کند (ستون دوم و چهارم).

ب) سرمایه‌گذاری بخش دولتی

۱-ب) بودجه دولتی

بررسی آمار رسمی منتشرهٔ کشورهای مختلف دنیا، معیارهای درستی را برای سنجش وضعیت سرمایه‌گذاری دولت‌ها در فناوری نانو نشان نمی‌دهد. شاید این امر به دلایل مختلفی از جمله استراتژیک بودن فناوری نانو، ساختار متفاوت بودجهٔ کشورها و ملاحظات امنیتی (اسرار نظامی و تجاری) باشد. برای مثال در سیستم اروپایی، سرمایه‌گذاری‌ها فقط شامل هزینه‌های اضافی برای محققان و تجهیزات است و هزینه‌های زیرساختاری و دانشگاه‌ها مستقل از بودجه نانو و به‌وسیله دولت‌های این اتحادیه تأمین می‌شود. در سیستم امریکایی، پیشگامی ملی نانوفناوری (NNI)[1] عموماً تمام مؤسسه‌های مرتبط با فناوری نانو را حمایت می‌کند. در واقع تقریباً ۱۰ درصد سرمایه‌گذاری‌های بنیاد ملی علوم امریکا را هزینه‌های زیرساختارهای تحقیقاتی تشکیل می‌دهند.

به هر حال نگاهی به بودجه کشورهای مختلف می‌تواند در درک اهمیت این فناوری مفید باشد. میزان سرمایه‌گذاری دولتی در کشورهای پیشرفته برای تحقیق و توسعه در زمینه نانوفناوری بسیار چشمگیر است (جدول ۳) این میزان بودجه، نشان‌دهندهٔ توجه دولت‌ها به نانوفناوری در این کشورهاست. امروزه بسیاری از کشورها در عرصه نانوفناوری در سطح ملی دارای فعالیت یا برنامه هستند. در این میان ژاپن، امریکا و اروپای غربی بیش‌ترین سهم را در سرمایه‌گذاری‌ها و فعالیت‌های علمی و صنعتی به خود اختصاص داده‌اند که به‌دلیل اهمیت آن‌ها جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

از زمان ورود دولت‌ها به عرصه فناوری نانو و تدوین برنامه‌های ملی برای توسعه این فناوری، کم‌تر از یک دهه می‌گذرد؛ اما در همین مدت کوتاه تعداد ۶۲ کشور به این عرصه وارد شده‌اند. در حال حاضر کشورهای زیادی در این زمینه فعال هستند و برنامه‌های متعددی برای توسعه نانوفناوری تدارک دیده‌اند که حضور کشورهای در حال توسعه در این عرصه، نمایانگر درک اهمیت نانو در میان تمامی کشورهاست.

پرتال جامع علوم انسانی

1. National Nanotechnology Initiative

جدول ۳. سرمایه‌گذاری دولتی در سطح دنیا برای تحقیق و توسعه نانوفناوری

(برحسب میلیون دلار امریکا)

سال	اروپای غربی	ژاپن	امریکا	سایر*	کل	ایران
۱۹۹۷	۱۲۶	۱۲۰	۱۱۶	۷۰	۴۲۳	—
۱۹۹۸	۱۵۱	۱۳۵	۱۹۰	۸۳	۵۵۹	—
۱۹۹۹	۱۷۹	۱۵۷	۲۵۵	۹۶	۶۸۷	—
۲۰۰۰	۲۰۰	۲۴۵	۲۷۰	۱۱۰	۸۲۵	—
۲۰۰۱	۲۲۵	۴۶۵	۴۶۴	۳۸۰	۱۵۳۵	—
۲۰۰۲	۴۰۰	۷۲۰	۶۹۷	۵۵۰	۲۳۶۷	—
۲۰۰۳	۶۵۰	۸۰۰	۸۶۳	۸۰۰	۳۱۱۳	—
۲۰۰۴		۸۷۵	۹۸۹	—	—	۲۳/۵
۲۰۰۵	—	۸۷۵	۱۲۰۰	—	—	۱۷/۳
درخواستی ۲۰۰۶	—		۱۰۵۴			۱۵/۸
تخمین عملکرد ۲۰۰۶			۱۳۰۳			
درخواستی ۲۰۰۷			۱۲۷۸			

Source: www.nano.gov-NNI

* سایر شامل کشورهای استرالیا، کانادا، چین، اروپای شرقی، کشورهای پیشین اتحاد جماهیر شوروی (FSU)، اسرائیل، کره، سنگاپور، تایوان و کشورهایی است که مرکز تحقیق و توسعه نانوفناوری دارند.

۱-۱- ب) امریکا

به برنامهٔ «پیشگامی ملی نانوفناوری» که برنامه‌ای دولتی و چند سازمانی در امریکاست NNI (National Nanotechnology Initiative) اطلاق می‌شود. این برنامه با هدف تسریع در تحقیقات، توسعه و گسترش علوم نانومقیاس در نظر گرفته شده است. دیدگاه (NNI) آینده‌ای است که در آن قابلیت درک و کنترل مسائل مربوط به نانو ارتقا یافته تا در صنعت و فناوری انقلابی به بار آورد. اخیرا کمیته «علوم، مهندسی و فناوری نانومقیاس» (NSET)[1] با حمایت «دفتر ملی هماهنگی نانوفناوری» (NNCO)[2]، برنامه‌ای استراتژیک براساس دیدگاه‌های (NNI) در راستای تحقق استراتژی‌ها و فعالیت‌های آن و برای دستیابی به اهداف ۵ تا ۱۰ سال آینده، منتشر کرده است. اهداف و سیاست‌های (NNI) عبارتند از:

1. Nanoscale Science, Engineering and Technology (NSET)
2. National Nanotechnology Coordination Office (NNCO)

هدف اول - تأکید بر برنامه‌های تحقیق و توسعه در سطح جهانی به منظور تحقق کامل پتانسیل نانوفناوری.

هدف دوم - تسهیل فرایند تبدیل فناوری‌ها به محصول به منظور رشد اقتصادی، اشتغال و سایر منافع اجتماعی.

هدف سوم - توسعهٔ منابع آموزشی، تربیت نیروی انسانی متبحر و حمایت از زیرساخت و تجهیزات پژوهشی برای ارتقای نانوفناوری.

هدف چهارم - حمایت از توسعهٔ پایدار در نانوفناوری.

به‌طور کلی برنامه استراتژیک نانو در امریکا، اهداف مشخص (NNI) و حوزه‌های معین سرمایه‌گذاری که اصطلاحاً (PCA)[1] نام دارد را شامل می‌شود. این برنامه با چهار هدف فوق‌الذکر (اهداف NNI) در هفت حوزه اصلی سرمایه‌گذاری (PCA) همپوشانی دارد. این هفت حوزه عبارتند از:

حوزه اول - پایه‌ریزی علوم نانومقیاس و فرایندهای تولید آن.

حوزه دوم - نانو موادها.

حوزه سوم - سیستم‌ها و طراحی نانومقیاس.

حوزه چهارم - پژوهش ابزاری، علوم اوزان و مقادیر (مقیاس‌سنجی) و استانداردهای نانوفناوری.

حوزه پنجم - صنایع نانو.

حوزه ششم - فراگیری نحوه استفاده از تجهیزات و ابزارهای اصلی پژوهشی.

حوزه هفتم - ابعاد اجتماعی.

به‌دلیل همپوشانی حوزه‌های (PCA) با اهداف (NNI) به‌ویژه در موارد یاد شده سرمایه‌گذاری در (PCA)ها به منظور حصول اهداف (NNI) از اهمیت شایانی برخوردار بوده و بودجه نانو فناوری امریکا در راستای اهداف آن‌ها در نظر گرفته شده است.

بودجهٔ پیش‌بینی شده بین سازمانی[2] سال ۲۰۰۷ از طرف (NNI) برای برنامه‌های ملی نانوفناوری در امریکا، حدود ۱/۳ میلیارد دلار است که با در نظر گرفتن میزان سرمایه‌گذاری از بدو تأسیس (NNI) در سال ۲۰۰۱ به بیش از ۶/۵ میلیارد دلار افزایش یافته است به‌طوری‌که بودجه درخواستی سال ۲۰۰۷ در مقایسه با بودجه سال اول برنامه (۲۰۰۱)

1. Program Component Area (PCA)
2. Multi- agency

تقریباً سه برابر شده است. حمایت از برنامه‌ریزی بلندمدت و سرمایه‌گذاری کلان نشان از درک عمیق امریکا از علوم و فناوری نانومقیاس و فوائد آن دارد و همین دو عامل موجب سرعت بخشیدن به فرایند توسعه علوم نانو و استفاده از دانش آن در صنایع، پزشکی، مواد، فناوری اطلاعات، انرژی و علوم زیست‌محیطی در امریکا شده است.

افزایش ۲۱/۳ درصدی بودجه سال ۲۰۰۵ نسبت به سال ۲۰۰۴ و نیز ادامه این روند در پنج سال گذشته (از سال ۲۰۰۱ با بودجهٔ ۴۶۴ میلیون دلار، تا سال ۲۰۰۷ با بودجه ۱/۳ میلیارد دلار) حاکی از تصمیم (NNI) برای بالا بردن میزان قابلیت‌ها، افزایش سطح دانش و همچنین بیانگر حمایت اقتصادی دولت امریکا در زمینهٔ نانو است. در حال حاضر تعداد پنج آژانس تحقیقاتی و چندین دستگاه، سازمان و نهاد دولتی دیگر در بخش پژوهش و توسعهٔ نانو فناوری در امریکا به فعالیت مشغولند که عبارتند از:

«بنیاد علوم ملی»[۱]، «وزارت دفاع»[۲]، «وزارت انرژی»[۳]، «مؤسسه ملی بهداشت»[۴]، «مؤسسه ملی استاندارد و فناوری»[۵]، «سازمان ملی هوافضا» (ناسا)[۶]، «وزارت کشاورزی امریکا»[۷]، «سازمان حفاظت از محیط زیست»[۸]، «مؤسسه ملی بهداشت و سلامت شغلی»[۹]، «وزارت دادگستری»[۱۰]، «وزارت امنیت کشور»[۱۱] و «سازمان امنیت حمل‌ونقل»[۱۲].

در امریکا هر سازمان و نهادی نقش معین و مشخصی را در برنامه‌های نانو این کشور ایفا می‌کند. به‌طوری‌که سرمایه‌گذاری‌های وسیع «بنیاد ملی علوم» (NSF) نشان‌دهنده حمایت این بنیاد از پژوهش‌های بنیادین در تمامی سطوح علوم پایه و مهندسی است. در حالی‌که سرمایه‌گذاری «وزارت دفاع» (DOD) بر توسعهٔ مواد و سیستم‌ها متمرکز است. «وزارت انرژی» (DOE) نیز در مرحلهٔ تکمیل پنج «مرکز تحقیقات علوم نانومقیاس»[۱۳] است

1. National Science Foundation (NSF)
2. Department of Defense (DOD)
3. Department of Energy (DOE)
4. National Institute of Health (NIH)
5. National Institute for Standards and Technology (NIST)
6. National Aeronautics and Space Administration (NASA)
7. U.S. Department of Agriculture (USDA)
8. Environmental Protection Agency (EPA)
9. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)
10. Department of Justice (DOJ)
11. Department of Homeland Security (DHS)
12. Transportation Security Administration (TSA)
13. Nanoscale Science Research Centers

که این مراکز امکان استفاده از تجهیزات و زیرساخت‌های تحقیقاتی را برای پژوهشگران انجمن پژوهش علوم فراهم می‌سازد.

بودجه درخواستی سال ۲۰۰۷ از سوی «خدمات بهداشتی و انسانی»[1] (HHS) برای حمایت از برنامه‌های نانو فناوری «مؤسسه ملی بهداشت» (NIH) با تمرکز بر بیوپزشکی (بیولوژی و علوم طبیعی) است. به‌علاوه این برنامه‌ها در «مؤسسه ملی بهداشت و سلامت شغلی» (NIOSH) مفاهیم و دستورالعمل‌های نانوفناوری را برای سلامت و امنیت در محیط کار بیان می‌کند. همچنین برای اولین بار در سال ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ به دفتر انرژی فسیلی «وزارت انرژی» (DOE) و دفتر خدمات جنگلداری «وزارت کشاورزی ایالات متحده» (USDA) بودجه اختصاص یافته است (جدول ۴).

جدول ۴. تاریخچه بودجه برنامهٔ پیشگامی ملی نانوتکنولوژی (NNI) امریکا به تفکیک سازمان‌ها (میلیون دلار)

سازمان‌ها	عملکرد ۲۰۰۱	عملکرد ۲۰۰۲	عملکرد ۲۰۰۳	عملکرد ۲۰۰۴
بنیاد ملی علوم	۱۵۰	۲۰۴	۲۲۱	۲۵۶
وزارت دفاع	۱۲۵	۲۲۴	۳۲۲	۲۹۱
وزارت انرژی	۸۸	۸۹	۱۳۴	۲۰۲
خدمات بهداشتی و انسانی (مؤسسه ملی بهداشت)	۴۰	۵۹	۷۸	۱۰۶
وزارت بازرگانی* (مؤسسه ملی استاندارد و فناوری)	۳۳	۷۷	۶۴	۷۷
سازمان ملی هوافضا	۲۲	۳۵	۳۶	۴۷
وزارت کشاورزی امریکا			۱	۲
سازمان حفاظت از محیط‌زیست	۵	۶	۵	۵
خدمات بهداشتی و انسانی (مؤسسه ملی بهداشت و سلامت شغلی)	-	-	-	-
وزارت دادگستری	۱	۱	۱	۲
وزارت امنیت داخلی (سازمان امنیت حمل‌ونقل)		۲	۱	۱
جمع کل	**۴۶۴**	**۶۹۷**	**۸۶۳**	**۹۸۹**

Source: NNI: Research and Development Funding in the President's 2007 Budget

* Department of Commerce (DOC)

1. Health and Human Services

جدول۱-۴. خلاصه بودجه برنامهٔ پیشگامی ملی نانوتکنولوژی (NNI) امریکا به تفکیک سازمان‌ها (۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷) (میلیون دلار)

سازمان‌ها	عملکرد ۲۰۰۵	تخمین عملکرد ۲۰۰۶	درخواستی ۲۰۰۷
بنیاد ملی علوم	۳۳۵	۳۴۴	۳۷۳
وزارت دفاع	۳۵۲	۴۳۶	۳۴۵
وزارت انرژی*	۲۰۸	۲۰۷	۲۵۸
وزارت بهداشت و خدمات انسانی	۱۶۵	۱۷۲	۱۷۰
وزارت بازرگانی (مؤسسه ملی استاندارد و فناوری)	۷۹	۷۸	۸۶
سازمان ملی هوافضا	۴۵	۵۰	۲۵
سازمان حفاظت از محیط‌زیست	۷	۵	۹
وزارت کشاورزی امریکا (CSREES)***	۳	۳	۳
وزارت بهداشت و خدمات انسانی (NIOSH)	۳	۳	۳
وزارت کشاورزی امریکا (USDA/FS)	۰	۲	۲
وزارت دادگستری	۲	۱	۱
وزارت امنیت داخلی	۱	۲	۲
وزارت حمل‌ونقل (FHWA)****	۰	۰/۱	۰/۱
جمع کل	۱۲۰۰	**۱۳۰۳****	**۱۲۷۸**

Source: NNI: Research and Development Funding in the President's 2007 Budget

* تراز مالی برای سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷، «وزارت انرژی امریکا» (DOE) شامل علوم پایه انرژی و سوخت فسیلی.

