مروری بر کاربرد نانو مواد در اصلاح خاک‌ها

معصومه مهدی‌زاده[1] و نصرت اله نجفی

دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.**m_mahdizadeh20@yahoo.com**

دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.**n-najafi@tabrizu.ac.ir**

دریافت: تیر ١٣٩٦ و پذیرش: تیر ١٣٩٧

چکیده

خاک از منابع اصلی تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود. لذا، حفظ سلامتی و حاصلخیزی آن برای تولید پایدار غذا اهمیت زیادی دارد. میزان عناصر غذایی و رطوبت موجود در خاک باید در حد مطلوب بوده و میزان مواد آلاینده موجود در آن به حداقل ممکن کاهش یابد. در این راستا، فناوری نانو می‌تواند به بهبود ویژگی‌های خاک کمک نماید. از کاربردهای فناوری نانو در علوم خاک می‌توان به کاربرد اصلاح‌گرهای نانو در بهبود بهره‌وری عملیات زراعی و تهویه خاک، استفاده از نانوزئولیت‌های متخلخل برای رهاسازی آرام و مؤثر عناصر غذایی موجود در کودهای شیمیایی، به‌کارگیری نانوهیدروژل‌ها برای افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و کاهش مصرف آب آبیاری، استفاده از نانوذرات برای حذف آلاینده‌های موجود در خاک و غیره اشاره کرد. با این حال، مصرف زیاد نانوذرات در خاک ممکن است ریزجانداران خاکزی را مسموم نماید. بی‌شک با بهره‌گیری از مزیت‌های فناوری نانو به‌عنوان یک فناوری پیشرفته نوظهور در بخش کشاورزی، می‌توان به نتایج مطلوبی از جمله تضمین امنیت غذایی و توسعه کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست در کشورهای در حال توسعه جهان دست یافت.

واژه‌های کلیدی: خاک، فناوری نانو، نانوبیوچار، نانوحسگر، نانورس.

Archive of SID

[1]- آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

www.SID.ir

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، نیاز به غذا و محصولات کشاورزی به‌شدت در حال افزایش است، به‌طوری‌که سازمان خوار و بار جهانی (فائو) پیش‌بینی کرده است که با افزایش روزافزون جمعیت در سال ۲۰۵۰، سالانه ۲۰۰ میلیون تن غذا و محصولات کشاورزی مورد نیاز می‌باشد (بهوپیندر و همکاران، ۲۰۱٤)؛ اما بر اثر عواملی چون تغییرات آب و هوا، محدود شدن منابع آب و خاک و افزایش آلودگی محیط‌زیست، مشکلاتی در زمینه کشاورزی و تولید غذای کافی و سالم به وجود می‌آید. از این‌رو دانشمندان برای غلبه بر این مشکلات ابزارهای گوناگونی به‌کار می‌برند که از جمله آن می‌توان به فناوری نانو اشاره نمود. این فناوری پتانسیل لازم برای ایجاد انقلابی عظیم در بخش کشاورزی را دارد (کوچکی و خواجه حسینی، ۱۳۸۷). علم نانو مطالعه مواد در مقیاس تقریباً ۱ تا ۱۰۰ نانومتر و همینطور، تولید و کاربرد ابزارها و سیستم‌های کنترل در مقیاس نانو است (ریچاردز، ۱۹٥٤).

همچنین علم نانو اهمیت حیاتی در علوم خاک دارد زیرا بسیاری از ترکیب‌های طبیعی خاک‌ها، در اندازه نانو بوده یا ویژگی‌هایی در مقیاس نانو دارند. نانومواد مختلف در خاک وجود دارند: نانومواد معدنی که فقط در محدوده نانوذرات بوده و نانوذرات معدنی که مواد معدنی بوده که در اندازه نانو و در اندازه‌های بزرگ‌تر نیز یافت می‌شوند (موریس و هوچلا، ۲۰۰۸). به‌طورخاص، انواع مختلف مواد معدنی از جمله سیلیکات‌ها (رس و میکا)، اکسیدها و هیدروکسیدها (MnO)، کربنات‌ها ($CaCO_3$)، فسفات‌ها، سولفیدهای فلزی (ZnS) یا مواد آلی از جمله اجزای یاخته‌ها، ماکرومولکول‌ها یا کلوئیدهای زیستی (باکتری) در خاک‌ها وجود دارند (موریس و هوچلا، ۲۰۰۸). نانوذرات مهندسی شده عمدتاً در شکل‌های اکسیدهای فلزی (ZnO و TiO_2)، مواد نیمه‌رسانا (نقاط کوانتومی)[1]، نانومواد مشتق شده از کربن (نانولوله‌های کربن)، فلزات صفر ظرفیتی (آهن صفر ظرفیتی)، نانوپلیمرها، در محیط زیست منتشر شده‌اند. فناوری نانو کاربردهای متعددی در علوم خاک دارد (لال، ۲۰۰۷). نانومواد، ذرات خاک یا مواد آلی را تثبیت کرده و باعث می‌شود سازوکار آزادسازی کارآمدتر شود (جانستون، ۲۰۱۰). پوشش‌ها و چسب‌های نانو و ترکیب‌های نیمه‌نانو قادر به تنظیم رهاسازی مواد غذایی از کپسول‌های کودی هستند (لیو و همکاران، ۲۰۰٦). جینگ‌هیو و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند که نانوکامپوزیت‌های متشکل از نیتروژن، فسفر، پتاسیم، عناصر کم‌مقدار، مانوز و اسیدهای آمینه، جذب و کارایی استفاده از مواد غذایی را توسط دانه غلات افزایش می‌دهد. زمانی‌که از کودهای کندرهای پوشش داده شده با نانومواد مانند ترکیب‌های نشاسته–پلاستیک در گندم استفاده شد، آبشویی نیتروژن کاهش یافت (ژانگ و همکاران، ۲۰۰٦). نانومواد، مانند هیدروژل‌ها و زئولیت‌ها برای بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک (السلماوی، ۲۰۰۷) و جذب آلاینده‌های زیست محیطی (بروه و دوتا، ۲۰۰۹) استفاده می‌شوند.

در این بررسی برخی اصطلاحات و مفاهیم اساسی علوم نانو با تأکید خاص بر برنامه‌های کاربردی در علوم خاک معرفی می‌شود. هدف اصلی این بررسی ارائه یک درک مقدماتی از علوم نانو در ارتباط با علوم خاک است.

کاربردهای فناوری نانو در علوم خاک

خاک از منابع اصلی تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود. لذا، حفظ سلامتی و حاصلخیزی آن برای تولید پایدار حائز اهمیت بسیار است. میزان عناصر غذایی و رطوبت موجود در خاک همیشه باید در حد مطلوب بوده و میزان مواد آلاینده (فلزات سنگین، سموم و غیره) به حداقل ممکن کاهش یابد. فناوری نانو می‌تواند کمک شایانی به بهبود این روند داشته باشد که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

[1] Quantum dot

Archive of SID

www.SID.ir

تغذیه گیاه و حاصلخیزی خاک

با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی برای افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست، پیش روی انسان گشوده شده است. نانوکودها، به‌دلیل رهاسازی تدریجی و آرام عناصر غذایی خود، جایگزین مناسبی برای کودهای محلول مرسوم هستند. نانوکودها، حامل‌های عناصر غذایی در ابعاد ٣٠ تا ٤٠ نانومتر هستند و توانایی حمل مناسب یون-های عناصر غذایی را به‌علت سطح ویژه زیاد دارند (سوبرامانیان و همکاران، ٢٠١٥). به‌طورکلی، مزیت‌های استفاده از این نانوکودها را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

١) تولید کودهای هوشمند به‌طوری‌که سرعت رهاسازی عناصر غذایی کود مطابق با الگوی جذب گیاه باشد.

٢) تولید کودهای حاوی عناصر غذایی کم‌مصرف در اندازه نانو، باعث افزایش حل‌پذیری و پراکندگی این عناصر غذایی در خاک شده و کارایی جذب این عناصر توسط گیاه را بهبود می‌بخشد (لیو و لال، ٢٠١٥).

٣) با استفاده از نانوکودها میزان هدررفت عناصر غذایی از طریق آبشویی کاهش می‌یابد (جانستون، ٢٠١٠؛ چن و یادا، ٢٠١١)

٥) به‌دلیل برخورداری از تغذیه مناسب و فراهم بودن عناصر غذایی، مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (جانستون، ٢٠١٠؛ چن و یادا، ٢٠١١).

٦) استفاده از نانوکودها به‌دلیل کاهش مصرف کود از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد (لیو و لال، ٢٠١٥).

اصلاح خاک

عدم مدیریت صحیح خاک باعث شده خاک به‌تدریج کیفیت و حاصلخیزی خود را از دست داده و به خاک نامرغوب و آلوده تبدیل شود؛ بنابراین، استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاص هم‌چون اصلاح‌کننده‌های نانویی که بتواند این شرایط را بهبود بخشیده و از روند تخریب خاک جلوگیری نماید، امری ضروری به نظر می‌رسد. نانوذرات می‌تواند با پلیمرها، مواد معدنی، آلاینده‌ها و عناصر غذایی برهمکنش داشته باشد. به‌ویژه، برای جذب فلزات و آلاینده‌های آنیونی از قبیل آرسنیک، کروم، سرب، جیوه، سلنیم، مس، اورانیوم، مواد آلی طبیعی، اسیدهای آلی و فلزات سنگین استفاده می‌شوند (یانگ و همکاران، ٢٠٠٦). به‌ویژه، نانوذرات اکسید مس (CuO) برای جذب گونه آرسنیک (III) و (V) (مارتینسون و ردی، ٢٠٠٩)، نانوذرات آهن صفر ظرفیتی برای اصلاح آلاینده‌های آلی، نانوذرات آپاتیت برای حذف آلاینده‌ها و پرتوهای نوکلوئیدی استفاده شده است (الاسریا و همکاران، ٢٠٠٩). در ادامه به برخی از این گروه اصلاح‌کننده‌ها اشاره می‌شود:

کاربرد نانوزئولیت متخلخل[1] در اصلاح خاک

با استفاده از زئولیت‌ها که گروهی از کانی‌های دارای ساختار لایه‌ای کندو مانند هستند و به‌طور معمول در طبیعت یافت می‌شوند، می‌توان کودهایی ایجاد نمود که قادر به رهاسازی آرام عناصر غذایی به درون خاک هستند. نانوکامپوزیت‌های پوشاننده و سیمان کننده، قادر به تنظیم سرعت رهاسازی عناصر غذایی از کپسول حاوی کود هستند (چینموتو و بوپاتی، ٢٠٠٩). کانال‌های به‌هم پیوسته موجود در ساختمان نانوزئولیت‌ها فضای خالی وسیعی را برای جذب و تبادل کاتیون‌ها فراهم می‌آورند. به‌طورکلی، استفاده از نانوزئولیت در کشاورزی دارای مزیت‌های زیر است (نادری و دانش‌شهرکی، ٢٠١٣):

١) تخلخل زیاد و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، ٢) اصلاح خاک‌های شنی و بهبود توزیع آب در آنها، ٣) افزایش تهویه خاک، ٤) قابلیت جذب فلزات سنگین و اصلاح خاک‌های آلوده (بارو و دوتا، ٢٠٠٩).

