نانوتکنولوژی: مخاطرات بهداشتی و محیط زیستی

دکتر مهناز مظاهری اسدی*

آزاده غلامی قوام‌آباد**

چکیده

ورود هر ماده جدیدی به محیط کار و یا زندگی ممکن است با خطرهای بالقوه و بالفعل زیادی همراه باشد که عدم بررسی آنها پیش از استفاده، خسارات بسیاری به همراه خواهد داشت. در این مقاله به طور کلی به بررسی تأثیر نانوذره‌ها و فناوری نانو بر سلامت انسان‌ها و یا ضررهای احتمالی آنها برای محیط زیست پرداخته شده است. فناوری نانو در کنار جلب نظر مردم، به دلیل خطرات زیست‌محیطی خود، موجب بخشی از دغدغه‌ها و نگرانی‌های مردم شده است. از این رو پژوهشگران می‌کوشند تا بررسی روش‌های مدیریت خطرات نانو بر سلامت افراد، یکی از برنامه‌های پژوهشی آنها در چند سال آینده باشد.

واژگان کلیدی

نانوذره، محیط زیست، سلامت

---

*. دانشیار گروه محیط زیست، پژوهشکده بیوتکنولوژی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

Email: mxmazaheriassadi@yahoo.com

** دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی ـ واحد علوم و تحقیقات

Email: az.gholami@yahoo.com

تاریخ ارسال: ۸۸/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۰۱/۱۸

فصلنامه راهبرد / سال نوزدهم / شماره۵۵ / تابستان ۱۳۸۹ / صص ۵۸-۳۷

مقدمه

نوریو تـاینگوچی، اسـتاد دانشـگاه علـوم توکیو، در سال ۱۹۷۴ برای اولین بار اصطلاح "فناوری نانو" را معرفی کرد. اریک دکسلر در بحـث برانگیزتـرین کتـاب خـود بـه نـام "موتورهای خلقت: ظهور عصر فنـاوری نـانو" ایـن اصـطلاح را عمومیـت بخشـید. در ایـن کتاب آینده تحقیق و توسعه فناوری نـانو بـه تصویر کشیده شده و تمرکـز اصـلی آن روی یکی از جنبه‌های فناوری نانو بـه نـام آرایـش مولکولی است. (سـایت رسـمی سـتاد ویـژه توسعه فناوری نانو، ۲۰۰۹؛ www.Nano.ir)

بـه طـور کلـی فنـاوری نـانو در زمـره فناوری‌های جدیدی است که هنوز در مرحله آغازین رشـد خـود قـرار دارد. تفـاوت اصـلی فناوری نانو با فناوری‌هـای دیگـر در مقیـاس مواد و ساختارهایی است که در ایـن فنـاوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حقیقـت اگـر بخواهیم تفاوت این فناوری را با فناوری‌هـای دیگر به صـورت قابـل ارزیـابی بیـان نمـاییم، می‌توانیم وجود عناصر پایه را به عنـوان یـک معیار مهم ذکر کنیم. حوزه کاربرد نانوذره‌هـا تنوع بسیار زیادی دارد. نانوپودرهـا مخلـوطی از ذره‌ها بـا ابعـادی بـین ۱ تـا ۱۰۰ نـانومتر هستند. ادعا شده است فناوری نانو به عنـوان عامل جلوبرنده یک انقلاب صـنعتی دیگـر، از پتانسیل اقتصادی و فناوری بالایی برخـوردار است. از این رو بحث و پژوهش برای بررسـی خطرهای احتمـالی کـاربرد ایـن ذره‌هـا روی سلامت انسان، ایمنی و محیط زیسـت بسـیار مهـم و حسـاس مـی‌باشـد (National Nanotechnology Research AGENDA, 2005, pp.21-30).

در زمینه تهدیدهـای سـلامت و محـیط زیست توسط نـانوذره‌هـا، بیشـترین مطالعـه روی نانولوله‌های کربنـی کـه امـروزه کـاربرد تجاری دارند، انجام شده است. در حال حاضر سازمان ملی فناوری نانو در آمریکا معیارهـای زیر را برای تعریف آن به کار می‌برد:

الف) تحقیق و توسعه فنـاوری در سـطح اتمی، مولکولی یا مـاکرومولکولی در مقیـاس طولی حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر؛

ب) ایجاد و استفاده از ساختارها، ابزارهـا و سیستم‌هایی که به دلیل اندازه کوچک و یا متوسط خود ویژگی‌ها و عملکردهای جدیدی دارند.

ج) توانـایی کنتـرل یـا دسـتکاری در مقیاس اتمی.

بـا توجـه بـه پیشـرفت‌هـای علمـی در مقیاس میکروسکوپی و زمینـه‌هـای مـرتبط، امکان مشاهده و دستکاری مـواد در مقیـاس اتمی یا مولکولی برای بشر مقدور شده اسـت.

(سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو،۲۰۰۹).

۱- منابع نانوذرات

در بحث فناوری نانو، اولین و مهم‌ترین عناصر پایه، نانوذرات می‌باشند. در حقیقت عناصر پایه همان عناصر در مقیاس نانو هستند که خواص آنها در مقیاس نانو با خواص آنها در مقیاس بزرگ‌تر تفاوت دارد و می‌توانند از مواد گوناگونی تشکیل شوند، مانند نانوذرات فلزی، عایقی، سرامیکی، نیمه‌هادی و ... (National Nanotechnology Research AGENDA, 2005, pp.21-30) ذرات با سایز نانو[1] (NSP)، همگی ساخته دست بشر نیستند، بلکه نانوذرات به لحاظ منشأ می‌توانند به سه دسته تقسیم‌بندی شوند:

الف) نانوذرات طبیعی: ذرات شامل این گروه به طور طبیعی و از طرق مختلف در طبیعت ایجاد و پراکنده می‌شوند. مانند آتش‌سوزی جنگل‌ها و یا فوران آتشفشان‌ها و غیره.

ب) نانوذرات انسانی: اغلب به عنوان محصول جانبی فعالیت‌های انسانی در صنعت تولید می‌شوند و معمولاً منشأ آن، فعالیت‌های روزمره بشر است. مانند دود سیگار، سوزاندن زباله، سوختن یک شمع، نانوذراتی که درحین جوشکاری به‌وجود می‌آید و یا از اگزوز ماشین‌ها خارج می‌شود و غیره.

ج) نانوذرات مصنوعی یا ساخته دست بشر، شامل نانوذرات مهندسی‌شده می‌باشد. این نانوذرات عمدتاً به علت ویژگی‌های مطلوبشان مانند خواص جدید فیزیکی و شیمیایی، واکنش‌پذیری بالاتر و ... تهیه می‌شوند. این ویژگی‌های جدید مواد که فقط در مقیاس نانو مشاهده می‌شود، دارای کاربردهای تجاری می‌باشد. مثلاً نانوذرات می‌توانند در کرم‌های ضد آفتاب، یا خمیر دندان‌ها و یا پوشش‌های بهداشتی استفاده شوند. (سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۲۰۰۹)، (Suwa, 2002, pp. 935 – 942)

نانوذرات طبیعی با نانوذرات سنتز شده تفاوت‌های زیادی دارند. نانوذرات طبیعی معمولاً عمر کوتاهی دارند و اغلب قابل حل در آب می‌باشند و به محض ورود به دستگاه تنفسی تا حد زیادی شکل ریز و ذره‌ای خود را از دست می‌دهند. مثلاً ذرات حاصل از احتراق تمایل زیادی به چسبیدن به هم دارند. بنابراین در طی مدت کوتاه، ذرات بزرگ‌تری در حد میکرو تشکیل می‌دهند.

