

## مروری بر کاربردهای عملی نانو فناوری در پالایش باقی مانده علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها در محیط

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

سید کریم موسوی<sup>۱</sup>، ابراهیم ایزدی دربندی<sup>۲\*</sup>

#### 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

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

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۶

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

زندگی بشر را دستخوش تغییر نماید. ایجاد کاربردهای علمی در مقیاس‌های کوچک‌تر، سریع‌تر، 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 نشأت 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 برهم کنش 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)

روان آب اراضی کشاورزی، ورود مستقیم از طریق سمپاشی، پساب‌های صنعتی و گرد و 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 دیلدترین 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 می‌دهد 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 منحصر به فردی 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. نانو تکنولوژی می‌رود تا دنیا و مسیر

(Anonymous, 2008).

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 ماکرومولکول‌های 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).

مولکول‌ها 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 گسترده 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

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

به وجود می آیند. 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 دی‌اکسید تیتانیوم آرایش یافته است. بررسی‌های نشان داده که این لایه‌های سرب در اطراف دی‌اکسید تیتانیوم تا ۱۹ لایه نیز قابل افزایش است (Farmen, 2009).

#### تجزیه آفت کش به وسیله ذرات دی‌اکسید تیتانیوم

دی‌اکسید تیتانیوم ( $\text{Nano-TiO}_2$ ) و دی‌اکسید روی ( $\text{Nano-ZnO}$ ) از جمله مهم‌ترین نانو اکسیدهای مورد استفاده برای تجزیه دامنه وسیعی از آفت کش‌ها، رنگ‌های آلی و حلال‌های صنعتی از طریق تجزیه نوری هستند (Pradeep & Anshup, 2009). محققان بسیاری تجزیه نوری آفت کش‌هایی نظیر متیل پاراتیون، لیندان و دیکلر فوس 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 آفت کش‌ها (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

پراکسید هیدروژن مکانیسم عمل ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی در تجزیه باقی مانده آفت کش‌هاست (شکل ۹) (Pradeep & Anshup, 2009).

سیستم‌های پیشرفته اکسیداسیونی، مثل  $\text{ZEA}^1$ ، 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 - گوگرد موجود در آفت کش مالاتیون و همچنین شکستن حلقه‌های آروماتیک در فنل‌های کلردار و تبدیل آنها به کربنات‌ها و کربوکسیلات‌های ساده است (Pradeep, and Anshup, 2009).

#### تجزیه آفت کش به وسیله ذرات نانو آهن صفر ظرفیتی

آهن صفر ظرفیتی در کاهش آلودگی‌های آلی و غیر آلی بسیار موثر است. مطالعات اخیر نشان داده است که بسیاری از آفت کش‌ها (مولینت، آترازین و کلرپیرفوس) 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

<sup>1</sup> - Zero-valent Iron, EDTA, and Air

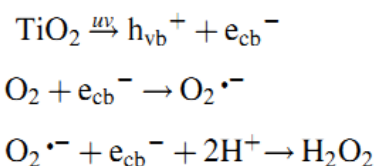
دی‌اکسید تیتانیوم وابسته است.

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 میکروارگانیسم‌ها 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:



معلوم شده است که بر اثر برهمکنش  $H_2O_2$  با

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 اکسید کلسیم 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 اکسید تیتانیوم 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

می‌شود (Lee, et al. 2008).

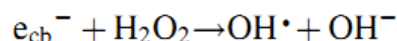
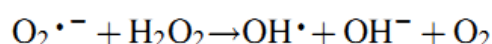
#### مخاطرات زیست محیطی ذرات نانو

بشر در وارد نمودن مواد مصنوعی خطر آفرین 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 خطر آفرین 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 آنها 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).

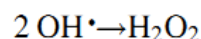
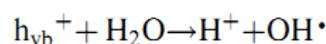
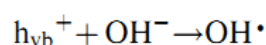
ورود ذرات نانو به زنجیره‌های غذایی و متعاقب آن انتقال این ذرات به انسان و سایر موجودات واقع در سطوح بالایی هرم غذایی به میزان زیادی به جذب این ذرات به وسیله گیاهان، میکروارگانیسم‌ها و سایر موجودات واقع در پایین زنجیره‌های غذایی وابسته است. مسیرها و فرآیندهای بالقوه دخیل در انتقال نانو ذرات در محیط در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

یون‌های سوپراکسید، سرعت تجزیه نوری افزایش می‌یابد و علاوه بر آن  $\text{OH}\cdot$  تشکیل می‌شود:



نوترکیبی  $\text{OH}\cdot$  نیز می‌تواند در شرایط هوایی

منجر به تولید  $\text{H}_2\text{O}_2$  شود:



لازم به ذکر است که در بین همه انواع اکسیژن فعال،  $\text{OH}\cdot$  دارای بیشترین نقش باکتری‌کشی در فرآیند غیرفعال‌سازی است (Erdem and Huang, 2008).

