

ایجاد و گسترش علوم و فناوری نانو در ایران

نویسنده: هاشم رفیعی تبار*

استاد پژوهشی فیزیک محاسباتی ماده چگال،

پژوهشگاه دانشهای بنیادی

معرفی مقاله

علوم و فناوری مقیاس نانو، زیست شناسی و ژنتیک ملکولی و علوم رایانه و فناوری اطلاعات مؤلفه‌های انقلاب علمی - صنعتی سوم را تشکیل می‌دهند. وحدت این سه حوزه، که در مقیاس نانو تحقق می‌پذیرد، قرن بیست و یکم را با رنسانس دیگری در علم و فناوری همراه خواهد ساخت که نقش محوری در این رنسانس و همگرایی را علوم و فناوری مقیاس نانو ایفا خواهد نمود. مطالعه اوضاع جهانی نشان می‌دهد که این دو حوزه در رده نخست اولویتهای ملی در بیشتر کشورهای رشد یافته صنعتی و در بسیاری از کشورهای در حال رشد همتراز ایران قرار گرفته اند. به منظور همراهی با این کاروان جهانی و شرکت فعال در انقلاب سوم، لازم است از هم اکنون زیرساختهای لازم برای ایجاد و توسعه علوم و فناوری نانو در کشور تدارک دیده شود.

کلید واژگان: علوم و فناوری نانو، زیرساختهای توسعه، راهبردهای توسعه، حوزه گسترده مواد

۱- مقدمه

در بهمن ماه ۱۳۸۰، بنا به دعوت معاون محترم پژوهشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، کمیته "مطالعه توسعه زیرساختهای فناوری پیشرفته (با اولویت نانو

* نشانی: تهران، پژوهشگاه دانشهای بنیادی، صندوق پستی: ۵۵۳۱-۱۹۳۹۵ پیام‌نگار: Rafi@theory.ipm.ac.ir

فناوری)" با مسؤولیت اینجانب و با شرکت تعدادی از استادان دانشگاهها و مراکز پژوهشی کشور تشکیل گردید. وظیفه این کمیته، که در قالب یکی از طرحهای ملی وزارتخانه فعالیت می‌نمود، تعیین علایق جهانی علوم و فناوری نانو، تعیین علایق این علوم و فناوری در کشور، تعیین اهداف کوتاه، میان و بلند مدت بر مبنای این علایق ملی، پیشنهاد سیاستهای مشخص به منظور تحقق این اهداف و سرانجام تدوین راهبردهای لازم برای پیاده‌ساختن این سیاستها مشخص شده بود.

مقاله ذیل بر پایه گزارش مبسوط کمیته فوق نوشته شده است. این گزارش نتیجه مطالعات، بررسیها و بازدیدهای اعضای کمیته مزبور و ارزیابی آنها از امکانات و توانمندیهای سخت افزاری و نیروی تخصصی موجود در کشور تهیه گردیده است.

۲- علایق جهانی علوم و فناوری نانو

۲-۱- کلیات

علوم و فناوری مقیاس نانو (میلیارد متر) ادامه منطقی علوم و فناوریهای مقیاسهای ماکرو (یک هزارم متر به بالا) و میکرو (یک هزارم متر تا یک میلیونیم متر) است. از طریق این حوزه جدید امکان دستکاری و دخالت عمدی در ساختار اتمی ماده فیزیکی، جابه‌جا سازی تک اتمها و تک ملکولها، خود سامان دهی و خود همانند سازی ماده فیزیکی و ایجاد قطعات و ادوات نوینی که در مقیاسهای فوق ریز طولی و زمانی عملکرد دارند مهیا گشته است.

نانوفناوری مقوله‌ای نسبتاً گسترده است و درک مشترکی هنوز از آن ارائه نشده است. برخی از پژوهشگران آنرا یک «فناوری انتظاری» در نظر گرفته‌اند که «امکان کنترل کامل بر ساختار ماده فیزیکی را در اساسی ترین سطوح آن، یعنی سطوح اتمی و ملکولی، فراهم می‌آورد» (Drexler, ۱۹۹۲). در اینجا کنترل به معنای «مهندسی در مقیاس ملکولی است که از طریق آن مواد و قطعات با جایگذاری

دقیق تک اتمها و تک ملکولها (مطابق یک طرح قبلی) از پایین به بالا تولید می شوند». این دیدگاه عمدتاً از طرف پژوهشگران اروپایی و آمریکایی اشاعه یافته است و قرابت نزدیک تری با افکار هدایت کننده فایمن دارد (Feynman, ۱۹۶۰) که اولین بار مبحث دستکاری در مقیاس اتمی، ساختن سیمهای اتمی، مغناطیسهای تک حوزه‌ای و انباشت مقادیر زیادی اطلاعات در حجم بسیار کوچک (مانند سر سوزن) را پیشنهاد نمود. سایر پژوهشگران، بویژه پژوهشگران ژاپنی، در تعریف خود از نانو فناوری روند «کوچک سازی»، یعنی روند از بالا به پایین (از مقیاس میکرونی به مقیاس نانومتری) را در مد نظر دارند. به رغم این اختلاف نظر، اکثر قریب به اتفاق پژوهشگران بر این نظرند که: علوم و فناوری نانو دو رهیافت دخالت عمدی در بافت و نظم ساختار ماده در اساسی ترین اجزای آن را ارائه داده و امکان طراحی و تولید اتم به اتم ساختارهای نوینی را در مقیاس نانومتری فراهم می آورند. خصلت برجسته مقیاس نانو آن است که علوم سنتی، یعنی فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، علم مواد، مهندسی و پزشکی، که در مقیاسهای ماکرو و میکرو حوزه‌های فعالیت کاملاً مجزا و مستقلی را تشکیل می دهند، در این مقیاس به سمت اصول، مقولات و ابزارهای واحدی همگرا می شوند.

