



## تحقیقات نانوتکنولوژی در ایران؛ بررسی پتانسیل‌ها و باید‌ها و نبایدهای آن

برنا برخوردار ♦ دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی شریف

محمد حکمی ♦ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه تهران

### چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی وجوه مهم و تأثیرگذار در تدوین سیاست‌های مرتبط با تحقیقات نانوتکنولوژی است. بدین منظور نانوتکنولوژی در دو بعد جهانی و داخلی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در بعد جهانی به فرایند شکل‌گیری و رشد تحقیقات نانوتکنولوژی، بررسی کشورهای پیشرو در زمینه سرمایه‌گذاری بر روی تحقیقات نانوتکنولوژی، اولویت‌های سرمایه‌گذاری و سیاست‌های اتخاذ شده در این زمینه و جهت‌گیری‌های آینده نانوتکنولوژی پرداخته شده و در بعد داخلی در ابتدا به شناخت وضعیت موجود نانوتکنولوژی در کشور، شناخت پتانسیل‌ها و فرصت‌ها و تهدیدهای ناشی از سرمایه‌گذاری در این بخش و در نهایت به نکاتی که لازم است در تدوین سیاست‌های مربوط به تحقیقات نانوتکنولوژی مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گیرد، اشاره می‌شود.

### مقدمه

کشورهای در حال توسعه همچون ایران در برخورد با تحقیقات بر سر دو راهی قرار دارند. سیاست‌گذاران کلان از یک طرف با محدودیت منابع، مشکلات ساختاری و زیر بنایی و عدم ثبات اقتصاد کلان مواجه هستند و از سوی دیگر مسایلی از قبیل جهانی شدن، کاهش شدید ارزش منابع و مواد اولیه و افزایش سهم دانش و اطلاعات در تجارت جهانی آنان را ناگزیر به حرکت در مسیر جهانی نموده‌است. در این میان اتخاذ تصمیم صحیح و تعیین سهم تحقیقات

پایه در رشد و توسعه پایدار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حال حاضر، سهم تحقیقات از کل تولید ناخالص داخلی در حدود ۴٪ درصد می‌باشد که تا پایان برنامه سوم توسعه قرار است به ۱/۵٪ افزایش یابد. این امر از عدم توجه کافی سیاست‌گذاران به نقش و جایگاه تحقیقات در رشد و توسعه علمی کشور حکایت دارد.

متأسفانه نانوتکنولوژی نیز از مقوله‌های تحقیقاتی است که در کشور ما بسیار مهجور مانده است. نه تنها در میان سیاست‌گذاران، حتی در بین جامعه علمی نیز از جایگاه مناسبی برخوردار نمی‌باشد.

در این مقاله، پس از ترسیم فضای جهانی و وضعیت داخلی کشور، به بررسی ابعاد متعدد و زوایای پنهان چگونگی تدوین طرح ملی تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری نانوتکنولوژی پرداخته می‌شود.

### ۱- معرفی نانوتکنولوژی [۱]

سال ۱۹۵۹ سالی تاریخی برای علوم و تکنولوژی است. در این سال اتفاق‌های عظیمی به وقوع پیوسته است. پرتاب اولین شیء فضایی به ماه، ساخت اسیدهای نوکلویک مصنوعی، کشف اثرات کروموزم‌های جنسی در تشکیل سندروم‌های ویژه، اولین دستگاه زیراکس و در آخرین روزهای سال ۱۹۵۹ ریچارد فیمن<sup>۱</sup> برنده نوبل ۱۹۶۵ در مورد امکان استفاده از DNA در کامپیوترها و توانایی بالقوه ارگانیزم حیات در ساخت ماشین‌های کوچک، نه فقط برای ذخیره اطلاعات بلکه برای ساختن سخن به‌میان راند. او رویایی دید که در آن میلیاردها شیء که وی آنها را «کارخانه‌های کوچک» می‌نامید در حال ساختن نسخه‌هایی از خودشان با رفتاری دقیقاً مشابه بودند. وی برای اثبات نظرش در دستیابی به یک چنین پیشرفتی دو جایزه هزار دلاری پیشنهاد کرد. یکی برای ساختن موتور الکتریکی با حجم کمتر از ۶۴ اینچ مکعب و یکی دیگر برای ساختن صفحه‌ای خوانا به‌طوری که ۲۵۰۰۰ بار از یک صفحه کتاب معمولی کوچک‌تر باشد. در کمال تعجب مجبور به نوشتن یک چک هزار دلاری در همان سال برای مخترع موتور مذکور گردید. صفحه کتاب سائز کوچک نیز در سال ۱۹۸۵ اختراع گردید. بعد از آن انستیتو Foresight جوایز سالیانه‌ای را برقرار نمود و در سال ۱۹۹۶ جایزه بزرگ ۲۵۰ هزار دلاری را به

۱-Richard Feynman

نام Feynman برای اولین کسی که بتواند طراحی و ساخت دو وسیله نانویی، یکی بازوی مصنوعی<sup>۲</sup> در مقیاس نانو و دیگری محاسبه‌گری<sup>۳</sup> که بتواند امکان ساخت کامپیوتر نانویی را اثبات کند، پیشنهاد کرد.