#### تأثیر 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 نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی نیازمند است. کاهش فعالیت باکتری‌کشی نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی در حضور اکسیژن محلول به اکسیداسیون نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی مربوط دانسته شده است (شکل ۱۳). اکسیداسیون نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی به وسیله اکسیژن منجر به تشکیل یک لایه اکسید آهن در سطح نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی

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 جبران‌ناپذیری 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 آبی، 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 فرآورده‌های 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

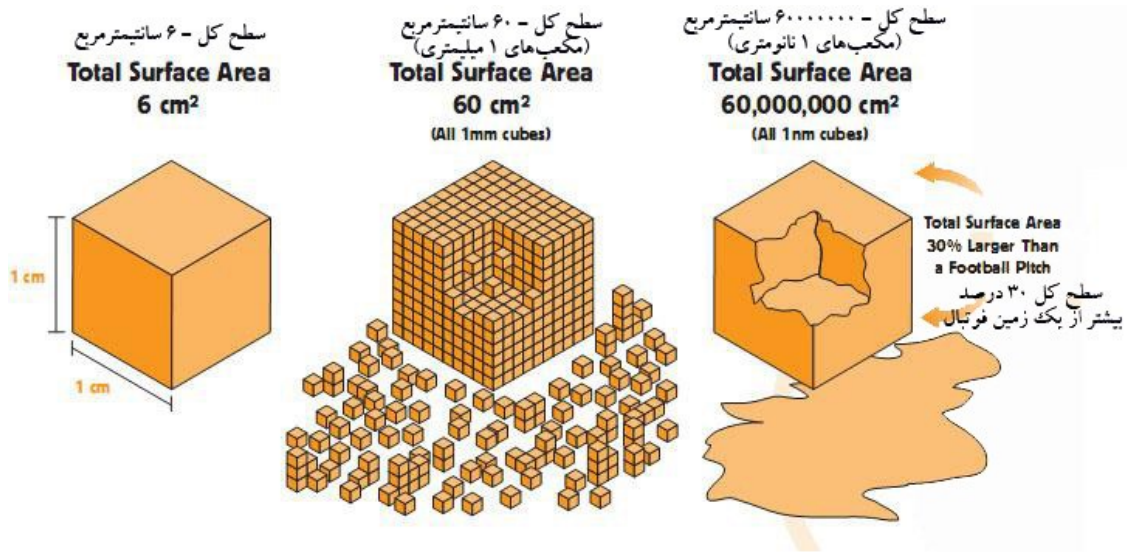
تولید انواع اکسژن فعال (Xia, et al. 2006; Duffin, et al. 2007)، تحریک پاسخ التهابی و در نهایت سمیت سلولی (Brown et al. 2007; Foucaud et al. 2007) مکانیسم عمل سمیت ذرات نانو به شمار می‌رود. زیاده و همکاران (Xia, et al. 2006) عنوان کردند که اندازه‌گیری تولید انواع اکسژن فعال و تنش اکسیداتیو معیار مناسبی 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).

"مروری بر کاربردهای عملی نانو فناوری در پالایش..."

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

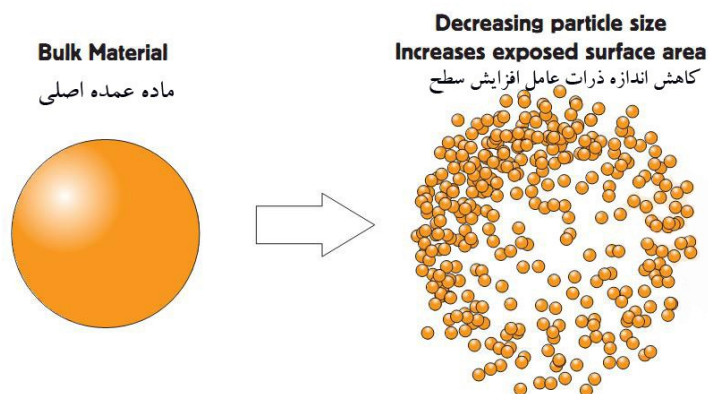
Table 1. Particle Size and Surface Area

Particle diameter (nm)	Number of particles per gram of material	Total particle surface area cm <sup>2</sup> /gram
1000	$1.9 \times 10^{12}$	60000
100	$1.9 \times 10^{15}$	600000
10	$1.9 \times 10^{18}$	6000000