** طبق برآورد سال ۲۰۰۶ حدود ۱۳۰ میلیون دلار برای حمایت از فعالیت‌های تحقیق و توسعه (R&D) علاوه بر بودجه وزارت دفاع از سوی کنگره تخصیص داده شده است.

*** Cooperative State Research, Education, and Extension Service (CSREES)

«شرکت گسترش خدمات و آموزش و پژوهش ایالتی»

**** Federal Highway Administration (FHWA)

«سازمان بزرگراه‌های فدرال»

۲-۱- ب) اروپا

بودجه پژوهشی کشورهای اتحادیهٔ اروپا در قالب برنامه‌های تحقیقات و توسعهٔ فناوری با عنوان

«برنامهٔ ساختاری» (FP)[1] ارائه می‌شود. چارچوب برنامه‌ریزی (FP) از سوی کمیسیون اروپا مطرح شده و کمیسیون و پارلمان اروپا با همکاری و همفکری در تصمیم‌گیری با این طرح هماهنگ می‌شوند. برنامه‌های ساختاری (FP)ها از سال ۱۹۸۴ و به صورت برنامه‌های پنجساله تنظیم و اجرا شدند. آخرین برنامه اجرائی این اتحادیه ششمین برنامهٔ تحقیقات و توسعهٔ فناوری اتحادیه اروپا (FP6) و زمان اجرای آن از سال ۲۰۰۲ تا پایان سال ۲۰۰۶ است. هفتمین برنامه تحقیق و توسعه اروپا (FP7) نیز در جلسه سران اروپا در بارسلون اسپانیا تصویب شد؛ اما زمان اجرای آن هفت سال پیشنهاد شده است. این برنامه بسیار کامل بوده و زمان اجرای آن از اول ژانویه ۲۰۰۷ تا پایان سال ۲۰۱۳ است. برنامه FP7 نیز همانند برنامه‌های نانوفناوری ایالات متحده با هدف توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی اروپا تهیه شده است.

۱-۲-۱- ب) ساختار FP7

اهداف برنامهٔ هفتم اتحادیه اروپا در چهار گروه همکاری[2]، ایده‌ها[3]، مردم[4] و ظرفیت‌ها[5] سازماندهی شده است. برای هر گروه نیز برنامه‌ای مرتبط با حوزه‌های اصلی خط‌مشی پژوهش در اتحادیه اروپا معین شده است. هر گروه برنامه‌های خود را به گونه‌ای انجام می‌دهند که ارتقا و پیشبرد اهداف علمی اروپا را در عالی‌ترین سطح موجب شوند. گفتنی است که برنامهٔ هفتم اتحادیه اروپا براساس **اقتصاد دانایی محور** بنا شده که **تحقیق، آموزش و نوآوری**، پارامترهای اصلی **«مثلث دانایی»** در این برنامه هستند و به‌دلیل اهمیت این رویکرد در نظام برنامه‌ریزی جهان به‌طور خلاصه به توضیح و بررسی ارکان و حوزه‌های آن پرداخته می‌شود.

- **همکاری**

این برنامه از تمام فعالیت‌های پژوهشی مشترک از جمله برنامه‌های ملی، برنامه‌های همکاری و شبکه‌های حامیِ برنامه‌های ملی پژوهشی حمایت می‌کند. همکاری بین‌المللی میان اروپا و کشورهای ثالث، بخش اصلی این فعالیت‌ها را تشکیل می‌دهد. این فعالیت‌ها از سوی صنایع در قالب چهار زیر برنامه «پژوهش مشترک»، «برنامه‌های مشترک فناوری»، «برنامه‌های هماهنگ

1. Framework Programme
2. Cooperation
3. Ideas
4. People
5. Capacities

تحقیقاتی اعضای غیر عضو در انجمن» و «همکاری بین‌المللی» کنترل، هدایت و سازماندهی می‌شود.

• ایده‌ها

این برنامه به پویایی، خلاقیت و برتری تحقیقات اروپایی در مرز دانش در زمینه تمامی علوم و فناوری‌ها از جمله علوم مهندسی، علوم اقتصادی- اجتماعی و علوم انسانی می‌افزاید. این فعالیت‌ها زیر نظر شورای پژوهش اروپا انجام می‌شود.

• مردم

هدف این بخش توانمندسازی کمی و کیفی منابع انسانی در امور پژوهشی و فناوری اروپا از طریق هدایت به سمت مجموعه فعالیت‌های ماری کوری است.

• ظرفیت‌ها

هدف این بخش حمایت از زیرساخت‌های تحقیقاتی، پژوهش به نفع «صنایع کوچک و متوسط» (SMEs)[1]، حمایت از پتانسیل پژوهشی مناطق اروپایی (مناطق دانش) و بررسی میزان پتانسیل واقعی تحقیقاتی (حوزه‌های مورد نظر) در اتحادیه‌ها و انجمن‌های دانش اروپاست.

هرکدام از این برنامه‌ها، موضوع برنامه‌ای ویژه خواهد بود. به‌علاوه برنامه ویژه‌ای (به‌استثنای فعالیت‌های غیرهسته‌ای) برای مرکز تحقیقات مشترک و نیز برنامه جداگانه‌ای برای فعالیت‌های پژوهشی و آموزشی هسته‌ای «یوراتم»[2] در نظر گرفته شده است. براساس منشور «یوراتم»، کمیته اروپا تحقیقات هسته‌ای صلح‌آمیز (غیرنظامی) را از طریق جدا کردن آن از FP7 در مدت ۵ سال (۲۰۰۷-۲۰۱۱) پشتیبانی خواهد کرد. برنامه‌ریزی یوراتم در آخرین اصلاحیه طرح‌های FP7 به دو قسمت «گداخت هسته‌ای»[3] و «جوش هسته‌ای»[4]

---

1. Small and Medium-Sized Enterprises

صنایع کوچک و متوسط یا SMEها در هر کشوری تعریف متفاوتی دارند. مثلاً ایالات متحده براساس موقعیت سازمان در کل بازار آن را چنین تعریف می‌کند: «یک SME به شرکتی گفته می‌شود که دارای مالکیت مستقل بوده و در حوزه عملیاتی خود غالب و برتر نمی‌باشد». کانادا و انگلستان از یک روش کمی‌تر در تعریف SME استفاده می‌کنند به‌طوری که SME به شرکت‌هایی اطلاق می‌شود که دارای کم‌تر از ۵۰ کارمند بوده و تابع هیچ شرکت دیگری نباشند.

2. Euratom
3. Fusion
4. Fission

تفکیک شده است. همچنین عناصر جدید در FP7 عبارتند از:

ـ تأکید بر مضامین پژوهشی به جای تجهیزات،

ـ ساده‌سازی عملیاتی،

ـ تمرکز بر توسعه تحقیقات مبتنی بر نیازهای صنایع اروپا در پلتفرم‌ها و مراکز مشترک فناوری،

ـ تأسیس شورای پژوهشی اروپایی با حمایت مالی کشورهای اروپایی،

ـ هم‌افزایی همکاری بین‌المللی در هر چهار برنامه،

ـ توسعه مناطق دانش،

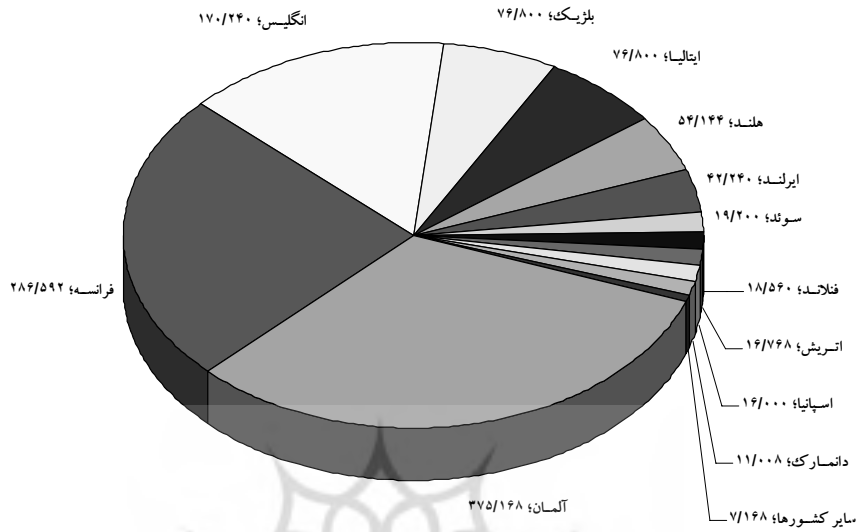
ـ پرداخت تسهیلات مالی با ریسک مشترک به منظور توزیع سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در تحقیقات.

اروپا در دو بعد تحقیقاتی و صنعتی از پایه محکمی در نانوفناوری برخوردار است. در واقع دو مکانیسم اصلی برای سرمایه‌گذاری در اروپا وجود دارد. اتحادیه اروپا سرمایه‌گذاری را از طریق برنامه‌هایی مانند برنامه‌های ساختاری تحقیق و توسعه (FP) و گروه‌های سرمایه‌گذاری ملی انجام می‌دهد؛ اما بودجه شرکت‌های اروپایی از طریق سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر صندوق سرمایه‌گذاری اروپا فراهم می‌شود که این صندوق را «بنیاد علوم اروپا» (ESF)[1] مستقر در استراسبورگ اداره می‌کند. در نمودار ۱ میزان سرمایه‌گذاری کشورهای اروپایی در سال ۲۰۰۴ به میلیون یورو نمایش داده شده است. سرمایه‌گذاری اتحادیه اروپا در فناوری نانو در همین سال برابر با ۴۷۳/۶ میلیون یورو بوده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. European Science Foundation

نمودار ۱. میزان سرمایه‌گذاری برخی کشورهای اروپایی در زمینه فناوری نانو در سال ۲۰۰۴
(میلیون یورو)



کل سرمایه‌گذاری اتحادیهٔ اروپا برای فناوری نانو از ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ در قالب کلیات برنامه ششم (FP6) شامل بودجه‌ای به مبلغ ۱۷/۵ میلیارد یورو است. در هفتمین برنامه تحقیق و توسعه اروپا (FP7)، طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۱۱ افزایش بودجه سالانه تحقیقات، تا مرز ۱۰ میلیارد یورو و افزایش ۳ درصدی سرمایه‌گذاری در این زمینه، با هدف تبدیل اتحادیه اروپا به بزرگ‌ترین قطب اقتصادی دانش‌محور پیش‌بینی شده است.[1]

۲-۲-۱- ب) استفاده از «اقتصاد دانایی‌محور»[2] در برنامه هفتم تحقیق و توسعه اروپا

- **تعریف اقتصاد دانایی‌محور**

«اقتصاد دانایی‌محور اقتصادی است مبتنی بر تولید، توزیع و کاربرد دانش و اطلاعات به منظور تحقق رشد اقتصادی و افزایش بهره‌وری. توسعه و رشد این اقتصادها مستلزم بهینه‌سازی همزمان مجموعه سیاست‌های صنعتی، سیاست‌های توسعه علوم پایه و

۱. جزئیات این برنامه هنوز در حال نهایی شدن است. در این مقاله سعی شده است آخرین ویرایش آن ارائه شود.
2. knowledge-based economy

سیاست‌های توسعه فناوری است که البته نیازمند نهادهای مناسبی است.

بنابراین تأکید اقتصاد دانایی‌محور، فقط تولید و توزیع اطلاعات و دانش نیست بلکه نکته مهم، به‌کارگیری آن‌ها است، یعنی استفاده مؤثر و به کارگیری انواع مختلف دانش در تمام فعالیت‌های اقتصادی»[۱].

---

۱. دکتر مسعود درخشان، «طبقه‌بندی دانش»، *اقتصاد و مدیریت دانایی محور (۱): مبانی اقتصاد دانایی‌محور*، مؤسسه عالی آموزش و پژوهش در مدیریت و برنامه‌ریزی؛ نشست بیست و یکم، آذرماه ۱۳۸۴، ص ۲۲-۲۳.
همچنین ایشان در همین منبع طبقه‌بندی اقتصاد دانایی‌محور را چنین بیان کرده‌اند:

■ **طبقه‌بندی دانش (Knowledge Codification)**

● **«دانش واقعیات» (Knowledge What: Facts)**: **مثال:** جمعیت ایران، حجم نقدینگی، ضریب بازیافت از میادین نفتی. از این دیدگاه، دانش مترادف با «اطلاعات» (Information) است.

● **«دانش اصول و قوانین طبیعی» (Why-Know)**: این نوع از دانش، زیربنای توسعه فناوری و رشد فرایندهای تولیدی و تولید کالاهای جدید است. تولید این دانش، در سازمان‌های تخصصی مانند مراکز علمی، پژوهشی و دانشگاه‌ها است. دسترسی به این دانش از طریق ایجاد ارتباط با این مراکز و انجام فعالیت‌ها به‌صورت مشترک و یا استخدام کارشناسان و دانشمندان است.

● **«دانش مهارت و توانایی در انجام کاری» (Know-How)**، مثال: ارزیابی بازار برای معامله یا معرفی کالای جدید یا فعالیت‌های یک مدیر بنگاه یا کارگران ماهر در کارکردن با دستگاه‌های پیچیده و پیشرفته صنعتی. این دانش، معمولاً در چارچوب و مرزهای بنگاه‌های بزرگ محدود می‌ماند. یکی از دلایل شکل‌گیری شبکه‌های صنعتی، نیاز بنگاه‌ها به آشنایی و به کارگیری دانش مهارت‌هاست.

● **دانش آگاهی درباره کسانی که واقعیات و علم مربوط را می‌دانند (Know Who)** و مهارت‌ها و توانایی‌های لازم در به کارگیری آن‌ها برای رشد اقتصادی و افزایش بهره‌وری را دارا هستند.

Know Who: Those who know "how" to use "what" and "why" to enhance economic growth and productivity.

