

ملاحظات پیرامون نحوه برخورد کشور با نانوفناوری

مرتضی مغربی

گروه مطالعاتی آینده اندیشی، دبیرخانه ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

جمهوری اسلامی ایران

کلمات کلیدی: نانوفناوری، راهبردهای تحقیقاتی، اولویت‌های ملی، ایران

چکیده

نانوفناوری جبهه جدیدی از صنایع است، که بی‌شک مانند جبهه زیست‌فناوری و فناوری اطلاعات همه‌گیر خواهد شد. قطعاً در تمام زمینه‌های این فناوری گسترده نمی‌توانیم درگیر شویم و سیاست کشور ما در برخورد با این فناوری در زمینه‌های تحقیقاتی مختلف، می‌تواند متفاوت باشد.

در این مقاله راهبردهای تحقیقاتی محتمل در نانوفناوری از منظر سرعت عمل و تازگی تحقیق مورد بحث قرار گرفته‌اند. همچنین از آنجایی که مدیریت این فناوری نیازمند آگاهی از شرایط خاص حاکم بر آن است، قلمروی نانوفناوری به صورت یک درخت سلسله‌مراتبی چهارسطحی از رویکردها، عناصر پایه و کاربردها ارائه شده است و موارد دارای اولویت بر حسب سهولت دسترسی، فاصله علمی با دنیا، گستردگی بازار و اهمیت راهبردی شناسایی شده و فرصت‌ها و تهدیدها و میزان تعهد لازم در برابر آنها بیان شده است. بدیهی است این مقاله گام اول در راستای ارائه اولویت‌های نانوفناوری کشور است و برای تدوین کامل آنها مباحث مفصل‌تری مورد نیاز می‌باشد.

دیگر برای ایجاد جو ایده‌پردازی، نشاط کارآفرینی و همهمه تجاری‌سازی نیازمند زیرساختار، نیروی انسانی، شبکه‌سازی و هماهنگی، انضباط اجرایی و برنامه‌ریزی و بالاخره افزایش آگاهی و دغدغه عمومی است. لذا نقاط ضعفی که در رابطه با موارد فوق در سطح برنامه‌ریزی و اجرایی کشورمان در هنگام برخورد با فناوری‌های گذشته رخ نمود، اکنون نیز توسعه نانوفناوری را تهدید می‌کند.

از سوی دیگر تفاوت عمده نانوفناوری با دیگر فناوری‌ها - یعنی اتکای زیاد آن بر علم محض - مسائل جدیدی را می‌آفریند که تا کنون سابقه نداشته است. با این وجود، این مسأله می‌تواند به جای تهدید، فرصتی نیز برای نظام دانشگاهی نسبتاً توسعه‌یافته ما باشد؛ چرا که اگر مؤسسات آموزشی و پژوهشی راهبری مسیر را برعهده گیرند، برخلاف فناوری‌های گذشته عمده مسیر ایجاد صنایع نانوفناوری پیموده خواهد شد.

واضح است، که استفاده صرف از ابزارهای کلاسیک مدیریت فناوری برای اتخاذ تصمیمات منطقی در سطح ملی راهگشا نیست و لازم است با جنبه‌های سیاست‌گذاری این فناوری نیز آشنا باشیم. در اینجا در راستای لزوم پرورش و شفاف‌سازی مباحث سیاست‌گذاری نانوفناوری راهبردهای تحقیقاتی احتمالی از سه منظر سرعت عمل و تازگی تحقیق (به عنوان یک فناوری نو) و همچنین نوع فناوری (به عنوان یک فناوری خاص) مورد بحث قرار گرفته و در پایان پیشنهادات اجرایی ارائه می‌گردند.