1. Nano-Sized Particles

خاصیت اصلی کلیه نانوذرات چه مصنوعی و چه طبیعی این است که تمایل به چسبیدن به هم و تشکیل ذرات بزرگ‌تر دارند. ذرات بزرگ‌تر به نوبه خود دارای قابلیت تحرک و واکنش‌پذیری کمتری نسبت به انواع کوچک‌تر خود هستند. بنابراین برای پیشگیری از این فرآیند، تولیدکنندگان نانوذرات مصنوعی با استفاده از پوشش‌های خاص، امکان به هم‌چسبیدن ذرات را محدود می‌کنند. همین امر باعث مرغوبیت کالای تولیدی آنهاست. در شهرهای بزرگ میزان نانوذرات طبیعی بین $\mu g / m^3$ ۰/۸ تا ۱/۶ می‌باشد. شایان ذکر است این اندازه‌ها در نانوذرات مصنوعی بسیار کمتر است (Suwa, 2002, pp. 935 - 942).

۲- کاربردهای نانوذرات

ابتدا به جنبه‌های مثبت فناوری نانو در صنایع گوناگون پرداخته می‌شود:

الف) دارو رسانی

درمان‌های فلج عصبی با نانوذرات آهن، واکسن‌رسانی سریع و کارآ با نانوذرات و نانو کپسول‌ها و غیره.

ب) ساختمان‌سازی

نانو سیلیس، ذراتی گلوله‌ای شکل به قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر که به صورت ذرات پودر و یا به صورت معلق در مایع می‌باشند که نوع مایع، معمولی‌ترین نانوسیلیس می‌باشد. اضافه کردن نانوذرات سیلیس[۲] و نانوذرات آهن[۳] به ملات سیمان باعث بهبود مقاومت فشاری و خمشی ملات نسبت به ملات معمولی شده است.

ج) رنگ‌ها و روکش‌ها

نانوذرات می‌توانند به صورت فیزیکی خواص رنگ‌ها را تغییر داده، سختی و مقاومت به خراشیدگی را در آنها بالا برده و حتی می‌توانند آنها را رسانا سازند. از جمله کاربرد این رنگ‌ها، رنگ‌های ضد کثیفی برای بدنه کشتی‌ها می‌باشد. فناوری روکش‌دهی پیشرفته همچون مواد مبتنی بر نانوذرات سرامیکی می‌تواند مقاومت حرارتی آنها را بهبود بخشد (سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۲۰۰۹)، (Singer, 2008).

د) صنایع خودرو

روغن موتورهای بسیار کارآتر، لاستیک‌های مقاوم در برابر فرسایش و با خاصیت ارتجاعی بهینه و غیره.

ه) صنایع برق و الکترونیک

ساخت دیودهای نوری[۴] با استفاده از مواد نانو موجب می‌شود تا ۸۰ درصد در

2. Nano SiO2
3. Nano Fe2o3
4. Lightning Diodes

هزینه برق صرفه‌جویی شود، تولید نمایشگرهای شفاف و....

و) صنایع نساجی

استفاده از نانوذرات پیگمنت جهت رنگرزی منسوجات: نانوذرات کربن با اندازه ۸ نانومتر به آهستگی می‌توانند پلی‌استر و پلی‌اکریل را تحت شرایط معمول رنگرزی کنند (سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۲۰۰۹). ایجاد خودتمیزکنندگی پارچه‌ها[5] با استفاده از نانوذرات: امروزه در بسیاری از پیراهن‌ها و جوراب‌ها از نانوذرات اکسید تیتانیوم استفاده می‌شود. نانوذرات اکسید تیتانیوم بدین ترتیب عمل می‌کنند که با جذب نور خورشید و نشان دادن خواص فتوکاتالیستی، باعث کشتن میکروب‌ها می‌شوند. همچنین چند نمونه دیگر: تهیه لباس‌های ورزشی که توسط الکتریسته ساکن گرد و غبار به آنها نچسبد، تهیه لباس‌های ضد گلوله که حاوی ذرات نانو هستند، تولید البسه هوشمند؛ البسه‌ای که در شرایط مختلف محیطی بتواند عکس‌العمل مناسب داشته باشد، تهیه جوراب‌های هوشمند که گردش خون افراد دیابتی را بهبود بخشد و یا تهیه جوراب‌هایی که ضد بو باشند.

ز) شوینده‌ها

نانو بهسازها[6] در شوینده‌ها باعث کاهش سختی آب، تولید و حفظ شرایط قلیایی در محیط شستشو برای حذف آسان کلر، مساعد نمودن عملکرد مواد فعال سطحی و غیره می‌شوند (Aitlcen et al, 2004, pp. 87-91).

ح) سایرکاربردهای نانوذرات

بسته‌بندی‌های نفوذ ناپذیر در برابر گازها، بازیافت ساده‌تر کامپوزیت‌ها به‌وسیله نانوذرات، تولید روان‌کننده‌های جامد با نانوذرات، پیل‌های خورشیدی سبک‌تر با خصوصیات مکانیکی بهینه، نانوذرات اکسید تیتانیوم به طور وسیعی در واکنش‌های فتوکاتالیزری به عنوان کاتالیزر مورد استفاده قرار می‌گیرند (سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو،۲۰۰۹).

ط) صنایع غذایی

اختراعات فناوری نانو در محصولات غذایی منجر به ورود محصولات جدید و بدیعی به بازار شده است. در حقیقت، آنچه که در فناوری نانو در مواد غذایی جدید است، امکان اعمال تغییر در مواد غذایی آماده و اضافه کردن افزودنی‌های مورد نظر در اندازه‌های بسیار ریز و دستکاری محتویات فیزیکی مواد غذایی است.

5. Self Cleaning

6. Nano Bliders

در طی چند سال اخیر فناوری‌نانو به عنوان جزء مهمی از صنعت غذا تبدیل شده است. این فناوری مواد غذایی قدیمی را به ذراتی در ابعاد نانو تبدیل می‌کند که در داخل بدن رها شده و به خوبی جذب می‌شوند. این فناوری در غذاهای جدید کاربرد زیادی خواهد داشت. دستکاری در پلیمرهای غذایی و مجموعه‌های پلیمری باعث بهبود کیفیت غذا و سلامتی بیشتر مصرف‌کنندگان می‌شود.

در بخش تولید می‌توان هم در صنعت کشاورزی و هم در ابداع روش‌های جدید برای تولید غذا مانند به کارگیری نانوسنسورها در شناسایی آفت‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها و ژن‌های مختلف گیاهان و همچنین تولید آفت‌کش‌های بی‌خطر و نیز کاهش اثرات منفی آفت‌کش‌های موجود از این فناوری بهره گرفت، به علاوه می‌توان با سنتز مواد تغذیه‌ای در گروه‌های غذایی مورد نیاز طعم‌دهی، ترکیبات و پیوند آنزیم‌ها را به هم ریخته و به تولید مواد جدید غذایی با طعم‌ها و رنگ‌های مختلف دست یافت (Singer, 2008). هم اکنون برخی از شرکت‌ها مانند Nestle، Food، Hershey، Keystone و Unilever در حال کار بر روی طراحی زبان الکترونیکی هستند که شامل ترکیبی از حسگرهای مایع (الکترودهای پوشش داده شده با پلیمرهای هادی) به همراه فناوری تشخیص الگویی است که قادر به تشخیص طعم‌های ویژه و مجزا می‌باشد. از مهم‌ترین کاربردهای این زبان، آزمون چشایی نوشیدنی‌ها، و چشیدن مواد شیمیایی در حد مولکول است. در حقیقت از مهم‌ترین فعالیت این شرکت‌ها، کار روی بسته‌بندی‌های هوشمند غذایی است. از چنین نانوحسگرهایی که به رهایش مواد شیمیایی ناشی از فساد غذاها حساس هستند، می‌توان در بسته‌بندی‌های هوشمند استفاده کرد تا به محض شروع خراب شدن غذا، رنگ بسته‌بندی تغییرکرده، به مشتری هشدار می‌دهد. این سیستم به مراتب دقیق‌تر و مطمئن‌تر از فروش با تاریخ مصرف است. این حسگرها در بسته بندی گوشت و فرآورده‌های گوشتی، غلات و مواد پروتئینی به کار گرفته می‌شوند و قادر به تشخیص اولین نشانه‌های فساد در مواد غذایی هستند و با تغییر رنگ، فساد ماده غذایی را هشدار می‌دهد (سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۲۰۰۹).