دسترسی به این دانش، مستلزم ایجاد محیطی مناسب و یا «روابط اجتماعی» مناسب است تا بتوان به صاحبنظران و کارشناسان ماهر دسترسی داشت و از دانش ایشان به‌صورت مؤثر بهره گرفت. در اقتصادهایی که تقسیم کار به خاطر سطح بالای فناوری و یا تغییرات سریع در فناوری بسیار بالاست، دانشِ آگاهی به چنین صاحبنظران اهمیت ویژه‌ای دارد. دسترسی به این دانش چندان ساده نیست. یکی از دلایلی که بنگاه‌ها مستقلاً به تحقیق می‌پردازند آن است که شبکه کارشناسان و صاحبنظران دانشگاه‌ها را بهتر بشناسند. دسترسی به دانش مربوط به واقعیات و حقایق و علت‌ها (Know-What and Know-Why) با خواندن کتاب‌ها، مقالات، دسترسی به پایگاه‌های اطلاعاتی و یا بهره‌مندی از دانشگاه‌ها میسر است. «فناوری اطلاعات» (Information Technology) ابزار مناسبی برای دسترسی به این قسم از دانش‌هاست.

• **معرفی عناصر اقتصاد دانایی‌محور در FP7**[1]

در برنامه‌ریزی اقتصاد دانایی‌محور اتحادیه اروپا، ابتدا عوامل درگیر در برنامه FP7 و نحوه مشارکت آن‌ها مشخص شده است. سپس با زمانبندی منظم از فعالان مرتبط با برنامه درخواست شده که برای ارائه پیشنهادات، شرکت در مناقصات، تجهیز نیرو و ... اقدام کنند. براین اساس اتحادیه اروپا پس از شناسایی پتانسیل‌ها و سازماندهی آن‌ها به برنامه‌ریزی، تعریف موضوعات تحقیق و تعریف بودجه پرداخته و با تصویب قوانین و مقررات لازم زیرساخت حقوقی و مالی را برای اجرای برنامه تدارک دیده است. در ادامه شمای کلی این برنامه ارائه شده است:

■ **فعالان در برنامه (Who)**

• (مقررات عمومی) ضوابط کلی برای مشارکت
• کشورهای واجد شرایط
• کنسرسیوم‌های واجد شرایط
• گزینش کارشناسان مستقل

■ **زمانبندی (When)**

• فراخوان‌ها (برای ارائه پیشنهادها، کارشناسان، مناقصات، استخدام‌ها و .....)
• اتخاذ خط‌مشی

■ **شرح خدمات (What)**

• بودجه‌ریزی
• شمای تأمین مالی
• موضوعات پژوهش

■ **نحوه انجام کار (How)**

• قوانین مالی
• حقوق مالکیت معنوی
• قرارداد کنسرسیوم

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. این موضوع در مقالات بعدی به تفصیل ارائه خواهد شد.

جدول ۵. تقسیم‌بندی نهایی بودجه در کلیات برنامه PF7 کمیته اروپا (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳) و یورواتم (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱)

(میلیون یورو)

	موضوعات (استفاده از کل الگوهای مالی، شامل همکاری بین‌المللی)	آوریل ۲۰۰۵*	می ۲۰۰۶**	جولای ۲۰۰۶***	نوامبر ۲۰۰۶****
همکاری‌ها	بهداشت (سلامت)	۸۳۱۷	۵۹۸۴	۶۰۵۰	۶۱۰۰
	غذا، کشاورزی و بیوتکنولوژی	۲۴۵۵	۱۹۳۵	۱۹۳۵	۱۹۳۵
	فناوری ارتباطات و اطلاعات	۱۲۶۷۰	۹۱۱۰	۹۱۱۰	۹۰۵۰
	علوم نانو، فناوری‌های نانو، مواد و فناوری‌های تولید مواد جدید	۴۸۳۲	۳۴۶۷	۳۵۰۰	۳۴۷۵
	انرژی	۲۹۳۱	۲۲۶۵	۲۳۰۰	۲۳۵۰
	محیط‌زیست (شامل تغییرات جوی)	۲۵۳۵	۱۸۸۶	۱۹۰۰	۱۸۹۰
	حمل‌ونقل (شامل هوانوردی)	۵۹۴۰	۴۱۸۰	۴۱۸۰	۴۱۶۰
	اقتصاد اجتماعی و علوم انسانی	۷۹۲	۶۰۷	۶۱۰	۶۲۳
	امنیت و فضا	۳۹۶۰	۲۸۵۸	۱۴۳۰ (فضا) ۱۳۵۰ (امنیت)	۱۴۳۰ (فضا) ۱۴۰۰ (امنیت)
کل همکاری‌ها		**۴۴۴۳۲**	**۳۲۲۹۲**	**۳۲۳۶۵**	**۳۲۴۱۳**
ایده‌ها	شورای پژوهش اروپا	۱۱۸۶۲	۷۴۶۰	۷۴۶۰	۷۵۱۰
جامعه	فعالیت‌های ماری کوری	۷۱۲۹	۴۷۲۷	۴۷۲۸	۴۷۵۰
ظرفیت‌ها	زیرساخت‌های پژوهش	۳۹۶۱	۲۰۰۸	۱۸۵۰	۱۷۱۵
	تحقیق به نفع SMEها (شرکت‌های کوچک و متوسط)	۱۹۰۱	۱۲۶۶	۱۳۳۶	۱۳۳۶
	مناطق دانش	۱۵۸	۱۲۶	۱۲۶	۱۲۶
	پتانسیل پژوهش	۵۵۴	۳۵۰	۳۷۰	۳۴۰
	علم در جامعه	۵۵۴	۳۵۹	۲۸۰	۳۳۰
	توسعه فعالیت‌های مرتبط با سیاست‌های پژوهشی	ـــ	ـــ	۷۰	۷۰
	فعالیت‌های همکاری‌های بین‌المللی	۳۵۸	۱۸۲	۱۸۵	۱۸۵

جدول ۵. تقسیم‌بندی نهایی بودجه در کلیات برنامه PF7 کمیته اروپا (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳) و یورواتم (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱)

(میلیون یورو)

کل ظرفیت‌ها	۷۴۸۶	۴۲۹۱	۴۲۱۷	۴۲۱۷
فعالیت‌های غیرهسته‌ای مراکز مشترک پژوهشی	۱۸۱۷	۱۷۵۱	۱۷۵۱	۱۶۵۱
کل اتحادیه اروپا	۷۲۷۲۶	۵۰۵۲۱	۵۰۵۲۱	۵۰۵۲۱
یورواتم برای فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی هسته‌ای	۳۰۹۲	۲۷۵۱	۲۷۰۰	۲۷۵۱

مأخذ: هفتمین برنامه تحقیقاتی اتحادیه اروپا (PF7)

Community Research & Development Information Service (CORDIS)

* پیشنهادهای آوریل ۲۰۰۵ کمیسیون

** پیشنهادهای اصلاحی می ۲۰۰۶ کمیسیون

*** توافقنامه جولای ۲۰۰۶ شورا براساس این توافقنامه، نواحی «امنیت و فضا» تحت دو عنوان جدا آورده شده است.

**** توافق شورا و پارلمان اروپا در ۱۳ نوامبر ۲۰۰۶.

۳-۱- ب) سرمایه‌گذاری‌های دولتی صورت گرفته در کشورهای آسیایی

آسیا برای کسب پیشتازی فناوری نانو تلاش ویژه‌ای انجام داده است. شرکت‌های آسیایی به موازات سرمایه‌گذاری‌های تحقیقاتی، برای کسب مالکیت معنوی با دانشگاه‌های امریکایی به مذاکره می‌پردازند. با سرعت کنونی، تا سال ۲۰۱۰ حدود ۹۰ درصد دانشمندان فیزیک دنیا، آسیایی خواهند بود که ۵۰ درصد از آن‌ها در آسیا به‌کار مشغول خواهند بود.

مبلغ کل بودجه دولتی فناوری نانو در کشورهای آسیا و اقیانوسیه در سال ۲۰۰۴ حدود ۱/۴ میلیارد دلار بوده است[1]. سرمایه‌گذاری‌های خصوصی نیز در حال افزایش است. میزان بودجه برخی از کشورهای آسیایی در فناوری نانو در سال ۲۰۰۴ در جدول ۶ آورده شده است.

پرتال جامع علوم انسانی

۱. اگر ۱۰۰ ین ژاپن را برابر با یک دلار در نظر بگیریم ۷۰ درصد آن به کشور ژاپن اختصاص می‌یابد.

جدول ۶. بودجه دولتی برخی از کشورهای آسیایی در فناوری نانو در سال ۲۰۰۴

(میلیون یورو)

نام کشور	تأمین مالی	نام کشور	تأمین مالی
ژاپن	۹۸۹	سنگاپور	۱۰/۷۵۲
کره جنوبی	۲۲۱/۸۲۴	هند	۶/۸۶۴
چین	۱۰۶/۶۲۴	تایلند	۵/۳۷۶
تایوان	۹۷/۱۵۲	مالزی	۴/۸۶۷
اندونزی	۲۱/۳۷۶		

مأخذ: ستاد ویژه فناوری نانو.

کشورهایی نظیر چین، تایوان، کره جنوبی و اندونزی با اختصاص بودجه مناسب، برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت متعددی (۵ یا ۱۰ ساله) را در زمینه‌های مختلف نانو تدارک دیده‌اند. البته هر کشوری در زمینه خاصی به این مقوله می‌پردازد. مثلاً نقطه قوت چین در زمینه نانوپروب‌ها و نانولوله‌هاست. تحقیقات تایوان در زمینه ریزسازی مدارهای الکترونیکی است. کره جنوبی فناوری‌های پیشرفته برای زیرساخت‌های اطلاعات رایانه را هدف قرار داده است. تأکید اصلی کره بر دستگاه‌های نیمه‌هادی در مقیاس نانو و به خصوص نانو ساختارهای کوانتومی نیمه‌هادی، تنظیم‌کننده‌ها، سوئیچ‌ها و دستگاه‌های منطقی، دستگاه‌های تونل زنی و ... متمرکز است (جدول ۷).

جدول ۷. زمینه‌های تخصصی نانوفناوری کشورهای جهان

رتبه	پزشکی/ دارویی	مواد	شیمیایی	الکترونیک	ساخت
اول	امریکا (غرب)	امریکا (غرب)	آلمان	ژاپن	امریکا (غرب)
دوم	امریکا (شرق)	امریکا (شرق)	امریکا (غرب)	امریکا (غرب)	امریکا (شرق)
سوم	انگلیس	ژاپن	امریکا (شرق)	امریکا (شرق)	ژاپن
چهارم	آلمان	آلمان	انگلیس	کره	آلمان
پنجم	سوئیس	انگلیس	ژاپن	تایوان/ آلمان	کره/ تایوان

مأخذ: طرح مطالعاتی کاربردی نانوفناوری در صنایع دارویی، وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۱.

۲- ب) سرانه سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در حوزه نانو

بالاترین سرانه سرمایه‌گذاری در فناوری نانو در سال ۲۰۰۴ متعلق به کشور ژاپن بوده است (۷/۱ دلار به ازای هر نفر جمعیت). کره‌جنوبی، تایوان، امریکا، کشورهای عضو اتحادیه اروپا و چین به ترتیب با ۶/۱، ۴/۷، ۳/۴، ۱/۲ و ۰/۲ دلار به ازای هر نفر جمعیت در رده‌های بعدی قرار دارند. بالاترین میزان سرمایه‌گذاری به ازای هر میلیون دلار رشد ناخالص داخلی[1]، برابر ۳۵۰ دلار و متعلق به کره‌جنوبی است.

۳- ب) سرمایه‌گذاری خطرپذیر دولتی در فناوری نانو

شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر از سال ۱۹۹۶ به عرصه فناوری نانو پا نهادند. مجموع سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر در شرکت‌های مرتبط با فناوری نانو در سال ۲۰۰۲ برابر با ۲۶۱/۷ میلیون دلار بوده که از این مقدار ۲۰۷ میلیون دلار در شرکت‌های امریکایی، ۳۰/۱ میلیون دلار در شرکت‌های انگلیسی، ۱۲/۶ میلیون دلار در شرکت‌های آلمانی و ۶ میلیون دلار در شرکت‌های اسرائیلی و مابقی در سایر کشورها سرمایه‌گذاری شده است.

تاکنون عمده سرمایه‌گذاری خطرپذیر در زمینه فناوری نانو به امریکا متعلق بوده است. این امر ناشی از آن است که صنعت سرمایه‌گذاری خطرپذیر امریکا به طرز چشم‌گیری پیشرفته است، به‌طوری که سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیر در سال ۲۰۰۵ بیش از دو برابر سال ۲۰۰۴ در شرکت‌های نانوی ایالات متحده سرمایه‌گذاری کردند. ارقام سرمایه‌گذاری شده حاکی از بلوغ نسل اول شرکت‌های نوپای نانو است که سرمایه‌گذاری آن‌ها قبل از دهه جاری آغاز شده است.

۴- ب) تحقیق و توسعه (R&D)

امروزه برخی از کشورهای در حال توسعه در زمینه پژوهش و توسعه فناوری نانو و حمایت ملی از طرح‌های مرتبط با این فناوری فعالیت دارند. تا زمان نگارش این مقاله از ۶۳ کشور فعال در زمینه نانو، ۱۸ کشور به عنوان کشورهای در حال گذار و ۱۹ کشور به عنوان کشورهای در حال توسعه در سطح ملی به فناوری نانو پرداخته و دارای برنامه‌ریزی مصوب در این زمینه هستند و ۲۶ کشور دیگر پژوهش‌های شخصی و گروهی در این زمینه دارند.

همچنین بنا به گزارش سازمان‌های دولتی امریکا و کشورهای اروپایی، میزان

---

1. Gross Domenstic Product (GDP)

سرمایه‌گذاری جهانی در زمینه پژوهش و توسعه فناوری نانو، طی مدت ۸ سال تقریباً ۹ برابر شده و از رقم ۴۳۲ میلیون دلار در سال ۱۹۹۷ به رقم تقریبی ۴/۱ میلیارد دلار در سال ۲۰۰۵ رسیده است. توزیع این سرمایه‌گذاری‌ها در زمینه‌های مختلف در هر یک از کشورهای مورد بحث متغیر بوده است. مثلاً سهم پژوهش‌ها و آموزش‌های دانشگاهی در کشورهای کره جنوبی و تایوان ۲۰ درصد و در امریکا ۶۵ درصد و سهم پژوهش‌های صنعتی در امریکا ۵ درصد و در دو کشور تایوان و کره جنوبی ۶۰ درصد از کل سرمایه‌گذاری هر یک از آن‌ها بوده است. همچنین آزمایشگاه‌های دولتی و تأسیسات پایه تقریباً بین ۲۰ تا ۲۵ درصد از این سرمایه‌گذاری را در تمامی کشورهای مورد بحث به خود اختصاص داده‌اند.[۱]

ج) سرمایه‌گذاری بخش خصوصی

۱- ج) سرمایه‌گذاری شرکت‌ها برای محصولات تجاری

امروزه شرکت‌های بسیاری برای استفاده از دستاوردهای این فناوری خیز برداشته‌اند. به طوری که در بازار این فناوری، محصولات بهبود یافته با استفاده از فناوری نانو، از یخچال‌های ضد میکروب گرفته تا داروهایی با فرمولاسیون نانویی وجود دارد.