از آنجا که نانوزئولیت سطح ویژه بزرگ‌تری دارد، بسیاری از عناصر غذایی را جذب کرده و زمانی‌که گیاه لازم داشته

[1] Nanoporous zeolite

Archive of SID

www.SID.ir

باشد، آزاد می‌کند (نادری و دانش‌شهرکی، ۲۰۱۳). کودهای نیتروژن حل‌پذیری بالای دارند و باعث آسیب شدید به گیاهان و محیط اطراف می‌شوند. نانوزئولیت استفاده شده همراه با اوره، باعث افزایش جذب مؤثر نیتروژن موجود در اوره توسط گیاه و کنترل رهاسازی سریع نیتروژن می‌شود (مانی‌کاندان و سوبرامانیان، ۲۰۱۳).

کاربرد نانوبیوچار[1] در اصلاح خاک

از جمله چشم‌اندازهای نوین در فناوری نانو در زمینه اصلاح کننده‌های خاک می‌توان به ترکیب‌های زیستی از جمله نانوبیوچارها اشاره نمود. بیوچار یک زیست‌توده[2] غنی از کربن بوده که توسط تجزیه حرارتی[3] در شرایط اکسیژن کم یا بدون اکسیژن تولید می‌شود (لهمن و جوزف، ۲۰۱۲). این ترکیب زیستی دارای ویژگی‌هایی از زیر می‌باشد: ۱) غیرسمی بوده، ارزان و آسان به‌دست می‌آید. ۲) غنی از کربن بوده که می‌تواند حاصلخیزی خاک را بهبود بخشیده و مواد آلی خاک را افزایش دهد. ۳) تخلخل و سطح ویژه بالا دارد ٤) بیوچار می‌تواند تحرک و ثبات نانوذرات مهندسی را بهبود بخشد. ۵) ظرفیت تبادل یونی بالا داشته و گروه‌های عاملی اکسیژنی را بر روی سطوح منافذ ریز افزایش می‌دهد که برای کاهش آبشویی فلز و زیست‌فراهمی آن مفید است (یانگ و فانگ، ۲۰۱٤). کیموتو و همکاران (۲۰۰۸) افزایش ماده آلی خاک و دو برابر شدن عملکرد تجمعی ذرت را بعد از کاربرد ٦ تن بر هکتار بیوچار اکالیپتوس در طی بیش از سه فصل در غرب کنیا گزارش کردند. اخیراً، تحقیقات بر روی تولید بیوچار مبتنی بر نانوکامپوزیت‌ها برای حذف آلاینده‌های آلی تمرکز شده است.

بنابراین، تولید بیوچار مبتنی بر نانومواد منجر به دستیابی چهار هدف، حذف آلاینده‌ها، مدیریت مواد زائد، جداسازی کربن و تولید انرژی خواهد شد (تن و همکاران، ۲۰۱۵). روش‌های مختلف تولید بیوچار مبتنی بر نانومواد در جدول ۱ نشان داده شده است. به‌طورکلی، بیوچار مبتنی بر نانوکامپوزیت‌ها را می‌توان سه دسته ۱) کامپوزیت بیوچار- نانو اکسید و هیدروکسید فلز، ۲) کامپوزیت‌های بیوچار مغناطیسی و ۳) بیوچار پوشیده شده با نانوذرات عامل‌دار تقسیم‌بندی کرد.

این کامپوزیت‌ها کارایی حذف آلاینده‌ها را با توجه به حضور نانومواد با ویژگی‌های سطح ویژه بالا، توزیع اندازه منافذ، حجم منافذ، حضور مکان‌های فعال سطحی، امکان تخریب و تجزیه و جداسازی آسان را بهبود بخشیده است. آزمایش‌های جذب نشان داده است که این کامپوزیت‌ها قابلیت زیادی برای جذب طیف وسیعی از آلاینده‌های آلی مثل فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و آلاینده‌های معدنی دارند (ین و همکاران، ۲۰۱٤). بنابراین، تلقیح نانومواد خارجی بر روی بیوچارهای خام که به بیوچار مبتنی بر نانوکامپوزیت‌ها تبدیل شده که یک عمل مهم برای استفاده آن‌ها در کاربردهای زیست محیطی بیوچار و نانوفناوری است. با این حال، جدا از مزیت‌های آنها، سمیت زیست محیطی نانومواد نیز باید در نظر گرفته شود (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۹).

نتایج مطالعه بر روی تأثیر کاربرد همزمان بیوچار و نانومواد معدنی به تولید کمپلکس‌های مواد معدنی- بیوچار[4] منجر شده است. تحقیقات نشان داده که اضافه کردن نانوذرات آهن مغناطیسی می‌تواند ویژگی‌های بیوچار را به‌ویژه در چرخه فسفر (چن و همکاران، ۲۰۱۱؛ جوزف و همکاران، ۲۰۱۳) بهبود بخشد. چن و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که بیوچار غنی شده با مگنتیت آهن منجر به افزایش گروه‌های عاملی کربن و جذب ترکیب‌های آلی سمی می‌شود.

[1] Nanobiochar
[2] Biomass
[3] Pyrolysis
[4] Biochar-mineral complex

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ١- طبقه‌بندی روش‌های مختلف تولید نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر بیوچار

نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر بیوچار	روش تولید
کامپوزیت بیوچار- نانو اکسید و هیدروکسید فلز	غنی‌سازی عنصر هدف با استفاده از تجمع زیستی پیش‌تیمار زیست‌توده با استفاده از نمک فلزات اضافه‌کردن نانوذرات اکسید آهن پس از تجزیه حرارتی
کامپوزیت‌های بیوچار مغناطیسی	پیش‌تیمار زیست‌توده با استفاده از یون آهن هم‌رسوبی شیمیایی اکسیدهای آهن بر روی بیوچار
بیوچار پوشیده شده با نانوذرات عامل‌دار	پوسش‌دار کردن زیست‌توده با نانوذرات عامل‌دار اشباع نانوذرات عامل‌دار پس از تجزیه حرارتی

جوزف و همکاران (٢٠١٣) نشان دادند که نانوذرات آهن مغناطیسی چرخه عناصر غذایی و فراوانی مگنتوززوم[1] را افزایش داده که می‌تواند نقش مهمی در نیترات‌زدایی داشته باشد. تحقیقات بیشتری برای درک کامل نقش نانوذرات اکسید آهن در جذب عناصر غذایی، تغییرات جوامع میکروبی و جذب مولکول‌های آلی لازم است. لی و همکاران (٢٠١٢) نقش تغییر وضعیت اکسایش آهن (چرخه ریداکس) در افزایش فراهمی فسفر، نیتروژن و گوگرد و جذب در گیاهان مطالعه کردند. آنان گزارش کردند که اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (III) بلورین و بی‌شکل به‌عنوان مرکز پذیرنده‌های الکترون برای معدنی شدن مواد آلی و تغییر شکل نیتروژن و گوگرد عمل می‌کنند. آنان همچنین نشان دادند که احیای آهن (III) می‌تواند منجر به تبدیل آمونیوم به نیتریت شده که می‌تواند منجر به تشکیل نیتروژن آلی محلول شود. همچنین مواد معدنی جامد فسفر (برای مثال سنگ فسفات) بر اثر حل شدن اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (III) ناشی از احیای آهن (III) روی سطوح بیوچار منجر به تشکیل فاز محلول فسفر شود. واکنش با مواد هومیکی موجود بر روی سطوح بیوچار ممکن است به تشکیل کمپلکس‌های هومیک-آهن محلول منجر شود (لی و همکاران، ٢٠١٢). همچنین، ممکن است رهاسازی فسفر از فاز جامد به فاز محلول را از طریق مسدود کردن رسوب فسفر با اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (III) تسهیل نماید. تحقیقات بیشتری لازم است تا سازوکارهایی که کمپلکس‌های مواد معدنی- بیوچار منجر به افزایش رشد و جذب عناصر غذایی به گیاهان می‌شود درک گردد. کمپلکس‌های مواد معدنی- بیوچار دارای مقادیر بالای مواد غذایی، گروه‌های عاملی سطحی، کاتیون قابل تبادل، غلظت بالای از نانوذرات آهن مغناطیسی و ترکیب‌های آلی با قابلیت تبادل آب بالاتر هستند... افزایش رشد گیاه بر اثر کاربرد BMC به‌علت (جوزف و همکاران، ٢٠١٣):١) افزایش جذب عناصر غذایی فسفر و نیتروژن ٢) فزایش جمعیت میکوریزی و بهبود بیولوژی خاک ٣) غلظت بالای نانوذرات آهن مغناطیسی که می‌تواند افزایش دهد فراهمی عناصر غذایی و تجزیه مواد آلی خاک ٤) مولکول‌های آلی لبایل که می‌تواند منبع غذایی برای میکروارگانیسم‌ها، شدت جوانه زنی و مقاوت در برابر بیماری‌های گیاهی ٥) گروه‌های عاملی اسیدی (به‌ویژه اسیدهای کربوکسیلیک) که می‌تواند فراهمی عناصر غذایی را افزایش دهد، نسبت داه می‌شود.