سنگ بنای علوم و فناوری نانومتری را نانو ساختارها تشکیل می دهند که از نظر اندازه در بین ساختارهای ملکولی و ساختارهای میکرونی قرار داشته و از تعداد قابل شمارشی از اتمها تشکیل می شوند و نسبت سطح به حجم آنها زیاد است و برای شناخت سازمان، عملکرد و خواص آنها (به ویژه خواص الکترونی و مغناطیسی) به مفاهیم فیزیک کوانتومی نیازمند است. نانو ساختارها حالت جدیدی از ماده فیزیکی هستند و می توان انتظار داشت که مواد در مقیاس نانو، و مواد با ریزدانه‌های نانو ساختاری، از کیفیت نوینی که در مواد معمولی موجود نیست برخوردار باشند. این امرافقهای کاملاً جدیدی را برای فناوری مهیا می سازد.

۲-۲- محورهای مشخص شده در علوم و فناوری نانو

علوم و فناوری مقیاس نانو از سه حوزه تخصصی مجزا و درعین حال مرتبط با هم تشکیل می‌شود:

الف- علوم و فناوری مرتبط با نانو ساختارهای «تر» (نرم).

ب- علوم و فناوری مرتبط با نانو ساختارهای «خشک» (سخت).

ج- علوم و فناوری محاسباتی نانو ساختارها.

ردیف (الف)، مطالعه دستگاههای زیستی را، که به طور عمده در محیط حلال بسر می‌برند، در دستور کار خود قرار می‌دهد. نانو ساختارهای این حوزه شامل مواد زیستی نظیر ژنها، غشاهای سلولی، آنزیمها و نظایر آنها می‌شود. وجود ارگانوسمهای طبیعی گواه خوبی برای امکان ایجاد و توسعه این نوع فناوری است. چالش اساسی در این زمینه، شناخت نانو فناوری در طبیعت و استفاده از شناخت در نانو فناوری انسان ساخته است.

ردیف (ب)، مرتبط با علوم شیمی و فیزیک مواد، بویژه سطوح آنها و لایه های نازک که در یکی از ابعاد در مقیاس نانو هستند، می‌باشد. تمرکز فعلی این حوزه بیشتر بر روی نانو ساختارهای فلزی و کربنی، از قبیل فولرین ها و نانو لوله‌ها و ساختارهای سیلیکونی می‌باشد. چالش بزرگ در این حوزه تولید مواد نوین با ریز ساختهای نانومتری است که از خواص مکانیکی و ترمودینامیکی برتر برخوردار خواهند بود.

ردیف (ج)، در قالب حوزه های مدلسازی عددی و شبیه سازی وابسته به رایانه (که امروزه به عنوان شاخه سوم پژوهش شناخته شده‌اند) (Rafii, ۲۰۰۰). مطالعه عددی نانوساختارها و نانوروندهای «تر» و «خشک» را با استفاده از نظریه‌های فیزیک کلاسیک و کوانتومی بس ذره‌ای هدف خود قرار داده است. پیدایش امکانات عظیم محاسباتی در شکل ابر کامپیوترها، سکوهای گرافیک محاسباتی و کامپیوترهای قدرتمند فردی منجر به شکل گیری علم نوینی به نام علم محاسباتی شده که مبنای مدلسازیهای بسیار دقیق در سطوح زیر اتمی، اتمی

و ملکولی را فراهم آورده است. چالش بزرگ در این حوزه طراحی مواد جدید از طریق محاسبات پایه اولیه متکی بر فیزیک کوانتومی است.

۲-۳ مزایای بالقوه نانو فناوری

علوم و فناوری نانو دستیابی به پیشرفت‌های علمی، صنعتی، اقتصادی و اجتماعی عظیمی را برای کشورها نوید می‌دهد که می‌توان آنها را در سه دسته طبقه‌بندی کرد:

الف- حیطه علمی- صنعتی، روند فعلی کوچک سازی مقیاس میکرونی با استفاده از حکاکی نوری، که روش متداول برای ساخت مدارهای مجتمع است، بزودی به آخر خط خواهد رسید، زیرا استفاده از نور فرا بنفش برای حکاکی به مرز بحرانی طول موج یک دهم میکرون نزدیک می‌گردد و ادامه قانون مور (Moore)، که به موجب آن تعداد ترانزیستورهایی که بر روی یک تراشه قرار می‌گیرند هر هجده ماه دو برابر می‌شود، دیگر امکانپذیر نخواهد بود. افزایش تعداد ترانزیستورها، که پیشرفت فناوری ارتباطی وابسته به آن است، از طریق استفاده از نانو ساختارها (مانند نانو لوله های کربنی) یکی از ساز و کارهای جدی برای خروج از بحران یک دهم میکرون است. افزون بر این می‌توان از نانو فناوری مزایای دیگری نظیر پوششهای سطحی بهتر، مواد محکمتر و سخت تر، مواد مقاومتر در مقابل خوردگی، کاتالیزورهای مؤثرتر و خواص نوین مغناطیسی و همچنین مواد زیستی و انواع گوناگون حسگر، آمیزش زیست شناسی و الکترونیک، افزایش کارایی مواد و تولید دستگاهها و مواد هوشمند را نیز می‌توان انتظار داشت. در کشورهای پیشرفته صنعتی این موضوع مورد قبول همگان است که صرف هزینه برای پژوهش در نانو فناوری امری الزامی است و ثمرات اقتصادی مطلوبی را به دنبال خواهد آورد.

ب- **حیطه آموزشی و پژوهشی**، ایجاد علوم و فناوری نانو باعث پیدایش نسل جدیدی از پژوهشگران در رشته‌های کاملاً نوین می‌گردد. پژوهشگاهها و مراکز تحقیقاتی دانشگاهی و صنعتی جدید به وجود خواهند آمد و شاخه‌های جدیدی به علوم و فناوری کشور اضافه می‌شود. حتی اگر همگی آزمایشها و محاسبات به نتایج مطلوب منتهی نشود، دانش ما را نسبت به آنچه امکانپذیر و شدنی است و آنچه امکان‌ناپذیر و ناشدنی است ارتقا می‌بخشد. نظر به اینکه پژوهشهای مرتبط با نانو فناوری عمیقاً بین رشته‌ای است، بر روی چندین رشته علمی و فنی اثربخشی مستقیم داشته و پژوهش، فرهنگ و فعالیت بین رشته‌ای را تقویت خواهند کرد.

