

# بررسی ضرورت توسعه فناوری نانو و چالش‌های مدیریتی آن در ایران

■ علی فرقانی

مدیر حوزه تخصصی مدیریت تکنولوژی پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی  
forghaninik@yahoo.com

■ رضا انصاری

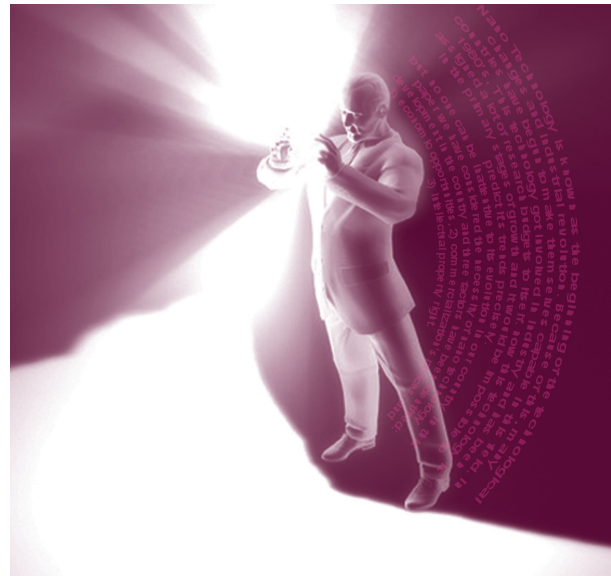
عضو هیئت علمی جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران  
rezaansar@yahoo.com

مؤثر است، شناسایی گردید. عامل اول کشف یا شناسایی جامع کاربردهای این فناوری در جامعه است که به شناسایی بازارهای بالقوه یا پتانسیل‌های تجاری این فناوری کمک فراوان می‌کند. عامل دوم توجه به مسائل مرتبط با حقوق مالکیت فکری از جمله وجود راهبرد قوی مالکیت فکری است که برای سازمان‌های دانش‌محور از اهمیت بالایی برخوردار است. عامل سوم نیز حلقه مفقوده تجاری‌سازی فناوری است که برای ارائه موفق این فناوری به بازار از جمله الزامات محسوب می‌شود.

در این مقاله بعد از بیان تاریخچه مختصر فناوری نانو، نقش سه عامل فوق در توسعه فناوری نانو در ایران تشریح می‌گردد و در پایان نیز ضمن جمع‌بندی موضوع، برخی از چالش‌های مدیریتی و ضرورت‌های توسعه فناوری نانو در کشور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۱. تاریخچه فناوری نانو

چهل سال پیش ریچارد فینمن<sup>۱</sup>، متخصص کوانتوم نظری و دارنده جایزه نوبل، در سخنرانی معروف خود در سال ۱۹۵۹ با عنوان آن پایین فضای بسیاری هست<sup>۲</sup>، به بررسی بعد رشد نیافته علم مواد پرداخت. او فرض را بر این قرار داد که اگر دانشمندان فرا گرفته‌اند که چگونه ترانزیستورها و دیگر سازها را با مقیاس‌های کوچک بسازند، پس ما خواهیم توانست آنها را



در سال‌های اخیر توسعه فناوری‌های نوظهور از جمله فناوری نانو مورد توجه محققان و تصمیم‌گیران قرار گرفته و اقدامات متعددی در این زمینه انجام شده است. آنچه مسلم است تحقیق و بررسی پیرامون مسائل فنی برای توسعه و انتشار اینگونه فناوری‌ها کافی نیست و تنها در صورت در کنار هم قرار گرفتن کلیه عوامل و مدیریت مناسب آنها، توسعه فناوری محقق خواهد شد.

در این تحقیق اقدامات و مطالعات انجام شده در کشور در خصوص توسعه فناوری نانو مورد مطالعه قرار گرفت و ضمن تطبیق آن با الزامات توسعه فناوری‌های پیشرفته، سه عامل کلیدی و مؤثر به عنوان عواملی که در مطالعات و بررسی‌های مدیریتی و کارشناسی کمتر به آنها توجه شده است و برای رشد و توسعه این فناوری در کشور

## مکیده

فناوری نانو را منشأ تحولات فناورانه و انقلاب صنعتی آینده می‌دانند و بسیاری از کشورها اقدام به توانمندسازی خود در رویارویی با این فناوری نموده‌اند. این فناوری در دهه ۱۹۸۰ میلادی به طور تدریجی وارد صنعت شد و تا این زمان حجم بالایی از بودجه‌های تحقیقاتی را به خود اختصاص داده است. این فناوری در مراحل اولیه رشد خود است و انجام پیش‌بینی‌های دقیق درخصوص روند توسعه و ابعاد

آن امکان‌پذیر نیست، ولی نمی‌توان نسبت به تحولات ناشی از آن در کشور بی‌توجه بود. در این مقاله تلاش شده است ضرورت توسعه فناوری نانو در کشور مورد بررسی قرار گیرد. در این زمینه سه عامل تأثیرگذاری فرصت‌های اقتصادی، سیاست‌های تجاری‌سازی و حقوق مالکیت فکری مورد شناسایی و بررسی قرار گرفته است.

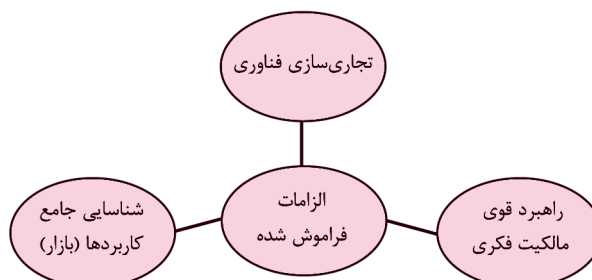
## واژه‌های کلیدی

فناوری نانو؛ تجاری‌سازی فناوری؛ حقوق مالکیت فکری؛ بازار.

