



فهرست مطالب

صفحه	عناوین
۴	۱- معرفی محصول
۱۳	۱-۱- نام و کد آیسیک محصول
۱۴	۱-۲- شماره تعرفه گمرکی
۱۵	۱-۳- شرایط واردات و صادرات
۱۵	۱-۴- بررسی و ارائه استاندارد (ملی یا بین‌المللی)
۱۶	۱-۵- بررسی و ارائه اطلاعات لازم در زمینه قیمت تولید داخلی و جهانی محصول
۱۸	۱-۶- توضیح موارد مصرف و کاربرد
۲۳	۱-۷- بررسی کالاهای جایگزینی و تجزیه و تحلیل اثرات آن بر مصرف محصول
۲۴	۱-۸- اهمیت استراتژیکی کالا در دنیای امروز
۲۴	۱-۹- کشورهای عمده تولید کننده و مصرف کننده محصول (حتی‌الامکان سهم تولید یا مصرف ذکر شود)
۲۸	۲- وضعیت عرضه و تقاضا
۲۹	۲-۱- بررسی ظرفیت بهره‌برداری و روند تولید از آغاز برنامه سوم تا کنون و محل واحدها و تعداد آنها و سطح تکنولوژی واحدهای موجود، ظرفیت اسمی، ظرفیت عملی، علل عدم بهره‌برداری کامل از ظرفیت‌ها، نام کشورها و شرکت‌های سازنده ماشین‌آلات مورد استفاده در تولید محصول



صفحه	عناوین
۳۱	۲-۲- بررسی وضعیت طرح‌های جدید و طرح‌های توسعه در دست اجرا (از نظر تعداد، ظرفیت، محل اجراء، میزان پیشرفت فیزیکی و سطح تکنولوژی آنها و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده اعم از ارزی و ریالی و مابقی مورد نیاز).....
۳۱	۲-۳- بررسی روند واردات محصول طی پنج سال گذشته (چقدر از کجا).....
۳۱	۲-۴- بررسی روند مصرف طی پنج سال گذشته.....
۳۲	۲-۵- بررسی روند صادرات محصول طی پنج سال گذشته و امکان توسعه آن (چقدر به کجا صادر شده است).....
۳۲	۲-۶- بررسی نیاز به محصول با اولویت صادرات تا پایان برنامه چهارم.....
۳۳	۳- بررسی تکنولوژی و روشهای تولید عرضه محصول در کشور و مقایسه با دیگر کشورها
۳۹	۴- نقاط قوت و ضعف تکنولوژی‌های مرسوم در فرآیند تولید محصول.....
۴۰	۵- بررسی و تعیین حداقل ظرفیت اقتصادی شامل برآورد حجم سرمایه‌گذاری ثابت به تفکیک ریالی و ارزی (با استفاده از اطلاعات واحدهای موجود، در دست اجراء، UNIDO، اینترنت، بانک‌های اطلاعاتی جهانی، شرکت‌ها تکنولوژی و تجهیزات و ...)
۴۱	۶- میزان مواد اولیه عمده مورد نیاز سالانه و محل تأمین آن از خارج یا داخل کشور قیمت ارزی ریالی و بررسی تحولات اساسی تأمین اقلام مورد نیاز گذشته و آینده
۴۲	۷- پیشنهاد منطقه مناسب برای اجرای طرح.....
۴۲	۸- وضعیت تأمین نیروی انسانی و تعداد اشتغال.....



معاونت پژوهشی

مطالعات

امکان سنجی مقدماتی

تولید کربن نانو تیوب



شرکت شهرک‌های صنعتی تهران

صفحه	عناوین
۴۳	۹- بررسی و تعیین میزان تأمین آب، برق، سوخت، امکانات مخابراتی و ارتباطی (راه - راه آهن - فرودگاه - بندر ...) و چگونگی امکان تأمین آنها در منطقه مناسب طرح
۴۳	۱۰- وضعیت حمایت‌های اقتصادی و بازرگانی
۴۳	- حمایت تعرفه گمرکی (محصولات و ماشین آلات) و مقایسه با تعرفه‌های جهانی
۴۳	- حمایت‌های مالی (واحد‌های موجود و طرح‌ها)، بانک‌ها و شرکت‌های سرمایه‌گذار..
۴۴	۱۱- تجزیه، تحلیل، ارائه جمع‌بندی و پیشنهاد نهایی احداث واحد‌های جدید
۴۵	۱۲- منابع و مآخذ



۱. معرفی محصول

یکی از اکتشافات بزرگ مربوط به نانو تکنولوژی، کشف کربن نانو تیوب است. کربن نانو تیوب لوله های کربنی تو خالی هستند. صفحات آنها از اتمهای کربن هستند که در ساختاری غلطک مانند قرار گرفتند و در ظاهر شبیه توری های سیمی هستند. این مواد به علت داشتن خواصی مانند سطح ویژه زیاد (حدود ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم بر متر مربع)، استحکام زیاد و خصوصیات الکتریکی و الکترونیکی استثنایی موارد کاربرد زیادی از جمله استفاده به عنوان پایه کاتالیست، تقویت مکانیکی پلیمرها و کمپوزیت ها و ساخت قطعات الکترونیکی دارند. آنها ده ها بار از فولاد محکمترند در حالیکه وزنشان یک ششم وزن فولاد است. علیرغم داشتن چنین توان کششی بالایی، SWNT ها انعطاف پذیر بوده و می توان آنها را پهن کرده و یا به هر طرفی خم نمود. این خواص باعث می شود تا SWNT را بتوان درهم بافته و به صورت طناب ها یا کابل های انعطاف پذیر محکم درآورد. این نانولوله ها همچنین کشسان بوده و بعد از تغییر شکل باز هم به همان حالت طبیعی خود باز می گردند. این امتیازها باعث شده است که آنها اولین انتخاب برای ساختن پل ها، هواپیماها و مواد پیشرفته باشند. طول بزرگترین کربن نانو تیوبی که در آزمایشگاه ساخته می شود به چند میلیمتر هم میرسد. این باعث شده که در مورد ماشینهای کوچک، نانو تیوب های کربنی ایده آل باشند. در یاتاقان های ساخته شده از کربن نانو تیوب ها اصطکاک بسیار کاهش می یابد. امتیاز مهم دیگر کربن نانو تیوب ها این است که آنها در هر دو حالت رسانا و نارسانا وجود دارند. بسته به کایرالیته یا مقدار خمش، نانولوله های کربنی ها دو حالت رسانای الکتریسته یا نیمه رسانا را به خود می گیرند. در حالت اول همانند فلز (مثلاً مس) و در حالت

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۴	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



دوم شبیه سیلیکون عمل کرده و تنها با صرف مقداری انرژی می‌توانند جریان را از خود عبور دهند. شکاف بانندی یا مقدار انرژی لازم برای ایجاد هدایت الکتریکی در این نانولوله‌ها را می‌توان از طریق کنترل قطر یا کایرالیته آنها تأمین نمود. از آنجا که MWNT ها لوله‌هایی با قطرهای مختلف می‌باشند، این قابلیت اضافه را نیز دارند که بتوانند در یک لحظه چند سیگنال جریان را از خود عبور دهند.

این ویژگی موجب استفاده آنها در وسایل مختلف الکتریکی شده است. انتقال الکترون در نانو تیوبها منحصر به فرد است و در جهت محور شدیداً رسانا هستند. سرعت انتقال الکترون در نانو تیوب بیشتر از الکترودهای کربنی است. رسانایی گرمایی آنها در جهت محوری نیز بالا است. نانو تیوبها بر دو نوع نانو تیوبهای چند دیواره ای (Multi Wall) و تک دیواره ای (Single Wall) هستند که به ترتیب در سال ۱۹۹۱ و ۱۹۹۳ کشف شدند. نوع چند دیواره ای از الیاف گرافیتی ساخته می‌شود در حالی که نانو تیوبهای تک دیواره ای از الیاف فولرن کشیده شده تشکیل شده اند. نانو لوله تک جداره از یک ورقه ی گرافیت پیچیده به صورت استوانه به وجود آمده که دو سر آن به حالت کروی مسدود است. از زمان کشف این مواد کاربردهای مختلفی پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان استفاده از نوع چند دیواره ای را در نوک ای. اف. ام حامل و در مورد نوع تک دیواره به منظور استفاده در وسایل الکترونیکی یا به عنوان محیط مناسب جهت ذخیره هیدروژن اشاره نمود.

نانو تیوبهای تک دیواره از دیواره های استوانه ای گرافن به قطر ۱ تا ۲ نانومتر تشکیل شده است. نوع چند دیواره ای، دیواره های ضخیم تری دارد و از چندین استوانه هم محور گرافن که با فاصله ۳۴

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۵	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



نانومتر (در حد فاصله لایه های گرافیت) از هم جدا شده اند، تشکیل گردیده است. قطر خارجی نانو تیوب چند دیواره ای ۲ تا ۲۵ نانومتر و سوراخ داخلی آن در محدوده ۱ تا ۸ نانومتر قرار دارد و ما بین لایه های منفرد گرافیت هیچگونه نظم سه بعدی وجود ندارد. طول متوسط نانو تیوب می تواند چندین میکرون باشد. ساختار تو خالی نانو تیوب سبک بودن آن را به دنبال دارد. چگالی نوع چند دیواره ای ۱/۸ و نوع تک دیواره ای ۰/۸ است. نانو تیوبها مقاومت خوبی در برابر مواد شیمیایی داشته و از پایداری گرمایی بالای برخوردارند. اکسایش نانو تیوب از دو سر تیوب آغاز می شود. این عمل باعث باز شدن تیوب خواهد شد. کربن نانو تیوب ها از لحاظ کاتالیزوری فعال می باشند. کربن نانو تیوب ها خاصیت موینگی بالایی دارند و می توانند گازها و مایعات را در خود جای دهند. از کربن نانو تیوب های چند دیواره ای به عنوان الکتروود در واکنشهای بیوالکترو شیمیایی استفاده شده است. کربن نانو تیوب ها می توانند واکنشهای احیای اکسیژن را کاتالیز کنند. ذخیره هیدروژن در داخل حفره های نانو تیوبهای تک دیواره ای امکان پذیر خواهد بود. در تصاویر زیر عکس های مختلفی از کربن نانو تیوب دیده می شود.