نانومقیاس، مقیاسی میانی مابین اندازه‌های میکرونی صنعت رایانه و میکروالکترونیک تا اندازه‌های اتمی و آنگسترومی دانش شیمی است، که تاکنون بشر مواد و سیستم‌های چندانی را با ظرفتهای در حد این مقیاس نساخته و از خواص آن به خوبی دیگر مقیاس‌ها آگاه نبوده است. در واقع از ۵۰ سال پیش [۱] امکان بهره‌برداری از این پتانسیل عظیم پیش‌بینی شده بود، اما تازه در سالهای اخیر با بسط میکروالکترونیک به مقیاس‌های زیرمیکرونی، بسط شیمی به ساختارهای مولکولی پیچیده (و بزرگ) و توانایی زیست‌شناسان به دستکاری و بهره‌گیری از نانوساختارهای طبیعی این رؤیا به واقعیت نزدیک شده است.

به دلیل ویژگی‌های ذاتاً جدید مواد و سیستم‌های نانومقیاس، سرمایه‌گذاری‌های هنگفتی در سطح جهان روی آن انجام شده است [۲]. به فاصله اندکی از اوج‌گیری همهمه نانوفناوری در سطح دنیا، شاهد حرکت‌هایی در بدنه تحقیقاتی و اجرایی کشورمان در جهت ورود به موقع کشور به این عرصه بوده‌ایم.

این مسأله که نانوفناوری تنها موجی از فناوری است که کشور ما به موقع نسبت به اهمیت آن هشیار شده است، لزوم برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری متقن‌تر را بیشتر آشکار می‌کند. تجربه تلخ موج فناوری اطلاعات و زیست‌فناوری بیانگر میزان آسیب‌پذیری توسعه کشورمان از ناپختگی مباحث سیاست‌گذاری فناوری است.

در این راستا نانوفناوری نیز مثل هر موج فناوری

۲- راهبردهای تحقیقاتی محتمل

۱-۲- راهبردهای تحقیقاتی از منظر سرعت عمل

در سیاست‌گذاری فناوری دو راهبرد افراطی و تفریطی برای تدوین برنامه‌ها می‌تواند وجود داشته باشد؛ یکی عمل‌گرایی مطلق و دیگری بهینه‌اندیشی مطلق.

عمل‌گرایی بر تعجیل در پیمودن همه مسیرهای محتمل و آزمودن نتایج تکیه دارد، حال آن که بهینه‌اندیشی بر تأمل در انجام هر گونه اقدامی تا زمان روشن شدن افقهای تحقیقاتی و برگزیدن مسیرهای پژوهشی معدود پس از انجام بررسی‌های طولانی اشاره می‌نماید. بدیهی است هر یک از این راهبردها معایبی را با خود به همراه دارند.

اگرچه عمل‌گرایی مطلق در حین اجرا با مشکل کمبود منابع مواجه می‌شود، اما بهینه‌اندیشی مطلق در حال حاضر معایب بیشتری دارد؛ چرا که ناشناخته‌بودن سمت و سوی غایی تحقیقات و نوآوری‌ها، سبب افزایش خطا و عدم قطعیت در برنامه‌ریزی‌ها می‌شود و لذا اگر بیش از حد به بهینه‌اندیشی پردازیم، بدون این که دقت برنامه‌ها را افزایش دهیم، زمان را از دست خواهیم داد.

بنابراین راهبرد متعادل را می‌توان مخلوطی از عمل‌گرایی و بهینه‌اندیشی دانست؛ بدین شکل که عمل‌گرایی غالب باشد، اما بتدریج با گذر زمان و روشن شدن افق‌های کاربردی وزنه بهینه‌اندیشی سنگین‌تر شود.

