

# نانوتکنولوژی و جمهوری اسلامی ایران؛ بایدها و نبایدها

علی محمد سلطانی

دفتر همکاری‌های فن آوری، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی

تهران، صندوق پستی ۴۶۷۱-۱۴۱۵۵، تلفن: ۶۵۰۰۰۶۵، نمابر: ۶۵۰۰۰۶۰

پست الکترونیکی: asoltani@tco.ac.ir

## ۱- مقدمه

نانوتکنولوژی، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطوح مولکولی و اتمی و استفاده از خواصی است که در آن سطوح ظاهر می‌شود. از همین تعریف ساده بر می‌آید که نانوتکنولوژی یک رشته جدید نیست، بلکه رویکردی جدید در تمام رشته‌هاست. از زمانی که فاینمن، فیزیکدان برجسته آمریکایی، ایده کار با اتمها و مولکولها را مطرح کرد [۱۰] محققان جهان به کار در این عرصه روی آوردند. برای نانوتکنولوژی کاربردهایی را در حوزه‌های مختلف از غذا و دارو و تشخیص پزشکی و بیوتکنولوژی تا الکترونیک و کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط زیست، مواد، هوافضا و امنیت ملی برشمرده‌اند. کاربردهای وسیع این عرصه به همراه اثرات اجتماعی، سیاسی و حقوقی آن، این فناوری را به عنوان یک زمینه «فرارشته‌ای و فرابخشی» مطرح نموده است.

## ۲- نانوتکنولوژی و کاربردهای آن

علوم و فناوری نانو، عنصری اساسی در درک بهتر طبیعت در دهه‌های آتی خواهد بود. از جمله موارد مهم در آینده، همکاری‌های تحقیقاتی میان رشته‌ای، آموزش خاص و انتقال ایده‌ها و افراد به صنعت خواهد بود. بخشی از تأثیرات و کاربردهای نانوتکنولوژی به شرح زیر می‌باشد [۲، ۳، ۵ و ۶]:

### ۱-۲- تولید، مواد و محصولات صنعتی

کارکرد منحصر به فرد باشند، انقلابی در مواد و فرآیندهای تولید آنها، ایجاد می‌کند. محققین قادر به ایجاد ساختارهایی از مواد برای میله‌های شناساگر ژنتیکی یا زیستی در اکتشاف، جداسازی و تشخیص دارو کار می‌کنند و برخی متوجه رهايش دارو هستند. نانوذرات نیمه‌هادی یا نقاط کوانتومی، بر حسب اندازه در هنگام رهایی نوین بر پایه اصول و معماری جدید؛ بکارگیری کارخانجات مولکولی یا خوشه‌ای که مزیت مونتاژ مواد در سطح نانو را دارند.

نانوتکنولوژی تغییر بنیانی مسیری است که در آینده، موجب ساخت مواد و ابزارها خواهد شد. امکان سنتز بلوک‌های ساختمانی نانو با اندازه و ترکیب به دقت کنترل شده و سپس چیدن آنها در ساختارهای بزرگتر، که دارای خواص ویوسنتز و بیوفراوری، راههای کلا" جدیدی برای ساخت محصولات شیمیایی و دارویی ارائه می‌دهند. گردهم آوری بلوک‌های ساختمانی زیستی به شکل مواد و ابزارهای مصنوعی، خواص مورد نظر مواد را با کارکردهای زیستی تلفیق می‌کند.

### ۲-۲- پزشکی و بدن انسان

رفتار مولکولی در مقیاس نانومتر، سیستمهای زنده را اداره می‌کند. یعنی مقیاسی که شیمی، فیزیک، زیست‌شناسی و شبیه‌سازی کامپیوتری، همگی به آن سمت در حال گرایش هستند.

- نگرش‌های اخیر به سمت استفاده از ابزارها و سیستمهای نانو ساختاری، پیشنهاد می‌دهد که فرآیند آزمایشگاهی کنونی توالی ژنی (genome sequencing) را به نحو شگرفی با استفاده از سطوح و ابزارهای "نانوساخته" (nanofabricated) کارا تر بسازیم. افزایش قدرت انسان برای ترسیم سرشت ژنتیکی یک فرد، روشهای شناسایی و درمان را دگرگون می‌کند.

- پیشرفتهای نانو تکنولوژیکی، به طور خاص مطالعات بنیادی زیست شناسی و پاتولوژی سلولی را تقویت خواهد کرد. در نتیجه پیشرفت ابزارهای تحلیل گر جدید که قادر به شناسایی جهان نانومتر باشند، این امر بسیار محتمل خواهد بود که بتوان خواص شیمیایی و مکانیکی سلولها (از جمله فرآیندهایی مثل تقسیم سلولی و غیره) را اندازه گیری و تغییر داد. این قابلیت ها تکمیل کننده (و به شدت پشتیبانی کننده) تکنیکهای مرسوم در علوم حیات هستند.
- مواد زیست سازگار با کارایی بالا، از توانایی بشر در کنترل نانو ساختارها حاصل خواهد شد. نانو مواد سنتزی معدنی و آلی را مثل اجزای فعال، می توان برای اعمال نقش تشخیصی (مثل ذرات کوانتومی که برای مرئی سازی بکار می رود) درون سلولها وارد نمود.
- افزایش توان محاسباتی بوسیله نانو تکنولوژی، ترسیم وضعیت شبکه های ماکرومولکولی را در محیط های واقعی ممکن می سازد. اینگونه شبیه سازی ها برای بهبود قطعات کاشته شده زیست سازگار در بدن و جهت فرآیند کشف دارو، الزامی خواهد بود.