از نیمه دوم دهه نود، توسعه و پیشرفت قابل توجهی در زمینه‌های جدید نانوتکنولوژی که تازه شروع به کار کرده بودند اتفاق افتاد. علاوه بر زمینه‌های تخصصی بی‌شمار، توجه سیاست‌گذاران و حمایت‌های آنان از تحقیقات نانوتکنولوژی بر شتاب حرکت افزود. مثلاً گروه کاری نانوتکنولوژی توسط وزارت دفاع آمریکا، تشکیل شد تا تحقیقاتی در زمینه نانوتکنولوژی و بیوتکنولوژی انجام دهد و گزارشات خود را برای برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های آتی به وزارت دفاع ارائه نماید یا بنیاد ملی علوم در آمریکا مطالعات تکمیل شده خود را با نام «ذرات نانویی، مواد با ساختار نانویی و وسایل نانویی» منتشر نمود و یا NASA نیازهای خود را برای سرمایه‌گذاری روی نانوتکنولوژی مولکولی و پروژه‌های مرتبط اعلام نمود. [۱] نهایتاً در سال‌های ۹۸ و ۹۹ بود که پتانسیل نانوتکنولوژی برای ایجاد تحول در قرن آینده درک شد و مورد توجه جدی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان قرار گرفت.

#### ۱-۱- تعاریف

تعاریف و تقسیم‌بندی‌های متعددی از جانب افراد گوناگون بیان شده است که یکی از مناسب‌ترین آنها مربوط به مرکز علوم و فن‌آوری دانشگاه Rice می‌باشد که عبارت است از:

۱- نانوتکنولوژی «مرطوب»: مطالعه سیستم‌های بیولوژیکی که در بدو امر در محیط آبی پرورش یافته‌اند مانند مواد ژنتیکی، آنزیم‌ها و اجزای سلولی دیگر.

۲- نانوتکنولوژی «خشک»: برگرفته از علوم سطحی و شیمی - فیزیک می‌باشد به طوری که بر ساختارهای کربنی، سیلیکون‌ها و بقیه مواد غیر زنده تاکید دارد. بر خلاف نانوتکنولوژی مرطوب مجوز استفاده از فلزات و نیمه‌هادی‌ها در این مورد وجود دارد.

۳- نانوتکنولوژی «محاسب»<sup>۴</sup>: برای شبیه‌سازی و مدل سازی ساختارهای مقیاس نانویی نکته مهم مونتاژگرها با مقیاس نانو هستند که می‌توانند خود را بازسازی نموده و چیزهای

۲ -Robotic Arm

۳ -Computing Device

۴ -Computational nanotechnology

دیگری خلق کنند. این مونتاژگرها که توسط برنامه‌های نرم‌افزاری کنترل می‌شوند، هر آنچه ما طراحی کنیم خواهند ساخت، سریع و با قیمت ارزان.

### ۲-۱- منافع بالقوه نانوتکنولوژی

الف- منافع حاصل از تحقیقات صرف در زمینه‌های مختلف، که در این میان محققان آموزش می‌بینند، مراکز زیادی راه اندازی می‌شود و حتی تجارب اشتباه نیز در افزایش اطلاعات، مفید و بستری برای ظهور زمینه‌ها و سرمایه‌های جدید خواهند بود که دقیق‌تر و موجه‌تر هستند.

ب- اگر هرگز نتوانیم به مرحله‌ای فراتر از کوچک‌سازی برویم، در همین مرحله هم نانوتکنولوژی منافع زیادی به‌همراه خواهد داشت. تحولات عظیم در صنعت الکترونیک و ساخت چیپست‌ها، مواد و ساختارهای جدید با خواص ویژه، انواع حس‌گرها و بسیاری منافع دیگر که در این سطح میانی توسعه نانوتکنولوژی به‌دست خواهد آمد.

ج- سرانجام منافع حاصل از پیاده‌سازی کامل نانوتکنولوژی مولکولی قابل ملاحظه است. ساخت ماشین‌های مونتاژگری کوچک‌تر از سلول‌های حیاتی با موادی محکم‌تر و سبک‌تر از همه مواد موجود بسیار جالب است. اشیای کوچکی که بتوانند با عبور از عروق به تعمیر سلول‌های بدن بپردازند و بیماری‌ها را التیام بخشند و سنین از دست رفته را به‌انسان باز گردانند یا انسان را قوی‌تر یا سریع‌تر از قبل گردانند. این ماشین‌ها می‌توانند با سرعتی کار کنند که هیچ بشری تا به‌حال نتوانسته این چنین حالتی را احساس کند و می‌توان با مونتاژ هزاران قطعه از این ذرات ماشین‌های باهوشی خلق کرد که به‌وسیله قرار دادن پردازش‌گر موازی نانویی بتواند یاد بگیرد، مقایسه کند و همه خاطرات گذشته خود را به‌کار گیرد.

### ۳-۱- خطرات بالقوه نانوتکنولوژی

خطرات نانوتکنولوژی همان‌قدر وحشتناک است که منافع آن دلپذیر. اگر نانوتکنولوژی بدون کنترل‌کننده‌های اجتماعی توسعه مخفیانه یابد، خطرناک‌ترین تهدید آینده خواهد بود.

سیستمی که به آن اشاره شد به‌نام سیستم تجدید پذیر خودبخودی که شامل مونتاژگرهای خودکار بود، دو خطر عمده با خود به‌همراه دارد:

۱- این سیستم بدون کنترل صحیح به حیات خود ادامه دهد.

۲- ممکن است در خلال تجدید ساختارها، تغییراتی در سیستم اتفاق افتد که اجازه جهش

ناخواسته را به سیستم دهد.