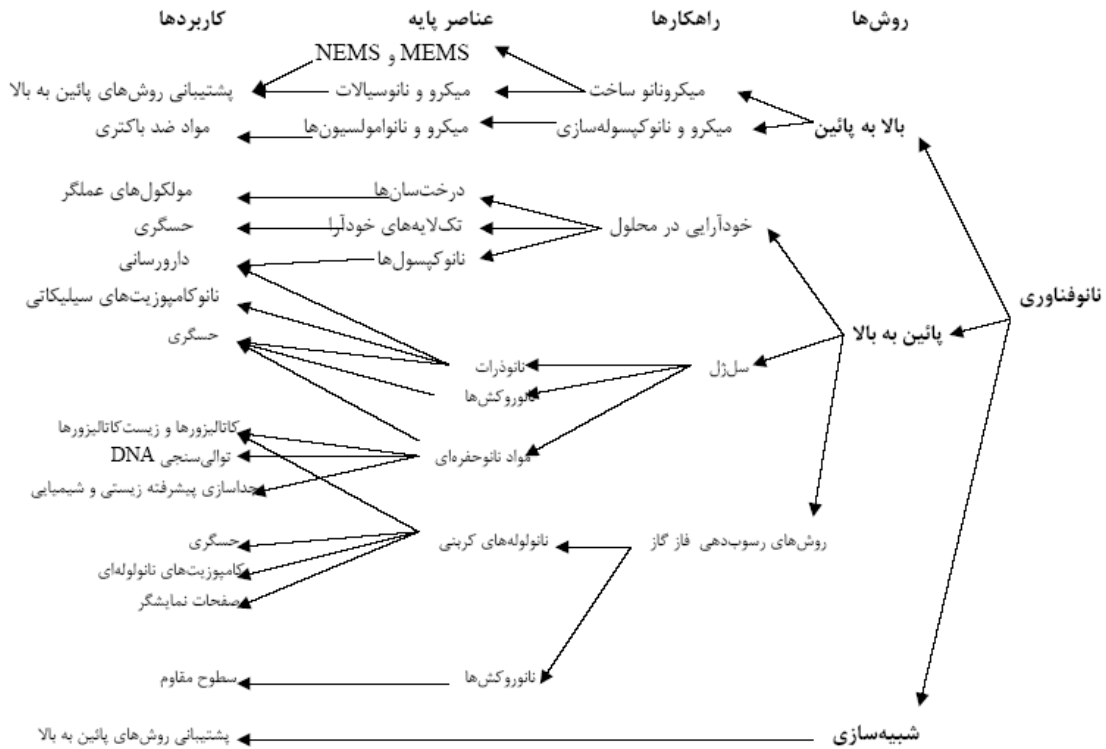
۲-۲- راهبردهای تحقیقاتی از منظر تازگی تحقیق

گذشته از سرعت عمل، نوع تحقیق می‌تواند تقلیدی یا غیرتقلیدی باشد. به عبارت دیگر می‌توان سیاست "پیگیری افق‌های شناخته‌شده کاربردی" یا سیاست "ترویج رشد نوآوری‌های ذاتاً آزادانه" را اتخاذ کرد. این دو راهبرد نیز مزایا و معایب خاص خود را دارند. سیاست اول کاربردی‌تر است و صنایع به آن راغب‌ترند و دانشگاه تنها با سفارش صنعت می‌تواند درگیر آن شود، در حالی که در مورد دوم دانشگاه باید به خلق کاربرد از مبانی علمی پردازد و آن کاربردها را به صنعت و احیاناً دولت پیشنهاد کند.

اگرچه سیاست اول در کوتاه‌مدت راهگشای مشکلات صنعت می‌باشد، اما اتکای زیاد بر آن سبب خواهد شد تا دیگر نانوفناوری به عنوان یک فناوری انقلابی میان‌بری برای توسعه ملی و عملی‌کردن و پیشتازی ما در سطح جهان به حساب نیاید.

با این حال سیاست دوم هزینه‌های بیشتری را طلب می‌کند و نتایج خود را در میان و درازمدت آشکار می‌سازد. بی‌شک پدیدآوردن جوشش نوآوری و نهضت نرم‌افزاری مستلزم دیده‌وری مستمر نوآوری‌های دنیا و همچنین تقویت آموزش و پژوهش میان‌رشته‌ای است. لذا ایجاد سازمانی برای دیده‌وری مستمر تحقیقات نوآورانه دنیا و جمع‌بندی دیدگاه‌های نخبگان کشور در عرصه‌های ناشناخته نانومقیاس امری ضروری به نظر می‌رسد. خروجی‌های این سازمان می‌تواند به افزایش آگاهی عمومی، ایجاد هماهنگی پژوهشی و

سیاست‌گذاری و تقویت عزم ملی کمک نماید.



