

مروری بر کاربردها و فرصت‌های نانوفناوری در حوزه کود کشاورزی

علی اصغر سلیمی، نگار معتکف کاظمی*

گروه نانوشیمی، دانشکده شیمی دارویی، واحد علوم دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (IAUPS)

چکیده

نانوتکنولوژی کاربرد گسترده‌ای در تمام مراحل تولید، پردازش، ذخیره‌سازی، بسته‌بندی و حمل و نقل محصولات کشاورزی دارد. این فناوری با کمک ابزار جدید می‌تواند صنایع غذایی و کشاورزی را تغییر دهد، و می‌تواند برای شناسایی رفتار مولکولی بیماری، تشخیص سریع بیماری و افزایش توانایی گیاهان برای جذب مواد غذایی استفاده شود. سیستم‌ها برای مبارزه با ویروس‌ها و عوامل بیماری‌زا محصولات می‌تواند در صنعت کشاورزی استفاده شوند. در آینده نزدیک دستگاه‌های نانومقیاس برای سلامت گیاه، تشخیص زود هنگام و تحویل مواد شیمیایی به بافت هدف برای کشاورزی هوشمند استفاده خواهند شد. در این مقاله مروری، کاربردهای نانوفناوری و فرصت استفاده از کودهای کشاورزی مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: نانوفناوری، نانومواد، کشاورزی، کود.

ایمیل نویسنده مسئول: motakef@iaups.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از فناوری‌های نوظهور در قرن حاضر نانوفناوری است. این فناوری توانمندی تولید مواد، ابزار و سیستم‌های جدید در سطح مولکول و اتم با خواص متفاوت را دارد. نانوفناوری رویکرد جدیدی است که تمامی جنبه‌های علم و فناوری را در برمی‌گیرد. این فناوری به‌عنوان انقلابی در شرف وقوع، آینده اقتصادی کشورها و جایگاه آن‌ها را در جهان تحت تأثیر جدی قرار می‌دهد و در نتیجه باعث تحول و اثرات معجزه آسا می‌شود. از این رو این حوزه به‌عنوان یکی از مهمترین اولویت‌های تحقیقات در دهه اول قرن بیست و یکم و به‌عنوان یک چالش اصلی علمی و صنعتی پیش روی جهانیان محسوب می‌شود [۱-۲].

نانوفناوری به‌عنوان یک مقوله بلند مدت، می‌تواند نیمه اول قرن بیست و یکم را به طور مداوم تحت تأثیر خود قرار دهد. دانشمندان و صاحب‌نظران دورنمای نسبتاً شفافی از مسائل و دستاوردهای کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت آن ارائه نموده‌اند که همین دورنمای شفاف به ما کمک می‌کند که برنامه‌ریزی مناسبی جهت

جدید و طراحی روش‌های نوین برای تولید و نگهداری غذای سالم و حفاظت زیست محیطی، از دیگر تغییرات ایجاد شده به وسیله نانوفناوری در کشاورزی خواهد بود. از این رو پیشرفت‌های اخیر در زمینه علم مواد و شیمی امکان تولید نانوذرات برای کاربرد گسترده در حوزه‌های مختلف کشاورزی فراهم می‌کند [۳-۶]. از گذشته تحقیقات در گیاهان این فرصت را به محققان داده است تا این حوزه با پیشرفت‌های چشم‌گیر و توسعه ابزارهای متعدد به سرعت گسترش یابد. زراعت، اصلاح نباتات، تصفیه آب و ابزارهای آبیاری و تولید سم‌ها و کودهای موثر و کم‌خطر از جمله این حوزه‌ها هستند [۷]. هدف این مقاله بررسی فرصت‌ها و کاربردهای نانوفناوری در بخش کشاورزی است تا راهکارهایی برای مشکلات بنیادی کشاورزی ناشی از مدیریت به شیوه سنتی با استفاده از قابلیت‌های بالقوه نانوفناوری ارائه شود. نانوفناوری در ساخت و تولید کودها با سه رویکرد نهاده‌های نانوکودها، افزودنی‌های نانومقیاس موثر بر رشد و سلامتی گیاه و پوشش‌های نانومقیاس به‌عنوان میزبان کودها و مواد نانومقیاس بررسی می‌شود.