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

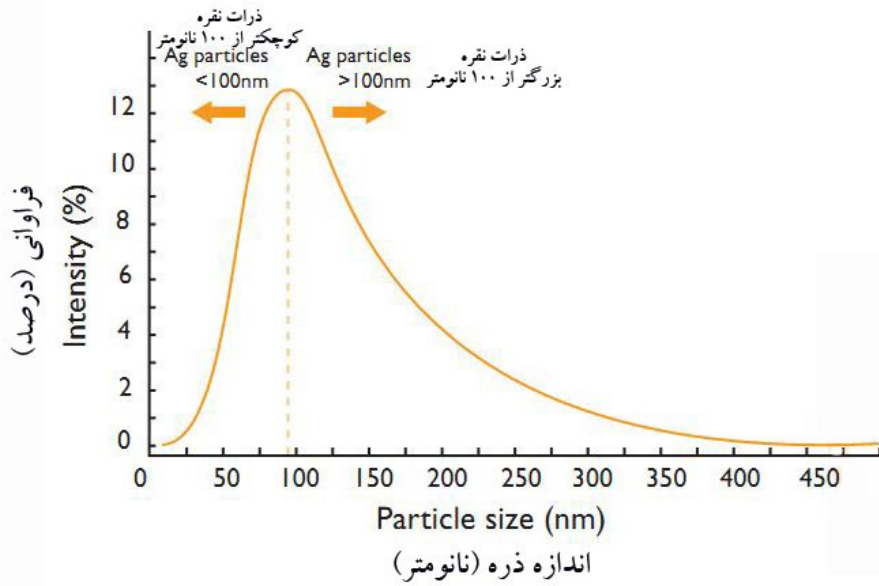
Figure 1. Illustration of the Small Mass:Large Surface Area Paradigm



شکل ۲- شمای افزایش سطح برای ذرات کوچک

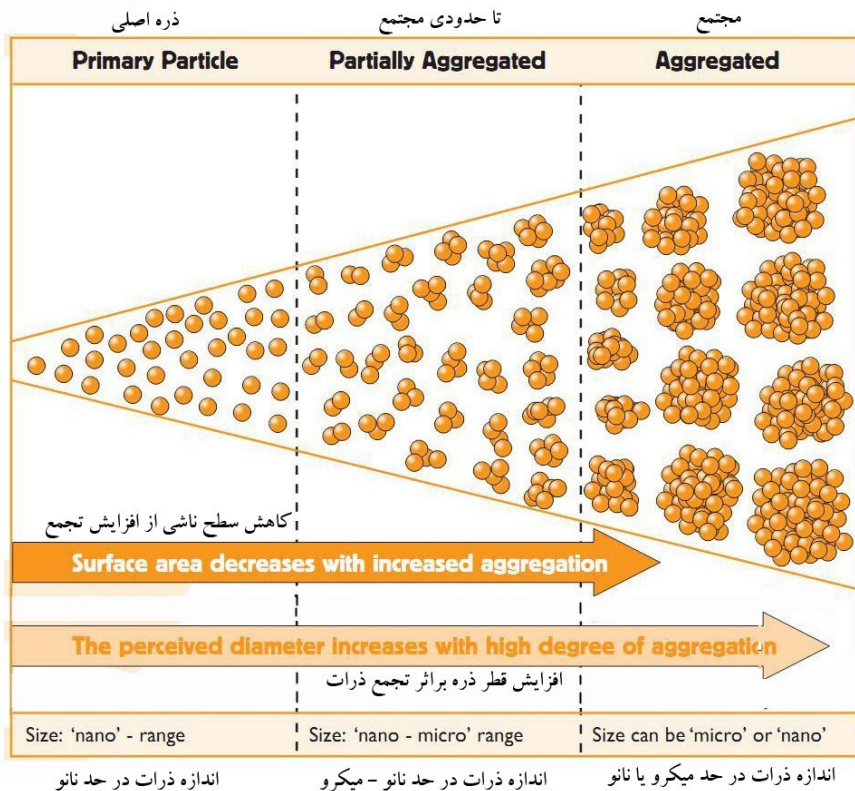
Fig. 2. Schematic of how the Surface Area Changes as the Particles Become Smaller





شکل ۳- توزیع اندازه‌ای ذرات پودر نانو نقره.