شکل ۱: ارائه درخت فناوری‌های نانو بر حسب نوع فناوری

دیگری در عرصه نانوفناوری ناچار شویم. در ذیل ملاحظاتی در مورد برخی از این شاخه‌ها ارائه خواهد شد:

۲-۳-۱- رویکردها

در نانوفناوری برای دستیابی به ساختارهای نانومقیاس از دو رویکرد بالا به پائین یا پائین به بالا استفاده می‌شود. رویکرد بالا به پائین به بسط کوچک‌سازی میکروتراشه‌ها به مقیاس نانومتر مربوط می‌شود. حال آن‌که رویکرد پائین به بالا به بزرگ‌تر نمودن ساختارهای شیمیایی مولکولی مربوط می‌شود [۳].

۲-۳- راهبردهای تحقیقاتی از منظر نوع فناوری

در اینجا با توجه به برآیندی از عمل‌گرایی و بهینه‌اندیشی تعدادی از شاخه‌های نانوفناوری [۳] که در کشورمان عملی‌تر به نظر رسیده‌اند، به صورتی خلاصه در ۴ سطح رویکردها، راهکارها، عناصر پایه و کاربردها بررسی شده‌اند. سلسله مراتب این شاخه‌ها در شکل ۱ قابل مشاهده است. این عرصه‌ها زمینه‌هایی هستند که به علت داشتن مزیت برای سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاری کلان پیشنهاد می‌شوند، اما بسته به نیروی انسانی آماده به کار یا زیرساختار پژوهشی مهیای فعلی، ممکن است به تخصیص بودجه در سیاست‌های پراکنده و کوچک‌تر

اگرچه به تولیدرساندن روش‌های بالا به پائین مبتنی بر نانوساخت به دلیل پیچیدگی، سرعت بالای پیشرفت و اتکای فراوان بر یک زیرساختار قوی و سرمایه‌گذاری کلان، به هیچ‌وجه نمی‌تواند فرصتی تجاری برای کشوری مثل ما باشد، که حتی نیروی انسانی کافی برای آموزش این صنعت ندارد، اما در هر حال اهمیت راهبردی آنها بسیار زیاد است.

مثلاً در ساخت ابزارآلات میکروسکوپی رقابت زیاد و نرخ اشباع‌شدن آزمایشگاه‌های دنیا (مصرف‌کنندگان محصولات آنها) سریع است [۴]، اما در هر صورت بر روی هر راهکاری که در نانوفناوری بخواهیم کار کنیم، به داشتن این وسایل اندازه‌گیری نوین نیازمندیم. در آینده با یکپارچه شدن تدریجی این راهکارها با راهکارهای پایین به بالا، برای حفظ بازار محصولات نانوفناوری خود ناچار به اکتساب آنها به نحوی از انحا می‌باشیم. مثلاً حسگرهای آینده با تراشه‌های میکروالکترونیکی یکپارچه خواهند شد [۳]، یا برای تولید صفحه نمایشگر تخت نانولوله‌ای به یک آرایه قابل آدرس‌دهی دارای الگوهای میکرونی نیازمندیم. از آنجایی که این تراشه‌ها انواع کاربردی مختلفی خواهند داشت، الزاماً با رقابت پشیمانان عرصه میکروالکترونیک در این پهنه جدید مواجه نبوده، می‌توان با قیمت‌های تمام‌شده بالاتری محصول خود را به بازار عرضه کرد [۴].

بنابراین به دلیل سهم‌بودن میکروالکترونیک و میکروالکترومکانیک (MEMS) و میکروسیالات در توسعه نانوفناوری و به دلیل فرصت‌های تجاری اشتغال‌زای بسیار گسترده‌ای که آنها در ذات خود یا در شراکت با نانوفناوری [۵] دارند، ورود کشور به این عرصه پیشنهاد می‌شود. البته از آنجایی که تحولات این

بخش می‌تواند سریع و غافلگیرکننده باشد، توصیه می‌شود صرفاً در طراحی نرم‌افزاری این مدارات داخل شویم و به جز در موارد بسیار ساده به صحنه ساخت قدم نگذاریم. نیروی انسانی بخش میکروساخت، بر خلاف تجهیزات، می‌تواند در نانوساخت نیز به کار پردازد.