۲. تاریخچه استفاده از کود

هرچند تاریخچه دقیق پیدایش کشاورزی به درستی روشن نیست با این حال مدارک موجود نشان می‌دهد عملیات کشت و کار به منظور تولید غذا توسط بشر حداقل سابقه‌ای ده هزار ساله دارد. کشت و کار پیوسته و افزایش تدریجی جمعیت به مرور سبب کاهش باروری خاک‌ها شد و در نتیجه غذای تولیدی به واسطه کشاورزی سنتی آن روزگار که از تنها عامل حاصلخیز کننده خاک یعنی بقایای گیاهی کافی نبود. به مرور نقش آیش در تداوم باروری خاک‌ها مشخص شد و بشر دریافت که افزایش مواد آلی و

همراهی کشور با روند جهانی آن طراحی کنیم. از این رو سرعت تصمیم‌گیری در این عرصه اهمیت زیادی دارد در غیر اینصورت سرعت تحولات جهانی، فاصله ما را با جهان روز به روز بیشتر خواهد کرد. نانوفناوری طی دهه‌ی گذشته رشد زیادی داشته است و بر تمامی جنبه‌های جامعه از قبیل پزشکی، داروسازی، نساجی، علم مواد و الکترونیک تأثیرگذار است. نانوفناوری در بخش کشاورزی با این وجود کاربردهای متنوع هنوز نسبتاً رشد چندانی ندارد. تولید مواد جدید و کارا، پیشرفت در زمینه تولید محصولات

بقایای گیاهی و جانوری سبب بهبود تولید محصول می‌شود. انقلاب صنعتی اروپا و متعاقب آن ورود ابزار آلات صنعتی به عرصه کشاورزی، بهره‌کشی بیشتر خاک‌ها را به دنبال داشت و پیشرفت علم شیمی موجب درک بهتر نیازهای تغذیه‌ای گیاهان شد. بوسینگالت در ۱۸۳۴ نشان داد که عناصر شیمیایی در ساختار گیاهان نقش اساسی دارند. لیبیگ شیمیدان آلمانی مسائل تغذیه گیاهی را با دقت بیشتری مطالعه کرد. اولین کارخانجات کود شیمیایی به منظور تولید کودهای فسفوری در انگلستان ایجاد شد. استفاده از شوره‌زارهای غنی از نیترات به‌عنوان کود در دهه ۱۸۳۰ در امریکا آغاز شد. تولید تجاری کودهای پتاسیمی نیز از ۱۸۶۰ در آلمان شروع شد. در نیمه دوم قرن بیستم استفاده از کودهای شیمیایی گسترش بیشتری یافت و سبب افزایش چشمگیر در عملکرد محصولات کشاورزی شد [۸].

۳. انواع کود

انواع کودها را می‌توان به دو صورت طبیعی و شیمیایی تقسیم‌بندی کرد [۹-۱۰].

۳.۱. کودهای طبیعی

کود طبیعی، کودی است که از مواد اولیه طبیعی با منشا گیاهی و یا حیوانی تهیه می‌شود و حاوی کربن و یک یا چند ماده مغذی دیگر (به جز هیدروژن و اکسیژن) مانند نیتروژن، پتاسیم، کلسیم برای گیاه است. در این تعریف دو اصل مواد با منشا طبیعی و روش تهیه محصول طبیعی مورد تاکید است. به‌عبارتی فرآورده‌های تولیدی با روش‌های شیمیایی هر چند با مواد اولیه آنها طبیعی مشمول این تعریف نیستند زیرا روشی که گیاهان و حیوانات برای ساخت ترکیبات پیچیده حیاتی از مواد اولیه مانند کربن و نیتروژن و مولکول‌های ساده دیگر استفاده می‌کنند با آنچه که انسان در صنعت استفاده می‌شود، متفاوت است. برای مثال در فرآیند فتوسنتز، در ابتدا گیاهان با استفاده از دی اکسیدکربن (کربن غیرآلی) و آب (هیدروژن غیرآلی) و انرژی نور خورشید باعث تولید قند می‌شود که دارای پیوندهای کربن-هیدروژن است و به‌عنوان مبنای مولکول‌های آلی حیاتی است. سپس در مراحل بعدی گیاهان با استفاده از همین ساختمان هیدروکربنی قند و نیز سایر عناصری که از خاک جذب کرده‌اند، دیگر ترکیبات مورد نیاز خود را می‌سازند. به این ترتیب کودهای طبیعی دارای ترکیباتی هستند که در آنها پیوند کربن-هیدروژن وجود دارد در حالی که کودهای غیرطبیعی (شیمیایی) کودهایی هستند که در ترکیبات موجود در آنها، پیوند کربن-هیدروژن وجود ندارد و این پیوندها غالباً از نوع یونی مانند نیترات آمونیوم یا نیترات پتاسیم است [۹].