ج- **حیطه اجتماعی**، مزایای دراز مدت نانو فناوری ملکولی و مهندسی ملکولی افقهای کاملاً نوینی را در مقابل بشریت مترقی خواهد گشود. در این خصوص می‌توان از امکاناتی نظیر ترمیم سلولها و بافتهای ژنتیکی و مبارزه با امراض سنتی و جدید در مقیاس ملکولی نام برد. این امر به معنای پایان بخشیدن به بیماریها و روند کهولت سن است. توانمندی در تولید تقریباً هر گونه مواد و دستگاه به قیمت بسیار نازل و به‌طور نامحدود، انواع مواد خوراکی و پوشاکی از طریق روباتها (نانوباتها) که تحت نظارت برنامه‌های نرم‌افزاری از بیرون عمل کرده و قادرند همانندهای خود را به وجود آورند مزایای راهبردی علوم و فناوری مقیاس نانو را رقم می‌زند.

۲-۴ علایق جهانی

مطالعات گسترده نشان می‌دهد در مقطع کنونی علایق جهانی علوم و فناوری نانو، زمینه‌های زیر را در بر می‌گیرد:

۱- فناوری قطعات الکترونیکی، بویژه در حوزه مرتبط با سخت افزارهای رایانه‌ای؛

۲- فناوری اطلاعات در حوزه تولید نرم افزارهای مدلسازی عددی و

شبیه‌سازی وابسته به رایانه که مورد استفاده در علوم و فناوری محاسباتی نانو هستند؛

۳- فناوری زیستی و کشاورزی؛

۴- صنایع دارویی؛

۵- صنایع شیمیایی؛

۶- بهداشت؛

۷- محیط زیست؛

۸- تولید مواد جدید؛

۹- پزشکی؛

۱۰- الکترونیک مقیاس میکرونی (همگرایی فیزیک و زیست شناسی).

این حوزه‌ها اجزای یک برنامه جهانی را تشکیل داده و کشورهای گوناگون، بسته به امکانات و اولویتهای ملی خود، در این یا آن زمینه، وبندرت بطور یکسان در همهٔ زمینه‌ها، کار ایجاد و توسعهٔ فناوری نانو را آغاز کرده‌اند. راهبردهای تحقق این برنامه نیز از طرف جامعه پژوهشگر جهانی تدوین شده که عبارت است از:

۱- پژوهشهای بنیادی در علوم نانو به‌منظور ایجاد دانشهای پایه دربارهٔ روند

شکل‌گیری و عملکرد نانو ساختارهای منفرد (درفیزیک، شیمی و زیست-

شناسی) به مثابه اجزای ساختمانی نانو فناوری و سنتز این نانو ساختارها؛

۲- پژوهشهای چالش بزرگ در فناوری نانو، مانند تولید آزمایشگاهی مواد نانو

ساختاری جدید و ارائه راهکارهای عملی برای دستکاری در بافت ژنتیکی

نانو ساختارهای زیستی؛

۳- ایجاد نهادهای ویژه، مانند مراکز تخصصی علوم و فناوری نانو (پژوهشگاهها

و جزایر کیفیت)، قطبهای علمی، مراکز رشد (انکوباتورها) و فور سایتها؛

۴- ایجاد شبکه‌های ملی آزمایشگاهی ویژه علوم و فناوری نانو و تهیه وسایل

آزمایشگاهی مستقل به‌منظور ایجاد فناوریهای توان ساز اولیه؛

۵- تحقق برنامه آموزش ملی در دانشگاهها و سایر مراکز آموزش عالی برای تربیت نیروی انسانی متخصص.

۳- علایق علوم و فناوری نانو در ایران

با عنایت به علایق علوم و فناوری نانو در مقیاس جهانی، لازم است انعکاس این علایق در مقیاس ملی در انطباق با شرایط کشور و اولویتهای ملی انجام پذیرد. علایق نانو فناوری در ایران در مرحله حساس بنیانگذاری الزاماً باید به‌طور تنگاتنگ در ارتباط با امکانات و توانمندیهای بالقوه و بالفعل کشور، چه در عرصه امکانات سخت افزاری و چه نیروی انسانی، قرار داشته باشد. نادیده گرفتن نقش امکانات مشخص و محلی و دنبال کردن روندهای جهانی در این زمینه، و احیاناً الگوسازی ساده و مکانیکی از فعالیتهای کشورهای صنعتی پیشرفته، مانند ایالات متحده و ژاپن، می‌تواند عواقب منفی برای کشوری نظیر ایران به دنبال داشته باشد. کشورهای پیشرفته صنعتی، که از زیرساختهای علمی-صنعتی بسیار قدرتمند برخوردار هستند، کلیه حوزه‌های فناوری نانو و استفاده از تمامی رویکردها (از پایین به بالا / از بالا به پایین) را در برنامه‌های پژوهشی خود قرار داده و یا خواهند داد. این کشورها قادر به تخصیص بودجه‌های پژوهشی کلان برای تحقق رویکردهای گوناگون، و احیاناً ناموفق، هستند. برای کشورهای نظیر ایران که بخش بسیار نازلی از تولید ناخالص ملی خود را در پژوهشهای علمی-صنعتی، به‌طور عام، و پژوهشهای مرتبط با حوزه‌های نوین از قبیل نانوفناوری، بطور ویژه، هزینه می‌کند، باید حوزه‌های فعالیت به‌طور گزینشی انتخاب شوند. از این منظر، لازم است اولویتهای ملی بر پایه امکانات ملی تعیین گردند و در تمام تصمیمات مربوط به فناوری نانو به حساب آورده شوند. در اینجا، قبل از پرداختن به بررسی امکانات ملی، یادآوری چند نکته مربوط به رویکردهای مورد استفاده در نانو فناوری ضروری است. همچنانکه اشاره شد، سنگ بنای علوم و فناوری مقیاس نانو را نانو ساختارها تشکیل می‌دهد. طراحی،