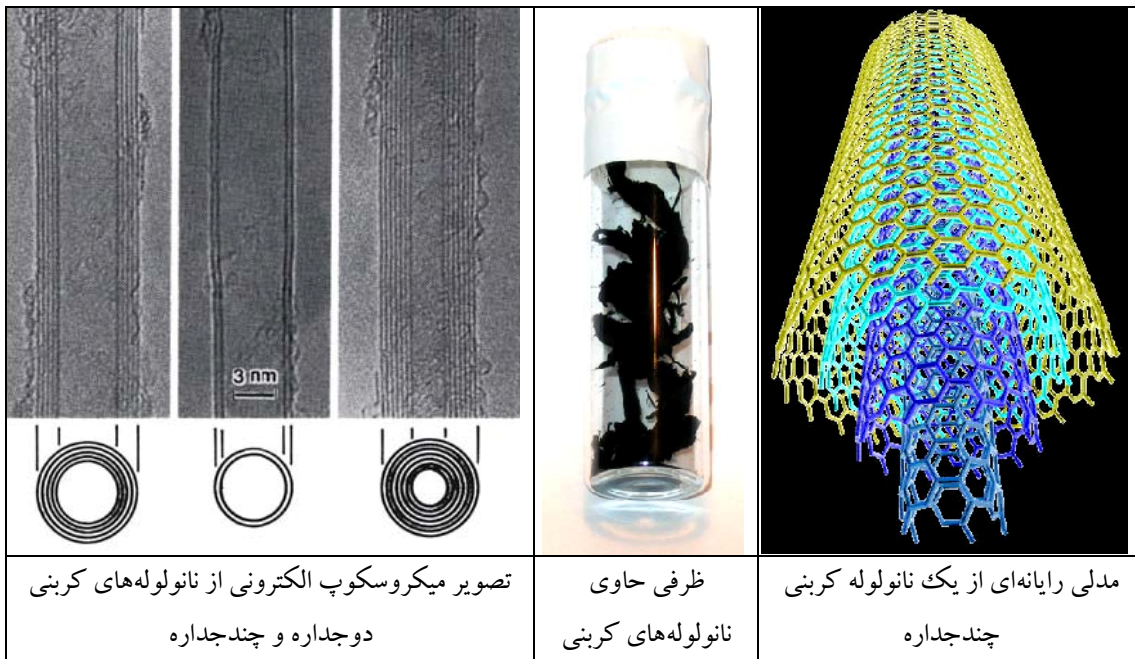
تاریخچه

مشهور است که اولین بار کربن نانو تیوب در سال ۱۹۹۱ توسط پژوهشگر ژاپنی به نام «سومیو لیجیما» متخصص میکروسکوپ آزمایشگاه NEC به صورت کاملا اتفاقی در هنگام مطالعه سطوح الکترودهای کربن در هنگام تخلیه قوس الکتریکی کشف شد. این آزمایش به نوبه خود سهم ویژه ای

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۶	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



در توسعه نانو تکنولوژی داشته است. وی که به دستکاری و تغییر روش های ارائه شده توسط محققین موسسه ی فیزیک هسته ای ماکس پلانگ جهت تولید فولرین مشغول بود، دو الکترو د گرافیت را به جای اتصال به همدیگر در فاصله کمی از یکدیگر قرار داد و بین آن دو الکترو د قوس الکتریکی برقرار کرد.



تصاویر مختلفی از کربن نانویوب

این آزمایش سبب شد که وی به طور کاملاً اتفاقی ماده شگفت‌انگیز نانو تیوب های کربنی را برای اولین بار کشف کند. با این حال شرکت Hyperion Catalysis در سال ۱۹۸۳ نانولوله‌های کربنی را تولید کرده بود و حتی گواهی ثبت اختراعی هم به خاطر تولید MWNT ها (که آن زمان فیبریل کربنی نامیده می‌شد و در مواد ساختاری کاربرد داشت) دریافت نموده بود که تاریخ آن به سال

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۷	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



۱۹۸۷ بر می‌گردد. ایجیمال به ساختار شیمیایی منحصر به فرد این مواد پی‌برد و SMNT ها را تولید نمود. بعداً در سال ۱۹۹۳ ایجیمان و دونالد بتھون از شرکت آی‌بی‌ام آمریکا هر کدام به طور جداگانه موفق به سنتز این مواد شدند.

مقدمه ای بر تجاری سازی کربن نانو تیوب

فناوری نانو مملو از اصطلاحات مبهم است و افراد گوناگون با به کار بردن کلمات یکسان، به چیزهای کاملاً مختلفی اشاره می‌کنند. تجاری سازی در این مقوله فناوری نیازمند درک مشترک از مفهوم این فناوری است. مقبول ترین تعریف از فناوری نانو عبارت است از مهندسی هدفمند مواد در مقیاس کمتر از ۱۰۰ نانومتر (nm) برای به دست آوردن ویژگی‌ها و عملکردهای وابسته به اندازه^۱. اندازه ده اتم هیدروژن در کنار هم حدود ۱ نانومتر، و عرض یک رشته DNA حدود دو نانومتر می‌باشد. سه قسمت این تعریف محدوده فناوری نانو را مشخص می‌کند.

منظور از مهندسی هدفمند این است که بسیاری از مواد با ابعاد نانومتری وجود دارند ولی برای این منظور طراحی نشده‌اند و فهم اینکه این مواد ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر دارند، دهه‌ها یا قرن‌ها بعد و همزمان با ظهور میکروسکوپ‌های جدید روی داده است. مقیاس کمتر از ۱۰۰ نانومتر برای نقطه‌ای است که در آن ویژگی‌های مواد (به شکل وابسته به اندازه) به دلیل اثرات مکانیک کوانتومی، افزایش بسیار زیاد در مساحت سطحی، یا اثرات دیگر خودشان را در مقیاس نانو نشان می‌دهند، تغییر می‌یابد.

^۱ Size-dependent

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۸	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



ویژگی‌ها و عملکردهای وابسته به اندازه اصلی‌ترین قسمت تعریف می‌باشد. کاربردهای فناوری نانو شامل مواد و ساختارهایی می‌باشند که نه تنها کوچک بوده، بلکه کوچک و متفاوت هستند.

مورد مشابه برای فناوری نانو را باید در فناوری‌های عمومی دیگری در تاریخ جستجو کنیم که کاربردهای بسیار وسیعی داشته‌اند. به طور کلی این فناوری‌ها تأثیر بسیار زیادی در موفقیت یا شکست صنایعی دارند که آنها را پذیرفته‌اند؛ اما هویت و موجودیت این صنایع را تشکیل نمی‌دهند. این فناوری‌ها ابزارهای جدیدی ایجاد می‌کنند و موجب ایجاد صنعت جدیدی نمی‌شوند. زمانی که هنری مورد از روش‌های تولید خطی و پیوسته برای تولید خودرو مدل T در دهه ۱۹۱۰ استفاده کرد، شرکت او توانست هزینه‌های تولید محصول را تا ۶۳ درصد کاهش دهد، بر رقبای خود چیره شود، و ارزش سهامی به مراتب بیشتر از رقبای خود به دست آورد؛ اما مورد همچنان یک شرکت خودروسازی بود که در زمینه تولید خودرو فعالیت داشت، نه یک تولیدکننده عمومی خط تولید که در «صنعت تولید خط تولید» فعالیت داشته باشد. از این رو نکته حائز اهمیت این است که کربن نانو تیوب می‌تواند باعث تحول بخش‌های مختلف صنایع مختلف گردد.

نکات مهم برای تجاری‌سازی کربن نانو تیوب

برای درک منطقی تجاری‌سازی فناوری نانو، باید ابتدا از سه باور غلط در مورد فناوری نانو رها شد. باور عمومی غیردقیق ۱: «صنعتی به نام فناوری نانو وجود دارد». بسیاری بر این باورند که یک صنعت یا بخش نوظهور به نام فناوری نانو وجود دارد که از «شرکت‌های فناوری نانو» هم‌فکر با پیش‌ران‌های و

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۹	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



چالش‌های تجاری مشابه تشکیل شده است و همگی «محصولات فناوری نانو» را به فروش می‌رسانند. این مفاهیم هم غیردقیق و هم نامفید می‌باشند، چرا که فناوری نانو در بخش‌های مختلفی گسترده شده است. الکتروسیسته موجب ایجاد کاربردهای بسیار متنوعی از جمله روشنایی، تلفن، و صنعت نیمه‌هادی‌ها شد، اما تمام این کاربردها چنان وسیع می‌باشند که به غیر از استفاده از فناوری‌های بنیادی مشترک، هیچ وجه اشتراک دیگری باهم ندارند. این امر در مورد فناوری نانو نیز صدق می‌کند. شرکت نوپای C Sixty سازنده داروهای محافظت‌کننده اعصاب^۱ با استفاده از خاصیت آنتی‌اکسیدانی فولرین است و شرکت American Bowling Services از فولرین‌ها برای ساخت توپ‌های بولینگ با ساختار سطحی نانو که مسیر را بهتر طی می‌کند، بهره می‌برد. این دو شرکت به هیچ طبقه‌بندی صنعتی یکسانی تعلق ندارند.

باور عمومی غیردقیق ۲: «اگر نانو هست، پس جدید است». آنچه در فناوری نانو جدید می‌باشد، مهندسی هدفمند برای به دست آوردن ویژگی‌های وابسته به اندازه می‌باشد.

باور عمومی غیردقیق ۳: «اگر نانو است، پس قابلیت سودآوری بالایی دارد». کاربردهای فناوری نانو از قبل در محصولات متنوعی وارد شده است. بسیاری از این محصولات کالاهایی هستند که بر مبنای قیمت و دسترسی و با حاشیه سود پایین به فروش می‌رسند. این حاشیه سود پایین به دلیل ویژگی‌های مشتریان و محصولات می‌باشد که تغییر نخواهد کرد. با وجودی که خریداران در ابتدا مقدار کمی هزینه اضافی بابت ویژگی‌های متفاوت محصول فناوری نانو پرداخت می‌کنند، اما این امر زمان زیادی

^۱ Neuroprotectant drugs

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۱۰	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



دوام نخواهد داشت. زمانی که رقبا بتوانند به پیشرفت‌های مشابهی دست پیدا کنند، رقابت موجب خواهد شد که این سود بالایی که پیش‌تازان از آن بهره‌مند شده‌اند، از بین رفته و حاشیه سود به سمت میانگین‌های آن صنعت رانده شود. در دراز مدت، این امر به معنای آن است که حاشیه سود محصولاتی که در آنها از فناوری نانو استفاده شده است، به سمت میانگین سود آن محصول در صنعت مربوطه میل خواهد کرد. شکل زیر باورهای موجود با واقعیت تجاری را بطور خلاصه نشان داده است.

زنجیره ارزش کربن نانویوب رکن تجاری سازی

ساختار زنجیره ارزش برای ثمررسانی کربن نانویوب از مواد خام تا محصول نهایی ضروری است. بخش‌های اصلی زنجیره ارزش شامل نانومواد، حدواسط‌های نانومقیاس، محصولات توانمند شده توسط نانو و نانو ابزارها هستند. نانومواد ساختارهای مهندسی شده هدفمندی از مواد می‌باشند که حداقل یکی از ابعاد آنها زیر ۱۰۰ نانومتر بوده و خصوصیات وابسته به اندازه‌ای از خود نشان می‌دهند.