## مقدمه

در کشورهای در حال توسعه، مدیریت و توسعه فناوری‌های نوظهور و پیشرفته با چالش‌ها و پیچیدگی‌های خاصی مواجه است. در ایران نیز

1. Richard Feynman  
2. There is a plenty of room at the bottom



توانایی‌های بهبود یافته مورد استفاده قرار گیرند. ویژگی عمده این دسته از محورها این است که بخش تحقیقاتی در آنها تقریباً پایان یافته و وجود یک نظام مناسب برای شناسایی طرح‌ها، ارزیابی آنها و سرمایه‌گذاری و در نهایت حمایت از آنها برای تولید و فروش محصولات نیاز است.

### فناوری‌های قابل دسترس در میان‌مدت:

زمینه‌های که هنوز به بلوغ کافی نرسیده‌اند و بیشتر در مرحله آزمایشگاهی و تحقیقاتی قرار دارند و انتظار می‌رود که در یک بازه زمانی ۵ تا ۱۲ ساله در دسترس قرار گیرند. بیشتر جلوه‌های مهم در زیست فناوری، الکترونیک و اطلاعات، شیمی و مواد پیشرفته و یا ترکیبی از آنها، در این دسته قرار می‌گیرند. هم‌اکنون بیشتر مراکز تحقیقاتی دنیا روی این دسته از محصولات با دورنمای دستیابی میان‌مدت تمرکز نموده‌اند و انتظار دارند که سهمی از بازار بسیار بزرگ مربوط به آن را به دست آورند.

### فناوری‌های قابل دسترس در بلندمدت:

اهداف فناوری بلندمدت در بازه زمانی ۱۲ الی ۲۰ سال، کلی‌تر و زیربنایی‌تر را می‌توان در این دسته قرارداد. با توجه به اینکه این دسته کاربردها یا فناوری‌ها بسیار بنیادی و عام هستند، عموماً دولت‌ها در برنامه بلندمدت خود، محورها و زمینه‌های مورد نظر خود را تعیین می‌کنند.

### ۳. پیش‌بینی بازار فناوری نانو

بی‌تردید رشد و توسعه هر فناوری جدید نیازمند اطلاعات امیدوار کننده از چشم‌انداز اقتصادی آن است. هیچ فناوری جدیدی بدون امید به آینده‌ای روشن و به طور مشخص، بدون امید به سودآوری نمی‌تواند مورد اقبال و توجه قرار گیرد. فناوری نانو نیز از این قاعده مستثنی نیست.

به خود گرفت. در حال حاضر، شرکت‌های نوپا و بزرگ متعددی در زمینه توسعه و تجاری‌سازی فناوری‌های نانو در سراسر دنیا فعالیت دارند. [۳]

### ۲. آینده توسعه فناوری نانو

با گذشت چند سال هنوز به راحتی نمی‌توان در مورد فناوری نانو و تحولاتی که بوجود خواهد آورد صحبت کرد. حتی نمی‌توان با وجود تجربیاتی در زمینه فناوری‌های نوینی مانند زیست‌فناوری و یا اطلاعات، به درستی پیش‌بینی‌های روند فناوری یا بازار را انجام داد. چرا که هیچ‌یک به تنهایی به اندازه فناوری نانو گسترده نیستند. برای در اختیار داشتن توصیفی بهتر از شرایط کنونی و یا شرایط مورد انتظار در این زمینه می‌توان فناوری‌های مرتبط با نانو را با توجه به دانش فنی یا تجهیزات مورد نیاز به سه بخش کلی تقسیم کرد: [۴]

#### فناوری‌های قابل دسترس در کوتاه‌مدت:

زمینه‌هایی از فناوری نانو که در حال حاضر و یا در آینده‌ای بسیار نزدیک (حدود ۵ سال) به عنوان یک محصول می‌توانند در اختیار قرار گیرند؛ این محصولات به‌طور عمده در حوزه مواد پیشرفته، شیمی، زیست‌فناوری و الکترونیک قرار می‌گیرند؛ در واقع می‌توانند به جایگزینی محصولات موجود یا به عنوان ماده‌ای نوین با

کوچک و کوچک‌تر کنیم. در زمانی که این پروفیسور برجسته چنین موضوعی را مطرح کرد، دانشمندان قادر به دستکاری اتم‌ها و مولکول‌ها نبودند، زیرا ابزار مناسبی در اختیار نداشتند. [۱] درکسلر<sup>۱</sup> در اوایل دهه ۸۰ گروهی از دانشجویان را به صورت انجمنی جمع کرد و افکار آنها را با ایده‌هایی که "فناوری نانو" نامگذاری کرده بود، مشغول کرد. درکسلر اولین مقاله علمی خود را در مورد فناوری نانو مولکولی<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۱ ارائه داد و کتاب "موتور خلقت: عصر فناوری نانو" را در سال ۱۹۸۶ به چاپ رساند. درکسلر تنها درجه دکتری در فناوری نانو را در سال ۱۹۹۱ از دانشگاه MIT دریافت کرد. او یک پیشرو در طرح فناوری نانو است و هم‌اکنون رئیس مؤسسه تحقیقات و آینده‌نگاری فلو<sup>۳</sup> می‌باشد. [۲]