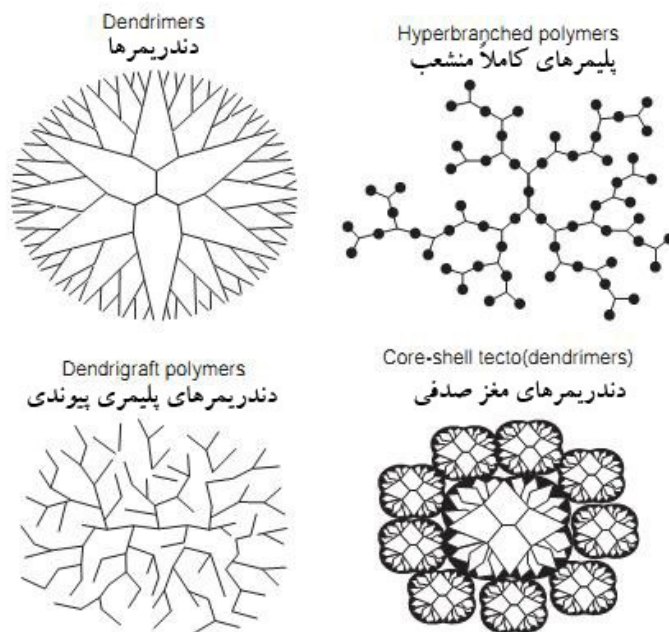
Fig. 3. Typical Particle Size Distribution Curve for Silver (Ag) Nano-powder



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

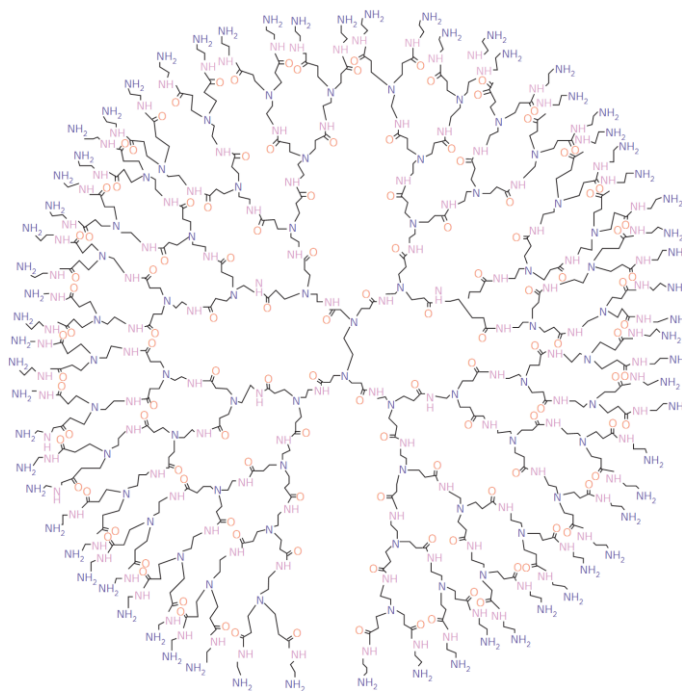
Fig. 4. Schematic of the Process of Aggregation of Primary Nanoparticles to Form Larger Aggregated Particles.

"مروری بر کاربردهای عملی نانو فناوری در پالایش..."



