استفاده از فناوری نانو در بهینه‌سازی مصرف علف‌کش‌ها

محبوبه ناصری*[1]- عباس عباسیان[2]
به ترتیب ۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی دانشگاه تربت حیدریه و ۲- دکتری زراعت و رئیس مرکز جهاد کشاورزی کدکن شهرستان تربت حیدریه
M.naseri@torbath.ac.ir

چکیده
شناخت تکنیک‌های افزایش کارایی و کاهش مصرف علف‌کش در جهت کاهش اثرات سوء زیست محیطی و بهینه سازی فعالیت‌های کشاورزی گامی موثر در جهت مدیریت پایدار علف‌های هرز می‌باشد. از جمله این تکنیک‌ها می‌توان به فناوری نانو[1] اشاره کرد. ریزپوشانی کردن یک ماده شیمیایی (مانند علف‌کش) بدین مفهوم است که ماده مورد نظر با ماده دیگری پیوند شیمیایی برقرار می‌کند یا بطور فیزیکی در داخل یک ماده دیگر نظیر یک پلیمر قرار می‌گیرد و این ترکیبات خاص محتوی علف‌کش در طول زمان از طریق آبگیری، هیدرولیز، فرسایش، تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها، انتشار، اسمز، جدا شدن مکانیکی یا طرق مناسب دیگر رهاسازی می‌شوند. از ریزپوشانی کردن در فرمولاسیون‌های آزادسازی کنترل شده[2] برای کودها، آفت‌کش‌ها من جمله علف‌کش‌ها و داروها استفاده می‌شود. مزایای نانوریزپوشانی کردن علف‌کش‌ها شامل رهاسازی کنترل شده ماده موثر، کاهش مقدار مصرف علف‌کش و افزایش کارایی علف‌کش به خصوص علف‌کش‌های ناپایدار،کاهش ایجاد مقاومت، کاهش اثرات گیاه سوزی و تصعید علف‌کش‌ها و کاهش آلودگی‌های ناشی از بادبردگی و آبشویی و افزایش کنترل علف‌های‌هرز می‌باشد. فناوری نانو در سمیت‌زدایی محیطی ناشی از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها به صورت استفاده از نانوریزپوشانی در فرمولاسیون‌های رهاسازی کنترل شده علف‌کش‌ها، حفاظت علف‌کش‌ها در مقابل تجزیه نوری، رسانش هدفمند علف‌کش‌ها، تاثیر بر تولید علف‌کش‌های کم مصرف، تاثیر بر تنوع تولید علف‌کش‌ها کاربرد دارند.

کلمات کلیدی: علف‌های‌هرز ، نانوریزپوشانی، نانوفناوری

مقدمه

علف‌های‌هرز معمولاً گیاهان ناخواسته‌ای هستند که وارد بوم نظام‌های زراعی می‌شوند و با کسب منابع محدود با گیاه زراعی رقابت می‌کنند. این گیاهان عملکرد محصول زراعی را کاهش می‌دهند و لذا بخش عمده ای از نیروی کار وفن‌آوری صرف جلوگیری از کاهش عملکرد ناشی از حضور آنها در مزرعه می‌شود. در کشورهای در حال توسعه، ۲۵ تا ۱۲۰ روز از وقت کشاورزان صرف وجین دستی علف‌های هرز موجود در هر هکتار زمین زراعی می‌شود. این در حالی است که در همین شرایط حدود ۲۵ درصد از عملکرد گیاه زراعی در رقابت با علف‌های هرز از دست می‌رود (لیبمن و همکاران، ۲۰۰۱). در بین روشهای کنترل علف‌های‌هرز، استفاده از علف‌کش ها معمول‌ترین و مهم‌ترین روش مبارزه با این علف هرز است. کنترل شیمیایی علف‌های‌هرز بوسیله علف‌کش‌ها بعنوان رایج‌ترین روش در نظام‌های کشاورزی رایج همانند سایر فعایت های انسان بر محیط زیست، آلودگی آبها، تنوع زیستی، سلامت انسان و دیگر موجودات زنده و ناپایداری بوم نظام‌های زراعی اثرات بسیار عمیقی گذاشته بطوریکه نه تنها متخصصین علوم مختلف بلکه بسیاری از تولید کنندگان و همچنین

[1] - Nanotechnology
[2] - Controlled release formulations

دولت‌مردان به ضرورت در نظر گرفتن اصول پایداری در مدیریت علف‌های‌هرز پی‌برده اند (قربانی و همکاران، ۱۳۸۸). از اینرو شناخت تکنیک‌های افزایش کارایی و کاهش مصرف علف‌کش در جهت کاهش اثرات سوء زیست محیطی و بهینه سازی فعالیت‌های کشاورزی گامی موثر در جهت مدیریت پایدار علف‌های‌هرز می‌باشد. از جمله این تکنیک‌ها می توان به فناوری نانو[1] اشاره کرد. فناوری نانو از جمله فناوری‌های نوینی است که امیدهای زیادی را برای توسعه بخش کشاورزی و مدیریت علف‌های‌هرز بوجود آورده است (گریور ، ۲۰۱۲).