در دهه ۱۹۸۰، عمده‌ترین فعالیتی که در زمینه نانو صورت گرفت، ساخت میکروسکوپ‌های پروب پیمایشگر<sup>۴</sup> نظیر میکروسکوپ تونل‌زنی پیمایشگر<sup>۵</sup> و میکروسکوپ نیروی اتمی<sup>۶</sup> بود. از طریق این میکروسکوپ‌ها، اتم‌ها قابل رؤیت و دستکاری بودند. به این ترتیب سطح فعالیت‌های علمی و فناورانه در زمینه فناوری‌های نانو، شتاب فوق‌العاده‌ای گرفت. با افزایش تمایل دانشمندان، دولت‌ها و بخش خصوصی نسبت به سرمایه‌گذاری در این زمینه، روند تجاری‌سازی شتاب بیشتری

1. Drexler

2. Nano Technology and Molecular Imaging (NMI)

3. Fellow

4. Scanning Probe Microscopy

5. Scanning Tunneling Microscope (STM)

6. Atomic Force Microscope (AFM)

برخی از علل عمده پراکندگی و ناهماهنگی پیش‌بینی‌های انجام شده در خصوص بازار فناوری نانو به طور خلاصه به شرح زیر است: [۵]

■ **تعریف فناوری نانو:** برای تخمین بازار هر فناوری، ابتدا لازم است که تعریف دقیق و مشخصی از آن داشته باشیم تا مرزهای فناوری مشخص شود. بعضی‌ها فناوری نانو را فقط به فناوری‌های مولکولی اطلاق می‌کنند و بسیاری از فناوری‌های مواد، الکترونیک و ... را جزء این تعریف نمی‌دانند. بسیاری دیگر، تعریف فناوری نانو را خیلی وسیع‌تر دانسته و تمامی فناوری‌های زیر ۱۰۰ نانومتر را زیرمجموعه آن می‌دانند. بدیهی است که حجم بازاری که این دو گروه برآورد یا پیش‌بینی می‌کنند، بسیار متفاوت است.

■ **تفکیک اطلاعات:** اغلب تولیدکنندگان محصولات نانو، شرکت‌های بزرگی هستند که بخشی از فعالیت‌های خود را به فناوری نانو اختصاص داده‌اند. چنین شرکت‌هایی حاضر نیستند گزارشی جداگانه از میزان فروش محصولات فناوری نانو خود ارائه دهند. تفکیک اطلاعات و ارقام چنین شرکت‌هایی به دو بخش نانو و غیر نانو نیز کار ساده‌ای نیست.

■ **شرکت‌های خصوصی:** سهم زیادی از محصولات

و بازارهای نانو نیز مربوط به شرکت‌های خصوصی و تازه تأسیس است. چنین شرکت‌هایی نیز اطلاعات مالی خود را کمتر فاش می‌کنند.

■ **سرعت تغییر اطلاعات:** ورود محصولات فناوری نانو به خصوص نانو مواد به بازار، به سرعت در حال افزایش و گسترش است. بنابراین پیگیری تمامی این محصولات و تعیین مقدار دقیق آنها کاری دشوار و حتی غیرممکن است.

■ **نوع نگاه به بازار:** از جمله دیگر مسائلی که برای تخمین بازار وجود دارد، نوع نگاه و تعریف از بازار است. اگر تعریف از بازار فقط میزان فروش باشد، حجم بازار متفاوت از حالتی خواهد شد که کاهش اتلاف انرژی، کاهش آلاینده‌ها و امراض و هزینه‌های درمان و ... نیز به تعریف فوق اضافه شود. پس این مورد نیز می‌تواند از دلایل اختلاف در تخمین بازارهای نانو باشد.

■ **اتفاقات متحول کننده:** از آنجا که چنین اتفاقاتی قابل پیش‌بینی نیستند، اثرات آنها بر بازار نیز تا قبل از اتفاق، مشخص نیست. بنابراین عدم قطعیت در مورد بازارهای آینده، بیشتر از بازارهای فعلی است.

■ **اغراق‌گویی:** علاوه بر تمامی این مشکلات، اشتیاق فراوان برخی طرفداران فناوری نانو و نیز امید به جذب اعتبارات پژوهشی و دولتی موجب شده است تا گاهی تخمین‌هایی اغراق‌آمیز از بازار و قابلیت‌های فناوری نانو ارائه شود. معروفترین این ارقام، پیش‌بینی هزار میلیارد دلاری برای فناوری نانو در سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ توسط بنیاد ملی علوم آمریکا است. در کنار این پیش‌بینی، گروه‌ها و شرکت‌های دیگری نیز به تحلیل بازار نانو پرداخته و اطلاعات و ارقام متفاوتی ارائه کرده‌اند، که در جدول ۱ به آنها اشاره شده است.

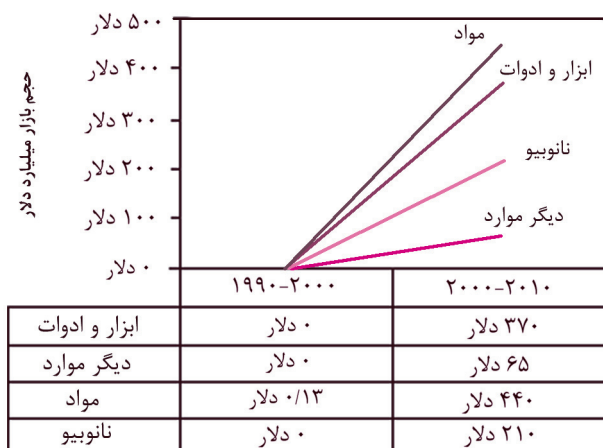
اختراعات و اکتشافات فناورانه مهم، مبنای رشد پیش‌بینی شده بازارها را در هر زیر بخش فناوری نانو شکل می‌دهند و تصدیق می‌کنند که اصولاً زیربخش اصلی مرتبط با فناوری و دانش نانو، صنعت ساخت نیمه‌هادی‌ها و مواد شیمیایی است. مرحله برجسته بعدی، پیشرفت‌های غیر منتظره در زمینه تولید نانو در مقیاس جهانی خواهد بود. [۹]