همچنین در مطالعات اخیر از ترکیب بیوچار و مواد مبتنی بر آهن برای اصلاح آلاینده‌ها استفاده شده است. بیوچار و اصلاح‌کننده‌های حاوی آهن برای اصلاح آلاینده‌های آرسنیک و فنانترین[2] استفاده شد (اسنیس و همکاران، ٢٠١٣). یان و همکاران (٢٠١٥) بیوچار همراه با کامپوزیت‌های نانوذرات آهن صفر ظرفیتی را به‌عنوان پرسولفات فعال برای حذف تری کلرو اتیلن استفاده کردند. با این حال، تاکنون مطالعات کمی بر بیوچار غنی شده با نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در اصلاح خاک آلوده شده با کروم (VI) گزارش شده است. نتایج سو و همکاران (٢٠١٦) در بررسی پایداری نانو ذرات آهن صفر

[1] Magnetosomes

[2] Phenanthrene

Archive of SID

www.SID.ir

ظرفیتی همراه با بیوچار (BC-nZVI) بر حذف آلاینده کروم از خاک‌های آلوده نشان دادند که اتصال نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به بیوچار مانع تجمع نانوذرات شده و منجر به حفظ واکنش‌پذیری نانوذرات می‌شود. آزمایشات رسوب و انتقال نشان داد که BC-nZVI دارای ثبات و تحرک بهتری نسبت به نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به تنهایی بود (nZVI). سو و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که BC-nZVI می‌تواند برای اصلاح درجا خاک آلوده به کروم (VI) استفاده شود؛ بنابراین، با استفاده از فناوری نانو در تولید نانوبیوچارها و بهبود ویژگی‌های شیمیایی، می‌توان از ویژگی‌های آن در بهبود کیفیت خاک، افزایش عملکرد محصول، افزایش جذب مواد سمی و کاهش تغییرات اقلیمی بهره جست.

کاربرد نانوهیدروژل در اصلاح خاک

هیدروژل‌ها، دارای فضای خالی بین شبکه‌ای هستند و در نتیجه می‌توانند به‌عنوان نانوراکتور برای تولید نانوذرات عمل کنند. این مواد به محرک‌های محیطی مانند pH، نور، میدان الکتریکی و غیره پاسخ می‌دهند (گنجی و فراهانی، ۲۰۰۹). فراهم کردن محیطی برای رشد گیاه که بتواند برای مدت زمان‌های طولانی عناصر غذایی و آب را در خود ذخیره کرده و آن را به‌تدریج در اختیار گیاه قرار دهد، از وظایف هیدروژل‌ها به‌ویژه نانوهیدروژل‌ها محسوب می‌شود. به‌طور کلی، قابلیت‌های استفاده از این نانومواد عبارتند از:

۱) افزایش قابلیت جذب آب به‌دلیل برخورداری از منافذ در مقیاس نانو، ۲) افزایش ظرفیت نگهداشت آب ۳) قابلیت ذخیره عناصر غذایی در خود و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی برای استفاده گیاه (جمیز و ریچاردز، ۱۹۸۶).

جذب سریع آب و حفظ آن، بازده جذب آب ناشی از بارندگی‌های پراکنده را بالا برده و در صورت آبیاری خاک، فواصل آبیاری را نیز افزایش می‌دهد. علاوه‌بر نگهداری آب، ابرجاذب‌ها به‌علت تغییر حجم مداوم (انبساط به هنگام تورم و انقباض به هنگام از دست دادن آب) میزان هوا را نیز در خاک افزایش می‌دهند. از نظر بار الکتریکی نیز نوع آنیونی آن در کشاورزی دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا علاوه‌بر جذب کاتیون‌های مفید برای رشد گیاه، از تثبیت و شستشوی آن در خاک جلوگیری می‌نماید. بدین ترتیب ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش می‌دهد.

بر طبق نظر باومن و ایوانس (۱۹۹۱) پلیمر ابرجاذب ۴۰۰-۱۵۰۰ گرم آب را در هر گرم هیدروژل نگه می‌دارند. جانسون و ولت‌کامو (۱۹۸۵) نشان دادند که زمانی‌که این هیدروژل‌ها به‌درستی استفاده شوند، ۹۵٪ از آب ذخیره شده موجود در هیدروژل برای جذب گیاه در دسترس است. زمانی‌که این جاذب‌ها با خاک مخلوط می‌شوند بر اثر جذب آب به‌صورت توده ژلاتینی بی‌شکل در می‌آیند که قادر به جذب و واجذب برای دوره زمانی طولانی هستند. از این رو این جاذب‌ها به‌عنوان منبع کندرهای آب و مواد غذایی محلول در خاک عمل می‌کنند. اثرهای تنش خشکی می‌تواند با کاربرد ابر جاذب پلیمر کاهش یابد و عملکرد محصول و ثبات تولید کشاورزی بهبود یابد (علی و همکاران، ۲۰۱۴). با در نظر گرفتن نگهداشت رطوبت خاک و عناصر غذایی کم مصرف، ابر جاذب هیدروژل نانوکامپوزیت‌های پوشش داده شده با نقره برای استفاده‌های کشاورزی تولید شده‌اند. هیدروژل پوشش داده شده با نقره در چرخه‌های طولانی‌مدت آبیاری، تحمل گیاهان در برابر تنش خشکی را افزایش می‌دهد (رامش و همکاران، ۲۰۱۵).

اخیراً، محققان بر تولید ابرجاذب نانوکامپوزیت مبتنی بر اکریلیک تمرکز کرده‌اند (سانتیاگو و همکاران، ۲۰۰۷) که برای حذف آلاینده‌ها از آب نیز استفاده می‌شود. از انواع نانوهیدروژل‌های کندرهای عناصر غذایی می‌توان به ۱) هیدروژل مبتنی بر آلژینات در کنترل رهاسازی روغن دانه شلغم[1] (کول‌کارنی و سوپیمث،

[1] Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) seed oil

Archive of SID

www.SID.ir

٢٠٠٠) ٢) کراسلینک[1] هیدروژل آمید به‌عنوان حامل برای کنترل رهاسازی اوره (گیو و همکاران، ٢٠٠٥) ٣) ترکیب‌های سوپرجاذب اکریلیک اسید گندم برای کنترل رهاسازی اوره (لیانگ و همکاران، ٢٠٠٩) ٤) کربوکسی متیل کیتوزان (اکریلیک اسید) ترکیب‌های سوپر جاذب به‌عنوان حامل برای مواد غذایی کشاورزی (ونگ و همکاران، ٢٠١٤) اشاره کرد.

دمیتری و همکاران (٢٠١٣) قابلیت استفاده از ابرجاذب‌های هیدروژل مبتنی بر سلولز را به‌عنوان یک وسیله‌ای برای رهاسازی پایدار و کنترل شده آب و مواد غذایی در مناطق خشک و بیابانی بررسی و گزارش کردند که مزیت اصلی نانوهیدروژل‌ها این است که هیدروژل ممکن است رهاسازی آب ذخیره شده در خاک خشک را کنترل کرده و رطوبت خاک را در طول زمان نسبتاً طولانی حفظ کند. همچنین، حضور هیدروژل، تخلخل خاک را افزایش داده و اکسیژن بیشتری به ریشه‌های گیاه فراهم می‌کند. پرواتی و جیوتی (٢٠١٤) تأثیر ابرجاذب هیدروژل مبتنی بر آکریل‌آمید بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را بررسی و مشاهده کردند که مقدار رطوبت حفظ شده در خاک به غلظت مواد ابرجاذب بستگی دارد که رهاسازی آب جذب شده را کنترل می‌کند. قابلیت کاربرد پلیمرها، هیدروژل‌های رایج و ابرجاذب هیدروژل در بهبود ویژگی‌های خاک به‌وسیله سایر محققان نیز بررسی شده است (ونگ و همکاران، ٢٠١٤).

استفاده از نانوذرات در فرآیندهای اصلاح آلودگی خاک

علم نانو و فناوری نانو از پتانسیل تأثیرگذاری عمیق بر محیط‌زیست برخوردار هستند. محققان برای افزایش سرعت و کارآیی پالایش محیط زیست از مواد آلاینده، اقدام به تولید نانوذرات اصلاح شده‌ی آهن، از قبیل نانوذرات کاتالیست‌دار نموده‌اند. با کاربرد نانوذرات پالادیم/آهن در غلظت ٦/٢٥ گرم بر لیتر، میزان ترکیب‌های کلردار موجود در محلول به زیر محدوده‌ی قابل تشخیص دستگاه کاهش یافت. بر اثر استفاده از نانوذرات آهن، ظرف مدت ٢٤ ساعت بیش از ٩٩ درصد از ترکیب‌های کلردار موجود در محلول زدوده شد. برخی از آفت‌کش‌هایی که در محیط‌های هوازی پایا و ماندگار هستند، تحت شرایط بی‌هوازی (احیاکننده) با سهولت و سرعت بسیار بیشتری تجزیه می‌شوند. یکی از مصادیق کاربرد این تکنیک شامل استفاده از آهن خنثی به‌عنوان یک ماده‌ی شیمیایی احیاکننده است. در شرایط هوازی، اکسیژن پذیرنده‌ی معمول الکترون است، در حالی‌که در محیط‌های بی‌هوازی، الکترون آزاد شده از واکنش آهن خنثی با آب می‌تواند به واکنش ترکیب‌های آروماتیک نیتروژن‌دار و کلردار بپیوندد. با این وجود استفاده از نانومواد عاری از محدودیت نبوده برای مثال احتمال ابتلا به روئینگی سریع[2] برخی مواد، تجمع آسان (فن و همکاران، ٢٠١٣)، حساسیت به شرایط ژئوشیمیایی (شهوان و همکاران، ٢٠١٠) دارد و ممکن است سلامتی محیط‌زیست و انسان به مخاطره بیفتد (بن و همکاران، ٢٠١٠).

حذف فلزات سنگین

نانواکسیدها به‌عنوان اصلاح کننده‌های مهم برای آلودگی در خاک‌ها عمدتاً به‌دلیل واکنش‌پذیری بالا و سطح ویژه بزرگ آنها استفاده می‌شود (کلین و همکاران، ٢٠٠٨). با توجه به حذف کروم و گونه‌های مرتبط به آن، مطالعات به استفاده از نانوذرات برای حذف کروم از آب زیرزمینی و خاک تمرکز می‌کند (البادارین و همکاران، ٢٠١٤). با توجه به حذف آرسنیک، یک یا هر دو گونه مربوط به آن به‌عنوان مثال AS(V) و AS(III) مطالعات مختلفی انجام شده است (گوسوامی و پورکت، ٢٠١٢)، برخی از مطالعات دیگر به حذف چندین فلز سنگین آلاینده از جمله سرب (اصفهانی و همکاران، ٢٠١٤)، مس (زو و همکاران، ٢٠٠٩)، گونه‌های مختلف روی (کرزیسنیک و همکاران، ٢٠١٤) از آب و یون‌های نیکل از

[1] cross link

[2] Rapid passivation

Archive of SID

www.SID.ir

فاضلاب (پانرسلوام و همکاران، ۲۰۱۳) و حذف یون کادمیوم اشاره می‌کند. نانولوله‌های کربن اکسیدی و هیدروکسیلات نیز برای جذب فلزات از جمله مس (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۶)، نیکل (چن و ونگ، ۲۰۰۶)، کادمیوم (لیانگ و همکاران، ۲۰۰۴)، نقره (دینگ و همکاران، ۲۰۰۶)، روی (لیو و چیو، ۲۰۰۶)، آمریکیوم (ونگ و همکاران، ۲۰۰۵) استفاده می‌شود.