واقعیت تجاری	باور موجود
چیزی به نام «بازار فناوری نانو» وجود ندارد؛ آنچه موجود است زنجیره ارزش فناوری نانو است.	یک بازار «فناوری نانو» در حال ظهور می‌باشد که متشکل از «شرکت‌های فناوری نانو» است که «محصولات فناوری نانو» را می‌فروشند
تمام فناوری نانو جدید نیست. فناوری نوظهور نانو بر روی زمینه‌ای از فناوری‌های جاافتاده قدیمی در حال توسعه می‌باشند	تمام «محصولات فناوری نانو» جدید می‌باشند.
بسیاری از محصولاتی که از فناوری نانو بهره می‌برند حاشیه سود پایینی خواهند داشت	هر چیز نانویی پتانسیل ایجاد سود بالایی را داراست.

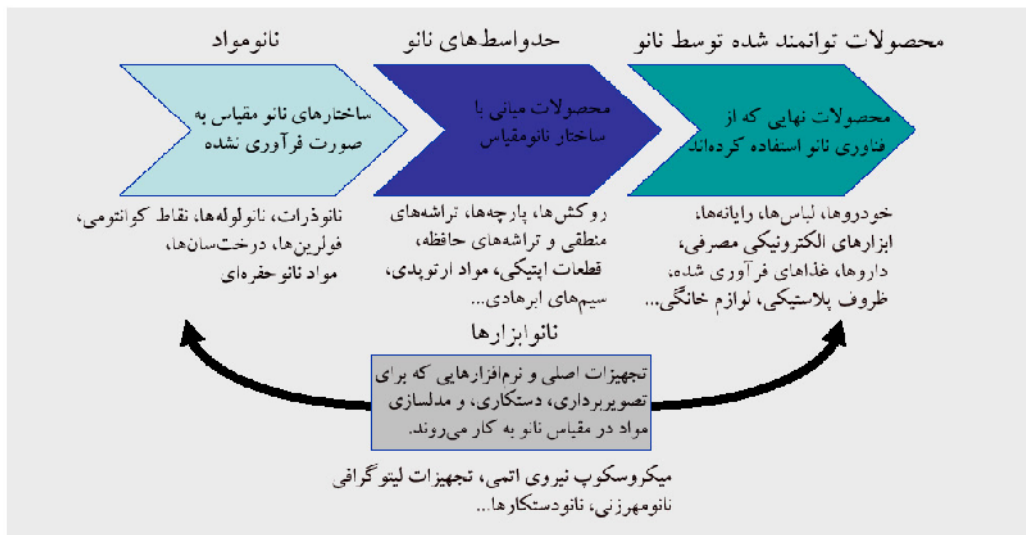
مقایسه باورهای غیردقیق موجود با واقعیت تجاری در مورد فناوری نانو در شکل نشان داده شده است. هر سرمایه‌گذار در حوزه فناوری نانو باید به دقت از باورهای غیردقیق پرهیز نماید.

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	زمستان ۱۳۸۹
مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی	صفحه ۱۱



نانومواد با خصوصیات منحصر به فردی خود به خودی خود مفید نمی‌باشند؛ اما وارد محصولات دیگر شده و باعث ایجاد خصوصیات مطلوب می‌گردند. کربن نانو تیوب از نانو مواد محسوب می‌شود.

حدواسط‌های نانومقیاس محصولات میانی می‌باشند که از نانومواد استفاده نموده تا ساختارهای نانومقیاس تولید کنند. محصولات توانمند شده نانو کالاهایی هستند که در انتهای زنجیره ارزش فناوری نانو از نانومواد یا حدواسط‌های نانومقیاس بهره برده‌اند. سه مرحله قبلی زنجیره ارزش در طول هم قرار می‌گیرند. نانومواد در حدواسط‌های نانو مورد استفاده قرار می‌گیرند و این حدواسط‌ها در ساخت محصولات توانمند شده به کار گرفته می‌شوند. متخصصین در فعالیتهای توسعه‌ای و تولیدی خود، از بخش چهارم زنجیره ارزش یعنی نانو ابزارها استفاده می‌کنند که شامل تجهیزات و نرم‌افزارهای اصلی می‌باشد که در تصویربرداری و مدلسازی مواد در مقیاس نانو مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل زیر توصیف زنجیره ارزش را نشان داده است.



زنجیره ارزش رکن مهم تجاری سازی فناوری نانو است. اگر سرمایه گذاری در یک بخش بدون در نظر گرفتن دیگر بخشهای زنجیره ارزش سرمایه گذاری کند، به احتمال زیاد موفق نخواهد شد. این تفاوت مهم فناوری های پیشرفته با فناوری های سطح پایین میباشد.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۱۲	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



با توجه به نکات مهم ذکر شده روشن است که هر گونه ورود به سرمایه گذاری در حوزه فناوری های پیشرفته به ویژه فناوری نانو تفاوت‌های ظریفی با دیگر حوزه ها دارد. از این رو هر گونه مطالعات امکان‌سنجی و طرح های تجاری در این حوزه میبایست به نکات فوق الذکر اهتمام کافی داشته باشد.

برای مثال این مهم است که سرمایه گذار در کجای زنجیره ارزش تولید کربن نانو تیوب سرمایه گذاری می شود. شرایط و وضعیت سرمایه گذاری در بخش تولید نانو ذرات، مواد واسطه و سرانجام استفاده از آنها در تولید محصول نهایی هر کدام شرایط و ویژگیهای خاص خودش را دارا میباشد. این امکان‌سنجی بیشتر بر بخش تولید کربن نانو تیوب متمرکز شده است.

بدیهی است امکان‌سنجی یک بخش از این زنجیره به تنهایی نمیتواند اطلاعات کافی برای سرمایه گذار فراهم نماید. برای سرمایه گذاری دقیق و کامل، بررسی زنجیره ارزش در همه بخش ها لازم و ضروری است.

۱-۱- نام و کد آیسیک محصول

متداولترین طبقه‌بندی فعالیت‌های اقتصادی تقسیم‌بندی آیسیک است. تقسیم‌بندی آیسیک طبق تعریف شامل طبقه‌بندی و دسته‌بندی استاندارد بین‌المللی فعالیت‌های اقتصادی است از این دسته‌بندی با توجه به نوع صنعت و محصول تولید شده، به هریک کدهایی دو، چهار و هشت رقمی اختصاص داده می‌شود. در جدول کدهای آیسیک تنها کد مرتبط با کربن نانو تیوب، نانو پودرهای غیر فلزی هستند.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۱۳	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



برای کربن نانو تیوب کد مشخصی وجود ندارد. اطلاعات فوق از وبگاه وزارت صنایع و معادن، بخش سامانه ثبت مجوزهای صادره صنعتی، در اسفند ماه ۱۳۸۹ از وبگاه زیر استخراج گردید:

<http://webims.mim.gov.ir/GuestPage/GSearchISIC.aspx>

کد آیسیک مرتبط با کربن نانو تیوب

واحد سنجش	نام کالا	کد آیسیک
تن	نانوپودرهای غیرفلزی	۲۶۹۹۱۴۴۵

۱-۲- شماره تعرفه گمرکی

در داد و ستدهای بین‌المللی جهت کدبندی کالا در امر صادرات و واردات و مبادلات تجاری و همچنین تعیین حقوق گمرکی و غیره از دو نوع طبقه‌بندی استفاده می‌شود که عبارت است از طبقه‌بندی و نامگذاری براساس بروکسل و طبقه‌بندی مرکز استاندارد و تجارت بین‌المللی بر همین اساس در مبادلات بازرگانی خارجی ایران طبقه‌بندی بروکسل جهت طبقه‌بندی کالاها استفاده می‌شود. بررسی مقررات صادرات و واردات کشور سال ۱۳۸۹ نشان می‌دهد تاکنون برای کربن نانو تیوب تعرفه‌ای در نظر گرفته نشده است. مقررات صادرات و واردات کشور سال ۱۳۸۹ در وبگاه زیر در دسترس است:

<http://www.tpo.ir/tlaw/tariff.aspx>

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۱۴	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



۳-۱- شرایط واردات

این محصول جدید بوده و توسط گمرک کشور شناخته نشده لذا شرایطی برای واردات ندارد. فعلا شرایط خاصی برای واردات کربن نانو تیوب وجود ندارد و تعرفه آن نیز مانند سایر مواد معمولا ۴٪ در نظر گرفته میشود. اطلاعات شفافی در گمرک در مورد کربن نانو تیوب وجود ندارد. با توجه به واردات محدود این ماده تاکنون در فرآیند های واردات این کالا مانند ثبت سفارش، ترخیص کالا و غیره تغییر خاصی ایجاد نشده است.

۴-۱- بررسی و ارائه استاندارد (ملی یا بین‌المللی)

با مراجعه به مستندات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به آدرس وبگاه زیر، مشخص شد که استاندارد ملی مشخصی برای کربن نانو تیوب در کشور تدوین نشده است:

<http://www.isiri.org/UserStd/StdSearch.aspx>

در ایران فقط سه استاندارد پایه، فناوری نانو، واژه‌ها، اصطلاحات و تعاریف اصلی و آئین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانو مواد و فناوری نانو، تعیین ویژگی‌های همولیتیک نانو ذرات، روش آزمون وجود دارد که بیشتر بر چگونگی کار با نانو مواد تاکید کرده و ارتباط مستقیم با کربن نانو تیوب ندارد. هنوز استاندارد مشخص بین‌المللی و یا استاندارد ملی در کشورهای دیگر نیز در مورد این محصول ارایه نشده است.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۱۵	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



فهرست استانداردهای منتشر شده ملی کشورها در حوزه فناوری نانو میتوان در وبگاه زیر موجود است:

<http://www.nano.ir/standard/country.pdf>

فهرست استانداردهای بین‌المللی کشورها در حوزه فناوری نانو در وبگاه زیر موجود است:

<http://www.nano.ir/standard/international.pdf>

۵-۱- بررسی و ارائه اطلاعات لازم در زمینه قیمت تولید داخلی و جهانی محصول

این محصول تاکنون توسط پژوهشگاه صنعت نفت به صورت نیمه صنعتی تولید شده است. البته یک مجموعه کوچک بنام فناوری کربن تارآرا در شهر مشهد با مدیریت عامل آقای دکتر مغربی نیز به صورت آزمایشگاهی کربن نانو تیوب را تولید می‌کنند. اما در عمل محصول این دو مجموعه در بازار کمتر وجود دارد و در عین حال کربن نانو تیوب خارجی به وفور یافت میشود. پژوهشگاه صنعت نفت علیرغم مدت نسبتاً طولانی که دارای این فناوری است، با توجه به ساختار دولتی خود هنوز نتوانسته است آنگونه که شاید و باید وارد بازار این محصول شود و دانش فنی خود را نیز نتوانسته است به کسی بفروشد. بعضی از کسانی که به عنوان مشتری محصول یا دانش فنی با پژوهشگاه تعامل کردند، راضی نبودند و از ادامه تعامل صرف نظر کردند. با گذشت زمان قیمت نانو تیوب کربن بسیار افت پیدا کرده است و این نشان دهنده این موضوع است که اگر محصول فناوری در زمان مناسب نتوانست وارد بازار شود، بعد از مدت معینی دیگر نمی‌تواند به قیمت بالای اولیه وارد شود زیرا رقبا وارد بازار شده و قیمت‌ها شکسته خواهد شد.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۱۶	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