۲-۳-۱-۲- نانوشیبه‌سازی و نرم‌افزار

نقاط قوت و فرصت‌های نرم‌افزار عبارتند از:

- سرمایه‌گذاری لازم پائین و نسبت سود به سرمایه بالاست [۶].
 - طی برخی از همکاری‌های بین‌المللی بدون صرفه‌جویی‌های ساخت می‌توان در طراحی پروژه‌های ساخت نانوسیستم‌های پیشرفته دخیل شده، به دانش فنی و مالکیت معنوی آنها دست یافت.
 - با پیش‌بینی رفتار نانوساختارها می‌توان از انجام آزمایشات هنگفت اجتناب ورزید.
- همچنین نقاط ضعف و تهدیدات ورود در عرصه نرم‌افزار به شرح ذیل می‌باشند:
- برای شبیه‌سازی موارد صنعتی واقعی (مثل مدل‌های سنگین ab initio) به ابرکامپیوترهای بسیار موازی و قوی نیازمندیم، که جزو تحریم‌های کنونی و آینده قرار دارند و در ضمن بسیار گرانقیمت می‌باشند.^۱
 - برای کوتاه‌مدت، صرفاً فرصت‌هایی برای پژوهش محض و نه بازاری قابل اعتنا به چشم می‌خورد.
 - مدل‌های تئوری موجود ممکن است کاملاً توصیف‌گر واقعیت یک نانوسیستم نبوده، نیازمند

^۱ البته با موازی‌سازی و شبکه‌ای کردن کامپیوترها می‌توان تاحدی این نیاز را رفع کرد.

اصلاح بنیادی باشند.

• تمایل شرکت‌های پیشتاز به ساخت نرم‌افزارهای جامع ممکن است به انحصار در این زمینه بینجامد (مثل سیستم عامل Windows که یک نیازمندی محدود را به خوبی تأمین کرده و راه را بر منافعی دیگران بست). این محدودیت ممکن است سبب شود تا یک سازنده قوی طراح کار خود هم باشد و دیگر نیازی به طراحی و شبیه‌سازی دیگران نداشته باشد.

• باید سرمایه‌گذاری درازمدتی روی خرید یا تولید یکسری از ماجولهای نسبتاً متنوع انجام داد، تا در هنگام نیاز احتمالی به کار گرفته شوند [۴]. بنابراین اگر قصد فروش نرم‌افزار داشته باشیم، باید - علاوه بر حفاظت از مالکیت معنوی - سرمایه‌گذاری کلانی روی زیرساختار این بخش انجام دهیم، و الا باید به کلی از عرصه فروش عقب کشید. با این وجود ورود در نرم‌افزار جهت پشتیبانی دیگر بخش‌ها مثل کاتالیزورها - جهت پرهیز از انجام آزمایشات پرهزینه و زمان‌بر - گریزناپذیر می‌نماید.

۲-۳-۲- راهکارها

۲-۳-۲-۱- خودآرایی برنامه‌ریزی شده

یکی از مهمترین روش‌ها در رویکرد پائین به بالا به خودآرایی، یعنی واداشتن مولکولها به چیدمان و آرایش مطابق برنامه‌ریزی ما، مربوط می‌شود. این روش خود شامل مثال‌های زیادی همچون درخت‌سان‌ها، تک‌لایه‌های خودآرا، مواد نانوحفره‌ای منظم، نانوکپسول‌ها، برخی از روش‌های تولید نانوسیم‌ها و الکترونیک مولکولی، برخی از مصارف نانولوله‌ها و نانوذرات، و برخی دیگر از راه‌های کاملاً نپیموده شده دیگر می‌شود. از آنجایی که این روشها همگی مبتنی بر

مبانی نظری و تجربی شیمی می‌باشند:

• نیروی انسانی و دانشمندان این عرصه در کشور موجودند.