با توجه به این مخاطرات، پیشنهاد تشکیل یک کمیته مشورتی در آمریکا برای جلوگیری از استفاده غیر صحیح از DNA وراثتی داده شد، که منجر به تأسیس کمیته مشورتی DNA شد. همانند هر دانش دیگر، نانوتکنولوژی خطرات بالقوه زیادی دارد که بعضی قابل پیش‌بینی است و بعضی نه. سو عملکرد نمونه‌های اولیه، مسأله‌ای قابل پیش‌بینی است. بعد از آن اگر مونتاژگرها به‌درستی ساخته شوند، اصلی‌ترین دغدغه‌های بعدی، مواد خام در دسترس و نرم افزار کنترلی قابل اعتماد است. یک مونتاژگر افسار گسیخته در بدترین حالت می‌تواند هر آنچه در کره زمین وجود دارد را به عنوان مواد خام ببلعد. البته نرم افزارهایی که بتوانند وقایع دنیای واقع را شبیه سازی رایانه‌ای کرده و از این خطرات بالقوه بکاهد به شدت مورد استقبال شبیه‌سازها قرار گرفته است. نکته نگران کننده این است که هر کس با استعداد کافی می‌تواند یک چنین مونتاژگری را خلق کند، بدون توجه به گارد ایمنی کافی.

خطرات جدی دیگری مثل « اسلحه‌های نانویی » وجود خواهد داشت. همان‌طور که بسیاری تذکر داده‌اند امکان استفاده از نانوتکنولوژی برای اهداف تجاوزکارانه وحشتناک به‌نظر می‌رسد. باور کردنی نیست که ارتش‌ها از قبل، سرمایه‌گذاری لازم برای رویارویی با چنین وضعیتی را نکرده باشند.

## ۲- وضعیت جهانی نانوتکنولوژی

ترسیم اجمالی فضای جهانی سرمایه‌گذاری تحقیقات نانوتکنولوژی در یافتن جایگاه کشورمان در مقایسه با دیگر کشورها ضروری به نظر می‌رسد. در حال حاضر آمریکا و ژاپن اصلی‌ترین بازیگران عرصه‌ی تحقیقات نانوتکنولوژی هستند. اگر چه از نظر میزان سرمایه‌گذاری، آمریکا همچنان پیش‌تاز است اما در بعضی از زمینه‌ها مثل نانو الکترونیک، ژاپن حرف اول را در دنیا می‌زند. در این عرصه بازیگران نوپایی همچون چین و کره جنوبی نیز وجود دارند که از پیروان شتابان تحقیقات نانوتکنولوژی به حساب می‌آیند و در یک برنامه ریزی دراز مدت قصد به‌دست آوردن مزیت‌های رقابتی بین‌المللی در زمینه‌های خاصی از نانوتکنولوژی را دارند.

### ۲-۱- آمریکا

آمریکا به‌عنوان خواستگاه تحقیقات نانوتکنولوژی از شبکه تحقیقاتی عظیمی بهره می‌گیرد. در

ایالات متحده تحقیقات پایه عمدتاً توسط دستگاه‌های دولتی، دانشگاه‌های ایالتی وابسته به بودجه دولت و بعضی از سازمان‌های خصوصی هدایت می‌شوند.

وزارت دفاع<sup>۵</sup>، بنیاد ملی علوم<sup>۶</sup> و انستیتو ملی بهداشت<sup>۷</sup> عمده سرمایه‌گذاری‌های تحقیقاتی را در آمریکا انجام می‌دهند. نکته جالب توجه این است که این دستگاهها معمولاً ارتباط چندانی جز در موارد بحرانی مانند AIDS با یکدیگر ندارند و مستقلاً برنامه‌های خود را دنبال می‌کنند. حتی ارایه برنامه سالیانه و بودجه‌های تخصیص یافته به هر یک که معمولاً از رشدی معادل تورم برخوردار است نیز به‌طور مجزا انجام می‌پذیرد [۱]. همین عدم ارتباط باعث همپوشانی بسیاری در برنامه‌های تحقیقاتی آنها شده است.

جدول ۱ بودجه سازمان‌های دولتی درگیر در امر تحقیقات را در سال‌های ۹۵ تا ۹۷ نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول قابل مشاهده است در این سال‌ها نزدیک به نیمی از بودجه‌های تحقیقاتی مربوط به صنایع نظامی بوده است که اهمیت ویژه این بخش در پیشبرد تحقیقات پایه را نشان می‌دهد. البته این بودجه نسبت به دلار ثابت کاهش ۳ درصدی را نشان می‌دهد. بعد از آن بخش بهداشت با رشد ۱۶ درصد قرار دارد که بیشتر به تحقیقات بیوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک اختصاص دارد.

علاوه بر جدول ۱، نمودار ۱ که بر اساس دلار ثابت سال ۱۹۸۷ و برای سال‌های ۱۹۸۰ تا ۹۶ ترسیم شده است به خوبی نشان دهنده روند تغییرات بودجه زمینه‌های مختلف تحقیقاتی در آمریکا می‌باشد.

چنانچه در نمودار پیداست بودجه تحقیقات نظامی در سال ۱۹۸۸ به اوج خود رسیده و پس از آن نزول کرده است. در حالی که بودجه تحقیقات غیر نظامی از سال ۱۹۸۴ رشدی یکنواخت داشته است.

در سال ۹۹ رییس جمهور وقت آمریکا پیشنهاد بودجه ۳۱ میلیارد دلاری را برای تحقیقات غیر نظامی تقدیم مجلس کرد که ۱۵۰ میلیون دلار آن متعلق به نانوتکنولوژی بوده است و اغلب این مبالغ توسط بنیاد ملی علوم سرمایه‌گذاری شده است.