نوریو تا ینگوچی، استاد دانشگاه علوم توکیو، در سال ۱۹۷۴برای اولین بار اصطلاح" فناوری نانو " را معرفی کرد. اریک دکسلر در بحث برانگیزترین کتاب خود به نام" موتورهای خلقت : ظهور عصر فناوری نانو" این اصطلاح را عمومیت بخشید. در این کتاب آینده تحقیق و توسعه فناوری نانو به تصویر کشیده شده و تمرکز اصلی آن روی یکی از جنبه‌های فناوری نانو به نام آرایش مولکولی است. اغلب گفته می‌شود فناوری نانو، فناوری اشیاء کوچک است، اشیاء خیلی کوچک و در واقع استفاده و تولید ماده در مقیاس ریز مولکولی است که در این ابعاد اتم‌ها و مولکول‌ها به شکلی متفاوت از ابعاد بزرگتر عمل می‌کنند و گستره ای ازکاربردهای جالب و شگفت‌انگیز را فراهم می‌کنند. می‌توان اصطلاح"فناوری مولکولی" را برای فناوری نانو استفاده کرد، چرا که ابعاد نانو ابعاد کارایی مولکول‌ها است (سایت رسمی ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، ۱۳۹۱). بنابراین می‌توان بیان کرد که نانوفناوری، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطح مولکولی و اتمی با استفاده از خواصی است که در آن سطوح ظاهر می‌شود. نانوفناوری 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 (گریور، ۲۰۱۲).

نانوفناوری می‌تواند به طور مستقیم و یا غیر مستقیم رشته‌های مختلف و از جمله مدیریت علف‌های‌هرز را تحت تاثیر قرار دهد. از جمله کاربردهای این فناوری در مدیریت علف‌های‌هرز می توان به سنتز نانوعلف‌کش‌ها، نانوریزپوشانی با رهاسازی کنترل شده علف‌کش‌ها، حفاظت علف‌کش‌ها در مقابل تجزیه نوری، بسته بندی علف‌کش‌ها و پاکسازی علف‌کش‌ها در محیط زیست اشاره داشت (گریور،۲۰۱۲؛ ماکودا و همکاران، ۲۰۰۹؛ پرادیپ و همکاران، ۲۰۰۹؛ رویی و همکاران، ۲۰۱۰؛ سنتیلایانتان و فیلیپ، ۲۰۱۰؛ موکتزوما و همکاران، ۲۰۰۷) . ولی باید توجه داشت که در اکثر این کاربردها از نانوذرات فلزی استفاده می‌شود که در محیط زیست تجزیه‌پذیر نمی‌باشند و خود دارای خواص سمی می‌باشد. از این رو به تازگی اقبال عمومی به سنتز نانو ذراتی که دارای خواص سمی کم و تجزیه‌پذیری بالایی در محیط در عین اینکه از کارایی بالایی برخوردار باشند بسیار مورد توجه است (یونرین و همکاران، ۲۰۰۸؛ کلو و آلدریچ، ۲۰۰۹).

کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی

برای نانوفناوری کاربردهایی در حوزه‌های تشخیص پزشکی، غذا، دارو، بیوتکنولوژی، محیط زیست، انرژی، شیمی، فیزیک، کشاورزی و غیرو بر شمرده‌اند که این فناوری را به عنوان یک زمینه ی فرارشته‌ای و فرابخشی مطرح می‌کند. در سالهای اخیر علاقه به استفاده از فناوری نانو در کشاورزی رو به افزایش است (گریور، ۲۰۱۲) و انتظار بر این است که ماهیت فرارشته‌ای علوم و تکنولوژی نانو به عنوان توانمندی تولید مواد و ابزارها و سیستم‌های جدید با دقت اتم ومولکول، دیر یا زود تأثیر خود را در بخش کشاورزی بگذارد.

