

فناوری نانو: راهبرد ایران در تکاپوی توسعه پایدار و چالش‌های پیش رو

شهریار کاظمی آذر*، پانته‌آ سلطان زاده

گروه حقوق، دانشکده حقوق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده

ملل متحد در تحلیل روشنی از تداوم فقر جهانی، روند فزاینده مرگ‌ومیر کودکان، تهدید سلامت زنان و ناپایداری محیط‌زیست بشر به‌مثابه تهدید علیه صلح پایدار جهانی، مصمم به تدوین آرمان‌های توسعه پایدار شدند. در پی این اجماع جهانی، دولت‌ها رویکردهای مختلفی برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار در پیش گرفته‌اند. ایران به‌عنوان عضوی از ملل متحد در تکاپوی رسیدن به اهداف توسعه پایدار تمرکز جدی بر بهره‌مندی از علم و فناوری داشته است. فناوری نانو در زمره این فناوری‌ها است که با ظهورش، انقلابی عظیم در دانش بشری ایجاد نمود. هم‌اینک ایران در مسیر توسعه پایدار قدم برمی‌دارد و علی‌رغم پیشرفت‌های خوبی که داشته است تا رسیدن به توسعه پایدار فاصله دارد. فناوری نانو، راهبردی است که می‌تواند تأثیر اساسی در حوزه‌هایی همچون انرژی، محیط‌زیست، پزشکی و سلامت و رشد اقتصادی ایران داشته باشد. با این حال، نبود قوانین حقوقی منسجم در ایجاد تعادل میان مزایا و ریسک‌های احتمالی فناوری نانو، چالشی در بهره‌مندی از ظرفیت‌های این فناوری در راستای توسعه پایدار ایجاد نموده است. بر این اساس، در این نوشته با تمرکز بر ظرفیت‌های فناوری نانو در رسیدن به اهداف توسعه پایدار در ایران، چالش حقوقی موجود در این زمینه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: ایران، توسعه پایدار، چالش‌ها، فناوری نانو، قوانین حقوقی، کاربردها

ایمیل نویسنده مسئول: skazemi9@yahoo.com

۱- مقدمه

همکاری جامعه بین‌المللی برای کاهش فقر، گسترش بهداشت، ترویج صلح، بهبود حقوق بشر، برابری جنسیتی و پایداری محیط‌زیست به پا خیزند.

در اثنای تکاپوی دولت‌ها به‌ویژه جهان سوم برای استقلال و توسعه در دهه ۱۹۶۰، جهان شاهد ظهور فناوری به نام "نانو" بود که می‌توانست دنیا را متحول کند. دولت‌ها با درک ظرفیت‌های این علم، به‌ویژه از دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ تا به امروز پیشرفت‌های شگرفی در این حوزه داشته‌اند. در سال‌های اخیر بسیاری از کشورها از جمله در جهان توسعه‌یافته، از این فناوری برای گسترش بیشتر اقتصاد و افزایش سطح رفاه مردمان خویش در راستای توسعه پایدار بهره برده‌اند. بی‌تردید این فناوری زمینه‌های متعددی برای جهان سوم فراهم می‌آورد تا در مسیر توسعه گام بردارند. در سال‌های اخیر، ایران با درک قابلیت‌های این فناوری به دستاوردهای خوبی در این حوزه رسیده است. بر این اساس، سؤالی که مطرح می‌شود این است که با توجه به پیشرفت‌های اخیر ایران در عرصه فناوری نانو و فاصله این کشور در پایداری توسعه خویش، فناوری نانو چه ظرفیت‌هایی برای رسیدن به توسعه پایدار در اختیار ایران می‌گذارد و این کشور با چه چالش‌هایی در مسیر توسعه این فناوری مواجه است؟

وضعیت جهان در قرن بیستم به‌ویژه بعد از پایان جنگ دوم جهانی، حکایت از وجود فقر، بی‌عدالتی، بحران اقتصادی کشورهای درحال‌توسعه و بحران زیست‌محیطی بود. در سال ۱۹۹۰ نزدیک به نیمی از مردم جهان درحال‌توسعه با درآمد کمتر از یک دلار در روز زندگی می‌کردند. آمار گرسنگان، یک نفر در هر ۹ نفر ساکن کره زمین را نشان می‌دهد که تقریباً تمام افراد گرسنه در کشورهای درحال‌توسعه زندگی می‌کنند.^[۱] مسئله حفاظت از محیط‌زیست از مهم‌ترین تحولات در این دوران بود که در اندیشه و عمل آثار وسیعی را در عرصه جهانی به دنبال داشت. این عوامل لزوم توسعه‌ای پایدار را به دنبال داشت که به‌عنوان "پارادایم فکری" حوزه‌های مختلف من جمله "انسان"، "محیط‌زیست"، "فقر و امنیت" و "مشارکت" را در بر می‌گرفت. کشورهای درحال‌توسعه با درک این وضعیت، مباحث مرتبط با توسعه را در گفتمان استقلال‌طلبی خویش در دهه ۱۹۶۰ وارد مناسبت‌های بین‌المللی خویش نمودند. تداوم این وضعیت و لزوم چاره‌اندیشی در این خصوص در سپتامبر ۲۰۱۵ منجر به بزرگ‌ترین گردهمایی رهبران جهان با محوریت "توسعه پایدار" در سازمان ملل متحد گردید. برآیند این نشست، تصویب سند توسعه پایدار ۲۰۳۰ بود که ملت‌های شرکت‌کننده را متحد می‌ساخت در پرتو

۲- سند ۲۰۳۰: تدبیر ملل متحد برای توسعه‌ای پایدار

ملل متحد در تحلیل روشنی از تداوم فقر و نابرابری، عدم پایداری محیط‌زیست و تداوم شکاف میان کشورهای و عدم موفقیت مطلوب اهداف توسعه هزاره^۱، این بار با عزمی راسخ و بر مبنای اهداف هزاره، مصمم به اهداف توسعه پایدار^۲ شدند. مهرماه سال ۲۰۱۵ (سپتامبر ۲۰۱۵) در آغاز نشست ۳ روزه توسعه پایدار و هم‌زمان با ۱۷۰ امین اجلاس مجمع عمومی در نیویورک، دستور کار جهانی جدید به‌اتفاق آرای ۱۹۳ دولت عضو ملل متحد برای پایان دادن به فقر تا ۲۰۳۰ به تصویب رسید. این تصویب تاریخی، دستور کار جدید توسعه پایدار است که با استقبال بیش از ۱۵۰ نفر از رهبران و هیئت همراهشان روبرو شد. از این دستور کار جدید، طلوع عصر جدید در عرصه ملی و همکاری بین‌المللی نام برده می‌شود که کشورهای جهان را متعهد به پاره‌ای از اقدامات می‌کند که نه تنها پرداختن به علل ریشه‌ای فقر را شامل می‌شود بلکه رشد اقتصادی و رفاه را افزایش می‌دهد. این سند دارای ۱۷ آرمان جهانی و ۱۶۹ هدف فرعی مربوط به توسعه پایدار است و به لحاظ شکلی دارای یک مقدمه و ۴ فصل متشکل از اعلامیه، اهداف اصلی و فرعی، ابزارهای اجرایی لازم برای تحقق اهداف فوق، پیگیری و بازبینی است. [۲] این ۱۷ آرمان اصلی بر مبنای اهداف توسعه هزاره است که به ترتیب شامل:

۱. پایان دادن به فقر در همه اشکال آن،
۲. پایان دادن به گرسنگی، دستیابی به امنیت غذایی و بهبود تغذیه و ترویج کشاورزی پایدار،
۳. تأمین زندگی‌های سالم و ترویج و تأمین رفاه برای همه در همه سنین،
۴. تأمین آموزش جامع و برابر و ترویج فرصت‌های یادگیری مادام‌العمر برای همه،
۵. تأمین برابری جنسیتی و توانمند کردن همه زنان و دختران،
۶. تأمین مدیریت پایدار و قابلیت دسترسی به آب و بهداشت برای همه،
۷. تأمین دسترسی به انرژی پایدار، مطمئن، قابل تهیه و پیشرفته برای همه،
۸. ترویج رشد اقتصادی محکم، جامع و پایدار و شغل مداوم و مولد برای همه،
۹. ایجاد زیرساخت‌های قابل احیا، ترویج صنعتی سازی پایدار و پرورش نوآوری‌ها،
۱۰. کاهش نابرابری درون ما و بین کشورها،
۱۱. ساخت شهرها و سکونت‌گاه‌های انسانی جامع، ایمن، قابل احیا و پایدار،
۱۲. تأمین الگوهای پایدار تولید و مصرف،
۱۳. انجام اقدام فوری برای نبرد با تغییرات اقلیمی و اثرات آن،

۱۴. نگهداری و استفاده پایدار از اقیانوس‌ها، دریاها و منابع دریایی برای توسعه پایدار،