سازمان‌های دیگر به کمک فناوری نانو در حال یافتن راهی برای تشخیص فساد مواد غذایی هستند. به عنوان مثال شرکت

AgroMicron، افشـــانه تشـــخیص دهنـــده نانوبیولومینســـانس را ســـاخته کـــه شـــامل پـروتئین لومینسـانت اسـت. در ایـن طـرح، افشـــانه ســـطح میکـــروب‌هـــایی ماننـــد Salmonella و E.coli را پوشـانده و از خـود نوری ساطع می‌کند و به این روش فساد مواد غذایی تشخیص داده مـی‌شـود. ایـن شـرکت امیدوار است بتواند محصول مـورد نظـر را بـا نام BioMark وارد بازار کند. در حـال حاضـر این شرکت در حال سـاخت افشـانه‌هـایی بـا روش‌های جدیـد اسـت تـا بتوانـد از آنهـا در حمل و نقل دریایی استفاده کند. با این کـار، دیگر نیـازی بـه فرسـتادن نمونـه‌هـای مـواد غذایی به آزمایشگاه برای تشخیص سـلامت و کیفیت محصولات در کشتزارها و کشتارگاه‌ها نیسـت (سـایت رسـمی سـتاد ویـژه توسـعه فناوری نانو،۲۰۰۹).

فناوری نانو علاوه بر بسـته‌بنـدی، تـأثیر زیادی روی گسترش مواد غذایی کـاربردی و تعاملی دارد؛ موادی که به نیازهای بدن پاسخ داده، می‌توانند در رسانش مواد غـذایی مـؤثر باشند. گروه‌های تحقیقاتی مختلفـی در حـال کار روی ساخت مواد غذایی جدید بر اسـاس تقاضا هستند. این مواد به صورت غیـر فعـال در بدن باقی مـی‌ماننـد و مـواد غـذایی را در صورت نیاز به سـلول‌هـا مـی‌رسـانند. عنصـر کلیدی این بخش، توسـعه نانوکپسـول‌هـایی است که با اسـتفاده از آنهـا در مـواد غـذایی می‌توان کار رسانش را به خوبی انجـام داد. از پیشرفت‌های دیگر در فـرآوری مـواد غـذایی، افـزودن نـانوذرات بـه مـواد خـوراکی بـرای افزایش جذب آنها در بدن است.

از فناوری نانو در صنایع آرایشـی ماننـد ساخت کرم‌های شفاف نیز استفاده مـی‌شـود. مثلاً ساخت کرم‌های ضد آفتـاب شـفافی کـه ویتامین E را مستقیم به پوست برساند. یعنی هدف، سـاخت کرمـی اسـت کـه بـه وسـیله پوست جذب شده و ویتامین E را بـه آرامـی آزاد کند، به عـلاوه دارای مـاده محـافظ UV نیز باشد. همچنین ساخت فرمـول‌هـای ضـد پیری که از نانوذرات تشکیل شـده نیـز یکـی دیگر از اهداف شرکت‌هایی است که در زمینه فناوری نانو در صنایع آرایشی مشغول فعالیت هستند (سـایت رسـمی سـتاد ویـژه توسـعه فناوری نانو، ۲۰۰۹).

با وجود تمام این مزیت‌ها ایـن حقیقـت که ایـن ذرات بسـیار ریـز مـی‌تواننـد از سـد سیستم دفاعی بـدن نیـز بـدون هـیچ مـانعی عبور کنند، موجب نگرانـی دانشـمندان شـده اسـت. عامـل دیگـر نگرانـی، ایـن اسـت کـه نـانوذرات مـی‌تواننـد بـه دیگـر آلاینـده‌هـای خطرناک در آب یا هوا متصل شوند یا با آنهـا

واکنش دهند و در نتیجه ورود آنها را در بدن آسان‌تر سازند. دونالد بروس، شیمیدان و رئیس مرکز مطالعات تکنولوژی‌های جدید اسکاتلند خاطرنشان می‌کند که مشکل اینجاست که این ذرات بسیار کوچک در کپسول‌ها به راحتی قادرند از غشای خونی دیواره مغز و همچنین دیواره سلول‌ها که به طور معمول مواد دیگر امکان عبور از آنها را ندارند، عبور کنند.

دیوید بنت، رئیس کمسیون اروپایی نانو بیوتکنولوژی در این باره می‌گوید: "با اینکه سیستم ایمنی بدن از بدو تولد می‌تواند با بسیاری از نانوذرات مضر برای بشر، مانند ذرات موجود در دود سیگار مقابله کند، اما این موضوع نباید باعث شود که ما بدون انجام تحقیقات گسترده بر روی اثرات ناشناخته نانو کپسول‌ها آنها را به بازار وارد کنیم" (Warheit a، 2005، pp.514-524).

ی) محیط زیست

فناوری‌های امیدبخش شامل حسگرها یا سنسورها و سایر دستگاه‌های به کاررفته برای آشکارسازی آلودگی و برطرف کردن آنهاست. برخی کاربردهای سودمند فناوری نانو درمحیط زیست در زیر آورده شده است:

۱. سنسورها یا حسگرها؛ انواع گسترده‌ایی از حسگرهای زیستی و روش‌های مربوطه طی چند سال گذشته در بازار معرفی شده‌اند. این دستگاه‌های آنالیتیکی[۷]، از عناصر تشخیص بیولوژیکی تشکیل می‌شوند که با آشکارسازی‌های سیگنال مرتبط هستند. (مثلاً آنزیم‌ها، میکروارگانیسم‌ها و غیره) این دستگاه‌ها نسبت به حضور و غلظت آنالیست، واکنش داده و پاسخی قابل اندازه‌گیری تولید می‌کنند. نانومواد و نانوساختارهای جدید مانند نانوذرات، نانوکریستال‌ها، نانولوله‌های کربنی، نانوالیاف و فیلم نازک به عنوان دستگاه‌های حسگر مشخص شده‌اند. نانوذرات کاربردهای بسیاری در سنسورها دارند. نانوذرات، نانوکریستال‌های نیمه‌هادی درخشان و نقاط کوانتومی دسته‌ای از نانوحسگرهایی هستند که توانایی آشکار کردن سموم موجود در محیط را دارند و مشخص شده است که نانوکریستال‌ها و نقاط کوانتومی همراه با پادتن‌ها می‌توانند به طور همزمان چهار نوع سم را آشکار کنند. پس در نهایت می‌توان گفت که هدف اصلی از طراحی نانو سنسورها، شناسایی آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی می‌باشد.

این نوع نانوسنسورها برای آشکارسازی همزمان چند آلاینده در نمونه‌های آب یا

7. Analytic

خاک با ظرفیت آشکارسازی حساسیت بالا به کار می‌رود. پیش‌بینی می‌شود که فناوری نانو موجب افزایش حساسیت حسگرها و تولید ارزان و خودکار آنها شود و بتواند در آزمایشگاه و خارج از آن جهت آشکارسازی سریع مواد سمی و بیماری زا (پاتوژن) به کار رود (Gerritzen, et al, 2004).

