اثرات باقی‌مانده نانولوله‌های کربنی مورد استفاده در تصفیه فاضلاب بر روی سلامتی انسان

زهرا نوری مطلق[۱]، حمیدرضا پورزمانی[۲]، مریم فروغی[۳]

چکیده

از آن جا که تولید فاضلاب سال به سال افزایش می‌یابد و نیز به دلیل تنوع آلاینده‌های موجود در آن، روش‌های مؤثر و پیشرفته‌ای برای تصفیه آن مورد نیاز است. یکی از موادی که در سال‌های اخیر به صورت رو به رشد برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود، نانولوله‌های کربنی است. تماس با باقیمانده این مواد (مشابه باقی‌مانده مواد شیمیایی) که در اثر بلع آب، تنفس و تماس پوستی در طول فعالیت‌های معمول در خانه (نظیر حمام کردن و پخت و پز) صورت می‌گیرد، ممکن است اثرات نامطلوب زیادی بر سلامت انسان گذارد. علیرغم اثرات بالقوه نانولوله‌های کربنی بر سلامتی انسان و محیط‌زیست و همچنین کاربرد بسیار زیاد این مواد، اطلاعات در مورد سمیت آن‌ها در آب آشامیدنی بسیار کم است. هدف از این مطالعه، پوشش اثراتی است که باقیمانده این مواد در آب آشامیدنی بر روی سلامت انسان می‌گذارد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه فاضلاب، نانولوله‌های کربن، اثر بر سلامتی انسان

نوع مقاله: *مروری*

دریافت مقاله: ۹۰/۸/۲ *پذیرش مقاله: ۹۰/۱۱/۲۴*

مقدمه

کاربرد نانولوله‌های کربن (Carbon nanotubes یا CNTs) به عنوان مواد نوپدید به دلیل خصوصیات منحصر به فردشان رو به افزایش است. CNTs در واقع صفحه‌ای گرافیتی (شبکه‌ای از کربن شش ضلعی) است که به صورت لوله‌ای با قطر ۱/۴ نانومتر و طول در حد میکرون است. چنانچه در ساخت لوله مذکور، یک صفحه کربن به کار رفته باشد، CNTs تک‌جداره (Single-walled carbon nanotubes یا SWCNTs) و اگر چند صفحه به دور هم پیچیده شده باشد، CNTs چندجداره (Multi-walled carbon nanotubes یا MWCNTS) نامیده می‌شود. ویژگی‌های منحصر به فرد CNTsها مانند نسبت سطح به حجم بالا، نیروی کششی و خصوصیات الکتریکی، آن‌ها را برای کمپوزیت‌ها، سنسورها و اسکنرها و وسایل ذخیره انرژی نظیر سلول‌های سوختی مواد ایده‌آلی ساخته است. به دلیل افزایش استفاده از CNTs نگرانی در مورد خطرات آن در سیستم‌ها و فرایندهای بیولوژیکی نیز افزایش یافته است (۲، ۱). در شکل ۱ صفحه گرافیتی، SWCNTS و MWCNTS نشان داده شده است.

کاربردهای عمومی نانولوله‌های کربنی

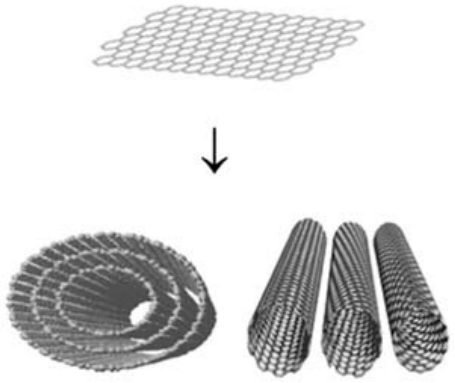
نانولوله‌های کربن به دلیل خصوصیات منحصر به فرد الکتریکی، مکانیکی و گرمایی، کاربردهای بالقوه وسیعی در صنایع الکترونیک، کامپیوتر، هوا- فضا و صنایع دیگر دارند. CNTSها همچنین کاربردهای پزشکی نظیر بیوسنسورهای کوچک، حمل داروها به عضو هدف و مهندسی بافت را دارند (۲).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- استادیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسؤول)

Email: maryam_foroghi88@yahoo.com



شکل ۱: صفحه گرافیتی، SWCNTS و MWCNTS (۳)
SWCNTS: Single-walled carbon nanotubes
MWCNTS: Multi-walled carbon nanotubes

کاربردهای CNTSها در تصفیه آب

علاوه بر کاربردهای متنوع در صنعت، به دلیل خصوصیات استثنایی جذب، CNTSها در تصفیه آب و فاضلاب نیز مورد استفاده قرار گرفته است. CNTSها به عنوان بستر جاذب برای حذف فلزات سنگین، مواد آلی و معدنی نظیر بنزن، اتیل بنزن، تولوئن، گزیلن و نیز آلودگی‌های بیولوژیکی به کار رفته است (۶-۳). توجه خاص به این مواد در تصفیه آب از آن جهت است که این مواد برای حذف انواع آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی آب مؤثر هستند (۷). به تازگی مشخص شده است که می‌توان CNTSها به عنوان ماده منعقدکننده ناهمگن (Heterogeneous coagulant) در تصفیه فاضلاب استفاده نمود (۳). موفقیت CNTSها به عنوان بستر در حذف آلاینده‌های بیولوژیکی به خصوصیات منحصر به فرد فیزیکی، سمیت برای سلول و ویژگی‌های عملیاتی سطح آن‌ها نسبت داده می‌شود (۷). همچنین در چند مطالعه از CNTS برای فیلتراسیون نیز استفاده شده است. مزایای استفاده از CNTSها در فیلتراسیون عبارت از الف) به دام انداختن و غیر فعال کردن همزمان پاتوژن‌ها (۷) ب) قابلیت استفاده مجدد از آن‌ها (۸) می‌باشد.

علیرغم اهمیت CNTSها در زلال‌سازی و تصفیه آب، عدم حلالیت این مواد از چالش‌های پیش رو در استفاده از آن‌هاست. این موضوع سبب می‌شود که CNTSها پس از استفاده به صورت رسوب تجمع یابند. در سال‌های اخیر چند تلاش موفقیت‌آمیز جهت تهیه CNTSهای محلول در آب با استفاده از تکنیک‌های مختلف صورت گرفته است (۹)؛ اما از طرفی تبدیل CNTSها به فرم محلول در آب، با استفاده عملی از آن‌ها به عنوان بستر جاذب منافات دارد. علیرغم مسایل گفته شده، می‌توان از CNTSهایی که حلالیت مناسبی دارند، جهت ساخت غشاهای کمپوزیت (Composite membranes) استفاده نمود. از سوی دیگر، CNTSهایی که به طور متعادل دارای هر دو ویژگی حلالیت و آب‌گریزی هستند، نسبت به زمانی که کاملاً محلول یا کاملاً آب‌گریز هستند، میل بیشتری به باکتری‌ها از خود نشان می‌دهند (۷).

اهداف مطالعه

از آن جایی که در صورت استفاده از CNTSها (چه در فیلتراسیون و چه در جذب)، ممکن است بخشی از این مواد در آب باقی بماند، سبب ایجاد نگرانی‌هایی در مورد سلامت انسان شده است. با این حال و با وجود کاربرد گسترده CNTSها در زلال‌سازی و تصفیه آب، پیامدهای بهداشتی این مواد در آب برای زندگی بشر هنوز نامشخص و بحثی بزرگ است (۱۰). بنابراین بررسی جامع اثرات بالقوه نامطلوب این مواد جهت توسعه مناسب و ایمن آن‌ها به عنوان موادی که کاربردی رو به رشد دارند، ضروری است.

اثرات باقی‌مانده نانولوله‌های کربنی بر سلامت انسان

CNTSها اثرات چندگانه‌ای بر روی سیستم‌های سلولی پستانداران دارند. CNTSها از نظر بیولوژیکی مقاوم هستند و در موش‌ها سبب التهاب ریوی و نیز تکثیر سلولی ریه و رشد ماهیچه‌های قلبی می‌شوند. سمیت CNTS بر روی سلول‌های پستانداران از کوارتز و آزبست نیز بیشتر است و تابع اندازه فیزیکی لوله‌ها، حالت فیزیکی لوله‌ها (این که آیا به صورت محلول هستند یا تجمع یافته)، وجود ناخالصی‌های بدون شکل در CNTS و نوع تصفیه برای آماده‌سازی CNTS هاست. به عنوان نمونه، سمیت CNTS محلول کمتر از سمیت CNTS تجمع یافته است (۷).

www.mui.ac.ir

به هر حال نگرانی در مورد سمیت CNTSها و این که اگر به طور تصادفی وارد محیطزیست از جمله آب آشامیدنی شوند، بهداشت عمومی را تهدید می‌کنند، ایجاب می‌کند که به اثرات CNTSها بر سلامت انسان بیشتر پرداخته شود. این بخش با توجه به متون موجود، به بررسی اثرات سمی CNTSها و مسیرهای جذب احتمالی این مواد در دستگاه گوارش می‌پردازد.

اثرات عمومی سمیت نانولوله‌های کربنی

هر چند کاربرد CNTSها در بسیاری از زمینه‌ها از جمله تصفیه آب، مزایای زیادی دارد اما این مواد روی سلامتی و محیطزیست اثرات مضری دارد. به عنوان نمونه، رها کردن CNTSها به محیطزیست می‌تواند اثرات مضری را روی اکوسیستم‌های طبیعی داشته باشد. به علاوه CNTSها ممکن است در اثر تداخل یا صدمه به DNA اثرات نامطلوبی را روی اندام‌های بدن داشته باشد (۱۱). البته بایستی خاطر نشان کرد که CNTSها و دیگر نانو مواد مهندسی شده (ENMs ،Engineering nano materails)، در صورتی می‌توانند تأثیرات بیولوژیکی داشته باشند که ۱) بتوانند وارد یک سیستم بیولوژیکی شوند، ۲) به مقدار کافی وارد شوند و ۳) پتانسیل اثرگذاری بر روی فرآیندهای بیوشیمیایی/بیولوژیکی سلول را داشته باشند. همچنین قادر باشند به طور مستقیم یا غیر مستقیم روی سیستم بیولوژیکی اثر گذارند (۱۲).

تحقیقات موجود نشان داده است که CNTSها قادرند از طریق پوست، دستگاه تنفسی و یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند و در اندام‌های مختلف ترسیب شوند که این موضوع در نهایت منجر به بسیاری از اثرات سوء بیولوژیکی خواهد شد. البته در حیوانات آزمایشگاهی انتقال ژنتیکی نیز گزارش شده است (۱۰).

نانوذراتی نظیر CNTSها، تأثیرات منفی خود را بر روی اندام‌های بیولوژیکی به طرق زیر می‌گذارند. ۱) به دلیل بالا بودن نسبت سطح به حجم و در نتیجه فعالیت بالا (Reactivity)، این مواد به عنوان حاملی جهت انتقال مواد سمی به داخل سلول عمل می‌کنند. ۲) با ساختارهای بیولوژیکی با اندازه مشابه CNTSها نظیر DNA و پروتئین‌ها یا مولکول‌هایی که از نظر بیولوژیکی فعال هستند، وارد فعل و انفعال می‌شوند (۱۲).

بایستی خاطر نشان کرد که سمیت CNTSها بستگی به موارد زیر دارد.

۱) مقدار و نوع قرارگیری ترکیبات تشکیل‌دهنده در CNTSها

۲) قابلیت پایداری یا عدم پایداری آن در اندام‌ها

۳) پاسخ بدن میزبان جهت دفع این مواد (۱۰).

سمیت سلولی (Cytotoxicity)

در مطالعه سمیت سلولی، درجه‌ای مهم است که در آن، عامل مورد نظر سبب ایجاد فعالیت تخریبی مشخصی در سلول‌های خاصی می‌شود. همان طور که قبلاً گفته شد، CNTSها اثرات چندگانه‌ای را روی سیستم‌های سلولی پستانداران دارند. به طور کلی، اثرات سمیت سلولی CNTSها به خواص فیزیکی و شیمیایی ذاتی آن‌ها از قبیل ساختار، طول و توزیع اندازه، مساحت سطح، شکل، درجه پراکندگی و دانه‌بندی، حالت تراکم، وجود ناخالصی‌های بی‌شکل، میزان اکسیداسیون، روش ساخت، ناخالصی‌های فلز، پوشش، غلظت و دوز، تثبیت، جذب سلولی و پاسخ به سمیت توسط سلول‌های مختلف بستگی دارد (۱۴، ۱۳). به عنوان نمونه، ذرات کوچک و گرد در مقایسه با ذرات بزرگ و فیبر مانند به راحتی به بافت نفوذ می‌کنند (۱۲) و یا SWCNTS با حلالیت خوب نسبت به SWCNTSهای تجمع یافته (در اندازه میکرونی)، سمیت کمتری دارند (۱۰). همچنین مشخص شده است که SWCNTSها در مقایسه با MWCNTS سمیت بیشتری بر روی باکتری‌ها دارند. سه عامل در این موضوع دخیل است.

- قطر کوچک نانولوله‌ها که نفوذ نانولوله‌ها را به داخل دیواره سلولی تسهیل می‌کند.
- مساحت سطح این مواد سطح بزرگ‌تری را برای تماس و ایجاد فعل و انفعال با سلول فراهم می‌کند.
- خصوصیات الکترونیکی و شیمیایی منحصر به فرد این مواد نیز مؤثر است (۱۵).

در مجموع و طبق مطالعات انجام گرفته، ترتیب سمیت سلولی به قرار زیر گزارش شده است (۱۰):

فلوران‌ها <کوارتز< MWCNTS > SWCNTS

Wang و همکاران گزارش کردند که در دوز یکسان، MWCNTSهای با قطر کوچک‌تر سمیت کمتری نسبت به MWCNTSهای با قطر بزرگ‌تر دارند (۱۶). بنابراین سمیت در قطرهای مختلف MWCNها متفاوت است.

سمیت ژنوم (Genotoxicity)

در حال حاضر تحقیقات اندکی در مورد تغییرات ژنی که توسط CNTSها به وجود می‌آید، انجام شده است. در مطالعاتی که در مورد تماس CNTS با سلول‌های لایه پوشاننده بیضه و صفاق انجام شد، مشخص شد که MWCNTSهای بلند (بلندتر از ۵ μ) می‌توانند مشابه آزبست عمل کنند و مستعد به وجود آمدن مزوتیلونما (Mesotheliomas) در موش و موش صحرایی شوند (۱۷). اثرات سرطان‌زایی MWCNTSهای کوتاه (کوتاه‌تر از ۵ μ) پس از تزریق داخل صفاقی مشاهده نشد (۱۸، ۱۷). دلیل آن می‌تواند توانایی فاگوسیت‌ها در بلع آن‌ها و پاک کردن ذرات از پرده جنب باشد که در مورد رشته‌های بلند این قابلیت وجود ندارد (۱۹، ۱۷).

Patlolla و همکاران سمیت MWCNTSهای خالص را بر روی سلول‌های فیبروبلاست پوستی انسان سالم بر اساس توانایی زنده ماندن سلول، آسیب به DNA و آپوپتوز (Apoptosis) (مرگ از پیش برنامه‌ریزی شده) مورد بررسی قرار دادند. نتایج به وضوح نشان داد که افزایش معنی‌داری در سمیت سلولی، سمیت ژنتیکی و آپوپتوز در سلول‌های سالم فیبروبلاست پوست انسان در اثر مواجهه با MWCNTSها رخ داد (۲۰). در مطالعه Simate و همکاران نیز مشخص شد که MWCNTSها قادر به تجمع و ایجاد آپوپتوزیس در سلول‌های بنیادی جنین موش هستند و پروتئین سرکوب‌گر تومور را فعال می‌کنند. مطالعه بر روی جهش‌زایی با استفاده از نشان‌گر ملکولی اندوژنز (آدنین فسفوریبوزیل ترانسفراز) نشان داد که جهش در سلول‌های بنیادی جنین موش در اثر مواجهه با MWCNTSها در مقایسه با جهش خود به خودی دو برابر است (۱۰). با استفاده از کامت اسی قلیایی (Alkaline comet assay) و سنجش ریزهسته‌ها مشخص شد که SWCNTS قادر به ایجاد تغییرات ژنی در سلول‌های پوششی برونش انسان هستند (۲۱).

فرضیه‌های متعددی را می‌توان برای اثر سمیت ژنتیکی MWCNTSها پیشنهاد کرد. از جمله می‌توان به تشکیل ترکیب اضافی و یا آسیب در سطح DNA یا کروموزوم اشاره کرد (۲۰). فعل و انفعال مستقیم بین نانوذرات و مواد ژنتیکی را نیز نباید از نظر دور داشت (۱۰).

بسیاری از خواص CNTSها که در این بخش مورد بحث واقع شد، منجر به سمیت آن‌ها می‌شود. در واقع این خواص به هم مرتبط هستند و تحت تأثیر شرایط محیط خارجی (در طول دوره تولید، استفاده و دفع این مواد) قرار می‌گیرند. با این حال، هیچ توافق جهانی تعریف شده‌ای در مورد خطرات (از جمله غلظت) CNTSها بر روی سلامت انسان وجود ندارد (۱۳).

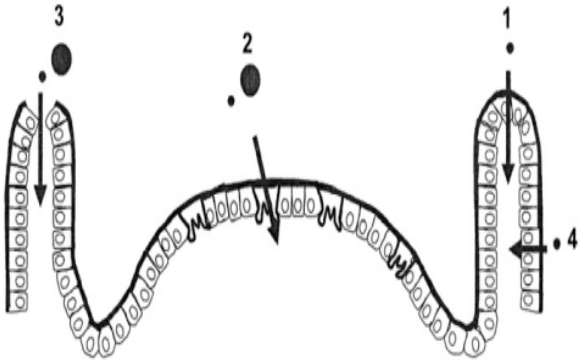
مواجهه با دستگاه گوارش

مسیرهای مختلفی برای ورود نانو مواد به بدن وجود دارد. در حالی که بسیاری از مطالعات مربوط به سمیت CNTSها بر روی مواجهه از طریق راه‌های تنفسی متمرکز شدند (۲۳، ۲۲)، مطالعات اندکی در مورد ورود نانولوله‌های کربنی از طریق بلع یا مسیرهای گوارشی وجود دارد. ورود آن‌ها به بخش‌های گوارشی می‌تواند ناشی از تماس دست با دهان یا نتیجه بلع موکوس پس از استنشاق این مواد باشد (۱۷، ۱۴). همچنین از طریق آب آشامیدنی آلوده شده به آن‌ها می‌تواند باشد. کل مسیر گوارشی در تماس مستقیم با همه مواد بلع شده می‌باشد و مواد مغذی لازم برای بدن (به جز گازها) از این مسیر جذب می‌شوند. کل سطح دستگاه گوارش علاوه بر این که محل ورود ماکروملکول‌های مورد نیاز بدن است، به عنوان یک مانع پیچیده نیز عمل می‌کند (۱۴). در شکل ۲، چهار مسیر مختلف نشان داده شده است که از طریق آن‌ها ذراتی مانند CNTSها پس از بلع، به داخل و سراسر دستگاه گوارش انتقال می‌یابند (۲۴).

اگرچه وظیفه اصلی سلول‌های مخاطی (انتروکیست‌ها)،

www.mui.ac.ir

جذب و انتقال مواد مغذی برای توزیع سیستمایک و عملکرد بهینه سلول است، اما برخی اطلاعات نشان دادند که سلول‌ها همچنین می‌توانند مواد را در سایز نانو از طریق آندوسیتوز به دست آورند (۲۴). یکی دیگر از مسیرهای جذب، مسیر انتقال درون سلولی (Transcellular) است که این مسیر متداول‌ترین مسیر برای جذب ذرات در مقیاس نانو و میکرو می‌باشد (۲۵).



شکل ۲: خلاصه‌ای از انتقال ذرات در سرتاسر مسیر گوارشی
۱- آندوسیتوز از طریق سلول‌های "معمولی" مخاطی، برای ذرات < nm ۱۰۰-۵۰، ۲- انتقال درون سلولی، این مسیر، مسیر اصلی برای جذب ذرات است و معمولاً برای نانوذرات درشت (nm ۱۰۰-۲۰) و میکروذرات ریز (nm ۱۰۰-۵۰۰) مطرح است. ۳- پرسورپشن یا عبور ذرات از طریق فواصل موجود در مخاط و به طور کلی ورود آن‌ها به گردش خون. ۴- جذب بین سلولی، معمولاً کمپلکس‌های سیناپسی حتی به کوچک‌ترین نانوذرات اجازه ورود نمی‌دهند، اما برخی داروها و شرایط تغذیه‌ای نظیر بیماری‌ها این وضعیت را تغییر می‌دهند و بدین ترتیب نانوذرات بسیار ریز قادر به ورود خواهند شد (۲۴).

مسیر سوم جهت انتقال ذرات، پرسورپشن (Persorption) است. پرسورپشن واژه‌ای برای توصیف عبور ذرات از روزنه‌های سلولی روده (از طریق فواصل موجود در مخاط) و به طور کلی ورود آن‌ها به گردش خون می‌باشد. با این حال بعید است که پرسورپشن کارایی بالایی داشته باشد، چرا که محدود به موادی با قطر کمتر از µm ۰/۰۰۵ (nm ۵) می‌باشد. در حالی که محدوده اندازه CNTSها nm ۱۰۰-۱ است (۲۴).

آخرین مسیر ممکن برای عبور، مسیر بین سلولی است. تحت شرایط خاص، نانوذرات خیلی کوچک قادرند با انتقال از اتصالات محکم بین سلول‌های مخاطی به بافت دستگاه گوارش برسند (۲۴).

با وجود امکان انتقال CNTSها، این تصور می‌رود که دستگاه گوارش نسبت به شش‌ها حفاظت بیشتری دارد (۲۴). در واقع تحقیقات پیشین نشان دادند که در ورود از مسیر دهانی، جذب CNTSها و فلوران‌ها محدود است (۱۰). انتظار می‌رود که نانوذرات کم محلول (مانند CNTSها) دفع می‌شوند و یا اگر در دستگاه گوارش باقی ماندند تا حدودی توسط ماکروفاژها پاکسازی می‌شوند. با این حال اگر سلول‌های فاگوسیتوز سسیستم ایمنی (مثلاً ماکروفاژها، نوتروفیل‌ها و سلول‌های دندریت) تا حدودی توسط CNTSها دچار اختلال شوند، این مواد قادر خواهند بود از طریق پوشش دستگاه گوارش به اندام‌های حساس مختلف بدن انسان وارد شوند.

نتیجه‌گیری

اگرچه دانش کنونی در مورد اثرات CNTSها بر روی سلامت انسان اندک و در ابتدای راه است، اما از آن جا که اثرات منفی CNTSها بر روی انسان محرز است، لازم است که استفاده از آن‌ها محدود شود و یا آن که تمهیداتی برای حذف مؤثر باقیمانده این مواد از آب (پس از تصفیه آن) اتخاذ شود. با توجه به خصوصیات استثنایی CNTSها در مقایسه با سایر موادی که امروزه در تصفیه استفاده می‌شوند و کاربری روزافزون این مواد، به نظر می‌رسد که بایستی مطالعاتی بر روی مشخص شدن اثرات قطعی CNTSها بر روی انسان، تعیین غلظت‌های حداکثر و مجاز باقیمانده آن‌ها و نیز حصول راهکارهای مؤثری برای حذف باقیمانده این مواد از آب انجام گیرد.

www.mui.ac.ir

References

1. Luongo LA, Zhang XJ. Toxicity of carbon nanotubes to the activated sludge process. J Hazard Mater 2010; 178(1-3): 356-62.
2. Coccini T, Roda E, Sarigiannis DA, Mustarelli P, Quartarone E, Profumo A, et al. Effects of water-soluble functionalized multi-walled carbon nanotubes examined by different cytotoxicity methods in human astrocyte D384 and lung A549 cells. Toxicology 2010; 269(1): 41-53.
3. Simate GS, Cluett J, Iyuke SE, Musapatika ET, Ndlovu S, Walubita LF, et al. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. Desalination 2011; 273(2-3): 235-47.
4. Pourzamani H, Bina B, Rashidi A, Amin MM. Performance of raw and regenerated multi- and single-walled carbon nanotubes in xylene removal from aqueous solutions. Int J Env Health Eng 2012; 1: 4.
5. Bina B, Amin MM, Rashidi A, Pourzamani HR. Benzene and Toluene Removal by Carbon Nanotubes From Aqueous Solution. Archives of Environmental Protection 2012; 38(1): 3-25.
6. Bina B, Pourzamani H, Rashidi A, Amin MM. Ethylbenzene Removal by Carbon Nanotubes from Aqueous Solution. Journal of Environmental and Public Health 2012. [In Press]
7. Upadhyayula VK, Deng S, Mitchell MC, Smith GB. Application of carbon nanotube technology for removal of contaminants in drinking water: a review. Sci Total Environ 2009; 408(1): 1-13.
8. Brady-Estevez AS, Kang S, Elimelech M. A single-walled-carbon-nanotube filter for removal of viral and bacterial pathogens. Small 2008; 4(4): 481-4.
9. Zhang L, Ni QQ, Fu Y, Natsuki T. One-step preparation of water-soluble single-walled carbon nanotubes. Applied Surface Science 2009; 255(15): 7095-9.
10. Simate GS, Iyuke SE, Ndlovu S, Heydenrych M, Walubita LF. Human health effects of residual carbon nanotubes and traditional water treatment chemicals in drinking water. Environ Int 2012; 39(1): 38-49.
11. Savolainen K, Alenius H, Norppa H, Pylkkanen L, Tuomi T, Kasper G. Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies--a review. Toxicology 2010; 269(2-3): 92-104.
12. Som C, Wick P, Krug H, Nowack B. Environmental and health effects of nanomaterials in nanotextiles and facade coatings. Environment International 2011; 37(6): 1131-42.
13. Stella GM. Carbon nanotubes and pleural damage: perspectives of nanosafety in the light of asbestos experience. Biointerphases 2011; 6(2): 1-17.
14. Gazso A, Fiedeler U. How Nanoparticles Enter the Human Body and Their Effects There [Online]. 2010; Available from: URL: http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier003en.pdf/
15. Kang S, Herzberg M, Rodrigues DF, Elimelech M. Antibacterial effects of carbon nanotubes: size does matter! Langmuir 2008; 24(13): 6409-13.
16. Wang X, Jia G, Wang H, Nie H, Yan L, Deng XY, et al. Diameter effects on cytotoxicity of multi-walled carbon nanotubes. J Nanosci Nanotechnol 2009; 9(5): 3025-33.
17. Aschberger K, Micheletti C, Sokull-Kluttgen B, Christensen FM. Analysis of currently available data for characterising the risk of engineered nanomaterials to the environment and human health--lessons learned from four case studies. Environ Int 2011; 37(6): 1143-56.
18. Muller J, Delos M, Panin N, Rabolli V, Huaux F, Lison D. Absence of carcinogenic response to multiwall carbon nanotubes in a 2-year bioassay in the peritoneal cavity of the rat. Toxicol Sci 2009; 110(2): 442-8.
19. Donaldson K, Murphy FA, Duffin R, Poland CA. Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma. Part Fibre Toxicol 2010; 7: 5.
20. Patlolla A, Knighten B, Tchounwou P. Multi-walled carbon nanotubes induce cytotoxicity, genotoxicity and apoptosis in normal human dermal fibroblast cells. Ethn Dis 2010; 20(Suppl 1): S1-72.
21. Lindberg HK, Falck GC, Suhonen S, Vippola M, Vanhala E, Catalan J, et al. Genotoxicity of nanomaterials: DNA damage and micronuclei induced by carbon nanotubes and graphite nanofibres in human bronchial epithelial cells in vitro. Toxicol Lett 2009; 186(3): 166-73.
22. Thurnherr T, Brandenberger C, Fischer K, Diener L, Manser P, Maeder-Althaus X, et al. A comparison of acute and long-term effects of industrial multiwalled carbon nanotubes on human lung and immune cells in vitro. Toxicol Lett 2011; 200(3): 176-86.
23. Shvedova AA, Kisin ER, Porter D, Schulte P, Kagan VE, Fadeel B, et al. Mechanisms of pulmonary toxicity and medical applications of carbon nanotubes: Two faces of Janus? Pharmacol Ther 2009; 121(2): 192-204.
24. Powell JJ, Faria N, Thomas-McKay E, Pele LC. Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract. J Autoimmun 2010; 34(3): J226-J233.
25. Bouwmeester H, Dekkers S, Noordam MY, Hagens WI, Bulder AS, de HC, et al. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. Regul Toxicol Pharmacol 2009; 53(1): 52-62.

Effects of Residual Carbon Nanotubes in Water Treatment on Human Health

Zahra Noori Motlagh[1], Hamid Reza Pourzamani[2], Maryam Foroughi[3]

Abstract

Since the wastewater production is increasing every year and also because of increase of contaminations variety in it, it is required that applied effective and enhanced methods for treatment of it. One of materials that used promising for treatment of wastewater is carbon nanotubes. Exposure to residual of this matters in wastewater after treatment of it, is because of ingestion of drinking water, inhalation and dermal contact during regular indoor activities (e.g., bathing, cooking) may pose many effects on human health. Despite carbon nanotubes (CNTSs), potential impacts on human health and the environment and increase of their implication recent years, the information on the toxicity of CNTSs in drinking water is very limited. The goal of this study is coverage of human health impacts of residuals of CNTSs in water.

Key words: Wastewater Filtration, Carbon Nanotubes, Human Health

1- MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, University of Lorestan, Khoramabad, Iran
2- Assistant Professor, Environmental Research Center, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- MSc Student, Student Research Committee, Department of Environmental Health Engineering, Environmental Research Center, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (Corresponding Author) Email: maryam_foroghi88@yahoo.com