۳.۲. کودهای شیمیایی

کودهای شیمیایی ترکیبات غیرآلی با شکل و غلظت مناسب هستند و به‌منظور افزایش رشد گیاه و میوه استفاده می‌شوند. کاربرد این کودها معمولاً به‌صورت خاکی برای جذب توسط ریشه گیاه یا محلول‌پاشی برای جذب از طریق برگ‌ها است. هر گیاه

برای رشد و نمو به شازده عنصر شیمیایی نیاز دارد که به دو گروه عناصر پر مصرف و عناصر کم مصرف تقسیم‌بندی می‌شوند [۱۰]. عناصر غذایی پر مصرف به مقدار زیاد مورد نیاز درختان هستند و سالیانه مقادیر زیادی از آنها توسط ریشه‌های درختان از خاک برداشت و مصرف می‌شود. گروه اصلی عناصر بزرگ شامل سه عنصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر است. معمولاً میزان جذب این عناصر توسط ریشه درختان و گیاهان بسیار زیاد است، از این رو هر سال باید کمبود این عناصر را با استفاده از کود جبران کرد. عناصر غذایی کم مصرف به مقدار جزئی مورد نیاز درختان و گیاهان هستند و شامل هفت عنصر بور، مس، آهن، کلسیم، منگنز، مولیبدن و روی می‌باشند. البته اگر همین مقدار کم مصرف هم در خاک موجود نباشد یا در اختیار درختان قرار نگیرد درختان و گیاهان دچار عوارض نامطلوب شدیدی خواهد شد [۱۱].

۴. ضرورت نانوفناوری در کود

کودهای تجاری، نقشی بسیار مهم در بهبود محصولات زراعی دارند با این حال، ناکارآمدی‌های ذاتی در مدیریت سنتی کودها می‌تواند به پیامدهای اقتصادی و زیست محیطی مهلک منجر شود. دست کم، نیمی از نیتروژن کودی که در مزارع استفاده می‌شود به‌وسیله آب، هوا و سایر فرآیندها از بین می‌رود و به اثرات زیست محیطی منفی نظیر جریان نیترات‌ها به درون اکوسیستم‌های آبی و آزاد شدن آن‌اکسیدها در جو می‌انجامد [۱۲].

بازده استفاده از فسفر نیز وضعیت مناسبی ندارد. همچنین منابع عنصر فسفر محدود است و جاری شدن آن در آب‌ها باعث شدت گرفتگی پاسخ اکوسیستم به افزایش بیش از حد مواد طبیعی یا مصنوعی در محیط آبی می‌شود. دانشمندان توانسته‌اند نانوذرات آپاتیت به‌عنوان کود کاربردی بر پایه فسفر را تهیه کنند [۱۳-۱۴]. از این رو جهت تولید غذا برای پاسخ به نیازهای جهانی به لحاظ زیست محیطی و اقتصادی به شیوه‌ای پایدار باید رویکردها و فناوری‌های جدید مطالعه و بررسی شود. تاثیر اقتصادی چشمگیر استفاده‌ی ناکارآمد از کودها را نیز نباید از نظر دور داشت. در این میان نانوفناوری به‌عنوان یک فناوری بین رشته‌ای و نوظهور پتانسیل کاربردی گسترده‌ای می‌تواند در تهیه و استفاده از نانوکودها داشته باشد [۱۵-۱۶].

نانومواد با اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر در حد فاصل میان اتم و مولکول با مواد توده هستند. از این رو ممکن است به لحاظ خواص فیزیکی و شیمیایی تفاوت‌های چشمگیری از خود نشان دهند [۱-۲].