نسل جدیدی از نانوذرات به منظور حذف هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای که به سختی از آب یا خاک آلوده حذف می‌شوند، طراحی شده است.

مثلاً نانوذرات آهن به عنوان کاتالیزور باعث تسریع فرآیند اکسیداسیون گردیده و آلاینده‌های آلی موجود در محیط مانند تری کلرواتان، تتراکلرید کربن، دی اکسین‌ها و... را به ترکیبات کربنی ساده‌تر با سمّیت کمتر تبدیل می‌نماید و یا نانوذرات آهن با ترکیبات آرسنیکی مخلوط شده و باعث حذف ترکیبات آرسنیکی از آب‌های زیر زمینی می‌شوند (Warheit, et al, a 2005, pp.514-524).

۲. غشای نانو فیلتراسیون: استفاده از غشای نانوفیلتراسیون جهت جداسازی آلودگی و حذف نمک‌های چندظرفیتی عناصری مانند کلسیم، آهن، منگنز، اورانیوم و برخی آفت‌کش‌ها، راهکار دیگری است که توسط فناوری نانو ارائه می‌شود. همچنین امکان جذب فسفات‌ها از محیط‌های آبی با استفاده از نانوذرات لانتوم نیز می‌تواند از اثرات زدودن مواد سمی از منابع آبی توسط فناوری نانو باشد.

۳. نانوذرات: وجود نانوذرات در رنگ‌ها باعث می‌شود که رنگ‌ها با خواص مطلوب و بهبودیافته با مصرف حلال‌های کمتر تولید شوند. فعالیت سطحی بالای نانوذرات نشان دهنده یکی از جالب‌ترین خصوصیات این مواد است که می‌تواند کاربردهای وسیعی در صنعت داشته باشد (سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۲۰۰۹).

انتظار می‌رود فناوری نانو نقش مهمی در حذف آلاینده‌ها ایفا نماید و اصلاح خاک آلوده با استفاده از این فناوری به راحتی صورت پذیرد. فناوری نانو موجب کاهش مصرف مواد خام مورد نیاز شده و بنابراین از منابع طبیعی محافظت می‌کند. به طور کلی فناوری نانو با کارآمد کردن دستگاه‌ها و ابزار مورد استفاده در بخش‌های مختلف و نیز با کاهش مصرف ماده خام و انرژی گامی مؤثر در جهت حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست برداشته است (Singer ، 2008).

۳- اثرات مخرب فناوری نانو بر محیط زیست

ذرات نانو و فناوری نانو جدای از مفید بودن می‌توانند دارای خطرات احتمالی نیز باشند، بنابراین باید مسائل مرتبط با ایمنی و خطرات احتمالی آن را در نظر گرفت.

اثرات زیان‌آور آلودگی ذره‌ای هوا به طور عمده به غلظت ذرات کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر ارتباط دارد و به غلظت جرمی ذرات بزرگ‌تر بستگی چندانی ندارد. خطرات احتمالی نانوذراتی که در هوا پخش شده‌اند، یعنی آئروسل‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند. این قضیه به دلیل تحرک بالای آنها و امکان جذب آنها از طریق ریه، که راحت‌ترین مسیر ورود به بدن می‌باشد، اهمیت پیدا می‌کند (Gerritzen, et al, 2004).

(Warheit, et al, b 2005, pp. 453- 497)

ذرات نانو ممکن است سرعت جهش[8] باکتری‌ها را افزایش دهند و تهدیدی بالقوه برای محیط زیست و سلامت انسان باشند.

علیرغم اینکه فناوری نانو محصولات موجود را مؤثرتر و کارآمدتر می‌نماید، اندازه این ذرات که جزو خواص مهم آنهاست، می‌تواند سلامتی و محیط زیست را تهدید نماید. این ذرات از گرده‌های گل گیاهان و مواد حساسیت‌زای معمولی نیز کوچک‌تر هستند و می‌توانند تولید حساسیت نمایند. این ذرات می‌توانند به سیستم دفاعی و ایمنی بدن موجودات زنده و انسان حمله کنند. بعضی از این ذرات می‌توانند پس از تنفس به کیسه‌های هوایی ریه‌ها آسیب برسانند که در این بین ماکروفاژها سعی می‌کنند تا آنها را از بین ببرند و مانع از عبور این ذرات و ورود آنها به خون شوند، اما ماکروفاژها در تشخیص ذرات با قطر کمتر از ۷۰ نانومتر دچار مشکل می‌شوند و این ذرات می‌توانند به آسانی در خون نفوذ نمایند (Aitkcen, 2004, pp. 87-91).

بر اساس گزارشات موجود، نانوذرات مانند کربن سیاه و دی‌اکسیدتیتانیوم که در فرآیندهای صنعتی کاربرد زیادی دارند، باعث آلودگی هوا می‌شود و التهاب و جراحت‌های پوستی ایجاد می‌کنند و در ریه باقیمانده و انباشته می‌گردند. ذرات اکسید روی و دی‌اکسید تیتانیوم باعث تولید رادیکال‌های آزاد در سلول پوستی شده و به DNA آسیب می‌رسانند و این آسیب به DNA موجب جهش می‌شود و تغییراتی در ساختمان پروتئین به وجود می‌آورد که ممکن است باعث سرطان و تومور شود. به‌نظر می‌رسد

8. Mutation

فعالیت سطحی و اندازه ذره، عوامل اصلی در سمّی بودن نانوذرات باشند. همان طور که گفته شد، منابع احتراق مانند اجاق‌های خوراک‌پزی گازی، احتراق گاز صنعتی و انواع وسایل گرم‌کننده خانگی موادی را تولید می‌کنند که محتوای صدها یا هزاران نانولوله کربنی هستند و ساختارهای نانو کریستالی دارند. شواهد حاکی از آن است که نانولوله‌های کربنی فرآوری نشده می‌توانند آئروسل را در طی جابه‌جا کردن به وجود آورند. کارخانجاتی که موادی بر پایه نانولوله‌های کربنی مانند فولرین[9] تولید می‌کنند، می‌توانند باعث از بین رفتن گلوتامین و آسیب اکسیداتیو بر مغز ماهیان شوند. فولرین، مجموعه‌ای از اتم‌های کربن متحدالشکل به صورت کروی هستند که در چنین ساختاری هر اتم کربن به سه اتم کربن مجاورش متصل شده است. از جمله کاربردهای چنین ساختارهایی برای رهاسازی دارو یا مواد رادیواکتیو در محل‌های مبتلا به عوامل بیماری‌زا می‌باشد. همچنین فولرین در خاک می‌تواند حرکت کرده و توسط کرم‌های خاکی جذب شود و به این ترتیب وارد زنجیره غذایی شود (Brown, 2002, pp.55-80).

نانوذرات طبیعی حاصل از احتراق احتمالاً مهم‌ترین منبع تولید ذرات نانوی طبیعی در محیط‌زیست می‌باشند. انتشار نانوذرات مهندسی شده در محیط زیست خطرناک‌تر از ذرات طبیعی است، زیرا آنها مواد جدیدی هستند و انسان‌ها و موجودات زنده دیگر ممکن است دارای مکانیسم‌های دفاعی کافی در مقابل آنها نباشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی ذرات نانوکربنی و دی‌اکسید تیتانیوم سمّی‌تر از ذرات بزرگ همان مواد هستند (سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۲۰۰۹).

۴- خطرات و مضرات نانوذرات

به طور کلی این خطرات متوجه محیط زیست و از همه مهم‌تر، انسان به عنوان جزئی از محیط زیست می‌شود.