#### ۴. روش تمقیق

در این تحقیق جهت تدوین مطالب و پیشبرد اهداف علاوه بر مطالعه و بررسی آثار مؤلفین و

جدول ۱. برخی از پیش‌بینی‌های بازار فناوری نانو

منبع	تحقیق بازار جهانی	سال
Business Communication Company, 2004	۲۸/۰۷ میلیارد دلار	۲۰۰۸
US Nano Business Alliance, US, 2001	۵۰۰ میلیارد پوند	۲۰۰۸
US Government (2001); Evolution Capital, UK, 2001	۷۰۰ میلیارد پوند	۲۰۱۰
US NSTC NSET Sub-committee, 2001	بیش از ۱۰۰۰ میلیارد دلار	۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵



نمودار ۱. رشد بازار محصولات نانو بر حسب زمان

محققین در زمینه وضعیت توسعه فناوری نانو در کشور، از مصاحبه‌های تخصصی نیمه ساختار یافته نیز استفاده گردیده و بر اساس آن چالش‌های فراروی توسعه این فناوری‌های نوظهور در کشور که در برخی از موارد در خصوص سایر فناوری‌ها نیز عمومیت نیز دارد، مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است.

### ۵. صنعت نانو و فرصت‌های تجاری آن

فناوری نانو در اواخر دهه ۱۹۸۰، کمی بعد از اختراع AFM، STM، در عرصه صنعت حضور یافت. در طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ موج وسیعی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه در این زمینه شکل گرفت. بعد از سال ۱۹۹۷ شرکت‌های جدید زیادی در زمینه فناوری نانو توسط سرمایه‌گذاران مخاطره‌پذیر شروع به فعالیت کردند. در حال حاضر فناوری نانو در مرحله اولیه عمر خود قرار دارد، ولی صنعت آن با حمایت دولت‌ها، دانشگاه‌ها، سرمایه‌گذاران و شرکت‌های خصوصی سراسر جهان وارد مرحله رشد شده است. [۳]

علم و فناوری نانو، توانمندی کنترل چیدمانی اتم‌ها و مولکول‌ها، برای رسیدن به اشیایی با قابلیت‌های بسیار بهتر است. بر اساس همین تعریف ساده، فناوری نانو به مثابه رویکردی جدید در تمام رشته‌ها، حوزه‌های متعددی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی از فرصت‌های تجاری فناوری نانو به شرح زیر است:

- تولید مواد و فرآورده‌های صنعتی (مواد سبک‌تر، مستحکم‌تر، قابل برنامه‌ریزی و هوشمند، کاهش هزینه، افزایش عمر، ابزارهای جدید بر پایه اصول و معماری جدید، ساخت مولکولی و ...)
- پزشکی، داروسازی و مراقبت‌های بهداشتی

استفاده از سیستم‌های نانوروباتیک و هوشمند برای مدیریت فاضلاب‌های محیط زیستی و هسته‌ای، ...

- انرژی (بهبود تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته، بهبود تبدیل انرژی هیدروژن به انرژی گرمایی، ذخیره ایمن هیدروژن و ...)
- ابزارهای نظامی و امنیت ملی (سلاح‌های جدید، تسلط بیشتر بر اطلاعات، ابزارهای محافظت در برابر سلاح‌های میکروبی و شیمیایی و ...)
- علوم و مهندسی نانو، منجر به درک بهتر طبیعت، پیشرفت در پژوهش و آموزش پایه و تغییرات عمده در تولیدات صنعتی، اقتصاد، بهداشت، مدیریت محیط زیست و حفظ منابع طبیعی خواهد شد. [۱۰]

فناوری نانو به شکل گسترده‌ای همچون راهی برای ایجاد چیزهایی بهتر، سریع‌تر، ارزان‌تر و توانمندتر تعریف می‌شود. در حالی که بدون تردید فناوری نانو این اثرات را خواهد داشت، فرصت‌های به وجود آمده از پیشرفت‌های روبه رشد، در برابر

(توسعه بیوحسگرها و فناوری‌های تصویربرداری جدید برای تشخیص زودتر و درمان بیماری‌هایی مثل سرطان، روش‌های بیماری‌شناسی و درمان کارآمدتر و ارزان‌تر، داروهای جدید، کمک به بینایی و شنوایی، مواد جدید سازگار با محیط زیست که باعث افزایش زمان نگهداری اندام مصنوعی می‌گردد، استفاده از دستگاه‌های پزشکی کوچک و هوشمند، ارسال دارو به طور مستقیم به سلول‌های آسیب‌دیده و ...)

- الکترونیک و کامپیوتر (تراشه‌ها و کامپیوترهای سریع‌تر با نانو ترانزیستورها، حافظه‌های با ظرفیت بسیار بالا، پهنای باند ارتباطی بالا، نسل‌های جدیدی از ردیاب‌ها، پردازنده‌ها و نانو دستگاه‌ها و ...)

