

سِرْمَعَالٌ

مرواری بر فناوری نانو و سم شناسی نانوذرات

شهناز باکند^۱، علی اصغر فرشاد^۲

بدلیل بعضی از خواص نوظهور ماده آذبست که در زمان خود این ماده را بسیار قابل استفاده نموده بود، بدون آگاهی و درک این نکته که همین ساختار نوظهور منجر به ایجاد اثرات فیبروتیک و سرطان زایی در افراد در معرض خواهد گردید^(۱). بنابراین برای اجتناب از تکرار تجربیات ناخوشایند گذشته، باید اثرات سمی و عوارض ریز مواد، نانوذرات و نانولیاف مورد بررسی قرار گرفته و تماس با این گروه جدید مواد کنترل شده و قانونمند شوند.

نانو تکنولوژی

نانو تکنولوژی عبارت است از دستکاری دقیق و کنترل شده ساختار اتمی یا مولکولی مواد در مقیاس نانو به منظور تهیه ریزدراطی با خصوصیات نوظهور و کاربردهای خاص. ذرات نانو عبارتند از ذرات اولیه ای که حداقل یکی از ابعاد آنها کمتر از 100 nm باشد^(۲). بر حسب منبع تولید، ریزمواد را می‌توان در دو گروه مهم تقسیم نمود:

- ریزدراطی که بطور تصادفی یا ناخواسته تولید می‌شوند مانند ذرات احتراقی ناشی از موتورهای دیزلی،
- و ریزدراطی که بطور غیرتصادفی و یا به دلخواه ساخته می‌شوند مانند نانوذرات پیتانیوم دی اکسید.

۴۰۱۹

باگسترش روزافزون نانوتکنولوژی (Nanotechnology) یا فناوری نانو استفاده از نانوذرات (Nanoparticles) و ریزمواد (Nanomaterials) نیز در تکنولوژیهای مدرن افزایش یافته است. اما علی رغم این گسترش روزافزون، تاکنون تحقیقات بسیار اندکی در زمینه شناسایی پتانسیل اثرات سوء این مواد بر سلامتی انسان و محیط صورت گرفته است. مطالعات اولیه سم شناسی نشان داده اند که ریزمواد می‌توانند سلامتی انسان را تحت تاثیر قرار داده و اثرات زیست محیطی نیز به همراه داشته باشند. این مقاله بطور فشرده به بررسی اثرات تماس با نانوذرات بر سلامتی انسان می‌پردازد.

با گسترش نانو تکنولوژی و مهندسی مواد، نانوذرات مختلفی با خصوصیات تازه و نوظهور ساخته شده و علی رغم اینکه پتانسیل اثرات سمی آنها در بسیاری از موارد ناشناخته است، این مواد کاربردهای روزافزون نیز یافته‌اند. باید به خاطر داشت هم اکنون، سالیانه حدود ۲۰۰۰ کارگر در انگلستان، وکم و بیش در برخی کشورهای دیگر، جان خود را از دست میدهند، خیلی ساده فقط

۱- (نوبنده مسئول) استادیار گروه بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران (bakand183@yahoo.com)

۲-دانشیار گروه بهداشت حرفه‌ای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران

افزایش فعالیت شیمیایی ماده میگردد. بنابراین یک ماده در مقیاس نانو بسیار فعالتر از ذرات معمولی همان ماده و در نتیجه با سمیت بیشتر خواهد بود.

مکانیسم‌های سمیت نانوذرات

می‌توان انتظار داشت که سایز بسیار کوچک نانوذرات نقش مهمی در سمیت این مواد داشته باشد، خصوصاً اگر سایز این ذرات (100 nm) با سایر اجزا بیولوژیکی بدن انسان مانند گلبولهای قرمز (7000 nm) مورد مقایسه قرار گیرد. نانوذرات توانایی این را دارند که غشاء سلولی را پشت سر گذاشته و وارد سلولها شوند^(۴). با استفاده از روش‌های میکروسکوپی انتقال الکترون (TEM) مشخص شده است که نانوذرات اکسیدهای فلزی (ZnO , Y_2O_3 , Fe_2O_3) می‌توانند وارد سلولهای آندوتیال عروقی انسان شده و دوز انتقال یافته بدرورن سلولها نیز متناسب به غلظت نانوذرات در محیط کشت بوده است^(۵). علاوه بر این، سایز کوچک نانوپارتیکل‌ها می‌تواند بطور مستقیم باعث آسیب سلولی شود^(۶).