۵- Department of Defence

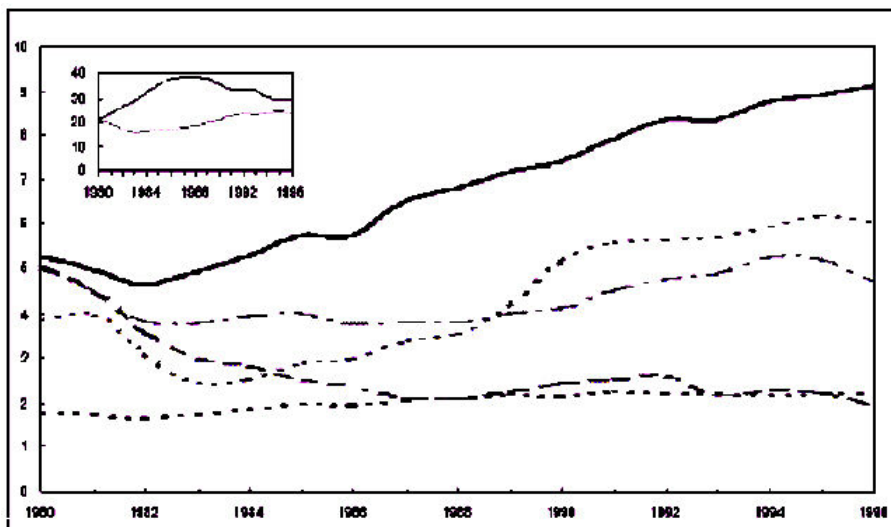
۶- National Science Foundation

۷- National Institute of Health

در صد تغییرات طی سال های ۱۹۹۶-۹۷		سال ۱۹۹۷	سال ۱۹۹۶	سال ۱۹۹۵	بودجه بخش ها
دلار پایه	دلار جاری				
-۳	-۰/۸	۳۷۴۷۷	۳۷۷۹۱	۳۷۲۰۴	امنیت ملی
۰	۲/۲	۱۲۱۶۵	۱۱۹۰۲	۱۱۴۰۷	بهداشت
۱/۵	۳/۷	۸۱۶۶	۷۸۷۱	۷۹۱۶	تحقیقات و تکنولوژی هوافضا
۲	۴/۳	۲۹۸۴	۲۸۶۲	۲۷۹۴	علوم پایه
-۰/۲	۲	۲۵۵۵	۲۵۰۴	۲۸۴۴	انرژی
۳/۶	۶	۱۸۵۷	۱۷۵۲	۱۸۳۳	حمل و نقل
۱/۲	۴/۴	۱۹۵۶	۱۸۷۷	۱۹۸۸	منابع طبیعی و محیط زیست
-۰/۱	۱/۳	۱۱۹۲	۱۱۷۸	۱۱۹۴	کشاورزی
۱۴/۷	۱۷/۲	۱۵۶۱	۱۳۳۳	۱۶۱۱	سایر موارد
-۰/۱	۱/۲	۶۹۹۱۶	۶۹۰۶۹	۶۸۷۹۱	جمع

جدول ۱. بودجه تحقیقاتی بخش های مختلف تحقیقات آمریکا (ارقام به میلیون دلار)

منبع: A policy framework for developing a national nanotechnology program(P-36)



شکل ۱. بودجه تحقیق و توسعه بخش های مختلف طی سال های ۱۹۸۰-۱۹۹۶

منبع: A policy framework for developing a national nanotechnology program(P-39)

#### ۲-۲- ژاپن؛ رقیب قدرتمند

سرمایه‌گذاری ۴۳۱ میلیون دلاری ژاپن روی نانوتکنولوژی در سال ۲۰۰۱ حاکی از توجه سردمداران و سیاست‌گذاران تحقیقاتی آن دارد. برنامه‌ای با افق دراز مدت، سرمایه‌گذاری فراوان و آمادگی زیاد در تحقیقات میان رشته‌ای که توسط ۶ مرکز تحقیقاتی و ۴ انستیتو در سراسر ژاپن به اجرا در آمده است. مجری طرح، آژانس تکنولوژی و علوم صنعتی ژاپن<sup>۸</sup> است. این در حالی است که بنا به گزارشات متعدد از سازمانهای متولی سیاست‌گذاری در آمریکا، در این کشور تلاش مثبتی برای همسویی تحقیقات نانوتکنولوژی دیده نشده است و آمریکا در مقایسه با ژاپن برای تحقیقات نانوتکنولوژی برنامه مدونی ندارد [۲]. این وضعیت با مشارکت همه بخش‌های مرتبط و تقویت فعالیت‌های بین رشته‌ای مانند کارگاههای آموزشی، گروههای تحقیقاتی صنعت و دانشگاه و... قابل بهبود خواهد بود.

#### ۲-۳- چین

سرمایه‌گذاری ۳/۰۲ میلیون دلاری در بزرگ‌ترین مرکز تحقیقاتی نانوتکنولوژی در پکن به نام «آکادمی علوم چین»<sup>۹</sup> که محلی برای جمع‌آوری دانشمندان و تکنیسین‌های علوم مختلف در کنار یکدیگر به هدف مبادله اطلاعات، تجهیزات و نرم افزارهای نانوتکنولوژی از سرتاسر جامعه علمی چین است، نشان از علاقه‌مندی سیاست‌گذاران چینی برای سرمایه‌گذاری در این زمینه دارد. [۵] این سرمایه‌گذاری در زمینه نیمه‌هادی‌ها، مواد منفجره و مواد کاتالیست بوده است.