مهندسی، تولید و شناسایی این ساختارها، چه در دستگاههای غیر زیستی و چه زیستی، چه در محیط خشک و چه تر، مبانی اساسی فعالیتهای نانوفناوری به حساب می‌آیند. تولید صنعتی نانو ساختارها از طریق دو رویکرد امکان پذیر است. یکی رویکرد از بالا به پایین، یعنی حرکت از مقیاسهای بزرگتر از مقیاس نانو متری و گذار گام به گام به مقیاس نانو. علایق نانو فناوری در این رویکرد، بیرون کشیدن ساختارهای نانومتری از درون ساختارهای میکرونی، و یا بزرگتر از میکرونی است. این رویکرد تحت عنوان رویکرد کوچک سازی در سطح جهان معروف گردیده است و در برگیرنده فناوریهای زیر صد نانو متر است. کار برد این رویکرد عمدتاً در صنایع الکترونیک، مانند نیمه رساناها و تولید قطعات کوانتومی، است. فناوریهای مربوط به ماشینهای میکروالکترو مکانیکی (MEMS) و آزمایشگاههای روی تراشه (LoC) که در مقیاسهای میکرونی و میلیمتری عملکرد دارند اولین قدمها در راه فعالیتهای کوچک سازی برای رسیدن به مقیاس نانو از بالا می‌باشد.

رویکرد دوم نانو فناوری، که به مبانی افکار هدایت کننده پایه گذاران این رشته بسیار نزدیکتر است و انگیزه اساسی را در به پا ساختن و توسعه این انقلاب علمی - صنعتی تشکیل می‌دهد، رویکرد از پایین به بالاست. در این رویکرد، تولید نانو ساختارها از طریق جاسازی تک اتمها و تک ملکولها در کنار یکدیگر انجام می‌پذیرد. این رویکرد دارای کاربرد وسیعی، بویژه در زیست‌شناسی، ژنتیک ملکولی، طراحی مواد معدنی و آلی جدید، تولید مواد غذایی جدید، تولید داروهای هوشمند و تولید ماشینهای مقیاس ملکولی است. طراحی و تولید مواد نوین با ریز ساختهای نانومتری و نانو پودرها، با خواص و عملکردهای کاملاً نوین، که در مواد مقیاس بزرگتر به چشم نمی‌خورند، مواد، محکمتر، سخت تر و سبکتر و کاتالیزورهای نانو ساختاری که دارای استفاده وسیع در صنایع نفت و پتروشیمی هستند در زمرة عرصه‌های فعالیت این رویکرد قرار دارند.

بی شک، تحقق این دو رویکرد مستلزم وجود امکانات و توانمندیهای

خاصی است. بررسی نسبتاً جامع از فعالیتهای کشورهای گوناگون نشان می‌دهد که رویکرد اول عمدتاً از طرف ژاپن، و اساساً در ارتباط با فناوری میکروالکترونیک و صنایع مربوط به آن، مانند فناوری اطلاعاتی، اتخاذ گردیده و رویکرد دوم توسط کشورهای اروپایی و ایالات متحده مورد استفاده وسیع قرار گرفته است. سایر کشورها، مانند کشورهای جنوب شرقی آسیا و یا اسرائیل، بسته به امکانات خود جنبه‌هایی از هر دو رویکرد را در مد نظر قرار داده‌اند، و تا آنجا که می‌توان از گزارشهای خود آنان قضاوت نمود، گرایش عمده تمامی این کشورها در فعالیتهای پژوهشی و کاربردی حول محور رویکرد دوم است.

اکنون سؤال اساسی در مورد پایه ریزی این فناوری در ایران این است: از این دو رویکرد کدامیک برای ایران در این مقطع زمانی امکانپذیر است و باید مورد حمایت قرار گیرد؟ به منظور پاسخ به این پرسش می‌بایست ابتدا امکانات بالقوه و بالفعل علمی و صنعتی کشور مورد مطالعه تقریباً همه جانبه قرار می‌گرفتند. هدف از این مطالعه، نه فقط کسب شناخت از امکانات سخت افزاری و نیروی انسانی موجود، بلکه همچنین ارزیابی از امکان تلفیق این امکانات با یک برنامه مشخص ملی نانو فناوری بود. بررسی امکانات موجود در پژوهشگاهها و مراکز آموزش عالی و صنعتی مستقر در تهران که مورد بازدید قرار گرفتند نشان داد که ایران در این مقطع دارای امکانات محدود، ولی سودمند، برای ورود به عرصه نانو فناوری از طریق محور از پایین به بالا است. تا آنجا که به رویکرد کوچک سازی مربوط می‌گردد، کشور از همین امکانات محدود نیز برخوردار نیست. پیش شرط پیاده‌سازی این رویکرد، وجود فناوریهای پیشرفته مقیاس میکرونی است که در رشد توسعه خود، تولید ابزار، قطعات و دستگاههای مقیاس نانو را هدف قرار می‌دهند. براساس عوامل تاریخی و به دلیل فقدان یک زیر بنای جدی علمی-صنعتی، از قبیل صنایع میکروالکترونیک و میکرو ماشینی، جامعه در بهترین حالت درگیر فعالیتهای غیر مولد، از قبیل فعالیتهای روبنایی مونتاژ و تعمیرات بوده است. بی شک در یک برد زمانی بلند

مدت، به عنوان مثال در فاصله زمانی ۲۰ سال به بالا و با حرکت از ایجاد شالوده‌های مطمئن برای صنایع میکرونی، می‌توان در طرح‌های مربوط به رویکرد کوچک سازی از بالا به پایین شرکت فعال داشت.