با توجه به پتانسیل بالقوه مواد نانومقیاس افق‌های روشنی برای بهبود بازده کشاورزی انتظار می‌رود. به‌عنوان مثال نانوکودها به دلیل سطح تماس بزرگ و اندازه‌ی کوچک امکان برهم‌کنش بهتر و جذب موثرتر مواد مغذی برای باروری محصول را فراهم می‌سازند. از این رو می‌توانند نوآوری بسیار مهمی در کشاورزی ایجاد کنند. همچنین ممکن است میزان رهاسازی محصولات کودی بهبود بخشد و بازدهی جذب را افزایش دهند که در نتیجه منافع اقتصادی و زیست محیطی را به دنبال دارد [۱۷-۱۹].

۲.۴. افزودنی نانومقیاس

نانومواد به محصول در مقیاس توده که به عنوان یک ماده‌ی مکمل به دلایل ثانویه از قبیل حفظ آب یا کنترل بیماری‌زایی برای گیاه و خاک اضافه می‌شود. نانومواد در حامل‌های کوچک گنجانده می‌شود که ممکن است الزاماً حاوی خود ماده‌ی مغذی نباشد بلکه به عنوان افزودنی برای بهبود رشد گیاه استفاده شود و در نتیجه به حفظ آب کمک کند یا از گیاه در مقابل بیماری خاک و میکروب حفاظت کند [۲۴-۲۲]. به عنوان مثال از نانولوله‌های کربنی برای بهبود رشد جوانه‌های گوجه فرنگی و برداشت محصول استفاده می‌شود (شکل ۳). نانولوله‌های کربنی در پوشش دانه‌ی گوجه فرنگی نفوذ می‌کنند و در نتیجه منجر به افزایش چشمگیر در جوانه زنی دانه و رشد می‌شوند [۲۵].



شکل ۳: دانه‌های گوجه فرنگی در محیط کشت (راست) حاوی نانولوله‌های کربنی در طی سه روز که ۳۰ درصد دانه‌های گوجه فرنگی دسته اول شروع به جوانه زدن و (چپ) فاقد نانولوله‌های کربنی که در این مدت زمان، هیچ کدام از دانه‌های عمل‌آوری نشده و سبز نشدند و ۱۲ روز طول کشید تا ۳۲ درصد دانه‌های گوجه فرنگی بدون کمک نانولوله جوانه زنند [۲۵].

۳.۴. پوشش نانومقیاس یا مواد میزبان نانومقیاس برای کود

کودها و مکمل‌ها در کپسول‌هایی از لایه‌های نازک نانومقیاس بسته‌بندی می‌شوند یا در خلل و فرج نانومقیاسی درون یک ماده‌ی پشتیبان قرار می‌گیرند. از جمله می‌توان به کاربرد رس‌هایی مانند کائولینیت‌ها، اسمکتیت‌ها، هالوویستیت‌ها و پلی گورسکیت‌ها در محصولات کودی کاربرد اشاره کرد. این مواد به لحاظ ترکیب‌بندی شیمیایی و نیز خواصی از قبیل مساحت سطح و بار سطحی بسیار با هم متفاوتند. نانورس‌ها عموماً در سایر کاربردها به عنوان عوامل پراکنده‌ی پشتیبان برای تشکیل ساختارهای نانوکامپوزینی استفاده می‌شوند تا پایداری گرمایی و خواص مکانیکی یک ماده‌ی حجیم را بهبود بخشند. در مورد این کودها، معمولاً می‌توان آن‌ها را به عنوان رسانه‌ای برای جذب محصول حاوی ماده‌ی مغذی به کار برد. کودها در داخل فضای میان لایه‌های نانومقیاس از تجزیه شدن توسط نور خورشید، گرما و میکروب‌ها محافظت می‌شوند و به این ترتیب از اتلاف کود جلوگیری می‌شود. علاوه بر این، جذب قوی در داخل رس‌ها به کاهش اتلاف کود از طریق آب‌شویی کمک می‌کند و کود به آهستگی رهاسازی می‌شود [۲۰ و ۲۶].