بررسی مقالات، شواهدی در مورد استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (NZVI)[1] برای اصلاح آلودگی خاک ارائه می‌دهد. فراوانی، سهولت دسترسی، هزینه‌های مقرون به صرفه آهن صفر ظرفیتی سبب استفاده گسترده آن شده است. علیرغم واکنش‌پذیری بالای نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، تمایل و گرایش این مواد به سمت تجمع به‌واسطه ویژگی‌های مغناطیسی آنها سبب می‌شود که سطوح خارجی و در نتیجه واکنش‌پذیری آنها در محلول کاهش و همچنین سرعت رسوب آنها افزایش یابد (فنرات، ۲۰۰۹). برای حل مشکلات توده‌ای شدن NZVI، پژوهشگران راهکارهای مختلفی از جمله استفاده از نانوذرات ساخته شده از دو فلز به جای یک فلز (Fe^0) با نام ذرات دو فلزی[2] را پیشنهاد کردند. در این راستا از فلزاتی که از پتانسیل ریداکس مثبت و بیشتری برخوردارند، مانند پلادیم، نقره و مس استفاده می‌شود (ونس، ۲۰۰۵).

کروم

آلودگی کروم در خاک و آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یک مشکل جدی زیست محیطی محسوب می‌شود. کروم در طبیعت به دو حالت اکسایشی پایدار (III) و (VI) یافت می‌شود. کروم شش ظرفیتی (VI) کاملاً محلول و متحرک بوده و به‌دلیل داشتن ویژگی‌های اکسیدکنندگی قوی، اثرهای سمی در سیستم‌های زیستی دارد در حالی‌که کروم سه ظرفیتی (III) به‌دلیل شرکت در سوخت‌وساز گلوکز، چربی و پروتئین، به‌عنوان یک عنصر ضروری برای حیوانات شناخته شده است. لذا احیای کروم (VI) به کروم (III) و رسوب متعاقب آن از اهمیت ویژه‌ای در اصلاح مکان‌های آلوده به کروم (VI) برخوردار می‌باشد. در مقایسه با گونه‌های با حلالیت بسیار کم کروم (III)، گونه‌های کروم (VI) بسیار متحرک، سمی و سرطانزا می‌باشد (لیگراند و همکاران، ۲۰۱٤). در سال‌های اخیر، محققان نشان دادند که کروم (VI) می‌تواند به‌طور مؤثر توسط آهن (II) بر طبق واکنش زیر احیاء شود (سینگ، ۲۰۰۳).

$$Cr\ (VI) + 3\ Fe(II) \rightarrow Cr\ (III) + 3Fe\ (III) \quad (۱)$$

احیای کروم (VI) به کروم (III) از طریق ذرات آهن صفر ظرفیتی گرانوله یا پودری یا نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در تعدادی از مطالعات آزمایشگاهی و مزرعه‌ای بررسی شده است (سینگ و سینگ، ۲۰۰۳). پوندر و همکاران (۲۰۰۰) از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی (قطر ۱۰ تا ۳۰ نانومتر) برای احیای کروم (VI) در محلول‌های آبی استفاده و مشاهده کردند که احیای کروم (VI) با نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، ۲۰ تا ۳۰ برابر سریع‌تر از آهن پودری صفر ظرفیتی در واحد جرم آهن است. با این حال، نانوذرات آهن صفر ظرفیتی تولید شده به روش سنتی سریعاً متراکم شده و تحرک و واکنش‌پذیری آن در خاک کاهش می‌یابد.

آرسنیک

در برخی مطالعات از نانوذرات آهن برای اصلاح آلودگی آرسنیک (شیپلی و همکاران، ۲۰۰۹؛ یاووز و همکاران، ۲۰۰۶) استفاده کرده‌اند. اصلاح آرسنیک توجه زیادی را جلب کرده است زیرا موجب سمیت مزمن و اثرهای سرطانزا (پوستی، مثانه و سرطان ریه، حملات قلبی) می‌شود (اسمیدلی و کینی‌بورگ، ۲۰۰۲). آرسنیک یکی از سمی‌ترین آلاینده آب‌های زیرزمینی است. گونه غالب آرسنیک موجود در آب‌های زیرزمینی، آرسنیت ((As(III))، کمپلکس بار خنثی یا آرسنات ((As(V))، کمپلکس بار منفی، که به شرایط ریداکس، pH و فعالیت

[1] Nanoparticles Zero Valent Iron
[2] Bimetal

Archive of SID

www.SID.ir

میکروبی بستگی دارد (دیکسیت و هرینگ، ۲۰۰۳). برای حذف آرسنیک و گونه‌های مرتبط به آن نانومواد با تنوع بیشتر وجود دارد. به‌عنوان مثال نانوذرات اکسید مس (II) (گوسوامی و پورکایی، ۲۰۱۳)، نانوذرات آلومینیوم پخش شده در مواد پلیمری (ساها، ۲۰۱۲) و ناتوذرات کلسیم پراکسید (CaO_2) (اولیائی و همکاران، ۲۰۱۲) می‌باشد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که نانوذرات اکسید آهن و آهن برای حذف هر دو گونه آرسنیت و آرسنات (شیپلی و همکاران، ۲۰۰۹) می‌توانند استفاده شوند.

سرب و کادمیم

روش اصلاح مناسب برای کاهش قابلیت دسترسی فلزات در خاک برای حفظ سلامتی انسان ضروری است. تعدادی از مطالعات به بررسی اثربخشی فسفات بر غیرمتحرک کردن درجا آلاینده‌های آب و خاک تمرکز کرده‌اند (میگنارد و همکاران، ۲۰۱۲). نانوهیدروکسی‌آپاتیت (nHA) یک فسفات با حلالیت کمتر می‌باشد و می‌تواند یک ماده ایده‌آل برای غیرمتحرک کردن فلزات سنگین به‌دلیل ظرفیت بالا، حلالیت کم در آب، ثبات بالا در شرایط کاهشی و اکسایشی، قابل دسترس بودن و هزینه کم باشد. با این حال، اطلاعات محدودی درباره غیرمتحرک کردن فلزات سنگین از طریق نانوهیدروکسی آپاتیت به‌خصوص در خاک وجود دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). ما و همکاران (۱۹۹٤) گزارش کردند سازوکار غیرمتحرک کردن سرب در خاک‌های آلوده با هیدروکسی آپاتیت می‌تواند حل شدن هیدروکسی آپاتیت و رسوب هیدروکسی‌پیرومورفیت باشد. سرب ممکن است در ابتدا جذب سطوح هیدروکسی آپاتیت شده و سپس تبادل کاتیونی باعث جایگزینی یون‌های سرب (Pb^{2+}) به جای یون‌های کلسیم (Ca^{2+}) در محلول خاک شود (تاکوچی و آرایی، ۱۹۹۰). برای کادمیم، جانشینی هم‌شکل به نظر می‌رسد مهمتر از رسوب باشد (واترلوت و همکاران، ۲۰۱۱). یون کادمیم در ابتدا جذب سطوح نانوهیدروکسی آپاتیت شده و سپس جانشین یون کلسیم می‌شود (احمد و همکاران، ۲۰۱۲) زیرا شعاع یونی کادمیم (۰/۰۹۷ نانومتر) بسیار نزدیک به شعاع یونی کلسیم (۰/۰۹٤ نانومتر) است (واترلوت و همکاران، ۲۰۱۱). ماو و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه غیرمتحرک کردن سرب و کادمیم در خاک‌های آلوده با استفاده از نانوهیدروکسی آپاتیت بلورین گزارش کردند که نانوهیدروکسی آپاتیت قابلیت دسترسی کادمیم و سرب را با تشکیل فسفات سرب/ کادمیم (به‌عنوان مثال کانی‌های مانند هیدروکسی‌پیرومورفیت) کاهش داد. آنان گزارش کردند که عمده سازوکار غیرمتحرک کردن شامل تبادل کاتیونی و انحلال جزئی نانوهیدروکسی آپاتیت و رسوب آپاتیت حاوی فلزات سنگین بود.

حذف آلاینده‌های آنیونی

در میان چندین آلایند معدنی مورد مطالعه برای حذف، نیترات بیشترین توجه را دریافت کرده است. نانوذرات آهن صفر ظرفیتی برای حذف نیترات (لیوو و همکاران، ۲۰۰۵) استفاده شده است. آلاینده دیگر، فسفر می‌باشد (لیو و همکاران، ۲۰۱۳). بسیاری از خاک‌ها در ایران مقادیر زیادی کود فسفر دریافت کرده‌اند و در نتیجه حاوی سطوح بالایی از فسفر قابل دسترس هستند (جلالی، ۲۰۰۷). با وجود استفاده گسترده از نانوذرات در زمینه‌های مختلف اطلاعات درباره غیرمتحرک کردن فسفر توسط این نانوذرات به‌ویژه در خاک محدود است (محرمی و جلالی، ۲۰۱٤). تقی‌پور و جلالی (۲۰۱۵) تأثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیم و اکسید آلومینیوم بر سینتیک رهاسازی و جزءبندی فسفر را بررسی کردند. این محققان نشان دادند که اضافه کردن نانوذرات به خاک رهاسازی فسفر با زمان را کاهش می‌دهد. همچنین از نانوسولفات کلسیم برای کاهش تلفات ارتوفسفات‌ها در خاک استفاده می‌شود. در کودهای معدنی، فسفر عمدتاً به شکل ارتوفسفات است (اسمیل، ۲۰۰۰). سولفات کلسیم به‌ویژه گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ظرفیت بالا برای کمپلکس با ارتوفسفات دارد (پیتولا، ۲۰۰۸) که ممکن است تلفات

Archive of SID

www.SID.ir

فسفر از طریق رواناب سطحی را کاهش دهد. یون کلسیم می‌تواند باعث رسوب یا جذب فسفر محلول در منافذ خاک شود همچنین می‌تواند ویژگی‌های ساختاری خاک مانند ثبات خاکدانه برای کنترل فرسایش را بهبود بخشد (پیتولا، ۲۰۰۸). تعدادی از مطالعات درباره تأثیر نانوسولفات کلسیم برای نگهداشت فسفر در خاک وجود دارد. نانوسولفات کلسیم به‌دلیل سطح ویژه بزرگ‌تر، حلالیت بالاتر (جیون‌یاپراسرت و موراکول، ۲۰۱۵) تماس بهتر با کود و خاک، پراکندگی بیشتر و صرفه‌جویی در مقدار مصرف در مقایسه با سولفات کلسیم معمولی مزیت دارد. انتظار می‌رود نانوسولفات کلسیم کمپلکس شدن (رسوب و جذب) بین ارتوفسفات و کلسیم را افزایش داده و تلفات فسفر از مزارع را کاهش دهد. دانگ و همکاران (۲۰۱۶) اثربخشی نانوسولفات کلسیم را در کاهش تلفات ارتوفسفات گزارش کردند.