با توجه به آنچه که در بالا بدان اشاره شد و با در نظر داشت امکانات موجود در کشور، مطالعات دقیق نشان می‌دهد که محور عمده علایق و مقاصد فعلی و میان مدت نانو فناوری در ایران را حوزه گسترده مواد (شامل بیومواد) و فناوری‌های متکی بر این حوزه از طریق رویکرد از پایین به بالا تشکیل می‌دهد. از نظر تاریخی، نیز حوزه مواد نقش اساسی و تعیین کننده‌ای را در بهبود بخشیدن به عملکرد اقتصادی و کیفیت زندگی ایفا کرده است و کلیه فعالیت‌های علمی - صنعتی در یک کشور به نوعی در ارتباط تنگاتنگ با این حوزه قرار دارد. صنایع یک کشور یا درگیر شکل دادن به مواد (تولید قطعات صنعتی)، یا بهینه کردن خواص آنها و یا طراحی و تولید مواد نوین است. عملکرد فناوری نانو در حوزه مواد بسیار ملموس‌تر و قابل دسترسی‌تر بوده و زمینه‌های زیر را بروشنی تحت پوشش خود قرار می‌دهد:

الف- محیط زیست: استفاده کارا تر از مواد و منابع انرژی، ایجاد منابع و مواد جدید انرژی زا، بی خطر سازی مواد آلاینده و قابل باز یافت؛

ب- بهداشت: هماهنگی حوزه مواد و بیوفناوری به منظور مبارزه مؤثر با بیماریها، شامل تولید مواد استخوانی و اندامهای مصنوعی، داروهای هوشمند، فیلترهای هوشمند تصفیه آب و...؛

ج- ارتباطات: پیشرفت در فناوری اطلاعاتی و رایانه‌ای از طریق تولید مواد جدید مغناطیسی، نوری و الکترونیکی؛

د- کشاورزی: بهبود کیفیت فرآورده‌ها با استفاده از نانو فناوری، مبارزه با آفات گیاهی در مقیاس ژنتیکی، طراحی مواد غذایی جدید با بافت ژنتیکی تغییر یافته، مقاوم سازی محصولات کشاورزی در مقابل افت و خیز در شرایط جوئی از طریق دخالت عمدی در نظم ملکولی آنها.

ه- صنایع: دگرگونی کیفیت کالاهای صنعتی از طریق استفاده از مواد پیشرفته، از جمله تولید قطعات آلومینیمی سبکتر برای خودروها، دستگاههای ترمزدهنده ساخته شده از مواد جدید برای قطارهای پرسرعت، ساخت هواپیماهای کم صداتر و کاشیهای محافظتی برای سفینه‌ها با استفاده از مواد جدید، طراحی و تولید مواد با ریز ساختهای نانومتری، بویژه آلیاژهای مستحکم جاسازی ذرات نانو متری در پلیمرها به منظور ایجاد مواد کامپوزیت با خواص جدید (مورد استفاده در وسایل نقلیه درون تبدیل-گرهای کاتالیتیک برای تبدیل مواد زائد حاصل از احتراق در موتور ماشینها به مواد خنثی و بی‌اثر بر محیط زیست)، تولید پلاستیکها و مواد پوششی سبکتر که بازده مصرف مواد سوختی در وسایل نقلیه را ارتقا می‌دهند، تولید نانو لوله‌های کاربونی که به مراتب از فولاد قویتر بوده ولی بمراتب از فولاد سبکتر هستند و کاربردهای این لوله‌ها در الکترونیک، صنایع شیمیایی، نورشناسی، زیست‌شناسی و ترابری؛

و- فناوریهای جدید: تولید نرم افزارهای مرتبط با نانو فناوری محاسباتی، استفاده از نرم افزارهای مدلسازی عددی و شبیه سازی وابسته به رایانه در مقیاسهای اتمی و ملکولی برای طراحی و آزمون مواد جدید و آزمایش آنها در شرایط کاملاً نا آشنا، طراحی اتم به اتم ساختارهای نانومتری، محاسبه نفوذ روندها و ساختارهای مقیاس اتمی در روندها و ساختارهای مقیاس روزمره.

۴-اهداف نانو فناوری در ایران

با تعیین حوزه گسترده مواد به عنوان محور اصلی علایق نانو فناوری در ایران، اکنون باید اهداف مشخصی را برای تحقق این حوزه معین نمود. این اهداف در سه زمینه: تحقیقات بنیادی، تحقیقات کاربردی (هدفمند) و تحقیقات توسعه ای و هر کدام در سه بازه زمانی کوتاه مدت (تا پایان برنامه سوم توسعه، ۱۳۸۳) میان مدت (تا پایان برنامه چهارم توسعه، ۱۳۸۸) و بلند مدت (تا سال ۱۴۰۰)

بررسی می‌شوند. قبل از پرداختن به توضیح اهداف، ذکر چند پیش فرض ضروری است.

الف- در خصوص تحقیقات بنیادی، فرض بر آن است که عمده این تحقیقات، که در حوزه علوم نانو خواهند بود، در دانشگاهها، پژوهشگاهها و آزمایشگاههای ملی انجام خواهند گرفت زیرا نظر به طولانی بودن دوره به ثمر رسیدن این تحقیقات، صنایع موجود ممکن است از ارائه پشتیبانیهای لازم در این شاخه سر باز زنند. بودجه برای تحقیقات بنیادی باید هم برای محققین منفرد و هم گروه محققان در نظر گرفته شود و در عین حال نظر به بین رشته ای بودن تحقیقات علوم نانو، حتی المقدور به پژوهشهای بین رشته‌ای اولویت داده شود.

ب- در خصوص تحقیقات کاربردی، فعالیت مشترک پژوهشگران و مهندسان در دانشگاهها و مراکز صنعتی لازم است و در نتیجه آن طرحهایی باید مورد پشتیبانی قرار گیرند که این رابطه را دقیقاً در نظر گرفته باشند؛

ج- در خصوص تحقیقات توسعه‌ای، به منظور بهینه کردن این تحقیقات و تجاری سازی نهایی نمونه‌های بدست آمده در تحقیقات کاربردی، لازم است همکاری همه جانبه‌ای بین دانشگاهها، صنایع و آزمایشگاههای ملی به وجود آید؛ بدین منظور می‌توان به عنوان نمونه برنامه‌های نانو فناوری مشارکتی را از طریق ایجاد شرکتهای کوچک تخصصی تشکیل داد و محیطهای رشد در دانشگاهها و پارکهای علمی را به وجود آورد.

۴-۱ اهداف کوتاه مدت

الف- شاخه بنیادی

- بررسی محاسباتی و آزمایشگاهی مواد نانو ساختاری؛
- بررسی مواد نانوکربنی به مثابه شاخه مشخصی در نانو فناوری؛
- بررسی خواص مکانیکی، الکترونیکی و اپتیکی نانوبلورها، لایه‌های نازک

وساختارهای با ابعاد پایین از قبیل نقاط و سیمهای کوانتومی؛
- بررسی خواص نانوساختارهای زیستی، بویژه خواص رسانش آنها.