۲- ج) سرمایه‌گذاری خطرپذیر

مؤسسات سرمایه‌گذاری خطرپذیر دنیا طی سال ۲۰۰۵، ۴۸۰ میلیون دلار در شرکت‌های تازه کار سرمایه‌گذاری کرده و به این ترتیب از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ به‌طور کلی بالغ بر ۲ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری شده است.[۲] به نظر می‌رسد وجود رقابت بین شرکت‌ها باعث افزایش قابل‌توجه سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر در سال ۲۰۰۵ در زمینه فناوری نانو شده است. اما با وجود این سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر نسبت به کل سرمایه‌گذاری‌های فناوری نانو و سرمایه‌های دولتی و نیز سرمایه‌های مربوط به هزینه‌های تحقیق و توسعه چندان زیاد نبوده و با نسبت یک به ۱۹ عقب است. زیرا هنوز بسیار زود است که بتوان روی موفقیت سرمایه‌گذاری خطرپذیر و برگشت آن حساب کرد. تاکنون فقط ۹ درصد از فعالان حوزه نانو

---

۱. مصطفی سپهریان، «چشم‌انداز بین‌المللی سرمایه‌گذاری‌های دولتی در زمینه فناوری نانو در سال ۲۰۰۵»، ستاد ویژه فناوری نانو، فروردین ۱۳۸۵.

۲. براساس گزارش‌های منتشر شده از شرکت "Lux Research" مندرج در ماهنامه شماره‌های ۱۰۳ و ۱۰۷ فناوری نانو، ستاد ویژه فناوری نانو.

را شرکت‌های تازه کار با حمایت سرمایه‌گذاران خطرپذیر تشکیل می‌دهند؛ اما ۱۰ درصد از شرکت‌های تازه کارِ موردِ حمایت، ۴۳ درصد کل سرمایه‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. از مجموع ۱۴۳ شرکت تازه‌کار در زمینه فناوری نانو تنها ۹ درصد به ثمر رسیده‌اند. ۸۳ درصد همچنان به کار خود ادامه می‌دهند و ۸ درصد هم راکد بوده و یا در معرض خطر هستند. تاکنون ۲۵۸ مورد سرمایه‌گذاری در ۱۴۳ شرکت از ۱۳ کشور گزارش شده است.

د) توسعه بازار نانوفناوری

از آن‌جا که اقتصاددانان هنوز تحقیق و پژوهش در فناوری نانو را به‌طور جدی آغاز نکرده‌اند، دیدگاهشان تا حدودی غیرقطعی و مبتنی بر تجربهٔ الگوی فناوری‌های پیشین است. الگوی متداول این است که کاربردهای جدید، ابتدا گران‌تر از فناوری‌های موجود، ولی با کارایی بهتر خواهند بود. با این حال، فناوری‌های کاملاً جدید مثل تولید مواد شیمیایی برای تولید انبوه مدارات نانوالکترونیک در مقایسه با روش‌های فعلی لیتوگرافی میکروالکترونیک متفاوت است و می‌تواند ارزان‌تر هم باشد. به‌طور کلی نانوفناوری مزایای مهمی از جمله کوچک‌تر، سریع‌تر، قوی‌تر، ایمن‌تر و مطمئن‌ترشدن را عرضه می‌کند. در چنین زمانی به سرمایه‌گذاری برای تجهیزات تولیدی جدید و به میزبانی صنایعی نیاز خواهد بود که مواد خام، اجزا و ماشین‌های ساخت را تأمین می‌کنند. از آنجا که دستیابی به محاسبات اقتصادی مقیاس‌های تولیدی بزرگ و بهبود اکثر روش‌های ساخت کارا مستلزم زمان خواهد بود به‌نظر می‌رسد قیمت‌ها در ابتدا تا حدی بالا باشد.

فناوری نانو صنعت یا بازاری مانند فناوری زیستی نیست. فناوری نانو، فناوری توانمندی است که مهم‌ترین ویژگی آن در آینده ایجاد تحولات عظیم در علوم، صنایع و بازارهای موجود خواهد بود. بسیاری از فرصت‌های کسب و کار مربوط به نانوفناوری هنوز ایجاد نشده یا در مراحل توسعه قرار دارند. این‌گونه فرصت‌ها به سرمایه‌گذاری نیازمند است. با نگاهی اجمالی به پیش‌بینی بازارهای آتی نانوفناوری می‌توان به پررونق بودن آن در آینده - که مشوق اصلی برای سرمایه‌گذاران در این زمینه خواهد بود - پی برد.

در سال ۲۰۰۵ بیش از ۳۲ میلیارد دلار از محصولات فناوری نانو در جهان فروخته شد که این رقم دو برابر سال قبل از آن است. براساس آمار جدول ۸، برخی پیش‌بینی‌ها برای بازار محصولات مبتنی بر فناوری نانو تا سال ۲۰۱۵ بالغ بر ۱۰۰۰ میلیارد دلار و برخی دیگر

حدود ۲۶۰۰ میلیارد دلار[1] است. همچنین فناوری نانو، تا سال ۲۰۱۵ قادر به ایجاد ۱۲ میلیون فرصت شغلی خواهد بود.[2]

جدول ۸. تخمین بازار آتی محصولات وابسته به فناوری نانو

سال	تخمین بازار جهانی	منبع
۲۰۰۱	۳۱ تا ۳۵ میلیارد پوند	دولت آلمان (1999, CORDIS, 2001)
۲۰۰۵	۱۰۵ میلیارد پوند	سرمایه‌گذاری انقلابی (انگلستان- ۲۰۰۱)
۲۰۰۸	۵۰۰ میلیارد پوند	انجمن کسب و کار نانو در ایالات متحده (ایالات متحده، ۲۰۰۱)
۲۰۱۰	۷۰۰ میلیارد پوند	دولت ایالات متحده (۲۰۰۱) سرمایه‌گذاری انقلابی (انگلستان- ۲۰۰۱)
۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵	حدود ۱۰۰۰ میلیارد دلار	گروهNSET از مرکزNSTC ایالات متحده (۲۰۰۱)
۲۰۱۴	۲۶۰۰ میلیارد دلار	ویرایش چهارم «گزارش نانوفناوری»، Lux Research (۲۰۰۶)*

مأخذ: طرح مطالعاتی کاربردی نانوفناوری در صنایع رنگ، وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۲.

* www.luxresearchinc.com

1. Michael W. Holman, Ph. D. and e.tal, Lux Research, "The Nanotech Report", Investment Overview and Market Research for Nanotechnology, 4th Edition, 2006.

برآوردهای سال ۲۰۰۰ نشان می‌داد که تا سال ۲۰۱۵ ارزش محصولاتی که فناوری نانو در اجزای اصلی آن‌ها دخالت دارد به حدود یک تریلیون دلار (۱۰۰۰ میلیارد دلار) خواهد رسید. بر اساس گزارش‌های بنیاد ملی علوم و شورای ملی علوم و فناوری امریکا با عنوان «چشم‌انداز سرمایه‌گذاری‌های دولتی در زمینه فناوری نانو در سال ۲۰۰۵» در این مدت، صنایع مرتبط با فناوری نانو به حدود دو میلیون نفر نیروی کار نیاز خواهند داشت و فرصت شغلی به‌وجود آمده در فعالیت‌های پشتیبانی این فناوری به حدود سه برابرِ این تعداد خواهد رسید. مبنای این برآوردها، تحقیق پیمایشی گسترده‌ای است که در مورد صنایع قاره‌های امریکا، اروپا، آسیا و اقیانوسیه انجام شده است. پیش‌بینی‌های مؤسسهٔ پژوهشی میتسوبیشی ژاپن، بانک مرکزی آلمان، مؤسسه پژوهشی لاکس در امریکا و سازمان‌های دیگر، رقم یک تریلیون (یک هزار میلیارد) دلار تا سال ۲۰۱۵ را تأیید می‌کنند. در برآوردهای مؤسسه لاکس، کاربردهای فعلی نانومقیاس‌ها در صنایع الکترونیک و کاتالیزورها لحاظ نشده‌اند.

2. "The World Goes Nano. 51 Countries with R&D Programs and Funding in Nanotechnologies in 2004. The Race is on.", Monitoring report April 2004, Helmut Kaiser Consultancy.

۱۰. بررسی جایگاه ایران با استفاده از شاخص‌های منتخب

الف) اختراعات و انتشارات

سهم مقالات نانوفناوری از کل مقالات ایران، از ۰/۵ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۱/۵ درصد در سال ۲۰۰۴ رسیده است. در سال ۲۰۰۵ رشد تعداد کل مقالات ایران، ۴۱ درصد بوده و این در حالی است که رشد تعداد مقالات فناوری‌نانو در کشور، بیش از ۳ برابر و معادل ۱۳۵ درصد بوده است. ایران در سال ۲۰۰۴ با ۵۳ مقاله در رتبهٔ ۴۲ جهان و مقام دوم در میان کشورهای اسلامی قرار داشت و در سال ۲۰۰۵ با ۱۲۵ مقاله به جایگاه **۳۶** جهان و بالاتر از کشورهایی مانند بلغارستان، اسلواکی، اسلوانی و نروژ قرار گرفت (جدول ۹). ایران در بین کشورهای اسلامی همچنان در رتبهٔ **دوم** (بعد از ترکیه) و بالاتر از کشورهایی مانند مالزی، مصر و تونس قرار دارد. گفتنی است تعداد مقالات ترکیه در سال ۲۰۰۴ بیش از ۱۷۰ مقاله و سه برابر ایران بود که در سال ۲۰۰۵ این تعداد به ۲۱۰ مقاله رسیده و با توجه به رشد بیش‌تر تعداد مقالات ایران نسبت به ترکیه، فاصله این دو کشور از نظر تعداد مقالات کم‌تر شده است. در سال ۲۰۰۵، در بین کشورهای جهان، امریکا همچنان با بیش از ۱۱۰۰۰ مقاله در رتبهٔ نخست و کشورهای چین، ژاپن، آلمان، فرانسه، کرهٔ جنوبی، انگلیس و روسیه به ترتیب با ۸۸۰۷ ، ۵۴۳۷، ۴۲۹۱ ، ۳۰۰۵، ۲۵۶۳، ۲۳۴۳ و ۱۷۶۳ مقاله در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۹. رتبه کشورهای جهان براساس تعداد مقالات منتشره در خصوص نانوفناوری در سال ۲۰۰۵ میلادی

رتبه	نام کشور	تعداد مقالات	رتبه	نام کشور	تعداد مقالات
۱	امریکا	۱۱۶۲۷	۲۶	مجارستان	۲۹۶
۲	چین	۸۸۰۷	۲۷	یونان	۲۸۴
۳	ژاپن	۵۴۳۷	۲۸	فنلاند	۲۷۵
۴	آلمان	۴۲۹۱	۲۹	جمهوری چک	۲۶۷
۵	فرانسه	۳۰۰۵	۳۰	دانمارک	۲۵۴
۶	کره جنوبی	۲۵۶۳	۳۱	ایرلند	۲۵۴
۷	انگلستان	۲۳۴۳	۳۲	رومانی	۲۳۲
۸	روسیه	۱۷۶۳	۳۳	ترکیه	۲۱۴
۹	ایتالیا	۱۶۲۳	۳۴	پرتغال	۱۹۲
۱۰	هند	۱۴۶۴	۳۵	آرژانتین	۱۷۳

جدول ۹. رتبه کشورهای جهان براساس تعداد مقالات منتشره در خصوص نانوفناوری در سال ۲۰۰۵ میلادی

رتبه	نام کشور	تعداد مقالات	رتبه	نام کشور	تعداد مقالات
۱۱	تایوان	۱۳۸۹	۳۶	ایران	۱۲۵
۱۲	اسپانیا	۱۳۷۱	۳۷	بلغارستان	۱۲۲
۱۳	کانادا	۱۲۲۷	۳۸	اسلواکی	۱۰۹
۱۴	لهستان	۹۰۸	۳۹	اسلوونی	۹۹
۱۵	هلند	۷۸۹	۴۰	نروژ	۹۶
۱۶	سوئیس	۷۸۲	۴۱	تایلند	۹۰
۱۷	استرالیا	۷۵۴	۴۲	آفریقای جنوبی	۸۵
۱۸	سنگاپور	۷۱۲	۴۳	نیوزیلند	۷۶
۱۹	سوئد	۶۳۴	۴۴	مصر	۷۴
۲۰	برزیل	۶۳۴	۴۵	تونس	۷۲
۲۱	اسرائیل	۵۴۲	۴۶	لیتوانی	۶۱
۲۲	بلژیک	۵۲۸	۴۷	لتونی	۵۶
۲۳	مکزیک	۴۵۷	۴۸	شیلی	۵۲
۲۴	اوکراین	۴۲۶	۴۹	کرواسی	۵۱
۲۵	اتریش	۳۹۳	۵۰	ویتنام	۴۳

Source: The Nanotechnology Opportunity Report, Volume one, CMP Cientifica, 2002

گفتنی است که این رتبه‌بندی بیانگر تعداد مقالات خام هر کشور است؛ اما با نرمال‌سازی تعداد مقالات هر کشور به ازای هر یک میلیون نفر، رتبه بسیاری از کشورها مانند ایالات متحده امریکا و برخی کشورهای دیگر - که در رتبه‌بندی جدول ۹ پیشتاز بوده‌اند - تنزل می‌یابد. به‌طوری که رتبه ایران از ۳۶ به ۴۶، امریکا از ۱ به ۱۷، چین از ۲ به ۳۹، ژاپن از ۳ به ۱۶، آلمان از ۴ به ۹، فرانسه از ۵ به ۱۱، کره جنوبی از ۶ به ۸، انگلیس از ۷ به ۱۸، روسیه از ۸ به ۳۴ و ترکیه از ۳۳ به ۴۴ تنزل می‌یابد و رتبه برخی کشورها مانند سنگاپور، سوئیس، ایرلند، تایوان و غیره ... به‌دلیل جمعیت کم‌تر در جدول رتبه‌بندی جدید ارتقا می‌یابند (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. رتبه‌بندی کشورها براساس تعداد مقالات منتشره نرمال شده