## ۲-۳- دوام پذیری منابع: کشاورزی، آب، انرژی، مواد و محیط زیست پاک

نانو تکنولوژی چنانچه ذکر شد، منجر به تغییراتی شگرف در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب خواهد شد و پساب و آلودگی را کاهش خواهد داد. همچنین فناوری های جدید، امکان بازیافت و استفاده مجدد از مواد، انرژی و آب را فراهم خواهند کرد. در زمینه محیط زیست، علوم و مهندسی نانو، می تواند تأثیر قابل ملاحظه ای، در درک مولکولی فرآیندهای مقیاس نانو که در طبیعت رخ می دهد؛ در ایجاد و درمان مسائل زیست محیطی از طریق کنترل انتشار آلاینده ها؛ در توسعه فناوری های "سبز" جدید که محصولات جانبی ناخواسته کمتری دارند و یا در جریانات و مناطق حاوی فاضلاب، داشته باشد. لازم به ذکر است، نانو تکنولوژی توان حذف آلودگی های کوچک از منابع آبی (کمتر از ۲۰۰ نانومتر) و هوا (زیر ۲۰ نانومتر) و اندازه گیری و تخفیف مداوم آلودگی در مناطق بزرگتر را دارد.

در زمینه انرژی، نانو تکنولوژی می تواند به طور قابل ملاحظه ای کارآیی، ذخیره سازی و تولید انرژی را تحت تأثیر قرار داده مصرف انرژی را پایین بیاورد. به عنوان مثال، شرکت های مواد شیمیایی، مواد پلیمری تقویت شده با نانوذرات را ساخته اند که می تواند جایگزین اجزای فلزی بدنه اتومبیلها شود. استفاده گسترده از این نانو کامپوزیت ها می تواند سالیانه ۱/۵ میلیارد لیتر صرفه جویی مصرف بنزین به همراه داشته باشد.

یا انتظار می رود تغییرات عمده ای در فناوری روشنایی در ۱۰ سال آینده رخ دهد. می توان نیمه هادی های مورد استفاده در دیوهای نورانی (LEDها) را به مقدار زیاد در ابعاد نانو تولید کرد. در امریکا، تقریباً ۲۰٪ کل برق تولیدی، صرف روشنایی (چه لامپهای التهابی معمولی و چه فلوروسنت) می شود. مطابق پیش بینی ها در ۱۰ تا ۱۵ سال آینده، پیشرفتهایی از این دست می تواند مصرف جهانی را بیش از ۱۰٪ کاهش دهد که ۱۰۰ میلیارد دلار در سال صرفه جویی و ۲۰۰ میلیون تن کاهش انتشار کربن را به همراه خواهد داشت.

در زمینه آب، باید گفت جمعیت جهان در حال افزایش و منابع آب آشامیدنی در حال کاهش است. سازمان ملل پیش بینی می کند که در سال ۲۰۲۵، ۴۸ کشور (معادل ۳۲٪ جمعیت جهان) دچار کمبود آب آشامیدنی باشند. [۲ و ۴] تخلیص و نمک زدایی آب از زمینه های مورد توجه در دفاع پیشگیرانه و امنیت زیست محیطی است، چرا که در سطح جهان ممکن است در آینده با مشکل کمبود آب مواجه شویم. استفاده از آب شرب با دو برابر سرعت افزایش جمعیت و کمبود حاصل از آن - که بر اثر آلودگی نیز تشدید می شود - افزایش می یابد. دستگاههایی به کمک نانو تکنولوژی ساخته شده اند، که آب دریا را با انرژی ۱۰ برابر کمتر از دستگاه اسمز معکوس و لاقط ۱۰۰ برابر کمتر از تقطیر، نمک زدایی می کنند. این فرآیند کارا از نظر مصرف انرژی کاملاً عملی است، چون الکترودهای با مساحت سطحی بسیار بالا ساخته شده اند که از طریق کنار هم قراردادن نانولوله های کربنی و دیگر ابتکارات طراحی، رسانای الکتریسیته شده اند. [۶]

## ۲-۴- کشاورزی

نانوتکنولوژی مستقیماً در پیشرفت کشاورزی سهیم خواهد بود؛ از جمله: مواد شیمیایی سازگار با زیست، که برای تغذیه گیاه یا حفظ آن در برابر حشرات به شکل مولکولی طراحی شده‌اند؛ ارتقای ژنتیکی گیاهان و حیوانات؛ انتقال ژن‌ها و دارو به حیوانات؛ امکان سازگاری گیاهان با خشکسالی و شوری و ...

## ۲-۵- هوا و فضا

محدودیت‌های شدید سوخت برای حمل بار به مدار زمین و ماورای آن، و علاقه به فرستادن فضاپیما برای مأموریت‌های طولانی به مناطق دور از خورشید، کاهش مداوم اندازه، وزن و توان مصرفی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. مواد و ابزار آلات نانو ساختاری، امید حل این مشکل را بوجود آورده است. [۶]

"نانوساختن" (Nanofabrication) همچنین در طراحی و ساخت مواد سبک‌وزن، پرقدرت و مقاوم در برابر حرارت، مورد نیاز برای هواپیماها، راکت‌ها، ایستگاه‌های فضایی و سک‌های اکتشافی سیاره‌ای یا خورشیدی، تعیین کننده است. همچنین استفاده روزافزون از سیستم‌های کوچک شده تمام خودکار، منجر به پیشرفت‌های شگرفی در فناوری ساخت و تولید خواهد شد. این مسأله با توجه به اینکه محیط فضا، نیروی جاذبه کم و خلأ بالا دارد، موجب توسعه نانو ساختارها و سیستم‌های نانو - که ساخت آنها در زمین ممکن نیست - در فضا خواهد شد. [۳ و ۹]