ب- شاخه کاربردی

هدف، دستیابی به مبانی دانش فنی و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی در زمینه‌های
ذیل است:

- ساخت حسگرها؛
- ساخت آزمایشگاهی ساختارهای نانوکربنی؛
- ساخت نانوبلورها، نانوپودرها و کامپوزیتها؛
- ساخت لایه‌ها و پوشش‌ها؛
- ساخت کاتالیزورهای نانویی؛
- ساخت نانو ساختارهای زیستی، پزشکی و داروهای هوشمند؛
- ساخت ابزارهای دستکاری، مشاهده و آنالیز نانو متری.

ج- شاخه توسعه‌ای

هدف، تعیین اولویتها و بخشهای مزیت‌دار است که خود به عناوین زیر تقسیم
می‌شود:

- دستیابی به دانش فنی مربوط به افزایش خواص محصولات فناوریهای پایین
دست بخشهای مزیت‌دار؛
- شناسایی فناوریهای اولویت‌دار قابل انتقال به کشور.

۴-۲ اهداف میان مدت

الف- شاخه بنیادی

- توسعه روشهای مدلسازی عددی و شبیه‌سازی رایانه‌ای.
- شناسایی آزمایشگاهی پدیده‌های نانو متری

ب- شاخه کاربردی

هدف، نمونه سازی مواردی مانند ذیل است:

- نمونه سازی نانوحسگرها، از جمله نانوحسگرهای نوری، شیمیایی، زیستی و پزشکی؛
- نمونه سازی ساختارهای نانوکربنی و طراحی شماتیک قطعات؛
- نمونه سازی نانوبلورها، پودرها، کامپوزیتها و الیاف؛
- نمونه سازی لایه ها و پوششها؛
- نمونه سازی انواع کاتالیزورها؛
- نمونه سازی ابزارهای دستکاری، مشاهده و آنالیز ساختارهای نانومتری؛
- نمونه سازی غشاهای مصنوعی و داروهای هوشمند.

ج- شاخه توسعه‌ای

هدف، نهادسازی در موارد ذیل است:

- تقویت مراکز پژوهشی و نهاد سازی توسط صنعت.
- بومی سازی دانش فنی انتقال یافته.
- ایجاد فناوریهای مستقل نانویی در حوزه بخشهای مزیت دار.

۳-۴ اهداف بلند مدت

الف- شاخه بنیادی

هدف؛ انجام چالشهای بزرگ در تمامی زمینه‌هایی است که در ذیل اهداف کوتاه‌مدت و میان مدت، این شاخه عنوان شد.

ب- شاخه کاربردی

هدف، بهینه سازی مواردی از قبیل ذیل است:

- بهینه سازی حسگرهای نوری، شیمیایی، زیستی و پزشکی؛
- ساخت قطعات؛

- بهینه سازی نانوبلورها، پودرها و کامپوزیتها؛
- بهینه سازی کاتالیزورها و آماده سازی ورود به صنعت؛
- ساخت سیستمهای ساده؛
- استفاده از لایه ها و پوششها در قطعات.

ج- شاخه توسعه‌ای

هدف تولید صنعتی مواردی مانند ذیل است:

- تولید حسگرهای زیستی، شیمیایی، نوری و پزشکی؛
- استفاده از مواد نانو کربنی در صنایع؛
- تولید مواد با ریز دانه های نانومتری؛
- تولید کاتالیزورهای خاص؛
- بهبود صنایع وابسته به لایه ها و پوششها؛
- توسعه و تکمیل ابزارهای موجود.

۵- سیاستها

با تعیین اهداف علوم و فناوری نانو در ایران، اکنون لازم است سیاستهای دستیابی به این اهداف را پیشنهاد نمود:

الف- تدوین برنامه های میان مدت جهت جلب شرکتهای بزرگ صنعتی (مانند صنایع خود رو، مخابرات، نفت و گاز، پتروشیمی و صنایع دارویی) به فعالیتهای مرتبط با نانو فناوری و کمک به تأسیس شرکتهای متوسط در زمینه نانو؛

ب- تدوین برنامه میان مدت ملی پژوهش و توسعه علوم و فناوری نانو، در برگیرنده دانشگاهها، پژوهشگاهها و صنایع مربوطه. هدف این برنامه ایجاد جامعه ای از متخصصین علوم و فناوری نانو است که به طور مشخص بر روی پیشبرد این دوزمینه تمرکز می‌یابند. در کنار این برنامه پژوهشی، تدوین یک برنامه ملی آموزشی و گسترش رشته نانو در دانشگاهها و پژوهشگاههای

کشور نیز از ضرورت‌های این سیاست است؛

ج- تدوین یک برنامه دقیق و محاسبه شده میان مدت، به منظور محور ساختن ایران برای پژوهش‌های علمی و فنی نانو در منطقه و جذب امکانات مالی کشورهای ثروتمند در منطقه (باتوجه به عدم فعالیت هیچیک از کشورهای اسلامی منطقه در این حوزه)؛

د- ایجاد روابط نزدیک با کشورهایی که در زمینه نانو فناوری فعال هستند (از طریق برگزاری نشست‌ها و همایش‌های بین المللی، تبادل دانشجو و استاد و همچنین امضای تفاهم نامه‌های همکاری بین المللی)؛

ه- کمک همه جانبه دولت از طریق وزارتخانه‌های ذی‌نفع و اختصاص بودجه‌های سالیانه و افزایش معقول این بودجه‌ها.

و- جلب همکاری هموطنان متخصص مقیم خارج کشور و فراهم ساختن امکانات تردد آنها.