■ منابع طبیعی و محیط زیست (تخلیص و نمک‌زدایی آب، کاهش مصرف بنزین با تغییر در خودروها، لاستیک‌های سازگار با محیط زیست، استفاده از نانوپودرها برای رفع آلودگی،

تمامی صنایع جدیدی که فناوری نانو به وجود می‌آورد بسیار ناچیز خواهند بود. باید تأکید کرد که فناوری نانو یک فناوری توانمندساز<sup>۱</sup> است و بر این اساس اجازه شناخت طبیعت را با مشاهده مستقیم ساختارها و فرآیندهای در مقیاس نانو می‌دهد. [۱۱]

با توجه به فرصت‌های تجاری بیان شده در فوق و مطالبی که در قبل در خصوص آینده توسعه فناوری نانو و پیش‌بینی بازار آن بیان شد می‌توان فهمید بسیاری از فرصت‌ها و قابلیت‌های این فناوری هنوز مشخص نشده است و ناشناخته‌های زیادی در این مسیر قرار دارد. ولی اطلاعات موجود نیز برای بیان ضرورت توجه و سرمایه‌گذاری در مسیر توسعه این فناوری در کشور کافی است و باید به این فناوری به عنوان یک فناوری تحول‌ساز، مسلح شد.

#### ۶. نقش مقوق مالکیت فکری<sup>۲</sup> در توسعه فناوری نانو

حقوق مالکیت فکری، اهمیت قابل ملاحظه‌ای برای موفقیت شرکت‌های مبتنی بر فناوری دارد. یک راهبرد قوی مالکیت فکری، عامل کلیدی موفقیت در تجاری‌سازی محسوب می‌شود. به طوری که باعث تفکیک رهبران و پیروان صنعت فناوری نانو از یکدیگر می‌شود. در حال حاضر، رقابت شدیدی در سطح ملی و بین‌المللی برای حقوق مالکیت فکری در صنعت فناوری نانو وجود دارد. تنها شرکت‌ها و سازمان‌هایی در این زمینه موفق هستند که دارای راهبرد برنامه‌ریزی شده و دقیقی باشند. حقوق مالکیت فکری علاوه بر اینکه از ورود رقبا به بازار و دسترسی آنها به فناوری برای یک دوره زمانی جلوگیری می‌کند، به شرکت این اجازه را می‌دهد که از طریق افزایش

سهم بازار، ایجاد ارزش کرده و از طریق لیسانس کسب درآمد کند. مثال بارز آن IBM است که ۲۰ درصد از درآمدش را از حق امتیاز به دست آورده است. [۱۲] دستاوردهای تحقیقاتی در فرآیند توسعه فناوری‌های نوظهور و جدید مانند فناوری نانو که هنوز مراحل اولیه چرخه عمر خود را سپری می‌کند و آینده آن زیاد مشخص نیست، بیشتر حق اختراع<sup>۳</sup> و مقالات علمی و پژوهشی است؛ بنابراین در آینده صاحبان بازار و فناوری، سازمان‌ها یا کشورهایی هستند که با استفاده از حقوق مالکیت فکری و اتخاذ یک راهبرد مناسب از دستاوردهای تحقیقاتی خود به شکل صحیحی محافظت نموده‌اند.

هزینه‌های بالای فعالیت‌های تحقیقاتی و مخاطره نهفته در مؤثر بودن آنها سبب می‌شود که حراست از دستاوردهای پژوهشی به یک اقدام مهم در مسیر توسعه فناوری تبدیل شود. این مهم در زمینه پژوهش‌های کاربردی که نتیجه یا محصول کار وارد بازار خواهد شد، بسیار تعیین‌کننده خواهد بود. زیرا بسیاری از ابعاد دانشی محصول از جمله دانش فنی ساخت و همچنین خصوصیات ظاهری از راه‌هایی مانند مهندسی معکوس قابل نسخه‌برداری خواهد بود. بر اساس نظر بسیاری از متخصصان بهترین راه برای حفاظت از دارایی‌های فکری سازمان‌ها و افراد که ارزش تجاری‌سازی نیز دارند، استفاده از حقوق مالکیت فکری است. در این راستا اتخاذ یک راهبرد قوی مالکیت فکری، زمینه‌ساز بسیاری از موفقیت‌ها در بازار و کسب مزیت رقابتی خواهد بود.

#### ۷. ضرورت وجود راهبرد تجاری‌سازی برای توسعه فناوری نانو

تجاری‌سازی فناوری‌های جدید و نوپا از جمله فناوری نانو از حساسیت و ظرافت خاصی برخوردار است. وجود سیاست‌های مناسب برای تجاری‌سازی فناوری نانو از ضروریات ملی محسوب می‌شود و نقش مؤثری در ظهور این فناوری در بازار دارد؛ بنابراین در توسعه فناوری نانو در کشور بدون وجود راهبرد تجاری‌سازی مناسب، امکان‌پذیر نیست و این موضوع یکی از نقاط ضعف فعلی کشور ایران در توسعه این فناوری به شمار می‌رود. [۱۳]