## ۲-۶- امنیت ملی

برخی کاربردهای دفاعی نانوتکنولوژی عبارتند از: تسلط اطلاعاتی از طریق نانو الکترونیک پیشرفته بعنوان یک قابلیت مهم نظامی، امکان آموزش مؤثرتر نیرو، به کمک سیستم‌های واقعیت مجازی پیچیده تر حاصله از الکترونیک نانو ساختاری، استفاده بیشتر از اتوماسیون و رباتیک پیشرفته برای جبران کاهش نیروی انسانی نظامی، کاهش خطر برای سربازان و بهبود کارایی خودروهای نظامی، دستیابی به کارایی بالاتر (وزن کمتر و قدرت بیشتر) مورد نیاز در صحنه‌های نظامی و در عین حال تعداد دفعات نقص فنی کمتر و هزینه کمتر در عمر کاری تجهیزات نظامی، پیشرفت 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 میکرو مکانیکی جهت کنترل سیستم‌های دفاع هسته‌ای. در بسیاری موارد، فرصت‌های اقتصادی و نظامی مکمل هم هستند. کاربردهای درازمدت نانوتکنولوژی در زمینه‌های دیگر، پشتیبانی کننده امنیت ملی است و بالعکس. [۱، ۲ و ۶]

## ۳- نگاهی به وضعیت جهانی نانوتکنولوژی

بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه (در حدود ۳۰ کشور)، برنامه‌هایی را در سطح ملی برای پشتیبانی از فعالیتهای تحقیقاتی و صنعتی نانوتکنولوژی تدوین و اجرا می‌نمایند. زیرا نانوتکنولوژی به عنوان انقلابی در شرف وقوع، آینده اقتصادی کشورها و جایگاه آنها در جهان را تحت تأثیر جدی قرار خواهد داد و این مسأله در این کشورها توسط صاحب نظران و محققان تبیین شده و برای مدیران اجرایی به صورت یک امر شفاف و قطعی درآمده است. [۱۱] در بخشی از این کشورها، در یکی دو سال اخیر تحولات شدیدی از طرف دولت‌ها برای سرعت بخشیدن به توسعه نانوتکنولوژی صورت گرفته و فعالیتهایی که تا قبل از این به صورت خودجوش توسط محققان انجام می‌گرفته است، با تشویق و حمایت‌های مستقیم دولت ادامه یافته‌اند که در این قسمت به چند کشور اشاره می‌شود:

### ۳-۱- آمریکا

دولت آمریکا در سال ۱۹۹۸ با توجه به خواست وسیع محققان و دانشگاهیان، گروه کاری بین بخشی علوم و فناوری نانو را تشکیل داد. این گروه در فوریه ۲۰۰۰، گزارشی با عنوان «پیشگامی ملی نانوتکنولوژی؛ به سوی انقلاب صنعتی بعدی» به رئیس جمهور آمریکا ارائه نمود که رئیس جمهور نیز آن را از طریق دستیار علوم و فناوری خود به کنگره ارائه داد. [۲ و ۴] بخشی از این گزارش صرفاً تهییج مسؤولان آمریکا برای توجه جدی به این موضوع شده است تا آنجا که در صفحه ۳۱ این گزارش ۱۰۱ صفحه‌ای عدم توجه به جنبه‌های مهم این کار از جمله جنبه‌های فرابخشی آن مساوی با در معرض خطر قرار گرفتن آینده اقتصادی، کیفیت زندگی و امنیت ملی آمریکا دانسته

شده است. آنچه در این گزارش پیشنهاد شده، برنامه‌ای ملی است که از طریق کمیته‌ای در عالیترین سطح و به صورت متمرکز هدایت می‌شود و در آن ضمن تعیین اولویت‌های پنجگانه کشور، تکلیف هر یک از وزارتخانه‌ها و سازمانها، نحوه اجرای آن و بودجه لازم برای هر دستگاه در هر زمینه مشخص شده است. برای این برنامه در کنگره ۴۲۳ میلیون دلار به تصویب می‌رسد؛ در حالی که کل بودجه‌هایی که در سال ۱۹۹۷ به صورت پراکنده توسط سازمانهای مختلف دولتی هزینه شده کمتر از ۱۲۰ میلیون دلار است. کمیته مزبور برای سال ۲۰۰۲، مبلغ ۵۰۸ میلیون دلار به تصویب رسانده است. یکی از اهداف اصلی این برنامه، کسب پیشگامی در تمامی زمینه‌های مربوط به نانو تکنولوژی در جهان می‌باشد. [۴ و ۱۳]

### ۳-۲- ژاپن

محققان ژاپنی از دهه ۱۹۷۰ میلادی به صورت خودجوش در زمینه‌های تحقیقاتی نانو تکنولوژی وارد شده‌اند تا آنجا که کلمه نانو تکنولوژی نیز اول بار توسط یک محقق ژاپنی مورد استفاده قرار گرفت. دولت ژاپن اولین بار در ابتدای دهه ۱۹۹۰ بودجه‌ای را برای پشتیبانی از این تحقیقات اختصاص داد و این روند ادامه یافت تا اینکه در سال ۱۹۹۷، ۱۲۰ میلیون دلار و در سال ۲۰۰۱، ۴۳۰ میلیون دلار اختصاص یافته است. [۷، ۱۲ و ۱۴]

