# کاربرد برخی نانوکودهای نیتروژن در تغذیه گیاهان

**محمدرضا مقصودی* و نصرت الله نجفی**

دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز

**چکیده**

با توجه به رشد سریع جمعیت جهان، پیش‌بینی شده است که تولید جهانی محصولات کشاورزی در سال ۲۰۵۰ باید ۷۰ درصد افزایش یابد تا نیازهای بشر به غذا را تأمین کند. برای حفظ سطح فعلی تولید محصولات کشاورزی، کاربرد کودهای مختلف به مقدار زیاد و برای مدت طولانی در بخش کشاورزی باعث ایجاد مسائل جدی زیست محیطی در سطح جهان شده است. نانوکودها می‌توانند یک نوآوری بزرگ برای کشاورزی باشند. در مورد نانوکودهای نیتروژنی که اوره پرمصرف‌ترین آنها می‌باشد، مطالعاتی انجام شده است. برای مثال از نانوذرات هیدروکسی‌آپاتایت، نانوذرات سیلیکا با روزنه‌های میان‌اندازه و پوشش اوره با نانوذرات اکسید روی برای رهاسازی تدریجی نیتروژن استفاده شده است. برخی مطالعات نیز کاهش آبشویی نیتروژن و افزایش عملکرد گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی را گزارش کرده‌اند. این تحقیقات در مراحل ابتدایی بوده و هنوز برای مصرف کلان نانوکودها از طرف نویسندگان پیشنهادی ارائه نشده است. همچنین اقتصادی بودن این نانوکودها و برتری آنها نسبت به کودهای مرسوم مورد سؤال است.

***واژه‌های کلیدی:*** *تغذیه گیاهان، نانوکود، نیتروژن*

ایمیل نویسنده مسئول : mr_maqsoodi@yahoo.com

## ۱- مقدمه

گیاهان کمتر از نصف کودهای بکار رفته را مورد استفاده قرار می‌دهند [۱]؛ به‌طوری‌که حداقل نیمی از کود نیتروژن بکار رفته در زمین‌های کشاورزی به صورت ورود به آب، هوا و فرآیندهای دیگر از دسترس خارج می‌شود و موجب اثرات منفی زیست محیطی مانند آبشویی نیترات به اکوسیستم‌های دریایی و انتشار اکسیدهای نیتروژن به اتمسفر می‌گردد [۲]. همچنین از تأثیر اقتصادی قابل‌توجه کوددهی ناکارآمد نیز نمی‌توان صرف‌نظر کرد [۳]. استفاده بیش از حد از کودهای نیتروژن و فسفر موجب بروز و تشدید مشکل غنی‌شدن[1] آب‌های شیرین سطحی و اکوسیستم‌های ساحلی شده است [۴و ۵]. بنابراین، کاربرد زیاد کودهای شیمیایی برای افزایش تولید محصول گزینه‌ای مناسب برای درازمدت نیست. بازرگان و همکاران [۶] اذعان داشتند که در نظام مدیریت کود ایران قانون جامع کود، ساختار تشکیلاتی متولی و پاسخگو در رابطه با کود و استانداردهای ملی کیفیت انواع کودها حلقه‌های گم شده مدیریت امور کود در کشور هستند.

با توجه به مطالب مذکور، استفاده از روش‌های نوین در تولید و مصرف کودها برای افزایش عملکرد محصول، بهبود کارایی استفاده عناصر غذایی گیاه و به کمینه رساندن اختلالات زیست محیطی برای توسعه پایدار جهانی امری ضروری است. پیشرفت تکنولوژی راه‌هایی برای تولید زیاد نانوذرات فلزی مهم را فراهم کرده است که در حال حاضر به‌عنوان سیستم‌های رسانش هوشمند[2] شناخته می‌شوند، به‌طوری‌که موجب بهبود تولید کودهایی با حداقل اتلاف عناصر غذایی و افزایش جذب آنها به‌وسیله گیاه می‌شود [۷]. سیستم رسانش هوشمند این نانوکودها به سطح ویژه و ظرفیت جذب بالا و رهاسازی کنترل شده نسبت داده شده است [۸].