• اکثر ابزارآلات در کشور به میزان لازم وجود دارند.

• فاصله علمی ما با دنیا اندک است؛ مثلاً ممکن است با یک میان‌بر خلاقانه بتوان از بقیه پیشی گرفت. به عبارت دیگر در این راهکار خلاقیت بیشتر از زیرساخت تأثیرگذار است:

لذا در این عرصه و تنها در این عرصه است، که ما فرصت داریم تا به صورت راهبردی و درازمدت با تمام کشورهای قدرتمند دنیا رقابت داشته باشیم. باید از خاطر دور نداشت که فرصت‌ها و تهدیدات سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و حتی نظامی نانو فناوری در زمانی به اوج خود می‌رسد که صنایع پیشرفته نوین مبتنی بر آن و به خصوص خودآرایی به بلوغ خود نزدیک شده باشد. بنابراین سرمایه‌گذاری درازمدت در آن، سبب بهره‌مندی از فرصت‌های بسیار بزرگ و همچنین احتراز از تهدیدات بسیار بزرگ نانو فناوری خواهد شد.

با توجه به ضعف نظام کارآفرینی کشور، ضعف سازوکارهای انتقال علم به فناوری، اتکای بسیار زیاد این راهکار بر علم محض و مزیت نسبی ما در داشتن افراد دانش‌آموخته و خلاق پیشنهاد می‌شود، صرفاً فاز پژوهشی این پروژه در دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی دولتی در میانمدت انجام شود. در این راستا باید محققین علوم محض به خصوص شیمی و زیست‌شناسی^۲ به تغییر گرایش از انجام امور پراکنده فعلی به سمت تمرکز بر موارد مبتنی بر خودآرایی تشویق

^۲ معمولاً این افراد به عنوان محقق نیازمند و مشغول به انجام کارهای نو و عمدتاً دور از کاربرد می‌باشند.

شوند.

محدود فناوری‌های تولید نانوذرات و نانولوله‌ها به خوبی رشد کرده است، اما مصارف متنوع آنها (مثلاً نانوکامپوزیت‌های رسی و نانولوله‌ای) به همان نسبت کشف نشده یا توسعه نیافته‌اند. بنابراین لاقل برای کوتاه‌مدت پیشنهاد می‌شود تا نانوذرات و نانولوله‌های استاندارد برای توسعه کاربردها خریداری شده و فقط نانوذرات بسیار ساده (به روش سل ژل) تهیه شوند. در مورد تأمین نانولوله‌های کربنی معمولی در میان‌مدت نیز توسعه فرآیندهای آزمایشگاهی کنونی به سطح نیمه‌صنعتی (و نه صنعتی) جهت تولید نیازمندی پژوهشی داخلی توصیه می‌شود.

۲-۳-۴-۴- کاربردها

۲-۳-۴-۱- راهکارهای منتهی به حسگری

حسگرهای مختلف عرصه‌ای جدید و نسبتاً نامکشوف است، که بازاری بسیار بزرگ را نوید می‌دهد. در این میان حسگرهای مواد شیمیایی و زیستی مبتنی بر رویکرد پائین به بالا (شیمی) عرصه‌ای است که به علت سهل‌الوصول بودن و گستردگی، باعث امکان رقابت و خلق سریع کسب و کارهای کوچک و فراوان اشتغال‌زا می‌گردد. حسگرها علاوه بر بازار بزرگ خود، اهمیت قابل‌انکاری در امنیت ملی، کنترل مرزها، مبارزه با مواد مخدر، شناسایی مواد منفجره و تشخیص جنگ‌افزارهای شیمیایی، بیولوژیکی و هسته‌ای دارد؛ لذا عقب‌نشستن از توسعه این حسگرها به هیچ وجه توصیه نمی‌شود.

۲-۳-۴-۲- نانوکاتالیزورها

به دلیل متکی بودن تحقیقات کاتالیزور متعارف بر حدس و خطا و تجربه صرف و به دلیل پراکنده‌کاری و موازی‌کاری گروه‌های تحقیقاتی مختلف در سطح کشور تاکنون ثمره چندانی از بخش کاتالیزور نبرده‌ایم.