### ۳-۳- کره جنوبی

دولت کره جنوبی ۵ زمینه فناوری را به عنوان صنایع نسل بعدی به عنوان اولویت این کشور اعلام نموده و برای آنها تا سال ۲۰۰۵، مبلغ ۱۰ تریلیون ون معادل ۸ میلیارد دلار اختصاص داده است. فناوری اطلاعات، بیوتکنولوژی، نانو تکنولوژی، فناوری‌های محیط زیست و فناوری‌های فرهنگی به عنوان حوزه‌های منتخب دولت کره جنوبی اعلام گردیده است. دولت کره جنوبی، در زمینه نانو تکنولوژی، پرورش ۱۲,۶۰۰ کارشناس و متخصص را در ۱۰ سال آینده برنامه‌ریزی نموده است. [۱۴]

### ۳-۴- کانادا

دولت کانادا، با تدوین برنامه ۵ ساله، ۱۲۰ میلیون دلار را برای سرمایه‌گذاری در زمینه نانو تکنولوژی در ۵ سال آینده اختصاص داد. دولت، یک موسسه ملی نانو تکنولوژی را با ظرفیت ۱۶۰ محقق و تکنسین تأسیس نموده است. این موسسه شبکه گسترده‌ای را از محققان دانشگاه‌های سراسر کشور ایجاد خواهد کرد. نخست‌وزیر کانادا با اعلام این برنامه گفت: «نانو تکنولوژی، همان تاثیر انقلاب صنعتی قرن نوزدهم را بر جوامع خواهد داشت.» [۱۴]

### ۴- روند رشد و آینده نانو تکنولوژی

پژوهشگران و کارشناسان صنایع دریافته‌اند که در علوم و مهندسی در حال نزدیک شدن به این اندازه ناپیدا (نانومتر) هستیم. دیگر این سؤال مطرح نیست که آیا نانو تکنولوژی توسعه می‌یابد یا خیر؛ بلکه این سؤال مطرح است که چه کسی در هر عرصه، پیشواز خواهد بود؟ به نظر می‌رسد سال ۲۰۰۱، نقطه شروع نمودار متعارف رشد S شکل برای نانو تکنولوژی باشد و ما برای رسیدن به بخش رشد صعودی منحنی به ۵ سال زمان نیاز داریم (شکل-۱). نرخ افزایش اکتشافات علمی این بیان را تقویت می‌کند.

این نمودار نشان می‌دهد که در آینده نزدیک شاهد رشد چشمگیر تولیدات نانو تکنولوژی و نفوذ آن به زندگی انسان خواهیم بود. [۷]

شکل-۱: منحنی S شکل برای رشد تحقیق و توسعه نانو تکنولوژی

### ۵- ضرورت ورود کشور ایران به این عرصه

بسیاری از کشورهای پیشرفته و در حال پیشرفت، برنامه‌هایی را برای پشتیبانی از فعالیتهای تحقیقاتی و صنعتی نانو تکنولوژی تدوین و اجرا می‌نمایند. زیرا نانو تکنولوژی به عنوان انقلابی در شرف وقوع، آینده اقتصادی کشورها و جایگاه آنها در جهان را تحت تأثیر جدی قرار خواهد داد و این مسئله در این کشورها توسط صاحب نظران و محققان تبیین شده و برای مدیران اجرایی به صورت یک امر شفاف و قطعی درآمده است. در بخشی از این کشورها، در یکی دو سال اخیر تحرکات شدیدی از طرف دولتها برای سرعت بخشیدن به توسعه

نانوتکنولوژی صورت گرفته و فعالیتهایی که تا قبل از این به صورت خودجوش توسط محققان انجام می گرفته است، با تشویق و حمایت‌های مستقیم دولت ادامه یافته‌اند. اما یک سوال مهم برای کشور ما و بسیاری از کشورها که هنوز به نانوتکنولوژی به عنوان تمدن آینده علمی توجه کافی نکرده‌اند، این است که آیا باید با این روند همراه شد یا نه؟ توجه به فضای بسیار بزرگ و در حال ایجاد نانوتکنولوژی و حجم وسیع فعالیتهای مربوط به آن در دنیا، این باور را به انسان القاء می کند که دیر یا زود باید آینده را دید و برای ورود به آن اقدام نمود.

#### ۵-۱- ورود کشورها به عرصه نانوتکنولوژی اجتناب ناپذیر است.

بسیاری از صاحب نظران و محققان، نانوتکنولوژی را مساوی آینده دانسته‌اند. به عنوان نمونه کمیته مشاوران رئیس جمهور آمریکا در علوم و فناوری در تأیید برنامه ملی نانوتکنولوژی برای سال ۲۰۰۱، از نانوتکنولوژی به عنوان محور آینده جهان یاد می کند. به دلیل تأثیرات این فناوری بر اکثر فناوریهای موجود، عقیده صاحب نظران این است که متخصصان رشته‌های مختلف بدون گرایش به مباحث مقیاس نانو در دهه‌های آینده فرصتی برای رشد نخواهند داشت و شکوفایی بسیاری از فناوریهای مهم از جمله فناوری اطلاعات و بیوتکنولوژی به عنوان دو دستاورد بسیار عظیم قرن بیستم بدون بهره‌گیری از نانوتکنولوژی دچار اختلال خواهند شد. از این جهت این مسئله برای دانشگاهیان، محققان و مسؤولان هر کشور امری حیاتی است.