۱۵. حفظ، بازیابی و بهبود استفاده پایدار از اکوسیستم‌های خاکی، مدیریت پایدار جنگل‌ها، مبارزه با بیابان‌زایی، متوقف کردن یا معکوس کردن روند تخریب زمین و متوقف کردن روند از دست رفتن تنوع زیستی،

۱۶. ارتقای جوامع صلح‌آمیز و فراگیر برای توسعه پایدار، فراهم کردن دسترسی به عدالت برای همه و ساخت مؤسسات کارا، قابل اعتماد برای همه و در همه سطوح،

۱۷. تقویت ابزارهای پیاده‌سازی و احیای همکاری‌های جهانی برای توسعه پایدار. [۳]

۳- حرکت ایران در مسیر توسعه پایدار

ایران برای اعلام چگونگی دستیابی به هدف‌های هزاره گزارشی در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۷ منتشر کرده است. نگاهی به این گزارش‌ها نشان می‌دهد که کشور ایران در بیشتر شاخص‌های اهداف هزاره رشد خوبی را تجربه کرده است. به‌ویژه پیشرفت‌های ایران در بخش بهداشت و ایجاد شبکه و نظام بهداشتی مناسب چشم‌گیر بوده است و شمار افزایشی که بر پایه استانداردهای جهانی از فقر شدید و تام رنج می‌برند نیز با کاهش منظم و نظام‌مندی روبه‌رو شده است. [۴] ایران برای تحقق هدف شماره ۱ برنامه توسعه هزاره یعنی ریشه‌کنی فقر به گسترش نظام تأمین اجتماعی، اعمال سیاست‌های مالیاتی، برآورد سالانه خطوط فقر، ایجاد شغل برای فقرا، بهبود مشارکت سازمان‌های غیردولتی، حصول اطمینان از دستیابی به امنیت غذایی و احداث خانه‌های ارزان‌قیمت اقدام نموده است. آمارها نشان می‌دهد که در ایران میزان افراد با درآمد کمتر از ۲ دلار در هر روز از تعداد ۸ نفر به تعداد ۳ نفر در فاصله بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۵ کاهش داشته است. [۵]

درباره هدف دوم یعنی دستیابی همگانی به آموزش ابتدایی، ایران بهبود دسترسی به آموزش ابتدایی در مناطق دورافتاده، بهبود وضعیت اقتصادی خانواده‌های فقیر و برطرف کردن نگرش منفی نسبت به آموزش دختران در برخی مناطق را انجام داده است. آمارها در حوزه نرخ باسوادی زنان (سنین ۱۵-۲۴) سیر صعودی ایران را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که نرخ باسوادی زنان از میزان ۹۶٫۷ در سال ۱۳۸۴ به میزان ۹۸٫۱ در سال ۱۳۹۲ رسیده است. [۶] هدف سوم توسعه هزاره، بهبود برابری جنسیتی و توانمندسازی زنان است و ایران در این زمینه، متوسطه و عالی را مورد هدف قرار داده است. متعاقب این اهداف، پیشرفت ایران در زمینه سواد زنان بین سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ مشهود است. به‌گونه‌ای که سواد زنان از میزان ۹۶٫۵۰ به میزان ۹۹٫۲ در سال ۱۳۹۳ رشد داشته است. [۶] درباره هدف چهارم توسعه هزاره که کاهش مرگ‌ومیر کودکان است، ایران پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای داشته است و هم‌اکنون مرگ‌ومیر کودکان زیر ۵ سال از تعداد تقریبی ۴۵ نفر در سال ۱۹۹۳ به تعداد کمتر از ۳۵ نفر در سال ۲۰۰۳ کاهش یافته و تغذیه با شیر مادر افزایش یافته است. [۷] هدف پنجم اهداف

رسیدن به نقطه مطلوب در این حوزه می‌بایست قدم‌های اساسی برداشته شود؛ به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۳ نرخ مرگ‌ومیر کودکان زیر ۵ سال ۱۷،۱۹ نفر در هر ۱۰۰۰ تولد زنده بوده است. همین میزان در سال ۱۳۹۲، ۱۷،۵۲ بوده است. [۶] در حوزه مرگ‌ومیر مادران، میزان ۱۸ نفر در صد هزار تولد زنده در سال ۱۳۹۶ به میزان ۱۵ نفر در سال ۱۴۰۰ هدف‌گذاری شده است. آمارها نشان می‌دهد که نرخ مرگ‌ومیر مادران به هنگام زایمان در سال ۱۳۹۱، ۱۹،۴۲ نفر در هر ۱۰۰ هزار تولد زنده بوده است که این مقدار به رقم ۲۲،۰۵ در سال ۱۳۹۲ رسیده است. [۶]

نگاهی به آمارهای موجود در مورد انتشار دی‌اکسید کربن و مصرف مواد مخرب لایه ازن در ایران، اهمیت توجه به فناوری نانو را دوچندان می‌کند. آمارها نشان می‌دهد که سرانه انتشار دی‌اکسید کربن از میزان ۵۵۷۸ کیلوگرم در سال ۱۳۸۴ به میزان ۷۲۷۹،۰ در سال ۱۳۹۰ و ۷۶۳۲،۹ کیلوگرم در سال ۱۳۹۲ رسیده است. موضوعی که می‌تواند تبعات جبران‌ناپذیری برای محیط‌زیست ایران در آینده این کشور داشته باشد. [۶] آمارهای موجود در مورد مصرف مواد مخرب لایه ازن (cfcs)، نشان از روند فزاینده مصرف این مواد در فاصله بین سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ است. بر طبق آمارها، میزان مصرف مواد مخرب لایه ازن از رقم ۴۴۵۷ تن در سال ۱۳۸۴ به میزان ۴۹۳۹،۵۳ تن در سال ۱۳۹۱ افزایش داشته است. [۶]

پیشرفت‌های ایران در حوزه نانو در حالی است که علی‌رغم بهبود وضعیت اقتصادی ایران نسبت به سال‌های اخیر، ایران کماکان نرخ بیکاری ۱۲/۱ درصدی را در سال ۱۳۹۷ تجربه می‌کند و آمارها تورم ۹/۷ درصدی را در مرداد ماه سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد؛ بنابراین تمرکز ایران بر تجاری‌سازی و دستیابی به بازارهای فناوری نانو می‌تواند تأثیر بسزایی در رونق اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی مردم ایران داشته باشد. [۶]

در قانون برنامه ۵ ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۶-۱۴۰۰) سیاست‌های کلی نظام و نقشه جامع علمی کشور با درک اهمیت پیشرفت ایران در حوزه اقتصاد، محیط‌زیست، آب، انرژی، کاهش فقر، مرگ‌ومیر کودکان و سلامت مادران، بر بهبود وضعیت ایران در این حوزه‌ها و بهره‌مندی از فناوری‌های نوین تأکید شده است. ^۲ از این‌رو ظرفیت‌های فناوری نانو به‌ویژه در حوزه‌های انرژی، پزشکی،

توسعه هزاره بهبود سلامت مادران در چارچوب بهداشت باروری است و شاخص‌های بهداشت باروری در ایران به‌طوری پیشرفت کرده است که هم‌اکنون تیم‌هایی برای آموزش کارکنان بهداشتی زنان در بسیاری از شهرها مشغول به کار هستند. میزان مرگ‌ومیر مادران در هر ۱۰۰ هزار تولد زنده از رقم ۹۱ نفر در سال ۱۹۸۸ به تعداد ۲۴ نفر در سال ۲۰۰۵ کاهش داشته است. [۶]

طبق گزارش کمیته ملی دستیابی به اهداف توسعه هزاره، ایران برای دستیابی به هدف ششم که مبارزه با ایدز و مالاریا است، در برنامه چهارم توسعه، وزارت بهداشت و دیگر سازمان‌های مربوطه را موظف به اتخاذ اقدامات لازم برای پیشگیری و درمان ایدز کرده است. تعداد مرگ‌ومیر ناشی از سل از میزان ۴،۰۰ در سال ۱۳۸۴ به رقم ۲،۹ در ۱۰۰ هزار نفر جمعیت در سال ۱۳۹۲ رسیده است. [۶]

هدف هفتم اهداف توسعه هزاره دستیابی به محیط‌زیست پایدار است و با توجه به اینکه ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک است، پوشش گیاهی محدودی دارد و باید برنامه‌ریزی‌های بیشتری صورت بگیرد. آمارها از اقدامات مثبت ایران در حفاظت از تنوع زیستی خبر می‌دهد. به‌طوری‌که میزان مناطق تحت حفاظت از میزان ۴،۶ در سال ۱۹۹۷ به میزان ۷،۳۲ در سال ۲۰۰۵ رسیده است. [۸]

آخرین هدف توسعه هزاره گسترش مشارکت جهانی برای توسعه است. ایران هم‌اکنون توانسته است درآمدهای ارزی خود را بهبود بخشیده و بازپرداخت بدهی‌ها را تسریع نماید. افزایش چشمگیر کاربران اینترنت در ایران نمونه‌ای از این پیشرفت‌هاست؛ به‌طوری‌که از میزان ۹،۴۷ کاربر اینترنتی در ۱۰۰ نفر جمعیت در سال ۱۳۸۶ به میزان ۳۹،۳۵ نفر در سال ۱۳۹۳ رسیده است. [۶] با این حال، علی‌رغم دستاوردهای ایران در توسعه پایدار، گزارش‌ها و آمارهای موجود نشان می‌دهد که کاستی‌ها و خلأهایی در این زمینه وجود دارد و رسیدن به نقطه مطلوب نیازمند اتخاذ اقدامات و برنامه‌های بیشتری است.