نانوفناوری در بخش‌های مختلف کشاورزی مانند نانوحسگرهای زیستی، بسته بندی، نانوآفت‌کش‌ها، نانوعلف‌کش‌ها، تصفیه آب، نانوریزپوشانی برای فرمولاسیون‌های غذایی و آفت‌کش‌ها، آنتی باکتریال، نانوامولسیون، پوشش‌های ضد اشعه ماورای

[1] - Nanotechnology

بنفش، سیستم‌های انتقال غذا، مکمل‌ها در جهت سلامتی و غیرو در حال تحقیق می‌باشد (گریور، ۲۰۱۲). نانوفناوری می‌تواند به طور مستقیم و یا غیر مستقیم رشته‌های مختلف و از جمله مدیریت علف‌های‌هرز را تحت تاثیر قرار دهد.

کاربردهای فناوری نانو در کنترل شیمیایی علف‌های‌هرز

۱- سیستم‌های نانو برای سمیت‌زدایی محیطی ناشی از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها

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 (پرادیپ و آنشوب، ۲۰۰۹).

۲- استفاده از نانوریزپوشانی[1] در فرمولاسیون‌های رهاسازی کنترل شده[2] علف‌کش‌ها

ریزپوشانی کردن یک ماده شیمیایی (مانند علف‌کش) بدین مفهوم است که ماده مورد نظر با ماده دیگری پیوند شیمیایی برقرار می‌کند یا بطور فیزیکی در داخل یک ماده دیگر نظیر یک پلیمر قرار می‌گیرد و این ترکیبات خاص محتوی علف کش در طول زمان از طریق آبگیری، هیدرولیز، فرسایش، تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها، انتشار، اسمز، جدا شدن مکانیکی یا طرق مناسب دیگر رهاسازی می‌شوند. از ریزپوشانی کردن در فرمولاسیون‌های آزادسازی کنترل شده برای کودها، آفت کش ها من جمله علف‌کش‌ها و داروها استفاده می‌شود. طبق گزارش محققان استفاده از این تکنیک می‌تواند راهکاری مناسب برای رفع مشکل کارایی پایین و آلودگی ناشی از مصرف فرمولاسیون‌های رایج علف‌کش‌ها در کشاورزی باشد (کسپدز و همکاران، ۲۰۰۷). هدف از رهاسازی کنترل شده علف‌کش‌ها آزاد کردن یک ماده سمی به سمت جایگاه هدف در یک غلظت موثر ثابت در طول یک دوره زمانی خاص می‌باشد. در فرمولاسیون‌های رهاسازی کنترل شده همانطور که بیان شد علف‌کش با ماده دیگری پیوند شیمیایی برقرار می‌کند یا بطور فیزیکی در داخل یک ماده دیگر نظیر یک پلیمر قرار می گیرد و این ترکیبات خاص محتوی علف کش در طول زمان از طریق آبگیری، هیدرولیز، فرسایش، تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها، انتشار، اسمز، جدا شدن مکانیکی یا طرق مناسب دیگر رهاسازی می‌شوند. غلظت علف‌کش رهاسازی ابتدا به طریق هدررفت کاهش پیدا و سپس به یک حد تعادل می‌رسد که این حد بیانگر غلظت پایدار و موثر علف‌کش است (شکل۴-۱). از مزایای فرمولاسیون‌های رهاسازی کنترل شده می توان به موارد ذیل اشاره نمود (ماکیوندا و همکاران، ۲۰۰۹؛ مالوچیک و همکاران، ۲۰۰۷؛ زند و همکاران، ۱۳۸۷).

۱- رهاسازی کنترل شده ماده موثر

۲- کاهش مقدار مصرف علف کش و افزایش کارایی علف کش به خصوص علف کش های ناپایدار

۴- کاهش ایجاد مقاومت، چون سم بیشتر از دز کشنده و توصیه شده در محیط رها نمی شود.

۵- کاهش اثرات گیاه‌سوزی و تصعید علف کش‌ها

۶- کاهش آلودگی‌های ناشی از بادبردگی و آبشویی

۷- افزایش کنترل علف‌های‌هرز

انواع ریزپوشانی‌ها بر حسب اندازه عبارتند از:

۲-۱- ماکروریزپوشانی: بر اساس سیستم ماتریکسی است. یعنی علف‌کش به طور فیزیکی در درون لایه‌ای از مواد قرار می گیرد، مانند ریزپوشانی کردن با نشاسته که پلی ساکاریدی زنجیره‌ای و درشت مولکول است. در همین ارتباط پیرمن و کوان (۱۹۹۵) از ماتریکس کلسیم آلجینیت[3] برای فرموله کردن علف‌کش آلاکلر استفاده کردند. این محققان گزارش کردند

[1] - Nanoencapsulation
[2] -Controlled release formulations
[3] -Calcium Alginate

که تمام مقدار علف‌کش فرمولاسیون معمولی در طی ۶۲ روز رها شد در حالی که انواع مختلف فرمولاسون‌های کلسیم آلجینیت بطور تدریجی در طی ۱۲۵ روز رها شدند.