۴-۱- مکانیسم‌های سمّیت نانوذرات

تحقیقات نشان داده است که ذرات بسیار ریز فلز مانند اکسید تیتانیم و کربن سیاه بسیار سمّی‌تر از ذرات از همان جنس و با همان ترکیبات ولی با اندازه‌های بزرگ‌تر می‌باشند. علت این امر اغلب به وسیله وجود فلزات انتقالی بر روی سطح برخی از ذرات نانومتری و متعاقب آن افزایش در قابلیت

9. Fullerene

تولید رادیکال آزاد در تماس با عضلات بدن توضیح داده می‌شود.

سمّیت این نانوذرات به سطح ذرات استنشاق شده و واکنش‌پذیری شیمیایی سطح آنها مربوط است. ذرات نانومتری یا به خودی خود سمّی‌اند و یا در صورتی که در مجاورت مواد دیگر قرار بگیرند، می‌توانند سمّیت ایجاد کنند. مثلاً وقتی که ذرات نانومتری وارد سلول می‌شوند، مواد سمّی را نیز که به آنها چسبیده است با خود به داخل سلول می‌آورند.

نانوذرات کوانتومی که از آنها برای تشخیص سریع بیماری‌ها استفاده می‌شود. این ذرات عموماً با استفاده از نیمه هادی‌هایی نظیر سولفورکادمیوم[10] و سلیندکادمیوم[11] ساخته می‌شوند. این مواد به طور معمول سمّی می‌باشند (National Nanotechnology Research AGENDA, 2005, pp.21-30).

۴-۲- عوامل مؤثر بر سمّیت ذرات نانو

۱. حلّالیت ۲. مساحت سطح ۳. شکل ۴. فعالیت سطح

۴-۳- مطالعات سم‌شناسی روی نانوذرات

در دوزهای خیلی بالا باعث التهاب ریه، ریسک سرطان، عبور نانوذرات از سدّ خونی و تغییر شارژ الکتریکی آن، عبور ذرات نانو از سدّ خونی مغزی می‌شوند. تعداد نانوذرات آنیونی بیشتر از کاتیونی است. نانوذرات آنیونی: ناقل مواد شیمیایی به درون مغز و ذرات نانوکاتیونی باعث سمّیت فوری و اثر سریع بر سدّ خونی مغزی می‌شوند (Gerritzen, et al, 2004).

۵- راه‌های تماس و ورود نانوذرات به بدن

۱. تنفس ۲. جذب پوستی ۳. بلعیدن و سیستم گوارشی

علیرغم اینکه سه عضو ۱- پوست، ۲- ریه(شش) و ۳- روده باریک به علت تماس مستقیم با عوامل محیطی، به عنوان راه‌های اصلی ورود ذرات به بدن شناخته شده‌اند، اما به طور غیرمستقیم سیستم‌های قلبی- عروقی و گردش خون، مغز و کبد و... متأثر از حضور نانوذرات هستند. پوست خود به عنوان یک محافظ است، ولی شش‌ها و مجاری روده به راحتی اجازه عبور مواد غذایی و اکسیژن را

10. CdS
11. CdSe

از خود می‌دهند. لایه بیرونی پوست[12] تمام بدن را می‌پوشاند و فقط حاوی سلول‌های مرده است که به شدت کراتینه شده‌اند، که مرز اصلی و محافظ اصلی در برابر مواد شیمیایی است.

پوست یک انسان بالغ تقریباً ۱/۵ متر مربع است که در اکثر مناطق با یک لایه ضخیم ۱۰ میکرونی از جنس سلول‌های مرده پوشیده شده است. این اولین مرز تقریباً غیر قابل نفوذ است. به خصوص مواد یونی و یا مولکول‌های محلول در آب از این لایه نمی‌توانند عبور کنند. اگر نانوذره در پوست نفوذ کند ممکن است تولید مولکول‌های واکنش دهنده را که سبب آسیب به سلول‌ها می‌شوند، آسان کند. امروزه بسیاری از کرم‌ها و لوازم آرایشی و بهداشتی از ریزذره‌ها تهیه می‌شوند. دی اکسید تیتانیوم معمولاً در کرم‌های ضد آفتاب به کار می‌رود تا اشعه UV را جذب کند. Lademann و سایرین گزارش داده‌اند که ذرات اکسید تیتانیوم[13] از لایه رویی پوست و حتی پیازهای مو نفوذ کرده و به لایه‌های عمیق‌تر می‌روند (Warheit, et al, a 2005, pp. 514-524).

شش‌ها از دو قسمت مختلف تشکیل شده است: ۱. مسیرهای هوایی، ۲. کیسه‌های هوایی. شش انسان در حدود ۲۳۰۰ کیلومتر مسیر هوایی و حدود ۳۰۰ میلیون کیسه‌های هوایی دارد. مساحت شش انسان بالغ ۱۴۰مترمربع است که به بزرگی یک زمین تنیس است. هوای داخل کیسه‌های هوایی تنها ۰/۵ میکرون با خون فاصله دارد.

مجرای روده مرز بسیار پیچیده‌ای است. این مهم‌ترین پرتال انتقال ماکرومولکول‌ها به داخل بدن است. مرزهای داخل روده به نوبه خود از میکروپرزهایی تشکیل شده است.

پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که ذره‌های کوچک‌تر از ۷۰ نانومتر می‌توانند وارد شش‌ها شود و روی سطوح کیسه‌های هوایی شش‌ها ته‌نشین شود. ذرات کوچک‌تر از ۵۰ نانومتر حتی می‌توانند در دیواره سلولی نفوذ کنند. استنشاق نانوذره‌ها دو اثر عمده بر بدن انسان دارد: ۱. باعث ایجاد تورم در دستگاه تنفسی می‌شود. ۲. با انتقال از راه جریان خون به دیگر اعضای حیاتی یا بافت‌های بدن، سبب عوارض قلبی و عروقی و حتی اختلال در دستگاه عصبی مرکزی شود.

نانوذرات پس از جذب در شش‌ها تجمع کرده و به صورت توده‌ای مقاوم، باعث ایجاد تورم و گاه زخم در بافت‌های ریوی می‌شود. (National Nanotechnology Research AGENDA, 2005, pp.21-30).

12. Strantom corneum
13. TiO2

(Singer, 2008). زمانی ریه‌ها ملتهب می‌شوند: مسیرهای هوایی و نایژه‌ها به وسیله لایه موکوس حفاظت می‌شوند. ذرات بزرگ‌تر از طریق نشستن روی دیواره مسیر هوایی، از هوای ورودی به ریه‌ها جدا می‌شوند. حرکات مژه‌ای این قسمت، خلط را به سمت گلو بالا برده و از آنجا یا در اثر سرفه خارج و یا با عمل بلع، بلعیده می‌شوند. ذرات کوچک‌تر (کوچک‌تر از ۲/۵ میکرومتر) و نانوذرات، ممکن است وارد کیسه‌های هوایی شوند که ناحیه مبادله گاز در ریه هستند و کوچک‌ترین اجزای ریه محسوب می‌شوند که در ارتباط با مویرگ‌ها قرار دارند. به منظور دفع دی‌اکسیدکربن از مویرگ‌ها به کیسه‌های هوایی و جذب اکسیژن، تمام غشاها و سلول‌ها در این قسمت‌ها نازک و آسیب‌پذیر هستند و هیچ گونه لایه حفاظتی ندارند. تنها مکانیسم حفاظتی در این قسمت، ماکروفاژها هستند. این ماکروفاژها سلول‌های بزرگی هستند که اشیای خارجی را بلعیده و از طریق جابه جا کردن آنها مثلاً به سوی گره‌های لنفاوی آنها را از کیسه‌های هوایی خارج می‌کنند. نانوذرات تا حد زیادی از این سیستم حفاظتی رها شده و می‌توانند وارد بافت‌های تنفسی شوند.