رتبه	نام کشور	نرمال	تعداد مقالات	رتبه	نام کشور	نرمال	تعداد مقالات
۱	سنگاپور	۱۶۰/۰	۷۱۲	۲۶	لتونی	۲۳/۸	۵۶
۲	سوئیس	۱۰۴/۲	۷۸۲	۲۷	لهستان	۲۳/۵	۹۰۸
۳	اسرائیل	۸۵/۲	۵۴۲	۲۸	نروژ	۲۰/۸	۹۶
۴	سوئد	۷۰/۴	۶۳۴	۲۹	اسلواکی	۲۰/۰	۱۰۹
۵	ایرلند	۶۲/۸	۲۵۴	۳۰	نیوزیلند	۱۸/۲	۱۹۲
۶	تایوان	۶۰/۲	۱۳۸۹	۳۱	پرتغال	۱۸/۷	۷۶
۷	فنلاند	۵۲/۷	۲۷۵	۳۲	لیتوانی	۱۷/۰	۶۱
۸	کره جنوبی	۵۲/۵	۲۵۶۳	۳۳	بلغارستان	۱۶/۴	۱۲۲
۹	آلمان	۵۲/۲	۴۲۹۱	۳۴	روسیه	۱۲/۴	۱۷۶۳
۱۰	بلژیک	۵۰/۹	۵۲۸	۳۵	کرواسی	۱۱/۴	۵۱
۱۱	فرانسه	۴۹/۴	۳۰۰۵	۳۶	رومانی	۱۰/۴	۲۳۲
۱۲	اسلوانی	۴۹/۳	۹۹	۳۷	اوکراین	۹/۱	۴۲۶
۱۳	اتریش	۴۸/۱	۳۹۳	۳۸	تونس	۷/۱	۷۲
۱۴	هلند	۴۸/۰	۷۸۹	۳۹	چین	۶/۷	۸۸۰۷
۱۵	دانمارک	۴۶/۷	۲۵۴	۴۰	آرژانتین	۴/۳	۱۷۳
۱۶	ژاپن	۴۲/۷	۵۴۳۷	۴۱	مکزیک	۴/۲	۴۵۷
۱۷	امریکا	۳۹/۱	۱۱۶۲۷	۴۲	برزیل	۳/۴	۶۳۴
۱۸	انگلستان	۳۸/۷	۲۳۴۳	۴۳	شیلی	۳/۲	۵۲
۱۹	استرالیا	۳۷/۳	۷۵۴	۴۴	ترکیه	۳/۰	۲۱۴
۲۰	کانادا	۳۷/۳	۱۲۲۷	۴۵	آفریقای جنوبی	۱/۹	۸۵
۲۱	اسپانیا	۳۴/۰	۱۳۷۱	۴۶	ایران	۱/۸	۱۲۵
۲۲	مجارستان	۲۹/۷	۲۹۶	۴۷	تایلند	۱/۴	۹۰
۲۳	ایتالیا	۲۸/۰	۱۶۲۳	۴۸	هند	۱/۳	۱۴۶۴
۲۴	یونان	۲۶/۶	۲۸۴	۴۹	مصر	۰/۹	۷۴
۲۵	جمهوری چک	۲۶/۱	۲۶۷	۵۰	ویتنام	۰/۵	۴۳

Source: The Nanotechnology Opportunity Report, Volume one, CMP Cientifica, 2002
http://www.mnsu.edu/emuseum/information/population.

پرتال جامع علوم انسانی

ب) سرمایه‌گذاری

۱- ب) بودجه دولتی

بودجه دولتی ایران در مقایسه با برخی از کشورهای آسیایی با تأخیری چند ساله مواجه بوده است؛ اما در سال ۲۰۰۴ (۱۳۸۳) با تصویب بودجه‌ای تقریباً مناسب (حدود ۲۳/۵

میلیون دلار) حرکت خود را آغاز کرده است. بودجه پیشنهادی ایران برای سال ۲۰۰۵ (۱۳۸۴) با کاهش ۲۶/۴ درصدی به حدود ۱۷/۳ میلیون دلار (۱۵۶ میلیارد ریال مصوب) تقلیل یافت. بودجه سال ۲۰۰۶ نیز حدود ۱۳/۱ میلیون دلار (۱۴۵ میلیارد ریال مصوب) است. نکته مهم در این میان عملکرد بودجه‌های مصوب در ایران است که بسیار ضعیف بوده و این امر با توجه به برنامه‌های مصوب و لازم‌الاجرای سند راهبردی نانو موجب عدم تحقق اهداف تعیین شدهٔ آن هر سال شده است.

جدول ۱۱. بودجه دولتی ایران در مورد فناوری نانو در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶

سال مالی	مصوب		عملکرد	
	میلیون دلار	میلیارد ریال	میلیون دلار	میلیارد ریال
۲۰۰۴	۲۳/۵	۲۰۵	۶/۳۰۰	۵۵
۲۰۰۵	۱۷/۳	۱۵۶	۵/۷۳۵	۵۰
۲۰۰۶	۱۵/۸	۱۴۵	-	-

مأخذ: لوایح و قوانین بودجه سنواتی کشور.

۲- ب) سرانه سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در حوزه نانو

در سال ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ (۲۰۰۴ و ۲۰۰۵) میزان سرمایه‌گذاری ایران در حوزه فناوری نانو به ترتیب حدود ۶ و ۵ میلیون دلار بود. بنابراین با فرض ۷۰ میلیون نفر جمعیت برای ایران، سرانه سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در حوزه نانو در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ به ترتیب برابر با ۸/۵ و ۷/۸ سنت به ازای هر نفر بوده است. در حالی که سرانه سرمایه‌گذاری جهانی برای فناوری نانو در سال ۲۰۰۵ بالغ بر ۱/۹ دلار[1] به ازای هر نفر بوده است.[2] از این‌رو با محاسبه‌ای سرانگشتی می‌توان گفت که کشور ما نه تنها برای دسترسی به جایگاه مورد انتظار سند راهبرد آینده، بلکه فقط برای بیرون نماندن از گود رقابت، سالانه به سرمایه‌گذاری بیش از ۱۳۰ میلیون دلار در این زمینه نیازمند است.

---

۱. این میزان با تقسیم میزان بودجه صرف شده در ۶۲ کشور (که برنامه ملی نانو تدوین کرده‌اند) بر جمعیت آن‌ها (۴/۵ میلیارد نفر) به‌دست آمده است.

۲. عماد احمدوند، «سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای توسعه فناوری نانو»، فروردین ۱۳۸۵، ماهنامه شماره ۱۰۲ فناوری نانو.

۳- ب) سرمایه‌گذاری خطرپذیر در فناوری نانو

در ایران با مشارکت شرکت‌های خصوصی ۵ طرح به ارزش تقریبی ۱ میلیون دلار در حال اجرا و چند طرح دیگر نیز در حال برنامه‌ریزی است. در ضمن برخی از دستگاه‌های دولتی نیز به‌طور مستقل در فعالیت‌های مرتبط با نانو سرمایه‌گذاری کرده‌اند. برای مثال شرکت ملی نفت ایران در حال طراحی فرایندی برای تبدیل نفت خام سنگین به سبک با استفاده از نانوکاتالیست‌ها و سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران در حال فعالیت برای تولید نانوالماس است.

۴- ب) فعالیت‌های تحقیق و توسعه (R&D)

در حال حاضر در ایران پنج شرکت با مبلغی حدود ۳۰ الی ۴۰ میلیارد ریال (۲۷ الی ۳۶ میلیون دلار) و با حمایت دولت در این زمینه سرمایه‌گذاری کرده‌اند.

ج) بخش خصوصی

۱- ج) سرمایه‌گذاری شرکت‌ها برای محصولات تجاری

تعدادی از شرکت‌ها که آمار دقیقی از میزان فعالیت و وضعیت آن‌ها موجود نیست در این زمینه فعالیت دارند.

۲- ج) سرمایه‌گذاری خطرپذیر

به دلیل نبود زیرساخت‌های لازم برای مشارکت بخش خصوصی در سرمایه‌گذاری خطرپذیر در ایران، این نوع سرمایه‌گذاری با شکل و روندی که در کشورهای پیشرفته وجود دارد، دنبال نمی‌شود.

د) توسعه بازار نانوفناوری

برخی محصولات نانو از جمله یخچال‌ها و کولرهای گازی حاوی نانوذرات نقره (برای ضدعفونی کردن) به‌وسیله شرکت‌های خارجی به بازار ایران وارد شده است. گفتنی است علیرغم اعلام آمادگی برخی از مراکز و شرکت‌ها برای ارائه دیگر محصولات نانویی در کشور، به دلیل عدم کاربرد این محصولات در ایران، تقاضایی برای آن‌ها وجود نداشته است.[۱]

---

۱. برای مثال پژوهشگاه صنعت نفت قادر به تولید نانولوله‌های کربن با فناوری پیشرفته است؛ اما به‌دلیل عدم کاربرد آن با استقبال چندانی مواجه نشده است.

۱۱. نتیجه‌گیری

بررسی‌های علمی و تجارب جهانی نشان می‌دهد که فناوری‌های جدید دارای ویژگی‌هایی هستند و به همین علت توسعه آن‌ها با ساختارهای قدیمی امکان‌پذیر نیست این ویژگی‌ها[۱] عبارتند از:

- سرعت رشد بالا و نیاز به سیستم‌های انعطاف‌پذیر و پویا برای رشد،
- فاصله کم تحقیقات تا بازار،
- نیاز به قوانین و مقررات خاص،
- دانش‌محور بودن و نیاز به نیروهای متخصص،
- بین‌رشته‌ای بودن فناوری‌های جدید و نیاز به فعالیت‌های گروهی،
- نیاز به سرمایه‌گذاری خطرپذیر،
- نیاز به مراکز تجاری‌سازی و بازاریابی،
- ارزش افزوده بالا و حجم کم.

با توجه به ویژگی‌های فوق‌الذکر، فناوری‌های جدید الزامات خاص و تمهیدات ویژه‌ای برای توسعه می‌طلبند که به نظر می‌رسد بی‌توجهی به این الزامات در یکی دو دهه اخیر موجب شده است که تجربه‌های موفقی در زمینه فناوری‌های جدید عاید کشور نشده و با وجود سرمایه‌گذاری‌های خوب کشور در برخی از این فناوری‌ها، به دلیل ناآشنایی مدیران با مقوله «مدیریت توسعه فناوری‌های جدید»، فرصت‌های مهمی از لحاظ توسعه فناوری از دست برود. مانند عقب ماندگی در فناوری‌های پیشرفته‌ای چون زیست فناوری[۲] و فناوری اطلاعات[۳].

در ادامه به برخی از دلایل عدم توفیق کشور در برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح توسعه فناوری‌های جدید و سپس فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی فناوری نانو و نقاط ضعف و قوت آن در کشور پرداخته می‌شود.

دلایل عدم توفیق کشور در توسعه برخی فناوری‌های جدید عبارتند از:

- فرابخشی نبودن متولیان - که نتیجه آن رقابت متولیان امر در عین موازی‌کاری است،
- اولویت‌بندی نکردن شاخه‌های فناوری یا استفاده از روش‌های نادرست اولویت‌گذاری،

---

۱. رضا اسدی‌فرد و حسین صالحی وزیری، «مجموعه مقالات دومین همایش علم و فناوری، آینده و راهبردها»، مرکز تحقیقات استراتژیک، مجمع تشخیص مصلحت نظام.

2. Biotechnology
3. Information Technology

- واگذار کردن مدیریت فناوری‌های جدید به سیستم‌ها و مکانیسم‌های موجود،
- هدفمند نبودن پژوهش‌ها (ابتدا شروع به کار، بعد برنامه‌ریزی)،
- کامل نبودن زیرساخت‌های ملی توسعه فناوری‌های جدید،
- فقدان یا نقص قوانین و مقررات مورد نیاز برای رشد فناوری‌های جدید،
- نگاه دولتی به همه مسائل،
- عدم تفکیک وظایف سیاستگذاری و تصدی‌گری دولت در این زمینه.

فرصت‌ها و تهدیدهای پیش‌روی فناوری نانو عبارتند از:[1]

۱-۱۱. فرصت‌ها

الف) فرصت‌های موجود برای توسعه فناوری نانو

- نوپایی علم و فناوری نانو در جهان.
- امکان مشارکت در شبکه‌های تجاری جدید بین‌المللی.
- شدت نداشتن محدودیت‌های بین‌المللی برای ورود به فناوری نانو نسبت به سایر فناوری‌های پیشرفته (مانند فناوری هسته‌ای یا فناوری برخی تراشه‌های کامپیوتری).
- تأثیر فناوری نانو در ارتقای برخی مزیت‌های نسبی کشور از قبیل مواد، پتروشیمی و ... .

ب) فرصت‌های ناشی از توسعه فناوری نانو

- متمایز بودن ساختار صنعتی مورد نیاز با کارخانه‌های تولیدی به مفهوم سنتی.
- پایه‌های مشترک علمی و تکنولوژیکی برای کاربردهای صنعتی متعدد.
- تأثیر شگرف بر ارتقای سلامت و کیفیت زندگی عموم در بلندمدت.
- تأثیر قابل ملاحظه در ارتقای کیفی و کمی تولیدات کشور.

۲-۱۱. تهدیدها

الف) تهدیدهای موجود برای توسعه فناوری نانو

- تحریم‌های خارجی در زمینه سخت‌افزار، نرم‌افزار، مواد و همکاری مشترک.
- سرعت بالای تحولات فناوری نانو در کشورهای پیشرو نسبت به ایران.

---

۱. سند تکمیلی راهبرد آینده «راهبرد دهساله توسعه فناوری نانو در جمهوری اسلامی ایران (۱۳۸۴-۱۳۹۳)»، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری، تیرماه ۱۳۸۴.

- گسترش تحریم‌های خارجی به علت شناخته شدن کاربردهای جدید نظامی.
- افزایش شدت مهاجرت یکسویه متخصصین داخلی به خارج به دلیل عدم کارایی آنان در کشور.
- شکل‌گیری صنعت نانو در کشور به شکل غیر مبتنی بر تحقیق و توسعه.
- تسلط شرکت‌های خاص خارجی بر بازارهای جهانی و حتی داخلی.
- تجاری‌سازی یافته‌های پژوهشی داخل در خارج از کشور.

ب) تهدیدهای ناشی از توسعه فناوری نانو

- تضعیف مزیت رقابتی برخی از صنایع کشور به علت ورود این فناوری.
- تهدید امنیت ملی ناشی از عقب‌ماندگی در این فناوری.
- تهدیدهای اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از توسعه فناوری نانو (برای مثال افزایش آلودگی هوا به علت ازدیاد ذرات معلق مربوط به محصولات نانومقیاس از قبیل نانوذرات یا نانو پودرها).