در هر صورت قیمت کربن نانو تیوب بسته به درجه خلوص، تک دیواره یا چند دیواره بودن، طول نانو لوله، قطر بیرونی نانو لوله و مانند آن تغییر می‌کند. طول کربن نانو لوله متفاوت است و مثلا دامنه قیمت برای طول بین ۱ تا ۲ میکرومتر، ۲ تا ۵ یا ۵ تا ۱۵ میکرومتر تغییر می‌کند. قطر بیرونی نانو لوله چند دیواره نیز متغیر بوده و شرکتها مشخصات مختلفی از محصولات خود را ارائه میدهند. برای مثال قطر بین ۱۰ تا ۲۰ نانومتر، یا بین ۱۰ تا ۳۰ نانومتر یا بین ۲۰ تا ۴۰ نانومتر یا بین ۴۰ تا ۶۰ نانومتر تغییر میکند. از این رو مقایسه قیمتهای شرکتهای تولیدی مختلف با یکدیگر باید به دقت انجام شده و از مقایسه ساده پرهیز کرد. به عنوان نمونه در بازار خرده فروشی یک بسته به وزن ۱۰ گرم کربن نانو تیوب چند دیواره (MWNT) با طول ۵ تا ۱۵ میکرومتر و سطح خاص نانو ذرات بین ۴۰ تا ۳۰۰ متر مربع بر گرم با قطر بیرونی ۱۰ تا ۲۰ نانومتر و خلوص ۹۵٪ به قیمت ۱,۱۹۰,۰۰۰ ریال در ایران به فروش می‌رسد. به همین ترتیب ۵ گرم نانو لوله کربنی تک دیواره با سطح ویژه ۴۵۰ متر مربع بر گرم با قطر بیرونی کمتر از ۲ نانومتر و طول کمتر از ۲ میکرومتر و خلوص ۹۰٪ به قیمت ۷,۵۹۰,۰۰۰ ریال در ایران به فروش می‌رسد.

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد قیمت کربن نانو تیوب در ایران می‌توان به سایت‌های زیر مراجعه نمود:

- www.nanosav.com
- www.gntshop.com
- www.nanoshop.ir

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۱۷	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



همچنین برای قیمت در خارج از کشور به سایت های متعدد خود شرکتها، سایت علی بابا یا سایت نانو شاپ می توان رجوع کرد از جمله:

• www.nanoshop.com

در مقایسه با قیمت های یک سال و دو سال قبل روند نزولی قیمتها کاملا مشخص است. از این رو هر امکان‌سنجی باید با دقت بر این موضوع برنامه ریزی کند و گرنه حتما دچار چالش در محاسبات امکان‌سنجی خواهد شد.

۶-۱- توضیح موارد مصرف و کاربرد

کربن نانو تیوب در عین استحکام بالا بسیار انعطاف پذیر است. اکثر کاربردها بر اساس ساختار الکترونیکی، استحکام مکانیکی، انعطاف پذیری و ابعاد نانو تیوب پیشنهاد شده است. از این رو کاربردهای نانولوله‌های کربنی در حوزه های مختلفی پیش بینی می شود اما هنوز چندان وارد محصولات مصرفی مردم نشده است. با توجه به ویژگی هایی که نانو کربن تیوب ها واجد آن هستند آینده روشنی در پیش رو می باشد. کاربردهای اصلی کربن نانو تیوب به شرح زیر است:

کامپوزیت‌های پلیمری: افزودن نانولوله‌ها به مواد بدون آنکه باعث سیاه شدن آنها شود (اثر جانبی‌ای که در رشته‌های کربنی وجود داشت) موجب افزایش استحکام و رسانش این مواد می‌گردد. Hyperion Catalysis در ابتدا از این نانولوله‌ها در قطعات پلاستیکی خودروهای شرکت جنرال

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۱۸	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



موتورز استفاده نمود. این کار به منظور رسانا کردن این قطعات و جلوگیری از تجمع بار ساکن انجام شد تا به این ترتیب امکان رنگ‌آمیزی الکترواستاتیکی آنها فراهم شود. توزیع یکنواخت نانولوله‌ها در زمینه کامپوزیت و بهبود چسبندگی نانولوله با زمینه در فرآوری این نانوکامپوزیت‌ها از موضوعات بسیار مهم است. نکته دیگر آنکه خواص غیر همسانگردی نانولوله‌ها باعث می‌شود که در کسر حجمی کمی از نانولوله‌ها رفتار جالبی در این نانوکامپوزیت‌ها پیدا شود.

نمایشگرهای نشر میدانی: با پرتاب الکترون‌ها از یک چشمه نشر میدانی (به جای لوله‌های اشعه کاتدی استاندارد موجود) و برخورد آنها به یک صفحه فسفرسنت، صفحه نمایشگرهایی پر نور، نازک و با قابلیت نمایشی صفحه تخت (که به مراتب کارآمدتر از نمایشگرها، مونیتورها و تلویزیون‌های فعلی سامسونگ، هیتاچی و سونی هستند) فراهم می‌شود. نانولوله‌ها به دلیل داشتن خواص تونل‌زنی پرتابه‌ای، می‌توانند در ولتاژ پائین‌تری شروع به نشر الکترون نموده و به علاوه بدون آنکه آسیبی به آنها برسد، مدت طولانی‌تری کار می‌کنند. در حال حاضر به نظر دانشمندان نانولوله‌های دو جداره (DWNTها) مناسب‌ترین مواد برای استفاده در نمایشگرها می‌باشند.

مدارهای الکترونیکی: اندازه و خواص الکترونیکی قابل تنظیم نانولوله‌ها، آنها را به گزینه‌های بسیار مناسبی برای ایجاد مدارهایی در اندازه نانو تبدیل می‌کند. این مدارها از سرعت بیشتر و مصرف کمتری نسبت به دستگاههای موجود برخوردار می‌باشند. شرکت Nantero (از دسته شرکت‌های نوپا) ماساچوست، در حال تولید نوعی RAM نانولوله‌ای با حافظه پایدار است. در این رم‌ها، آرایه‌ای

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۱۹	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



از اتصالات نانولوله‌ای بکاربرده شده است. همچنین شرکت آی. بی. ام استفاده از این نانولوله‌ها (که فعلاً کاربرد عملی ندارند) را در زمینه آرایه‌بندی مدارهای پیشرفته‌تر در دست بررسی دارد.

ترانزیستورها: نانولوله‌های کربنی در آستانه کاربرد در ترانزیستورهای سریع هستند، اما آن‌ها هنوز هم در اتصالات داخلی استفاده می‌شوند.

حسگرها: نانولوله‌های کربنی دارای حساسیت بالایی هستند به طوری که به مقادیر ناچیزی از هر گاز، گرما یا تشعشع حساسند.

حافظه‌های نانولوله‌ای: حافظه‌هایی که از این نانولوله‌ها ساخته می‌شوند می‌توانند مقادیر بسیار زیادی اطلاعات را در خود ذخیره نمایند.

از کاربردهای دیگر نانولوله‌ها می‌توان به امکان ذخیره هیدروژن در پیل‌های سوختی، افزایش ظرفیت باتری‌ها و پیل‌های سوختی، افزایش راندمان پیل‌های خورشیدی، جلیقه‌های ضدگلوله سبک و مستحکم، کابل‌های ابرسانا یا رسانای سبک، رنگ‌های رسانا، روکش‌های کامپوزیتی ضد رادار، حصار حفاظتی الکترومغناطیسی در تجهیزات الکترونیکی، پلیمرهای رسانا، فیبرهای بسیار مقاوم، پارچه‌های با قابلیت ذخیره انرژی الکتریکی جهت راه اندازی ادوات الکتریکی، ماهیچه‌های مصنوعی با قدرت تولید نیروی ۱۰۰ مرتبه بیشتر از ماهیچه‌های طبیعی، صنایع نساجی، افزایش کارایی سرامیک‌ها، مواد پلاستیکی مستحکم، تشخیص گلوکز، محلولی برای اتصال درونی تراشه‌های بسیار سریع، مدارهای منطقی و پردازنده‌های فوق سریع، کمک به درمان آسیب‌دیدگی مغز، دارورسانی به

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۲۰	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



سلول‌های آسیب دیده، از بین بردن تومورهای سرطانی، تجزیه هیدروژن، ژن‌درمانی، تصویربرداری، SPM، FEM، محافظ EMT، حسگرهای شیمیایی، SET و LED، پیل‌های خورشیدی و نهایتاً LSI اشاره کرد.

کاربرد الکترونیکی بر پایه نانو تیوب تک دیواره ای است در حالی که در مورد سایر کاربردها تفاوتی میان نوع چند دیواره ای و تک دیواره ای وجود ندارد. کاربرد نانو تیوب به عنوان وسایل الکترونیکی کوچک مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. به عنوان مثال نوع تک دیواره ای که بین دو الکتروند فلزی قرار داده شده، مشابه وسایل نیمه رسانای مرسوم است و عملکرد آن در حد وسایل موجود برآورد شده است (عملکرد از لحاظ سویچینگ). نانو تیوبها می توانند به دلیل استحکام و انعطاف پذیری در ساختمان مواد به کار روند و موادی با خواص بهتر را ایجاد کنند.

ساخت کامپوزیت های کربن نانو تیوب از مواد و مصالح ساختمانی موجود، استفاده از رشته ها و ریسمان های آنها بعنوان اجزاء ساخت و سیستم های انتقال حرارت، و بعلت دوام و استحکام فوق العاده، سختی و aspect ratio بسیار بالا تقویت کننده های بسیار عالی هستند. پلیمر، سیمان و شیشه همگی کاندیدهای بالقوه ای برای مواد ماتریکس کربن نانو تیوب هستند. شیشه تقویت شده با کربن نانو تیوب یا نانوفایبرهای دیگر بعلت امکان توانائی نانو فایبرها یا نانو تیوب ها در جهت تقویت استحکام بدون مزاحمت در انتقال نور مورد توجه اند. البته تحقیقات محدودی روی رفتار اپتیکی (نوری) نانوفایبرها از این منظور انجام شده، موفقیت این دیدگاه در آینده مشخص خواهد شد. تولید

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۲۱	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



کربن نانو تیوب های بلندتر که بتوانند به فرم ریسمان درآیند، امکانات بدیهی و واضحی برای کاربردهای مثل پل های معلق (suspension bridges) ایجاد خواهد کرد. استحکام و الاستیسیتهی کربن نانو تیوب امکان طراحی پل های بلندتر از چیزی که تکنولوژی موجود ممکن می‌سازد، را بوجود خواهد آورد.