ذرات و الیاف باقی مانده می‌توانند با بافت‌های مخاطی ریوی بر هم کنش کرده و بافت‌های ریوی را دچار التهاب‌های شدید، زخم و حتی مرگ کنند. این وضعیت ریه‌ها در چند بیماری دیگر هم دیده می‌شود، از جمله در بیماری باکتریایی ذات‌الریه یا بیماری‌های صنعتی مهلکی همچون سیلیکوسیس یا آزبستوسیس. (Celotta, 2007, www.nist.gov). (Aitkcen, 2004, pp.87-91)

نانوذره‌ها از هر راهی که وارد بدن شوند، انتشار می‌یابند. توزیع ذره‌ها در بدن شدیداً به ویژگی‌های آنها بستگی دارد، مانند ترکیب شیمیایی، اندازه و ویژگی‌های سطحی ذره‌ها. ضمناً لازم به ذکر است که انتقال ذره‌ها از همان محل‌های ورود ذره‌ها به بدن انجام می‌گیرد.

دکتر فینکنشتاین[14] محقق دانشگاه پزشکی راچستر[15] آمریکا، در تحقیقات خود نشان داد که موادی چون طلا در مقیاس نانو قادرند بعد از استنشاق و ورود به دستگاه تنفسی از سلول‌های کیسه‌های هوایی شش‌ها عبور کرده و وارد خون شوند. این ذرات می‌توانند در عمل طبیعی پلاکت‌های خونی تداخل نموده و ایجاد لخته خونی

14. Finkenstein
15. Rochester

نمایند. در حقیقت اتم‌های قرار گرفته در سطح خارجی نانو مواد به شدت فعال هستند و همین فعالیت است که به آنها اجازه می‌دهد با اتم‌های مجاور خود واکنش نشان دهند. این واکنش‌ها در محیط بیولوژیک می‌تواند منجر به تشکیل رادیکال‌های آزاد گردد. این رادیکال‌ها در حقیقت اتم‌هایی هستند که در حالت عدم تعادل الکترونی هستند. این رادیکال‌ها به دلیل توان بالای واکنشی خود می‌توانند باعث جذب یا دفع الکترون از اتم‌های محیط اطراف خود شوند. این خاصیت باعث می‌شود که اتم‌های اطراف محیط بیولوژیکی به خصوص آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، فسفولیپیدها و آمینو اسیدهای درون سلولی که نقش آنها برای ادامه حیات سلول حیاتی است، تحت تأثیر قرار گیرند و فعالیت طبیعی آنها مختل شود. این واکنش‌ها قادر خواهند بود یک واکنش زنجیره‌ای مخرب در درون سلول ایجاد نمایند که در نهایت می‌توانند به تخریب دیواره سلولی، مرگ سلول و تخریب DNA بینجامد. عمل رادیکال‌های آزاد از عوامل شناخته‌شده‌ای هستند که در سرطان‌زایی دخالت دارند (National Nanotechnology Research AGENDA, 2005, pp.21-30).

۶- بحث ایمنی نانوذرات

با تجاری شدن محصولات فناوری نانو و استفاده عموم از آنها، قرارگیری افراد در معرض نانو ذره‌ها هنگام تولید و سپس مصرف آنها در جامعه به شدت افزایش خواهد یافت. یک خطر بالقوه نانوپودرها که تاکنون توجه چندانی به آن نشده، قابلیت انفجاری آنهاست. بسیاری از مواد آلی، تعدادی از فلزها و حتی برخی مواد غیر آلی - غیر فلزی که به خوبی پودر و در هوا پخش شده‌اند، تشکیل توده غباری را می‌دهند که اگر در معرض یک منبع احتراق قوی قرار گیرد، باعث ایجاد انفجار می‌شود. حداکثر میزان ذره‌ها برای تشکیل یک ابر غبار انفجاری ۵۰۰ میکرومتر است. در مورد بیشتر ذره‌ها شدت انفجاری غبار و آسانی احتراق با کاهش اندازه ذره‌ها افزایش می‌یابد، اگرچه در مورد برخی غبارها روند شدت انفجار با اندازه ذره‌ها در مقیاس ۱۰ میکرون ثابت می‌ماند. تاکنون هیچ حد پایینی برای عدم انفجار غبار تشخیص داده نشده است. همان گونه که فناوری نانو به سمت تولید در مقیاس وسیع در برخی صنایع پیش می‌رود، قبل از اینکه نانوذره‌ها به طور تدریجی و غیر قابل پیش‌بینی در طبیعت رها شوند، لازم است تهدیدهای احتمالی انتشار آنها مورد

بررسی قـرار گیـرد (Aitkcen, 2004, pp.87-91).

نانوذرات در طول چرخه حیات خود در مرحله‌های زیر می‌توانند وارد محـیط زیسـت شوند:

ـ تخلیه / نفـوذ در مرحلـه‌هـای تولیـد، انتقـال و ذخیـره‌سـازی محصـولات میـانی و نهایی؛

ـ نفوذ به واسطه ضایعات؛

ـ رها شدن ذره‌ها در هنگـام اسـتفاده از آنها؛

ـ نفوذ، انتقال و دگرگونی در هوا، خـاک و آب.

بعضی کاربردها، نظیر محصولات آرایشی و بهداشتی یا محتویات غذایی منابع نفوذ نانو ذره‌ها هستند. معیار اصلی به کار رفتـه بـرای ارزیابی تهدیدهای مواد شیمیایی برای محیط زیست و به طور مستقیم برای سلامت انسان، سمی بودن، زیست پایداری و تجمع زیسـتی است. موادی که می‌توانـد بـه طـور مسـتقیم سبب آسیب به موجودات زنده شـود (سـمی بودن شدید)، و یا خیلـی آهسـته در محـیط زیست تخریب شود (زیست پایـداری بـالا)، یا در بافت‌های چربی‌دار تجمع یابد (پتانسیل زیاد برای تجمع زیستی)، نگرانی‌های اصـلی بشر هستند.

۷- برخی راه‌های کنترل اثـرات مضر نانوذرات

الف) از تماس پوسـت بـا نـانوذرات و یـا محلول‌های حاوی نانوذرات جلـوگیری شـود. (دستکش، عینک ایمنی و لبـاس آزمایشـگاه استفاده گردد)

ب) شستشـوی دسـت‌هـا و رعایـت بهداشت فـردی در محـیط کـار بـا نـانوذرات انجام گیرد.

ج) دفع و انتقال زباله‌های نانوذرات طبق اصول زباله‌های شـیمیایی خطرنـاک صـورت پذیرد.

د) وسایل مورد استفاده در کار کردن بـا نانوذرات باید قبل از استفاده مجدد، تعمیر یـا مصرف از نظر آلودگی بررسی شوند.

ه) همچنین برچسب "مواد غذایی نـانو" در مورد محصولاتی که با این فنـاوری تولیـد شده‌اند، جهت آگاهی عموم از این محصولات راه دیگری می‌تواند باشد، امـا صـنایع غـذایی این کار را غیر ضروری و بی‌نتیجـه مـی‌دانـد (سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نـانو، ۲۰۰۹).

فرجام

راهبردهای پیشنهادی

فنـــاوری‌هـــای دهـــه قبـــل ماننـــد بیوتکنولوژی با سرعتی بالا پـیش رفـت و در بسیاری از کشورها و به‌خصوص اروپـا ایمنـی زیستی ناشی این علم بسیار مورد توجه قـرار گرفـت و قـوانینی هـم بـرای آنهـا در اکثـر کشورها تدوین گردید. در کشور ما ایران نیـز در این خصوص فعالیت‌های زیادی به‌خصوص در سطوح بین‌المللی صورت گرفت.