#### ۲-۴- کره

کره جنوبی نیز که چند سالی است تحقیقات پایه در مقیاس‌های میکرو و نانو را شروع نموده است به تازگی مبلغ ۲۳ میلیون وُن<sup>۱۰</sup> برای تحقیقات در سه زمینه نانوتکنولوژی، بیوتکنولوژی و تکنولوژی اطلاعات به عنوان سه زمینه نوید بخش علوم آینده سرمایه‌گذاری کرده است که در غالب برنامه جامع توسعه تکنولوژیکی در ژولای سال ۲۰۰۱ تقدیم شورای علوم ریاست جمهوری شد. نقش سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در تحقیقات نانوتکنولوژی در کره جنوبی به خوبی مشهود است به طوری که در حال حاضر سامسونگ در حال تحقیق بر روی

۸- Agency of Industrial Science & Technology

۹- Chinese Science Academy

۱۰- واحد پول کره جنوبی



نانو حافظه‌ها بوده و فوجیتسو دیگر پیشتاز صنعت نیمه‌هادی‌ها در حال تأسیس مرکز تحقیقات نانوتکنولوژی در کاوازاکی است [۴]. ضمناً این کشور در یک برنامه ۱۰ ساله قصد تربیت ۱۳۰۰۰ متخصص نانوتکنولوژی را دارد.

علاوه بر این کشورها، تایوان و هنگ‌کنگ نیز جهت‌گیری‌های کوتاه مدت روی نانوموادهای کاربردی در الکترونیک و بیوتکنولوژی داشته‌اند.

### ۳- طرح جامع « تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری تحقیقات نانوتکنولوژی ایران »

#### ۳-۱- پتانسیل‌های ایران

به طور کلی فن‌آوری‌های پیشرفته در مقایسه با فن‌آوری‌های قدیمی دارای مشخصاتی هستند که کشور ما را در مزیت نسبی قرار می‌دهد [۵].

اولاً: دوره عمر کوتاهی دارند و کسی نمی‌تواند ادعا کند که مالکیت آن را در اختیار دارد. این نوع تکنولوژی به سرعت در حال تحول است و هر کس خود را با این تحول سازگار و همراه کند، می‌تواند در صحنه رقابت باقی بماند. به طور مثال، تحولات IT هند را به‌عنوان یکی از صادر کنندگان عمده نرم افزار در جهان مطرح کرد، حال آن که قبل از این تحولات، چنین امری اصلاً امکان پذیر نبود.

ثانیاً: با توجه به این که فن‌آوری‌های پیشرفته از سخت افزار استفاده کمی می‌کنند و برای تولید انبوه نیاز به سرمایه‌گذاری هنگفت ندارند، فاصله کمی از تحقیقات بنیادی تا تولید انبوه وجود دارد. در واقع سهم بعد انسان افزار یا مغز افزار تکنولوژی در قیمت محصول به فروش رفته بالاست و با وجود نیروهای جوان خوش فکر، تحصیل کرده و علاقه مند به سرنوشت مملکت، پتانسیل بالای موجود در کشور به راحتی قابل مشاهده است.

ثالثاً: مسأله بازگشت سریع سرمایه در اغلب تکنولوژی‌های نو و نیاز کشور ما به این مزیت با توجه به محدودیت‌های وجود سرمایه‌های داخلی در کشور و عدم امکان بهره‌گیری از سرمایه‌های خارجی، نکته‌ای است حایز اهمیت. این بازگشت سریع سرمایه، تداوم توسعه تکنولوژی در بنگاهها را تضمین کرده و انگیزه‌ای برای حرکت به جلو با شتابی روز افزون در جهت نیل به اهداف توسعه درون‌زای تکنولوژی می‌باشد.

مقوله نانوتکنولوژی نیز به‌عنوان یکی از زمینه‌های تکنولوژیکی پیشرفته<sup>۱۱</sup> از پتانسیل‌های بالقوه مذکور بهره می‌گیرد. علاوه بر آن که در حال حاضر در کشور پتانسیل‌های بالفعلی نیز وجود دارد که در زیر به بعضی از آنها اشاره می‌شود:

۱- با توجه به نیاز صنعت پتروشیمی کشور به موادی مانند کاتالیست و امکان ساخت این مواد در مقیاس نانو در محیط آزمایشگاهی در دانشگاه علم و صنعت، در آینده می‌توان به تولید انبوه این ماده پرداخت.

۲- تهیه اتاق تمیز<sup>۱۲</sup> و میکروسکوپی به‌منظور مشاهده اتم‌ها و مولکول‌ها برای تحقیق بر روی نیمه‌هادی‌های نانویی توسط یکی از اعضای هیأت علمی دانشگاه شریف<sup>۱۳</sup>.

۳- تغییرات روز افزون صنایع دفاعی ضرورت پرداخت به نانو ذرات سبک برای استفاده در اسلحه‌های نظامی با قدرت تخریب زیاد و یا نانوکامپوزیت‌ها برای به‌کارگیری در صنایع هوایی را بیش از پیش آشکار می‌سازد. در حال حاضر امکان ساخت ذرات ۱ تا ۲ نانویی در دانشگاه مالک اشتر فراهم شده است.

بنا به گفته مسئول کمیته سیاست‌گذاری نانوتکنولوژی دفتر همکاری‌های فن‌آوری ریاست جمهوری تا چند سال آینده عمده پروژه‌های تحقیقاتی حول محور نانو موادها دور می‌زنند که ما نیز در بعضی زمینه‌ها مانند نانوداروها ناگزیر به انجام تحقیقات هستیم [۶].