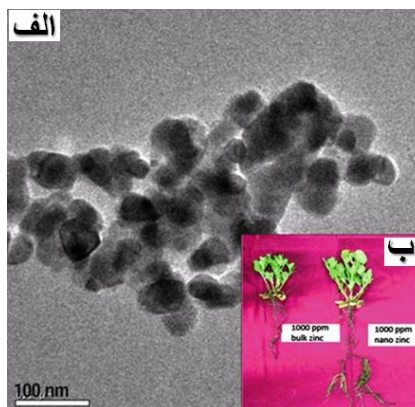
نانوفناوری در ساخت کود و مواد محافظ گیاه به سه گروه کود نانومقیاس؛ افزودنی نانومقیاس؛ و پوشش نانومقیاس یا مواد میزبان نانومقیاس تقسیم می‌شود که در شکل ۱ نشان داده شده است. این سه گروه همپوشانی قابل ملاحظه‌ای دارند و محصولاتی مفید و کارا در قالب ترکیبی از دو یا سه گروه وجود می‌آید [۲۰].



شکل ۱. سه گروه کاربرد نانوفناوری برای کود عبارت از نهاده‌های کودی نانومقیاس؛ افزودنی‌های نانومقیاس؛ و پوشش‌های نانومقیاس یا مواد میزبان نانومقیاس برای کودها است [۲۰].

۱.۴. کود نانومقیاس

کود همراه با ماده‌ی مکمل مورد نظر با روش‌های مکانیکی و شیمیایی به ابعاد نانومتر و به شکل ذرات یا امولسیون‌های نانومقیاس تهیه می‌شود. به طور کلی کاهش اندازه‌ی باعث جذب بهتر و افزایش بازدهی رهاسازی خواهد شد که در نتیجه اثربخشی کود بیشتر شده و مقدار مورد نیاز کاهش می‌یابد. به عنوان مثال استفاده از نانوذرات اکسید روی با اندازه حدود ۵۰ نانومتر (شکل ۲ الف) در دانه‌های بادام زمینی (شکل ۲ ب) منجر به جوانه زنی بیشتر دانه، قدرت بیشتر جوانه زنی، افزایش بازدهی محصول، افزایش محتوای کلروفیل و افزایش رشد ساقه و ریشه می‌شود [۲۱].



شکل ۲. (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات اکسید روی و (ب) تصویر افزایش چشمگیر رشد ریشه‌ی گیاه بادام زمینی پس از عمل‌آوری با نانوذرات اکسید روی (راست: نانوذرات اکسید روی با غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام) در مقایسه با روی توده (چپ: اکسید روی با غلظت ۱۰۰۰ پی پی ام) طی دوره زمانی ۱۱۰ روز [۲۱].

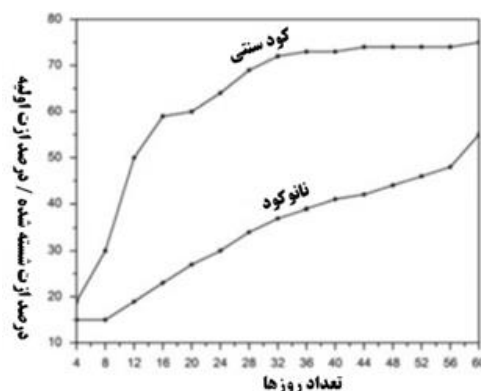
نظر می‌رسد. پیش‌بینی میزان تاثیرگذاری نانوفناوری بر کودها در آینده دشوار است. با این حال، معلوم است که در حال حاضر، برای پیش‌بینی آنچه که در آینده رخ خواهد داد، فرصت منحصر به فردی پیش روی ماست. این تصویر و دیدگاه ممکن است به پژوهشگران امکان دهد تا در این زمینه‌ی نوظهور سهم داشته باشند و به شناخت کامل قابلیت‌های آن کمک کنند. قانون‌گذاران نیز به نوبه‌ی خود فرصت خواهند یافت تا خطرهای بالقوه‌ی هر کدام از این فناوری‌های نوین را مورد سنجش و تحلیل پیش‌گیرانه قرار دهند تا از این رهگذر خطرات بالقوه به حداقل و مزایای آن به حداکثر رسانند.