۴- کاستی‌ها و خلأهای ایران در رسیدن به توسعه پایدار و لزوم بهره‌مندی از ظرفیت‌های نانو

ایران با وجود عملکرد چشمگیر برنامه‌های توسعه، شاهد افزایش نسبی فقر، اثر سوء تورم روی درآمدها، پرداخت بالای نقدی برای دسترسی به سلامت و مشکلات دیگری نظیر بیکاری و کم‌کاری است که باید برای رفع آن‌ها تلاش شود. [۹] بر این اساس، علی‌رغم پیشرفت‌های خوب ایران در حوزه‌های مختلف اهداف هزاره و بهبود نسبی در این حوزه‌ها، کماکان تا رسیدن به اهداف توسعه پایدار به‌ویژه در حوزه محیط‌زیست، کاهش فقر و گسترش رفاه مردم و حوزه سلامت و مراقبت‌های بهداشتی فاصله دارد. آمارها نشان می‌دهد که شدت مصرف انرژی (معادل کیلوگرم، به ازای یک دلار تولید ناخالص داخلی)، از میزان ۰،۲۶ صدم در سال ۱۳۸۴ به میزان ۰،۲۶۲ در سال ۱۳۸۹ و میزان ۰،۲۷۳ در سال ۱۳۹۱ افزایش داده است. [۶] همچنین علی‌رغم سیر صعودی ایران در کاهش نرخ مرگ‌ومیر کودکان زیر ۵ سال در سال‌های اخیر تا

۱. به‌عنوان نمونه می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: بند ج، چ، خ ماده ۶۴ و بند الف ماده ۶۵ قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ج.ا.ا (۱۳۹۶-۱۴۰۰) که به ترتیب به موضوع حمایت مالی، مشارکت شرکت‌های دانش‌بنیان، حمایت واکذاری مالکیت فکری به دانشگاه‌ها و انتقال فناوری تأکید شده است. در سیاست‌های کلی نظام در بند ۱-۳ الف (۴) و بند ۴ بر کسب فناوری و دانش فنی انرژی‌های نو، در بند ۹ سیاست‌های کلی برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ج.ا.ا در امور فرهنگی، علمی و فناوری بر "کسب فناوری به‌ویژه فناوری‌های نو شامل فناوری نانو و زیستی و... تأکید شده است. همچنین در نقشه جامع علمی کشور در بند ۲-۳ (۸) تثبیت جایگاه کشور در فناوری نانو به‌منظور کسب ۲ درصد از بازار جهانی مربوطه مورد تأکید قرار گرفته است. در بند ۲-۳ نیز فناوری نانو به‌عنوان اولویت‌های اصلی علم و فناوری ایران موردتوجه قرار گرفته است.

محیط زیست و بهره‌گیری از آن در رونق اقتصادی می‌تواند تأثیر بسزایی در رسیدن ایران به اهداف توسعه پایدار داشته باشد.

۵- ایران و فناوری نانو: تجربه‌ای نو، ورودی به موقع

قرن بیستم شاهد ظهور پدیده‌های عظیم در دانش بشری بنام فناوری نانو^۱ است. این علم را به دلیل تأثیرات شگرفی که در جنبه‌های مختلف زندگی بشریت دارد، موج چهارم انقلاب صنعتی نامیده‌اند. با ظهور این انقلاب، تأثیرات شگرف این فناوری در حوزه‌های مختلف همانند پزشکی، مواد شیمیایی، داروسازی، صنایع، انرژی، مسائل زیست‌محیطی و آلودگی و ... دولت‌ها و محققان را به تکاپوی جدی در این حوزه واداشته است. به همین دلیل در سال‌های اخیر فناوری نانو نسبت به سایر علوم بیشترین توسعه و حرکت را داشته است. قبل از پرداختن به وضعیت ایران در فناوری نانو به‌طور مختصر مفهوم و پیشینه این فناوری مورد توجه قرار می‌گیرد.

۱-۵- مفهوم و پیشینه فناوری نانو

فناوری نانو، واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو^۲ اطلاق می‌شود. معمولاً منظور از مقیاس نانو ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است و به بیان ساده علم نانو مطالعه اصول اولیه مولکول‌ها و ساختارهایی با ابعاد بین حدود ذکر شده است. فناوری نانو، کاربرد این ساختارها در دستگاه‌های با اندازه‌ی نانومتری است. می‌توان گفت فناوری نانو شکل جدیدی از ساخت مواد به‌وسیله کنترل و دست‌کاری آن‌ها در مقیاس نانو است. اصل موضوع به این مسئله برمی‌گردد که ماده در اندازه‌های نانومتری دارای خواص جدید و متفاوت از مقیاس‌های بالاتر است که این خواص جدید توجه جدی دانشمندان و پیشگامان به‌کارگیری ابزارها و مفاهیم جدید را برانگیخته است. یکی از ویژگی‌های مهم فناوری نانو جنبه‌ی چند رشته‌ای آن است. فناوری نانو در بسیاری از صنایع کاربرد دارد و در تولید صنایع جدید هم نقش بسزایی دارد.^[۱۰] در حال حاضر از فناوری نانو به این صورت استفاده می‌کنند که دانش مقیاس نانو را برای بهبود روش‌ها و فناوری‌های موجود بکار می‌گیرند. به‌عنوان مثال این بهبود می‌تواند در توسعه مکانیسم‌های دارورسانی به نقاط بیمار بدن باشد و یا اینکه از نانو ذرات خاک رس برای دوام بیشتر محصول در صنعت لاستیک استفاده شود. تا به امروز تعریف واحدی از فناوری نانو که همگان بر سر آن اتفاق نظر داشته باشند در هیچ‌یک از اسناد بین‌المللی ارائه نشده است. همین مسئله در بسیاری از موارد به لحاظ حقوقی مانعی در برآورد دقیق از مقیاس نانو قلمداد شده است.

مرکز مطالعه روندهای تکنولوژی هلند (STT)^۳، فناوری نانو را این‌گونه تعریف می‌کند: "ما فناوری نانو را به‌عنوان مجموعه فناوری‌هایی برای تولید و متمایزسازی و دست‌کاری ساختارها در

ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر با کنترل و دقت بی‌نظیر تعریف می‌کنیم."^[۱۱] فرهنگ بریتانیکا نیز تعریفی بدین‌صورت آورده است که: "فناوری نانو، فناوری است که بر پایه دست‌کاری تک‌اتم‌ها و مولکول‌ها استوار است. بدین منظور که بتوان ساختاری پیچیده را با خصوصیات اتمی تولید کرد."^[۱۲]

پژوهشگاه فناوری نانو انگلستان نیز تعریف فناوری نانو را بدین گونه ابراز می‌کند: "قلمروی از علم و فناوری که به ابعاد و تلورانس‌های (دامنه تغییرات) از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌پردازد. هر جایی که این ابعاد و تلورانس بتواند نقش مهمی در خواص قطعه ایفا کند."^[۱۳] تمامی این تعاریف به ویژگی فناوری نانو و توانایی انسان در این مقیاس اشاره می‌کند که به اعتقاد برنامه پیشگامی ملی فناوری نانو در ایالات متحده حائز سه شرط اساسی است:

الف) تحقیق و توسعه در سطح اتمی و مولکولی یا ماکرومولکولی در مقیاسی به‌اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر؛

ب) خلق و استفاده از ساختارها و ابزارها و سیستم‌هایی که به خاطر اندازه کوچک یا حد میانه آن‌ها، خواص و عملکرد نوینی دارند؛

ج) توانایی کنترل و دست‌کاری محصول در مقیاس اتمی.^[۱۴]

۲-۵- سهم ایران از دنیای نانو

ورود به‌موقع ایران در عرصه فناوری نانو، تجربه‌ای موفق و پیشرفتی چشمگیر در این حوزه را به دنبال داشته است. این موفقیت‌ها نتیجه سیاست‌گذاری، تدوین راهبرد ملی، توجه جدی به فناوری نانو در اسناد بالادستی ایران و تلاش مستمر و نظام‌مند دانشمندان و پژوهشگران ایرانی در زمینه‌های مختلف این فناوری بوده است. ایران به‌ویژه بعد از تدوین سند راهبرد ملی و در پرتو تلاش‌ها و برنامه‌های منسجم ستاد ویژه توسعه فناوری نانو به یکی از پیشگامان این فناوری در دنیا تبدیل شده است. سه هدف کلان که در عرصه فناوری نانو در ایران تعیین شده است، عبارتند از:

۱. ارتقای اثرگذاری فناوری نانو در بهبود کیفیت زندگی مردم؛

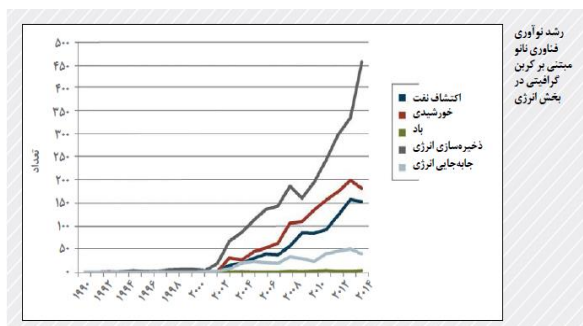
۲. دستیابی کشور به جایگاه مناسب در علم و فناوری نانو در بین کشورهای جهان؛

۳. کسب سهم مناسبی از بازار جهانی فناوری نانو.^[۱۵]

ایران پیشرفت خوبی در سال‌های اخیر در حوزه فناوری نانو تجربه کرده است. هم‌اینک در سپتامبر ۲۰۱۸ ایران به لحاظ تعداد مقالات چاپ‌شده در حوزه فناوری نانو در رتبه چهارم دنیا قرار دارد. این در حالی است که ایران در سال ۲۰۱۰ در رتبه هفتم جهان قرار داشت. همچنین ایران در سال ۲۰۱۶ به لحاظ تعداد مقالات منتشره در حوزه نانو نسبت به دیگر حوزه‌ها در رتبه نخست دنیا قرار داشت.^[۱۶] این موضوع به‌خوبی اولویت ایران برای تحقیق و توسعه در این حوزه را نشان می‌دهد. با اقدامات صورت گرفته، ایران تا ماه سپتامبر سال ۲۰۱۸، ۱۹۲ محصول در ۱۲۰ نوع و توسط ۱۰۵ شرکت ایرانی تولید کرده است که در مقایسه با کشورهای دیگر از جمله کره جنوبی، ژاپن و کشورهای

سیستم هدایت ماهواره‌ای، دوربین‌های دید در شب و اسلحه کاربرد دارند. با تولید پیل‌های سوختی جدید و سلول‌های خورشیدی با بازده بالا این بیم می‌رود که عمر نفت به پایان برسد و اثرات شدیدی بر اقتصاد کشورهایی که اقتصادشان بر پایه نفت است، بگذارد و تولید صنعتی کل جهان را که تحت تأثیر انرژی است دگرگون سازد و بر تعادل فقر و ثروت در جهان اثر بگذارد. با اطمینان می‌توان گفت که فناوری نانو بر روی تمامی کشورهای جهان تأثیری در فراسوی مقیاس‌های بزرگ خواهد داشت. [۱۷]

ظرفیت‌های این فناوری در حالی است که شدت مصرف انرژی در سال‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای در ایران افزایش یافته است. دولت‌ها با درک اهمیت این فناوری، سرمایه‌گذاری عمده‌ای در حوزه انرژی برای بهره‌مندی از ظرفیت‌های فناوری نانو نموده‌اند. نمودار ذیل نشان می‌دهد که این سرمایه‌گذاری به‌ویژه در سال‌های بین ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ در حوزه‌های اکتشاف نفت، ذخیره‌سازی و جایجایی انرژی، انرژی خورشیدی و بادی بیشترین رشد را داشته است.



منبع: ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ماهنامه فناوری نانو، سال سیزدهم بهمن ۱۳۹۲، شماره ۱۱، ص ۴۵

۲-۶- نانو پزشکی و سلامت

دانشمندان پیشرو در علم نانو، سال گذشته در بنیاد ملی علوم آمریکا^۱ بیان نمودند که نانوفناوری، یک اثر اساسی بر روی سلامتی و حوزه پزشکی، وضعیت اقتصادی و امنیت مردم جهان خواهد گذاشت و حداقل به اهمیت آنتی‌بیوتیک‌ها، IC ها و پلیمرهای ساخت دست بشر- در قرن بیستم خواهد بود. حوزه پزشکی ازجمله حوزه‌هایی است که بیشترین تأثیر را از فناوری نانو داشته است. [۱۸]

نانو پوسته‌های هسته طلا و پوسته‌های سیلیسم، به‌منظور تخریب سلول‌های سرطانی بکار می‌روند. این کار با استفاده از توانایی تبدیل انرژی نوری آن‌ها به انرژی حرارتی انجام می‌گیرد. دست‌کاری ضخامت هسته و غشای خارجی این مواد جهت جذب امواج ویژه نور مرئی و طیف مادون‌قرمز نزدیک^۲ صورت می‌گیرد. نور NIR می‌تواند بدون واردکردن هیچ‌گونه آسیبی در بافت انسان تا چندین سانتی‌متر نفوذ کند زیرا بافت‌های رنگی قادر به جذب انرژی زیاد در طیف NIR

اروپای غربی آمار خوبی در این زمینه دارد. حوزه پزشکی در زمره حوزه‌هایی است که ایران بیشترین تولید محصولات نانویی را در آن دارد. ۱۰ اختراع ثبت‌شده در سال ۲۰۱۶ و حدود ۲۷ تقاضانامه ثبت اختراع تا پایان ۲۰۱۶ ازجمله دستاوردهای علمی این حوزه بوده است. [۱۶]

با وجود این پیشرفت‌ها، توجه جدی به بهره‌گیری از کاربردهای فناوری نانو می‌تواند سهم بسزایی در توسعه پایدار ایران داشته باشد.

۶- کاربردهای فناوری نانو در رسیدن به توسعه پایدار

کاربری‌ها و توانایی‌های فناوری نانو در حوزه‌های مختلف، دولت‌ها را به تحقیق و توسعه جدی در این حوزه برای بهره‌مندی از این ظرفیت‌ها و رشد اقتصادی خویش واداشته است. در این قسمت کاربردهای فناوری نانو در حوزه‌های انرژی، پزشکی، محیط‌زیست و تأثیر آن در کاهش فقر و رشد اقتصادی که می‌تواند در راستای رسیدن ایران به توسعه پایدار مؤثر باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۶-۱- فناوری نانو و چالش انرژی

با رشد جمعیت کره خاکی و محدود شدن منابع انرژی توجه به منابع جدید زیاد شده و با رشد دانش بشری توجه به مقیاس‌های بسیار کوچک افزایش یافته است. [۱۷]

فناوری نانو می‌تواند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کارایی، ذخیره‌سازی و تولید انرژی را تحت تأثیر قرار داده و مصرف انرژی را پایین آورد. به‌عنوان مثال شرکت‌های مواد شیمیایی، مواد پلیمری تقویت‌شده با نانو ذرات ساخته‌اند که می‌تواند جایگزین اجزای فلزی بدنه اتومبیل شود. استفاده گسترده از نانو کامپوزیت‌ها می‌تواند سالیانه ۱/۵ میلیارد لیتر صرفه‌جویی مصرف بنزین به همراه داشته باشد. مطابق پیش‌بینی‌ها در آینده‌ای نزدیک، پیشرفت‌هایی از این دست، می‌تواند مصرف جهانی را بیش از ۱۰ درصد کاهش دهد که ۱۰۰ میلیارد دلار در سال صرفه‌جویی و ۲۰۰ میلیون تن کاهش انتشار کربن را به همراه خواهد داشت. [۱۷]

پیل‌های سوختی^۳ (سلول‌های الکتروشیمیایی که شامل ماده الکترولیت و الکتروود است و انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند) جدید که دارای مواد دست‌کاری شده توسط میکروسکوپ تونل زنی اسکن کننده^۴ هستند، قابلیت فعالیت شیمیایی در دمای پایین‌تر را دارا بوده‌اند، بعلاوه بازدهی بالاتری نسبت به پیل‌های کنونی دارند و با مصرف هر نوع سوخت و تولید مقدار کمتری CO₂ قادر به تولید انرژی الکتریکی است. کاربرد این پیل‌ها با توجه به قابلیت‌های بالای آن‌ها بسیار وسیع خواهد بود. این پیل‌ها در رایانه‌ها، گوشی‌های موبایل، بیمارستان‌ها، ساختمان‌های دولتی، وسایل متحرک قابل‌حمل،

نیستند.[۱۹] اگر نانولوله‌های کربنی تحت تابش NIR قرار گیرند، دمای آن‌ها تا ۷۰ سانتی‌گراد می‌تواند بالا رود. از این اصل در درمان سرطان استفاده می‌شود. ثابت شده است که جذب اسیدفولیک در نانولوله‌های کربنی^{۱۱} به آن‌ها قابلیت ایجاد پیوندهای ویژه با سلول‌های سرطانی را می‌دهد. این سلول‌های سرطانی در اثر تابش NIR تخریب می‌شوند.[۲۰]