۳-۱۱. نقاط قوت

- داشتن امکانات آزمایشگاهی لازم (هر چند ناکافی) برای شروع فعالیت‌های این فناوری.
- توجه مسئولین به این فناوری و ارادهٔ کشور برای دستیابی به جایگاه مناسب در فناوری نانو.
- وجود نیروی انسانی مستعدِ یادگیری در سطوح پایه.
- توان بالقوه نیروی انسانی در رشته‌های مرتبط برای فعالیت در حوزهٔ فناوری نانو.
- وجود قابلیت‌های متخصصان ایرانی داخلی و متخصصان ایرانی مقیم خارج از کشور.
- وجود بعضی بخش‌های تولیدی مزیت‌دار، با پتانسیل به‌کارگیری فناوری نانو برای ایجاد ارزش افزوده بیش‌تر.
- فراهم بودن برخی از زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری در حال توسعه برای فناوری‌های جدید در کشور، نظیر نهادهای فناوری، ارتباطات و فناوری اطلاعات.
- قانون سرمایه‌گذاری خارجی، قانون حداکثر استفاده از توان فنی و مهندسی، تولیدی، صنعتی و اجرایی کشور و غیره.
- بالا بودن سطح دانش فیزیک و شیمی کشور.

۴-۱۱. نقاط ضعف

- عدم آمادگی فکری، اقتصادی و فنی اغلب صنایع و بخش‌های اقتصادی کشور برای

به‌کارگیری فناوری نانو.

- انتظار دستیابی به دستاوردهای کوتاه‌مدت اقتصادی از سوی مسئولین و عموم مردم.
- بی‌تجربگی در مدیریت موضوعات فرابخشی.
- گسیختگی چرخه تجاری‌سازی تحقیقات کشور.
- کمبود نیروی انسانی متخصص و کارامد بالفعل در رده‌های مختلف.
- فقدان نظام آماری و اطلاع‌رسانی فناوری.
- عدم وجود بستر حقوقی کارامد.
- عدم تناسب عملکرد نهادهای وابسته به فناوری نانو با ویژگی‌های مورد نیاز این فناوری (برای مثال سرعت عمل لازم برای رشد این فناوری).
- بی‌توجهی نسبت به آموزش نیروهای متخصص در صنعت و مسائل مدیریتی توسعه فناوری نانو.
- تجربه ناچیز در زمینه فعالیت‌های مشترک در سطوح ملی و بین‌المللی.
- ناتوانی راهبری تئوریک پیشرو در موضوعات علمی.
- عدم جذابیت فضای داخلی برای جذب سرمایه‌های انسانی و مالی.
- بی‌ثباتی در نگرش‌ها نسبت به فناوری نانو با تغییر مسئولین.
- کمرنگ شدن بستر اجتماعی مورد نیاز برای توسعه فناوری نانو.

۱۲. پیشنهادها و راهکارها

نبود شکاف عمیق بین کشورهای در حال توسعه با کشورهای پیشرو و عدم شکل‌گیری شبکه‌های جهانی غیرقابل نفوذ (انحصار تکنولوژیک) در مورد فناوری نانو، فرصت بسیار مناسبی را برای کشورهای جهان سوم و در حال توسعه ایجاد کرده است تا در تمامی زمینه‌ها، فاصله‌های خود را با کشورهای پیشرفته دنیا از بین ببرند. در حال حاضر به دلیل جلب نشدن توجهات جهانی به کاربردهای نظامی نانو، فرصت بسیار مغتنم و ارزشمند است زیرا در آینده ممکن است همانند فناوری هسته‌ای و به بهانه کاربردهای نظامی، محدودیت‌های فراوانی از طرف قدرت‌های استعماری برای دستیابی به این فناوری گرانبها و حیاتی برای ایران و دیگر کشورهای جهان سوم ایجاد شود.

بی‌تردید توانایی‌های این فناوری در تمامی عرصه‌ها از جمله کاربردهای نظامی، تکنولوژی‌های فعلی را بی‌اثر، منسوخ و پیش پا افتاده خواهد ساخت و علاوه بر مسائل امنیتی و دفاعی، بر زندگی و سلامت عموم، رشد و گسترش صنایع، رونق اقتصادی کشورهای جهان

و ... تأثیر شگرف و غیرقابل تصوری خواهد داشت. در مقابل، در صورت عدم توجه به این فناوری و پیشرفت‌ها و تلاش‌های جهانی برای رسیدن به آن ***به دلیل ناچیز بودن فرصت باقیمانده*** برای مشارکت در عرصه‌های بین‌المللی نانو، با مشکلات بسیاری از جمله تحریم‌های موجود در زمینه تجهیزات علیه ایران، به خطر افتادن اقتدار کشور، فقدان دستاوردهای اقتصادی، از رده خارج شدن اغلب صنایع کشور - که در شرایط کنونی کهنه و فرسوده محسوب می‌شوند - و مسائل زیست‌محیطی پیچیده روبه‌رو خواهیم شد.

در ارزیابی فناوری و ارزشگذاری سرمایه‌های بالقوه و بالفعل هر کشور در تولید فناوری و آسیب شناسی آن، ارزیابی کیفی و کمی زیرساختارهای آن فناوری وزن مهم و تعیین‌کننده‌ای دارد. یکی از ملزومات توسعه فناوری‌های جدید توجه به زیرساخت‌های مربوط به آن است که باید شناسایی و تقویت شده و مورد استفاده بهینه واقع شود. زیرساخت‌های لازم برای این فناوری‌ها شامل موارد ذیل می‌شود:

- **تهیه و تدوین قوانین و مقررات مورد نیاز (زیرساخت قانونی)**

فراهم آوردن بستر قانونی، حمایت از شکل‌گیری هسته‌های مرتبط با فناوری مورد نظر و رشد و همه‌گیر شدن آن، قوانین مالکیت معنوی و فکری، اختصاص بودجه‌های مناسب از طرف دولت و ... باید در این قسمت مورد توجه قرار گیرد.

- **تأمین نیازهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری (تجهیزات، دستگاه‌ها، مواد و ...)**

در این قسمت ضمن مشخص کردن سخت‌افزار مورد نیاز (تجهیزات، دستگاه‌ها، مواد و...)، می‌بایست تجهیزات موجود در کشور شناسایی شده تا از این طریق کمبودها مشخص شود و پس از فراهم‌سازی تجهیزات، به‌طور متعادل در کشور توزیع و برنامه‌ای برای استفاده بهینه از آن تهیه و اجرا شود. استفاده از ابزارها و سازوکارهای بین‌المللی (فنی و اجرائی - عملیاتی) نیز کمک شایانی به رفع نیازهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری کشور خواهد کرد.

- **ایجاد نهادهای مرتبط**

در این مورد باید تشکیل و تجهیز نهادهای مرتبط با فناوری‌های جدید مانند دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و پژوهشی، دستگاه‌ها و انجمن‌های دولتی و غیردولتی و همچنین هماهنگی و تقسیم کار بین این نهادها و براساس برنامه‌های مدون، مدنظر قرار گیرد. ایجاد شبکه پژوهش داخلی یا پیوستن به شبکه‌های پژوهش بین‌المللی نیز بسیار مفید خواهد بود.

حمایت از سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر

امروزه شرکت‌های بزرگ، عامل اصلی رشد اقتصادی به شمار نمی‌روند و اقتصاد کشورهای توسعه‌یافته بر محور بنگاه‌های کوچک و متوسط می‌گردد.

سرمایهٔ خطرپذیر، سرمایه‌ای است که به همراه کمک‌های مدیریتی، در اختیار شرکت‌های جوان، کوچک، به سرعت در حال رشد و دارای آتیه اقتصادی قرار می‌گیرد. گفتنی است که در ابتدا تنها بخش دولتی می‌تواند هزینه‌های خطرات و عدم اطمینان فعالیت‌های نوآورانه را در حوزه فناوری تأمین و تحمل کند، بنابراین پرداختن به این موضوع با هدف درگیر کردن بخش خصوصی با فناوری نانو بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

ایجاد بانک اطلاعاتی

تشکیل بانک اطلاعات باید با هدف پیگیری تغییر و تحولات فناوری نانو و با این اقدامات مدنظر قرار گیرد: تهیهٔ فهرست تسهیلات و امکانات کلان علمی مورد نیاز، اطلاعات فعالان این حوزه، فهرست امکانات فنی و اجرائی در کشور، بانک اطلاعات فناوری، ابداعات و طرح‌های انجام شده و در دست انجام در داخل و خارج کشور، برنامه‌های پژوهشی بین‌سازمانی (داخلی و خارجی)، اطلاعات مربوط به بازار و مناطق مستعد صنعتی و اقتصادی.

- با توجه به این‌که فراهم آوردن زیرساخت در هر فناوری جدیدی موجب سرعت رشد و شکوفایی آن می‌شود؛ برای همراهی هرچه سریع‌تر کشور با موج جهانی نانوفناوری پیشنهاد می‌شود:

برای تکمیل هرچه سریع‌تر زیرساخت‌های مورد نیاز فناوری نانو در کشور اقدام عاجل انجام شود.

ـ با دقت در سند راهبردی نانوی کشور ملاحظه می‌شود که بخشی از بودجه نانو در ردیف بودجه دستگاه‌های اجرائی قرار گرفته است. برای جلوگیری از موازی‌کاری، تمرکز فعالیت‌های نانو و نیز جلوگیری از هدر رفتن منابع مالی کشور و ... پیشنهاد می‌شود:

بودجه نانوی کل کشور در یک نهاد فرابخشی متمرکز شود و این نهاد بر مبنای عملکرد دستگاه‌های ذی‌ربط، نسبت به تخصیص بودجه اقدام کند.

ـ در نهایت با توجه به مطالب بالا و نیز ملاحظات دیگر پیشنهاد می‌شود:

اجرای سریع، کامل، دقیق و به موقع سند راهبردی مصوب هیأت دولت برای رشد و اعتلای هرچه بیش‌تر و سریع‌تر نانوفناوری در کشور در دستور کار قرار گیرد.

منابع و مآخذ

۱. «گذری بر کاربردهای فناوری نانو»، ستاد ویژه فناوری نانو، ریاست جمهوری، مهر ۱۳۸۳.

۲. «*طرح مطالعاتی کاربردی نانوفناوری در صنایع دارویی*»، وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۱.

۳. «*طرح مطالعاتی کاربردی نانوفناوری در صنایع رنگ*»، وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۲.

۴. «راهبردهای توسعه فناوری نانو در امریکا و چند کشور دیگر»، دبیرخانه ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری.

۵. الزامی، محمدرضا، «*آشنایی با نانوتکنولوژی، تکنولوژی برتر قرن*»، دفتر مطالعات زیربنایی، مرکز پژوهش‌های مجلس، اسفند ۱۳۸۳، کد ۷۳۰۱.

۶. الزامی، محمدرضا، «*بررسی وضعیت فناوری نانو در ایران*» (گزارش دوم) ، دفتر مطالعات زیربنایی، مرکز پژوهش‌های مجلس، آبان ۱۳۸۴، کد ۷۵۲۸.

۷. «*تحلیلی بر سرمایه‌گذاری اتحادیه اروپا در زمینه نانوفناوری و کلیات ششمین برنامه تحقیقاتی این اتحادیه* (PF6)»، ستاد ویژه فناوری نانو، ریاست جمهوری.

۸. *راهبرد آینده (راهبرد دهساله توسعه فناوری نانو در جمهوری اسلامی ایران) (۱۳۸۴-۱۳۹۳)*، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو آبان، ریاست جمهوری، تیر ۱۳۸۴.

۹. *سند تکمیلی راهبرد آینده (راهبرد دهساله توسعه فناوری نانو در جمهوری اسلامی ایران) (۱۳۸۴-۱۳۹۳)*، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو آبان، ریاست جمهوری، تیر ۱۳۸۴.

۱۰. گروه آینده‌اندیشی، «روش‌های آینده‌نگاری تکنولوژی»، بنیاد توسعه فردا، تهران، ۱۳۸۴.

۱۱. قاضی‌نوری، سیدسپهر، «*سیاستگذاری و برنامه‌ریزی علم و فناوری*»، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی، دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری، تهران، ۱۳۸۱.

۱۲. دکتر درخشان، مسعود، «طبقه‌بندی دانش، *اقتصاد و مدیریت دانایی‌محور*» *(۱): مبانی اقتصاد دانایی‌محور*، مؤسسه عالی آموزش و پژوهش در مدیریت و برنامه‌ریزی، نشست بیست و یکم، آذر ۱۳۸۴، صص ۲۲-۲۳.

۱۳. «فناوری نانو و جایگاه آن در جهان امروز»، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو آبان، ریاست جمهوری، ۱۳۸۳.

۱۴. «راهبرد توسعه فناوری نانو در رژیم اشغالگر قدس»، دبیرخانه ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری، شماره ۴ - ۵، ویرایش اول، آذر ۱۳۸۳.

۱۵. «راهبرد توسعه نانوتکنولوژی در انگلستان»، دبیرخانه ستاد ویژه فناوری نانو، ریاست جمهوری، آبان ۱۳۸۱.

۱۶. فضای جهانی، «راهبرد توسعه فناوری نانو در فنلاند»، دبیرخانه ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری، شماره ۴-۵، ویرایش اول، آبان ۱۳۸۳.

۱۷. *فضای جهانی*، «راهبرد توسعه فناوری نانو در امریکا»، دبیرخانه ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری، شماره ۴، ویرایش اول، مهر ۱۳۸۳.

۱۸. فضای جهانی، «راهبرد توسعه فناوری نانو در ژاپن»، دبیرخانه ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری، شماره ۳-۵، ویرایش اول، آبان ۱۳۸۳.

۱۹. فضای جهانی، «آموزش فناوری نانو»، دبیرخانه ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری، شماره ۶، ویرایش دوم، مهر ۱۳۸۳.

۲۰. *فضای جهانی*، «معرفی شرکت‌های فعال در زمینه فناوری نانو»، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری، شماره ۷، ویرایش اول، آذر ۱۳۸۳.

۲۱. «*فرصت‌های نانو تکنولوژی*»، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری، پاییز ۱۳۸۲.

۲۲. «*سمت و سوی تحقیقات در نانو تکنولوژی*»، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ریاست جمهوری، پاییز ۱۳۸۲.

۲۳. «*نانو تکنولوژی انقلاب صنعتی آینده*»، مجموعه مقاله‌های بخش سیاستگذاری علوم پایه، نانوتیوب، علوم زیستی، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی، دفتر فناوری‌های ریاست جمهوری، جلد اول، تهران، ۱۳۸۰.