در این میان نانوکاتالیزورها نویدبخش جهش در

این تمرکز گرایش سبب می‌شود بدون تقبل هرگونه تعهد مالی جدید، منابع موجود دانشگاهی را به مزیتی برای توسعه نانوفناوری تبدیل کنیم. البته در درازمدت این محققین می‌توانند شرکت‌های مشتق‌شده^۳ فراوانی را در جوار دانشگاهها و یا احتمالاً "آزمایشگاه ملی نانوساخت" تشکیل دهند.

۲-۳-۳-۲- عناصر پایه

۲-۳-۳-۱- مواد نانوحفره‌ای

زئولیت‌های خانواده MCM که اخیراً در کشور نیز سنتز شده‌اند، پتانسیل فراوانی در صنایع شیمیایی (کاتالیست) و مصارف زیستی (کشاورزی، پزشکی، دارویی) و زیست‌محیطی دارند و توسعه اشکال جدید و مصارف آنها توصیه می‌شود. از آنها می‌توان برای غربال‌کردن زیست‌مولکولها از محیط کشت و اکسیژن از هوا و به عنوان نانورآکتورهای کاتالیستی سود جست [۳]. اخیراً گروهی در آمریکا، با تلفیق نانوحفرات با فناوری میکروساخت، فناوری جدید و غیرقابل رقابتی را برای توالی‌سنجی سریع DNA بنیان گذاشته‌اند [۷]، که به نظر می‌رسد به زودی به نحو چالش‌برانگیزی ما را به خود محتاج خواهد ساخت. لذا لحاظ کردن این بخش در اولویت‌ها لازم به نظر می‌رسد.

۲-۳-۳-۲- نانوذرات و نانولوله‌ها

قطعاً نانوذرات و نانولوله‌های مختلف سنگ‌بنای بسیاری از محصولات مهم نانوفناوری در کوتاه و میان‌مدت می‌باشند، اما سرمایه‌گذاری روی آنها می‌تواند تابع سیاست‌های گوناگونی باشد. در حال حاضر عرصه

³ Spin-offs : شرکت‌هایی که با اتکا بر دانش فنی بدست‌آمده در دانشگاه‌ها، توسط محققین آنها تأسیس می‌شوند.

برخی از مصارف هستند، که راهکارهای مرسوم توان چندان برای بهبود آنها ندارند؛ مثلاً در حال حاضر راندمان و انتخاب‌پذیری پایین برخی از فرآیندهای پتروشیمیایی موجب هدررفتن منابع طبیعی، آلاینده‌گی و به‌صرفه‌نبودن آنها شده است [۸]. علاوه بر این نانوکاتالیزورها را می‌توان پیش از ساخت، با شبیه‌سازی مورد بررسی قرار داده، دامنهٔ حدس و خطا و اتلاف وقت در فرآیند پژوهش آنها را کاهش داد.

بنابراین در راستای تحقیقات بنیادین کشور روی نانوکاتالیزورها پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

- ایجاد شبکه‌ای نظام‌مند برای ایجاد همکاری بر روی پروژه‌های لااقل موازی
- دخیل نمودن نظام‌مند فیزیکدانان و متخصصین شبیه‌سازی در این عرصه، جهت جلوگیری از انجام آزمایشات هزینه‌بردار غیرضروری و هدایت کار تجربی به عرصه‌های نویدبخش‌تر
- تشویق محققین به ساخت و آزمایش نسخه‌های نانو ساختاری کاتالیست‌های موجود (به دلیل احتمال بالقوه بیشتر موفقیت نسبت به کاتالیزورهای مرسوم)
- تلاش برای استفاده از توانمندی بخش کاتالیزور کشور در ساخت نانوحسگرهای جدید که ریسک سرمایه‌گذاری کمتری دارند.
- دخیل نمودن محققین زیست فناوری کشور در نانوفناوری جهت ساخت نانوزیست‌کاتالیزورها و نانوزیست‌حسگرها و تولید ارزان، قابل کنترل و انبوه مواد پیچیده زیستی مثل داروها