در ادبیات مربوط به تجاری‌سازی، دو نوع فناوری از لحاظ نوآوری وجود دارد: فناوری‌های بنیادی<sup>۴</sup> (انقلابی) و فناوری‌های تکاملی<sup>۵</sup> (توانمندساز). [۳] فناوری بنیادی عبارت است از اختراعات یا کشفیات علمی که موجب تغییرات انقلابی در قابلیت‌های فناوری می‌شود. به طوری که محصولات جدیدی برای بازارهای جدید خلق کرده یا تغییرات وسیعی در بازارهای موجود ایجاد می‌کند. فناوری‌های تکاملی، فناوری‌های جدیدی هستند که جهت بقا و بهبود تدریجی قابلیت‌های فناورانه شرکت و رویه‌های فعلی تولید مورد نیاز هستند. محصولات فعلی به کمک چنین فناوری‌هایی می‌توانند اصلاح شده، بهبود یافته یا جایگزین شوند. ولی اساساً باعث ایجاد بازارهای جدید نمی‌شوند. بلکه محصولات بهبودیافته را برای بازارهای فعلی و تأمین خواسته‌های مشتریان تولید می‌کنند. [۱۴] فناوری‌های تکاملی با فناوری‌های پایه شرکت در ارتباط هستند. بنابراین تجاری‌سازی محصولات مبتنی بر فناوری‌های تکاملی دارای مخاطره کمتری نسبت به فناوری‌های بنیادی هستند. زیرا شرکت تجربه و قابلیت‌های لازم برای تجاری‌سازی چنین محصولاتی را در اختیار دارد. برای شرکت‌های

1. Enabling  
2. Intellectual Property Rights (IPR)

3. Patent  
4. Radical

5. Enabling

الگوی از فرایند نوآوری پرداخته‌اند که با خلق فناوری جدید آغاز شده و با پذیرش مصرف‌کننده و کاربرد آن خاتمه می‌یابد. این فرایند در شکل ۱ به خوبی نمایش داده شده است. [۱۶]

براساس این الگو چهار حالت امکان‌پذیر است:

۱. نوآوری‌های تکاملی / راهبرد کشش بازار؛
۲. نوآوری‌های تکاملی / راهبرد فشار فناوری؛
۳. نوآوری‌های بنیادی / راهبرد کشش بازار؛
۴. نوآوری‌های بنیادی / راهبرد فشار فناوری.

هر یک از این راهبردها دربرگیرنده سطوح مختلفی از مخاطره، هزینه توسعه و قابلیت شکست است. اگر شرکت بخواهد موفق باشد و مزیت رقابتی کسب کند، انتخاب با احتیاط راهبرد ضرورت دارد. به طوری که پیاده‌سازی این مدل در صنعت MEMS<sup>۴</sup> نشان می‌دهد که شرکت‌های بالغ به ندرت فناوری‌های بنیادی را مورد

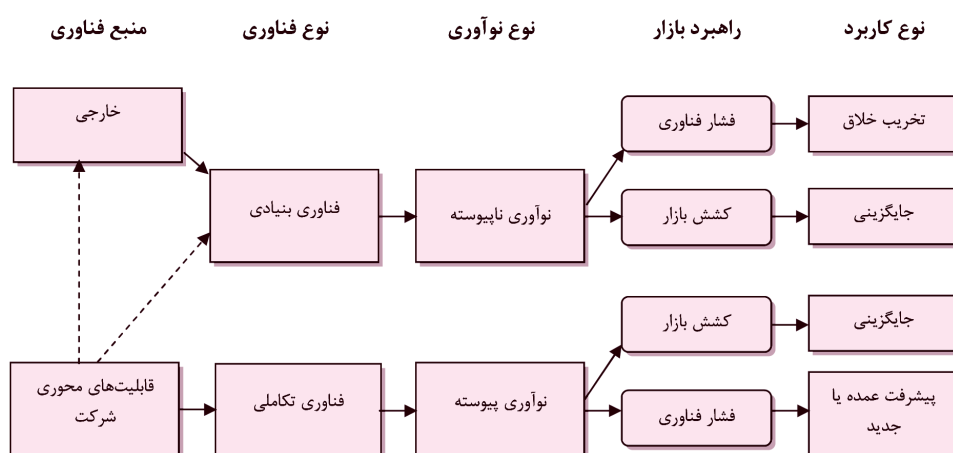
روند رشد فناوری‌های انقلابی نانو بیشتر از فناوری‌های توانمندساز خواهد بود. [۱۵]

بدین ترتیب از جنبه نوآوری فناوری دو نوع راهبرد جهت تجاری‌سازی وجود دارد که عبارتند از: فشار فناوری<sup>۱</sup> و کشش بازار<sup>۲</sup> که در واقع راهبردهای ورود به بازار هستند. به طور کلی اولین قدم در هر فرایند نوآوری شناسایی ایده است. منبع این ایده می‌تواند ناشی از توانمندی فناورانه (فشار فناوری) یا ناشی از شناسایی تقاضای بازار (کشش بازار یا خریدار) باشد. در راهبرد فشار فناوری نیازمندی‌های بازار در اولویت دوم نسبت به توسعه فناوری قرار می‌گیرد. در صورتی که در روش کشش بازار با استفاده از نیازمندی‌های بازار جهت توسعه محصول می‌توان سریعتر در بازار نفوذ کرد. [۱۶]

بر این اساس والش و همکارانش<sup>۳</sup> به توسعه

بزرگ، تجاری‌سازی فناوری‌های بنیادی با مخاطره بیشتری همراه خواهد بود. در صورتی که شرکت‌های نوپا عموماً در تجاری‌سازی فناوری‌هایی مشارکت دارند که بنیادی هستند. اینگونه شرکت‌ها دارای مشتری یا قابلیت‌های ویژه‌ای نیستند و بهتر می‌توانند فناوری‌های جدید را برای بازارهای جدید توسعه دهند. [۳]

بیشتر شرکت‌ها در حال حاضر از فناوری نانو به این صورت استفاده می‌کنند که دانش نانو را برای بهبود روش‌ها و فناوری‌های موجود به کار می‌گیرند. در حال حاضر، فناوری نانو یک فناوری توانمندساز (تکاملی) است ولی این قابلیت را دارد که فناوری بسیار متحول‌کننده (بنیادی) باشد. به گفته متخصصان مراکز معتبر جهانی، عمده تأثیر فناوری نانو تا سال ۲۰۰۸ میلادی به صورت توانمندسازی است، ولی از آن سال به بعد