کربن نانو تیوب ها همچنین بعنوان موادی برای ساخت ساختارهای خیلی بزرگ- space based مثل بالابراهای فضائی مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند.

هدایت حرارتی کربن نانو تیوب های کاربردهای دیگری نیز ارائه می‌دهد. از آنجائیکه دانسیته مناسب از کربن نانو تیوب ها می‌توانند قادر به هدایت سریع حرارت از سطح تماس به حفره های حرارتی (Heat Sinks) باشند، امکان تحقق کامپوزیت مواد اصلاح شده از نظر مقاومت حرارتی مطرح می‌گردد. همچنین بعدها ممکن است توسعه مواد عایق کننده و لوله های حرارتی، بهره مندی از اختلاف هدایت حرارتی در طول و عرض لوله ها را تحقق بخشد. یکی از کاربردها می‌تواند گرم کردن ساختمان ها باشد که جایگزین سیستم های بر مبنای مایع موجود، برای گرما دهی طبقات خواهند شد.

دارو رسانی به وسیله نانو تیوبهای کربنی از حوزه های دیگر کاربرد آنهاست. پژوهشگران به تازگی در یافته اند که شکل خاصی از مولکولهای کربن می‌توانند به خوبی وارد هسته سلولها شوند و از آنها در سیستم دارسازی وواکسیناسیون استفاده کرد. امروزه از نانو تیوبهای کربن تنها جهت حمل پپتیدهای

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۲۲	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



کوچک به هسته های سلولهای فیبروپلاستی استفاده می شود ولی پژوهشگران امیدوارند که بتوانند از آنها در درمان سرطان، ژن درمانی و واکسیناسیون نیز استفاده نمایند.

۷-۱- بررسی کالاهای جایگزینی و تجزیه و تحلیل اثرات آن بر مصرف محصول

کربن نانو تیوب ها به دلیل ویژگی های منحصر به فرد خود تقریباً مشابه ای ندارند و کالایی برای جایگزینی آنها تقریباً وجود ندارد. اما به هر صورت در هر کاربردی چه بسا کالاهای جایگزینی استفاده شود. برای مثال در بعضی از کاربردها کربن فعال جایگزین نانو کربن تیوب است. که البته در خاصیت رسانایی در مقایسه با نانو کربن تیوب در سطح پایین تری هستند. همچنین تخلخل آنها نیز کمتر از نانو کربن تیوب است.

الیاف کولار بسیار محکم بوده که در جلیقه های ضد گلوله استفاده می شوند. البته الیاف کولار در مقایسه با کربن نانو تیوب قیمت بالاتری دارند. همچنین الیاف کربنی نیز در بعضی موارد می توانند جایگزین نانو کربن تیوب استفاده شوند. الیاف کربنی از نظر استحکام در مقایسه با کربن نانو تیوب ضعیف تر هستند. از نظر رسانش نیز به همین صورت است.

جمع بندی این است که علیرغم بودن کالاهای جایگزین در بعضی از کاربردها، دلایل مشخصی وجود دارد که کربن نانو تیوب را به عنوان یک ماده ویژه و منحصر به فرد متمایز کرده و عملاً در عرصه رقابت در بیشتر حوزه ها می توان مطوئن بود که مشتریان آن را بر جایگزین ها برتری خواهند داد.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۲۳	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



۸-۱- اهمیت استراتژیکی کالا در دنیای امروز

این ماده با توجه به اینکه هنوز در عرصه کاربرد وارد نشده است و بیشتر در زمینه تحقیق و توسعه توانمندی خود را نشان داده است، بیشتر کلایی تحقیقاتی بوده و بازار مصرف اصلی آنها در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی می‌باشد. از این رو می‌توان گفت که این ماده جزء محصولات استراتژیک به حساب نمی‌آید.

۹-۱- کشورهای عمده تولید کننده و مصرف کننده محصول

در خصوص تولید این محصول نمی‌توان از کشوری به عنوان تولید کننده و یا مصرف کننده نام برد. زیرا توزیع جغرافیایی شرکتها تولید کننده کربن نانو تیوب در اکثر کشورهای توسعه یافته و حتی بعضی از کشورهای در حال توسعه است. بعضی از کشورهای تولید کننده کربن نانو تیوب شامل آمریکای شمالی، کشورهای اروپایی، تایوان، مالزی، چین، کره جنوبی، ژاپن، هند و ... می‌باشند. این کشورها توان و فناوری تولید کربن نانو تیوب را در اختیار دارند. اطلاعات بعضی از شرکت‌های کلیدی تولید کننده کربن نانو تیوب در ادامه ذکر شده است. تا سال ۲۰۰۰ تنها تعداد اندکی ثبت اختراع در زمینه کربن نانو تیوب وجود داشت، اما سپس تعداد پتنت‌ها به‌طور چشمگیری افزایش یافت و تاکنون بیش از صدها اختراع به ثبت رسیده و صدها طرح دیگر هم منتظر دریافت گواهی ثبت اختراع می‌باشند. به گونه‌ای که حتی جمع‌آوری داده‌های پتنتها نیز به آسانی ممکن نبود.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۲۴	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



شرکتهای فعال بین المللی کلیدی و قدیمی تولید کننده کربن نانو تیوب

نام	نوع	کشور	توضیحات
Carbon Nanotechnologies Inc. (CNI)	خصوصی- نوپا	آمریکا	دارنده مجوز استفاده از فرایند مونوکسید کربن از دانشگاه رایس، با تمرکز بر تهیه نانولوله های کربنی تک جداره، دو جداره و سه جداره
Hyperion Catalysis International	خصوصی- جاافتاده	آمریکا	تهیه کننده اصلی MWNT، کار آن فروش MWNT های مخلوط شده با پلیمر برای مصارف کامپوزیتی می باشد
Shenzhen Nanotech Port .Co	خصوصی- نوپا	چین	بزرگترین تولید کننده نانولوله های کربنی در آسیا
Nanocyl	خصوصی- نوپا	بلژیک	از تولید کننده های صنعتی MWNT ها، SWNT ها و DWNT ها در اروپا
Carbolex	خصوصی- نوپا	آمریکا	فروشنده مقادیر گرمی SWNT ها از طریق شرکت Sigma Aldrich

علیرغم رقابت شدیدی که در به دست آوردن حق مالکیت فکری وجود خواهد داشت، (با توجه به آنکه بسیاری از گواهی های ثبت اختراع رو به انقضاء است) بسیاری از شرکتهایی که در نظر دارند به تولید مواد ارتقاء یافته با MWNT ها بپردازند، امکان ورود به این عرصه را خواهند یافت. افراد کلیدی در دنیا در این زمینه در دنیا در جدول زیر معرفی شده اند:

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه ۲۵	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



نام	سمت	توضیحات
باب گوور	مدیر اجرایی CNI	شرکت CNI از پیشگامان تولید و توسعه کاربرد نانولوله های کربنی می باشد.
میخائیل لاین	مدیر توسعه تجاری شرکت Hyperion Catalysis	توسعه کاربردهای پیشگامانه MWNT برای Hyperion
استفان روبرت	مدیر اجرایی Raymor Industries	بررسی روش های جدید سنتز به منظور دستیابی به نانولوله های کربنی دارای ساختار و معماری منظم روی سطوح که عمدتاً از طریق رسوب دهی بخار شیمیایی انجام می شود.
هونجی دایی	عضو هیئت علمی دانشگاه استنفورد	سرپرست یک شرکت مواد کانادایی که به دنبال ورود به عرصه تولید نانولوله های کربنی می باشد.
فاندون آوریس	مدیر گروه علوم و فناوری نانو مقیاس آی. بی. ام در مرکز تحقیقاتی تی. جی واتسون	سرپرست تیم تحقیقاتی که حوزه تمرکز آن توسعه ترانزیستورهای نانولوله ای است.
ونگ بانگ چوئی	مدیر مرکز نانو مواد و ابزارها و استاد مهندسی مکانیک و مواد دانشگاه بین المللی فلوریدا	وی موفق به ابداع و توسعه اولین نمایشگر تمام رنگی نشر میدانی در مؤسسه فناوری های پیشرفته سامسونگ کره جنوبی گردیده است.

اختراعات ثبت شده در این زمینه نیز نقش کلیدی در توسعه فناوری در کشورهای داشته است. در جدول زیر تعدادی از اختراعات اولیه در این زمینه ارائه شده است. خوشبختانه در ایران وضعیت توسعه فناوری نانو متفاوت بوده و افراد گوناگونی در این زمینه فعالیت کرده اند. بیشتر این افراد فعالیت های دانشگاهی و آکادمیک انجام دادند. به هر حال پتانسیل بالقوه ای در کشور در این زمینه وجود دارد که در صورت نیاز قابلیت به فعلیت خواهد رسید. دو مجموعه وارد حوزه دانش فنی و فناوری کربن نانو تیوب ها شدند. این دو مجموعه عبارتند از پژوهشگاه صنعت نفت که بخش دولتی بوده و مدیریت بخش پایلوت تولید کربن نانو تیوب با آقای دکتر رشیدی است و شرکت فناوری کربن تارا با

مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی	زمستان ۱۳۸۹
مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی	صفحه ۲۶



مدیریت دکتر مغربی از اساتید دانشگاه فردوسی مشهد. این دو مجموعه هم در بخش اول زنجیره ارزش مشغول فعالیت هستند. هیچ شرکتی در ایران وجود ندارد که در بخش دوم یا سوم زنجیره ارزش کربن نانو تیوب ها فعالیت کند.