## ۲- اثر برخی نانوکودهای نیتروژن بر رشد و تغذیه گیاهان

کوتگودا و همکاران [۹] ترکیب اوره و نانوذرات هیدروکسی‌آپاتایت را برای رهاسازی تدریجی نیتروژن استفاده کردند. این نانوکود رهاسازی آهسته نیتروژن طی ۶۰ روز رشد گیاه را نشان داد درحالی‌که در کودهای مرسوم این رهاسازی فقط ۳۰ روز بود. آنان بیان داشتند که سطح ویژه زیاد هیدروکسی‌آپاتایت به بارگذاری مقدار زیادی اوره بر سطح آن کمک کرده و تعامل قوی بین نانوذرات هیدروکسی‌آپاتایت و اوره در رهاسازی آهسته و کنترل شده اوره نقش داشت. نانوذرات با روزنه‌های میان‌اندازه[3] با پایه پلی‌مری نیز می‌توانند سیستم حامل مؤثری برای ترکیبات با مواد شیمیایی کشاورزی باشند که کارایی و

[1] Eutrophication

[2] Smart delivery system

[3] Mesoporous

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۷

استفاده اقتصادی را بهبود می‌بخشند. گزارش شده است که نانوذرات سیلیکا با روزنه‌های میان‌اندازه (۱۵۰ نانومتر) اوره را در خود جای داده و ۱۵/۵ درصد اوره در داخل منافذ نانوذرات پر شده و نمودار رهاسازی آنها در خاک و آب به‌صورت کنترل شده بود. در این مطالعه دوره رهاسازی بیش از پنج برابر افزایش یافت [۱۰]. قابلیت انحلال روی و سرعت فروپاشی نانوذرات اکسید روی (ZnO) و ذرات ZnO معمولی که به‌صورت پوششی برای کودهای عناصر غذایی پرمصرف (اوره و مونوآمونیم فسفات) بکار رفته بودند توسط میلانی و همکاران [۱۱] بررسی شد. آنان گزارش کردند که دانه‌های مونوآمونیم فسفات پوشش داده شده با ذرات ZnO زمینه‌ای شدت فروپاشی سریع‌تری از مونوآمونیم فسفات پوشش داده شده با نانوذرات ZnO داشتند [۸]. زارع‌ابیانه و بیات‌ورکشی [۱۲] تأثیر کودهای کندرها بر آبشویی نیترات، توزیع آن در نیم‌رخ خاک، کارایی استفاده نیتروژن و عملکرد گوجه‌فرنگی را در کشت گلخانه‌ای بررسی و گزارش کردند که تیمار نانوکود بر عملکرد، آبشویی و نیترات خاک اثر قابل‌توجهی داشت. مقایسه مقدار آبشویی نیترات نشان داد که کاربرد نانوکلات نیتروژن، نانوکلات نیتروژن پوشانده شده با گوگرد و اوره پوشانده شده با گوگرد منجر به کاهش به‌ترتیب ۳۵/۷۲، ۴۱/۵۶ و ۹/۹۴ درصدی آبشویی نیترات به‌علت کندرها بودن آنها در مقایسه با اوره شد؛ همچنین عملکرد گوجه‌فرنگی به‌ترتیب ۵۶/۱، ۵۹/۶۱ و ۴۹/۷۶ درصد نسبت به کاربرد اوره افزایش یافت. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت نیترات در عمق ۳۰ سانتی‌متری بود. مطابق با گزارش محمدی و فائزیان [۱۳] بخش عمده سیستم ریشه گوجه‌فرنگی در لایه ۳۰ سانتی‌متری تجمع می‌یابد، بنابراین، بیشترین نیتروژن جذب شده توسط گیاه در این عمق اتفاق می‌افتد که منجر به افزاش عملکرد می‌شود. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در سال دوم آزمایش و در تیمار ۴۶ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار مشاهده شد. این مقدار در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ برای تیمارهای نانوکلات نیتروژن پوشانده شده با گوگرد و اوره پوشانده شده با گوگرد به‌ترتیب ۱۰۵۶ و ۷۹۳ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. ایرل [۱۴] کنترل رهاسازی نیتروژن را با استفاده از اوره محصور شده در زئولیت مورد بررسی قرار داد. ایشان دلایل رهاسازی آهسته نیتروژن از زئولیت را به این‌صورت توضیح داد که: ۱) قرار گرفتن اوره در منافذ زئولیت از آبشویی آن از منطقه ریشه گیاه جلوگیری می‌کند، ۲) اوره کمتر در معرض آنزیم اوره‌آز موجود در خاک قرار گرفته و تشکیل یون‌های آمونیوم به تأخیر می‌افتد و ۳) با جذب یون‌های آمونیوم توسط مکان‌های تبادلی از تبدیل آنها به نیتریت و نیترات توسط باکتری‌ها جلوگیری می‌شود. سلطان و همکاران [۱۵] گزارش کردند که توسعه غشاهای نانومقیاس، توان قابل‌توجهی در بهبود کارایی استفاده از نیتروژن و تولید محصولات زراعی ایجاد کرده است. نانورس‌ها که نانوساختارهای مرکب هستند معمولاً به‌عنوان حامل عناصر غذایی، بهبود پایداری دمایی و ویژگی‌های مکانیکی به کار می‌روند. در داخل فضای بین لایه‌ای آنها که در ابعاد نانو می‌باشند، کودها می‌توانند از تجزیه توسط نور خورشید، گرما و میکروب‌ها حفاظت شوند و اتلاف کود به حداقل برسد. به‌علاوه، جذب سطحی قوی در داخل رس‌ها موجب کاهش از دست رفتن کود توسط آبشویی شده و به کود اجازه می‌دهد تا به‌آرامی رهاسازی شود [۱۶]. رس‌هایی که در تولید این کودها به کار رفته‌اند شامل کائولینایت‌ها، اسمکتایت‌ها، هالوسایت‌ها و پالیگورسکایت‌ها می‌باشند. ترکیبات و ویژگی‌های آنها بسیار متفاوت است. برای مثال در مطالعه‌ی پارک و همکاران [۱۷] کمپلکس اوره - منیزیم در فضای بین لایه‌ای رس مونتموریلونایت قرار داده شد که نتیجه آن جلوگیری از کاهش سریع اوره در خاک بود. منافذ و کانال‌های نانومقیاس در پالیگورسکایت (که با عنوان آتاپولگیت[1] نیز شناخته می‌شود) [۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱]، کائولین [۲۲] و یک رس چینی به اسم زیگمایکس [۲۳] برای رهاسازی آهسته کود بکار رفته است.