### ۳-۲- نکات قابل تأمل در تدوین سیاست‌های تحقیقاتی نانوتکنولوژی

به این ترتیب تدوین طرح جامعی که اولویت‌های سرمایه‌گذاری تحقیقات نانوتکنولوژی در آن مشخص باشد ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا توجه به ابعاد متعددی لازم است که به تشریح آنها پرداخته می‌شود:

#### بعد انسان افزار

مهم‌ترین مزیت نسبی کشور ما وجود نیروی انسانی مستعد است. جامعه علمی کشور از اساتید برجسته‌ای برخوردار است که علاوه بر داشتن اطلاعات به‌روز، علاقه‌مندی زیادی به فعالیت‌های تحقیقاتی دارند و بسیاری از آنها در حال حاضر با وجود مشکلات عدیده‌ای که در پیش رو دارند، همچنان مشغول به فعالیت در زمینه‌های مورد علاقه خود هستند. علاوه بر آن وجود

۱۱ - High Tech

۱۲ - Clean Room

۱۳ - دکتر رشیدیان استاد دانشکده مهندسی برق دانشگاه شریف

اساتید و محققین ایرانی به نام در خارج از کشور پتانسیل پنهانی است که نیاز به توجه خاصی دارد. تهیه بانک اطلاعاتی، شناسایی زمینه‌های مورد علاقه و ارتباط با آنان، دعوت از ایشان برای حضور در کشور و بهره‌گیری از تجارب ذی‌قیمت آنها مسلماً نقش اساسی در بهبود سطح دانش جامعه علمی و توسعه دانش موجود در کشور دارد. از نظر پتانسیل دانشجویی نیز مزیت‌های فراوانی در کشور وجود دارد. مهم‌ترین نکته چگونگی ایجاد همگرایی و تشکیل شبکه‌ای متشکل از اساتید رشته‌های مختلف و دانشجویان مرتبط با آنان و بهره‌گیری از تکنولوژی اطلاعات در برقراری بستر اطلاعاتی مناسب است، به طوری که اطلاع از فعالیت‌های اساتید و محققان به سهولت امکان‌پذیر گردد و تبادل آرا و نظرات از طریق این بستر به سهولت انجام پذیرد.

### بعد نرم افزار

مهم‌ترین سوالی که در مواجهه با بحث تحقیقات در مقیاس نانو مطرح می‌شود، فاصله زیاد تحقیقات پایه در کشور نسبت به جوامع توسعه یافته و کاستی‌های عمیق در بعد دانش‌افزار تحقیقات نانوتکنولوژی است. در جواب این پرسش باید گفت که «اگر بخواهیم در زمینه‌هایی پیشرو باشیم، نیازمند تولید علم هستیم و باید در مرزهای دانش حرکت کنیم اما اگر بخواهیم پیرو خوبی باشیم نیاز چندانی به تحقیقات عمیق وجود ندارد. با وجود ایرانیان خارج از کشور که در این زمینه کار کرده‌اند و در این زمینه صاحب نظر هستند تا حدود زیادی می‌توان این نقیصه را برطرف کرد» [۵]. ضمناً می‌توان دانشجویان مقاطع دکترا و محققین علاقه‌مند را در دوره‌هایی کوتاه مدت به خارج از کشور اعزام کرده و به این ترتیب دانش فنی لازم را در مدت زمان کوتاهی به دست آورد. همچنین با گنجاندن دروسی در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد، دانشجویان رشته‌های مختلف را با این مقوله آشنا کرده و پایان نامه‌های دانشجویان را به این سمت جهت‌دهی نمود.

کشور ما بیش از آن که نیاز به توسعه دانش داشته باشد، نیاز به کاربرد صحیح دانش موجود در حوزه‌های دارای مزیت نسبی دارد. شناخت نیاز دنیا، کشف حوزه‌های ارجح، تخصیص صحیح منابع و بهره‌برداری درست از نیروها و استعدادهای کشور نیز علم و درایت خاص خود را می‌طلبد که تربیت نیروی انسانی لازم برای تصمیم‌گیری در مورد این‌گونه موضوعات نیز نباید از نظر سیاست‌گذاران پنهان بماند.

### بعد سخت‌افزار

برای تحقیقات نانوتکنولوژی یکسری تجهیزات خاص لازم است که مقدار کمی از آن در کشور وجود دارد. با توجه به محدودیت‌های سرمایه‌گذاری در این بخش توسط دولت و نهادهای علمی-تحقیقاتی وابسته به دولت ضرورت دخالت دادن بخش خصوصی در تأمین این‌گونه تجهیزات با هدف برآوردن نیازهای خاص خود در قالب قراردادهای پژوهشی بین صنعت و دانشگاه و یا مراکز تحقیقاتی لازم به‌نظر می‌رسد. صنایعی مانند پتروشیمی، نظامی و پزشکی از جمله صنایعی هستند که توانایی پرداخت هزینه‌های تجهیزات مورد نیاز این تحقیقات را تا حدودی دارند. قطعاً بودجه‌های دولتی در ابتدای امر باید به توسعه فضاهای تحقیقاتی در سطوح دانشگاهی تخصیص یابد و به‌این ترتیب زمینه مناسبی برای تربیت نیروی انسانی مورد نیاز صنعت در آینده فراهم شود.

### بعد سازمان‌افزار

به طور صریح وضعیت فعلی کشور را باید در ضعف آشکار بعد سازمانی فعالیت‌های انجام شده در کشور جستجو کرد. فارغ از بحث نانوتکنولوژی و تحقیقات، در کلیه ابعاد سیاست‌گذاری، اجرایی و کنترلی این ضعف مشهود است. مصادیق بارز این امر بخشی‌نگری و نبود تفکر سیستمی در بین سیاست‌گذاران، عدم هماهنگی و تعامل صحیح دولت و بخش خصوصی به دلیل عدم وجود اعتماد، ناکارایی بخش دولتی در پیش‌برد امور، نگرش غلط دولتمردان به جایگاه خود در ارتباط با بخش خصوصی و موارد متعددی از این دست می‌باشد. به عنوان مثال، تا دو سال پیش هیچ مرجع مشخصی متولی تدوین استراتژی‌های توسعه تکنولوژی کشور نبوده است در حالی که در حال حاضر پنج مرجع مختلف خود را به‌نوعی متولی این امر می‌دانند. این پنج مرجع عبارتند از: [۵]

- ۱- سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی کشور با طرح ساماندهی فعالیت‌های توسعه تکنولوژیکی.
- ۲- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی پس از دستور ریاست محترم جمهوری و تعیین محدودیت زمانی به‌منظور ارایه طرح ملی استراتژی‌های توسعه تکنولوژیکی کشور.
- ۳- مرکز تحقیقات استراتژیک وابسته به مجمع تشخیص مصلحت نظام.
- ۴- دفتر همکاری‌های فن‌آوری ریاست جمهوری به‌واسطه موقعیت و جایگاه خاص خود و

تجارب و سوابق قبلي.