شکل ۱. الگوی فناوری متحول‌کننده

1. Technology Push  
2. Market Pull

3. Walsh et al, 2002  
4. Micro Electro Mechanical Systems

تجاری‌سازی قرار می‌دهند. بدین ترتیب تمایل به اتخاذ راهبرد کشتش بازار بیشتر می‌شود. از سوی دیگر، شرکت‌های جدید عموماً فناوری‌های بنیادی را انتخاب کرده و می‌توانند هر دو راهبرد کشتش بازار و فشار فناوری را جهت تجاری‌سازی به کار گیرند. مطالعات همچنین نشان می‌دهد که شرکت‌های نوپا زمان کمتری برای ورود به بازار نیاز دارند که در حدود ۱/۴ زمان لازم برای شرکت‌های بالغ است. [۱۶]

بنا به نظر بسیاری از پژوهشگران، فناوری نانو را منشاء انقلاب صنعتی بعدی می‌دانند. بنابراین بسترسازی مناسب برای رویارویی با این تحولات، تولید و بهره‌برداری از محصولات جدید، توانمندسازی صنایع و اقتصاد ملی با کمک فناوری نانو، مستلزم وجود سیاست‌های خاص توسعه این فناوری و تجاری‌سازی آن است.

## ۸. چالش‌های مدیریتی پروژه‌های فناوری نانو

در حال حاضر، شرکت‌های کوچک نوپا و نوزاد<sup>۱</sup> در محیط‌های دانشگاهی شکل گرفته و پرورش می‌یابند و غالباً اکثر مؤسسان آنها را استادان دانشگاه، دانشجویان فارغ‌التحصیل یا دانشمندان تحقیقاتی تشکیل می‌دهند. مدیریت و سازماندهی این شرکت‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این زمینه توجه به مواردی مانند چابکی در محیط، داشتن هدفی مشخص، داشتن راهبرد و برنامه برای حفظ موقعیت و جلوگیری از رکود و همچنین کشف و استفاده از کاربردهای متنوع این فناوری سبب جلوگیری از شکست خواهد شد. [۱۷]

تعریف طرح‌های علمی و صنعتی در کشور ما به صورت‌های گوناگونی انجام شده است. گاهی

طرح‌ها به صورت خرد مثل طرح‌های پژوهشی، طرح‌های نیمه‌صنعتی و پایلوت و طرح‌های صنعتی تعریف شده است. در ضمن بسیاری از طرح‌های صنعتی نیز به صورت پروژه‌های انتقال فناوری تعریف شده‌اند. عدم تعریف طرح‌هایی که به بازاریابی و پیش‌بینی بازار و فناوری مربوط هستند، ادامه حیات بعضی فناوری‌ها و طرح‌ها را نیز به خطر انداخته است. بنابراین یکی از چالش‌های موجود مدیریت صحیح این زنجیره ارزش است و در صورت توجه به آن درصد موفقیت طرح‌های فناوری نانو نسب به سایر حوزه‌ها افزایش چشمگیری خواهد داشت.

چالش دیگر این است که در فضای کنونی، تعداد محدودی از کاربردهای فناوری نانو تجاری شده است و این تعداد در مقابل تعداد ایده‌هایی که هنوز در مرحله پژوهش هستند و کاربردی نشده‌اند و یا اصلاً دورنمای کاربردی خاصی برای آنها متصور نیست، بسیار کمتر است. [۱۸]

فناوری نانو به علت ماهیت چند رشته‌ای بودن، تفاوت عمده‌ای با سایر فناوری‌های جدید داشته و چالش‌های مختص به خود را دارد. برخی از این چالش‌های مدیریتی به شرح زیر است: [۳]

- به کارگرفتن یک تیم چند رشته‌ای شامل دانشمندان، مهندسين، مدیران و سایر تخصص‌های مرتبط؛
- چالش‌های فناورانه بسیار پیچیده در زمینه توسعه بازار فناوری نانو؛
- جایگاه ویژه حقوق مالکیت معنوی؛
- اکتساب دارایی‌های مکمل ضروری و توانمندی‌های پایین‌دستی جهت تضمین تجاری‌سازی موفق.
- سر و کار داشتن با نهادهای قانونی برای کسب موافقت‌های لازم؛

- ناآگاهی عمومی نسبت به فناوری نانو و کاربردهای آن؛
- سر و کار داشتن با بازارهای سرمایه.

## ۹. ضرورت اولویت‌دادن به توسعه فناوری نانو در ایران

فناوری نانو را باید با دید بلندمدت مورد بررسی قرار داد زیرا ریشه بسیاری از تحولات فنی و فناورانه در قرن حاضر خواهد بود. تصمیم‌گیری برای حضور در فناوری‌های جدید از جمله نانو باید در زمان مناسب انجام شود. در غیر این صورت بعد از فعالیت وسیع کشورها و شکل‌گیری بازارهای آن، زیاد سودمند نخواهد بود. کشور ایران در زمینه فناوری نانو عقب نیست و متخصصان آماده کار در کشور وجود دارند و حتی در بعضی زمینه‌ها محصولاتی نیز در مقیاس آزمایشگاهی و یا حتی انبوه تولید شده است. برخی از دلایل اهمیت و اولویت توسعه این فناوری را می‌توان به شرح زیر بیان کرد: [۱۹]

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

تخصص‌های مختلف شده و شروع فعالیت در آن باعث جهش در چندین زمینه می‌شود. ■ فناوری نانو رقیب سایر فناوری‌ها نیست، بلکه مکمل و پایه آنهاست؛ ■ کاربردهای فناوری نانو همه جا همراه با هزینه کمتر، دوام و عمر بیشتر، مصرف انرژی پایین‌تر، هزینه نگهداری کمتر و خواص بهتر است. فناوری نانو موجد وضع معیارها و استانداردهایی خواهد بود که کسانی که در تولید محصولات تأخیر داشته باشند، نمی‌توانند در آینده فروشنده آنها باشند.