با ورود فناوری نانو به عرصه زندگی بشر و استفاده از این فناوری در پیشرفت علوم زیستی و پزشکی، علم دندانپزشکی نیز از این فناوری بی‌نصیب نمانده است. ازجمله کاربردهای فناوری نانو در حیطه دندانپزشکی می‌توان به استفاده از کامپوزیت‌های نانو ذرات معدنی و نانو روکش‌ها در ساخت روکش‌ها و پرکننده‌های مقاوم به سایش و با رنگ دلخواه اشاره کرد. امروزه علاج جرم و بوی بد لثه و دندان به کمک نانو ذرات تیتانیوم اکسید امکان‌پذیر شده است. همچنین می‌توان به تولید خمیردندان‌ها و مسواک‌های محافظ لثه و دندان با نانو ذرات و

نانو روکش‌های نقره نیز اشاره نمود.^{۱۲} در دارورسانی سنتی داروهای موردنظر از طریق خون به هدف فرستاده می‌شوند و تخریب سلول‌ها و اندام‌های غیر مرتبط به‌وسیله داروها از عوارض این روش قدیمی بشمار می‌رود. ازاین‌رو برای غلبه بر این مشکل باید دارورسانی فقط به اندام‌های هدف انجام گیرد. این امر موجب توسعه کاربرد نانو ذرات زیست‌تخریب‌پذیر^{۱۳} به‌عنوان عوامل آزاد ساز در دارورسانی شده است. داروها می‌توانند در داخل ماتریس نانو ذرات حل، محبوس، کپسوله یا جذب شوند. می‌توان از نانو ساختارهای مختلفی مانند نانو ذرات کروی یا نانو کپسول‌ها به‌عنوان سیستم‌های دارورسانی استفاده نمود. هر شکل از نانو مواد ویژگی دارورسانی خاص خود را دارند. به‌عنوان مثال، نانو کپسول‌ها سیستم‌های کیسه‌ای شکل هستند که دارو در داخل آن‌ها از لحاظ فیزیکی به‌طور یکنواخت پراکنده می‌شوند.[۲۱] به گفته شرکت ژاپنی Nano Carrie تخمین زده می‌شود که بازار جهانی داروسازی ۴۵۴/۵ میلیارد دلار ارزش داشته و به‌طور یکنواختی توسعه پیدا کند. آن‌ها بازار جهانی تجهیزات پزشکی ۵۴/۴ میلیارد دلار، بازار ابزارهای تشخیص پزشکی را ۷/۵ و بازار بالقوه ژن‌درمانی در آمریکا را ۶/۳ میلیارد دلار برآورد نموده‌اند.[۲۲]

3. Carbon Nanotube

۴. برای مطالعه در این زمینه، رک:

حامد اهری و همکاران، فناوری نانو در پزشکی و دامپزشکی، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو ایران، به نشانی: www.nano.ir

Piyush Kumar, Rohit Srivastava, *Nanomedicine for Cancer Therapy: From Chemotherapeutic to Hyperthermia-Based Therapy*, (SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology), Springer; 1st ed. 2017 edition (December 1, 2016).

5. Biodegradable

۳-۶- فناوری نانو و محیط زیست

آلودگی محیطی یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که جهان امروز با آن روبروست. بیشتر آلودگی‌های موجود در آب و خاک از مواد صنعتی مانند رنگ‌ها، ترکیبات کلر و آروماتیک، یون‌های فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و فاضلاب‌ها ناشی می‌شوند. عامل اصلی آلودگی آلاینده‌های آلی فرار یعنی گازهای خروجی از صنایع و اتومبیل‌هاست. آلودگی آب منجر به کاهش منابع آب آشامیدنی، انتشار بیماری‌های ناشی از آب ناسالم و به خطر انداختن موجودات آبی می‌شود. آلودگی هوا باعث اختلالات تنفسی، باران و مه اسیدی و آلودگی خاک نیز کاهش زمین‌های زراعتی را به دنبال دارد. ازاین‌رو، حفاظت از محیط امروزی امری ضروری بشمار می‌رود.[۲۱] افزایش دی‌اکسید کربن در هوا یکی از مشکلات اساسی در سطح جهان است که امید می‌رود با استفاده از پیل‌های سوختی و باتری‌های خورشیدی از مصرف سوخت‌های فسیلی بی‌نیاز شویم و در هوایی عاری از کربن دی‌اکسید و انواع آلودگی‌ها تنفس کنیم. نانو ازجمله فناوری‌هایی است که به کمک آن امکان استفاده بهینه از پیل‌های سوختی و باتری‌های خورشیدی فراهم شده و این امکان را به وجود آورده است تا به‌سوی ساخت انرژی‌های ارزان‌تر و پاکیزه‌تر از سوخت‌های فسیلی نزدیک شویم.^{۱۴} نیتروژن اکسید از دیگر آلاینده‌های عمده هواست که موتورهای دیزلی مهم‌ترین منابع آلوده‌کننده هوا با این اکسید می‌باشند. اخیراً یک شرکت آلمانی موفق به ساخت نانو ذراتی شده است که با افزودن آن‌ها به گازوئیل می‌توان از تولید نیتروژن اکسید جلوگیری کرد. طبق اطلاعات موجود برای تولید هر گرم ریزتراشه ۳۲ مگابایتی، مصرف ۸۵۰ گرم سوخت فسیلی و مواد شیمیایی و ۱۶ کیلوگرم آب نیازمند است. با استفاده از فرآیندهای نانو می‌توان شیوه مرسوم در تولید تراشه‌های نیمه‌هادی را تا حد بسیار زیادی بهبود بخشید. علاوه براین استفاده از فناوری نانو منجر به تولید مواد بی‌خطر به‌جای مواد سمی موجود می‌شود.[۱۱]

دستگاه‌هایی که به کمک فناوری نانو ساخته شده‌اند که آب دریا را با انرژی ده برابر کمتر از دستگاه اسمز معکوس و لااقل ۱۰۰ برابر کمتر از تقطیر نمک‌زدایی کنند. این فرآیند کارا از نظر انرژی کاملاً عملی است؛ چون الکترودهای با مساحت سطحی بسیار بالا ساخته شده‌اند که از طریق کنار هم قرار دادن نانولوله‌های کربنی و دیگر ابتکارات طراحی، رسانای الکتریسته شده‌اند.[۱۱]

۱. فناوری نانو سبز Green Nanotechnology به مفهوم گسترش فناوری‌های پاک به‌منظور به حداقل رساندن تهدیدات سلامت انسانی و محیطی بالقوه مرتبط با ساخت و کاربرد محصولات فناوری نانو و همچنین جایگزین کردن محصولات حاضر با محصولات نانویی جدید که در طول چرخه زندگی‌شان در ارتباط دوستانه با محیط‌اند، اطلاق می‌شود. فناوری نانو سبز دارای دو هدف است: تولید مواد نانویی و محصولات بی‌خطر برای محیط‌زیست و سلامت بشر و تولید محصولات نانویی‌ای که راه‌حلی برای مشکلات محیطی ارائه می‌دهد. www.nano.ir

آمریکا، اتحادیه اروپا، ایران، چین، هند، تایوان، کره جنوبی، استرالیا و روسیه در رقابتی تنگاتنگ بر سر کسب پیشتازی جهانی در لااقل یک حوزه از این فناوری به سر می‌برند. هم‌اکنون روی هم‌رفته حدود ۳۰ کشور دنیا در زمینه نانو دارای برنامه ملی هستند و طی ۵ سال گذشته بودجه تحقیق و توسعه در امر فناوری را به ۳/۵ برابر افزایش داده‌اند. [۱۱] فناوری نانو به‌عنوان 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 صاحب‌نظران و محققان تعیین شده و برای مدیران اجرایی به‌صورت شفاف و قطعی درآمده است.