۶. منابع

1. Kamel, S., 2007. Nanotechnology and its applications in lignocellulosic composites, a mini review. *Express Polymer Letters*. 1(9) 546-575.
2. Christina, G., Dirk, V., Arnout, I., Blaaderen, V., (2003) "A general method to coat colloidal particles with silica". *Langmuir*. 19(17) 6693-6700 .
3. Baruah, S., Dutta, J., (2009) "Nanotechnology applications in sensing and pollution degradation in agriculture: a review", *Environ. Chem. Lett.* 7 191-204 .
4. Dasgupta, N., Ranjan, S., Mundekkad, D., Ramalingam, C., Shanker, R., Kumar A., (2015) "Nanotechnology in agro-food: From field to plate". *Food Research International*. 69 381-400 .
5. Baruah, S., Dutta, J., (2009) "Nanotechnology applications in pollution sensing and degradation in agriculture: a review", *Environ Chem Lett*. 7 191-204 .
6. Liu, R., Rattan Lal, R., (2015) "Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions", *Science of the Total Environment*. 514 131-139 .
7. Ditta, A., (2012) "How helpful is nanotechnology in agriculture", *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 3 033002-033012 .
8. Ditta, A., (2012) "How helpful is nanotechnology in agriculture", *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 3 033002-033012 .
9. Ditta, A., (2012) "How helpful is nanotechnology in agriculture?", *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 3 033002-033012
10. http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_fertilizer
11. Chen, H., Yada, R., (2011) "Nanotechnologies in agriculture: New tools for sustainable development". *Trends in Food Science & Technology* 22 585-594.
12. https://en.wikipedia.org/wiki/Organic_fertilizer
13. Rai, M., Ingle, A., (2012) "Role of nanotechnology in agriculture with special reference to management of insect pests". *Appl Microbiol Biotechnol*. 94 287-293 .
14. <https://en.wikipedia.org/wiki/Fertilizer>
15. George, E.F., Hall, M.A., De Klerk, G.J., (2008) "The Components of Plant Tissue Culture Media I: Macro-

قرارگیری کمپلکس منیزیم-اوره در فضای میان-لایه‌ای نانوساختارهای رس مونت موریلونیت باعث حفظ اوره در برابر تجزیه‌ی سریع توسط خاک می‌شود و به بهبود بازده استفاده از نیتروژن می‌تواند کمک کند. استفاده از ژئولیت‌ها به تنهایی یا به صورت دوپ شده با نانوذرات همراه مواد مغذی گیاه باعث افزایش بازده کود می‌شود. به‌طور مشابه، خلل و فرج و کانال‌های نانومقیاسی کائولین و رس برای جذب قوی کودها و آهسته رهاسازی آن استفاده می‌شود. کودها را می‌توان در نانوذرات پوشش‌دار یا درون نانولوله‌ها جای داد. از جمله نانوذرات فلزی نقره به‌عنوان حامل‌های مواد مغذی گیاهی بررسی شده‌اند. نوع دیگر نانولوله‌های هالوسیت به‌صورت لوله‌های رسی توخالی هستند و در اثر فرسایش سطحی مواد معدنی آلومینوسیلیکات در اثر هوازدگی ایجاد می‌شوند. قطر این لوله‌ها معمولاً کمتر از ۱۰۰ نانومتر است و طول آن‌ها بین ۵۰۰ نانومتر تا ۱.۲ میکرومتر در تغییر است و می‌توان این لوله‌ها را با مواد مورد نظر پر نمود و سپس رهاسازی آن‌ها را کنترل کرد [۲۰].

نانوذرات هیدروکسی آپاتیت نیز به‌عنوان حامل‌های کود محسوب می‌شوند. شکل ۴ رهاسازی اوره از این نانوذرات اصلاح شده را نشان می‌دهد که در طی ۶۰ روز به‌صورت آهسته با آهنگ بیش از ۱۰ میلی گرم در روز رهاسازی انجام می‌شود که این برخلاف آهنگ رهاسازی سریع کودهای سنتی است و اثر نانوحامل‌ها بر آهنگ رهاسازی اوره مشاهده می‌شود [۲۶]. به‌صورت کلی استفاده از نانوفناوری در صنایع کشاورزی همراه با چالش‌هایی است و می‌تواند پتانسیل کاربردی گسترده‌ای داشته باشد.



شکل ۴: مقایسه درصد نیتروژن آزاد شده طی ۶۰ روز برای نانوکود و کود سنتی [۲۶].

