

کاربردها و چالش‌های زیستی نانولوله‌های کربنی

سید حسین بنی طبّا^۱، جواد صفری^{۲*}، شیوا دهقان خلیلی^۳

ایمیل: Sh.deghankhalili@kashanu.ac.ir, Safari@kashanu.ac.ir, banitaba_h@yahoo.com

کاشان- کیلومتر 6 بولوار قطب راوندی- دانشگاه کاشان- دانشکده‌ی علوم- بخش شیمی- آزمایشگاه پژوهشی شیمی آلی-

شناسه‌ی پستی 87317 - 51167

تلفن: 0361 - 5555333 - 2354

چکیده

یکی از پرکاربردترین ساختارهای مورد بحث در فن آوری نانو که به عرصه علوم زیستی وارد شده‌است، نانولوله‌های کربنی هستند. این نانوساختارها، به جهت بهره‌مندی از ویژگی‌های منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی بالقوه، از قابلیت‌هایی برای استفاده در حسگرهای زیستی، حمل و نقل مولکولی، جستجوی الکتروشیمیایی نمونه‌های زیستی، داربست بافتی، فرستنده پیام به سلول‌ها و روش‌های تشخیصی برخوردارند. اما پیش از به کارگیری نانولوله‌های کربنی در موجودات زنده، باید از سازگاری این ساختارها در بافت زنده مطمئن شد.

به این منظور پژوهش‌های زیادی صورت گرفته‌است که تا حدودی سمیت نانولوله‌های کربنی و عوامل مؤثر بر آن، مثل مقدار، ساختمان، دنباله‌های شیمیایی، سطح فعال و خلوص را مشخص نموده‌است. دانشمندان تاکنون توانسته‌اند از نانولوله‌های کربنی در حسگرهای پروتئینی، ناقل‌های پروتئینی، میکروسکوپ‌ها، داربست بافتی سلول استخوانی و عصبی، کانال‌های مولکولی و فرستنده پیام به سلول‌های عصبی استفاده کنند.

کلید واژه: داربست بافتی، فولرن، حسگرهای زیستی، سایش لیزری، ایجیما

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی آلی- دانشگاه کاشان

² هیات علمی دانشگاه کاشان- دانشیار بخش شیمی

³ دانشجوی دکتری شیمی آلی- دانشگاه کاشان

مقدمه

به نظر می‌رسد اولین رشته‌های در مقیاس نانو در سال ۱۹۷۰ میلادی در دانشگاهی در فرانسه تهیه شد. این رشته‌ها هفت نانومتر قطر داشتند و با روش رشد^۱ توسط بخار تهیه شده بودند [1]. با این حال امروزه نام ایجیما^۲ از آزمایشگاهی در تسوکوبا به‌عنوان اولین کسی که در سال ۱۹۹۱ موفق به مشاهده نانولوله‌ها شد، در صدر محققان این رشته باقی مانده است [۱ و ۲ و ۳ و ۴]. در همین زمان و به‌طور مستقل در مسکو نیز دانشمندان موفق به کشف ریزلوله‌هایی شده بودند که البته نسبت طول به قطر آن کمتر از یافته ایجیما بود. روس‌ها نام این ماده را بارلنز^۳ گذاردند [1]. آنچه ایجیما موفق به مشاهده آن شده بود نانولوله چند لایه بود و وی به فاصله دو سال موفق به مشاهده نانولوله تک‌لایه نیز گشت. گروه رایس در ۱۹۹۶ موفق به ساخت دسته‌های موازی از نانولوله تک‌لایه شدند که راه را برای پژوهش‌های بیشتر روی فیزیک کوانتوم تک بعدی باز کرد [1].