با توجه به برنامه‌ها و اقداماتی که ایران در سال‌های اخیر در حوزه نانو پیش گرفته است و متعاقباً پیشرفت‌های خوبی که در این حوزه داشته است، می‌تواند از تجاری‌سازی محصولات نانو پلی برای افزایش رفاه مردم خویش و رونق اقتصادی بهره بگیرد. هم‌اکنون تعداد ۲۸۶ شرکت فعال در حوزه نانو در ایران وجود دارد که در زمینه‌های مختلف نانو فعالیت می‌کنند. [۲۴] تولیدات این شرکت‌ها شامل ۴۳ درصد محصولات فناوری نانو و ۳۹ درصد تجهیزات فناوری نانو بوده است. [۲۴] نمودار رشد سالیانه بازار فروش محصولات نانو نیز نشان می‌دهد که ایران می‌تواند از این فناوری برای رشد اقتصادی، افزایش اشتغال و کاهش فقر بهره بگیرد. (نمودار شماره سه). با توجه به ظرفیت فناوری نانو برای تأسیس شرکت‌های جدید، می‌توان شاخصی را با عنوان "مشاغل ایجادشده با فناوری نانو" اندازه‌گیری کرد. این شاخص شامل مشاغل تخصصی فناوری نانو و همچنین سایر فرصت‌های شغلی در مؤسسات و شرکت‌های فعال در نانو است که لزوماً به‌صورت تخصصی از فناوری نانو استفاده نمی‌کنند. ستاد ویژه توسعه فناوری نانو با توجه به اهمیت این موضوع، این شاخص را در شاخص‌های کلان سند ده‌ساله دوم قرار داده است. طبق برآورد صورت گرفته، میزان این شاخص در پایان سال ۱۳۹۳، ۵ هزار نفر برآورد شده و دستیابی به ۲۵ هزار نفری تا سال ۱۳۹۸ هدف‌گذاری شده است. [۲۵]

گزارش زیادی درباره استفاده از نانو ذرات برای تصفیه آلاینده‌های زیست‌محیطی ارائه شده است. در صورت استفاده از روش‌های متداول برای تصفیه حلال‌های آلی حاوی ترکیبات کلردار مانند تری کلرو اتیلن،^{۱۰} همواره مقداری دی‌کلرو اتیلن^{۱۱} و پلی وینیل کلراید^{۱۲} در اثر واکنش‌های جانبی ایجاد می‌شوند که بسیار مضرند. با استفاده از ذرات نانو ساختار تولید این‌گونه محصولات جانبی نامطلوب عملاً به صفر می‌رسد. [۱۱] ذرات نانو ساختار انعطاف‌پذیری زیادی در تصفیه آلاینده‌ها دارند.^{۱۸} به‌عنوان مثال از ذرات نانو ساختار برای تصفیه فوری خاک، رسوبات، ضایعات جامد، تصفیه آب و پسماندهای مایع استفاده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که ذرات نانو ساختار مانند آهن، پالادیم و روی، کاربردهای زیادی در تصفیه و پالایش آلوده‌کننده‌های زیست‌محیطی، مانند آفت‌کش‌های کلرینه با منشأ آلی و حلال‌های آلی هالوژونه یافته‌اند.

میکرو حباب و نانوحباب‌ها پتانسیل بسیار زیادی جهت استفاده در صنایع متنوع مهندسی دارند. نانوحباب‌های اکسیژن و هوا به دلیل افزایش عملکرد فعالیت زیستی و انتقال ذرات معلق در تصفیه آب بسیار مؤثر واقع می‌شوند. همچنین میکرو حباب‌ها بدون ایجاد کمترین آلودگی، آلاینده‌های آلی و میکروبی را به‌راحتی از بین می‌برند. فرآیند تولید نانوحباب کم‌هزینه است و ادغام فرآیند نانوحباب با دیگر فرآیندهای مرسوم تصفیه آب، می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌ها، بازدهی کار را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. [۱۱] ایران با تمرکز به این ظرفیت‌ها می‌تواند از فناوری نانو در پایداری محیط‌زیست خویش بهره‌مند شود. در قانون پنج‌ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ایران در حوزه محیط‌زیست در ماده ۲۸ بر همکاری بین‌المللی در پروژه‌های زیست‌محیطی، احیاء، توسعه و غنی‌سازی جنگل‌ها تأکید شده است. [۲۳]

۴-۶- تأثیر فناوری نانو در کاهش فقر و رشد اقتصادی

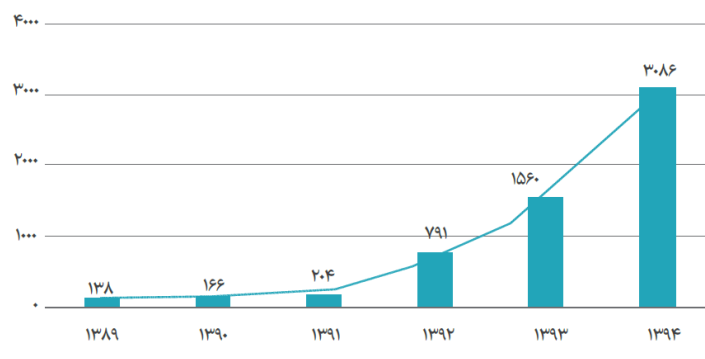
انقلاب نوظهور فناوری نانو عصر طلایی رشد اقتصاد جهان و افزایش سطح زندگی مردم را نوید می‌دهد. به همین دلایل امروزه دولت‌های بسیاری در اغلب نقاط جهان با درک این پدیده شگرف، برنامه‌های جدی را برای توسعه و بهره‌گیری از آثار مثبت آن در پیش گرفته‌اند. از این فناوری به‌عنوان رنسانس فناوری و روان‌کننده جریان سرمایه‌گذاری یاد می‌شود. ورود محصولات متکی بر این فناوری جهشی بس عظیم در رفاه و کیفیت زندگی و توانایی‌های دفاعی و زیست‌محیطی به همراه خواهد داشت و موجب بروز جابجایی‌های بزرگ اقتصادی خواهد شد. هم‌اکنون بخش‌های دولتی و خصوصی کشورهای مختلف جهان شامل ژاپن،

2. Trichloroethylene (TCE)

3. Dichloroethene

4. Polyvinyl chloride

۵. در ایالات متحده مسئول ۳۳٪ از نشر CO₂، ۶۶ درصد از اتلاف روغن و ۵۰٪ از آلودگی هوای شهری، حمل‌ونقل است. فناوری نانو برای تولید اجزاء کلیدی سیستم‌های پایدار حمل‌ونقل، نیز استفاده می‌شود. ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ماهنامه فناوری نانو، سال سیزدهم، اردیبهشت ۱۳۹۳، شماره ۲.



نمودار ۳- روند رشد سالیانه بازار فروش محصولات نانویی ساخت داخل (۱۳۸۹-۱۳۹۴)

منبع: گزارش عملکرد برنامه پیشرفت فناوری نانو در ایران (سند ملی دهساله دوم) در سال ۱۳۹۵، ص ۱۶

روستایی به‌طور متوسط 10^6 تا 10^8 نانوذره در هر لیتر هوا وجود دارد که این مقدار بستگی به شرایط محلی دارد. [۲۸] در یک مطالعه ماهی قزل‌آلا در معرض نانوذرات نقره تجاری با اندازه مختلف (۱۰، ۳۵ و ۶۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مقادیر بالایی از ذرات با اندازه کوچک (۱۰ نانومتر) در بافت‌های روده و کبد تجمع یافته است. [۲۹]

اطلاعات اندکی در مورد خطرات زیست‌محیطی نانومواد به دلیل جدید بودن این فناوری و ناکافی بودن منابع اختصاصی در فهم خطرات این فناوری وجود دارد. [۳۰] این مسئله، به‌عنوان مانعی در ایجاد قوانین خاص زیست‌محیطی در حوزه فناوری نانو تبدیل شده است. نظام حقوقی ایران تا به امروز قوانین خاصی در حوزه فناوری نانو تدوین نکرده است. در سال‌های اخیر تمرکز نهادها و سیاست‌گذاران عرصه فناوری نانو بر تدوین استانداردهای خاص فناوری نانو و سنجش ابعاد فنی نانومقیاس بوده است. در فقدان قوانین خاص، کمیته‌ها و کارگروه‌های تخصصی فناوری نانو به‌منظور ایمنی محصولات نانومواد، تدوین دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های خاص این فناوری را در دستور کار قرار داده‌اند. تا به امروز قانون خاصی در مورد ایمنی زیست‌محیطی محصولات نانومواد از سوی سازمان محیط‌زیست ایران یا نهادهای مرتبط نیز تدوین نشده است. سازمان حفاظت از محیط‌زیست تدوین دستورالعمل‌ها و تهیه استانداردهای خاص نانو را شروع کرده است که هنوز تکمیل نشده است. [۳۱] لذا رویکرد نهادها و کارگروه‌های مرتبط با ایمنی زیست‌محیطی نانومواد، تکیه بر قوانین و آیین‌نامه‌های موجود بوده است. آیین‌نامه اجرایی کنترل و نظارت بهداشتی بر سموم و مواد شیمیایی مصوب ۱۳۷۸/۶/۱۶ ازجمله این آیین‌نامه‌ها است. حمل‌ونقل ایمن مواد شیمیایی (ماده ۱۴)، تعهد تولیدکنندگان و فروشندگان به رعایت ایمنی محیط‌زیست و سلامت انسان (ماده ۵)، الزام تولیدکنندگان، نگهدارندگان و فروشندگان مواد شیمیایی به تجهیز سیستم پیشگیری و مقابله با حوادث شیمیایی (ماده ۸) ازجمله تعهدات مذکور در این آیین‌نامه است که در مورد محصولات نانومواد نیز اعمال می‌شود. آیین‌نامه اجرایی حمل‌ونقل جاده‌ای مواد خطرناک مصوب ۱۳۸۰/۱۲/۲۷ هیئت‌وزیران نیز مبنایی برای حمل‌ونقل

۷- فقدان قوانین خاص: چالشی در بهره‌مندی از ظرفیت‌های نانو

فناوری‌های نوظهور، غالباً مشکلات سیاسی ویژه، اساسی و اغلب پیچیده‌ای را برای جامعه جهانی ایجاد می‌کنند. در مقابل این مشکلات، سیستمی از مدیریت ریسک در مقابله با آن برقرار می‌شود و این مشکل به دلیل عدم قطعیت قانونی^۱ تبدیل به چالشی اساسی در برابر این ریسک‌ها می‌شود. [۲۶] فناوری نانو ممکن است علاوه بر کاربردهای بسیار خود با تهدیدها و آثار نامطلوب نیز همراه باشد.