ماکیودا و همکاران (۲۰۰۹) از ژلی به نام سپیپولیت[1] که از مواد کف دریا تهیه می شود برای فرموله کردن علف‌کش متری بیوزین استفاده کردند. لازم به ذکر است که سیپیولیت حاوی عناصری مانند سیلیسیم و منیزیوم و غیرو می‌باشد.

۲-۲- میکروریزپوشانی: بر اساس سیستم پلیمراسیون است؛ یعنی بین مولکول‌های مواد فعال و دیگر مواد، لایه ای پلیمری بر اساس باندهای کووالانسی ایجاد می‌شود و اندازه ذرات آن کوچک است.

۲-۳- نانوریزپوشانی‌ها: که ذرات کپسول شده دارای اندازه نانومتری هستند. در همین ارتباط بن‌حسین و همکاران (۲۰۰۵) از نانوکمپوزیت‌ها[2] برای فرموله کردن علف‌کش 2.4.D استفاده کردند.

با توجه به تحقیقات اخیر به نظر می رسد که استفاده از تکنیک نانوریزپوشانیه کردن علف کش ها (مانند فرمولاسیون های رهاسازی کنترل شده) در مدیریت پایدار علف‌های‌هرز می تواند نقش مهمی در کارایی علف کش‌ها و کاهش آلودگی های ناشی از آن داشته باشد.

۳- حفاظت علف‌کش‌ها در مقابل تجزیه نوری

بعضی از نانواکسیدها به دلیل خاصیت ضد رادیکال‌های آزاد (مانند اکسید تیتانیوم) در حفاظت علف‌کش‌ها در مقابل تجزیه نوری مطرح می‌باشند.

۴- رسانش هدفمند علف‌کش‌ها

با استفاده از نانوفناوری می‌توان نانو علف‌کش‌ها را به اندامک خاص از گیاه هدایت کرد. استفاده از نانولیپوزوم‌ها احتمالاً می تواند در رسانش هدفمند علف‌کش‌ها نقش موثر داشته باشد.

۵- تاثیر نانوفناوری بر مدیریت دقیق علف‌های‌هرز

آنچه مسلم است در مدیریت دقیق علف‌های‌هرز فن‌آوری‌هایی مانند عکس برداری هوایی، سنجش از دور، آنالیز داده‌های علف‌هرز با استفاده از آمار فضایی و نرم افزارهای GIS برای ایجاد نقشه‌های کران نمای لکه های علف‌هرز، تهیه نقشه‌های فرمان که در واقع نقشه باز و بسته شدن نازل است، نانوحسگرها و سمپاش‌های هوشمند کاربرد فراوانی دارند. از آنجا که نانوفناوری قطعاً به طریقی توانایی تحت تاثیر قرار دادن این فن‌اوری‌ها را دارد، بنابراین به نظر می‌رسد که نانوفناوری در آینده کمک‌های زیادی به مدیریت دقیق علف‌های‌هرز نموده و به عنوان یکی از فن‌اوریهای لازم برای این رشته درآید (زند، ۱۳۸۲).

۶- تاثیر نانوتکنولوژی بر تولید علف‌کش‌های کم مصرف

بنابراین به نظر می‌رسد که در آینده حرکت به سمت تولید علف‌کش‌هایی کم مصرف و کم خطر است. آنچه مسلم است چنانچه بخواهیم به علف‌کش‌هایی با مقدار مصرفی کمتر از علف‌کش‌های موجود دسترسی پیدا کنیم، باید به دنبال علف‌کش‌های بسیار تخصصی تر بود. چنین حرکتی نیاز به تکنولوژیی بسیار دقیق دارد که به نظر می‌رسد نانوفناوری بتواند در این زمینه از طریق ساخت بسته‌های علف‌کش بسیار ریز و هدایت آنها به سمت اندامک‌های خاصی از گیاه کمک شایان توجهی به افزایش کارآیی مصرف علف‌کش‌ها نماید (زند، ۱۳۸۲).