۶- وضعیت مطلوب

با توجه به اهداف اعلام شده و سیاست‌هایی که باید به منظور تحقق این اهداف تا میان مدت دنبال نمود، چه شاخص‌هایی را می‌توان به عنوان تحقق رضایت بخش این سیاستها در نظر گرفت؟ در این خصوص می‌توان وضعیت مطلوب را به شرح زیر تعریف نمود:

الف- ایجاد شبکه‌ای متشکل از پژوهشکده‌ها و پژوهشگران درگیر در علوم و فناوری نانو در میان مدت و ایجاد یک بانک اطلاعاتی نسبتاً فراگیر؛

ب- انجام حداقل ده پژوهش فراگیر تا پایان برنامه چهارم توسعه که قابلیت تبدیل به یک فناوری جهانی را دارا باشند؛

ج- گسترش تعداد پژوهشگران از سطح فعلی تقریباً ۳۰ نفر به سطح ۳۰۰ نفر تا پایان برنامه چهارم؛

د- تولید حداقل ۵ محصول مرتبط با علوم و فناوری نانو تا پایان برنامه چهارم؛

۶- چاپ مقالات پژوهشی به طوری که تا پایان برنامه چهارم به سقف ۶۰ مقاله در سال برسد.

۷- راهبردهای دستیابی به وضعیت مطلوب

محورهای زیر می‌توانند راهبردهای ایجاد وضعیت مطلوب را ارائه دهد:

- الف- پرورش نیروی انسانی متخصص؛
- ب- حداکثر بهره‌گیری از امکانات درون کشور؛
- ج- اتکا به برنامه‌های همکاری بین‌المللی و منطقه‌ای؛
- د- توجه دقیق به چرخه مطالعات تا ایجاد فناوری و تجاری‌سازی؛
- ه- فعال‌سازی بخش خصوصی در زمینه نانو؛
- و- تشویق و توسعه فعالیت‌های بین‌رشته‌ای؛
- ز- تدوین طرح‌های مشترک پژوهشی بین وزارتخانه‌ای؛
- ح- سهم شدن در بازار یک هزار میلیارد دلاری نانو تا ۱۵ سال دیگر.

۸- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان دادیم که پایه‌ریزی علوم و فناوری نانو، نه فقط برای کشورهای صنعتی پیشرفته، بلکه برای کشورهای در حال توسعه نظیر ایران نیز یک اولویت ملی به حساب می‌آید. خصلت مشخص‌کننده نانو فناوری آن است که پژوهش در برگرفته چندین شاخه علمی و صنعتی است و چندین طرح پژوهشی بین رشته‌ای را در برمی‌گیرد. این شاخه‌ها شامل علوم فیزیک، شیمی، فناوری زیستی، مهندسی، ژنتیک و فناوری اطلاعاتی است. نانو فناوری، اولین زمینه علمی در تاریخ نسبتاً طولانی علوم و فناوری است که از چنین خصلت هولیستیک و بین‌رشته‌ای برخوردار است. زیرا مبنای این فناوری، یعنی نانو ساختارها، که دریچه ورود ما به حیطه‌های نوینی در علوم فیزیکی و زیست‌شناسی است، در تمامی شاخه‌های علوم و فناوری سنتی موجود بوده و دارای کاربرد است. آنچه

نانو فناوری انجام می‌دهد تجمع این نانو ساختارها در زیر چتر یک فناوری گسترش یافته و برقراری ارتباط بین آنها است. فعالیت نانو فناوری در حیطه نانو ساختارها، امکان تماس با ماده فیزیکی در اساسی‌ترین سطوح آن را فراهم آورده و دخالت عمدی در نظم اتمی را ممکن می‌سازد. این دخالت می‌تواند در مواد غیرزیستی به منظور بهینه کردن عملکردهای آنها، یا در مواد زیستی برای ایجاد تغییرات در بافتهای ژنتیکی آنها انجام پذیرد. بی‌شک، این امر امکانات عظیمی را در اختیار جوامع بشری قرار خواهد داد و حربه‌ای مؤثر برای رفع مشکلاتی از قبیل گرسنگی، بیماری و بیکاری خواهد بود.

اکنون که مبحث ایجاد و اشاعه نانو فناوری در ایران گشوده شده و پیشرفت این رشته ثمرات اجتماعی - اقتصادی مطلوب خود را به بار خواهد آورد، پرسشهایی در این مقطع مطرح می‌شوند که می‌توانند شامل مباحث زیر باشند:

۱- عناوین پژوهشی از حوزه گسترده مواد، که اولویت ملی را در این مقطع در ایران تشکیل می‌دهد، شامل چه مباحثی می‌شود؟ بررسیهای ما در مورد امکانات و توانمندیهای موجود نشان می‌دهند که مراکز علمی و پژوهشی ما دارای امکاناتی برای شروع فعالیت در شاخه‌های زیر می‌باشند.

- طراحی و تولید مواد جدید :

الف- آلیاژهای جدید که دارای ریز ساختهای نانومتری می‌باشند و در صنایع خودروسازی مورد نیازند؛

ب- آلیاژهای جدید مورد نیاز در صنایع بسته بندی الکترونیکی (Electronic packaging industries) از قبیل لحیمها و سیم جوشهای مورد