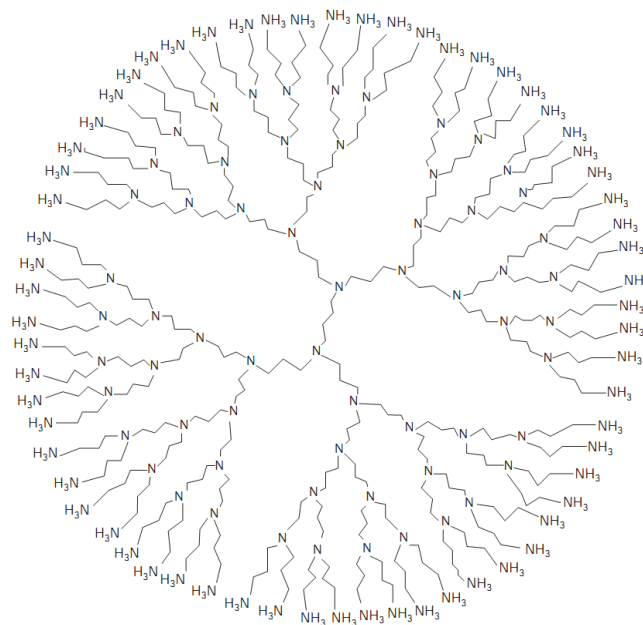
شکل ۵- برخی انواع نانوپلیمرهای دندریتیک.

Fig. 5. Selected classes of dendritic nanoparticles.



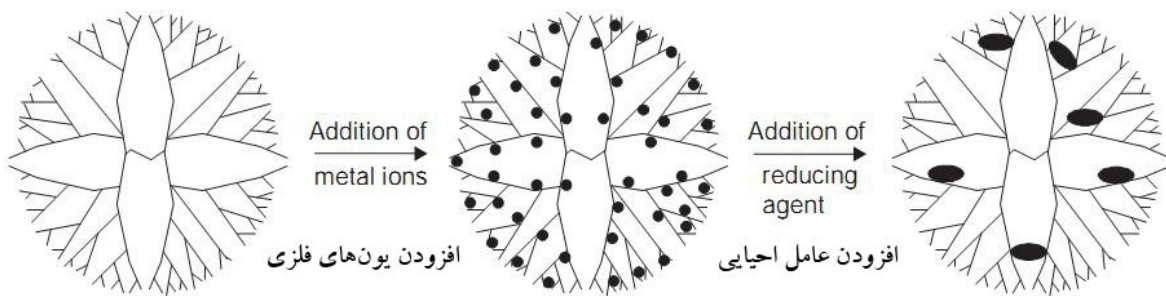
شکل ۶- ساختمان دندرم پلی آمیدوآمین G4-NH2

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



شکل ۷- ساختمان دندریمر پلی پروپیلن آمین G5-NH<sub>2</sub>

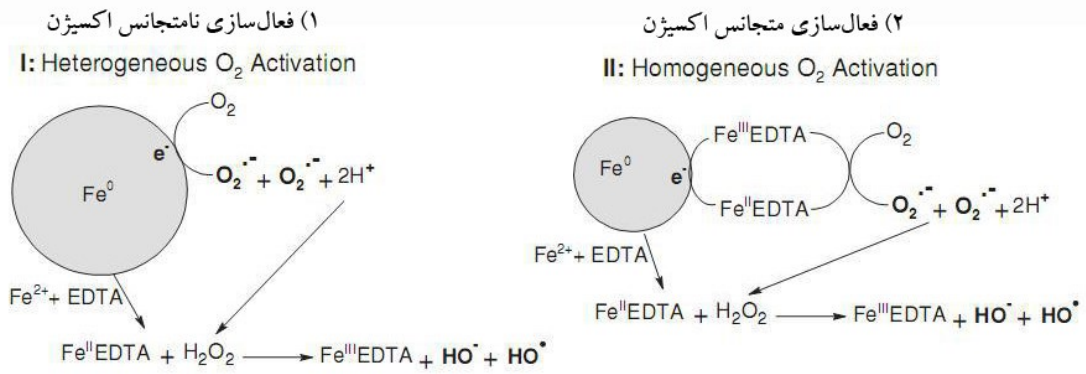
Fig. 7. Structure of G5-NH poly (propyleneimine) dendrimer