#### ۵-۲- دلایل اساسی ضرورت ورود کشور به عرصه نانوتکنولوژی

علاوه بر موضوع فوق، می توان دلایل زیر را برای اجتناب ناپذیری ورود کشورهایی چون ایران اقامه نمود:

#### نانوتکنولوژی در بسیاری از فناوریها و در نتیجه در زندگی انسانها، تأثیر اساسی دارد.

ماهیت فرارشته‌ای علوم و فناوری نانو به عنوان توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستمهای جدید با دقت اتم و مولکول، موجب تعریف کاربردهای بسیاری زیادی در عرصه‌های مختلف علمی و صنعتی شده است. برای نانوتکنولوژی کاربردهای بسیاری را در حوزه‌های دارو و غذا و بهداشت، درمان بیماریها، محیط زیست، انرژی، الکترونیک، کامپیوتر و اطلاعات، مواد، ساخت و تولید، هوافضا، بیوتکنولوژی و کشاورزی و امنیت ملی و دفاع بر شمرده‌اند. به همین دلیل بر تمام فناوریها تأثیر گذاشته و دیر یا زود باید شاهد محصولات آنها بود. به عنوان نمونه در بخش پزشکی و بهداشت، یک زمینه کاری بسیار مهم، سیستم توزیع دارو در داخل بدن می باشد. مصرف دارو در حال حاضر به صورت حجمی است در حالی که سلولهای خاصی از بدن نیازمند آن می باشند. در روش جدید دارو با وسایل تزریق متفاوت با امروزه به صورت مستقیم به سمت سلولهای مشخص جهت گیری شده و دارو به محل نیاز تحویل داده می شود. با همین مکانیزم، بیماریهای بزرگ و کوچک در آغاز شکل گیری قابل تشخیص و درمان خواهند بود. یا در بخش مواد، پروژه‌هایی در دست کار می باشد که موادی با وزن بسیار کم و خواص بسیار مناسب تولید شوند. [۲ و ۴] کاربرد این مواد در ساختمان، خودرو، هواپیما و بسیاری از ملزومات زندگی انسانها دیده خواهد شد. بنابراین عرصه بسیار وسیع نانوتکنولوژی که زندگی انسانها را نیز در بر خواهد گرفت، خود القاء کننده این نتیجه خواهد بود که نمی توان به روی آن چشم بست.

#### تأثیر نانوتکنولوژی بر امنیت جهانی

از نظر دفاعی، نانوتکنولوژی برای کشورها، هم فرصت است هم تهدید. به لحاظ کاربردهای بسیار زیادی که این فناوری می تواند در امور نظامی داشته باشد، گرایش زیادی در بخش دفاعی کشورها به تحقیق و توسعه نانوتکنولوژی صورت گرفته است. این کاربردها از لباسهای مانع خطر تا پرنده‌های بسیار کوچک، تجهیزات اطلاعاتی و بسیاری موارد دیگر است که هم اکنون با حمایت وزارتخانه‌های دفاع کشورهایی چون آمریکا، ژاپن و برخی کشورهای اروپایی به صورت پروژه‌های تحقیقاتی در حال انجام هستند. از این جهت این فناوری برای کشورها یک تهدید محسوب می شود. اما برای کشورهایی که بتوانند با استفاده از روند موجود، جایگاهی را در آینده امنیت جهانی برای خود در نظر بگیرند، یک فرصت خواهد بود. با توجه به اینکه این کاربردها بسیار متنوع هستند، هر کشوری می تواند زمینه‌ای را برای پیشگامی در جهان سهم خود نماید و در آینده رقابتهای بین المللی نقشی داشته باشد.

## شکل‌گیری بازارهای بسیار بزرگ

شواهد موجود نشان می‌دهد که درصد بالایی از بازارهای محصولات مختلف متکی بر نانو تکنولوژی خواهد بود و به همین دلیل دولتها و شرکتهای بزرگ و کوچک به دنبال کسب جایگاهی برای خود در این بازارها هستند. میهیل روکو، رئیس کمیته علوم و فناوری نانو در ریاست جمهوری آمریکا طی مقاله‌ای در ماه می سال ۲۰۰۱، پتانسیل نانو تکنولوژی برای تغییر چشمگیر در اقتصاد جهانی را یادآوری نموده است. بر مبنای پیش‌بینی وی و بخش دیگری از صاحب‌نظران در دهه الی ۱۵ سال آینده نانو تکنولوژی بازار نیمه‌هادی را به طور کامل تحت تأثیر قرار خواهد داد. خبرهایی نیز که اخیراً از شرکتهای اصلی سازنده پردازنده‌های کامپیوتر در آمریکا و ژاپن منتشر شده است، از ورود پردازنده‌های حاوی یک میلیارد نانوترانزیستور تا قبل از ۱۰ سال آینده حکایت دارد. به عنوان مثال شرکت اینتل اعلام نموده است که در سال ۲۰۰۷ پردازنده‌های متکی بر نانوترانزیستور را با قدرت و سرعت بسیار بیشتر و مصرف کمتر نسبت به آخرین دستاوردهای امروزی نیمه‌هادی‌ها وارد بازار خواهد کرد. [۶ و ۸]