#### ۱۰. نتیجه‌گیری

وجود بازارهای بزرگ بالقوه برای حوزه‌های مختلف فناوری نانو، سبب تمایل جهانی نسبت به سرمایه‌گذاری‌های فراوان در زمینه این فناوری شده است. سازمان‌های بزرگ دولتی، شرکت‌های مخاطره‌پذیر، شرکت‌های بزرگ و دولت‌ها به عنوان منابع اصلی تأمین مالی برای رشد این فناوری محسوب می‌شوند. در ضمن به دلیل اینکه فناوری نانو، یک فناوری نابالغ است و مراحل اولیه رشد خود را سپری می‌کند، رفتار و عملکرد آن به طور دقیق قابل پیش‌بینی نیست. ولی با توجه به رشد سریع و تأثیر زیاد آن بر رفاه، امنیت، محیط‌زیست و حتی عملکرد نمی‌توان نسبت به آن در کشور بی‌توجه بود و باید یک برنامه منسجم و ملی جهت توسعه هدفمند این فناوری در کشور تدوین کرد تا ضمن سرعت بخشیدن و تکمیل چرخه نوآوری در این صنعت، سبب ایجاد مزیت رقابتی در صنایع کشور شود. در راستای توسعه این فناوری در کشور، سه عامل کلیدی به عنوان الزاماتی که کمتر به آنها توجه شده است، شناسایی گردید. اتخاذ سیاست‌های تجاری‌سازی مناسب،

ایجاد یک زیرساخت حقوق مالکیت فکری مناسب جهت محافظت و بهره‌برداری از دارایی‌های ایجاد شده و همچنین شناسایی و کشف انواع کاربردها و قابلیت‌های بازار از جمله این الزامات است. علاوه بر عوامل فوق، استفاده از همکاری بین‌المللی جهت تسهیل و تسریع فعالیت‌های تحقیق و توسعه و حمایت از شرکت‌های نوپای کوچک و متوسط نانو، از جمله دیگر ضروریات توسعه این فناوری محسوب می‌شود.

#### ۱۱. منابع و مآخذ

1. R.Feynman, 1961, in miniaturization, ed. Gilbert, H.D. (Reinhold, New York), pp. 282-296.
۲. نانوتکنولوژی، آیین‌نامه تکنولوژی آفرینش، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی و انجمن علمی دانشجویی نانوتکنولوژی دانشکده فنی دانشگاه تهران، زمستان ۱۳۸۰.
3. C.O. Oriakhi, 2004, Commercialization of Nanotechnologies, Master's Thesis, Management of Technology, MIT.
۴. پروژه مطالعات راهبردی و تدوین استراتژی سازمان گسترش و نوسازی در توسعه سرمایه‌گذاری در صنایع مرتبط با نانوتکنولوژی، دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی استراتژیک، سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، ۱۳۸۳.
۵. گزارش نگاهی به بازار جهانی فناوری نانو، دبیرخانه ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، مهر ۱۳۸۳.
6. Deutch Bank, "Nanotechnology Market and Company report 2003", 2003, URL: <http://www.nanoindustries.com/feature/nano2002.html>
7. <http://www.tmcnet.com/submit/2004/aug/1064824.htm>
8. J.M.Taylor, "new dimensions for manufacturing A UK strategy for nanotechnology", june 2002, page 24
۹. کریمی، علی، روند رشد بازار و فناوری نانو، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، مهر ۱۳۸۴.
۱۰. سلطانی، علی‌محمد، نانوتکنولوژی بستری برای همکاری دولت، دانشگاه و صنعت، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی، دفتر همکاری‌های فناوری، گزارش فرصت‌های نانوتکنولوژی، ستاد ویژه توسعه نانوفناوری، پاییز ۱۳۸۲.
12. Bleeker R. A. et al, (2004) "Patenting Nanotechnology", Materialstoday February: 44-48
۱۳. ناصری، رؤیا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت دانشگاه علامه طباطبایی، شناسایی چالش‌های فرا روی تجاری‌سازی فناوری‌های نوظهور در ایران، ۱۳۸۵.
14. Morone, J. (1993) "Winning in High Tech Markets" Boston, MA: Harvard Business School Pres.
۱۵. سند تکمیلی راهبرد ۱۰ ساله توسعه فناوری نانو در جمهوری اسلامی ایران (۱۳۸۴-۱۳۹۳)، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، تیرماه ۱۳۸۴.
16. Walsh, S.T. et al, (2002) "Differentiating Markets Strategies for Disruptive Technologies" IEEE Trans. Engineer Manage. 49:341- 351
۱۷. کنعانی، مهدی، هفت توصیه برای شرکت‌های نوپا در زمینه فناوری نانو، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۱۳۸۴.
۱۸. حسین صالحی و همکاران، پیشنهادهایی برای مدیریت توسعه فناوری نانو در ایران، شبکه تحلیل‌گران تکنولوژی، ایران.
۱۹. سلطانی، علی‌محمد، نانوتکنولوژی و جمهوری اسلامی ایران، بایدها و نبایدها، دفتر همکاری‌های فناوری.