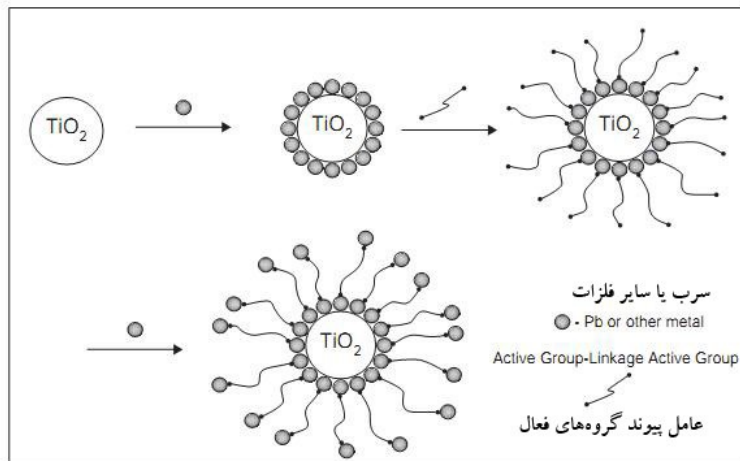
شکل ۸- برهم کنش دندریمر با یون‌های فلزی و احیای نهایی آن برای تولید نانوذرات کپسوله شده.

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

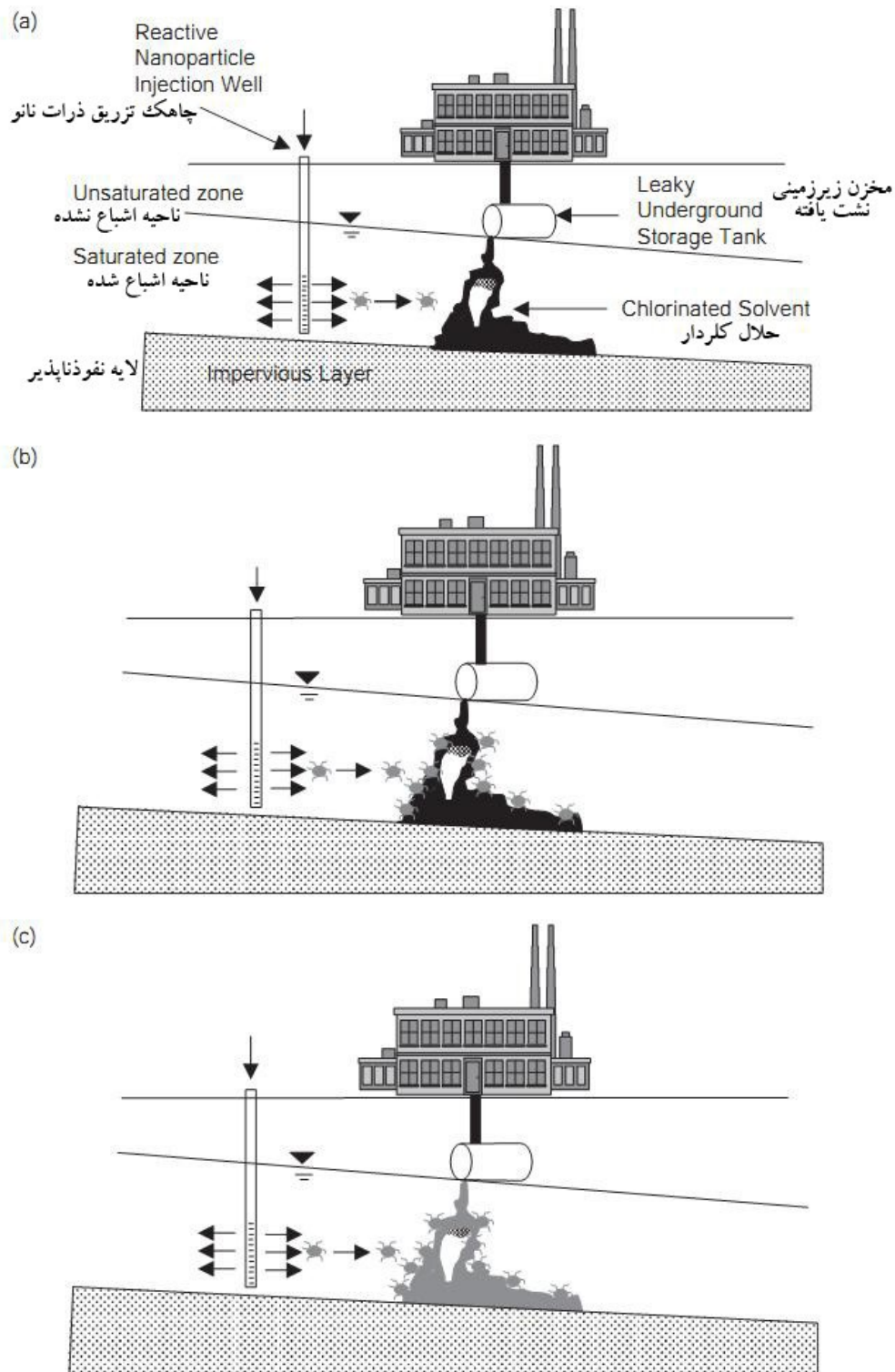
"مروری بر کاربردهای عملی نانو فناوری در پالایش..."