حذف آلاینده‌های آلی

مطالعات متعدد به حذف تری‌کلرو اتیلن (TCE) و PCBs[1] متمرکز شده است (ونگ و چویی، ۲۰۱۲). از نانولوله‌های کربن برای جذب انواع ترکیب‌های آلی مانند دی‌اکسین (لونگ و یانگ، ۲۰۰۱)، هیدروکربن-های پلی آروماتیک (گوتوواک و همکاران، ۲۰۰۶)، دی فنیل اتر (ونگ و همکاران، ۲۰۰۶)، کلرو بنزن و کلروفنول (سائی، ۲۰۰۵) و آفت‌کش‌های تیامتوکسام (زو و همکاران، ۲۰۰۶) استفاده شده است. از نانوذرات اکسید آهن صفر ظرفیتی برای اصلاح آلاینده‌های آلی (ژانگ، ۲۰۰۳) استفاده می‌شود. آترازین (2-chloro-4ethylamino-6-iso-propylamino-1,3,5-triazine) رایج‌ترین علف‌کش استفاده شده در جهان است. آبشویی آترازین از مکان‌های استفاده شده به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی موجب آلودگی محیط زیست شده است. میسنر و همکاران (۱۹۹۳) اثرهای سمی بالقوه متابولیت‌های آترازین به‌ویژه مشتقات نیتروزو را بر روی حیوانات گزارش کردند. نانوذرات آهن صفر ظرفیتی برای حذف حلال‌های کلردار (زو و همکاران، ۲۰۰۶)، آفت-کش‌ها و علف‌کش‌ها (جو و زاو، ۲۰۰۸) و DDT استفاده می‌شود (یحیی و همکاران، ۲۰۱۶).

تأثیر نانوذرات بر حفظ رطوبت خاک در مناطق خشک و بیابانی و کاهش فرسایش خاک

شرکت‌های مختلف نانومواد جدیدی را برای کاهش مشکلاتی مانند کمبود آب برای آبیاری تولید کرده-اند (ونگ و کارن، ۲۰۱۲). نانومواد برای جلوگیری از زهکشی خاک‌های سبک بافت در مناطق خشک و بیابانی و رهاسازی عناصر غذایی برای رشد گیاه توسعه داده شده است (دیویرسون و گیو، ۲۰۱۲). ماسه‌های آبگریز توسعه داده شده با استفاده از نانوفناوری می‌تواند با بیابانزایی مقابله کرده و رشد گیاهان در اقلیم‌های خشک را گسترش دهد. ماسه آبگریز می‌تواند به‌عنوان یک سفره آبی برای متوقف کردن جریان آب به زیر ریشه‌های گیاهان عمل کند. نانومواد دیگری که اخیراً توسعه یافته‌اند، نانوغشاها هستند که برای تصفیه آب و شوری‌زدایی استفاده می‌شوند که می‌توانند چند برابر کارایی داشته باشند. یکی از مشکلات عمده در مناطق بیابانی شوری آب است. از روش جداسازی غشایی در شیرین‌سازی آب می‌توان بهره برد.

نانورس‌ها قادر به تثبیت شن بوده و باعث نگهداشت آب تا ۲۵ درصد می‌شوند. نانورس‌ها به‌عنوان یک چسب عمل کرده و رطوبت را در شن و ماسه حفظ می‌کنند. رویش مجدد بیابان‌ها توسط نانورس می‌تواند منجر به کاهش فرسایش بادی، تولید خاکدانه در خاک و افزایش مقدار آب قابل دسترس شود در نتیجه موجب بهبود رشد گیاهان و درختان شود. نتایج بررسی استفاده از نانورس در خاک‌های شنی گرم و خشک در کشور مصر، افزایش ۴۱۶ درصدی محصولات و صرفه‌جویی دو سوم مصرف معمولی آب آبیاری را نشان می‌دهد؛ به عبارت دیگر مصرف آب آبیاری به یک سوم کاهش یافته است

[1] Polychlorinated biphenyls

Archive of SID

www.SID.ir

(اولسن، ۲۰۱۰). نانورس‌ها با ایجاد توده‌های به هم پیوسته در خاک، آب و عناصر غذایی را نگهداری می‌کنند و در اختیار گیاهان قرار می‌دهند. در حال حاضر در بیشتر مناطق جهان با خاک‌های ماسه‌ای، مشکل کمبود آب وجود دارد که کاهش تولید محصولات کشاورزی را به دنبال داشته و باعث افزایش قیمت جهانی محصولات می‌شود.

اصلاح ویژگی‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی خاک

اطلاعات کمی در مورد اثرهای احتمالی نانوذرات بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک وجود دارد. نتایج تحقیقات نشان داده است که سطح ویژه بالای نانوذرات سبب به وجود آمدن انرژی بسیار قوی سطحی بین ذرات می‌شود. لذا، خاصیت هماوری را افزایش می‌دهد (ناندا و همکاران، ۲۰۰۳). از این خاصیت نانوذرات، می‌توان به‌عنوان عامل پیوند دهنده بین ذرات خاک و تشکیل خاکدانه استفاده کرد. تال‌برن و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند نانوذرات ترکیب جامعه باکتریایی خاک را تحت تأثیر قرار داده اما تأثیر کمی بر ویژگی‌های ماکروسکوپی خاک گذاشت. تخلخل خاک تحت تأثیر نانوذرات قرار نگرفت. نانوذرات فولرن[1] تأثیر کمی بر روی جمعیت میکروبی خاک و فعالیت‌های میکروبی گذاشت (نی‌برگ و همکاران، ۲۰۰۸). نانولوله‌های کربن چند جداره باعث کاهش فعالیت آنزیمی و کاهش زیست‌توده میکروبی C و N در خاک شد چیونگ و همکاران، ۲۰۱۱. جی و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم و اکسید روی بر جمعیت میکروبی خاک مطالعه کرده و نشان دادند که هر دو نانوذرات توده میکروبی و تنوع میکروبی را کاهش دادند. در مطالعه تال برن و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر نانوذرات آهن و اکسید مس بر ویژگی‌های دو نمونه خاک مختلف مطالعه شد. این محققان گزارش کردند که تخلخل خاک در در هر دو نمونه خاک تحت تأثیر نانوذرات قرار نگرفت. تجمع نانوذرات در خاک همچنین می‌تواند منجر به مسدود شدن برخی از مسیرهای جریان شده و هدایت هیدرولیکی را کاهش دهد. برای بررسی تغییرات ظرفیت جذب، همدمای جذب برای نیکل در نمونه‌های خاک با و بدون نانوذرات رسم شد. هیچ تغییری در همدما با اضافه کردن نانوذرات آهن و نانواکسید مس مشاهده نشد که نشان می‌دهد ظرفیت جذب خاک تحت تأثیر نانوذرات قرار نگرفته است.

خطرات بالقوه نانوذرات

شواهد کافی وجود دارد که نانوذرات اثرهای سمی بر ریزجانداران خاک‌زی دارند. بررسی‌ها نشان داده است که سمیت نانوذرات به‌ویژه نانوذرات فلزی به ویژگی‌های فیزیکی ذره‌ها مانند اندازه، شکل، پوشش سطحی، زیست‌سازگاری و واکنش‌پذیری و روش ساخت نانوذره بستگی دارد (سیورش و همکاران، ۲۰۱۳). سازوکارهای احتمالی سمیت نانوذرات شامل تخریب غشاها، آسیب اکسیداتیو پروتئین‌ها، آسیب DNA، مختل شدن انتقال الکترون، تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن و انتشار ترکیبات سمی می‌باشند (کلین و همکاران، ۲۰۰۸). محققان همچنین دریافتند که اندازه کوچک (نسبت سطح به بالای حجم) و حل‌پذیری نانوذرات فلزی می‌تواند سمیت بیشتری به باکتری ایجاد کند. مطالعات بر روی سمیت نانوذرات نقره و نانوذرات اکسید روی به باکتری نیترات‌ساز و *اشریشیا کولای* نشان داد که اثر ضدباکتریایی این نانوذرات از طریق آزادسازی یون‌های نقره و روی می‌باشد (لی و همکاران، ۲۰۱۱). نانوذرات توانایی اتصال به غشای باکتری‌ها از طریق برهمکنش الکترواستاتیک و اختلال در ساختار غشاها را دارند (تهیل و همکاران، ۲۰۰٦). همچنین تماس نزدیک بین نانوذرات و ریشه‌ها می‌تواند منجر به جذب نانوذرات به‌وسیله ریشه‌ها شده و سبب انتقال نانوذرات به گیاهان شود (گاردیا-توریسدی و همکاران، ۲۰۱٤). علاوه‌براین، بسیاری از مطالعات اثرهای جانبی و سمیت نانوذرات را بر روی گیاهان نشان داده

[1] Fullerene

Archive of SID

www.SID.ir

است (میداندر و همکاران، ۲۰۰۹). چنین عوارض جانبی نانوذرات بسیار پیچیده بوده و به‌شدت به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و برهمکنش این ذرات بستگی دارد. نیر و همکاران (۲۰۱۰)، اثرهای نانوذرات فلزی را بر رشد گیاه مطالعه و گزارش کردند که تجمع نانوذرات ممکن است منافذ و کانال‌ها را مسدود کرده و درنتیجه باعث سمیت یون‌های فلزی که تحرک بیشتری در داخل گیاهان دارند، بشود. فرآیندهایی که نانوذرات اکسید فلزی بر جانداران اثرهای سمی اعمال می‌کند شامل جذب مستقیم ذره، جذب به سطوح زیستی، رهاسازی یون‌های فلزی و انتقال و رهاسازی آلاینده‌ها هستند (بوترو و همکاران، ۲۰۱۱).