۵. نتیجه‌گیری

در حالی که نهاده‌های کود در مقیاس نانو، افزودنی‌های نانو و پوشش‌ها یا میزبان‌های نانومقیاس ارائه شده در این زمینه هنوز در مراحل اولیه‌ی رشد و توسعه قرار دارند و در این راستا ثبت پتنت‌ها و مقالات پژوهشی گسترش یافته است و محصول تجاری در بازار نیز موجود است. ولی آیا استفاده از این نمونه‌ها در کشاورزی تاثیرات دراز مدت منفی بر سلامت انسان و محیط زیست دارند یا خیر هنوز معلوم نیست. از این رو، مطالعات بیشتر در زمینه‌ی تاثیرات ممکن نانومواد در محیط ضروری به



- dramatically affect seed germination and plant growth", ACS Nano. 3 3221-3227 .
29. Khodakovskaya, M.V., de Silva, K., Biris, A.S., Dervishi, E., Villagarica, H., (2012) "Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells", ACS Nano. 27 2128-2135 .
 30. Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y., Sakthi Kumar, D., (2010) "Nanoparticulate material delivery to plants", Plant Science. 179 154-163 .
 31. Khodakovskaya, M.V., Kim, B.S., Kim, J.N., Alimohammadi, M., Dervishi, E., Mustafa, T., Cernigla, C.E., (2013) "Carbon nanotubes as plant growth regulators: effects on tomato growth, reproductive system, and soil microbial community", Small. 9 115-123 .
 32. Kottegoda, N., Munaweera, I., Madusanka, N., Karunaratne, V., (2011) "A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood", Curr Sci. 101 73-78.
 - and Micro-Nutrients" Chapter Plant Propagation by Tissue Culture 65-113 .
 16. https://en.wikipedia.org/wiki/Plant_nutrition
 17. Raun, W.R., Solie, J.B., Stone, M.L., Martin, K.L., Freeman, K.W., Mullen, R.W., Zhang, H., Schepers, J.S., Johnson, G.V., (2005) "Optical Sensor-Based Algorithm for Crop Nitrogen Fertilization", Communications in Soil Science and Plant Analysis. 36 2759-2781 .
 18. Liu, R., Lal, R., (2014) "Synthetic apatite nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (Glycine max)", Scientific reports. 4 5686-5682 .
 19. Bansawal, A.K., Rayalu, S.S., (2006) "Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus", J. Agric. Food Chem. 54, 4773-4779 .
 20. Naderi, M.R., Danesh-Shahraki, A., (2013) "Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture", International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 5(19) 2229-2232 .
 21. Delfani, M., Baradarn Firouzabadi, M., Farrokhi, N., Makarian, H., (2014) "Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers", Communications in Soil Science and Plant Analysis. 45 530-540 .
 22. Corradini, E., de Moura, M.R., Mattoso, L.H.C., (2010) "A preliminary study of the incorporation of NPK fertilizer into chitosan nanoparticles" eXPRESS Polymer Letters. 4(8) 509-515 .
 23. Pereira, E.I., Minussi, F.B., da Cruz, C.C.T., Bernardi, A.C.C., Ribeiro, C., (2012) "Urea-Montmorillonite-Extruded Nanocomposites: A Novel Slow-Release Material", J. Agric. Food Chem. 60 5267-5272 .
 24. Bortolin, A., Aouada, F.A., Mattoso, L.H.C., Ribeiro, C., (2013) "Nanocomposite PAAm / Methyl Cellulose / Montmorillonite Hydrogel: Evidence of Synergistic Effects for the Slow Release of Fertilizers", J. Agric. Food Chem. 61, 7431-7439 .
 25. Kale, S.N., Mona, J., Dhobale, S., Thite, T., Laware, S.L., (2011) "Intramolecular and intermolecular crosslinked poly (vinyl alcohol) - borate complexes for the sustained release of fertilizers and enzymes", Journal of Applied Polymer Science. 121 2450-2457 .
 26. Mastronardi, E., Tsae, P., Zhang, X., Monreal, C., DeRosa, M.C., (2015) "Strategic role of nanotechnology in fertilizers: potential and limitations", Chapter 2 25-67 .
 27. Prasad T.N.V.K.V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T.S., Sajanlal, P.R., Pradeep, T., (2012) Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. J Plant Nutr. 35 905-927 .
 28. Khodakovskaya, M., Dervishi, E., Mahmood, M., Xu, Y., Li, Z.R., Watanabe, F., Biris, A.S., (2009) "Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and