شکل ۹- فرآیند تولید انواع اکسیژن فعال و ترکیبات حدواسطی نظیر پراکسید هیدروژن  
Fig. 9. Posped reaction scheme for ZEA oxidation system.



شکل ۱۰- لایه های سرب (۱۹ لایه) در پیرامون گهرمایه دی اکسید تیتانیوم  
Fig. 10. Layering of lead (19 layers) on a titanium oxide (TiO) substrate.

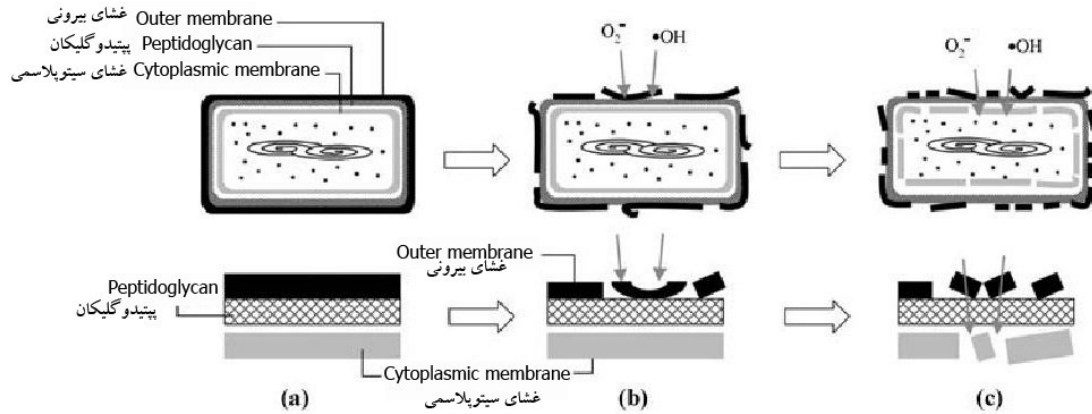


شکل ۱۱- استفاده از نانوذرات فعال برای جلوگیری از آلودگی‌های منابع آب زیرزمینی. (الف) تزریق نانوذرات به ناحیه آلوده؛ (ب) پخش ذرات نانو در ناحیه آلوده؛ (ج) واکنش ذرات نانو با مواد آلوده‌کننده

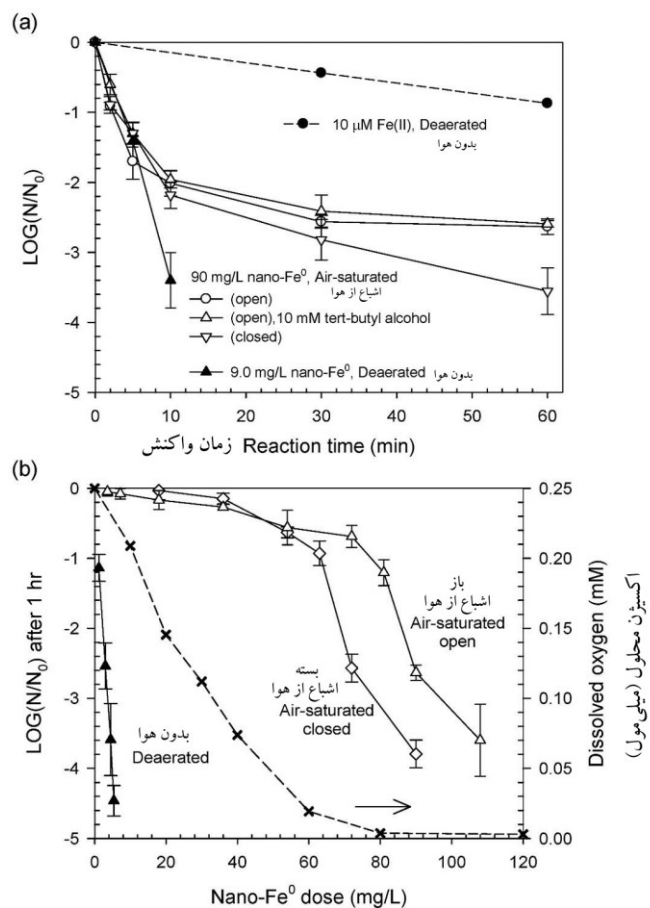
Figure 11. Schematic of dense nonaqueous phase liquid (DNAPL) remediation via reactive nanoparticles: (a) transport from the injection well to the DNAPL source zone; (b) partitioning to the water/NAPL interface; (c) reaction with the DNAPL.