علیـرغم همـه فعالیـت‌هـای حقیقـی و حقـوقی، ایمنـی زیسـتی جمهـوری اسـلامی ایران در بحث قوانین دچـار کشـمکش‌هـایی گردید کـه نزدیـک بـه یـک دهـه بـه طـول انجامید. در سـال‌هـای اخیـر، پیشـرفت‌هـای سـریع علـوم و فنـون، بـه‌ویژه در زمینـه نـانوتکنولوژی درسـت هماننـد بیوتکنولـوژی تحـولات بزرگـی را در زمینـه‌هـای پزشـکی، کشاورزی، صنعت، محیط زیست و علوم پایـه زیستی در پی داشته است.

امروزه نقش نانوتکنولوژی در همه ابعـاد روشن است، اما جنبه دیگـر ایـن توانمنـدی، خطرهـای احتمـالی مـرتبط بـا اسـتفاده از محصولات فناوری نانو اسـت کـه در صـورت رعایت نکردن قوانین و مقررات خـاص ایجـاد می‌شود، بنابرایـن ضـمن تأکیـد بـر اهمیـت فناوری نانو، لازم است آیین‌نامـه‌هـایی بـرای انجـام دادن ایمنـی و سـلامت اسـتفاده از محصولات نـانو تهیـه و تـدوین گـردد تـا بـر اساس آن بتـوان تنظـیم و نظـارت بـر کلیـه فعالیت‌های نانوتکنولوژی را اعمال کرد. عـدم وجود قوانین و آیین‌نامه‌های مرتبط با ایمنـی نانو ممکن است در آینده مشکلات خاصـی را به‌وجود آورد.

نگارنـدگان ایـن مقالـه بـا توجـه بـه کنوانسیون‌هایی که دولت جمهوری اسـلامی ایران به آن ملحق شده، پیشنهاد می‌کنند که قـوانین بـین المللـی زیـر در قانونگـذاری و سیاستگذاری و اجرا لحاظ شود:

الف) کنفرانس سازمان ملل متحد درباره محیط زیست و انسان- اصول ششم و هفتم- استکهلم-۱۹۷۲

اصل ششم : تخلیه مواد سمّی و یا مـواد دیگر و گرما بـه میـزان و یـا تراکمـی کـه از ظرفیت مجـاز محـیط زیسـت بـالارود، بایـد متوقف شـود تـا اطمینـان حاصـل شـود کـه صدمه غیرقابل بازگشتی بـه اکوسیسـتم وارد نمی‌شود. از مبارزه برحق مردم همه کشـورها بر ضد آلودگی باید حمایت شود.

اصل هفتم: دولت‌ها، برای جلوگیری از آلودگی دریاها با موادی که ممکن است برای سلامتی انسان خطرناک باشد و به منابع و موجودات زنده دریایی صدمه بزنند و یا امکانات آن را از بین ببرد و یا در دیگر استفاده‌های قانونی آن مداخله نماید، اقدامات لازم را به عمل خواهند آورد.

اصل هجدهم: علم و تکنولوژی به عنوان بخشی از سهم خود در کمک به توسعه اقتصادی و اجتماعی باید برای تشخیص، اجتناب و کنترل خطرات محیط زیستی، حل مسائل زیست محیطی به نفع عموم جامعه بشریت مورد استفاده قرارگیرند.

اصل بیستم: پژوهش و توسعه علمی در چارچوب مسائل زیست محیطی ملی و بین‌الدولی باید در همه کشورها، به خصوص در کشورهای در حال رشد تشویق شود. در این رابطه باید از جریان آزادانه اطلاعات روزآمد علمی و انتقال تجارت حمایت و یاری شود تا حل مسائل زیست محیطی آسان‌تر شود. تکنولوژی‌های محیط زیست باید با شرایطی که انتشار وسیع آنها را بدون گذاشتن بار سنگین بر دوش کشورهای در حال توسعه تشویق کند، در اختیار این کشورها قرار گیرد.

ب) کنفرانس سازمان ملل متحد درباره محیط زیست و توسعه (همایش زمین)- ریودوژانیرو-۱۹۹۲

اصل دهم: بهترین راه بررسی مسائل محیط زیست آن است که این امر شامل حال همه شهروندانی شود که در یک سیستم از آن متأثر می‌شوند. سنجش نفرات و کسب اطلاعات در زمینه محیط زیست باید در سطح ملی شامل حال همه افرادی شود که از طریق مسئولان مربوطه انجام می‌شود، به‌علاوه باید اطلاعات لازم در مورد مواد خطرناک و فعالیت‌های هر منطقه جمع‌آوری شود. همچنین باید به مردم این امکان را داد که در روند تصمیمات، مشارکت کنند. دولت‌ها باید دقت کافی و مشارکت عمومی را در جامعه ایجاد کنند تا اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شود. مشارکت و حضور صحیح و موفقیت‌آمیز عمومی و روش‌های اداری باید به ترتیبی باشد که سالم‌سازی محیط و اجرای قوانین را امکان پذیر سازد.

اصل سیزدهم: کشورها باید قوانین ملی به منظور تعقیب عادلانه عاملان آلودگی محیط زیست و قربانیان این آلودگی تدوین کنند. به‌علاوه، کشورها باید به سرعت و با قاطعیت جهت تنظیم یکسری قوانین

بین‌المللی با تضمین جبران خسارات و پیامدهای منفی آلودگی محیط زیست با یکدیگر همکاری کنند و متعهد به جبران خسارات آثار خارجی فعالیت‌هایی که بر اساس موازین قانونی به عمل می‌آورند، باشند.

اصل چهاردهم: کشورها باید به طور مؤثر با یکدیگر همکاری کنند و از هر گونه نقل و انتقال و جابه‌جایی مواد آلوده کننده محیط زیست که سلامتی انسان را به خطر می‌اندازند، ممانعت به عمل آورند.

ج) کنوانسیون بازل درباره کنترل انتقالات برون مرزی مواد زائد زیان بخش و دفع آنها (بازال-۱۹۸۹)قانون الحاق به کنوانسیون مذکور (مصوب ۱۳۷۱/۶/۳۱)

- هر کشور عضو کنوانسیون، کشورهای عضو می‌توانند از صدور زباله‌های مضر و سایر انواع زباله‌ها به کشورهای عضوی که ورود این‌گونه زباله‌ها را منع کرده‌اند، جلوگیری نمایند یا صدور آنها را اجازه ندهند.

- اعضاء کنوانسیون باید متعهد شوند که در فواصل معین امکانات تقلیل مقدار آلودگی احتمالی زباله‌های مضر و سایر انواع زباله‌هایی را که به کشورهای در حال رشد صادر می‌شود، مورد تجدید نظر قرار دهند.

د) کنوانسیون جلوگیری از آلودگی دریایی ناشی از دفع مواد زائد و دیگر مواد (لندن-۱۹۷۲) قانون الحاق به کنوانسیون مذکور (مصوب ۱۳۷۵/۶/۲۵)

۱- طبق ماده ۴، تخلیه مواد مندرج در ضمیمه یک، در دریا ممنوع می‌باشد، تخلیه مواد مندرج در ضمیمه دو منوط به صدور اجازه خاص قبلی می‌باشد و تخلیه مواد فهرست شده در ضمیمه سه موکول به صدور اجازه عام است.

ه) کنوانسیون بین‌المللی مداخله دریاهای آزاد در صورت بروز سوانح آلودگی نفتی قانون الحاقی ایران به پروتکل مذکور (مصوب ۱۳۷۵/۱۱/۷)

طبق ماده ۱، اعضای پروتکل می‌توانند به دنبال بروز یک سانحه دریایی و یا اقدامات مرتبط با چنین سانحه‌ای که ممکن است به پیامدهای زیانبار عمده‌ای منجر شود، جهت جلوگیری از کاهش یا رفع خطرات شدید و قریب‌الوقوع نسبت به خطوط و نواحی ساحلی یا منافع ذیربط ناشی از آلودگی به‌وسیله موادی غیر از نفت، اقدامات لازم را در دریای آزاد انجام دهند.