۲۴. «*نانو تکنولوژی انقلاب صنعتی آینده*»، مجموعه مقاله‌های بخش فنی- مهندسی، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی، دفتر فناوری‌های ریاست جمهوری، جلد دوم، تهران، ۱۳۸۰.

۲۵. فلیپ آنتون، ریچارد سیلبرگ لیمت، جیمز اشنایدر، «*انقلاب جهانی تکنولوژی، روندهای جهانی در بیوتکنولوژی، نانو تکنولوژی، تکنولوژی مواد و هم‌افزایی آن‌ها با تکنولوژی اطلاعات تا*

سال ۲۰۱۵»، مؤسسه رند، ۲۰۰۱، وحیدی مطلق، وحید، ملکی‌فر، عقیل، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی، ویرایش اول، زمستان ۱۳۸۰.

۲۶. ترجمه کمیته مطالعات سیاست نانو تکنولوژی، «*برنامه پیشگامی ملی نانوتکنولوژی: پیش به سوی انقلاب صنعتی بعدی*»، ناشر آتنا، تهران، ۱۳۸۰.

۲۷. «*نانو فناوری، سمت و سوی تحقیقات*»، ترجمه مغربی، مرتضی و شاهوردی، محمدرضا، ناشر آتنا، پاییز ۱۳۸۳.

۲۸. باقری، سیدکامران و محبوبی، جواد، «*سرمایه‌گذاری خطرپذیر*»، بنیاد توسعه فردا، تهران، ۱۳۸۳.

۲۹. قاضی نوری، سیدسپهر، «*سیاستگذاری و برنامه‌ریزی علم و فناوری*»، *مطالعه موردی نانوتکنولوژی در ایران*، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی، دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری، شهریور ۱۳۸۱.

۳۰. «چالش‌های موجود در برابر تجاری‌سازی محصولات نانوپزشکی»، ترجمه و تدوین، شجاعی، آسو، ستاد ویژه فناوری نانو، ریاست جمهوری، دی ۱۳۸۳.

۳۱. افشاری، حامد، «بررسی سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در حوزه فناوری نانو»، ستاد ویژه فناوری نانو، ریاست جمهوری، فروردین ۱۳۸۵.

۳۲. سپهریان، مصطفی، «چشم‌انداز بین‌المللی سرمایه‌گذاری‌های دولتی در زمینه فناوری نانو در سال»، ستاد ویژه فناوری نانو، ریاست جمهوری، فروردین ۱۳۸۵.

۳۳. «*مجموعه گزارش‌های ستاد ویژه فناوری نانو*»، نهاد ریاست جمهوری.

۳۴. هفتمین برنامه تحقیقاتی اتحادیه اروپا (PF7) .
Community Research & Development Information Service (CORDIS)

35. "The Knowledg-based Economy", Organisation for Economic Co-operation and Development, Head of Publications Service, OECD, General Distribution OCDE/GD(96)102, Copyright OECD, 1996 Paris 1996.

36.Paul A. David and Dominique Foray; " Economic Fundamentals of the Knowledge Society", 1 February 2002.

37. "National Nnotechnology Initiative Research and Development Funding

in the President’s 2007 Budget", Office of Science and Technology Policy, Executive Office of the President.of the United States.

38. "National Nnotechnology Initiative Research and Development Funding in the President’s 2006 Budget", Office of Science and Technology Policy, Executive Office of the President.of the United States.

39. "Analitical Perspectives, Budget of the United States Government", Fiscal Year 2007, Office of Manangment and Budget, Executive Office of the President.of the United States.

40. Amended proposal for a "Decision of the European Partliment and the Council"; concerning the 7th framework programme of the European Community for research, technological development and demonstration activities (2007-2013), Commission of the European Communities, Brussels, 28.6.2006, COM(2006) 364 final.

41. www.nano.gov

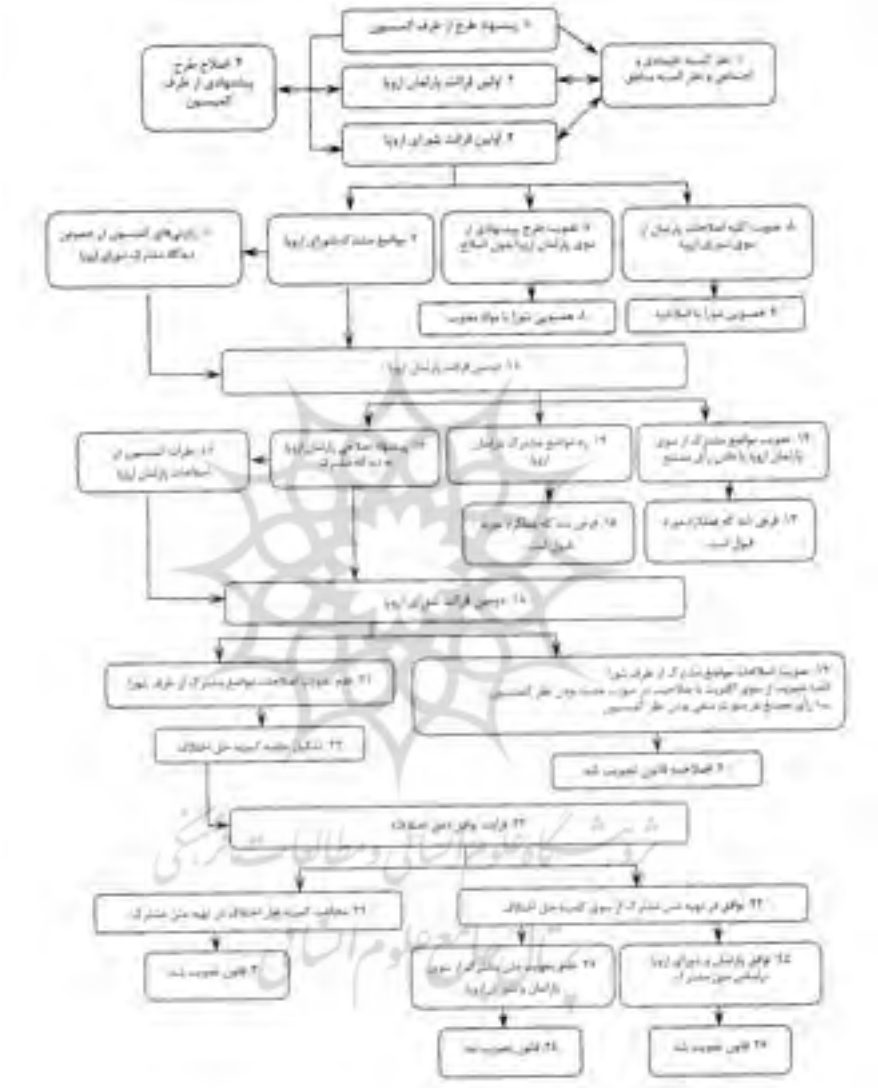
42. Community Research & Development Information Service (CORDIS), http://cordis.europa.eu/en/home.html

43. Http://www.nanoeurope.org

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پیوست ۱.

مراحل تصمیم‌گیری مشترک بخش‌های مختلف اتحادیه اروپا در اصلاح و تصویب (FP7)



پیوست ۲. برخی از اهداف و کاربردهای پیش‌بینی شده نانوفناوری در سال‌های آینده همراه با براورد تقریبی بازار هر بخش[۱]

۱. مواد و تولید محصولات

نانوفناوری تغییر مسیری است که محققان را در آینده قادر به ایجاد ساختارهایی از مواد خواهد کرد که در طبیعت وجود نداشته و علم و فناوری مرسوم نیز به ایجاد آن‌ها قادر نبوده است. انتظار می‌رود که این مقیاس به محض بلوغ فناوری نانو، به یک مقیاس بسیار کارا در تولیدات صنعتی تبدیل شود و موادی با تنوع و کارایی بسیار بالا، خواص و کارکرد منحصر به‌فرد و هزینه خیلی پایین تولید شود که ساختار و امکانات حاضر، توانایی تولید آن را ندارد.[۲]

تمامی فرایندهای شیمیایی در آینده مبتنی بر فناوری نانو خواهد بود. برای مثال نانوکاتالیست‌ها در صنایع مختلف از جمله پالایش نفت، پتروشیمی و مواد شیمیایی کاربرد بی‌شماری خواهد داشت. در این زمینه با فرض افزایش ده درصدی میزان سرمایه‌گذاری فعلی (۳۰ میلیارد دلار در سال ۱۹۹۹)، در ۱۰ الی ۱۵ سال آتی، سالانه حدود ۱۰۰ میلیارد دلار در این بخش سرمایه‌گذاری خواهد شد.

۲. علوم پزشکی و سلامت

همان‌طور که می‌دانیم سیستم‌های حیاتی موجودات زنده در اثر رفتار مولکولی در مقیاس نانومتری اداره و کنترل می‌شوند. یعنی مقیاسی که تمامی علوم از جمله شیمی، فیزیک، زیست‌شناسی و شبیه‌سازی کامپیوتری و ... در حال حرکت به آن سمت هستند. شاخه‌هایی از علوم پزشکی که اخیراً بسیار مورد توجه محققان نانو قرار گرفته است عبارتند از:

۱-۲. ژنتیک: استفاده از ابزارها و سیستم‌های نانوساختاری، موجب ارتقای فرایندهای آزمایشگاهی توالی ژنی[۳] و تشخیص ابراز ژن[۴] می‌شود. افزایش توان دانشمندان برای چینش و دستکاری ژنتیکی سیستم‌های زنده، روش‌های شناسایی و درمان بیماری‌ها را در انسان و

---

۱. مطالب این قسمت برگرفته از منبع زیر است:
«گذری بر کاربردهای فناوری نانو»، ویرایش اول، مهر ۱۳۸۳، شماره ۲/۱، ستاد ویژه فناوری نانو، ریاست جمهوری.

۲. مؤسسهٔ تحقیقاتی هیتاچی، مجلهٔ "Personal Communication"، سال ۲۰۰۱.

3. Genome Sequencing
4. Gene Expression

دیگر موجودات زنده دگرگون خواهد کرد.

۲-۲. دارو: نانوفناوری علاوه بر آسان‌سازی روش‌های تولید، بهبود کیفیت و خلوص داروها، راهکارهای بسیار مفیدی را برای دارورسانی[1] به بافت‌های بیمار ارائه می‌کند. این امر به دلیل آثار درمانی بسیار مطلوب و عوارض جانبی بسیار ناچیز به‌نحو حیرت‌انگیزی توان درمانی داروها را افزایش می‌دهد. در آینده حدود نیمی از داروهای تولیدی، به فناوری نانو متکی خواهند بود و در ۱۰ الی ۱۵ سال آینده، سالانه بیش از ۱۸۰ میلیارد دلار در این زمینه سرمایه‌گذاری خواهد شد.[2]

۲-۳. تحقیق و پژوهش: افزایش قابلیت‌های فناوری نانو، به‌طور خاص مطالعات پایه‌ای زیست‌شناسی و پاتولوژی سلولی را تقویت خواهدکرد. در اثر پیشرفت ابزارهای تحلیلگر جدید - که قادر به کار در مقیاس نانومتر باشند - خواص شیمیایی و مکانیکی سلول‌ها ازجمله فرایندهایی مثل تقسیم سلولی و غیره، قابل اندازه‌گیری و تغییر خواهند بود.

۲-۴. مراقبت‌های بهداشتی: نانوفناوری موجب ارتقای سطح مراقبت‌های بهداشتی-پزشکی و در نتیجه تشخیص و درمان سریع و بدون عوارض بیماری‌ها، افزایش طول عمر، بهبود کیفیت زندگی، افزایش مهارت‌های بدنی و ... خواهد شد.

۳. انرژی

دسترسی به انرژی ارزان، ایمن و تجدیدشونده، کلید توسعه پایدار در سطح جهان است. در کشورهای در حال توسعه، حدود دو میلیارد نفر از دسترسی به منابع جدید انرژی محرومند. امروزه با توجه به روند رو به رشد تقاضای انرژی در جهان و نیز مناقشات و مسائل به‌وجود آمده در این‌باره، شاید نانوفناوری بتواند خط بطلانی بر این مشکلات و چالش‌ها باشد. این امر به خصوص برای کشورهای عمده مصرف‌کننده انرژی (به‌ویژه نفت‌خام) به علت وابستگی شدید آن‌ها به منابع انرژی، حائز اهمیت است. به‌علاوه مسائل زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی نیز انگیزه بکارگیری فناوری نانو را مضاعف می‌کند. بنابراین کشورهای عمده مصرف‌کننده انرژی در تلاشند تا با استفاده از فناوری‌های مختلف، خود را از وابستگی به کشورهای صاحب ذخایر عمده هیدروکربوری در حوزه خلیج‌فارس رهایی بخشند.

---

1. Drug Delivery
2. Élan, E. Cooper From Nana Systems Company, *Personal Communication Journal, 2000.*

برای مثال پیشرفت‌های اخیر در نانوکاتالیست، برای کشورهای وابسته به درآمد حاصل از صادرات نفت خام تهدید چشمگیری محسوب می‌شود و این امر احتمالاً قادر به تغییر موازنه سیاسی و اقتصادی بازار سوخت‌های فسیلی خواهد بود. در این‌باره می‌توان به پیشرفته‌ترین صنعت مایع‌سازی زغال‌سنگ با استفاده از نانوکاتالیست‌ها در چین اشاره کرد که دولت امریکا نیز در این صنعت مشارکت دارد. این فناوری‌ها هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارند. علاقهٔ وزارت انرژی امریکا و دولت چین موجب شده که یک شرکت کوچک قراردادی ۲ میلیارد دلاری را به‌منظور تجاری‌سازی فناوری نانوکاتالیستی خود در صنعت مایع‌سازی زغال‌سنگ در منطقه‌ای دورافتاده در چین امضا کند.[۱]

علاوه بر این کاربرد فناوری نانو در پیل‌های سوختی، باطری‌ها، سلول‌های خورشیدی[۲] (پیل‌های فوتوولتائیک و پیل‌های تولیدکننده هیدروژن)، کاهش تلفات در انتقال نیرو (الکتریسیته) و صرفه‌جویی انرژی فناوری‌هایی هستند که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

نانوفناوری به‌طور چشمگیری می‌تواند کارایی ذخیره‌سازی و تولید انرژی را تحت تأثیر قرار دهد. حتی ممکن است انسان با دستیابی به فناوری ساخت مواد به صورت اتم به اتم، توانایی تولید مواد بسیار باارزش را مانند نفت، الماس، فلزات گرانقیمت و ... با هزینه بسیار پایین داشته باشد.