در بخش دارو نیز پیش‌بینی شده است تا ۱۰ الی ۱۵ سال آینده نیمی از این صنعت متکی بر نانو تکنولوژی خواهد بود که خود نیاز به وسایل تزریق جدید و آموزشهای پزشکی روزآمد خواهد داشت یا در مورد مواد شیمیایی، فقط ذکر بازار ۱۰۰ میلیارد دلاری کاتالیستها که تا ۱۰ سال آینده به طور کامل متکی بر کاتالیستهای نانو ساختاری خواهد بود برای نشان دادن اهمیت بحث کافی است. از هم‌اکنون بازار بزرگی برای بکارگیری مواد جدید در محصولات فعلی در حال شکل‌گیری است. موادی که می‌توانند خواص جدید و فوق‌العاده‌ای به محصولات موجود بخشیده و موجب کاهش قیمت آنها شوند. به عنوان نمونه نانولوله‌های کربنی (Carbon Nanotubes) با وزن بسیار کمتر و استحکام بسیار بیشتر نسبت به موادی چون فولاد، بخش زیادی از صنایع را در آینده تحت تأثیر قرار خواهد داد. [۸ و ۹]

در کنار این پیش‌بینی‌ها، این سؤال باید مطرح شود که جایگاه کشورهایی که به نانو تکنولوژی دسترسی ندارند، در بازارهای آینده و اقتصاد جهانی چه خواهد بود. با توجه به اینکه سهم هر کشور یا بنگاه در زمان شکل‌گیری یک بازار تثبیت می‌شود، زمان سرمایه‌گذاری برای رسیدن به جایگاه مناسب، همین امروز است.

## ۶- دلایلی برای در اولویت قرار گرفتن نانو تکنولوژی در شرایط حاضر

نانو تکنولوژی را باید به عنوان یک مقوله بلندمدت نگاه کرد که حداقل نیمه اول قرن بیست و یکم را به طور مداوم تحت تأثیر قرار می‌دهد. صاحب‌نظران جهان دورنمای نسبتاً شفافی از مسائل و دستاوردهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت نانو تکنولوژی ارائه کرده‌اند که همین دورنمای شفاف به ما کمک می‌کند که برنامه‌ریزی مناسبی را جهت همراهی کشور با روند جهانی آن طراحی و پیاده کنیم. کشورهای مختلف، در آموزش و پژوهش نانو به عنوان فعالیت بلندمدت سرمایه‌گذاری نموده‌اند و برای دستیابی به دستاوردهای نزدیک نیز پژوهشهای متعددی در حوزه‌هایی چون نانومواد، نانو الکترونیک و مانند آن در دست انجام می‌باشد.

### ۱-۶- دلایل مربوط به ویژگیهای نانو تکنولوژی

- نانو تکنولوژی، یک فناوری عام و فراگیر می‌باشد که در بسیاری از فناوری‌های دیگر کاربرد داشته در بعضی از آنها ایجاد تحول می‌نماید.
- تأثیر زیاد نانو تکنولوژی بر رفاه و زندگی مردم
- تأثیر زیاد نانو تکنولوژی بر امنیت و دفاع
- تأثیر زیاد نانو تکنولوژی بر حفظ محیط زیست (در حال حاضر پروژه‌های بسیار زیادی در کشورهای مختلف برای حل مشکلات زیست محیطی تعریف شده است.)
- نانو تکنولوژی تمام دستاوردهای گذشته بشر را که در ماده تحقق یافته است، متحول می‌سازد؛ در واقع تحول نانو تکنولوژی ظرف چند دهه به اندازه تحولات چندین قرن خواهد بود.
- نانو تکنولوژی باعث همگرایی رشته‌های علمی و تخصصهای مختلف شده و شروع فعالیت در آن باعث جهش در چندین زمینه می‌شود.

- نانوتکنولوژی رقیب سایر فناوری‌ها نیست بلکه مکمل و پایه آنهاست.
- کاربردهای نانوتکنولوژی همه جا همراه با هزینه کمتر، دوام و عمر بیشتر، مصرف انرژی پایینتر، هزینه نگهداری کمتر و خواص بهتر می باشد.
- نانوتکنولوژی موجد وضع معیارها و استانداردهایی خواهد بود که کسانی که در تولید محصولات تأخیر داشته باشند، نمی توانند در آینده فروشنده آنها باشند.

## ۲-۶- دلایل مربوط به شرایط جهانی

- رویکرد جدید و اولویت بسیاری از فناوری‌های جدید نیز مقیاس نانو بوده حتی پاسخگوی چالشهای مطرح آنها می باشد؛ به عنوان مثال دو چالش عمده پیل سوختی یعنی ذخیره ایمن هیدروژن و عدم استفاده از مواد گرانبها، با نانوتکنولوژی حل خواهد شد.
- سرمایه گذاری کلان کشورها در این زمینه کشورهای مختلف را وادار به همراهی با این کاروان جهانی می کند؛ مگر آنکه بخواهیم در آینده فقط مصرف کننده محصولات نانوتکنولوژی باشیم که با توجه به گستردگی کاربرد آن، مسأله بسیار بزرگی خواهد بود.
- سرعت تصمیم گیری در این عرصه اهمیت زیادی دارد و گرنه سرعت تحولات جهانی فاصله ما با جهان را روزبروز بیشتر می کند. در مورد نانوتکنولوژی، زمان تصمیم گیری، فقط همین حالاست.