مکانیسم‌های دفاعی بدن انسان ممکن است نتواند بطور مناسبی با اینگونه مواد بسیار ریز مقابله کند. به عنوان مثال، مدارکی وجود دارد مبنی بر اینکه سلولهای ماکروفاز ریه انسان که وظیفه برداشتن ذرات استنشاق شده را به عهده دارند نمی‌توانند با ریزموادی کوچکتر از 70 nm مقابله نموده و در نتیجه این مواد می‌توانند به اعمق ریه نفوذ کرده و حتی خود را به جریان خون برسانند. بطور مثال گزارش شده است که نانوذرات ناشی از فرآیندهای احتراقی (CDNP) و اجزاء آنها می‌توانند از محل نشست خود در ریه‌ها مهاجرت نموده و خود را به سایر ارگانها برسانند^(۲).

بدلیل افزایش قابل ملاحظه سطح نسبت به جرم ماده، در مقیاس نانو مواد سمی تر هستند. بطور مثال یک نانو ذره کروی با شعاع $2/5\text{ nm}$ و دانسیته 5 g/cm^3 دارای سطحی برابر با $240\text{ m}^2/\text{g}$ خواهد بود^(۷). افزایش میزان سطح باعث افزایش فعالیت شیمیایی و در نتیجه خواص سمی آن ماده خواهد شد.

ریزمواد در مقایسه با مواد اولیه خود بهتر می‌توانند در ارگانیسم‌های زنده حرکت کرده و جا بجا شوند. با در نظر گرفتن توانایی برخی از نانوپارتیکل‌ها برای انتقال داروها

امروزه ریزذرات گروه دوم که بطور دلخواه ساخته می‌شوند در عرصه‌های مختلف پزشکی، داروسازی، بیوتکنولوژی، تولید انرژی، مهندسی، حمل و نقل و الکترونیک کاربرد دارند^(۳). نانوذرات می‌توانند از مواد مختلف و در شکل‌های مختلف مانند کروی، میله‌ای، سیمی و لوله‌ای ساخته شوند. دی‌اکسید تیتانیوم، اکسید روی، نانوذرات نقره، نانوفیبرهای کربن و کاتالیست‌های صنعتی نمونه‌هایی از ریزموادی هستند که امروزه در تکنولوژیهای مدرن بکارگرفته می‌شوند.

سم شناسی نانو

سم شناسی نانو (Nanotoxicology) یکی از جدیدترین شاخه‌های سم شناسی است که به مطالعه و بررسی پتانسیل سمیت ریزمواد و ریزذرات می‌پردازد. در حال حاضر تحقیقات بسیار اندکی در زمینه سمیت نانوذرات صورت گرفته است. با این وجود تحقیقات اولیه سم شناسی نشان داده است که سمیت نانوذرات بطور معنی داری با خصوصیات نوظهور فیزیکوشیمیایی این مواد ارتباط دارد. این خصوصیات که در مقیاس نانو مطرح است، موجب بروز رفتارهای جدید شده و سبب می‌شود که نه تنها شیمی و فیزیک این ذرات تغییر کند بلکه باعث میگردد این ذرات در سیستمهای بیولوژیکی نیز بطور متفاوتی عمل نمایند.

شکسته شدن ماده جامد و تبدیل شدن آن به ذرات ریز موجب کوچک شدن ذرات و افزوده شدن سطح کلی آن شده و می‌تواند خصوصیات سم شناسی ماده را تغییر دهد. موادی که حتی به آنها مواد بی اثر اطلاق می‌شود، مانند TiO_2 ، در مقیاس نانو به ذرات ریزتری تبدیل شده و به همین خاطر فعال می‌شوند. در مقیاس نانومتر، خصوصاً کمتر از $10-20\text{ nm}$ ، خصوصیات ذرات بطور معنی داری تغییر می‌کند. مقایسه ذرات معمولی یک ماده شیمیایی با ذرات همان ماده در مقیاس نانو نشان داده است که در مقیاس نانومتر بسیاری از خصوصیات ماده مانند خواص مکانیکی، نوری، مغناطیسی و الکتریکی و فعالیت شیمیایی تغییر نموده و در نتیجه موجب بروز اثرات شگفت‌آور و پیش‌بینی نشده می‌شود. بدلیل سایز کوچک، نانوذرات سطح بسیار وسیعی دارند که آمادگی برای جذب سطحی یا واکنش را داشته و باعث



مقیاس نانو با مواد اولیه خود با ذرات درشت تر از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تفاوت های فاحشی داشته، بنابراین باید به عنوان مواد جدید در نظر گرفته شده و تماس با آنها مستلزم مقررات و استانداردهای جدید می باشد.