اگرچه نانوذرات^۲ قابلیت محصولات را افزایش می‌دهد، با این حال مطالعات علمی اخیر نشان می‌دهد که نانوذرات، مضرات مهم و منحصر به فردی برای محیط‌زیست در پی دارد. استفاده از نانوذرات در سال‌های اخیر به‌طور قابل‌توجهی در فرآیندهای خانگی و صنعتی افزایش پیدا کرده است. این ذرات، رفتار فیزیکی و شیمیایی خاصی را به دلیل نسبت بالای سطح به حجم، اندازه کوچک و خصوصیات بصری مرتبط با اندازه‌شان، نشان می‌دهند. [۲۷]

با کوچک‌تر شدن اندازه نانوذرات، نسبت سطح به حجم آن‌ها به‌طور نمایی افزایش می‌یابد که باعث فعال‌تر شدن و سمی‌تر شدن این ذرات می‌شود. همچنین با کاهش اندازه آن‌ها، امکان نفوذشان در بافت‌های گیاهی و جانوری افزایش می‌یابد. ذرات نانو ممکن است سرعت جهش^۳ باکتری‌ها را افزایش دهند و تهدیدی بالقوه برای محیط‌زیست و سلامت انسان باشند. علی‌رغم اینکه فناوری نانو محصولات موجود را مؤثرتر و کارآمدتر می‌کند، اندازه این ذرات که جزء خواص مهم آن‌ها است، می‌تواند تهدیدی برای محیط‌زیست باشد. نانوذرات در هوا به‌طور گسترده‌ای پراکنده می‌شوند. برآورد شده است که در مناطق شهری و

1. Regulatory Uncertainty
2. Nanoparticles
3. Mutation



ایمن نانومواد است. مطابق با ماده ۲ این آیین‌نامه حمل‌ونقل هرگونه مواد خطرناک (موادی که برای محیط‌زیست و سلامت انسان مضر- باشد)، مستلزم رعایت مقررات و ضوابط این آیین‌نامه است. لزوم داشتن مجوز حمل و نقل، رعایت استانداردهای مرتبط و اعمال احتیاط- های لازم از سوی متصدیان حمل‌ونقل و تحمیل جرائم و مجازات در صورت تخطی از این تعهد، بخشی از الزامات موجود در این آیین- نامه است.

یکی از پیش‌نیازهای تجاری‌سازی محصولات و ورود به بازارهای جهانی، اخذ استانداردهای بین‌المللی و مشارکت در فرآیند تدوین استانداردها و پروتکل‌های جهانی است. از طرف دیگر، نبود پروتکل‌ها و استانداردهای ملی و بین‌المللی مربوط به روش‌های اندازه‌گیری کارایی و خواص جدید محصولات نانو و نبود استانداردهای مربوط به جنبه‌های ایمنی این نوع محصولات، موجب شده که کشورهای پیشرو در فناوری نانو، استانداردهای را یکی از برنامه‌های اصلی توسعه فناوری نانو در کشور خود قرار دهند.

استانداردهای ملی ایمنی نانوفناوری و محصولات نانو در ایران

دسته‌بندی	عنوان استاندارد	شماره استاندارد	سال انتشار
محیط زیستی	فناوری نانو- راهنمای مشخصه یابی فیزیکی- شیمیایی مواد نانومقیاس مهندسی‌شده برای ارزیابی توکسیکولوژیک	۲۱۲۰۶	۱۳۹۵
	فناوری نانو- ارزیابی اثر نانوذرات بر تشکیل کلی‌های گرانولوسیت- ماکروفاژ موش- روش آزمون	۱۳۵۶۶	۱۳۸۹
	فناوری نانو- آزمون اندوتوکسین نانومواد در سیستم‌های برون تن-روش آزمون	۱۴۱۵۳	۱۳۹۰
	فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۵- واژه‌های مشترک نانو- زیست	۱۸۳۹۲-۵	۱۳۹۳
	فناوری نانو- واژه‌نامه- قسمت ۷- تشخیص و درمان در مراقبت‌های بهداشتی	۱۸۳۹۲-۷	
	فناوری نانو- مشخصه‌های سوسپانسیون‌های کاری نانو اشیا برای سنجش برون تن برای ارزیابی سمیت ذاتی نانو شی	۲۱۱۴۴	۱۳۹۵
محیط کار	فناوری نانو- کالای نساجی با خاصیت ضد میکروبی- روش آزمون	۲۱۱۹۵	۱۳۹۵
	آیین کار سلامت و ایمنی در محیط‌های کار با نانومواد- آیین کار	۱۳۳۲۵	۱۳۸۸
	فناوری نانو- بسته‌بندی و حمل‌ونقل ایمن نانومواد- آیین کار	۱۳۷۳۶	
	فناوری نانو- تولید نانوذرات فلزی برای آزمون سمیت استنشاقی با استفاده از روش تبخیر- تراکم	۱۴۱۵۲	۱۳۹۰
	فناوری نانو- تعیین مشخصات نانوذرات در محفظه‌های مواجهه استنشاقی برای آزمون سمیت استنشاقی	۱۹۱۱۱	۱۳۹۳
	فناوری نانو- تهیه برگه اطلاعات ایمنی ماده	۱۹۵۴۴	۱۳۹۴
	فناوری نانو- آموزش ایمنی و سلامت برای نیروی کار- راهنما	۲۱۱۹۸	۱۳۹۵

گرفت. بر مبنای همین ویژگی‌های خاص نانو، حقوق‌دانان و صاحب‌نظران بر نیاز به قوانین خاص در فناوری نانو تأکید می‌کنند.

به‌طور کلی حقوق‌دانان از اوایل توسعه فناوری نانو تا زمان حاضر با سه مسئله بنیادین روبرو بوده‌اند: الف) ناخشنودی دولت‌های ملی از خلق موانع قانونی برای بی‌بهره ماندن از توانایی‌های تجاری فناوری نانو در کسب بازار جهانی (ب) ناشناخته بودن خطرات ذرات نانو تا مدت‌ها قبل و ج) بی‌میلی قانون‌گذاران از تدوین قوانین پیش از موعد و ناکارآمد. [۳۲]

آقای دیوید فورست در مقاله‌ای با عنوان "قانون‌مند کردن توسعه فناوری نانو"^۲ بر اهمیت پوشش دادن به ابعاد حقوقی این

با توجه به اهمیت موضوع، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو با مشارکت سازمان ملی استاندارد ایران، در سال ۱۳۸۵، کمیته فنی متناظر استانداردسازی فناوری نانو را تأسیس کرد. این کمیته متناظر با کمیته بین‌المللی استانداردسازی فناوری نانو^۱ فعالیت می‌کند. استانداردهای زیر بخشی از استانداردهای ایمنی تدوین شده از سوی سازمان ملی استاندارد ایران و با همکاری ستاد ویژه توسعه فناوری نانو است.

در توجیه نیاز به قوانین خاص در حوزه فناوری نانو می‌بایست به این سؤال پاسخ داد که آیا فناوری نانو ویژگی‌های خاصی دارد و این ویژگی‌ها برای نظام حقوقی موجود ناشناخته است؟ [۱۸] در مباحث قبلی ویژگی‌های منحصر به فرد مقیاس نانو مورد توجه قرار