## ۳-۶- دلایل مربوط به ویژگیهای کشور

- به دلیل جدید بودن نانوتکنولوژی، جمهوری اسلامی ایران از کشورهای پیشرفته چندان عقب نیست در حالیکه در بسیاری از فناوری‌ها به دلیل ایجاد شدن شبکه‌های غیر قابل نفوذ شانس چندان برای ما وجود ندارد.
- برای ورود به عرصه نانوتکنولوژی، داشتن زیرساختهای علمی و صنعتی مقیاس میکرو لازم نیست. (اگرچه این موضوع در بدو امر در ذهن تداعی می کند و بسیاری از افراد این اشکال را به حضور کشور در نانوتکنولوژی می گیرند، اما شناخت کافی از زمینه‌های نانوتکنولوژی مؤید این مسأله است که بسیاری از محورهای کاربردی نانو نیاز به این پیش نیاز ندارد. تجربه متخصصان داخلی نیز در تولید بعضی مواد و پروژه‌های دیگر این موضوع را تصدیق می کند).
- تصمیم گیری برای حضور در فناوری‌های جدید باید در زمان خود انجام گیرد و گرنه بعد از فعالیت وسیع کشورها و شکل گیری بازارهای آن - که ضمناً به دلیل تحقق کاربردهای نظامی آن تحریمها نیز ایجاد خواهند شد - حضور در آن تقریباً بی نتیجه است.
- تقویت کشور در عرصه نانوتکنولوژی می تواند موجب پیشرفت کشور در حوزه‌هایی چون الکترونیک، مواد و مانند آنها شود.
- کشور ما پیش از آنکه به فکر رقابت باشد باید به فکر حضور فعال در زمینه‌هایی باشد که متعلق به ما بوده و کشور را در دنیا مطرح نماید. با توجه به گستردگی عرصه نانوتکنولوژی چنین زمینه‌هایی وجود دارد ولی زمان تصمیم گیری برای آن، همین امروز است. زیرا هر کس زودتر اقدام کند می تواند به چنین نتیجه‌ای برسد.
- کشور ما در نانوتکنولوژی عقب نیست و متخصصان آماده کار در کشور وجود دارند. حتی در بعضی زمینه‌ها محصولاتی نیز در مقیاس آزمایشگاهی تولید شده است.

## ۷- راهکارهایی برای توسعه نانوتکنولوژی در جمهوری اسلامی ایران

با توجه به ویژگیهای نانوتکنولوژی و شرایط کشور اهداف فعالیت کشور در نانوتکنولوژی می تواند موارد زیر باشد:

- استفاده از مزایای نانوتکنولوژی در صنایع موجود کشور با هدف جهش صنعتی
- کسب موقعیت پیشتازی در جهان در محورهای منتخب
- عقب نماندن از جهان و همراهی با کاروان جهانی پیشرفت علم و فناوری

- برای رسیدن به این اهداف، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:
- تصویب یک برنامه ملی برای مشارکت و هماهنگی بخشهای مختلف دولت، دانشگاهها و مراکز پژوهشی، بخش خصوصی و صنعت با در نظر گرفتن نهاد هماهنگ کننده (در این برنامه اولویتهای آموزشی، پژوهشی و صنعتی کشور مشخص می‌شود و با اختصاص بودجه به هریک از بخشها، وظیفه اجرای برنامه به آنها داده می‌شود و ضمناً راهکارهای حمایت از بخش خصوصی و اقدامات لازم برای رفع موانع موجود دیده می‌شود).
- افزایش آگاهی‌های عمومی در مورد پتانسیل نانو تکنولوژی
- آموزش در سطوح مختلف
- حمایت از شرکتهای خصوصی و نوپا
- تحقیقات توسعه‌ای با انتخاب محور مناسب و ایجاد چرخه کامل ثمردهی نوآوری
- ترویج نانو تکنولوژی در صنایع
- همکاری بین‌المللی به منظور سرعت بخشیدن به فعالیتهای

## ۸- بایدهای توسعه نانو تکنولوژی در کشور

برای موفقیت در عرصه نانو تکنولوژی به زیرساختهای سنگینی نیاز نیست و با انتخاب محورهای مناسب می‌توان به موفقیت‌های ارزنده‌ای رسید. اما به هر حال موارد زیر لازم است:

- فرهنگ سازی و ترویج فعالیت آموزشی، پژوهشی و صنعتی در زمینه نانو تکنولوژی
- تسهیل همکاری‌های بین‌المللی
- تسهیل دستیابی به اطلاعات علمی جهان در این زمینه

در طول نیم قرن گذشته جهان تقریباً هر دهه با یک فناوری کلیدی روبرو بوده است که بعضی از آنها کشورهای مختلفی را از مشکلات نجات داده و باعث تولید ثروتهای زیادی در آنها شده است. متأسفانه کشور ما در این فناوری‌ها فقط در بعد آموزش و تاحدودی پژوهش موفق بوده است و این فناوری‌ها نقش مهمی در توسعه کشور ما نداشته‌اند. یکی از مهمترین مشکلات ما فقدان نظام نوآوری و عدم ارتباط بخشهای آموزش، پژوهش، تولید و تجارت می‌باشد. به عبارت دیگر عدم تشکیل زنجیره کامل ثمردهی نوآوری باعث شده است فعالیتهای پراکنده‌ای انجام و بخش زیادی از آنها بی‌نتیجه بماند.

به نظر نویسنده، یکی از مهمترین عوامل موفقیت کشور در این عرصه «انتخاب محورهای مناسب و تکمیل زنجیره نوآوری در آن محورها» می‌باشد. این موضوع باید در طرح ملی نانو تکنولوژی دیده شده و تمام موانع حقوقی، مالی و ... آن شناسایی و برای رفع آنها اقدام شود.