تعدادی از اولین اختراعات ثبت شده در مورد کربن نانو تیوب

عنوان	شماره	تاریخ	ثبت کننده	انقضاء	توضیحات
فیبریل های کربنی، روش تولید آن و ترکیبات حاوی آن	۴۶۶۳۲۳۰	۵ می ۱۹۸۵	Hyperion Catalysis International, Inc.	۶ دسامبر ۲۰۰۴	اولین اختراع ثبت شده در زمینه استفاده از MWNT ها در مواد ساختاری
فیبریل های کربنی و روشهای تولید آن	۵۴۲۴۰۵۴	۱۳ ژوئن ۱۹۹۵	International Business Machines Corporation	۲۱ می ۲۰۱۳	یکی از اولین اختراعات ثبت شده در زمینه سنتز نانولوله ها به روش قوس الکتریکی
فرایند تولید نانولوله های تک جداره با استفاده از کاتالیزورهای فلزی بدون پایه	۶۲۲۱۳۳۰	۲۴ آوریل ۲۰۰۱	Hyperion Catalysis International Inc.	۴ آگوست ۲۰۱۷	سنتز نانولوله ها به روش رسوب دهی شیمیایی بخار
ایجاد ساختارهای نانولوله ای کربنی با استفاده از جزایر کاتالیستی	۶۳۴۶۱۸۹	۱۲ فوریه ۲۰۰۲	هیئت امناء دانشگاه استنفورد	۱۴ آگوست ۲۰۱۸	کاربرد این اختراع در رشد دادن نانولوله ها روی سطح نیمه رساناهای مورد استفاده در ابزارهای الکترونیکی می باشد.
هسته سازی فاز گازی و رشد نانولوله های کربنی تک جداره از گاز CO فشار بالا	۶۷۶۱۸۷۰	۱۳ جولای ۲۰۰۴	دانشگاه ویلیام مارش رایس	اول جولای ۲۰۲۲	اختراع ثبت شده ریچارد اسمالی برای سنتز نانولوله های کربنی از گاز فشار بالای CO که امتیاز آن به شرکت CNI اعطا شده است



این نیز نشان می‌دهد بازار داخلی کربن نانو تیوب فقط بازار دانشگاهی است. از آنجا که هنوز کربن نانو تیوب یک ماده کاربردی محسوب نمی‌شود، لذا نداشتن شرکت در بخش دوم و سوم زنجیره ارزش چالش محسوب نمی‌شود.

۱-۱۰- شرایط صادرات

چون تولید داخل نبوده است لذا شرایط صادرات بی‌معناست. البته حتی اگر توان تولید داخل هم وجود داشت، صادرات این محصول خاص، آن هم در بازار کشورهای مزیت دار مانند همسایه‌ها تقریباً بی‌معناست. زیرا کشورهای مزیت دار برای ایران حداکثر کالای نهایی ایرانی را خریداری کنند و اصلاً آنها پیشرفت فناوری ندارند که نیازی به کربن نانو تیوب داشته باشند. حتی اگر نیاز مختصر دانشگاهی هم پیدا کنند، شرکتهای ریز و درشت غربی و آسیای شرقی آن را قبضه کرده اند و نمی‌گذارند بازاری در اختیار شرکت ایرانی قرار گیرد!

۲- وضعیت عرضه و تقاضا

همانطور که اشاره شد تقاضا کشور فقط تقاضای آکادمیک و تحقیقاتی است. این تقاضا چند ویژگی دارد. اولاً در مقادیر بسیار خرد خرد و کم کم خریداری می‌شود. ثانیاً در کل حجم بازار برای شرکت‌های بزرگ، چندان بزرگ نیست. مگر چند استاد و دانشجو در این حوزه فعالیت می‌کنند؟ ثالثاً گرید کربن نانو تیوب باید گرید بالایی باشد و درجه خلوص حداکثری داشته باشد زیرا برای کارهای

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۲۸	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



دانشگاهی نیاز به درجه خلوص بالاست و با کار صنعتی متفاوت است. این عوامل همه با هم نشان می‌دهد بازار کوچک و سختی در این زمینه در کشور وجود دارد و رقابت بین تولید کنندگان نانو کربن تیوب با گرید بالا نیز باید در حدی باشد که خریداران پر وسواس دانشگاهی را جلب نظر نماید. از طرف دیگر در این بازار کوچک تعداد زیادی از شرکتهای ریز و درشت خارجی محصولات متنوع خود را ارایه کرده اند. در شرایط فعلی تقاضای محدود جامعه علمی با عرضه متنوع شرکتهای خارجی جواب داده می‌شود.

۱-۲- بررسی ظرفیت بهره‌برداری و روند تولید طی پنج سال گذشته تا کنون و محل واحدها و تعداد آنها و سطح تکنولوژی واحدهای موجود، ظرفیت اسمی، ظرفیت عملی، علل عدم بهره‌برداری کامل از ظرفیت‌ها، نام کشورها و شرکتهای سازنده ماشین‌آلات مورد استفاده در تولید محصول

همانطور که اشاره شد تولید داخلی به معنای صنعتی تاکنون در ایران انجام نشده است. طی پنج سال گذشته تاکنون فقط دو مجموعه وارد حوزه دانش فنی و تولید کربن نانو تیوب ها شدند. این دو مجموعه عبارتند از:

- پژوهشگاه صنعت نفت که بخش دولتی بوده و مدیریت بخش پایلوت تولید کربن نانو تیوب با آقای دکتر رشیدی است.
- شرکت فناوری کربن تارآرا با مدیریت دکتر مغربی از اساتید دانشگاه فردوسی مشهد.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۲۹	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



محصول پژوهشگاه صنعت نفت پودری بوده و با توجه به دولتی بودن آن بروکرواسی تهیه کردن ماده وجود دارد. البته بعضی از خریداران از کیفیت آن نیز گله داشته‌اند. طبق اعلام شرکت فناوری کربن تار آرا در جشنواره شیخ بهایی آنها توان تولید پودر و آرایه کربن نانو تیوب را دارا می‌باشند و قیمت آنها بهتر و کیفیت آنها بالاتر از محصول پژوهشگاه و حتی بعضی شرکت‌های کره ای و یا چینی است. آنها بر این باورند که محصول پودر و آرایه کربن نانو تیوب آنها با کیفیت محصول شرکت‌های آلمانی رقابت می‌کند. ستاد ویژه توسعه فناوری نانو به عنوان متولی توسعه نانو در کشور هنوز اظهار نظری در مورد کیفیت و ادعاهای دو مجموعه فوق نداشته است. تاکنون بیشتر ستاد متمرکز بر تایید نانویی بودن یا نبودن کره و هنوز در مورد کیفیت اظهار نظر نمی‌کند.

پایلوت پژوهشگاه با فناوری نیروهای بومی آن تهیه شده و هم اکنون در حال ثبت پتنت آن نیز می‌باشند. به هر حال بخشی از پایلوت خارجی است اما انحصار در کشور خاصی ندارد و در صورت نیاز قابل تهیه است. پایلوت شرکت فناوری کربن تار آرا نیز با فناوری بومی خود نیروهای شرکت تهیه شده و جز یک یا دو دستگاه جنبی بقیه آنها به راحتی قابل تامین است.

اصلی‌ترین چالش پژوهشگاه به نظر هزینه بالای تمام شده و ساختار دولتی آن است. چالش شرکت فناوری کربن تار آرا بیشتر در عدم دسترسی مناسب به مشتریان و قانع کردن آنها برای خرید محصولات آنها می‌باشد.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۳۰	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



۲-۲- بررسی وضعیت طرح‌های جدید و طرح‌های توسعه در دست اجرا (از نظر تعداد، ظرفیت، محل اجراء، میزان پیشرفت فیزیکی و سطح تکنولوژی آنها و سرمایه‌گذاری‌های انجام شده اعم از ارزی و ریالی و مابقی مورد نیاز)

مراجعه به مرکز اطلاعات و آمار وزارت صنایع، آمار و اطلاعاتی مربوط به طرح‌های که در سال‌های گذشته در این حوزه بوده است وجود ندارد. اطلاعات منتشره از ستاد ویژه توسعه فناوری نانو نیز نشان می‌دهد اقبالی در زمینه سرمایه‌گذاری در این حوزه وجود ندارد.

۲-۳- بررسی روند واردات محصول در طی ۵ سال گذشته (چقدر از کجا)

در نبود اطلاعات دقیق، یک مطالعه میدانی انجام و با پرسش از فعالان فروش نانو مواد در کشور، اطلاعات کلی جمع‌آوری گردید. بیشترین واردات نانو تیوب با کیفیت متوسط و پایین از کشورهای کره، چین، تایوان صورت می‌گیرد. واردات نانو تیوب با کیفیت بالا از کشور آلمان و آمریکا انجام می‌شود. البته کیفیت محصول شرکتها آمریکایی بطور متوسط به مراتب بهتر از شرکتهای آلمانی است. همانطور که در قسمت‌های قبلی اشاره شده است متأسفانه به علت عدم شفافیت کسب و کارها در ایران و موضوعات پیچیده مرتبط با فناوری‌های جدید، در عمل اطلاعات دقیقی از میزان واردات این محصول در دسترس نمی‌باشد.

۲-۴- بررسی روند مصرف در طی ۵ سال گذشته

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۳۱	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



اطلاعات دقیقی از میزان مصرف این محصول در چند سال اخیر در دسترس نمی‌باشد. با توجه به رشد زیاد پایان نامه‌های مرتبط با نانو کربن تیوب در دانشگاه‌های کشور، به نظر می‌رسد بازار نانو کربن تیوب مورد نظر اساتید و دانشجویان مناسب باشد. اما به هر حال این بازار محدود است و هر مشتریان حداکثر چند گرم نانو کربن تیوب با درجه خلوص بالا می‌خواهد. مصرف سالیانه کشور در حد چند کیلو گرم تخمین زده می‌شود.

۵-۲- بررسی روند صادرات محصول طی ۵ سال گذشته و امکان توسعه آن (چقدر به کجا صادر شده است)

همانطور که قبلاً اشاره شده است به علت عدم تولید صادرات این محصول اتفاق نیفتاده است.

۶-۲- بررسی نیاز به محصول با اولویت صادرات تا پایان برنامه چهارم

با بررسی اطلاعات ارائه شده توسط فعالان در بازار نانومواد کشور به نظر می‌رسد بازار مصرف دانشگاهی ایران که تنها مصرف کشور است، برای کربن نانو تیوب حداکثر به ۱۰ کیلوگرم در سال خواهد رسید. این تخمین مبتنی بر این اصل انجام شده است که روند رشد بازار آینده شبیه روند رشد دو سال قبلی است.

اگر توان تولید داخل هم به شکل صنعتی ایجاد شود، صادرات این محصول خاص، آن هم در بازار کشورهای مزیت دار و در دسترس ایران مانند کشورهای همسایه یا کشورهای مسلمان بسیار محدود و

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۳۲	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



کم خواهد بود. زیرا کشورهای مزیت دار برای ایران معمولاً در حوزه فناوری پیشرفته نبوده و از این رو نیازی به کربن نانو تیوب ندارند. حتی اگر نیاز مختصر دانشگاهی هم پیدا کنند، شرکتهای ریز و درشت غربی و آسیای شرقی آن را قبضه کرده اند و احتمالاً بازاری در اختیار شرکت ایرانی قرار نخواهد گرفت. از این رو به نظر می رسد برای بررسی نیاز به محصول منطقی است که فقط بازار ایران در نظر گرفته شود.

۳- بررسی اجمالی تکنولوژی و روش های تولید و عرضه محصول در کشور و مقایسه آن با دیگر کشورها

در میان انواع روشهای تولید نانو تیوب کربنی تک جداره، سه روش از اهمیت و ارزش بالاتری برخوردارند. این روشها عبارتند از:

- قوس الکتریکی (Arc Discharge)
- رسوب گذاری بخار شیمیایی با حرارت (Chemical Vapor Deposition or CVD)
- تبخیر یا سایش لیزری (Laser Vaporization/ablation)
- رسوب دهی شیمیایی بخار به کمک پلاسما (PECVD)
- روش مونو کسید کربن فشار بالا (HiPCO)
- الکترولیز

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۳۳	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



در ادامه چند روش به اختصار توضیح داده شده اند.