زمانی‌که نانوذرات اکسید فلزی به‌طور مستقیم توسط جانداران جذب شوند، ممکن است موجب آسیب سطح سلول‌ها از طریق اختلال در فرآیندهای زیستی شوند (دونالدسون و همکاران، ۲۰۱۰). اگرچه مطالعات نشان داده است که گیاهان می‌توانند به‌طور مستقیم نانوذرات اکسید فلزی را در سیستم‌های آبی جذب کرده و انتقال دهند (تال‌بن و همکاران، ۲۰۱۳)، ولی اطلاعات کمی از جذب نانوذرات به‌وسیله گیاهان در محیط‌های خاکی وجود دارد. از این‌رو این نگرانی وجود دارد که نانوذرات ممکن است آلاینده‌ها را به موجودات زنده از طریق کمپلکس سطحی انتقال دهند (پرلتا–ویدا و همکاران، ۲۰۱۱). در حال‌حاضر اطلاعات کافی درباره اینکه آیا نانوذرات اکسید فلزی عامل انتقال آلاینده‌ها به موجودات زنده خواهد بود یا نه وجود ندارد. گرچه نگرانی از سمیت ناشناخته نانوذرات رو به افزایش است، فقدان روش مناسب تجربی برای اعتبارسنجی روش تعیین سمیت یک مانع عمده در مسمومیت ناشی از ترکیب‌های نانو است. مهمتر از همه بسیاری از مطالعات سمیت نانوذرات در غلظت‌های بیشتر از مقدار واقعی و در محیط‌های مصنوعی و کشت بدون خاک انجام شده است و نتایج حاصل قابل‌تعمیم به محیط طبیعی خاک نیست؛ بنابراین، مطالعه اثر سمیت نانوذرات هنوز در مراحل اولیه است و نتیجه‌گیری قطعی در این مورد بر اساس مطالعات موجود امکان‌پذیر نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به مزیت‌های استفاده از فناوری نانو در زمینه علوم خاک، به نظر می‌رسد در آینده نزدیک حجم بازار قابل توجهی در این حوزه نصیب محصولات و خدمات مبتنی بر فناوری نانو شود. بدون شک با بهره‌گیری از مزیت‌های فناوری نانو به‌عنوان یک فناوری پیشرفته نوظهور در بخش کشاورزی، می‌توان به نتایج مطلوبی از جمله تضمین امنیت غذایی و توسعه کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست در کشورها و نواحی در حال توسعه‌ی جهان دست یافت. اگرچه علیرغم تنوع محصولات وارد شده به بازار این فناوری و البته مانند هر فناوری جدید دیگری، رایج شدن فناوری نانو در توسعه کشاورزی به‌ویژه در علوم خاک و پذیرش آن در بین کشاورزان و همچنین مشخص شدن اثرهای جانبی استفاده از آن بر ریزجاندارن خاکزی، نیاز به تکمیل بررسی‌های علمی و صنعتی بیشتر دارد. به‌طور کلی، از این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که:

۱) تولید کودهای حاوی عناصر غذایی کم‌مصرف در اندازه نانو، باعث افزایش حل‌پذیری و پراکندگی این عناصر غذایی در خاک شده و کارایی جذب این عناصر توسط گیاه بهبود می‌یابد.

۲) با استفاده از اصلاح‌کننده‌های نانو می‌توان به بهبود تهویه خاک و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک کمک کرد.

۳) از نانوذرات می‌توان برای اصلاح آلاینده‌های خاک استفاده کرد.

۴) از نانوذرات می‌توان برای کنترل فرسایش خاک و تثبیت شن در مناطق خشک و بیابانی استفاده کرد.

۵) در مطالعات سمیت نانوذرات، غلظت و رفتار نانوذرات در محیط و میزان سمیت بر ریزجانداران خاکزی مورد توجه قرار گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

رهیافت‌های ترویجی

تجربه کشورهای مختلف نشان داده است که رسیدن به این فن‌آوری یک فرآیند وقت‌گیر و گام به گام است که با مطالعات و آزمایش‌ها و انجام پروژه‌های کاربردی و مفصل قابل‌دستیابی است. بنابراین، اولین قدم در بحث استفاده از نانوفناوری در اصلاح خاک، شناسایی توانایی‌ها و قابلیت‌های بالقوه‌ای است که می‌تواند بسیاری از محدودیت‌ها را از سر راه برداشته و در نتیجه باعث محلی شدن این فن‌آوری گردد.

با توجه به اینکه استفاده از اصلاح‌گرهای نانو در مناطق مختلف به‌دلیل تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، اقلیم و پوشش گیاهی اثرهای متفاوتی داشته است، لازم است از این فناوری به‌صورت ویژه‌مکان استفاده شده و آزمایش‌های لازم در مناطق مختلف انجام شود. بررسی دقیق تغییرپذیری مکانی و زمانی ویژگی‌های مهم خاک از جمله عناصر غذایی، بافت خاک، رطوبت، فشردگی و سایر عوامل نیز در مرحله اول به عنوان تجربه کشورهای صاحب این فن‌آوری ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به افزایش جمعیت، گسترش سطح خاک‌های آلوده، کاهش حاصلخیزی خاک‌ها، مشکلات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی (هزینه زیاد، کارایی مصرف کم، آلودگی محیط زیست) و گسترش آلودگی آبها لازم است از نانوفناوری در اصلاح خاک‌ها استفاده شده و مانند کشورهای پیشرفته به‌ویژه آمریکا در کشورهای در حال توسعه مانند ایران نیز در مدیریت کشاورزی رایج شود.

برای ترویج استفاده از این فناوری در اصلاح خاک‌ها، سالم‌سازی محیط زیست و کشاورزی، لازم است رسانه‌های عمومی مانند رادیو و تلویزیون و نشریات مختلف نسبت به معرفی این فناوری اقدام نمایند.

فهرست منابع

۱. کوچکی ع. خواجه حسینی م. ۱۳۸۷. زراعت نوین. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007. Toxicological Profile for Lead. Atlanta, GA.
3. Ahmad, M., Y. Hashimoto., D.H. Moon., S.S. Lee., and Y.S. Ok. 2012. Immobilization of lead in a Korean military shooting range soil using eggshell waste: An integrated mechanistic approach. Journal of Hazardous Materials. 210: 392– 401.
4. Albadarin, A., C. Mangwandia., Y. Glocheuxa., G. Walker., and M. Ahmad. 2014. Experimental design and batch experiments for optimization of Cr (VI) removal from aqueoussolutions by hydrous cerium oxide nanoparticles. Chemical Engineering Research and Design. 92: 1354.
5. Ali, M.A., I. Rehman., A. Iqbal., S. Din., A.Q. Rao., A. Latif., T.R. Samiullah., S. Azam., and T. Husnain. 2014. Nanotechnology: A new frontier in Agriculture. Nanotechnology, a new frontier in Agriculture. International Journal of Advanced Life Sciences. 3:129-138.
6. Anita, S., and D.P. Rao. 2014. Enhancement of seed germination and plant growth of wheat, maize, peanut and garlic using multiwalled carbon nanotubes. European Chemical Bulletin. 3: 502-504 502.
7. Baruah, S., and J. Dutta. 2009. Nanotechnology applications in pollution sensing and degradation in agriculture: a review. Environmental Chemistry Letters. 7:191-204.
8. Bhupindar, S.S. 2014. Nanothechnology in agri- food production: an overview. Nanotechnology science and applications. India. www.Dovepress. 7:31-53.
9. Bottero, J.Y., M. Auffan, J. Rose, C. Mouneyrac, C. Botta, J. Labille, A. Masion, A. Thill., and C. Chaneac. 2011. Manufactured metal and metal-oxide nanoparticles: Properties and perturbing mechanisms of their biological activity in ecosystems. Comptes Rendus Geoscience. 343**:** 168-176.
10. Bowman, D.C., and R.Y. Evans. 1991. Calcium inhibition of polyacrylamide gel hydration is partially reversible by potassium. Hort Science. 26:1063-1065.