استفاده در ساخت مدارهای مجتمع الکترونیکی؛

ج- آلیاژهای مغناطیسی؛

د- آلیاژهای مورد نیاز در صنایع الکترونیک؛

ه- طراحی و تولید پودرها و کاتالیزورهای مقیاس نانومتری؛

- دستکاری و دخالت عمدی در بافت مواد موجود، بویژه بیومواد و پلیمرها، در مقیاس ملکولی .
 - طراحی و رشد لایه‌های نازک برای کاربرد در صنایع پوششی و چندلایه‌ای - های مغناطیسی جهت ساخت حسگرها؛
 - ساخت قطعات نانومتری کربنی مانند فولرینها، لوله های کربنی و لایه های نانومتری کربنی برای تولید قطعات بسیار ریز با مقاومت مکانیکی بالا، حاملهای نانومتری مناسب برای حمل مواد، پوششهای نازک سخت، عایقهای الکتریسیته که هادی خوب حرارتی باشند و فیلترهای نانومتری؛
 - طراحی داروهای هوشمند و همکاری با شرکتهای داخلی و بین‌المللی دارویی به منظور تولید این داروها؛
 - پژوهشهای گسترده در حیطه نانو فناوری محاسباتی و تولید نرم افزارهای شبیه‌سازی مرتبط با این شاخه و کوشش فعال جهت بازاریابی جهانی.
- ۲- آیا بودجه های پژوهشی باید از طریق مراکز دولتی تأمین شوند یا این وظیفه باید بر عهده بخش خصوصی قرار گیرد ؟
- از دید ما، پیدایش ثمرات ناشی از نانو فناوری نیاز به یک بازه زمانی نسبتاً طولانی دارد. نظر به اینکه این موضوع با خواسته‌های بخش خصوصی، که عمدتاً به دنبال کسب حداکثر سود در حداقل زمان است، تطابق ندارد، لذا همانند سایر نقاط جهان، در مرحله شکل‌گیری و رشد اولیه نانو فناوری در ایران، عمده پشتیبانی از پژوهشگران، باید از طریق مراکز دولتی و تحت یک بودجه ویژه این فناوری تأمین شود.
- ۳- آیا انتقال به داخل و استفاده از یک فناوری جدید، مانند نانو فناوری، بدون داشتن دانش کافی درباره آن مقرون به صرفه و مفید است؟ و چگونه می‌توان این دانش را به وجود آورد؟
- در آینده نزدیک، وسایل و مواد مرتبط با نانو فناوری وارد بازار شده و

استفاده از آنها اجباری است. برای ارزیابی مرغوبیت کالا و خدمات در این زمینه، نیاز به دانش نانومتری بوده و استفاده از آنها نیز نیاز به دانش نانو فناوری خواهد داشت. به منظور ایجاد این دانش، می‌باید برنامه آموزشی و پژوهشی مدوئی به وجود آمده و پیگیری شود. بنا به پیشنهاد ما، برپا ساختن دوره‌های کارشناسی ارشد در علوم و فناوری نانومتری، دوره‌های دکترا در این رشته و باز آموزی علاقه مندان و استادان دانشگاهها در قالب سمینارها، کارگاههای پژوهشی و پروژه های مشترک، از اولویت بالایی برخوردار است.

۴- آیا ارزیابی از طرحهای پیشنهادی پژوهشگران و تخصیص بودجه برای آنها باید به شیوه رایج انجام شود؟

به پیشنهاد ما، کلیه طرحهای پیشنهادی پژوهشگران می‌باید از طرف کمیته نانو فناوری در شورای تحقیقات و فناوری، متشکل از متخصصان رشته‌های تشکیل دهنده علوم و فناوری نانومتری، در اسرع وقت مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج قبول یا رد آنها سریعاً به پژوهشگران اطلاع داده شود. همچنین بودجه اختصاص داده شده مستقیماً در اختیار پژوهشگر قرار گیرد، تا در امر پژوهش تسریع ایجاد شود. پیشبرد طرحها از شروع تا پایان و حسن انجام آنها، می‌باید به طور تناوبی تحت نظارت اعضای مربوط در کمیته قرار گیرد. نظر به اینکه علوم و فناوری نانومتری حیطه‌های کاملاً نوینی هستند و امکان کسب موفقیت از پیش قابل ضمانت نیست و در برخی موارد باید از شیوه آزمون و خطا استفاده کرد، بودجه های اختصاص داده شده باید انعکاس دهنده این موضوع باشند؛ علاوه براین برای تعیین بودجه های پژوهشی در نظر گرفته شده مناسب است به روند جهانی نیز توجه شود: به عنوان مثال، امریکا که تولید ناخالص ملی آن 10^{12} دلار می باشد، فعالیت در زمینه نانوفناوری را با $10^8 \times 1/2$ دلار در سال ۹۷ آغاز نمود و پس از پنج سال، این مبلغ پنج برابر یعنی $10^8 \times 6$ دلار گردید. در مقایسه با امریکا، ایران باید با رقمی معادل ۳ میلیون دلار در سال، این فعالیت را آغاز و در طول پنج سال آن را به ۱۵ میلیون دلار ارتقاء دهد.

و نتایج قبول یا رد آنها سریعاً به پژوهشگران اطلاع داده شود. همچنین بودجه اختصاص داده شده مستقیماً در اختیار پژوهشگر قرار گیرد، تا در امر پژوهش تسریع ایجاد شود. پیشبرد طرحها از شروع تا پایان و حسن انجام آنها، می باید به طور تناوبی تحت نظارت اعضای مربوط در کمیته قرار گیرد. نظر به اینکه علوم و فناوری نانومتری حیطه‌های کاملاً نوینی هستند و امکان کسب موفقیت از پیش قابل ضمانت نیست و در برخی موارد باید از شیوه آزمون و خطا استفاده کرد، بودجه های اختصاص داده شده باید انعکاس دهنده این موضوع باشند؛ علاوه براین برای تعیین بودجه های پژوهشی در نظر گرفته شده مناسب است به روند جهانی نیز توجه شود: به عنوان مثال، امریکا که تولید ناخالص ملی آن 10^{12} دلار می باشد، فعالیت در زمینه نانوفناوری را با $10^8 \times 1/2$ دلار در سال ۹۷ آغاز نمود و پس از پنج سال، این مبلغ پنج برابر یعنی 6×10^8 دلار گردید. در مقایسه با امریکا، ایران باید با رقمی معادل ۳ میلیون دلار در سال، این فعالیت را آغاز و در طول پنج سال آن را به ۱۵ میلیون دلار ارتقاء دهد.

۹- قدردانی

بدین وسیله از همکاران محترم، اعضای کمیته مطالعه توسعه زیر ساختهای فناوری پیشرفته (با اولویت نانو فناوری)، محمد علی استاد ابراهیم وساقی، کیوان اسفرجانی، اعظم ایرجی زاد، میترا قاسم‌زاده، رامین گلستانیان، فرشید مصطفوی و لیلا احمدی تشکر می نمایم.

فهرست منابع

- [1] Drexler, K.E., *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation*, Wiley, New York, 1992.
- [2] *Collection of Articles in Science*, Vol. 254, November 1991.
- [3] Feynman, R.P. *Eng. Sci.* (23), 1960.

- [4] Rafii-Tabar, R. "Physics Reports", Vol. 325 , (2000) pp.239-310.
- [5] Scientific American , Special Issue on Nano – Technology , September 2001.