روش قوس الکتریکی

روش قوس الکتریکی همان روشی است که توسط سومیو ایجمیا برای اولین بار به کار برده شد، با این وجود مقدار محصول به وجود آمده در این روش در مقایسه با رسوب گذاری بخار شیمیایی بسیار پایین است. به همین دلیل پیش بینی میشود که در آینده برای تولید انبوه نانو لوله ها در مقیاس صنعتی روش رسوب گذاری بخار شیمیایی به کار رود. در روش قوس الکتریکی از دو الکترود گرافیت استفاده میشود و آنها را در فاصله کمی از یکدیگر قرار می دهند. به خاطر اینکه خلوص بدست آمده در روش ایجمیا بسیار پایین بود، Journet و همکارانش در سال ۱۹۹۷ به دستکاری متد بکار رفته توسط ایجمیا پرداختند و با بهینه کردن پارامترهای تولید توانستند نانو لوله های تک دیواره با خلوص و راندمان بالا بدست آورند. آنها از آند گرافیتی با قطر ۱۶ و طول ۴۰ میلی متر و همچنین الکترود دیگری با قطر ۱۶ و طول ۱۰۰ میلی متر به عنوان کاتد استفاده کردند و نیز برای بدست آوردن نانو لوله تک جداره میان آند کاتالیست Ni, Y پرگردید. عمود بودن یا در امتداد هم قرار داشتن کاتد و آند تاثیر چندانی در سنتز ندارد. برای اجرای قوس الکتریکی باید محیط اطراف دستگاه را ابتدا خلا کرده و سپس در فشاری پایین (معمولا بین ۲۶۰ تا ۳۶۰ Torr) از هلیوم و یا آرگون که گازهای بی اثر هستند، پر شود. یکی از عوامل مهم در سنتز نانو لوله ها به روش قوس الکتریکی پایداری قوس الکتریکی اعمال شده و نیز مقدار شدت جریان و ولتاژ است که می تواند در مقدار محصول به دست آمده موثر باشد. در صورتی

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۳۴	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



که محصول مورد نظر نانو تیوب های چند دیواره باشد، دیگر اجباری در استفاده از کاتالیزورها نیست. با اینکه محصول به دست آمده توسط روس قوس الکتریکی به خاطر محدود بودن وسایل آزمایش بسیار کم است، این روش توسط بسیاری از پژوهشگران اجرا می شود زیرا مقدار محصول برای یک کار تحقیقی روی نانو لوله اهمیت خاصی ندارد بلکه آنچه مهم است خلوص محصول و کامل بودن ساختار آن است که روش قوس الکتریکی تا حد زیادی این مشکل را بر طرف می کند. مشکل دیگر در روش قوس الکتریکی تکنیک خلا است که در بسیاری از آزمایشگاه های سطح پایین امکان آن وجود ندارد. همچنین استفاده از هلیوم و آرگون که هر دو گازهای گرانی هستند، نیز پرهزینه است. در بعضی روشها از گاز هیدروژن استفاده شده است که در اینصورت امکان انفجار و خطرات جانبی هیدروژن است که باید به دقت مورد ملاحظه قرار گیرد.

پایداری قوس الکتریکی عامل مهمی در سنتز به شمار می آید با این وجود استفاده از یک منبع تغذیه با جریا مستقیم می تواند تاثیر خوبی در سنتز داشته باشد. آزمایشات نشان داده هر چند اندازه ی شدت جریان نسبت به اختلاف پتانسیل بیشتر باشد، شرایط بهتر است ولی رسیدن به چنین جریان هائی بسیار مشکل است. روش های جدیدی برای بهینه سازی روش قوس الکتریکی انجام شده است. برای مثال می توان به روش Magnetic Field یا روش Under de-ionized Water اشاره کرد.

روش Magnetic Field: یکی از موضوعات مهم برای پژوهشگرانی که می خواهند از نانو لوله ها استفاده کنند، خلوص محصول است. همچنین مقدار بیشتر نانو لوله در سطح نیز پارامتر مهمی برای

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۳۵	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



آنهاست تا بتوانند آزمایش های کیفی خود را با دقت بالاتری انجام دهند. در روش قوس الکتریکی هنگام ایجاد قوس در اطراف کاتد و آند به دلیل اختلاف پتانسیل و جریان، دما تا حد قابل توجهی بالا می رود، این مقدار به اندازه ای است که گرافیت (در حالت کلی کربن) روی آند بخار شده و سپس روی کاتد می نشیند. از آنجا که در اطراف کاتد و آند گاز قرار دارد در نتیجه این افزایش دما بر گاز نیز اثر گذاشته و دمای آنرا افزایش می دهد. در نتیجه در اطراف محیطی به شکل حالت چهارم ماده یعنی پلاسما به وجود می آید. دلیل اینکه پلاسما حالت جدیدی از ماده نامیده می شود، این است که از ترکیب این های مثبت و منفی اتم های خنثی بوجود آمده است. با افزایش دما تعداد اتم های خنثی کاهش یافته و میزان بارهای آزاد افزایش می یابد. نکته مهم در پلاسما اثرات میدان مغناطیسی بر آنها است. به وسیله میدان مغناطیسی می توان پلاسما را در یک منطقه محصور کرد. این جلوگیری از برخورد پلاسما با دیواره طرف که در راکتور گداخت گرمائی از آن استفاده میشود می تواند در سنتز نانو لوله ها بسیار موثر واقع شود. اگر اطراف الکتروود های گرافیتی با یک میدان مغناطیسی حاصل از چها آهن ربا احاطه شود، وجود میدان سبب می شود پلاسما ی به وجود آمده به دیوارها برخورد نکند و فقط در محدوده ی گرافیتها دما افزایش یابد که این امر باعث کمک به تبخیر بهتر و سریعتر آند می شود و در کل سنتز بهتری انجام می شود.

روش Under de-ionized Water: برخی از محققان در جهت تلاش برای حذف تکنیک خلا و هم چنین گازهای گران قیمت هلیوم و آرگون به روش های جدیدی دست یافته اند، از این موارد می توان به قرار دادن الکتروودها در نیتروژن مایع اشاره کرد، که خود پر خطر است. آب چون یکی از

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح های صنعتی
صفحه ۳۶	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



موادی است که به فور در طبیعت یافت می‌شود، می‌تواند به راحتی مورد استفاده قرار گیرد. البته آبی که در ساخت نانو لوله‌ها استفاده می‌شود، از نوع de-ionized یا یون زدوده است که از عبور جریان به مقدار زیادی جلوگیری می‌کند. این آب که معمولا در صنعت میکرو الکترونیک کاربرد زیادی دارد را می‌توان به راحتی با استفاده از دستگاه‌های (رزین) در آزمایشگاه‌های شیمی بدست آورد. سنتز در آب می‌تواند هزینه‌ی آزمایش را تا حد قابل توجهی کاهش دهد، ولی مقدار و درجه خلوص نانو تیوب‌های بوجود آمده در این آزمایش پایین است خصوصا اینکه مقداری از نانو لوله‌ها ممکن است در آب به صورت مخلوط وارد شود. البته می‌توان با یک روکش گرافیتی از آن جلوگیری کرد. شکل الکتروودها و حالت قرار گرفتن آنها در سنتز قوس الکتریکی بسیار انعطاف پذیر است. تا کنون با آزمایش‌هایی که به وسیله این روش صورت گرفته حتی در زمانهایی که از کاتالیزگرها استفاده شده است، محصول از نوع چند جداره بوده است. این خاصیت آب در تشکیل نانو لوله‌های چند جداره است.

روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار

در این روش یک زیرلایه که کاتالیزور مناسب روی سطح آن قرار داده شده را داخل یک کوره گذاشته و گاز حاوی کربن (از قبیل متان) را به آرامی به آن اضافه می‌کنند. با تجزیه گاز، اتم‌های کربن آزاد شده در مجاورت کاتالیست به شکل نانولوله در می‌آیند. بازدهی این روش می‌تواند بین ده تا صد درصد باشد. این روش یکی از آسان‌ترین روش‌های تولید صنعتی و انبوه نانولوله‌ها است و طی

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۳۷	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



آن می‌توان بلندترین نانولوله‌ها را به دست آورد؛ اما عیبی که این روش دارد آن است که نانولوله‌های حاصل از آن عمدتاً از نوع چند دیواره بوده و نواقص زیادی هم دارند. البته امروزه این روش نیز پیشرفت‌های زیادی و از ابعاد مختلف بهینه شده است.

روش مونوکسید کربن فشار بالا (HiPCO)

در این روش گاز CO را در فشار بالا و با یک کاتالیزور فلزی پیش‌ساز مخلوط می‌کنند. در مرحله بعد این پیش‌ساز کاتالیزوری تجزیه شده و یک کاتالیزور فعال را تشکیل می‌دهد که نانولوله‌ها بر اساس آن رشد کرده و شکل می‌گیرند. در این روش کربن نانوتیوب تک‌جداره با قطر متوسط ۱/۱ نانومتر تولید شده و بازدهی آن هم در حدود ۷۰ درصد است.

روش سایش لیزری

در این روش با تاباندن پالس‌های لیزری به میله‌های گرافیتی و تخریب تدریجی آن، یک گاز کربنی داغ تشکیل می‌شود که پس از سرد شدن به صورت نانولوله‌های کربنی در می‌آید. بازدهی این روش تا هفتاد درصد می‌رسد. در این روش عمدتاً نانولوله‌هایی از نوع چند دیواره تولید شده و امکان کنترل قطر آنها نیز وجود دارد، اما مشکل این روش هزینه نسبتاً بالای آن است.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۳۸	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



در ایران شرکت فناوری کربن تارآرا مشهد از روش CCVD و پژوهشگاه از روش چند مرحله ای با مصرف بالای مواد نانو کربن تیوب را سنتز می کند. شرکت فناوری کربن تارآرا مشهد بر این ادعاست که روش آن شرکت بسیار مقرون به صرفه بوده و مزیت‌های مختلف تکنولوژیک نیز به همراه دارد.

۴- تعیین نقاط قوت و ضعف تکنولوژی‌های مرسوم (به شکل اجمالی) در

فرآیند تولید محصول

در روش های تولید ذکر شد، نقاط قوت و ضعف نیز به صورت مختصر اشاره شد. البته چالش ها و نقاط ضعف کلی در تولید کربن نانو تیوب وجود دارد که به بعضی از آنها به شرح زیر است:

خواص کنترل شده

سنتز نانولوله‌های کربنی به مانند جعبه سیاهی است که کنترل خروجی آن دشوار است. به سختی می توان کاری کرد که نانولوله‌های کربنی تولید شده به دلخواه از نوع تک دیواره یا چند دیواره باشند و بعلاوه امکان کنترل کوتاهی، بلندی، صافی و خمیدگی آنها نیز وجود ندارد. روش سنتز لیزری هم که کنترل شده‌ترین محصول را ایجاد می کند، هنوز به تولید انبوه نرسیده و تجاری کردن آن دشوار است.