Archive of SID

www.SID.ir

11. Chen, C., and X. Wang. 2006. Adsorption of Ni (II) from aqueous solution using oxidized multiwall carbon nanotubes. Industrial & Engineering Chemistry Research. 45:9144–9149.
12. Chen, H., and R. Yada. 2011. Nanotechnologies in agriculture: New tools for sustainable development. Trends in Food Science & Technology. 22:585-94.
13. Chinnamuthu, C.R., and P. Boopathi. 2009. Nanotechnology and Agroecosystem, Madras Agricultural Journal. 96: 17-31.
14. Demitri, F.C., M. Scalera., A. Madaghiele., A. Sannino., and Maffezzoli. 2013. Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture, International Journal of Polymer Science. 1–6.
15. Ding, Q., P. Liang., F. Song., and A. Xiang. 2006. Separation and preconcentration of silver ion using multiwalled carbon nanotubes as solid phase extraction sorbent. Separation Science and Technology. 41: 2723–2732
16. Dixit, S., and J.G. Hering. 2003. Comparison of arsenic (V) and arsenic (III) sorption onton iron oxide minerals: implications for arsenic mobility. Environmental Science and Technology. 37:4182– 4189.
17. Donaldson, K., C.A. Poland. and R.P. Schins. 2010. Possible genotoxic mechanisms of nanoparticles: Criteria for improved test strategies. Nanotoxicology. 4:414-420.
18. El Asria, S., A. Laghzizila., A. Saoiabia., A. Alaouib., K. El Abassib., R. Mhamdib., and T. Coradinc. 2009. A novel process for the fabrication of nanoporous apatites from Moroccan phosphaterock. Colloids and Surfaces. 350:73-8.
19. El-Salmawi, KM. 2007. Application of polyvinyl alcohol (PVA) carboxylmethyl cellulose (CMC) hydrogel produced by conventional crosslinking or by freezing and tawing. Journal of Macromolecular Science Part A Pure and Applied Chemistry. 44:619-24.
20. Esfahani, A.F., G. Sayyad., A. Kiasat., L. Alidokht., and A. Khataee. 2014. Pb (II) removal from aqueous solution by polyacrylic acid stabilized zerovalent iron nanoparticles: process optimization using response surface methodology. Research on Chemical Intermediates. 40: 431-445.
21. Fan, G., W. Qin., C. Zhou., H. Gomes., and D. Zhou. 2013. Surfactants-enhanced electrokinetic transport of xanthan gum stabilized nanoPd/Fe for the remediation of PCBs contaminated soils. Separation and Purification Technology. 114:64-72.
22. Fraden, J. 1993. AIP Handbook of Modern Sensors: Physics, Design and Applications, American Institute of Physics, New York.
23. Ganji, F., and V.A. Farahani. 2009. Hydrogels in controlled drug delivery systems. Iranian Polymer Journal. 18: 63–88.
24. Gardea-Torresdey, J.L., C.M. Rico., and J.C. White. 2014. Trophic transfer, transformation, and impact of engineered nanomaterials in terrestrial environments. Environmental Science and Technology. 48:2526-2540.
25. Goswami, A., and P.R. Purkait. 2012. Arsenic adsorption using copper (II) oxide nanoparticles. Chemical Engineering Research and Design. 90:1387.
26. Guo, M.Y., M.Z. Liu., F.L. Zhan., and L. Wu. 2005. Preparation and properties of a slow-release membrane-encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation. Industrial and Engineering Chemistry Research. 44 :4206–4211.
27. Hemen, K., P. Vinay., B. Maryam Shojaei., and M. Aslama. 2016. Graphene quantum dot soil moisture sensor. Sensors & Actuators, B: Chemical. 233: 582-590.
28. JACKBen-Moshe, T., I. Dror., and B. Berkowitz. 2010. Transport of metal oxide nanoparticles in saturated porous media. Chemosphere. 81:387–393.
29. Jackson, T., M. Katrina., S. Mohamed., C. Tommy. and R. Peter. 2008. Measuring soil temperature and moisture using wireless MEMS sensors. Journal Measurement. 41: 381–390
30. Jaeger, R. 2002. Introduction to Microelectronic Fabrication, vol. V, Prentice Hall
31. James, E.A., and D. Richards. 1986. The influence of iron source on the water-holding properties of potting media amended with waterabsorbing polymers. Scientia Horticulturae. 28:201-208.

Archive of SID

www.SID.ir

32. Jeonghwan, H., S. Changsun., and Y. Hyun. 2010. Study on an Agricultural Environment Monitoring Server System using Wireless Sensor Networks", School of Information and Communication Engineering, Sunchon National University, Maegok-don.
33. Jiang, W., H. Mashayekhi., and B. Xing. 2009. Bacterial toxicity comparison between nano-and micro-scaled oxide particles. Environmental Pollution. 157:1619–1625.
34. Jinghua, G. 2004. Synchrotron radiation, soft X-ray spectroscopy and nano-materials. Journal of Nanotechnology. 1:193-225.
35. Johnson, M.S., and C.J. Veltkamp. 1985. Structure and functioning of water-storage agriculture polyacrylamides. Journal of the Science of Food and Agriculture. 36:789-793.
36. Johnston, C.T. 2010. Probing the nanoscale architecture of clay minerals. Clay Minerals. 45:245-79.
37. Joo, S.H., and D. Zhao. 2008. Destruction of lindane and atrazine using stabilized iron nanoparticles under aerobic and anaerobic conditions: effects of catalyst and stabilizer. Chemosphere.70:418–425.
38. Joseph, S., E.R. Graber., C. Chia., P. Munroe., S. Donne., T. Thomas., S. Nielsen, C. Marjo., H. Rutlidge., G.X. Pan ., X.R. Fan., P. Taylor., A. Rawal., and J. Hook. 2013. Shifting paradigms on biochar: micro/nano-structures and soluble components are responsible for its plant-growth promoting ability. Carbon Management. 4: 323–343.
39. Kimetu, J.M., J. Lehmann., S.O. Ngoze., D.N. Mugendi., J.M. Kinyangi., S. Riha., L. Verchot., J.W. Recha., and A.N. Pell. 2008. Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. Ecosystems. 11: 726–739.
40. Klaine, S.J., P.J. Alvarez, G.E. Batley, T.F. Fernandes, R.D. Handy, D.Y. Lyon., and J.R. Lead. 2008. Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects. Environmental Toxicology and Chemistry. 27: 1825- 1851.
41. Klaine, S.J., P.J. Alvarez., G.E. Batley., T.F. Fernandes., R.D. Handy., D.L. Lyon., and J.R. Lead., 2008. Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects. Environmental Toxicology and Chemistry. 27: 1825- 1851.
42. Krzisnik, N., A. Skapin., L. Skrlep., J. Scancar., and R. Milacic. 2014. Nanoscale zero-valent iron for the removal of Zn2+, Zn (II)–EDTA and Zn (II)–citrate from aqueous solutions. Science of The Total Environment. 20: 476–477.
43. Kulkarni, A.R., K.S. Soppimath., T.M. Aminabhavi., A.M. Dave., and M.H. Mehta. 2000. Glutaraldehyde crosslinked sodium alginate beads containing liquid pesticide for soil application. Journal of Controlled Release. 63: 97–105.
44. Lal, R. 2007. Soil science and the carbon civilization. Soil Science Society of America Journal. 71:1425-37.
45. Legrand, L., A. El Figuigui., F. Mercier., and A. Chausse. 2004. Reduction of aqueous chromate by Fe (II) / Fe (III) carbonate green rust: kinetic and mechanistic studies. Environmental Science and Technology. 38:4587–4595.
46. Lehmann, J., and S. Joseph. 2012. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Routledge.
47. Li, M., L. Zhu., and D. Lin. 2011. Toxicity of ZnO nanoparticles to escherichia coli: Mechanism and the influence of medium components. Environmental Science and Technology. 45: 1977-1983.
48. Li, Y.C., S. Yu., J. Strong., and H.L. Wang. 2012. Are the biogeochemical cycles of carbon, nitrogen, sulfur, and phosphorus driven by the "Fe III-Fe II redox wheel" in dynamic redox environments. Journal of Soils and Sediments.12: 683–693.
49. Liang, P., Q. Ding., and F. Song. 2006. Application of multiwalled carbon nanotubes as solid phase extraction sorbent for preconcentration of trace copper in water samples. Journal of Separation Science. 28:2339–2343.
50. Liang, P., Y. Liu., L. Guo., J. Zeng., and H. Lu. 2004. Multiwalled carbon nanotubes as solid-phase extraction adsorbent for the preconcentration of trace metal ions and their determination by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 19:1489–1492

Archive of SID

www.SID.ir

51. Liang, R., H. Yuan., G. Xi., and Q. Zhou. 2009. Synthesis of wheat straw-g- poly (acrylic acid) superabsorbent composites and release of urea from it. Carbohydrate Polymers. 77: 181–187.
52. Liu, R., and R. Lal. 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. Science of the Total Environment. 514: 131–139.
53. Liu, X., Z. Feng., S. Zhang., J. Zhang., Q. Xiao., and Y. Wang. 2006. Preparation and testing of cementing nano-subnano composites of slower controlled release of fertilizers. Scientia Agricultura Sinica. 39:1598- 604.
54. Long, R.Q, and R.T. Yang. 2001. Carbon nanotubes as superior sorbent for dioxin removal. Journal of the American Chemical Society. 123:2058–2059.
55. Lu, C., and H. Chiu. 2006. Adsorption of zinc (II) from water with purified carbon nanotubes. Chemical Engineering Science. 61:1138–1145.
56. Luo, X., A.J. Killard., A. Morrin., and M.R. Smyth. 2007. Electrochemical preparation of distinct polyaniline nanostructrues by surface charge control of polystyrene nanoparticle templates. Chemical Communications. 3207–3209.
57. Ma, Q.Y., S.J. Traina., T.J. Logan., and J.A. Ryan. 1994. Effects of aqueous Al, Cd, Cu, Fe (II), Ni, and Zn on Pb immobilization by hydroxyapatite. Environmental Science and Technology. 28: 1219–1228.
58. Manikandan, A., and K.S. Subramanian. 2013. "Fabrication and characterisation of nanoporous zeolite based N fertilizer", Department of Nano Science and Technology, Tamil Nadu Agricultural University Coimbatore, 18 December.
59. Mao, HE., S.H. Hui., Z.H. Xinyue., Y.U. Ya., and Q.U. Bo. 2013. Immobilization of Pb and Cd in contaminated soil using nanocrystallite Hydroxyapatite. Procedia Environmental Sciences. 18:657 – 665.
60. Martinson, C.A., and K.J. Reddy. 2009. Adsorption of arsenic (III) and arsenic (V) by cupric oxide nanoparticles. Journal of Colloid and Interface Science. 336:406-11.
61. Marzieh, T., and M. 2015. Effect of nanoparticles on kinetics release and fractionation of phosphorus. Journal of hazardous materials. 283:359-370.
62. Maurice, P.A., and M.F. Hochella. 2008. Nanoscale particles and processes: a new dimension in soil science. Advances in Agronomy. 100:123-38.
63. Midander, K., P. Cronholm, H.I. Karlsson, K. Elihn, L. Moller, C. Leygraf., and I.O. Wallinder. 2009. Surface characteristics, copper release, and toxicity of nano- and micrometersized copper and copper (II) oxide particles: a cross-disciplinary study. Small. 5:389–39.
64. Mignard, S., A. Corami., and V. Ferrini. 2012. Evaluation of the effectiveness of phosphate treatment for the remediation of mine waste soils contaminated with Cd, Cu, Pb, and Zn. Journal Chemosphere. 86: 354-360.
65. Naderi1, M.R., and A. Danesh-Shahraki. 2013. "Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture", International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 19:2229-2232.
66. Nair, R., S.H. Varghese, B.G. Nair, T. Maekawa, Y. Yoshida., and D.S. Kumar. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Sci. 179, 154–163.
67. Olesen, K.P. 2010. Turning sandy soil to farmland: 66% water saved in sandy soil treated with NanoClay. Vassoy: Desert Control Institute Inc., pp. 10. Available from: http://www.desertcontrol.com
68. Olyaie, E., A. Afkhami., A. Rahmani., and J. Khodaveisil 2012. Development of a cost-effective technique to remove the arsenic contamination from aqueous solutions by calcium peroxide nanoparticles. Separation and Purification Technology. 95:10-15.
69. Palaparthy, V.S., M. Shojaei-Baghini., and D.N. Singh. 2013. Review of polymer-basedsensors for agriculture-related applications. Emerging Materials Research. 2:166–180.
70. Panneerselvam, P., and N.M. Lim. 2013. Separation of Ni (II) Ions From Aqueous Solution onto Maghemite Nanoparticle (γ-Fe3O4) Enriched with Clay. Separation Science and Technology. 48:2670-2680.