1. David Forrest, "Regulating Nanotechnology Development", Foresight Nanotech Institute, Mar. 23,

1. ISO/TC229

بسیار آرموده‌اند. حفاظت از محیط‌زیست و پایداری توسعه، کاهش فقر و توسعه اقتصادی در کلیه ابعاد آن که در چارچوب آرمان‌ها و اهداف توسعه پایدار بر آن‌ها تأکید شده است، مستلزم دستیابی به الگوهای نوینی از توسعه و بهره‌مندی از علم و فناوری‌های نوین است. بر مبنای همین نیازها، جهان در دهه ۱۹۶۰ به فناوری نانو دست یافت و این علم نوظهور تحولی شگرف در دانش بشری به وجود آورد. این اندیشه نوین به دلیل ظرفیت‌ها و قابلیت‌های بالقوه در جهت رشد اقتصادی و افزایش رفاه مردم به سرعت در سطح جهان گسترش یافت. ایران نیز از این ظرفیت‌ها غافل نماند و در سال‌های اخیر در کنار پیشرفت‌های خوبی که در حوزه فناوری نانو کسب نموده است در راستای اهداف توسعه پایدار قدم می‌دارد. ایران علی‌رغم اینکه در مسیر اهداف توسعه پایدار به نتایج خوبی رسیده است، با این حال تا رسیدن به توسعه پایدار فاصله دارد. لذا در طرح اندیشه‌های نوین، تحلیل شرایط موجود ضرورت داشته و ایران نیازمند بهره‌گیری از فناوری نانو برای رسیدن به توسعه پایدار است. به‌ویژه با پیشرفت‌های خوب ایران در سال‌های اخیر در این حوزه، این فناوری می‌تواند تأثیری اساسی در بهبود وضعیت ایران در حوزه‌های محیط‌زیست، پزشکی و مراقبت‌های بهداشتی و رونق اقتصادی این کشور داشته باشد. با این حال ایران در حوزه فناوری نانو با چالش‌هایی مواجه است و در پاسخ به این چالش‌ها که مرتبط با آرمان‌ها و اهداف توسعه پایدار است، می‌بایست رویکردی نوین در فناوری نانو مبتنی بر تدوین قوانین خاص در این حوزه در کنار افزایش سرمایه‌گذاری، ایجاد برنامه تعاملی میان بخش دولتی، نهادها و سازمان‌های همکار همچون سازمان محیط‌زیست، وزارت امور خارجه، مراکز دانشگاهی و شرکت‌ها و مراکز خصوصی اتخاذ نماید.

۹. منابع

- [1] United Nations, ISBN 978-92-1-1011284-2, available at: <http://www.refworld.org/docid/51f8fff34.html>. (2013)
- [2] UN Economic and Social Council <http://www.un.org/en/ecosoc/about/mdg.shtml> (2015)
- [3] <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals>
- [4] <http://www.mdgmonitor.org/countryprogresscfm=IRN&cd=364> (August 03, 2009)
- [5] Statistical Center of Iran, Deputy for statistical Project, (2006)

حوزه تأکید می‌کند. علی‌رغم ماهیت پیشرو فناوری نانو در اواخر دهه ۱۹۸۰، فورست ادعا می‌کند که توسعه فناوری نانو به‌طور جدی توانایی نظام حقوقی در واکنش سریع و حفظ تعادل مناسب میان خطرات و منافع فناوری نانو را با چالش مواجه می‌کند. [۳۳] این استدلال، فورست را به این نتیجه می‌رساند که به‌منظور توسعه ایمن فناوری نانو، دولت‌ها می‌بایست چارچوب‌های قانونی خاص و انعطاف‌پذیر در سطوح مختلف قانونی و بسته به هر مرحله از توسعه تدوین نمایند. [۳۴]

پینسون توصیه می‌کند که به دلیل خصوصیات منحصر به فرد این فناوری نوظهور، همچون غیر آشکار بودن و تغییرات سریع فناوری، این حوزه می‌بایست از طریق نظام حقوقی متوازن جدیدی قانونمند شود. [۳۵]

دیویس ضمن انتقاد به قوانین موجود، تدوین قوانین جدید در حوزه نانومواد را به سه دلیل لازم می‌داند: نخست، عدم توانایی در پاسخ به رفتارهای منحصر به فرد و غیرقابل پیش‌بینی نانوذرات؛ دوم، ضعف مقام قانونی برای بازبینی ساخت نانوذرات و سوم؛ سلطه سرمایه‌گذاری سازوکارهای اجرایی و ارزیابی دولت فدرال. [۳۶]

رویگرد ایران همانند اغلب کشورهای پیشرو در حوزه فناوری نانو، تکیه بر قوانین موجود برای ضابطه‌مندی این حوزه بوده است. در این مدت بخش عمده‌ای از فعالیت‌های قانون‌گذاری شامل تلاش برای جمع‌آوری داده‌های سنجیده‌تر، استانداردسازی و هماهنگ‌سازی ارزیابی ریسک به‌منظور فعال کردن سازمان‌های قانون‌گذار برای تنظیم سیاست‌ها در کنار ایجاد دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های ایمنی و نظارتی در حوزه‌های محیط‌زیست، ایمنی و سلامت محیط شغلی و ایمنی محصولات مصرفی بوده است. با این حال، توسعه پایدار فناوری نانو در ایران، سرعت بخشیدن به تجاری‌سازی محصولات نانو و بهبود کیفیت زندگی مردم، نیازمند ایجاد تعادل میان فرصت‌ها و خطرات فناوری نانو از طریق ایجاد چارچوب‌های خاص حقوقی است. در راهبرد ده‌ساله توسعه فناوری نانو ایران در بحث تحلیل وضعیت درونی و بیرونی فناوری نانو، نبود بستر حقوقی کارآمد به‌عنوان یکی از نقاط ضعف اصلی ایران در فناوری نانو نام برده شده و ایجاد بسترهای حقوقی و قانونی مناسب از سوی دولت به‌عنوان عاملی اساسی در سرعت بخشیدن به پیشرفت فناوری نانو قلمداد شده است. [۳۷]

۸- نتیجه‌گیری

هدف‌های توسعه هزاره و متعاقب آن اهداف توسعه پایدار، چکیده‌ای از آمل توسعه جهانی بودند که ملل متحد بر آن شدند تا از این رهگذر، مانعی در گسترش فقر و توسعه نیافتگی ایجاد نموده و به سمت بهبود وضع جهان کنونی قدم بردارند. چنین می‌نمود که خواست جهانی، بهبود شرایط کنونی ملت‌هایی است که سال‌ها از توسعه نیافتگی رنج می‌برند و پیامدهای منفی آن را



- [۲۲] فروغی، محمدرضا فروغی، انتشارات دانشگاه اسلامی واحد نجف آباد، ۱ (۱۳۸۸)
- [۲۳] قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۹۶-۱۴۰۰)،
- [۲۴] ریاست جمهوری، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ویرایش دوم، (۱۳۹۴)
- [۲۵] "گزارش عملکرد اجرای برنامه پیشرفت فناوری نانو در ایران ۱۴۰۴ (راهبرد ده ساله دوم توسعه فناوری نانو)، ۱۳۹۴،
- [26] Falkner. R, Jasper, N, *Global Environmental Politics*, 12 (1). pp. 30-55. (2012)
- [27] Xiao X, Fan FRF, Zhou J, *J Am Chem Soc*; 130: 16669-77. (2008)
- [28] Donaldson, K., V. Stone, C. Tran, W. Kreyling and P. Borm, *Occupational and environmental medicine*, 61:727-728. (2004)
- [29] Scown TM, Santos EM, Johnston BD, *Toxicol Sci*; 115: 521-34. (2010)
- [30] Bosso, Christopher J. *RFF Press*. 1 (2010)
- [31] <http://news.nano.ir/1/30964>
- [32] Lyria Bennett Moses, *Bulletin of Science Technology Society*, No. 27. (2007)
- [33] David Forrest, Foresight Nanotech Institute, Mar. 23, <http://www.foresight.org/nano/Forrest1989.html> . (1989)
- [34] Diana Bowman & Graeme Hodge, *Columbia Sci & Tech. L. Rev*, 8 (2007).
- [35] Robert D. Pinson, 22 *Berkeley J. Int'l L*. 279. (2004)
- [36] Maksim Rakhlin, *Duke L. & Tech. Rev*. 2. (2008)
- [۳۷] ریاست جمهوری، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو ایران، چاپ اول، (۱۳۸۴)
- [6] <https://www.amar.org.ir> - شاخصهای توسعه پایگاه - MDG (In Persian).
- [7] Website of the Ministry of Health and Medical Education, Deputy for Health Affairs, www.mohme.gov.ir
- [8] the 2nd Environmental Report of Iran, Department of Environment, 2005
- [9] <http://www.ettelaat.com/etiran/?p=152616>, (In Persian).
- [10] Ana Rita Nogueira de Sousa Branquinho Nordberg, *Master's Thesis, Stockholm University, autumn 2009*,
- [۱۱] نجف زاده، عباس، انتشارات محقق اردبیلی، ۱ (۱۳۸۷)
- [12] <http://www.britannica.com/dictionary?book=Dictionary&va=nanotechnology>
- [13] http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9_gci213444,00.html
- [14] B. Bhushan & Others, *Springer Berlin Heidelberg*, 1 (2007).
- [۱۵] ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۱۳۹۴
- [16] <http://statnano.com/country/iran>
- [۱۷] احمدی حجت، انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران، ۱ (۱۳۸۶)
- [18] Matsuura. Jeffrey H, *Artech House*, 1, (2006).
- [19] Gregory Mandel, Research Paper No. 2007-28, Temple University, Available at: <http://ssrn.com/abstract=1018707>;
- [20] John Miller, *Nanotechnology L. & Bus*, Vol. 1, 2004
- [۲۱] بی ویسواناسان، ترجمه فرزاد افشاری و سیما حسین زاده، انتشارات میلان، ۱ (۱۳۸۹)