و) کنوانسیون بین‌المللی نجات دریایی (لندن-۱۹۸۹) قانون الحاق به کنوانسیون مذکور (مصوب ۱۳۷۳/۱/۳۰)

طبق ماده یک، صدمه به محیط زیست عبارت است از هر صدمه اساسی به سلامتی انسان یا حیوان یا منابع دریایی در آب‌های ساحلی یا آب‌های درون سرزمین یا مناطق مجاور آنها که در نتیجه آلودگی، لوث‌شدگی، آتش‌سوزی، انفجار یا حوادث مهم مشابه ایجاد می‌شود.

ز) کنوانسیون منطقه‌ای کویت برای همکاری درباره حمایت از محیط زیست دریایی در برابر آلودگی (کویت-۱۹۷۸) / قانون تصویب کنوانسیون مذکور (مصوب ۱۳۵۸/۹/۲۱)

به موجب ماده ۴، دول متعاهدی که اقدامات مناسب را برای جلوگیری از آلودگی و یا کاهش آن در منطقه دریایی که از تخلیه عمدی موادی از کشتی ناشی می‌شود، معمول خواهند داشت و مراقبت خواهند کرد که مقررات بین‌المللی مربوط به کنترل این نوع آلودگی از جمله سربارکردن و آب توازن مجزا و مخازن و روش‌های شستشوی مخازن با نفت خام رعایت گردد.

به موجب ماده ۵، کشورهای عضوی که اقدامات مناسب را برای جلوگیری از آلودگی یا کاهش آن و مبارزه با آلودگی در منطقه دریایی که از تخلیه مواد زائد و سایر مواد از کشتی‌ها و وسایل نقلیه هوایی ناشی می‌شود معمول خواهند داشت.

به موجب ماده ۶، دولت‌های متعاهدی که اقدامات مناسب را برای جلوگیری و کاهش آلودگی ناشی از موادی که از خشکی از راه آب یا از راه هوا یا مستقیماً از ساحل به منطقه دریایی داخل می‌شود، معمول خواهند داشت.

ح) پروتکل همکاری منطقه‌ای برای مبارزه با آلودگی ناشی از نفت و سایر مواد مضره در موارد اضطراری کویت-۱۹۷۸ / قانون تصویب پروتکل مذکور (مصوب ۱۳۵۸/۹/۲۱)

به موجب ماده ۲، دولت‌های متعاهد سعی خواهند کرد رأساً یا از طریق همکاری‌های دوجانبه یا چندجانبه طرح‌های مقابله با موارد اضطراری در دریا را تنظیم و اجراء کنند و همچنین وسایل و تجهیزات خود را برای مبارزه با آلودگی ناشی از نفت یا سایر مواد مضر در منطقه دریایی تقویت نمایند.

ط) پروتکل راجع به حمایت محیط زیست دریایی در برابر منابع آلودگی مستقر در خشکی (کویت-۱۹۹۰) / قانون عضویت در پروتکل مذکور (مصوب ۱۳۷۱/۱۲/۹)

به موجب ماده ۵، دولت‌های متعاهد در تلاش به منظور عدم جلوگیری از گسترش صنایع جدید و به‌خصوص عملیات صنعتی کوچک و ضمن تشخیص مشکلات اقتصادی که غالباً چنین عملیاتی در پساب‌های خود به‌طور جداگانه با آن مواجه‌اند، اجرای برنامه‌های مربوط به طرح تعیین محل صنعتی را مطابق با ضمیمه دو این پروتکل تا حد امکان به عهده می‌گیرند. بدین منظور مشترکاً و یا جداگانه تدابیر و برنامه‌های لازم را تهیه و اجراء خواهند کرد.

دولت‌ها موظف‌اند که علاوه بر تدوین استراتژی ملی و تصویب چارچوب سازمانی برای نانوتکنولوژی، شرایط قانونی تحقیق و توسعه را مشخص کنند. از این رو پیشنهاد می‌شود یکی از این زیرساخت‌های قانونی، قانون ایمنی نانو[16] باشد.

قوانین ایمنی نانو به سیاست‌ها و روش‌های اتخاذشده برای اطمینان از کاربرد بی‌خطر محصولات نانو از نظر محیط زیست و سلامت انسان اطلاق می‌شود. از این رو، تدوین این سیاست‌ها و قوانین، امری ضروری به نظر می‌رسد. به طوری که در حال حاضر در برخی از کشورهای پیشرفته مانند ایالات متحده آمریکا، انگلستان، فرانسه، آلمان و ژاپن قوانین ایمنی نانو وجود دارد و در هر یک از بخش‌های مربوط به محصولات نانو کمیته‌هایی مشغول فعالیت‌اند. کشورهایی مانند چین و هند نیز قوانینی در این خصوص وضع کرده‌اند و در حال سازماندهی کمیته‌ها هستند. از این رو، تدوین این قوانین و برنامه‌ریزی برای سازماندهی کمیته‌های مرتبط، در کشور ما نیز امری ضروری به نظر می‌رسد.

بنابراین، با توجه به مطالب مورد بحث، درمی‌یابیم که قبل از هر توسعه‌ای در زمینه فناوری نانو نخست باید پژوهشگران با اندیشه و تدبیر، راه حل‌ها و چاره‌جویی‌هایی را پیرامون خطرات و آسیب‌هایی که در جهت استفاده از این فناوری به محیط زیست و مهم‌تر از آن به انسان وارد می‌شود، بیابند تا با اطمینان کافی از سلامت و ایمن بودن آن بتوانیم پیشرفت و توسعه را حاصل نماییم.

16. Nanosafety

منابع

1. Aitlcen, R. J., Creely, K. S., Tram, C.L. (2004). Institute of Occupational Medicine for the Health and Safety Executive. ***Nanoparticles: Occupational Hygiene Review***.
2. Brown, D (2002), Nano litters bugs? Experts potential pollution problem, ***ETC Group,*** Issue, 76.
3. Celotta, Robert (2007), ***Nanotechnology at Nist: Present and Future,*** Center for Nanoscale Science and Technology. Retrieved November 18, 2008, Website: http://www.nist.gov/director/vcat/cellotta.pdf.
4. Gerritzen, Gina et al (2004), ***Review of Safety Practices in the Nanotechnology Industry***, Prepared for the International Council on Nanotechnology by the University of California, Santa Barbara, Retrieved December 9, 2009, and website: www.iop.org/EJ/article/1742-6596/.../jpconf9_170_012037.pdf.
5. Hallock, M.F et al (2009), Potential Risks of Nano Materials and How to Safety Handle Materials of Certain Toxicity, ***Journal of Chemical Health and Safety***, Vol.16.
6. ***National Nanotechnology Research AGENDA and NIOSH Recommendations*** (2005), Interim Guideline for working safety with Nanotechnology.
7. Singer, Peter, (2008), ***Technology Evolution***, Retrieved December 14, 2009, www.electroiq.com/index/nanotech-mems/st-current-issue.html
8. Suwa T et al (2002), ***Particulate Air Pollution in Duces Progression of Atherosclerosis***, j.Am.coll.cardiol.
9. Warheit, D.B et al, a (2005), Comparative Pulmonary Toxicity Inhalation and Instillation Studies with Different TiO2 Particle Formulations: Impact of Surface Treatments on Particle Toxicity, *Toxicological* Sciences; ***Oxford Journals***, Vol. 88.
10. Warheit, D.B et al, b (2005), Testing of fibrous particles: Short-term assays and strategies, Toxicological Sciences; ***Oxford Journals***, Vol. 17.
11. Website: http://nano.ir/sub_nanoworld.php?page=whatisnano&title, Retrieved December 14, 2009.