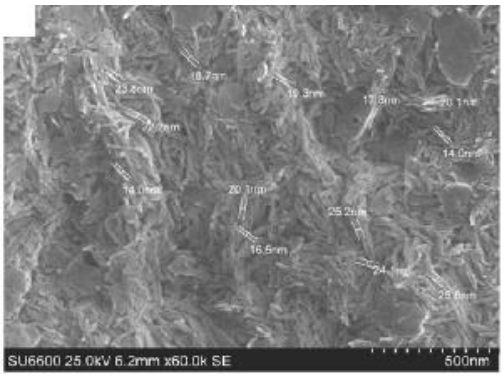
کودها می‌توانند توسط نانوذرات پوشانده شوند یا در نانولوله‌ها قرار داده شوند. نانوذرات فلزی مانند Ag نیز به‌عنوان حامل‌هایی برای عناصر غذایی گیاهی مورد بررسی قرار گرفته است [۲۴]. نانولوله‌های هالوسایت، لوله‌های رسی توخالی هستند که از هوادیدگی سطحی آلومینوسیلیکات‌های طبیعی تشکیل شده‌اند. لوله‌هایی که قطر آنها کمتر از ۱۰۰ نانومتر و طول آنها در محدوده ۵۰۰ نانومتر تا ۱/۲ میکرومتر باشد را می‌توان با هر عاملی پر کرد تا به کندی رهاسازی شود [۱۶]. اخیراً از این نانولوله‌ها به‌عنوان میزبان کودها استفاده شده است [۲۵]. نانوذرات هیدروکسید آپاتایت نیز [۲۶، ۲۷] به‌عنوان حاملی برای کود [۹]، مورد استفاده قرار گرفته‌اند (شکل ۱). اوره تیمار شده با نانوذرات هیدروکسید آپاتایت نمودار رهاسازی بسیار آهسته‌ای را در سه خاک با pHهای مختلف (۴/۲، ۵/۲ و ۷) نشان دادند و مقدار رهاسازی در طول ۶۰ روز، کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در روز بود که بسیار آهسته‌تر از رهاسازی کود مرسوم بود [۹]. مواد متخلخل دیگر مانند سیلیکا