یکی دیگر از بایدهای توسعه نانو تکنولوژی در کشور، «تصمیم‌گیری بموقع» می‌باشد. با توجه به شرایط جهانی که بخشی از آن در این مقاله مطرح گردید، زمان حضور جدی جمهوری اسلامی ایران در این عرصه همین امروز است. علاوه بر این به نظر می‌رسد موارد زیر نیز باید در نظر گرفته شود:

## الف: در آموزش

- ایجاد دوره‌های کارشناسی ارشد و دکترا در رشته‌های مختلف
- تعریف دروس نانو تکنولوژی در دوره کارشناسی دانشگاهها
- گنجاندن مفاهیم علمی نانو در دروس دبیرستان
- اعزام دانشجویان به خارج از کشور

## ب: در پژوهش

- شناسایی حوزه‌های مهم و اولویت‌دار در رشته‌های مختلف
- شناسایی حوزه‌های مهم بین‌رشته‌ای و حمایت از پژوهش‌های بین‌رشته‌ای
- تعریف پروژه‌های مشترک بین‌المللی در دانشگاهها و مراکز پژوهشی
- حمایت از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکترا
- تاسیس آزمایشگاههای ملی
- ایجاد دفتر پشتیبانی و تجهیز آزمایشگاهها

## ج: در صنعت

- آشنایی صنعت با کاربردهای نانو تکنولوژی
- ایجاد واحدهای تحقیق و توسعه نانو تکنولوژی در صنایع مهم و حیاتی کشور
- حمایت‌های مختلف برای سرمایه‌گذاری صنعت و تجاری شدن نتایج پژوهش‌های دانشگاهی

## د: فعالیتهای مربوط به هدایت و هماهنگی

- نهاد هماهنگ‌کننده فرابخشی
- ایجاد دفتر مطالعه مستمر در روند نانو تکنولوژی
- ایجاد شبکه‌هایی از افراد با تخصصهای مختلف
- ایجاد هماهنگی میان نهادهای آزمایشگاهی، مطالعاتی و ...
- وجود دفتر خاص برای تقبل ریسک در بعضی موارد
- ایجاد مرکزی برای دریافت و اجرای طرحهای پژوهشی-صنعتی ایرانیان خارج از کشور

## ۹- نیاید‌های توسعه نانو تکنولوژی در کشور

برای موفقیت در این عرصه باید از موارد زیر اجتناب نمود:

- فعالیتهای پراکنده و ناهماهنگ
- برنامه‌ریزی مقطعی
- هدفگذاری صرفاً کیفی (نه توأم با اهداف کمی)
- توجه نکردن به منبع اصلی سفارش پژوهش یعنی صنعت و بازار
- دورنگهداشتن متخصصان از اطلاعات علمی جهان
- و ...

## ۱۰- نتیجه‌گیری

نانو تکنولوژی، عرصه مهمی در علم و فناوری است که در سالهای اخیر توجه کشورهای، بنگاهها، مراکز آموزشی و پژوهشی و محققان را به خود جلب نموده است. حضور در این عرصه برای کشورها اجتناب‌ناپذیر بوده و برای کشور ما نیز ضرورت دارد اما در این عرصه تصمیم‌گیری بموقع و صحیح ضرورت داشته و یکی از الزامات اصلی آن تشکیل شبکه نوآوری در محورهای منتخب می‌باشد. تدوین و اجرای طرح جامع و آینده‌نگر و نهاد هماهنگ‌کننده فرابخشی نیز یکی دیگر از شرایط اصلی موفقیت در این عرصه می‌باشد.

[۱] فیلیپ، آنتون و همکاران، "انقلاب جهانی تکنولوژی"، ترجمه کمیته مطالعات سیاست نانو تکنولوژی، در دست چاپ.

[۲] "برنامه پیشگامی ملی نانو تکنولوژی آمریکا"، ترجمه کمیته مطالعات سیاست نانو تکنولوژی، در دست چاپ.

- [3] WTEC, "Review of U.S. R&D Status and Trends in Nanoparticles, Nanostructured Materials, and Nanodevices." Siegel, R., E. Hu, M. Roco and G. Holdridge, Loyola University, Baltimore, Maryland, 1997
- [4] NSTC (U.S. National Science and Technology Council), 2000 "National Nanotechnology Initiative: The Initiative and Its Implementation Plan", Washington, D.C., 2000
- [5] R.W. Siegel, E. Hu and M.C. Roco, 1999 "Nanostructure Science and Technology", NSTC, Washington, D.C. (also Kluwer Academic Publ., Boston), 1999
- [6] M.C. Roco, W. Bainbridge. 2001 "Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology", NSF Report, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [7] M.C. Roco, "International Strategy for Nanotechnology Research and Development ", J. of Nanoparticle Research, Kluwer Academic Publ., Vol3, No .5-6, pp353-360, 2001
- [8] M.C. Roco, "A Frontier for Engineering", J.of Mechanical Engineering, May 2001
- [9] "Nanotechnology Research Directions: Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade", IWGN Workshop Report, September 1999
- [10] Feynman, R., "There is plenty of room at the bottom", Caltech Institute, 1959 URL: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.
- [11] Richard H. Smith, "A Policy Framework for Developing a National Nanotechnology Program", MSc.Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998

سایتهای اینترنتی

[12] <http://www.nano.org.uk/>

[13] <http://www.nan.gov/>

[14] <http://www.tco.gov.ir/nano/>