در بدن انسان، می توان انتظار داشت که نانوذرات با مواد شیمیایی و آلاینده ها نیز باند شده و موجب انتقال این مواد سمی به نقاط مختلف بدن شوند. داشتن سطح پرانرژی و وجود نیروهای چسبندگی باعث می شود نانوذرات نسبت به مولکولهای کوچک مانند ذغال فعال عمل نمایند. در مقیاس نانو، ریز ذرات هوابرد می توانند مانند وسیله نقلیه ای برای انتقال مواد سمی بداخل سیستم تنفسی انسان عمل کنند.

منابع

1. Seaton, A. Nanotechnology and the occupational physician. *Occupational Medicine*, 56: 312-316, 2006.
2. Donaldson, K., Tran, L., Jimenez, L. A., Duffin, R., Newby, D. E., Mills, N., MacNee, W. and Stone, V. Combustion-derived nanoparticles: A review of their toxicology following inhalation exposure. *Particle and Fibre Toxicology*, 2:10, 2005.
3. Karn, B., Masciagioli, T., Zhang, W., Colvin, V. and Alivisatos, P. (Eds). *Nanotechnology and the Environment; Applications and Implications*. American Chemical Society, Washington, DC, 2005.
4. Tolstoshev, A. *Nanotechnology, Assessing the Environmental Risks for Australia*, Earth Policy Centre, University of Melbourne, Australia, 2006.
5. Gojova, A., Guo, B., Kota, R. S., Rutledge, J. C., Kennedy, I. M., and Barakat, A. I. Induction of inflammation in vascular endothelial cells by metal oxide nanoparticles: Effects of particle composition. *Environmental Health Perspectives*, 115: 3, 403-409, 2007.
6. Dechsakulthorn, F., Hayes, A., Bakand, S., Joeng, L., and Winder, C. Invtro cytotoxicity assessment of selected nanoparticles using human skin fibroblasts. *Altrernatives to Animal Experimentation*, Special Issue. 14:397-400,2008.
7. Borm, P. JA. Particle toxicology: From coal mining to nanotechnology. *Inhalation Toxicology*, 14: 311-324, 2002.

بسیاری از ریزمواد غیرقابل حل در آب هستند و در نتیجه قابلیت تجمع این مواد در مواد بیولوژیکی و سیستمهای زنده افزایش می یابد. به عنوان مثال ریز ذرات نامحلول قابلیت این را دارند که سالهای در سیستم تنفسی باقی بمانند. بعلاوه مطالعات مختلف نشان داده است که بعد از استنشاق نانوپارتیکل ها و نانوفیبرها قابلیت فاگوسیتوzmakroوفاژها کاهش می یابد. برای مثال، نانوتیوبها مانند نانوالياف کربن ظریفتر از الیاف آزبست بوده، بسیار محکم هستند و انتظار میروند که در ریه ها ابقا شوند، بنابراین می توان پیش بینی نمود چنانچه در مقدار کافی استنشاق شوند، احتملاً خواهد توانست موجب بیماریهایی مانند مژوتلیو ماشوند(۱).

نتیجه گیری

درک فعلی از خواص و اثرات نانوذرات در ارتباط با ارزیابی خطر این مواد بسیار محدود بوده و تاکنون هیچگونه استانداردی در این زمینه تدوین نشده است. گرچه ممکن است در حال حاضر گروههای در معرض تماس با نانوپارتکیل ها محدود به کارکنان آزمایشگاههای تحقیقاتی و یا کارگران کارخانجات سازنده باشند ولی با گسترش روزافزون نانوتکنولوژی طبیعتاً روز به روز بزر تعداد افراد در معرض افزوده خواهد شد. بنابراین تدوین دستورالعملها، استانداردها و مقررات در زمینه نانوتکنولوژی بسیار ضروری و حیاتی به نظر می رسد (۷). در حال حاضر، براساس ترکیبی از مطالعات سم شناسی موجود و همچنین معلومات و تجربیات قبلی انسان در زمینه سم شناسی ذرات، مقررات و کنترلهای شدید باید بکار گرفته شود تا از هرگونه عوارض سوء و جبران ناپذیر احتمالی ناشی از تماس با نانوذرات در آینده پیشگیری به عمل آید. همانطور که گفته شد مواد در