"مروری بر کاربردهای عملی نانو فناوری در پالایش..."

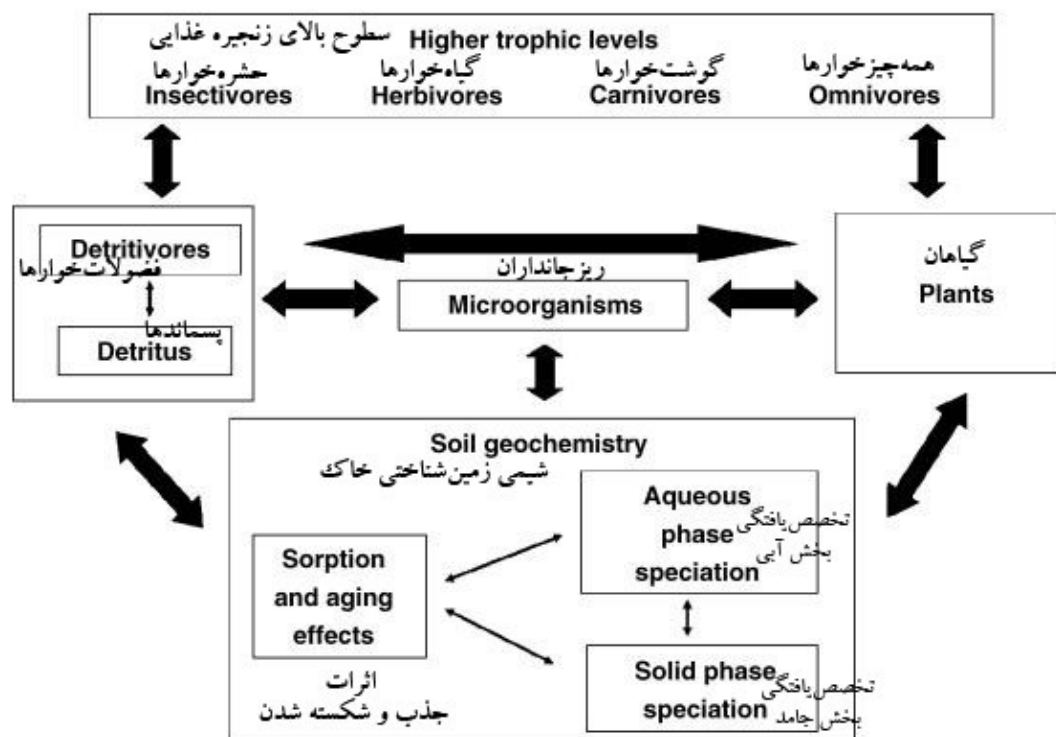


شکل ۱۲- مکانیسم نابودسازی باکتری *E. coli* به وسیله نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم  
Fig. 12. Proposed killing mechanism of *E. coli* on TiO<sub>2</sub> on TiO<sub>2</sub> thin film [78].



شکل ۱۳- غیرفعال سازی 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 بی هواری.

Fig 13. Inactivation of *E. coli* by nano-Fe<sup>0</sup> as functions of (a) contact time and (b) nano-Fe dose after 1 hr under air-saturated and deaerated conditions.



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.

## 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. Proinflammatory 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.

- Erdem, A., D. CHA, and C. P. Huang.** 2008. Growth and Some Enzymatic Responses of *E. Coli* to Photocatalytic TiO<sub>2</sub>. 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 RE<sub>3+</sub>-doped nano-TiO<sub>2</sub>. *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-TiO<sub>2</sub>. *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., Kovoichich, 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



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-TiO<sub>2</sub> coated film. *Talanta* 72, 1667–1674.

**Zaleska, A., Hupka, J., Wierowski, 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.