۵- شوراي پژوهش‌هاي علمي متشکل از جمعي از صاحب‌نظران و دانشگاهيان گوناگون.

معضل اساسي اين است که اين پنج مرجع به‌صورت موازي در حال انجام فعاليتهايي مثل برگزارى همپيش و سخنراني هستند. به اين ترتيب منابع کافي به‌طوري که نتيجه قابل قبولى حاصل شود به‌هيچ يک اختصاص داده نمي‌شود. در حالي که با تمرکز اين منابع و کارهاي تيمي مي‌توان به نتيجه بهتري دست يافت.

در اين بعد، پرداختن به نقش و جايگاه دولت از اهميت خاصي برخوردار است. در حالي که دولت بايد نقش هدايت‌گرانه و تسهيل کننده اين امور را به عهده داشته‌باشد، همگي به تصدي‌گري هرچه بيشتري بخش دولتي اذعان دارند. اين ديدگاه به خاطر وجود نگرش ناصحيح به بخش خصوصي مي‌باشد. دولت به جاي بستر سازي اطلاعاتي و قانوني براي حرکت صحيح و سالم بخش خصوصي فقط به فکر جلوگيري از منفعت طلبي آن بوده است، در حالي که نيروي محرکه اقتصاد بازار کسب سود است و اين عامل مهم‌ترين انگيزه براي حرکت و پويابي بنگاههاي توليدي و خدماتي در اقتصاد مي‌باشد. دولت بايد با اتخاذ مکانيزم‌هاي صحيح قانوني و حمايتي، سرمايه‌ها را به سمت و سوي مطلوب سوق دهد و سودآوري بخش‌هاي حقيقي اقتصاد را بهبود بخشد. در بخش نانوتکنولوژي نيز دولت همين وظيفه را دارد. اطلاع رساني همگاني به صنعت، مراکز تحقيقاتي- دانشگاهي و تشويق‌ها و حمايت‌هاي مالي مانند معافيت‌هاي مالياتي و مهم‌تر از آن حمايت‌هاي قانوني و ترسيم دورنماي مطمئن از سرمايه‌گذاري در اين حوزه، استفاده از امکانات و نفوذ خود در خارج از کشور در برقراري ارتباط بيشتري شرکت‌هاي داخلي و خارجي از طريق اتاق‌هاي بازرگاني از موارد قابل تأمل است. در فاز تدوين اولويت‌ها نيز حضور تيمي خبره از صنايع مرتبط با تحقيقات نانوتکنولوژي الزامي است، چرا که اگر دولت خود را متولي تعيين تکليف براي بخش خصوصي مي‌داند بايد حتماً به پيشنهاده‌ها و مشکلات صنعت توجه کند و در برنامه‌ريزي خود آنها را مورد توجه قرار دهد. در اين صورت در فاز اجرا با کمترین مشکل مواجه خواهد بود و صنعت نيز خود را موظف به عمل به آنچه خود در تدوين آن نقش داشته است خواهد کرد. اين قبيل نکات از زواياي پنهان سياست‌گذاري صحيح و جامع مي‌باشد که متأسفانه کمتر مورد توجه برنامه‌ريزان قرار مي‌گيرد.

### سخن پایانی

مهم‌ترین نکته‌ای که در انتها باید متذکر شد، توجه به این نکته است که تدوین سند ملی سیاست‌گذاری نانوتکنولوژی و ارایه آن به مرجعی قانونی همچون هیأت وزیران برای تصویب نهایی و سپس مکلف کردن دستگاهها و مراجع ذیربط در به‌کارگیری مفاد آن، نقطه پایانی سیاست‌گذاری نانوتکنولوژی نیست. بنابراین با نگاهی موشکافانه، استفاده از لفظ «سند ملی سیاست‌گذاری نانوتکنولوژی ایران» چندان صحیح به‌نظر نمی‌رسد و به همین دلیل، عنوان بخش سوم مقاله «تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری نانوتکنولوژی» انتخاب شده است.

توجه به این نکته ضروری است که نانوتکنولوژی به عنوان یک زمینه بسیار گسترده از تکنولوژی‌های گوناگون باید در کنار سایر زمینه‌های تکنولوژیکی پیشرفته مانند IT، انرژی‌های نو، الکترونیک و کامپیوتر که به نظر می‌رسد در این زمینه مزیت‌های نسبی وجود دارد، مورد توجه قرار گیرد و سپس به تخصیص منابع و سرمایه‌ها، با توجه به تعیین اولویت‌های کلان توسعه تکنولوژیکی کشور پرداخت. بدین منظور دولت موظف است در عالی‌ترین سطح به تدوین استراتژی‌های توسعه تکنولوژی کشور و ترسیم دورنمای آینده‌ی آن بپردازد. در این راستا توجه به نکات ذیل ضروری است: [۵]

۱- در تدوین استراتژی‌های کلان توسعه تکنولوژیکی کشور، نیازی به تعیین تکنولوژی‌های مشخص نمی‌باشد، بلکه ضروری است تا «زمینه‌های تکنولوژیکی» مناسب برای سرمایه‌گذاری، مشخص شود. مسلماً تشخیص زمینه‌های مناسب بدون انجام مطالعات اولیه گسترده و تعیین فرصت‌ها و تهدیدهای ناشی از سرمایه‌گذاری در آن زمینه تکنولوژیکی در قالب تیم‌های تخصصی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۲- استفاده از تجارب کشورهای دیگر و یافتن نقاط مشترک، قطعاً مفید خواهد بود اما نباید فراموش کرد که استراتژی‌های هر کشور منحصر به‌فرد است، که با توجه به توانمندی‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها و نیز نقاط ضعف و قوت باید تدوین شود.