معرفی نانولوله‌های کربنی

ساختار

نانولوله‌ها بر اساس ساختمان گرافیت بنا می‌شوند. گرافیت از لایه‌های مجزایی متشکل از اتم‌های کربن تشکیل شده است که به‌صورت واحدهایی شش‌ضلعی که در شش رأس آن اتم کربن قرار دارد آرایشی یافته‌اند. قطر نانولوله بین یک تا دو نانومتر و طول آن گاه تا چند میکرومتر نیز می‌رسد. انتهای هر دو سوی نانولوله‌ها می‌تواند با نیمه‌ای از یک فولرن^۴ مسدود باشد یا نباشد و لذا می‌تواند در انتهای خود علاوه بر اجزای شش‌ضلعی دارای اجزای پنج‌ضلعی نیز باشد [1]. اما مهم‌ترین ویژگی که در تعیین خصوصیات نانولوله‌ها نقش بازی می‌کند، با عنوان پیچش^۵ شناخته می‌شود [۱ و ۲ و ۴ و ۵]. از دیگر ویژگی‌های ساختاری نانولوله‌ها حضور آنها به دو فرم نانولوله چند لایه^۶ و نانولوله‌های تک‌لایه^۷ است؛ هر یک از این انواع دارای کاربردهای متفاوتی هستند.

روش‌های تولید

روش‌های تولید نانولوله‌های کربنی به‌اختصار شامل موارد زیر است [1]:

- تبخیر یا سایش لیزری^۸

1

² Ejima

³ Barrelense

⁴ Fullerene

⁵ Chirality

⁶ MWNT

⁷ SWNT

⁸ Laser Vaporization/ablation

- رسوب‌دهی شیمیایی بخار به کمک حرارت
- رسوب‌دهی شیمیایی بخار به کمک پلاسما
- رشد فاز بخار
- الکترولیز

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

نانولوله‌ها علی‌رغم برخورداری از قطر بسیار کم، استحکام کششی بالایی در حدود صد گیگا پاسکال دارند [2 و 5]. از دیگر خصوصیات نانولوله‌ها وجود پیوندهای واندروالس بین اتم‌ها و لذا توانایی بسیار پایین آنها برای چسبیدن به یکدیگر (خواص الکتریکی منحصر به فرد) در نانولوله فلزی و نیمه هادی [1 و 2 و 3 و 5]، رسانایی تنها در جهت طولی [1 و 2]، رسانایی حرارتی و خاصیت نشر میدانی [2 و 6 و 7] است. خاصیت نشر میدانی در ساختارهایی که دارای نسبت طول به قطر بالا (بزرگ‌تر از هزار)، دارای رأس اتمی تیز، ثبات بالای حرارتی و شیمیایی و هدایت بالای الکتریکی و گرمای باشند، دیده می‌شود [7 و 8].

ویژگی‌های زیستی نانولوله‌های کربنی

با وجود خصوصیات متنوع نانولوله‌ها، دور از ذهن نیست که کاربردهای متنوعی نیز داشته باشند. در یک تقسیم‌بندی ساده می‌توان برهم‌کنش‌های زیستی نانولوله‌ها را از دو بعد درون‌سلولی و برون‌سلولی مورد بررسی قرار داد.

به طور کلی مهم‌ترین عناوین کاربردهای نانولوله‌ها از دید زیست‌شناسی عبارتند از:

- ۱ - حسگرهای زیستی
- ۲ - حمل و نقل ملکولی
- ۳ - جستجوی الکتروشیمیایی نمونه‌های زیستی
- ۴ - داربست بافتی
- ۵ - فرستنده پیام به سلول‌ها
- ۶ - روش‌های تشخیصی

اما یکی از مهم‌ترین مباحث در راه استفاده از کارایی‌های نانولوله در بافت زنده، سازگاری زیستی آن است. لذا ابتدا مطالعات صورت گرفته در این زمینه را مرور می‌کنیم.

سازگاری زیستی

جلب نظر دانشمندان به سازگاری زیستی نانولوله‌ها و اثرات مضر احتمالی آنها بر سلول‌ها، به این واقعیت برمی‌گردد که در سال‌های اخیر با افزایش روز افزون کاربردهای نانولوله‌ها در صنعت و حضور بیشتر آنها در محیط، ارتباط معناداری بین آنها و بیماری‌هایی از جمله بیماری‌های تنفسی [9] و پوستی [10] پیدا شده‌است.