۷- تاثیر نانوفناوری بر تنوع تولید علف‌کش‌ها

علم شیمی که مبنای تولید علف‌کش‌ها است، شامل مراحلی است که در طول روزها و ماهها انجام می‌گیرد و شامل تجزیه و تقطیر و... ترکیبات است که بوسیله یک شیمی‌دان معمولی و تجربی انجام می‌شود. شیمی‌دانان ترکیبات موجود را

[1] - sepiolite-gel-based
[2] -Zn–Al–24D nanocomposite

گرفته و به آن گروه‌های دیگری اضافه می‌کنند و به بررسی ویژگی‌های آن می‌پردازند. این ترکیبات با روش‌های متفاوت ماده جدیدی را بوجود می‌آورند که زمان بسیاری برای انجام این کار لازم است.

در حال حاضر برای رسیدن به نتایج مطلوب و بهینه‌سازی زمان، بحث شیمی تکاملی تجربی مطرح می‌شود که عبارت است از توانایی کنترل مکانی شیمی بوسیله نانوعملگرها و بازوهای مکانیکی کوچک و ساختن ترکیبات جدید و واکنش آنها با سرعت ملیون‌ها عمل در ثانیه. نانوفناوری از جمله اصولی می‌باشد که در شیمی تکاملی مطرح بوده و می تواند باعث انجام میلیون‌ها آزمایش همزمان در مدت کوتاهی باشد. برای توضیح بیشتر، اگر روباتی را در نظر بگیریم که با سرعت یک متر در ثانیه حرکت می‌کند، برای انتقال ۱۰ نانومتری یک ترکیب به منظور واکنش دادن با ترکیب دیگر، فقط ۱۰ نانوثانیه زمان لازم است. ازاینرو برای انجام یک واکنش شیمیایی با سرعت یک متر در ثانیه، فقط ۱۰نانوثانیه زمان لازم است و به این طریق هزاران آزمایش مختلف در یک لحظه انجام پذیر. آنچه مسلم است افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی بر سرعت تولید علف‌کش‌ها تاثیر گذاشته و در آینده ترکیبات علف‌کشی بسیار متنوع تر تخصصی تر از امروز خواهند شد و به نظر می رسد علف‌کش‌هایی که در آینده به بازار عرضه می شوند، بسیار تخصصی‌تر، کم مصرف تر، کم خطرتر و متفاوت از علف‌کش‌های امروزی خواهند بود (زند، ۱۳۸۲).

نتیجه‌گیری

فناوری نانو در تمامی زمینه های علوم کشاورزی تاثیر به سزایی داشته است. در همین ارتباط علم نانو قادر است در زمینه مدیریت پایدار علف‌های‌هرز از طریق روش های متعددی مانند رهاسازی کنترل شده ماده موثر، کاهش مقدار مصرف علف-کش و افزایش کارایی علف‌کش به خصوص علف‌کش‌های ناپایدار،کاهش ایجاد مقاومت، کاهش اثرات گیاه سوزی و تصعید علف‌کش‌ها و کاهش آلودگی‌های ناشی از بادبردگی و آبشویی بر کنترل علف‌های‌هرز موثر باشد. همچنین فناوری نانو در سمیت‌زدایی محیطی ناشی از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها، حفاظت علف‌کش‌ها در مقابل تجزیه نوری، رسانش هدفمند علف‌کش‌ها، تاثیر بر تولید علف‌کش‌های کم مصرف و متنوع کاربرد دارد.

منابع

زند، ا. ۱۳۸۲. نانوتکنولوژی و شواهدی از کاربرد های آن در علم علف‌های‌هرز. خبرنامه علف‌های‌هرز، نشریه داخلی بخش تحقیقات علف‌های‌هرز مؤسسه تحقیقات آفات و بیماریهای گیاهی، با همکاری انجمن علوم علف‌های‌هرز ایران، شماره ۸ صفحه۱-۳.

قربانی، ر.، راشد محصل، م. ح.، حسینی، س. ا.، موسوی، س. ک.، و حاج محمد نیا قالی باف، ک.. مدیریت پایدار علف‌های‌هرز. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

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

Gruere, G. 2012. Implications of nanotechnology growth in food and agriculture in OECD countries. Food Policy, 37: 191-198.

Libeman, M., Mohler, C. and Staver, C. 2001. Ecological management of agricultural weeds . 1nd ed. Cambridge university press

Maqueda, C., Partal, P., Villaverde, J., Perez-Rodriguez, J. L. 2009. Characterization of sepiolite-gel-based formulations for controlled release of pesticides. Applied Clay Science. 46: 289–295.

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.

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

Pepperman, A. B., Kuan, J. W. 1995. Controlled release formulations of alachlor based on calcium alginate. Journal of controlled Release. 34: 17-23.

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.

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.

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.

Unrine, J., Bertsch, P. and Hunyadi, S. 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