Archive of SID

www.SID.ir

71. Parvathy, P.C., and A.N. Jyothi. 2014. Rheological and thermal properties of saponified cassava starch-g-poly (acrylamide) superabsorbent polymers varying in grafting parameters and absorbency. Journal of Applied Polymer Science. 131:40368–40379.
72. Patil, S.J., A. Adhikari., M. Shojaei-Baghini., and V. Ramgopal. 2014. An ultra-sensitive piezoresistive polymer nano-composite microcantilever platform forhumidity and soil moisture detection. Sensors and Actuators B. 203: 165–173.
73. Peralta-videa., J.R. Zhao, L. Lopez-moreno, M.L. Delarosa, G. Hong., and J.L. Gardea-torresdey. 2011. Nanomaterials and the environment: A review for the biennium. Journal of Hazardous Materials. 186:1-15.
74. Phenrat, T., N. Saleh., K. Sirk K., R.D. Tilton., and G.V. Lowry. 2007. Aggregation and sedimentation of aqueous nanoscale zerovalent iron dispersions. Environmental Science and Technology. 41:284–290
75. Ramesh, V., V. Suresh., N. Mamatha., and D. SrinivasaRao. 2015. Biodegradable Nano-Hydrogels in Agricultural Farming Alternative Source For Water Resources. Procedia Materials Science. 10: 548 – 554.
76. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Handbook 60.
77. Rizzoni, G. 2000. Principles and Applications of Electrical Engineering, 3th ed., McGraw-Hill, USA.
78. Saha, S.P. 2012. Arsenic remediation from drinking water by synthesized nano-alumina dispersed in chitosan-grafted polyacrylamide. Journal of Hazardous Materials. 68:227–228.
79. Santiago, F., A.E. Mucientes., M. Osorio., and C. Rivera. 2007. Preparation of composites and nanocomposites based on bentonite and poly (sodium acrylate). Effect of amount of bentonite on the swelling behavior. European Polymer Journal. 43: 1–9.
80. Shahwan, T., A. Eroglu., and I. Lieberwirth. 2010. Synthesis and characterization of bentonite/iron nanoparticles and their application as adsorbent of cobalt ions. Applied Clay Science. 47:257.
81. Shipley, H.J, S. Yean., A.T. Kan., and M.B. Tomson. 2009. Effect of solid concentration, pH, IS, and Temperature on arsenic adsorption. Environmental Toxicology and Chemistry. 28:509–515.
82. Singh, I.B., and D.R. Singh. 2003. Effects of pH on Cr–Fe interaction during Cr (VI) removal by metallic iron. Environmental Technology. 24: 1041–1047.
83. Smedley, P.L., and D.G. Kinniburgh. 2002. A review of the source, behavior, and distribution of arsenic in natural waters. Appl Geochem. 17:517–568.
84. Sneath, H.E., T.R. Hutchings., and De F. A. Leij. 2013. Assessment of biochar and iron filing amendments for the remediation of a metal, arsenic and phenanthrene co-contaminated spoil. Environmental Pollution. 178:361-366.
85. Su, H., Z.Q. Fang., P. Eric Tsang., J. Fang., and D. Zhao. 2016. Stabilisation of nanoscale zero-valent iron with biochar for enhanced transport and in-situ remediation of hexavalent chromium in soil. Environmental Pollution. 214: 94-100.
86. Subramanian, K.S., A. Manikandan., M. Thirunavukkarasu., C. Sharmila Rahale. 2015. Nano-fertilizers for Balanced Crop Nutrition. Nanotechnologies in Food and Agriculture. Springer International Publishing Switzerland.
87. Suiqiong, Li., S. Aleksandr., and A. Bryan. 2010. "Sensors for Agriculture and the Food Industry". the Electrochemical Society Interface.
88. Suresh, A.K., D.A. Pelletier., and M.J. Doktycz. 2013. Relating nanomaterial properties and microbial toxicity. Nanoscale. 5: 463-474.
89. Taghipour, M., and M. Jalali. 2015. Effect of nanoparticles on kinetics release and fractionation of phosphorus. Journal of hazardous materials. 283: 359-370.
90. Tal Ben-Moshe., F. Sammy, D. Ishai, M. Dror., and B. Brian. 2013. Effects of metal oxide nanoparticles on soil properties. Journal Chemosphere. 90:640-646.
91. Tan, X.F., Y.G. Liu., G. Zeng., X. Wang., X. Hu., Y. Gu., and Z. Yang. 2015. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. Chemosphere. 125:70–85.

Archive of SID

www.SID.ir

92. Thill, A., O. Zeyons, O. Spalla, F. Chauvat, J. Rose, M. Auffan., and A.M. Flank. 2006. Cytotoxicity of CeO2 nanoparticles for escherichia coli. physicochemical insight of the cytotoxicity mechanism. Environmental Science and Technology. 40: 6151-6156.
93. Vance, D. 2005. Nanotechnology for Hazardous Waste Site Remediation, Technical Workshop Washington DC October 20-21.
94. Wang, Q., and H. Choi. 2012. Removal of trichloroethylene DNAPL trapped in porous media using nanoscale zerovalent iron and bimetallic nanoparticles: Direct observation and quantification. Journal of hazardous materials. 299: 213–214.
95. Wang, X., C. Chen., W. Hu., A. Ding., D. Xu., and X. Zhou. 2005. Sorption of 243 Am (III) to multiwall carbon nanotubes. Environmental Science and Technology. 39:2856–2860.
96. Wang, X., S. Lu., C. Gao., X. Xu., Y. Wei., and X. Bai. 2014. Biomass-based multifunctional fertilizer system featuring controlled-release nutrient, water retention and amelioration of soil, RSC Advances 4. 35:18382–18390.
97. Wang, Y., Y. Wang., L. Wang., and L. Cang. 2012. Automatic pH control system enhances the dechlorination of 2,4,4′-trichlorobiphenyl and extracted PCBs from contaminated soil by nanoscale Fe0 and Pd/Fe0. Environmental Science and Pollution Research. 19: 448-457.
98. Wang, Z., X. Xie., J. Zhao., X. Liu., W. Feng., J.C. White., and B. Xing. 2012. Xylem- and phloem-based transport of CuO nanoparticles in maize (Zea mays L.). Environmental Science & Technology. 46:4434-41.
99. Waterlot, C., C. Pruvot., H. Ciesielski., and F. Douay. 2011. Effects of a phosphorus amendment and the pH of water used for watering on the mobility and phytoavailability of Cd, Pb and Zn in highly contaminated kitchen garden soils. Ecological Engineering. 37:1081–1093.
100. Yan, J.C., L. Han., W.G. Gao., S. Xue., and M.F. Chen. 2015. Biochar supported nanoscale zerovalent composite used as persulfate activator for removing trichloroethylene. Bioresource Technology. 175:269-274.
101. Yan, L., L. Kong., Z. Qu., L. Li., and G. Shen. 2014. Magnetic biochar decorated with ZnS nanocrystals for Pb (II) removal. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 3:125–132.
102. Yang, K., L. Zhu., and B. Xing. 2006. Adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by carbon nanomaterials. Environmental Science & Technology. 40:1855-61.
103. Yang, Z.M., and Z.Q. Fang. 2014. The research progress of repairing the soil polluted by Cd and Pb with biochar. Environmental Protection Chemical industrial. 34:525-531.
104. Yavuz, C.T., J.T. Mayo., W.W. Yu., A.Prakash., J. Falkner., S. Yean., L. Cong., H.J. Shipley., A.T. Kan., M.B. Tomson., D. Natelson., and V.L. Colvin. 2006. Low-field magnetic separation of monodisperse Fe3O4 nanocrystals. Science. 314:964–967.
105. Zhang, F., R. Wang., Q. Xiao., Y. Wang., and J. Zhang. 2006. Effects of slow/controlled- release fertilizer cemented and coated by nano-materials on biology. II. Effects of slow/controlled-release fertilizer cemented and coated by nano-materials on plants. Nanoscience. 11:18-26.
106. Zhang, Z.Z., MY. Li., W. Chen., S.Z. Zhu., N.N. Liu., and L.Y. Zhu. 2010. Immobilization of lead and cadmium from aqueous solution and contaminated sediment using nano-hydroxyapatite. Environmental Pollution. 158: 514-519.
107. Zhou, Y., C. Branford-White., Z. He., and L. Zhu. 2009. Removal of Cu2+ from aqueous solution by chitosan-coated magnetic nanoparticles modified with α-ketoglutaric acid. Journal of Colloid and Interface Science. 330: 29-37.

Archive of SID

www.SID.ir

Applications of Nanomaterials in Soil Remediation

M. Mahdizadeh [1] and N. Najafi

Ph.D Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
m_mahdizadeh20@yahoo.com
Associate professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
n-najafi@tabrizu.ac.ir

Received: June 2017, and Accepted: July 2018

Abstract

Soil forms the main source of agricultural production; hence, preserving its health and fertility plays an important role in sustainable food production. This warrants maintaining adequate soil nutrients and moisture and minimizing its pollutant load. Nanotechnology might be exploited to achieve these goals toward improved soil properties. Applications of nanotechnology in soil science might include the uses of such materials as nanomodifiers to improve the efficiency of agronomic operations and soil aeration, porous nanozeolites for the slow and effective release of nutrients present in chemical fertilizers, nanohydrogels to increase soil water retention capacity and reduce irrigation water, and nanoparticles to remove contaminants from the soil. However, excessive use of nanomaterials might have toxic effects on soil microorganisms. It follows that sound and proper utilization of nanotechnology as an emerging technology might lead to such beneficial outcomes as food security and development of environment-friendly and sustainable agriculture in developing countries.

Keywords: Soil, Nanotechnology Nanobiochar, Nanosensor, Nanoclay.

Archive of SID

1-Corresponding author: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

www.SID.ir