این امر مراکز علمی و پژوهشی را بر آن داشته است تا به بررسی اساسی این تأثیرات، یعنی تأثیر نانولوله بر سلول پردازند. برخلاف مطالعاتی که در ابتدا نشان می‌داند که نانولوله و هم‌خانواده‌های آن تأثیر چندانی بر ریخت‌شناسی^۱، رشد و تکثیر سلولی ندارند [11]، امروزه مشخص شده‌است که شاخص‌هایی چون ابعاد فیزیکی، مساحت، مقدار، نسبت طول به قطر، زمان، خلوص و وجود عوامل شیمیایی متصل به سطح، هر یک به نوبه خود در سمیت نانولوله مؤثرند [۱۲ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۵]. هر یک از مطالعات صورت گرفته روی یکی از متغیرهای مذکور تمرکز بیشتری دارند، اما به نظر می‌رسد که مقدار، خلوص و حضور دنباله‌های شیمیایی متصل به سطح از موارد مهم‌تر باشند.

مطالعات نشان داده‌اند که آستانه اثر کشندگی نانولوله برای نانولوله‌های چند دیواره و تک‌دیواره، حدود ۳/۰۶ میکروگرم در میلی‌لیتر است که این رقم در برابر فولرن (سی-۶۰) که تا ۲۲۶ میکروگرم در میلی‌لیتر نیز اثر کشندگی برای سلول ندارد، رقمی قابل توجه است [16]. نکته جالب آن است که اگر چه با افزایش مقدار نانولوله در محیط کشت، اثر کشندگی آن نیز افزایش می‌یابد، اما این ارتباط، خطی و منظم نیست [15]. نکته دیگر در مورد اثر مقدار اینکه نانولوله در مقدارهای پایین اثری عکس اثرات آن در مقدارهای بالا دارد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که نانولوله^۲ خالص دارای اثرات سمی بیشتری نسبت به نوع ناخالص آن است [12]. اما مهم‌تر از خلوص، اثر عوامل شیمیایی بر روی سطح نانولوله است که موجب کاهش اثرات سمی آن می‌شود [13]. اضافه نمودن عوامل شیمیایی بر روی سطح نانولوله را فعال‌سازی^۲ می‌گویند که به نوبه خود موجب تسهیل به کارگیری نانولوله در صنایع می‌گردد. برخی از مطالعات به نحوه^۲ اثر نانولوله در سلول و علت

¹ morphology

² Functionalization

مستقیم مرگ سلولی ناشی از آن اختصاص دارند. به طور کلی سلول‌ها در مواجهه با نانولوله، پاسخ‌های گسترده و بعضاً متناقضی از خود نشان می‌دهند.

بهره سخن

نانو تکنولوژی، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید باید با در دست گرفتن کنترل در سطوح مولکولی و اتمی و استفاده از خواصی است که در آن سطوح ظاهر می‌شود. از همین تعریف ساده بر می‌آید که نانو تکنولوژی یک رشته جدید نیست، بلکه رویکردی جدید در تمام رشته‌هاست. زمانی که فاینمن فیزیکدان برجسته، ایده کار با اتم‌ها و مولکول‌ها را مطرح کرد، محققان جهان به کار در این عرصه روی آوردند و برای نانو تکنولوژی کاربردهائی گوناگون در حوزه‌های مختلف از غذا و دارو و تشخیص پزشکی و بیوتکنولوژی تا الکترونیک و کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط زیست، مواد، هوافضا و امنیت ملی بر شمرده‌اند.

کاربردهای وسیع این عرصه به همراه اثرات اجتماعی، سیاسی و حقوقی آن، این فن‌آوری را به‌عنوان یک زمینه فرا رشته‌ای و فرابخشی مطرح نموده است. علوم و فن‌آوری نانو، عنصری اساسی در درک بهتر طبیعت در دهه‌های آتی خواهد بود. از جمله موارد مهم در آینده، همکاری‌های پژوهشی میان رشته‌ای، آموزش خاص و انتقال ایده‌ها به صنعت خواهد بود. بخشی از تأثیرات و کاربردهای نانو تکنولوژی به شرح زیر می‌باشند:

تولید مواد و فرآورده‌های صنعتی مواد سبک‌تر و مستحکم‌تر، قابل برنامه‌ریزی و هوشمند، کاهش هزینه، افزایش عمر، ابزارهای جدید بر پایه اصول و معماری جدید، ساخت مولکولی. توسعه نانو بیوحس گر‌ها و تکنولوژی تصویربرداری جدید برای تشخیص زودتر و درمان بیماری‌هایی مثل سرطان، روش بیماری‌شناسی و درمان کارآمدتر و ارزان‌تر، داروهای جدید، کمک به بینائی و شنوائی، مواد جدید سازگار با محیط زیست که باعث افزایش زمان نگهداری اندام مصنوعی می‌گردد، استفاده از دستگاه‌های پزشکی کوچک و هوشمند، ارسال دارو به‌طور مستقیم به سلول‌های آسیب‌دیده و تراشه‌ها و کامپیوترهای سریع‌تر با نانو ترانزیستورها، حافظه‌های با ظرفیت بسیار بالاتر، پهنای باند ارتباطی بالا، نسل جدیدی از ردیاب‌ها، پردازنده‌ها و نانو دستگاه‌ها و تخلیص و نمک‌زدائی آب، کاهش مصرف بنزین با تغییر در خودروها، تایرهای سازگار با محیط زیست، استفاده از نانو پودرها برای رفع آلودگی، استفاده از سیستم‌های نانوروباتیک و هوشمند برای مدیریت فاضلاب‌های زیست‌محیطی - هسته‌ای، بهبود تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته، بهبود تبدیل انرژی هیدروژن به انرژی گرمائی، ذخیره ایمن هیدروژن، سلاح‌های جدید، هوشمندی بیشتر مهمات نظامی، ابزارهای محافظت در برابر سلاح‌های میکروبی و شیمیائی و تسلط بیشتر بر اطلاعات، علوم و مهندسی نانو، منجر به درک بهتر

طبیعت، پیشرفت در پژوهش و آموزش پایه و تغییرات عمده در تولیدات صنعتی، اقتصاد بهداشت، مدیریت محیط زیست و حفظ منابع طبیعی خواهد شد. به گونه‌ای که در ۱۰ تا ۱۵ سال آینده یک بازار جهانی بیش از ۱۰۰۰ میلیارد دلاری را ایجاد خواهد کرد و جهان را برای رسیدن به توسعه پایدار امیدوار ساخته است. علوم و فن آوری نانو، عنصری اساسی در درک بهتر طبیعت در دهه‌های آتی خواهد بود.

بخشی از تأثیرات و کاربردهای نانوتکنولوژی دوام‌پذیری منابع کشاورزی، آب، انرژی، مواد و محیط زیست می‌باشد که منجر به تغییراتی شگرف در استفاده از منابع طبیعی، انرژی و آب خواهد شد و پس آب و آلودگی را کاهش خواهد داد. هم‌چنین فن‌آوری‌های جدید، امکان بازیافت و استفاده مجدد از مواد، انرژی و آب را فراهم خواهند کرد. در زمینه محیط زیست، علوم و مهندسی نانو، می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای، در درک مولکولی فرآیندهای مقیاس نانو که در طبیعت رخ می‌دهد، در ایجاد و درمان مسائل زیست‌محیطی از طریق کنترل انتشار آلاینده‌ها، در توسعه فن‌آوری‌های سبز جدید که محصولات جانبی ناخواسته کمتری دارند و یا در جریان‌ات و مناطق حاوی فاضلاب، داشته باشد.

منابع

۱. Mildred D. , Gene D. , Peter E. , Richiro S., *Carbon nanotubes*. Physics World ۱۹۹۸; Issue ۱
۲. *Nanotechnology Opportunity Report II*
۳. Sigma Aldrich. Fullerenes and Carbon Nanotubes - Structure, Properties and Potential Applications.
۴. Thomas A. A. Physical properties of carbon nanotubes. Science, Engineering and Technology ۲۰۰۰
۵. Hongjie D. , Tom G. . *AN INTRODUCTION TO CARBON NANOTUBES*. Polymer Interfaces and Macromolecular Assemblies ۲۰۰۳
۶. Philip G. Collins and A. Zettl, *Unique characteristics of cold cathode carbon-nanotube-matrix field emitters*. Phys. Rev. ۱۹۹۷; ۹۳۹۱ – ۹۳۹۹
۷. Saito R. , Dresselhaus G. , Dresselhaus M. S. *IEEE Electrical Insulation Magazine* ۱۹۹۸; pp ۲۷۲

۸. Julian H. G. , Milo M. S. , Molly M. S. *Nanofibrous Materials for Tissue Engineering*. Journal of Experimental Nanoscience ۲۰۰۶; ۱ (۱) p ۱
۹. Saugandhika M. , Nathalia P. *Low Impedance electrodes for Biological applications using carbon nanotubes*. George Mason University
۱۰. Shvedova A. A. , Castranova V. , Kisin E. R. , Schwegler-berry D. , Murray A. R. , Gandelsman V. Z. , Maynard A. , Baron P. *Exposure to carbon nanotube material: Assessment of nanotube cytotoxicity using human keratinocyte cells*. Journal of toxicology and environmental health ۲۰۰۳; ۲۰ (۶۶) : ۱۹۰۹-۱۹۲۶
۱۱. Ajima K, Yudasaka M, Murakami T, Maigne A, Shiba K, Iijima S. *Carbon nanohorns as anticancer drug carriers*. *Mol Pharm.* ۲۰۰۵; ۲ (۶) : ۴۷۵-۸۰.
۱۲. Furong T. , Daxiang C. , Heinz S. , Giovanni G. E. , Hisatashi K. *Cytotoxicity of single-wall carbon nanotubes on human fibroblasts*. *Toxicology in Vitro* ۲۰۰۶; ۲۰: ۱۲۰۲-۱۲۱۲
۱۳. Christie M. S. , Feng L. , Jared L. H. , Joe M. , Wenhua G. , Jonathan M. B. , Valerie C. M. , Condell D. D. , Jennifer L. W. , Edward B. , Kevin D. A. , Vicki L. C. *Functionalization density dependence of single-walled carbon nanotubes cytotoxicity in vitro*. *Toxicol Lett* ۲۰۰۶; ۱۶۱ (۲) : ۱۳۵۱۴۲. ۲۴۸
۱۴. Ding L. , Stilwell J. , Zhang T. , Elboudwarej O. , Jiang H. , Selegue J. P. , Cooke P. A. , Gray J. W. , Chen F. F. *Molecular characterization of the cytotoxic mechanism of multiwall carbon nanotubes and nano-onions on human skin fibroblast*. *Nano Letters* ۲۰۰۵; ۵ (۱۲) : ۲۴۴۸-۲۴۶۴
۱۵. Murr L. E. , Garza K. M. , Soto K. F. , Carrasco A. , Powell T. G. , Ramirez D. A. , Guerrero P. A. , Lopez D. A. , Venzor J. *Cytotoxicity Assessment of Some Carbon Nanotubes and Related Carbon Nanoparticle Aggregates and the Implications for Anthropogenic Carbon Nanotube Aggregates in the Environment*. *Int. J. Environ. Res. Public Health* ۲۰۰۵, ۲ (۱) : ۳۱-۴۲
۱۶. Guang J. , Haifang W. , Lei Y. , Xiang W. , Rongjuan P. , Tao Y. , Yuliang Z. , Xinbiao G. *Cytotoxicity of Carbon Nanomaterials: Single-Wall Nanotube, Multi-Wall Nanotube, and Fullerene*. *Environ. Sci. Technol* ۲۰۰۵; ۳۹ (۵) : ۱۳۷۸ -۱۳۸۳
۱۷. Cui D. , Tian F. , Ozkan C. S. , Wang J. , Gao H. *Effect of single wall carbon nanotubes on human HEK ۲۹۳ cells*. *Toxicology Letters* ۲۰۰۵; ۱۵۵: ۷۳-۸۵
۱۸. Ranjani S. , Kasif T. , Balaji P. *Biological Functionalization of Carbon Nanotubes*. *International Conference on MEMS, NANO and Smart Systems (ICMENS'۰۶)* ۲۰۰۴; pp. ۴۸-۵۳
۱۹. Sotiropoulou, S. , Chaniotakis, N. A. *Nanotube Biosensors*. *Anal of Bioanalytical Chemistry* ۲۰۰۳, ۳۷۵