۳- فرایند تدوین استراتژی توسعه تکنولوژیکی امری پیچیده و طولانی است که نیاز به تیمی بزرگ و مدیریت خاص خود را دارد.

۴- طرح مذکور، طرحی غلتان است که باید هر چند سال یکبار با توجه به تحولات و توانمندی‌های جدید ایجاد شده در کشور مورد بازبینی قرار گیرد.

۵- پس از تدوین، لازم است طرح مذکور در سطحی وسیع در دسترس عموم دانشگاهیان، صنعتگران، محققین، سیاست‌گذاران و دولتمردان قرار گیرد تا همگان به جهت‌گیری‌های آتی تکنولوژیکی کشور واقف شده و هدف‌گذاری خود را مبتنی بر این سیاست‌ها انجام دهند. به عنوان مثال، کشور فرانسه در سال ۹۶ در یک پروژه ۹ ماهه، اقدام به تهیه کتابچه‌ای با نام «۱۰۰ زمینه تکنولوژیکی در سال ۲۰۰۰» کرد که اولویت‌های تکنولوژیکی کشور در آن معلوم بود و در سطحی وسیع در اختیار عموم قرار گرفت. به این ترتیب، هم‌مئی افراد به جهت‌گیری‌های کلان تکنولوژیکی کشور فرانسه از سال ۲۰۰۰ پی بردند و خود را با آن همسو کردند.

در کشور ما نیز تحقق چنین امری ضروری به نظر می‌رسد و برای این منظور لازم است که مرجع واحدی متولی این امر بوده و از سایر تصمیم‌گیران نیز بهره گیرد که لازمه این امر، جایگاه رفیع و فرابخشی بودن آن است.

از میان ۵ مرجع مورد اشاره در بخش ۳، مناسب‌ترین گزینه برای تصدی مسؤلیت مذکور، دفتر همکاری‌های فن‌آوری ریاست جمهوری است که از طرفی مستقیماً با رییس جمهور - بالاترین مقام اجرایی - مرتبط بوده و از حمایت‌های مالی و قانونی ویژه‌ای برخوردار است که این حمایت‌ها نقش بسیار مهمی در نیل به اهداف تعیین شده در پروژه دارد و از طرف دیگر، دفتر با حفظ شخصیت فرابخشی خود و کاستن از تصدی‌گری‌های بی‌مورد حتی در پروژه‌های بسیار مهم مانند توربین‌های گازی و صنایع هوایی، می‌تواند جایگاه هدایت‌گرانه خود را در خدمت پروژه‌های کلان ملی همچون تدوین استراتژی‌های توسعه تکنولوژیکی قرار دهد. در این راستا، دفتر باید با گردآوری خبرگان صنعت و مراکز تحقیقاتی و دانشگاهیان فکور و علاقه‌مند به مسایل کلان مملکت، یک کمیته راهبری قدرتمندی تشکیل دهد که هدایت و نظارت عالی بر فعالیت‌ها را در دست گیرند و سپس با تشکیل کمیته‌های تحقیقاتی در زمینه‌های مختلف تکنولوژیکی مانند تکنولوژی‌های پیشرفته از قبیل فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات، نانوتکنولوژی، بیوتکنولوژی، انرژی‌های نو و یا در صنایع سنتی یا تکنولوژی‌های سطح پایین مانند فولاد و پتروشیمی به بررسی پتانسیلها، تهدیدها، فرصت‌ها و مزیت‌های کشور در مورد هر یک از زمینه‌ها پرداخته و نهایتاً به تدوین سند ملی استراتژی‌های توسعه تکنولوژیکی بپردازد. پس از طی مراحل فوق است که مشخص می‌شود نانوتکنولوژی تا چه اندازه می‌تواند مشکلات ما را برطرف سازد و اولویت آن در مقایسه با بقیه زمینه‌ها به چه میزان است.

جان کلام آن‌که تدوین طرح ملی سیاست‌گذاری نانوتکنولوژی بدون در نظر گرفتن اولویت‌های توسعه تکنولوژیکی کشور، کار نادرستی است و در واقع استراتژی توسعه نانوتکنولوژی باید در زیر چتر استراتژی کلان توسعه تکنولوژیکی کشور تدوین گردد.





منابع و مراجع:

1. Richard H. Smith, II, A policy framework for developing a national nanotechnology program, Blacksburg, Virginia, April 24, 1998.
2. D.Cyranoski, Japan sets sights on success in nanotechnology, November 2000.
3. Chinese Science Academy to build Nanotechnology Research Center in Beijing, November 2000.
4. Hwang Jang-jin, Ministry announces a major initiative to boost bioscience, February 2001.

۵. مصاحبه با دکتر آراستی؛ عضو هیأت علمی دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه صنعتی شریف

۶. مصاحبه با مهندس سلطانی؛ مسؤؤل کمیته نانوتکنولوژی دفتر همکاری های فن آوری ریاست جمهوری