۲-۳-۳-۴- دارورسانی

زمینه‌های مرتبط با دارورسانی عمدتاً بر نانوذرات و نانوکپسول‌ها (خودآرایی) استوار هستند. این نگرانی وجود دارد که شرکتی با ساخت یک نانومحفظه (قابل به

کارگیری برای انواع داروها) بخش زیادی از بازار را در انحصار خود درآورد. با این حال فاصله علمی کم، حاشیه سوددهی عریض و بازار بالقوه بزرگ آن محرک خوبی برای سرمایه‌گذاری است و در صورت شبکه‌سازی کلان در سطح کشور و پرهیز از اقدامات مقطعی می‌توان به دستاوردهای تجاری جالبی دست یافت.

۳- جمع‌بندی و پیشنهادات

در پایان با توجه به مطالب فوق‌الذکر به نظر می‌رسد بتوان به طور خلاصه و کلان، راهبردهای اجرایی زیر را برای کشور در سه دسته برنامه‌ریزی، پژوهش و تبلیغات پیشنهاد نمود:

۳-۱- برنامه‌ریزی

- لزوم جمع‌بندی سریع راهبردهای پیشنهادی، تدوین برنامه ملی و مؤکول کردن اصلاحات جزئی به آینده

۳-۲- پژوهش

- خرید یا در دسترس قرار دادن فوری زیرساختار قطعی از طرق مختلف
- صرف تدریجی هزینه‌های تحقیقاتی متناسب با بازخورد نظام تحقیقاتی کشور و روشن شدن افق‌های سرمایه‌گذاری
- ساماندهی هرچه سریع‌تر تحقیقات مشترک برون‌مرزی به خصوص در موارد راهکارهای بالا به پائین - که علی‌رغم داشتن اهمیت راهبردی توانمندی دستگاهی ما برای پژوهش در آنها پائین است.
- تأسیس سازمانی برای دیده‌وری مستمر سمت و سوی تحقیقات و سوق‌دهی کشور به مسیر درست

۳-۳- تبلیغات انگیزه‌ساز

۳-۳-۱- تبلیغات عمومی

- تأکید نمودن بر امکان‌پذیری رشد نانوفناوری در کشور
- ترغیب (مالی و غیرمالی) محققین جوان به شناسایی محصولات به بازارآمده (مثل صنایع ۳-۳-۲- صنایع)
- ترغیب محققین جوان به ایده‌پردازی و نوآوری
- ترغیب محققین نخبه به انعکاس فرصت‌های پژوهشی کشور و امکانات لازم برای نیل به آنها
- آشنا سازی اساتید و محققین با زمینه‌های پیش‌تاز از

۴- مراجع

1. Feynman, R., "There is plenty of room at the bottom", Caltech Institute, 1959, URL: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.
2. M.C. Roco, "International Strategy for Nanotechnology Research and Development", J. of Nanoparticle Research, Kluwer Academic Publ., Vol. 3, No. 5-6, 2001, pp. 353-360.
۳. مترجمین مرتضی مغربی و محودرضا شاهرودی، "سمت و سوی تحقیقات در نانوفناوری"، چاپ اول، تهران، نشر آتنا، ۱۳۸۳.
4. "The Nanotechnology Opportunity Report", CMP Cientifica, 2002.
5. R.Raiteri, M. Grattarola, R. berger, "Micromechanics Senses Biomolecules" Materials Today, January 2002.
۶. آنتون، فیلیپ و همکاران، مترجمین وحید وحیدی مطلق و عقیل ملکی فر، "انقلاب جهانی تکنولوژی"، چاپ اول، تهران، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی با همکاری نشر آتنا، ۱۳۸۰.
7. Robert Weinberger, "Reflections on HPCE 2003", American Laboratory, April 2003
۸. "برنامه پیشگامی ملی نانوتکنولوژی آمریکا"، چاپ اول، تهران، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی با همکاری نشر آتنا، ۱۳۸۰.