هزینه

اگرچه به تازگی قیمت نانو تیوب های کربنی افت کرده است اما هزینه سنتز همچنان بالاست. بخشی از هزینه بالای تولید نانولوله‌های کربنی به دشوار بودن کنترل سنتز آنها مربوط می شود، چرا که قیمت

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۳۹	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



نانولوله‌های کربنی خالص دارای خواص معین، آنقدر بالا است که مانع از کاربرد گسترده آنها می‌شود. طبق برآورد CNI، قیمت هر گرم از SMWTهایی که در مصارف تحقیقاتی به کار می‌روند بسته به درجه خلوص آنها، بین ۳۷۵ تا ۲۰۰۰ دلار می‌باشد. البته قیمت DWNTهای تصفیه شده بسیار کمتر از این مقدار بوده و هر گرم آن ۵۰۰ دلار می‌باشد و خریدارانی که به طور عمده این محصول را تهیه می‌کنند می‌توانند حتی با قیمت‌های کمتر از این هم به ماده مورد نظر خود دست یابند.

پراکندگی

به دلیل نیروهای واندروالس الکتروستاتیکی موجود در نانولوله‌های کربنی، این مواد به هم می‌چسبند و پخش کردن مؤثر آنها در پلیمرهای مورد استفاده در مواد کامپوزیتی دشوار است.

۵- بررسی و تعیین حداقل ظرفیت اقتصادی شامل برآورد حجم سرمایه‌گذاری ثابت به تفکیک ریالی و ارزی (با استفاده از اطلاعات واحدهای موجود، در دست اجراء، UNIDO و اینترنت و بانک‌های اطلاعاتی جهانی، شرکت‌های فروشنده تکنولوژی و تجهیزات و ...)

این بخش بررسی‌های پارامترهای مهم اقتصادی احداث یک واحد صنعتی تولید کربن نانو تیوب است. همانطور که اشاره شد این محصول در ابتدای زنجیره ارزش قرار دارد. برای تولید نیمه صنعتی کربن نانو تیوب با روش CCVD محاسبات انجام شده است. میزان تولید حدوداً سالانه ۵ کیلوگرم در نظر

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۴۰	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



گرفته می‌شود. البته در صورت نیاز به توسعه و افزایش تولید با هزینه‌های معقولی به سرعت می‌توان به آن دست یافت. علت انتخاب این روش وجود یک پتانسیل بالقوه در کشور که سابقه طولانی در این حوزه داشته و در جشنواره‌ها از جمله جشنواره شیخ بهایی نیز به صورت مناسب درخشیده، می‌باشد. بدیهی است اعداد ارایه شده کلی با تخمین است و برای دقت بیشتر نیاز به بررسی عمیق‌تر است. این شرکت همان مجموعه فناوری کربن تارآرا مشهد با مدیریت آقای دکتر مغربی است.

تخمین هزینه‌های ایجاد پایلوت کربن نانو تیوب با سالی ۵ کیلوگرم تولید

موضوع	هزینه (میلیون ریال)
هزینه پرسنلی نیروی انسانی متخصص	۵۰۰
ماشین آلات و تجهیزات	۵۰۰
مواد شیمیایی و وسایل مصرفی	۲۰۰
آزمایشها، تستها و خدمات تخصصی	۲۰۰
سایر هزینه‌ها	۲۰۰
جمع کل	۱۵۰۰

۶- میزان مواد اولیه عمده مورد نیاز سالانه و محل تأمین آن از خارج یا

داخل کشور قیمت ارزی و ریالی آن و بررسی تحولات اساسی در روند

تأمین اقلام عمده مورد نیاز در گذشته و آینده

مواد اولیه شامل مواد آلی، مواد آلی فلزی، اسیدهای معدنی و مانند آن در دسترس بوده و محدودیت چندانی برای تهیه آنها وجود ندارد. محل تأمین بخش زیادی از مواد اولیه از داخل کشور و بخش

مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی	زمستان ۱۳۸۹
مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی	صفحه ۴۱



محدودی از آن از خارج است. قیمت‌ها بسیار متغیر است و بسته به شرایط و اسپک محصول مورد استفاده تغییر خواهد داشت. تحولات اساسی در روند تأمین اقلام عمده مورد نیاز در گذشته و آینده پیش‌بینی نمی‌شود. مطمئناً قیمت‌ها کاهش خواهد بود زیرا با گذشت زمان و گسترش فناوری نانو قیمت‌ها به شدت افت کرده و پیش‌بینی می‌شود روند افت قیمت‌ها همچنان ادامه داشته باشد.

۷- پیشنهاد منطقه مناسب برای اجرای طرح

شرکت‌های فناور معمولاً در مناطقی که به همین منظور تحت عنوان پارک‌های علم و فناوری یا مراکز رشد تعبیه شده است، مستقر میشوند. در مکان‌یابی حوزه فناوری‌های جدید نکته مهم در دسترس بودن نیروی انسانی متخصص و سپس عواملی دیگر مانند محل تأمین مواد اولیه، بازارهای فروش و... است. زیرا نیروی‌های متخصص دانشگاهی معمولاً در اطراف مراکز دانشگاهی هستند. محصولات فناوری پیشرفته معمولاً در صنایع پیشرفته و بازارهای بالغتر مشتریان بیشتری دارند لذا تهران و مراکز بزرگ شهری مناسب می‌باشند. برای تأمین نیازهای زیربنایی مانند شبکه برق، راه و آبرسانی و فاضلاب و غیره، در سطح نیاز این طرح هیچ‌یک از استان‌های کشور دارای محدودیت خاصی نمی‌باشند.

۸- وضعیت تأمین نیروی انسانی و تعداد اشتغال

نیروی انسانی دارای تخصص فناوری نانو در کشور توسط سیاست‌های توسعه نیروی انسانی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو ایجاد شده و مشکلی در مورد تخصیص نیروی انسانی وجود ندارد. همچنین ستاد

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۴۲	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



نانو حمایت‌های ویژه ای از اشتغال نیروی های متخصص نانو به عمل می‌آورد. برای مثال ۵۰٪ حقوق نیروی های متخصص نانو توسط ستاد پرداخت میشود. حجم پایان نامه هایی که ستاد در این حوزه حمایت کرده نیز نشان از تربیت نیروی متخصص در این حوزه است. اطلاعات دقیق تخصص افراد

<http://talent.nano.ir>

نانویی کشور در آدرس زیر قابل دسترس است:

۹- بررسی و تعیین میزان تأمین آب، برق، سوخت، امکانات مخابراتی و ارتباطی (راه - راه آهن - فرودگاه - بندر ...) و چگونگی امکان تأمین آنها در منطقه مناسب برای اجرای طرح

تمامی امکانات مورد نظر در پارک های علم و فناوری موجود است.

۱۰- وضعیت حمایت‌های اقتصادی و بازرگانی

- حمایت تعرفه گمرکی (محصولات و ماشین‌آلات) و مقایسه با تعرفه‌های جهانی

حقوق ورودی ماشین‌آلات خارجی مورد نیاز طرح همانند اکثر ماشین‌آلات صنعتی تعرفه پائینی است و به سرمایه‌گذاران هزینه بالایی را تحمیل نمی‌کند.

- حمایت‌های مالی (واحدهای موجود و طرح‌ها)، بانک‌ها، شرکت‌های سرمایه‌گذار

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۴۳	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



از مهمترین چالش‌های شرکتهای فناور در بخش جذب سرمایه است. در ایران ساختارهای سرمایه گذاری خطرپذیر هنوز شکل نگرفته است و با توجه به ذات فناوری های جدید که ریسک های مختلفی دارند و خطرپذیری بالایی میطلبند، بانک ها و شرکتهای سرمایه گذار معمولی علاقه ای به سرمایه گذاری از خود نشان نمیدهند. برای مثال دارایی های این شرکتهای معمولاً از جنس دارایی فکری بوده و قابل مشاهده و حصر توسط نهاد سرمایه گذار نیست. بانکها زمین و تجهیزات را دارایی لحاظ میکنند نه دارایی های فکری و دانش فنی را. از این منظر بانک نمیتواند این شرکتهای را تامین مالی نماید. نهادهای خطرپذیری محدودی بتازگی در حوزه های فناوری های جدید ایجاد شدند مانند موسسه توسعه فناوری نخبگان. همچنین صندوق توسعه فناوری نانو (در شرف تاسیس) از این نوع فعالیتها حمایت میکنند. طبق قانون جدید حمایت از شرکتهای دانش بنیان مقرر شده است این شرکتهای از معافتهای مالیاتی طولانی مدت بهره مند شوند.

۱۱- تجزیه و تحلیل و ارائه جمع‌بندی و پیشنهاد نهایی در مورد احداث

واحدهای جدید

سرمایه گذاری در این حوزه در مجموع جذاب به نظر نمی رسد. با توجه به محدودیت بازار و وجود رقبای کوچک و بزرگ خارجی در شرایط فعلی با تخمین های رشد بازار، سرمایه گذاری سودآور نیست و حداکثر هزینه های خودش را بدهد. مگر اینکه دولت بنا به دلایلی لازم بداند که این فناوری در کشور گسترش یابد که آن موضوع دیگری است.

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۴۴	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی



۱۲- منابع و ماخذ

۱. مقررات صادرات و واردات کشور سال ۱۳۸۹

<http://www.tpo.ir/tlaw/tariff.aspx>

۲. وزارت صنایع و معادن، بخش سامانه ثبت مجوزهای صادره صنعتی

<http://webims.mim.gov.ir/GuestPage/GSearchISIC.aspx>

۳. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

<http://www.isiri.org/UserStd/StdSearch.aspx>

۴. شرکت نانو ساو <http://www.nanosav.com>

۵. فروشگاه ایرانی نانوشاپ www.nanoshop.ir

۶. گزارش Nanoposts. com, 2007 شرکت‌های تجاری تولیدی پوشش‌دهی

فو تو کاتالیستی، مجموعه گزارشات ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

۷. گزارش Lux Reaserch, 2006 از مجموعه گزارشات ستاد ویژه توسعه فناوری نانو.

۸. سایت ستاد ویژه توسعه فناوری نانو بخش استانداردها، اشتغال، گزارشات و مقالات

9. Nano Shop Materials: www.nanoshop.com

زمستان ۱۳۸۹	مطالعات امکان‌سنجی مقدماتی طرح‌های صنعتی
صفحه ۴۵	مجری: دانشگاه صنعتی تربیت مدرس - معاونت پژوهشی