نانولوله‌های کربنی با وزنی حدود یک ششم وزن فولاد صد برابر از آن مستحکم‌تر بوده، دارای رسانش الکتریکی برابر با مس و رسانایی گرمایی هم‌ارز با الماس هستند. نانوفیلترها

---

۱. توزیع منابع زغال‌سنگ جهان، بسیار متفاوت‌تر از منابع نفت و در کشورهایی مانند چین، امریکا، روسیه، استرالیا و هند متمرکز است. استخراج ارزان سوخت از زغال‌سنگ می‌تواند موازنهٔ قوا را از نظر ذخایر انرژی جهان تغییر دهد. روسیه، به‌ویژه به علل نزدیکی روابط با دیگر کشورهای اتحاد شوروی سابق و نیز دستیابی به منابع عمدهٔ زغال‌سنگ و گاز طبیعی عملاً از هر نوع تغییر قوا در زمینهٔ انرژی سود می‌برد. در این میان کشورهایی که دارای اقتصاد تک‌محصولی متکی به صادرات نفت‌خام هستند بسیار در معرض تهدید قرار دارند.

۲. پیل‌های سوختی ارزان‌قیمت، انعطاف‌پذیر و پربازده را اغلب یکی از آینده‌دارترین محصولات فناوری نانوی سبز می‌دانند. وزارت دفاع امریکا در سال ۲۰۰۴ بودجه‌ای به ارزش بیش از ۱۸ میلیون دلار به سه شرکت تازه تأسیس در زمینه فناوری نانو اعطا کرد تا کاربردهای نظامی انرژی خورشیدی را توسعه دهند. در این پیل‌ها نانوذرات غیرآلی به عنوان نقاط کوانتومی که طیف وسیعی از نور خورشید را جذب می‌کنند روی ورقه‌های بزرگی از فویل‌های فلزی قرار داده می‌شوند. این ورقه‌ها را می‌توان لوله کرد و مانند روکش‌های پلاستیکی روی بام خانه‌ها نصب نمود. با این فناوری، می‌توان انرژی مورد نیاز منازل و ساختمان‌ها را تأمین کرد.

می‌توانند در میدان‌های نفتی به جداسازی مواد کمک کنند و کاتالیست‌های نـانو قادرنـد در فرایند پالایش نفت تأثیر چندین میلیارد دلاری داشته باشند کـه ایـن امـر خـود در بهبـود کیفیت فراورده‌های نفتی و کاهش هزینـه‌هـای آن مـؤثر خواهـد بـود. فقـط در مـورد پیـل سوختی، تا سال ۲۰۱۰ بازاری حدود ۱۷ میلیارد دلار در امریکای شمالی و بـین ۴۰ تـا ۵۰ میلیارد دلار در دنیا پیش‌بینی می‌شود.[1]

۴. محیط زیست

امروزه برنامه‌های توسعه اغلب کشورهای جهان براساس ملاحظات زیست‌محیطی یـا همـان توسعه پایدار بنا شده است. هرچند که تاکنون اغلب به‌دلیل مسـائل سیاسـی و بنگاهـداری، ملاحظات تجاری و اقتصادی از اهمیت بیش‌تری نسبت به مسائل زیست‌محیطـی برخـوردار بوده‌اند. اما با شکل‌گیری و رشد سازمان‌های غیردولتی (NGO)ها و نظارت‌های عمومی این رابطه به تدریج به نفع مسائل زیست‌محیطی در حـال موازنـه اسـت. در ایـن میـان علـوم و فناوری نانو به صاحبان صنایع آلاینده و نیز عوامل تخریب‌کننده محیط‌زیست کمک شـایانی خواهد کرد تا بتوانند فرایندهای سبز (فرایندهای بدون آلـودگی یـا بـا حـداقل آلـودگی) را جایگزین فرایندهای آلاینده محیط‌زیست کنند. اما به منظور سرعت بخشیدن به این فراینـد لازم است دانشمندان علوم نانو - که خواص بنیادی نانوساختارها را بررسـی مـی‌کننـد - بـا فعالان و دانشمندانی که برای درک حوزه محیط زیسـت تـلاش مـی‌کننـد، تعامـل سـازنده داشته باشند.

علوم و فناوری نانو تأثیر چشمگیری در درک مولکولی فرایندهای طبیعی با مقیاس نانو دارد که خود به حل مسائل زیست‌محیطی از طریق توسعهٔ فناوری‌های سبز (با تولید کـم‌تـر محصولات مضر) و نیز تولید محصولات زیست تخریـب‌پـذیر و قابـل بازیافـت و بـه تبـع آن کنترل انتشار آلاینده‌ها و حتی حذف مواد زائد و آلاینده[2] منجر خواهد شد.

پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد نانوفناوری در مدت ۱۰ الی ۱۵ سال آینده، در امر روشنایی به پیشرفت‌هایی دست خواهد یافت که می‌تواند مصرف جهانی انرژی را تا بیش از ۱۰ درصد

---

1. James Brooks Avey, "No More Smog , Less Noise, Lower Costs", Technology Investor (June 2000):51.

۲. برای مثال، نانوفناوری توان حذف آلودگی‌های کوچک از منابع آب (کم‌تـر از ۲۰۰ نـانومتر) و هـوا (زیـر ۲۰ نانومتر) و اندازه‌گیری و کاهش مداوم آلودگی در مناطق بزرگ‌تر را دارد.

کاهش دهد. این امر علاوه بر صرفه‌جویی ۱۰۰ میلیارد دلاری به کاهش ۲۰۰ میلیون تنی انتشار کربن (گازهای گلخانه‌ای) منجر خواهد شد.[1]

۵. نانوالکترونیک، ارتباطات و کامپیوتر

در حال حاضر حتی بدون استفاده از فناوری نانو سرعت پیشرفت نانوالکترونیک آنچنان بالاست که تصور آینده این شاخه از علم و فناوری را بسیار مشکل و غیر قابل پیش‌بینی کرده است. در صنعت کامپیوتر قابلیت نانوماشین‌ها برای کوچک کردن ترانزیستورها روی تراشه‌های سیلیکونی می‌تواند انقلابی در این زمینه به وجود آورد. همچنین از فناوری‌نانو برای ساخت نسل جدیدی از اجزای کامپیوتری استفاده خواهد شد. کامپیوترهای مولکولی می‌توانند اجزایی را در خود جای دهند که این اجزا، ظرفیت پذیرش تریلیون‌ها بایت اطلاعات را دارند و این در حالی است که کل این ساختار حتی از یک حبه قند هم کوچک‌تر است.

با استفاده از این فناوری می‌توان ظرفیت ذخیره‌سازی اطلاعات را حدود ۱۰۰۰ برابر یا بیش‌تر افزایش داد که در نهایت به ساخت ابزارهای ابرمحاسباتی با حجم یک ساعت مچی منتهی شود و ظرفیت نهایی ذخیره اطلاعات به حدود یک ترابیت در هر اینچ مربع برسد و این امر ذخیره‌سازی ۵۰ عدد DVD یا بیش‌تر را در یک هارد دیسک با ابعاد یک کارت اعتباری امکان‌پذیر می‌سازد.

۶. بیولوژی، کشاورزی و آب

نانوفناوری به تغییرات شگرفی در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب منجر 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 خواهد کرد. این فناوری مستقیماً از طرق مختلف در پیشرفت کشاورزی سهیم خواهد بود. در این‌باره به موارد ذیل اشاره می‌شود:

- مواد شیمیایی زیست تخریب‌پذیر که برای تغذیهٔ گیاه یا حفظ آن در برابر حشرات به شکل مولکولی طراحی شده‌اند،
- ارتقای ژنتیکی گیاهان و حیوانات،

---

1. NNI: The Initiative and Its Implementation Plan, July 2000, p. 93.

- انتقال ژن‌ها و دارو به حیوانات،

- فناوری‌های تست DNA از نوع نانوآرایه‌ای توان درک بسیاری از موارد پیچیده علمی را در اختیار یک دانشمند قرار می‌دهد. برای مثال یک گیاه‌شناس با استفاده از این فناوری توانایی تشخیص نوع ژن ابرازی در یک گیاه را هنگام مواجهه با تنش شوری یا خشکسالی به دست می‌آورد.

• آب

امروزه جمعیت جهان در حال افزایش و منابع آب آشامیدنی در حال کاهش است و بیش از یک میلیارد نفر در سطح جهان از دسترسی به آب آشامیدنی سالم محرومند. آب آلوده هر سال تقریباً جان ۱۵ میلیون کودک زیر پنج سال را می‌گیرد. بر اساس پیش‌بینی سازمان‌ملل، در سال ۲۰۲۵ میلادی، ۴۸ کشور جهان (برابر با ۳۲ درصد جمعیت جهان) با کمبود آب آشامیدنی مواجه می‌شوند.[1] خالص‌سازی و نمک‌زدایی آب از مسائل مورد توجه در آینده است. زیرا در آینده میزان استفاده از آب شرب با دو برابر شدن سرعت افزایش جمعیت و کمبود آب ناشی از آن - که بر اثر آلودگی تشدید هم می‌شود - افزایش می‌یابد. بنابراین تأمین آب شرب در آینده یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های دولت‌ها خواهد بود. پژوهشگران در حال ساخت نانوفیلترها و نانوذراتی هستند که قادرند آب‌های غیر قابل شرب را تصفیه کنند. در حال حاضر به کمک فناوری نانو، دستگاه‌هایی ساخته شده است که این دستگاه‌ها آب دریا را با انرژی ۱۰ برابر کم‌تر از دستگاه اسمز معکوس و حداقل ۱۰۰ برابر کم‌تر از دستگاه تقطیر نمک‌زدایی می‌کنند. این امر نویددهندهٔ موفقیت‌های بزرگ آینده در این زمینه است.

۷. حمل و نقل و هوا فضا

۷-۱. حمل و نقل

صنعت خودرو به‌دلیل ساختار، ویژگی‌های خاص و فشارهای وارد به آن برای افزایش ایمنی و کاهش مصرف سوخت و نیز رعایت سلیقه مشتریان و تنوع مدل‌های منطبق با مد روز، بازار بکر و مستعدی برای فناوری نانو است. اما گفتنی است که تا تجاری شدن تکنیک‌های

1. NNI: The Initiative and Its Implementation Plan, July 2000, p 95.

فناوری نانو در صنایع خودروسازی، راه طولانی در پیش است.

در آینده‌ای نه چندان دور نانومواد و نانوالکترونیک و همچنین کاربرد سیستم‌های الکترومکانیک به جای هیدرولیک، خودروهایی سبک‌تر، سریع‌تر و ایمن‌تر تولید خواهند کرد و جاده‌ها، پل‌ها، باندهای پرواز، خطوط لوله و خطوط ریلی بادوام، مطمئن و ارزان‌تر ایجاد خواهد شد. در مورد صنعت خودرو نیز - که بازار بسیار بزرگ و گرانبهایی در اختیار دارد - درآمدی فراتر از یک تریلیون دلار پیش‌بینی می‌شود.

۲-۷. هوا و فضا

محدودیت‌های شدید سوخت برای حمل بار به مدار زمین و ماورای آن و اشتیاق فرستادن فضاپیما برای مأموریت‌های طولانی به مناطق دور از خورشید - که انرژی خورشیدی به شدت ناچیز است - کاهش مداوم اندازه، وزن و توان مصرفی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. مواد و ابزارآلات نانوساختاری، امید به حل این مشکل را به‌وجود آورده است. همچنین طراحی و ساخت مواد سبک‌وزن، پرقدرت و مقاوم در برابر حرارت از طریق ساخت در مقیاس نانو[1] - که در هواپیماها، راکت‌ها، ایستگاه‌های فضایی و سکوهای اکتشافی سیاره‌ای یا خورشیدی بکار می‌روند - بسیار تعیین‌کننده است. پیش‌بینی می‌شود محصولات هوافضای حاصل از نانوفناوری در ۱۰ سال آینده، سالانه بازاری ۷۰ میلیارد دلاری داشته باشند.[2]

۸. امنیت ملّی

حاصل اغلب فناوری‌های نوین ابتدا در کاربردهای نظامی، دفاعی و امنیت ملی تبلور پیدا کرده و گاهی از صنایع نظامی به سمت صنایع دیگر و کاربردهای اقتصادی و اجتماعی راه می‌یابند.[3] بنابراین در صورت عدم توجه به این مسأله دور از ذهن نیست که در آینده‌ای نه چندان دور، مشکلات امنیتی بسیار پیچیده‌تر و فراتر از انرژی هسته‌ای برای کشور پیش آید. یکی از کاربردهای این فناوری، استفاده از آن در سیستم‌های امنیتی است که گاهی حتی می‌توانند با امنیت ملی هم درگیر باشد. در این زمینه می‌توان با استفاده از فناوری‌نانو ابزارهای بسیار پیشرفته و در عین حال کوچکی ساخت که اطلاعات مهم امنیتی را بدون

---

1. Nanofabrication

۲. همان، *(Personal Communiction)*.

۳. نمونهٔ بارز آن ظهور اینترنت در قرن بیستم است.

کم‌ترین خطر لو رفتن منتقل کنند. همچنین این فناوری می‌تواند در زمینه آموزش نیروی انسانی به دولت‌ها یاری رساند و حتی در مواقعی که خطر نیروی انسانی را تهدید می‌کند به جای آن در مناطق پرخطر مورد استفاده قرار گیرد.

در این‌جا مثال‌های دیگری از کاربردهای نانو در این زمینه ذکر شده است:

- برتری اطلاعاتی از طریق نانوالکترونیک پیشرفته به‌عنوان یک قابلیت مهم نظامی،
- امکان آموزش مؤثرتر نیرو به کمک سیستم‌های واقعی مجازی پیچیده‌ترِ حاصل از الکترونیک نانوساختاری،
- استفادهٔ بیش‌تر از اتوماسیون و رباتیک پیشرفته برای جبران کاهش نیروی نظامی،
- کاهش خطر برای سربازان و بهبود کارایی خودروهای نظامی،
- دستیابی به کارایی بالاتر (وزن کم‌تر و قدرت بیش‌تر) در صحنه‌های نظامی و در عین‌حال نقص فنّی و هزینهٔ کم‌تر ادوات نظامی،
- پیشرفت لازم در امر شناسایی و در نتیجه مراقبت عوامل شیمیایی، زیستی و هسته‌ای،
- بهبود طراحی در سیستم‌های مورد استفاده در کنترل و مدیریت عدم تکثیر سلاح‌های هسته‌ای،
- تلفیق ابزارهای نانو و میکرومکانیکی برای کنترل سیستم‌های دفاع هسته‌ای.

همان‌طور که در بالا هم ذکر شد در برخی موارد فرصت‌های اقتصادی و نظامی مکمل هم هستند. این امر سبب می‌شود که کاربردهای بلندمدت نانوفناوری در زمینه‌های دیگر پشتیبانی‌کننده امنیت ملّی و بالعکس باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی