مجله پژوهش علف‌های هرز
جلد ۶، شماره ۲، ۱۳۹۳
صفحات ۱۰۴- ۸۷

مروری بر کاربردهای عملی نانو فناوری در پالایش باقی‌مانده علف‌کش‌ها وآفت‌کش‌ها در محیط

Review the Applications of Nanotechnology in the remediation of herbicides and pesticides residue in the environment

سیدکریم موسوی [۱]، ابراهیم ایزدی دربندی [۲*]

چکیده:

آلودگی منابع آب و خاک بر اثر کاربرد بی‌رویه آفت‌کش‌ها در اراضی کشاورزی از جمله معضلات زیست محیطی مهم دنیاست. گستره وسیعی از مواد نانویی برای سمیت‌زدایی محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از جمله آنها می‌توان به ذرات نانو فلزی، نانو اکسیدها، نانو رس‌ها و دندریمرها اشاره کرد. در مطالعات مختلف به تجزیه آفت‌کش‌ها با استفاده از ذرات نانو (نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی، نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم) اشاره شده است. امروزه استفاده از دی‌اکسید تیتانیوم برای تجزیه نوری آفت‌کش‌ها به دلیل کارکرد مناسب آن در دما و فشار معمولی با نیاز کم به انرژی نورانی، بدون احتیاج به معرف‌های شیمیایی و کاتالیزورهای گران قیمت مورد توجه قرار گرفته است. آهن صفر ظرفیتی به دلیل هزینه کم و سهولت تولید، روش عملی مناسبی برای تجزیه باقی‌مانده آفت‌کش‌ها به شمار می‌رود. حمله رادیکال‌های پراکسید یا هیدروکسیل و انتقال الکترون مکانسیم عمل دی‌اکسید تیتانیوم برای تجزیه نوری آفت‌کش‌ها محسوب می‌شود. برخی شواهد حاکی از وجود مخاطرات زیست محیطی مترتب بر کاربرد مواد در اندازه نانو است. اکثر ذرات نانو دچار تجزیه زیستی نمی‌شوند و انتظار می‌رود که در بدن موجودات زنده به خصوص در سطوح بالای زنجیره‌های غذایی تجمع یابند. مواد در اندازه نانو ویژگی‌های غیرمعمول فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از خود بروز می‌دهند، که ممکن است به میزان قابل توجهی با خصوصیات آنها در اندازه معمول متفاوت باشد. از این رو ضروری است توسعه فناوری نانو در چارچوبی مسئولانه و ایمن صورت پذیرد.

واژه‌های کلیدی: نانو ذرات، باقی‌مانده آفت‌کش‌ها، سمیت‌زدایی، مخاطرات زیست محیطی

مقدمه

آفت‌کش ها به کرات در آب‌های شرب، آب‌های زیرزمینی و خاک‌ها مشاهده می‌شوند. راه‌های مختلفی برای ورود آلودگی آفت‌کش‌ها به محیط متصور است که از جمله آنها می‌تو.ان به

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۴

۱- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان
۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
*- نویسنده مسئول E-mail: e-izadi@um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

روان‌آب اراضی کشاورزی، ورود مستقیم از طریق سمپاشی، پساب‌های صنعتی و گردو غبار اشاره کرد. هرچند بسیاری از آفت‌کش‌های جدید با هدف تجزیه سریع در معرض نور یا درخاک طراحی شده‌اند، اما اغلب آفت‌کش‌ها در صورت رسیدن به آب‌های زیرزمینی به دلیل کاهش فعالیت میکروبی، فقدان نور و دمای پایین در نواحی زیرسطحی ماندگار می‌مانند (Joo & Cheng, 2006).

تجزیه‌ناپذیری آفت‌کش عمدتاً به ساختار شیمیایی آن مربوط است. برخی علف‌کش‌ها نظیر توفوردی نسبت به تجزیه محیطی حساس هستند، در حالی که برخی دیگر مانند اکثر حشره‌کش‌های کلره از قبیل آندوسولفان، هپتاکلر و دیلدرین به میزان قابل توجهی در برابر تجزیه محیطی مقاوم هستند. قابلیت یونیزاسیون، حلالیت در آب، فراریت، میزان نگهداشت در خاک و طول عمر از جمله ویژگی‌های کلیدی تاثیرگذار بر تجزیه آفت‌کش‌ها محسوب می‌شوند. حلالیت نه تنها انتقال بلکه علاوه بر آن تجزیه آفت‌کش را نیز تحت تاثیر قرار می دهد زیرا فرآیند تجزیه عمدتاً در فاز محلول اتفاق می‌افتد (Joo & Cheng, 2006).

نانوتکنولوژی گویای کنترل و کاربرد ذرات در ابعادی در حد ۱۰۰-۱ نانومتر است، در این مقیاس معمولاً ذرات ویژگی‌های منحصربه‌فردی از خود بروز می‌دهند. مواد ممکن است در مقیاس نانو خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی از خود نشان دهند، که این خصوصیات ممکن است از جنبه‌های مختلف با ویژگی‌های توده مواد متفاوت باشد. نانوتکنولوژی می‌رود تا دنیا و مسیر زندگی بشر را دستخوش تغییر نماید. ایجاد کاربردهای علمی در مقیاس‌های کوچک‌تر، سریع تر، قوی‌تر، ایمن‌تر و اتکاپذیرتر از اهداف این فناوری است (Anonymous, 2012).

سنجش قرارگیری در معرض ذرات نانو

به طور معمول در مطالعات سم‌شناسی، غلظت وزنی به عنوان معیاری برای ارزیابی قرارگیری در معرض ترکیبات به کار می‌رود، برای مثال قرارگیری در معرض یک ترکیب شیمیایی برمبنای میلی گرم بر کیلوگرم ماده غذایی یا قسمت در میلیون هوا بیان می‌شود. استفاده از غلظت وزنی به تنهایی برای تخمین دز در مطالعات سم‌شناسی ذرات نانو صحیح به نظر نمی‌رسد، و در این موارد تراکم عددی یا سطحی می‌بایست مد نظر قرار گیرد (کمیته علمی مخاطرات جدید سلامتی، ۲۰۰۷). این امر نشات گرفته از این واقعیت است که این ذرات کوچک که حجم کمی را اشغال می‌کنند، تعداد بسیار زیادی ذره با سطح وسیعی در واحد وزن را تشکیل می‌دهند (جدول ۱؛ شکل ۱) و از برهم‌کنش بیولوژیکی بالایی برخوردارند (Anonymous, 2008).

مقایسه شماتیک افزایش سطح در معرض قرارگیری برای ذرات کوچک حاصل از یک توده با وجود ثابت بودن حجم یا وزن در شکل ۲ نیز نشان داده شده است (Anonymous, 2008).

البته نمونه‌های مواد نانو معمولاً متشکل از ذراتی با اندازه‌های متنوع هستند که دارای اندازه‌ای کوچک‌تر و بزرگ‌تر از مقدار میانگین یا میانه می‌باشند. توزیع ذرات در اطراف میانگین یا میانه ممکن است از توزیع گوسین تبعیت کند (شکل ۳)

www.SID.ir

(Anonymous, 2008).

گرایش ذرات نانو به تجمع یافتن اغلب طی مرحله خشک شدن در فرآیند ساخت، بر خصوصیات نانوذرات تاثیرگذار است (شکل ۴). تجمع یافتگی فرآیندی است که طی آن ملکول‌ها یا ذرات کوچک با هم ذرات یا خوشه‌های بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند که از طریق پیوندهای ملکولی از قبیل نیروهای واندروالس یا پیوندهای هیدروژنی به هم متصل می‌شوند (Anonymous, 2008).

سیستم‌های نانو برای سمیت‌زدایی محیطی

مواد نانویی مختلفی برای سمیت‌زدایی محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از جمله آنها می‌توان به نانو فلزات، نانو اکسیدها، نانو رس‌ها و دندریمرها اشاره کرد (Pradeep & Anshup, 2009).

دندریمرها

دندریمرها از جمله نانوپلیمرهای بسیار منشعب سه بعدی به شمار می‌روند که به دلیل داشتن جایگاه‌های کارکردی فعال فراوان در هر ملکول و شکل کروی و اندازه بزرگ نسبت به پلیمرهای خطی برای فیلتر کردن از قابلیت بهتری برخوردارند. این نانوذرات نرم با اندازه در دامنه ۱۰۰-۱ نانومتر، به صورت لیگاندهای بازیافتی پرظرفیتی برای کاتیون‌ها و آنیون‌ها عمل می‌کنند. ساختار برخی انواع نانوپلیمرهای دندریتیک در شکل ۵ نشان داده شده است (Diallo, 2009).

دندریمرهای پلی‌آمیدوآمین مدل خوبی از هماهنگی کاتیون‌ها و نانوپلیمرهای دندریتیک به شمار می‌روند. در شکل ۶ ساختمان دندریمر پلی‌آمیدوآمین G_4-NH_2 نشان داده شده است چنین تراکم بالایی از لیگاندهای نیتروژن به همراه امکان اتصال به گروه‌های مختلف کارکردی مانند آمین و کربوکسیل این نانوپلیمرها را به ویژه به عنوان عوامل کلات جذب‌کننده با ظرفیت بالا برای کاتیون‌ها مطرح ساخته است (Diallo, 2009).

طراحی لیگاندهای انتخابی برای آنیون‌ها امری چالش‌برانگیز است، زیرا بر خلاف کاتیون‌ها، آنیون‌ها دارای اوربیتال‌های پری هستند و در نتیجه قادر به برقراری پیوند کووالانسی به لیگاندها نیستند. با وجود این ماکروملکول‌های دندریتیکی مانند G_5-NH_2 (شکل ۷) ساختار مطلوبی برای توسعه لیگاندهای با ظرفیت انتخابی بالا برای اتصال به آنیون‌ها فراهم نموده‌اند (Diallo, 2009).

مولکول ها را می‌توان در حفره‌های دندریمر از طریق ایجاد قابلیت‌های مناسب مولکولی در داخل حفره جای داد (شکل ۸). چنین رهیافتی برای یون‌های فلزی و نانوذرات انجام شده و احتمالاً برای مولکول آفت‌کش‌ها نیز قابل توسعه است (Pradeep & Anshup, 2009).

نانو ذرات فلزی

آهن صفر ظرفیتی مهمترین ذره نانو فلزی است که قادر به تجزیه گستره وسیعی از مولکول‌های سمی است و به دلیل سهولت تولید و هزینه کم قابلیت تولید صنعتی مناسبی دارد. خصوصیت مهم ذرات نانو فلزی برخاسته از سطح ویژه بالای آن‌ها و افزایش انرژی سطحی است که به برانگیختگی الکترون‌ها و انتقال آن‌ها به مواد آلی از قبیل آفت‌کش‌ها کمک می‌نماید. تولید انواع اکسیژن فعال و ترکیبات حدواسطی از قبیل

www.SID.ir

Archive of SID

پراکسیدهیدروژن مکانیسم عمل ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی در تجزیه باقی‌مانده آفت‌کش‌هاست (شکل ۹) (Pradeep & Anshup, 2009).

سیستم‌های پیشرفته اکسیداسیونی، مثل ZEA[1]، قادر به فعال‌سازی اکسیژن در دما و فشار معمولی بدون استفاده از کاتالیزورها و حلال‌های گران‌قیمت و بدون نیاز به انرژی زیادی هستند. چنین سیستمی قادر به تجزیه گروه‌های فسفر ـ گوگرد موجود در آفت‌کش مالاتیون و همچنین شکستن حلقه‌های آروماتیک در فنل‌های کلردار و تبدیل آنها به کربنات‌ها و کربوکسیلات‌های ساده است (Pradeep, and Anshup, 2009).

تجزیه آفت‌کش به وسیله ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی

آهن صفر ظرفیتی در کاهش آلودگی‌های آلی و غیرآلی بسیار موثر است. مطالعات اخیر نشان داده است که بسیاری از آفت‌کش‌ها (مولینت، آترازین و کلرپیریفوس) نسبت به تجزیه به وسیله ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی حساس هستند. البته برخی حشره‌کش‌ها مثل آندوسولفان نسبت به چنین تجزیه‌ای مقاوم هستند. مولینت به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به تجزیه به وسیله ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی حساس است. میزان تجزیه مولینت به وسیله ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی به شرایط فیزیکی از قبیل غلظت آهن صفر ظرفیتی و pH وابسته است. محصول اولیه حاصل از تجزیه مولینت به وسیله فرآیندهای تجزیه‌ای مبتنی بر ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی، ایزومرهای کتو-مولینت است که بر اثر حمله رادیکال‌های هیدروکسیل به مولینت به وجود می‌آیند. این رادیکال‌ها بر اثر احیای اکسیژن به سوپراکسید در سطح ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی تشکیل می‌شوند (Joo, and Cheng, 2006).

استفاده از دی‌اکسید تیتانیوم در پالایش آلودگی‌ها

همان‌طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود با استفاده از لیگاندهای با کارکرد دوگانه دو لایه سرب در پیرامون دی‌اکسیدتیتانیوم آرایش یافته است. بررسی‌های نشان داده که این لایه‌های سرب در اطراف دی‌اکسیدتیتانیوم تا ۱۹ لایه نیز قابل افزایش است (Farmen, 2009).

تجزیه آفت‌کش به وسیله نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم

دی‌اکسید تیتانیوم ($Nano\text{-}TiO_2$) و دی‌اکسید روی (Nano-ZnO) از جمله مهمترین نانواکسیدهای مورد استفاده برای تجزیه دامنه وسیعی از آفت‌کش‌ها، رنگ‌های آلی و حلال‌های صنعتی از طریق تجزیه نوری هستند (Pradeep & Anshup, 2009). محققان بسیاری تجزیه نوری آفت‌کش‌هایی نظیر متیل پاراتیون، لیندان و دیکلرفوس با استفاده از دی‌اکسید تیتانیوم را گزارش داده‌اند (Senthilnathan & Philip, 2010; Moctezuma *et al.*, 2007; Zaleska, 2004).

ریو و همکاران (Rui *et al.* 2010) گزارش دادند که ذرات نانو دی‌اکسید تیتانیوم سرعت تجزیه نوری آفت‌کش‌ها (ارگانوفسفره‌ها و کاربامات‌ها) را در برگ گوجه‌فرنگی و در محیط خاک به طور معنی‌داری افزایش دادند. این محققان عنوان کردند که میزان تجزیه به غلظت نانو ذرات

[1] - Zero-valent Iron, EDTA, and Air

www.SID.ir

دی‌اکسید تیتانیوم وابسته است.

در تجزیه میکروبی، فقط از انواع خاصی از میکروارگانیسم‌ها می‌توان برای آفت‌کش خاصی استفاده کرد. علاوه بر این، کشت و تکثیر میکروارگانیسم‌ها وقت‌بر است و تجزیه کامل آفت‌کش روزها به طول می‌انجامد. آفت‌کش ارگانوکلره‌ای مثل د.د.ت، را می‌توان به طور شیمیایی با استفاده از اکسیدکلسیم ظرف ۱۲ ساعت در فضای ارگن تجزیه نمود. اما چنین روشی زمان‌بر و مستلزم صرف هزینه گزافی است. امروزه استفاده از دی‌اکسید تیتانیوم برای تجزیه نوری آفت‌کش‌ها به دلیل کارکرد مناسب و سریع آن در دما و فشار معمولی با نیاز کم به انرژی نورانی، بدون احتیاج به معرف‌های شیمیایی و کاتالیزورهای گران قیمت مورد توجه قرار گرفته است. حمله رادیکال‌های پراکسید یا هیدروکسیل و انتقال الکترون مکانسیم عمل دی‌اکسید تیتانیوم برای تجزیه نوری آفت‌کش‌ها محسوب می‌شود. این رادیکال‌ها از واکنش بین الکترون‌های پیوندی یا پیوند والانس ظرفیتی با مولکول‌های آب یا اکسیژن به وجود می‌آیند (Yu, *et al.* 2007). افزودن پالادیوم به اکسیدتیتانیوم سبب افزایش توانایی تجزیه‌ای این ذرات نانو می‌شود.

به‌سازی نواحی زیرسطحی آلوده با استفاده از نانوذرات فلزی

رفع آلودگی مناطق زیرسطحی ناشی از نشت مواد آلوده‌کننده از جمله مسائل مهم زیست محیطی است. در شکل ۱۱ بهره‌گیری از نانوذرات فلزی برای رفع آلودگی مربوط به نشت یک حلال کلره نشان داده شده است. حلال‌های کلره از جمله عوامل مهم آلودگی آب‌های زیرزمینی در ایالات متحده هستند (O'Carroll, 2009).

نابودسازی میکروارگانیسم‌ها به وسیله نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم

تلفیقی از نیروهای فیزیکی و شیمیایی اعمال شده بر سلول‌های میکروبی مسئول غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها محسوب می‌شود.اتصال ذرات نانو به سطح سول مانعی برای انتقال عناصر غذایی و متابولیت‌ها از عرض غشاهای سلولی می‌شود. هرچند اثر انواع اکسیژن فعال بر بقای میکروارگانیسم‌ها مساله کلیدی به شمار می‌رود، اما برهمکنش ذره – ذره بین باکتری و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در غیرفعال‌سازی این قبیل میکروارگانیسم ها سهم بسزایی دارد. انواع اکسیژن فعال در گام اول سبب گسیختگی غشای بیرونی باکتری می‌شوند. این مرحله برای نفوذ بیشتر انواع اکسیژن فعال و رسیدن آنها به غشای داخلی ضروری است. اکسیژن فعال پس از رسیدن به پلاسمای سلولی سبب تخریب غشای داخلی می‌شود که در واقع همان غشای سیتوپلاسمی است. مراحل مختلف از بین رفتن باکتری *E. coli* به وسیله نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم در شکل ۱۲ نشان داده شده است (Erdem & Huang, 2008).

واکنش‌های مربوط به فرآیند تولید سوپراکسید و احیای یون‌های سوپراکسید به H_2O_2 در ذیل نشان داده شده است:

$$TiO_2 \xrightarrow{uv} h_{vb}^{+} + e_{cb}^{-}$$

$$O_2 + e_{cb}^{-} \rightarrow O_2^{\bullet -}$$

$$O_2^{\bullet -} + e_{cb}^{-} + 2H^{+} \rightarrow H_2O_2$$

معلوم شده است که بر اثر برهمکنش H_2O_2 با

Archive of SID

www.SID.ir

یون‌های سوپراکسید، سرعت تجزیه نوری افزایش می‌یابد و علاوه بر آن OH• تشکیل می‌شود:

$$O_2^{\bullet -} + H_2O_2 \rightarrow OH^{\bullet} + OH^- + O_2$$

$$e_{cb}^- + H_2O_2 \rightarrow OH^{\bullet} + OH^-$$

نوترکیبی OH• نیز می‌تواند در شرایط هوازی منجر به تولید H_2O_2 شود:

$$h_{vb}^+ + OH^- \rightarrow OH^{\bullet}$$

$$h_{vb}^+ + H_2O \rightarrow H^+ + OH^{\bullet}$$

$$2\,OH^{\bullet} \rightarrow H_2O_2$$

لازم به ذکر است که در بین همه انواع اکسیژن فعال، OH• دارای بیشترین نقش باکتری‌کشی در فرآیند غیرفعال‌سازی است (Erdem and Huang, 2008).

تاثیر شرایط محیطی بر فعالیت باکتری‌کشی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی

نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در محلول آب به سرعت سبب غیرفعال‌سازی باکتری *E. coli* می‌شود. بررسی‌ها نشان داده که در شرایط غیرهوازی این اثر باکتری‌کشی خیلی شدید است. در شرایط هوای غیرفعال‌سازی باکتری به مقادیر بیشتری از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی نیازمند است. کاهش فعالیت باکتری‌کشی نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در حضور اکسیژن محلول به اکسیداسیون نانوذرات آهن صفر ظرفیتی مربوط دانسته شده است (شکل ۱۳). اکسیداسیون نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به وسیله اکسیژن منجر به تشکیل یک لایه اکسید آهن در سطح نانوذرات آهن صفر ظرفیتی می‌شود (Lee, *et al.* 2008).

مخاطرات زیست محیطی ذرات نانو

بشر در وارد نمودن مواد مصنوعی خطرآفرین به محیط زیست سابقه طولانی دارد. نگاهی به گذشته در مورد تبعات سایر فناوری‌ها، روشن می‌سازد که در استفاده از فناوری نانو می‌بایست جانب احتیاط را رعایت کرد (Robison, 2011).

باید توجه داشت که همان صفات و قابلیت‌هایی که استفاده تجاری از ذرات نانو را مطلوب می‌سازد از سوی دیگر می‌تواند آنها را در مقایسه با ترکیبات مشابه دارای اندازه معمولی خطرآفرین نماید. ذرات نانو به دلیل خیلی ریز بودن، به میزان بسیار زیادی متحرک هستند؛ بدین ترتیب قادر به ورود به ریه، عبور از غشاهای سلولی و نفوذ به درون پوست هستند. ذرات نانو به محض ورود به بدن دسترسی بدون محدودیتی به همه بافت‌ها و اندام‌ها از قبیل مغز، و حتی گردش خون جنین داشته و ممکن است آسیب‌های سلولی در پی داشته باشند که ما فعلاً از انها بی‌اطلاع هستیم. مطالعات نشان داده است که استنشاق ذرات نانو، خطر بیمار آسم و مرگ‌ومیر ناشی از حمله‌های قلبی، سکته مغزی و بیماری‌های تنفسی را افزایش می‌دهد (Sass, 2007).

ورود ذرات نانو به زنجیره های غذایی و متعاقب آن انتقال این ذرات به انسان و سایر موجودات واقع در سطوح بالایی هرم غذایی به میزان زیادی به جذب این ذرات به وسیله گیاهان، میکروارگانیسم‌ها و سایر موجودات واقع در پایین زنجیره های غذایی وابسته است. مسیرها و فرآیندهای بالقوه دخیل در انتقال نانوذرات در محیط در شکل ۱۴ نشان داده شده

www.SID.ir

است (Unrine, *et al.* 2008).

همانند سایر فناوری‌های نوین، فناوری نانو با سرعتی فراتر از شناخت ما از اثرات و پیامدهای آن در حال توسعه است. رهاسازی مصنوعات در طبیعت بدون آگاهی کافی از اثرات کوتاه‌مدت و درازمدت آنها می‌تواند پیامدهای جبران ناپذیری در پی داشته باشد. مصنوعات نانو با توجه به دارا بودن دو خصوصیت نگرانی ویژه‌ای در پی دارند: رفتار مواد در سطح نانو غیرقابل پیش‌بینی است و براساس رفتار آنها در اندازه معمولی قابل پیش‌بینی نیست. ذرات نانو به دلیل اندازه بسیار ریز قادر به عبور از غشاهای سلولی هستند (Robison, 2011). بی‌شک گام برداشتن با سرعت زیاد در مسیری که انتهای آن چندان روشن نیست، می‌تواند مخاطراتی در پی داشته باشد.

در مورد موجوداتی که در خشکی در معرض ذرات نانو قرار دارند، استنشاق مسیر اصلی قرارگیری در معرض ذرات نانو و ریه اندام کلیدی هدف است، زیرا این ذرات عمدتاً از طریق هوا انتقال می‌یابند. در صورتی که جذب از طریق عصب‌های بویای اتفاق افتد، مغز نیز می‌تواند از جمله اندام‌های هدف باشد. در مورد موجودات آب‌زی، آب مسیر اصلی قرارگیری در معرض ذرات نانو محسوب می‌شود و سیستم تنفس اندام اصلی هدف به شمار می‌رود (Clough, and Aldrich. 2009).

پیش از وارد کردن ذرات نانو به مواد غذایی و فرآیندهای عمل‌آوری آنها لازم است سمیت احتمالی و سازگاری زیستی مورد ارزیابی قرار گیرد و قبل از توسعه چنین موادی باید نسبت به تعیین سطح خطر احتمال این ترکیبات اقدام شود (Smart *et al.* 2006). با افزایش توسعه فناوری نانو در بخش‌های مختلف خطر قرارگیری در معرض این ترکیبات بیشتر می‌شود (Oberdörster, *et al.* 2005).

مکانیسم‌های سمیت ذرات نانو

تولید انواع اکسژن فعال (Xia, *et al.* 2006; Duffin, *et al.* 2007)، تحریک پاسخ التهابی و در نهایت سمیت سلولی (Brown *et al.* 2007; Foucaud *et al.* 2007) مکانیسم عمل سمیت ذرات نانو به شمار می‌رود. زیا و همکاران (Xia, *et al.* 2006) عنوان کردند که اندازه‌گیری تولید انواع اکسیژن فعال و تنش اکسیداتیو معیار مناسبی برای ارزیابی سمیت ذرات نانو محسوب می‌شود. مطالعات آزمایشگاهی با انواع ذرات نانو (فلزی، اکسید فلزی، اکسید تیتانیوم، نانو لوله‌های کربن و سیلیکا) روی سلول‌های مختلف گویای تنش اکسیداتیو منجر به واکنش‌های التهابی است. به نظر می‌رسد که سطح ویژه زیاد و ترکیب شیمیایی ذرات نانو عامل چنین پاسخی است. به طور معمول فعالیت زیستی ذرات در پی کاهش اندازه آنها افزایش می‌یابد. ذرات کوچک‌تر حجم کمتری را در بر می‌گیرند، در نتیجه تعداد زیادی ذره با سطح بیشتری را در واحد وزن پدید می‌آورند که این امر توانایی برهم‌کنش زیستی را افزایش می‌دهد (Oberdörster *et al.*, 2005).

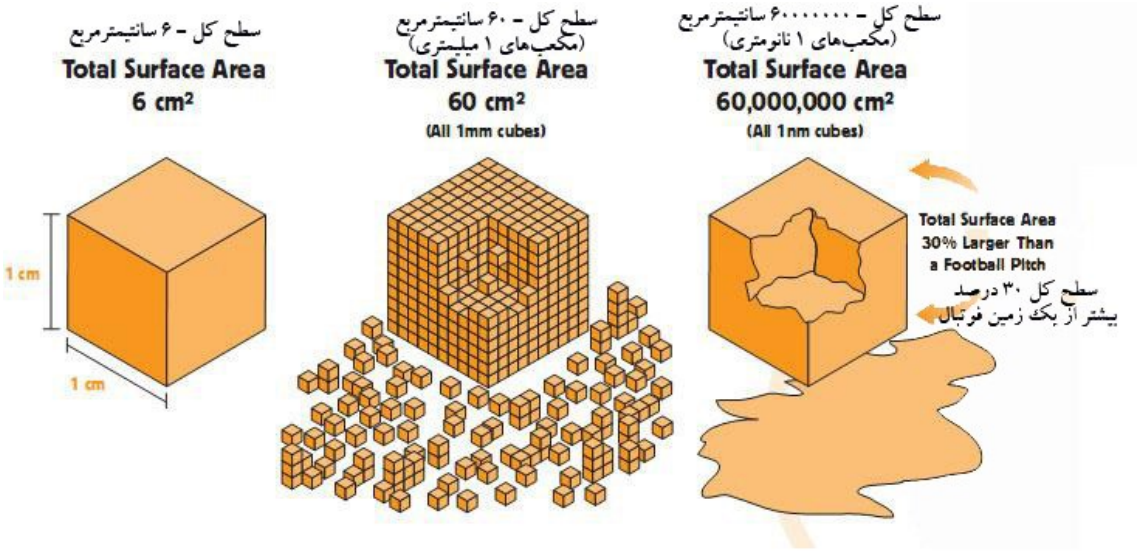
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- تغییر سطح مربوط به تغییر اندازه ذرات در یک حجم ثابت.

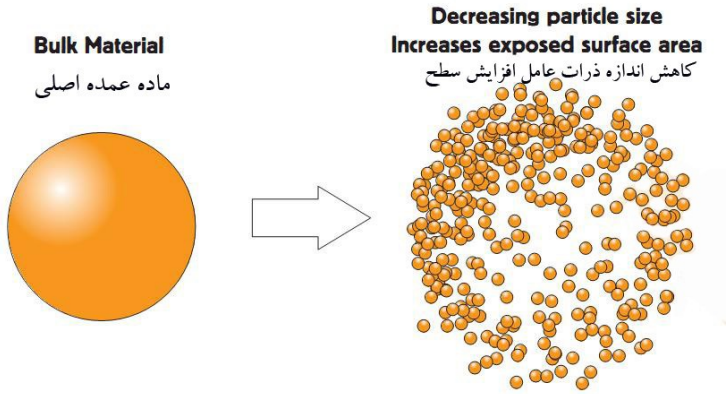
Table 1. Particle Size and Surface Area

Particle diameter (nm)	Number of particles per gram of material	Total particle surface area cm2/gram
1000	1.9×10^{12}	60000
100	1.9×10^{15}	600000
10	1.9×10^{18}	6000000



شکل ۱- افزایش شگرف سطح در پی کاهش اندازه ذرات در یک حجم یکسان.

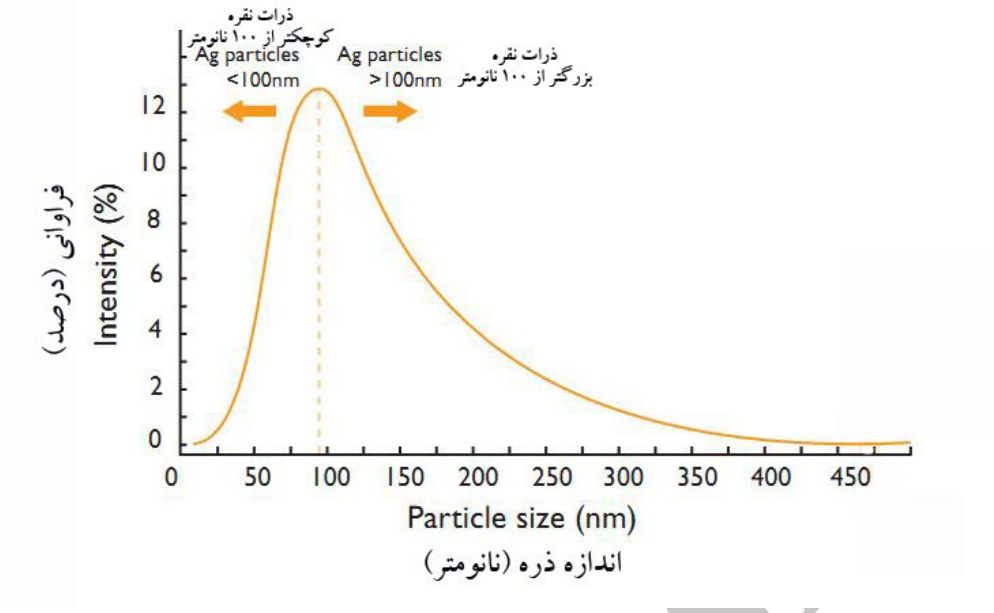
Figure 1. Illustration of the Small Mass:Large Surface Area Paradigm



شکل ۲- شمای افزایش سطح برای ذرات کوچک

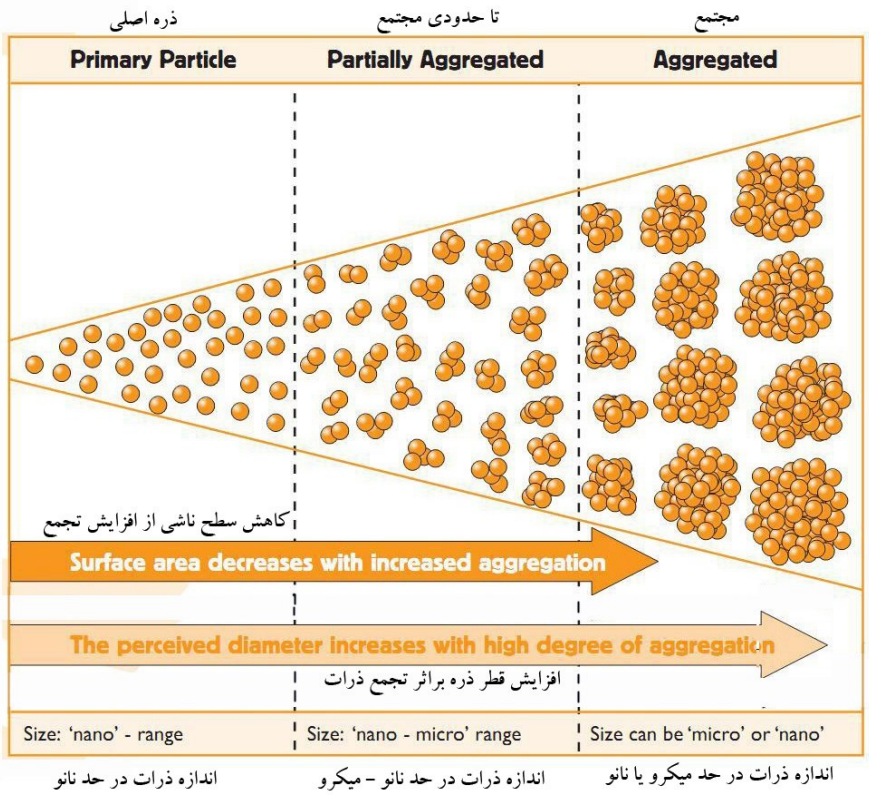
Fig. 2. Schematic of how the Surface Area Changes as the Particles Become Smaller

www.SID.ir



شکل ۳- توزیع اندازه‌ای ذرات پودر نانو نقره.

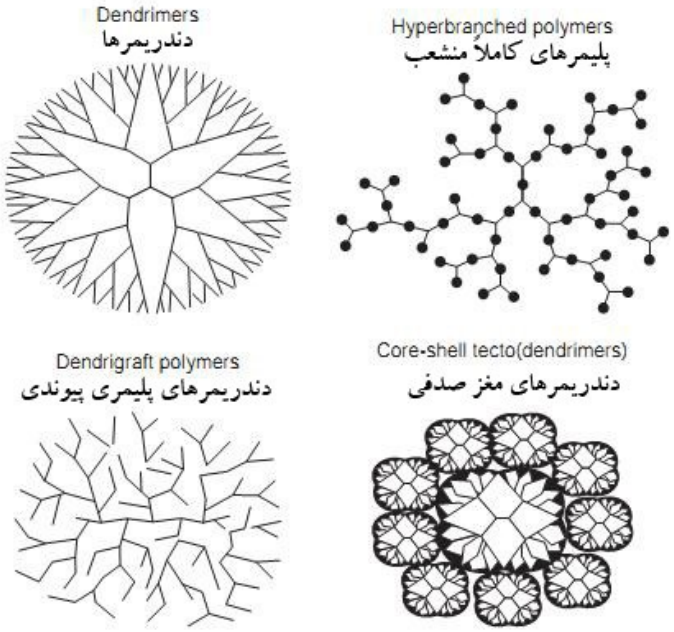
Fig. 3. Typical Particle Size Distribution Curve for Silver (Ag) Nano- powder



شکل ۴- فرآیند مجتمع شدن ذرات نانوی اولیه و تشکیل ذرات بزرگ‌تر

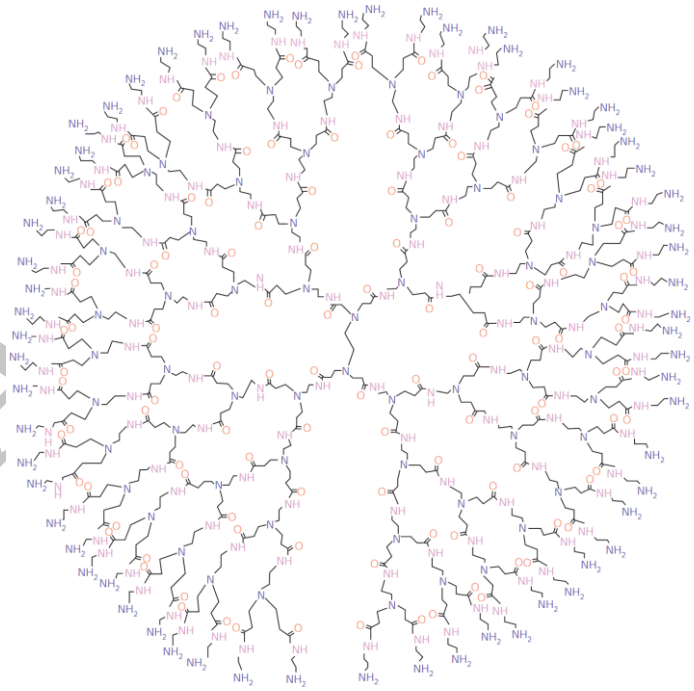
Fig. 4. Schematic of the Process of Aggregation of Primary Nanoparticles to Form Larger Aggregated Particles.

www.SID.ir



شکل ۵- برخی انواع نانوپلیمرهای دندریتیک.

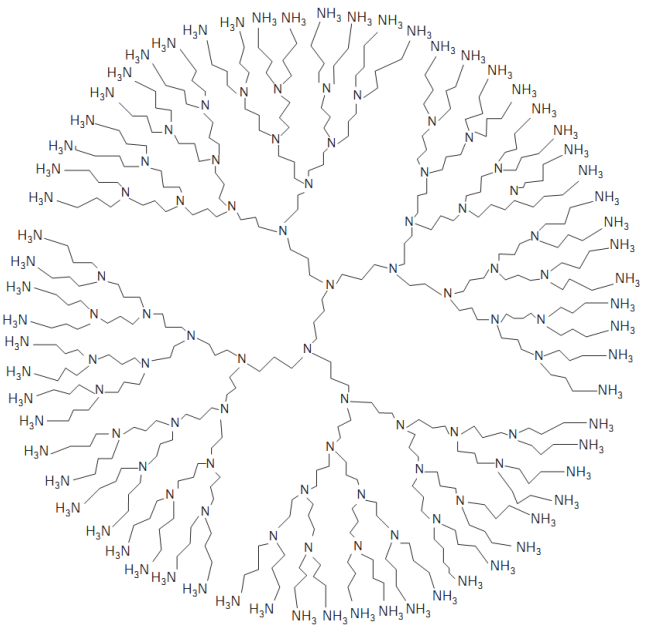
Fig. 5. Selected classes of dendritic nanopolymers.



شکل ۶- ساختمان دندریمر پلی آمیدوآمین G4-NH2

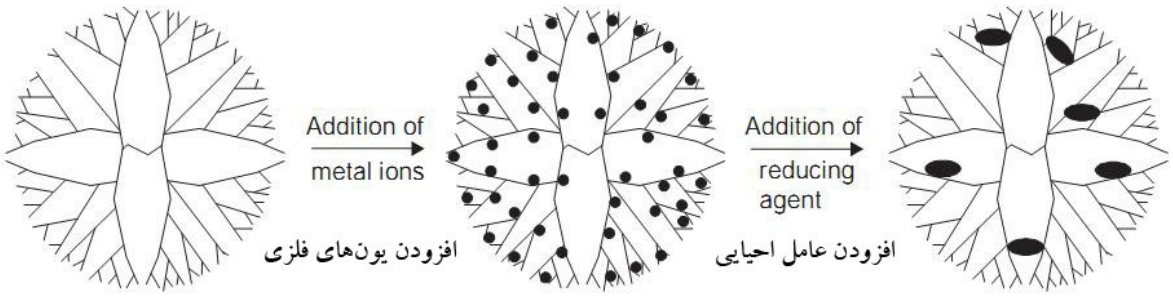
Fig. 6. Structure of G4-NH poly (amidoamine) dendrimer.

www.SID.ir



شکل ۷- ساختمان دندریمر پلی پروپیلن‌آمین G5-NH2

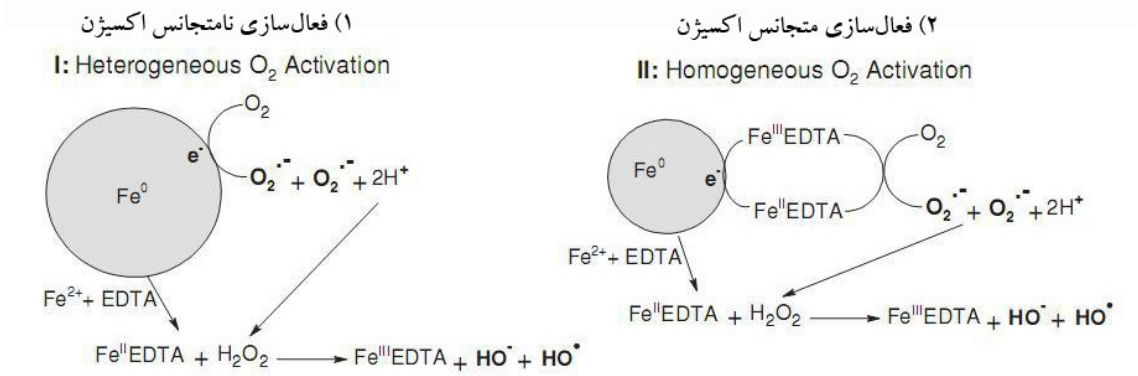
Fig. 7. Structure of G5-NH poly (propyleneimine) dendrimer



شکل ۸- برهم‌کنش دندریمر با یون‌های فلزی و احیای نهایی آن برای تولید نانوذرات کپسوله شده.

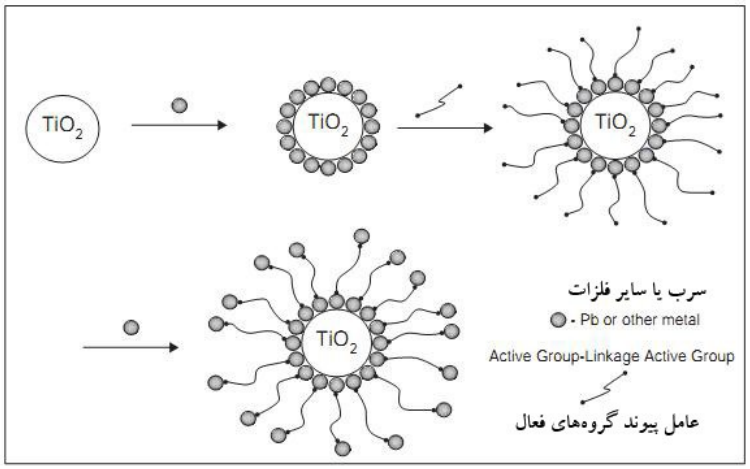
Fig. 8. Interaction of dendrimer with metal ions and their subsequent reduction to prepare encapsulated nanoparticles.

www.SID.ir



شکل ۹- فرآیند تولید انواع اکسیژن فعال و ترکیبات حدواسطی نظیر پراکسیدهیدروژن

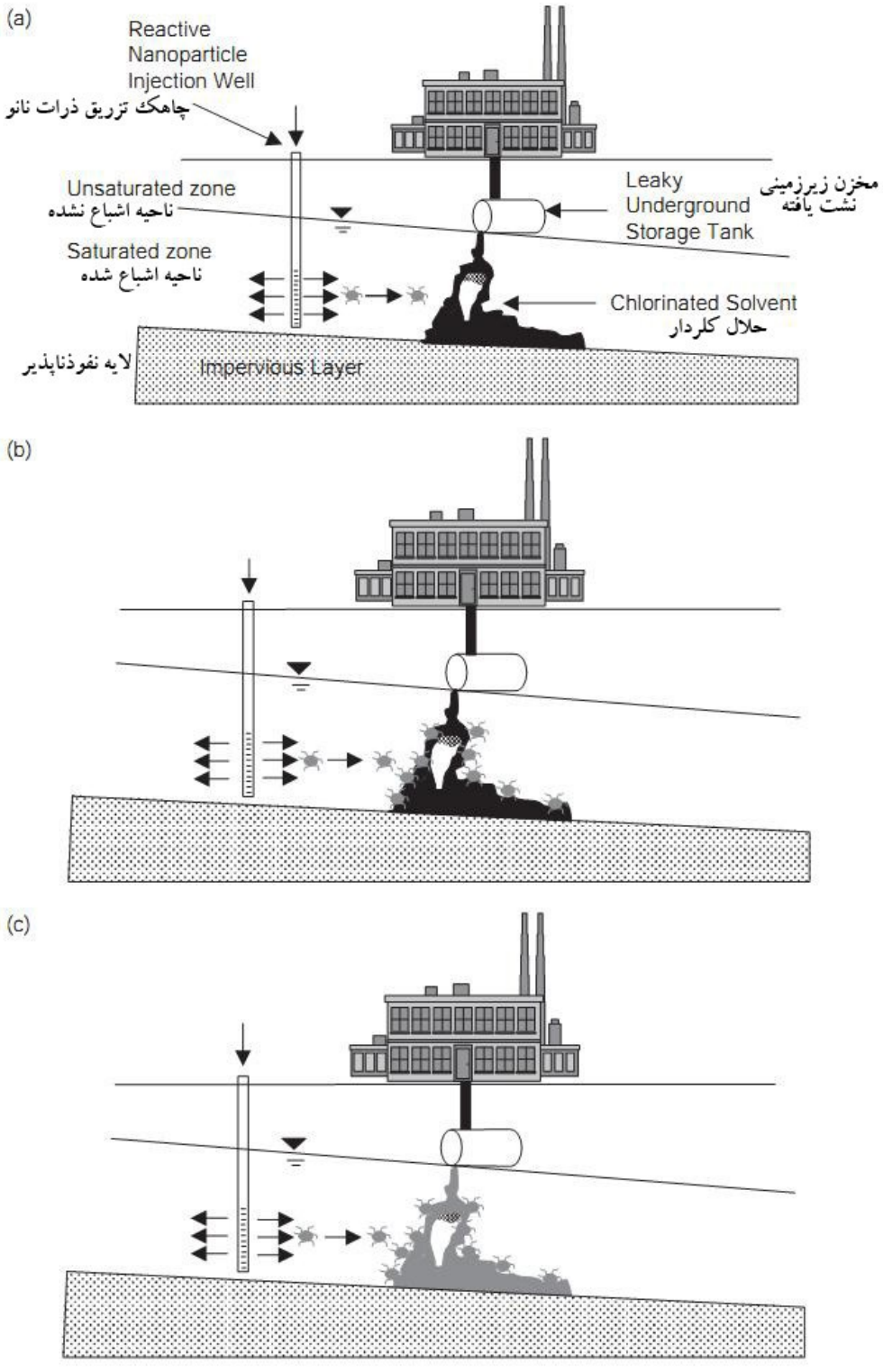
Fig. 9. Poposed reaction scheme for ZEA oxidation system.



شکل ۱۰- لایه‌های سرب (۱۹ لایه) در پیرامون گهرمایه دی‌اکسید تیتانیوم

Fig. 10. Layering of lead (19 layers) on a titanium oxide (TiO) substrate.

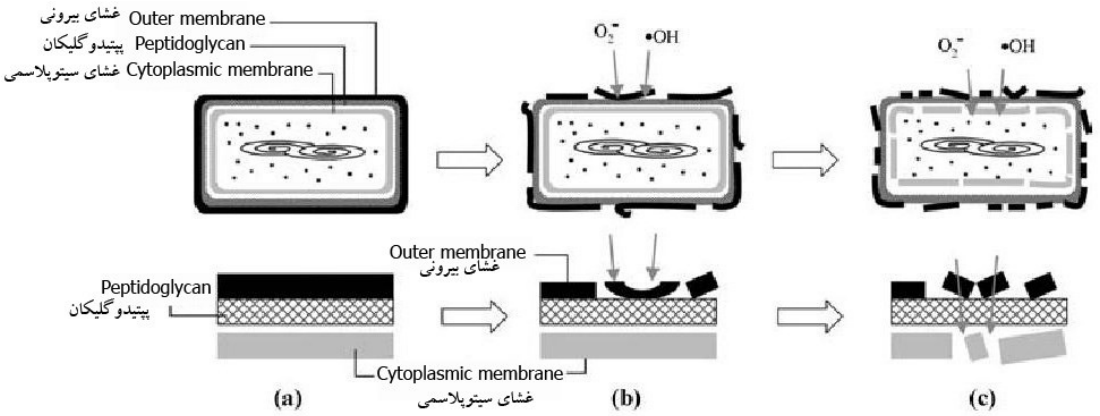
www.SID.ir



شکل ۱۱- استفاده از نانوذرات فعال برای جلوگیری از آلودگی‌های منابع آب زیرزمینی. (الف) تزریق نانوذرات به ناحیه آلوده؛ (ب) پخش ذرات نانو در ناحیه آلوده؛ (ج) واکنش ذرات نانو با مواد آلوده‌کننده

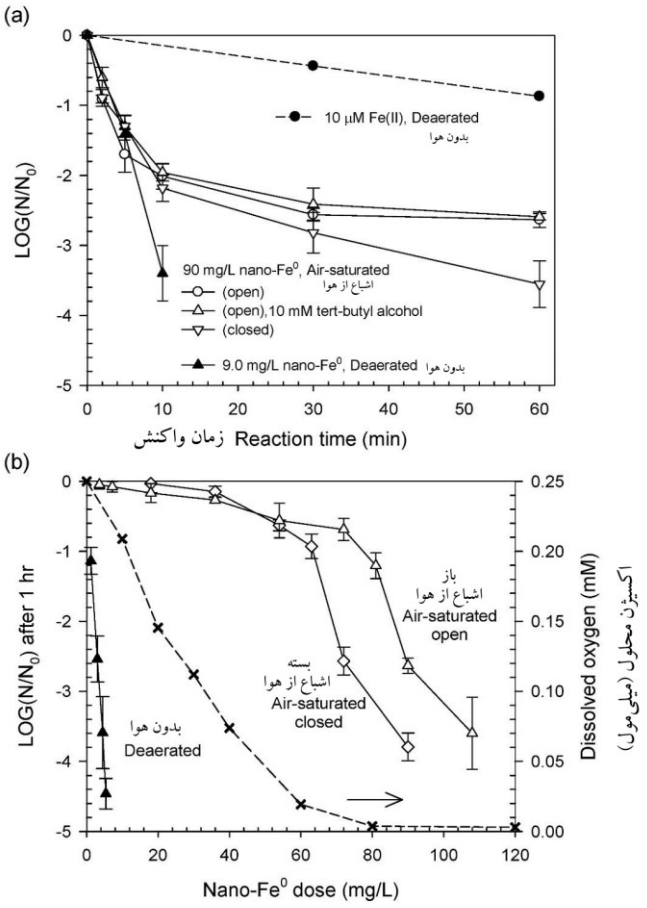
Figure 11. Schematic of dense nonaqueous phase liquid (DNAPL) remediation via reactive nanoparticles: (a) transport from the injection well to the DNAPL source zone; (b) partitioning to the water/NAPL interface; (c) reaction with the DNAPL.

www.SID.ir



شکل ۱۲- مکانیسم نابودسازی باکتری E. coli به وسیله نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم

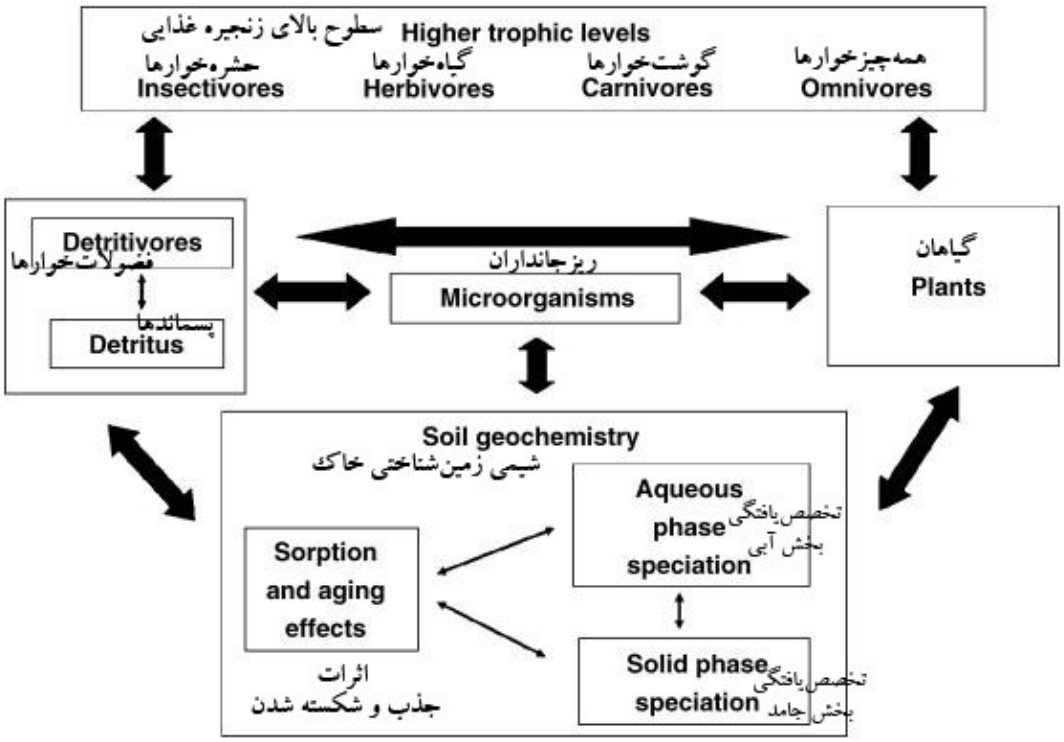
Fig. 12. Proposed killing mechanism of E. coli on TiO2 on TiO2 thin film [78].



شکل ۱۳- غیرفعال‌سازی باکتری E. coli به وسیله نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به صورت تابعی از (الف) زمان تماس و (ب) دز نانوذرات آهن صفر ظرفیتی بعد از یک ساعت قرارگیری در شرایط اشباع از هوا و شرایط بی‌هواری.

Fig 13. Inactivation of *E. coli* by nano-Fe0 as functions of (a) contact time and (b) nano-Fe dose after 1 hr under air-saturated and deaerated conditions.

www.SID.ir



شکل ۱۴- مسیرها و فرآیندهای بالقوه دخیل در کنترل فراهمی زیستی و انتقال غذایی نانوذرات در محیط‌های خشکی.

Fig. 14. Schematic illustrating pathways and processes potentially involved in controlling bioavailability and trophic transfer of nanomaterials in terrestrial environments.

Archive of SID

Reference

فهرست منابع

Anonymous. 2008. The Relevance for Food Safety of Applications of Nanotechnology in the Food and Feed Industries. Chemical Contaminants & Residues . Food Safety Authority of Ireland.

Anonymous. 2012. What is Nanotechnology? http://www.nano.gov.

Brown, D.M., Kinloch, I.A., Bangert, U., Windle,A.H.,Walter, D.M,Walker, G.S., Scotchford, C.A., Donaldson K., Stone,V. 2007. An in vitro study of the potential of carbon nanotubes and nanofibres to induce inflammatory mediators and frustrated phagocytosis. Carbon, 45: 1743-1756.

Clough, S.R., and H. Aldrich. 2009. The Potential Ecological Hazard of Nanomaterials. Chapter 8 in: Sellers, K., C.R. Mackay, L.L. Bergeson, S.R. Clough, M. Hoyt, J. Chen, K. Henry, and J. Hamblen. Nanotechnology and the Environment. CRC Press. 169-192.

Diallo, M.S. 2009. Water Treatment by Dendrimer-Enhanced Filtration: Principles and Applications. Chapter 11 in: Savage et al. (eds.), Nanotechnology Applications for Clean Water, 144–153. William Andrew Inc.

Duffin, R.,Tran. L., Brown, D., Stone,V., Donaldson. K. 2007. Proinflammogenic effects of low-toxicity and metal nanoparticles in vivo and in vitro: highlighting the role of particle surface area and surface reactivity. Inhal Toxicol., 19, 849-856.

www.SID.ir

Erdem, A., D. CHA, and C. P. Huang. 2008. Growth and Some Enzymatic Responses of E. Coli to Photocatalytic TiO2. CHAPTER 13, In: Nanoscience And Nanotechnology Environmental And Health Impacts. Edited by Vicki H. Grassian.

Farmen, L. 2009. Commercialization of Nanotechnology for Removal of Heavy Metals in Drinking Water. Chapter 9 in: Savage et al. (eds.), Nanotechnology Applications for Clean Water, 116–132. William Andrew Inc.

Foucaud, L.,Wilson, M.R., Brown, D.M., Stone,V. 2007. Measurement of reactive species production by nanoparticles prepared in biologically relevant media. Toxicology Letters,174, 1-9.

Joo, S.H., and I.F. Cheng. 2006. Nanotechnology for Environmental Remediation. Springer. 165 pp.

Lee C., Jee Yeon Kim, Won Il Lee, Kara L. Nelson, Jeyong Yoon, and David L. Sedlak. 2008. Bactericidal Effect of Zero-Valent Iron Nanoparticles on *Escherichia coli*. Environmental Science & Technology, 1; 42(13): 4927–4933.

Li, Q.,P. Wu, and J.K. Shang. 2009. Nanostructured Visible-Light Photocatalysts for Water Purification. Chapter 2 in: Savage et al. (eds.), Nanotechnology Applications for Clean Water, 191–212. William Andrew Inc.

Moctezuma, E., Leyva, E., Palestino, G., & de Lasa, H. 2007. Photocatalytic degradation of methyl parathion: reaction pathways and intermediate reaction products. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 186, 71-84.

O'Carroll, D.M. 2009. Nanotechnology for Contaminated Subsurface Remediation: Possibilities and Challenges. Chapter 16 in: Savage et al. (eds.), Nanotechnology Applications for Clean Water, 216–227. William Andrew Inc.

Oberdörster, G., Oberdörster, E., Oberdörster, J. 2005. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. Environmental Health Perspectives 113, 823-839.

Pradeep, T. and Anshup. 2009. Detection and Extraction of Pesticides from Drinking Water Using Nanotechnologies. Chapter 15 in: Savage et al. (eds.), Nanotechnology Applications for Clean Water, 191–212. William Andrew Inc.

Robison, W.L. 2011. Nano-Technology, Ethics, and Risks. Nanoethics, 5:1–13.

Rui, Z., W. Jingguo, C. Jianyu , H. Lin, M. Kangguo. 2010. Photocatalytic degradation of pesticide residues with RE3+-doped nano-TiO2. Journal of Rare Earths, 28: 353-356.

Sass, J. 2007. Nanotechnology's Invisible Threat Small Science, Big Consequences. Pesticides and You, Vol. 27, No. 1, 22-23.

Sellers, K. 2009. Balancing the Risks and Rewards. Chapter 11 in: Sellers, K., C.r Mackay, L.L. Bergeson, S.R. Clough, M. Hoyt, J. Chen, K. Henry, and J. Hamblen. Nanotechnology and the Environment. CRC Press. 249-263.

Senthilnathan, J., and L. Philip. 2010. Removal of Mixed Pesticides from Drinking Water System Using Surfactant-Assisted Nano-TiO2. Water Air Soil Pollut, 210:143–154.

Smart, S.K., Cassady, A.I., Lu, G.Q., Martin, D.J. 2006. The biocompatibility of carbon nanotubes. Carbon 44, 1034-1047.

Unrine, J., P. Bertsch, and S. Hunyadi. 2008. Bioavailability, Trophic Transfer, and Toxicity of Manufactured Metal and Metal Oxide Nanoparticles in Terrestrial Environments. CHAPTER 14, NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY ENVIRONMENTAL AND HEALTH IMPACTS. Edited by Vicki H. Grassian.

Xia,T., Kovochich, M., Brant, J., Hotze, M., Sempf, J., Oberley,T., Sioutas, C.,Yeh, J.I., Wiesner, M.R., Nel,A.E. 2006. Comparison of the abilities of ambient and manufactured

www.SID.ir

nanoparticles to induce cellular toxicity according to an oxidative stress paradigm. Nano Lett. 6, 1794-1807.

Yu, B., J. Zeng, L. Gong, M. Zhang, L. Zhang, X. Chen. 2007. Investigation of the photocatalytic degradation of organochlorine pesticides on a nano-TiO2 coated film. Talanta 72, 1667–1674.

Zaleska, A., Hupka, J., Wiergowski, M., & Biziuk, M. 2004. Photocatalytic degradation of lindane, p, p DDT and methoxychlor in an aqueous environment. Journal of Photochemistry and. Photobiology A: Chemistry, 135, 213–220.

Archive of SID

www.SID.ir