[1] Attapulgite

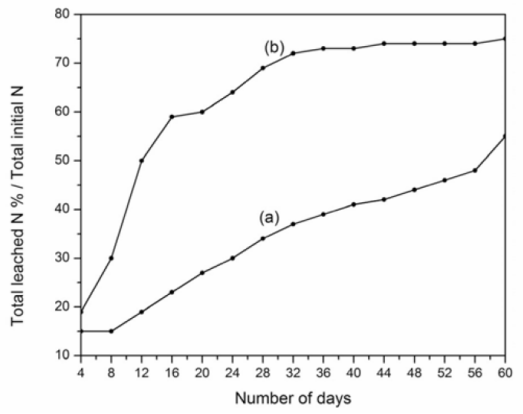
با روزنه‌های میان‌اندازه و هیدروکسیدهای دو لایه‌ای[1] برای عرضه کود مورد بررسی قرار گرفته است. هیدروکسیدهای دو لایه‌ای یک گروه از نانومواد لایه‌ای با لایه‌های کریستالی معدنی با بار مثبت (ضخامت آنها کمتر از چند نانومتر است) هستند. آنیون‌های واقع شده در فضای بین لایه‌ای می‌توانند به‌راحتی جایگزین شوند که سبب علاقه زیاد به استفاده از هیدروکسیدهای دو لایه‌ای در سیستم‌های کندرها شده است [۲۸]. آزمایشات حسین و همکاران [۲۹] بر روی استفاده از هیدروکسیدهای دو لایه‌ای برای تنظیم رهاسازی هم‌زمان با رشد گیاه نشان داد که کندرهایی می‌تواند متأثر از pH باشد. اختراعاتی وجود دارند که پر کردن هیدروکسیدهای دو لایه‌ای را با نیترات برای استفاده در کودها نشان می‌دهند [۲۶]. رهاسازی نیتروژن ناشی از هیدرولیز اوره در ترکیب آن با سیلیکای با اندازه روزنه‌های نانو نیز توسط حسین و همکاران [۲۸] بررسی شده است.

روبی سلسیا و مالا [۳۰] اثر نوعی نانوکود کندرها (حاوی نوعی کود آلی، رایزوباکترهای بهبود دهنده رشد و عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم) بر رشد گیاه ماش[2] را بررسی کردند. جوانه‌زنی بذر این گیاه در تیمار نانوکود کندرها ۱۰۰ درصد بود که علت آن بهبود منابع معدنی و آلی عناصر غذایی گیاه ذکر شد. میانگین زمان جوانه‌زنی بذرها در تیمار شاهد ۴۲/۵ ساعت بود که در تیمار نانوکود افزایش قابل‌توجهی یافت (۱۰۰ ساعت) که ممکن است به‌علت اسیدیته تولید شده توسط کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین تشکیل آمونیم از اوره باشد. شاخص قدرت بذر در تیمار شاهد ۴۲۳ و در تیمار نانوکود ۱۶۲۵ بود که علت آن افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز طی جوانه‌زنی بود. مانیکاندان و سوبرامانیان [۳۱] یک مطالعه آزمایشگاهی برای بهبود راندمان استفاده از اوره با استفاده از سیلیکات آبدار میکرو طبیعی و سیلیکات آبدار نانومتخلخل به‌عنوان بستر انجام دادند. نتایج نشان داد که رهاسازی نیتروژن از اوره در ترکیب آن با سیلیکات آبدار نانومتخلخل تا ۴۸ روز ادامه داشت اما رهاسازی نیتروژن از اوره در ترکیب آن با سیلیکات آبدار میکرو طبیعی در عرض ۴ روز متوقف شد. این نشان می‌دهد که زئولیت نانومتخلخل را می‌توان به‌عنوان راهکاری جایگزین برای بهبود کارائی استفاده از نیتروژن در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی استفاده کرد. مخلوط پلی‌ستیرن با نانوکائولین که تشکیل منافذ ۱۰ تا ۲۰ نانومتری می‌دهند، هنگامی‌که با اوره مخلوط شد و به‌عنوان پوشش برای دانه‌های گندم زمستانه استفاده شد، تأثیری بر جوانه‌زنی آنها نداشت. مطالعه بر روی شستشوی نیتروژن از این ترکیبات نشان داد رهاسازی نیتروژن کندتر از کودهای بدون پوشش بود؛ به‌طوری‌که در ۴۰ روز برای این ترکیب ۵۶ درصد و برای فقط کود اوره ۹۰ درصد بود. کل عملکرد محصول ۲۷ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت [۲۹]. ذرات زئولیت اغلب نانومقیاس نیستند اما آرایش آلومینیم و سیلیسیم در سه بعد، چهارچوب زئولیت $SiO_4$ و $AlO_4$ تتراهدرال را تشکیل می‌دهد که کانال‌ها و فضای خالی نانومقیاس (با قطر ۰/۳ تا ۱۰ نانومتر) ایجاد می‌کند. بنابراین، زئولیت‌ها موادی نانوساختار هستند. سطح ویژه بسیار زیاد زئولیت‌ها، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و انتخاب‌پذیری بالا برای عناصر غذایی پرمصرف ($K^+$ و $NH_4^+$) گیاه به‌علت ویژگی‌های منحصر به فرد روزنه‌های نانومقیاس می‌باشد. این یون‌ها ممکن است جانشین مکان‌های تبادلی داخل زئولیت شده و برای جذب توسط گیاه به آهستگی رهاسازی شوند. بنابراین، انتقال این عناصر غذایی به رواناب و آب‌های زیرزمینی کاهش یافته و در نتیجه خطرات آلودگی محیطی نیز کاهش می‌یابد. به‌علاوه، تصعید گازهای نیتروژن (مانند $NH_3$، $N_2$ یا $N_2O$) به‌علت جذب سطحی نیتروژن و قابل دسترس نبودن برای آمونیاک‌سازی توسط ریزجانداران خاک کاهش می‌یابد [۳۲]. اتصال زئولیت‌ها با عناصر غذایی گیاه یک ایده جدید نیست و مطالعات زیادی از دهه ۱۹۷۰ انجام شده است [۳۳] اما کودهایی که در آنها به زئولیت عناصر غذایی افزوده شده است تنها نانومواد هستند که تأثیر آن در بسیاری از آزمایش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای بررسی شده است. پرین و همکاران [۳۴] شدت رشد و کارایی استفاده از کود نیتروژن را برای ذرت در یک خاک لوم شنی با کاربرد آمونیم جایگذاری شده در خاکستر آتشفشانی غنی از زئولیت بررسی کردند. گستره کارایی استفاده از نیتروژن ۷۲ تا ۹۵ درصد در خاک‌های تیمار آمونیم افزوده شده به زئولیت بعد از ۴۲ روز رشد گیاه بود اما در خاک‌های تیمار شده با کود $(NH_4)_2SO_4$ ۳۰ تا ۷۶ درصد بود. تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در رشد ذرت بین کودهای نیتروژن مشاهده نشد. مکون و توکر [۳۲] گزارش کردند که شدت نیتریت‌سازی، وقتی ۳۰ تن بر هکتار آمونیم جایگذاری شده در خاکستر آتشفشانی غنی از زئولیت بکار رفت، در خاک شن لومی ۱۱ درصد و در خاک لوم رسی سیلتی ۴ درصد کاهش یافت.

[1] Double hydroxides (LDHs)
[2] *Vigna Raidata*




(الف)




(ب)

شکل ۱- نانوذرات هیدروکسی آپاتایت برای کنترل رهاسازی نیتروژن از اوره. (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی اوره اصلاح شده با نانوذرات هیدروکسی آپاتایت. (ب) مقایسه درصد نیتروژن رها شده در ۶۰ روز برای (a) نانوکود و (b) کود رایج [۹].

کاهش شدت نیتریت‌سازی نشان داد که زئولیت $NH_4^+$ را در مکان‌های تبادلی خود نگه می‌دارد و در نتیجه $NH_4^+$ را از تغییر توسط باکتری‌های نیترات‌ساز حفظ می‌کند. مالکیان و همکاران [۳۵] با استفاده از آزمایش‌های لایسیمتری برای مطالعه اثر زئولیت اصلاح شده بر آبشویی نیترات و رشد ذرت گزارش کردند که کاربرد زئولیت اصلاح شده به مقدار ۶۰ گرم بر کیلوگرم آبشویی نیتروژن را ۲۲ درصد نسبت به شاهد کاهش داد؛ مقدار آبشویی نیتروژن در تیمار شاهد ۱۸ کیلوگرم بر هکتار و در تیمار زئولیت اصلاح شده ۱۳٫۸ کیلوگرم بر هکتار بود. به‌علاوه، عملکرد دانه (۵۹۰۷ کیلوگرم بر هکتار) و وزن آون خشک (۱۰۳۶۱ کیلوگرم بر هکتار) به‌ترتیب ۴/۹ و ۱۰/۳ درصد نسبت به شاهد (۵۶۳۱ و ۹۳۹۳ کیلوگرم برهکتار) افزایش یافت. همچنین شدت جذب کود توسط گیاه از ۷۷/۴ درصد به ۸۵/۸ درصد با کاربرد زئولیت افزایش یافت. روی‌هم رفته زئولیت‌ها نانومواد نویدبخش برای بهبود جذب عناصر غذایی پرمصرف توسط گیاه هستند و خطرات آلودگی محیط که توسط آبشویی نیتروژن بوجود می‌آید را کاهش می‌دهند. با این حال کاربرد کودهای عناصر غذایی افزوده شده به زئولیت با قیمت‌های زیاد خرید زئولیت و فرآیند بارگذاری عناصر غذایی، محدود شده است [۳۶]. حلاجنیا و همکاران [۳۷] تأثیر هیدروکسید Mg-Al دولایه‌ای (LDH)[7] بر آبشویی نیترات و جذب نیتروژن توسط گیاه ذرت در یک خاک آهکی را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که آبشویی نیترات هنگامی که به خاک ۲/۵، ۵ و ۱۰ گرم LDH افزوده شد به ترتیب ۲۴، ۴۶ و ۷۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین جذب نیتروژن توسط ذرت در همان تیمارها به ترتیب ۱۴، ۲۰ و ۴۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. آنان LDH را برای کاهش آبشویی نیترات از خاک پیشنهاد کردند اگرچه مصرف LDH به علت انحلال بالا آن در خاک می‌تواند محدود کننده باشد.

### ۳- نتیجه‌گیری

حدود ۴۰ تا ۷۰ درصد نیتروژن بکار رفته به شکل کود، وارد محیط شده و نمی‌تواند به گیاه برسد که موجب زیان اقتصادی می‌شود. این مشکلات موجب استفاده مکرر از کودها و آفت‌کش‌ها شده که تأثیرات مضری بر تعادل ذاتی عناصر غذایی خاک دارند. نیاز جهان به کودها عناصر غذایی مختلف در سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ به ۱۹۲/۸ میلیون تن تخمین زده شده است. از این رو، بهینه‌سازی استفاده از کودهای شیمیایی برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز محصول و به حداقل رساندن خطر آلودگی محیط زیست بسیار مهم است. نانوفناوری توانسته است تحولی در صنعت کودها ایجاد کند اما هنوز در مراحل اولیه و آزمایشگاهی است. با این حال مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از این فناوری موجب کندرهایی در کودهای نیتروژن شده و می‌تواند این عنصرغذایی پر مصرف را در مراحل مختلف رشد گیاه در اختیار آن قرار دهد و موجب افزایش عملکرد شود؛ همچنین باعث کاهش آبشویی و

[7] Mg-Al layered Double Hydroxide ((Mg-Al)-LHD)

فرار گازهای نیتروژن به اتمسفر شده و از آلودگی آب‌ها و هوا می‌کاهد.

### ۴- رهیافت‌های ترویجی

با توجه به این مطالعه به‌نظر می‌رسد توصیه این نوع کودها برای استفاده کلان عجولانه بوده و هنوز به تحقیقات بیش‌تری برای اطمینان از چگونگی اثرات آنها بر محیط زیست و در نهایت گیاهان و انسان نیاز دارد. از طرف دیگر، هنوز بسیاری از جنبه-های احتمالی ورود این کودها به محیط زیست و سازوکار اثر آنها بررسی نشده و نگرانی‌هایی در رابطه با آنها وجود دارد. همچنین نمی‌توان مزایای نانوکودها و اثرات مثبت آنها در کاهش مصرف کوهای مرسوم و افزایش کارایی مصرف کودها را نادیده گرفت. بنابراین، پیشنهادات زیر برای آگاهی بیش‌تر از مزایای استفاده از نانوکودها در مقایسه با کودهای مرسوم، شناخت سازوکارهای نانوکودها در محیط زیست و اثرهای آنها بر جانداران مختلف از جمله گیاهان و عواقب مصرف نانوکودها ارائه شد.

عناصر غذایی پرمصرف گیاه مخصوصاً نیتروژن و فسفر در تولیدات کشاورزی، امنیت غذایی و حفاظت از محیط در مقایسه با دیگر عناصر غذایی اهمیت حیاتی دارند. بنابراین، تحقیق، توسعه و کاربرد نانوکودهایی با کارایی بالا (شدت آبشویی و یا تصعید کم، تثبیت کم توسط خاک و جذب بالا توسط گیاهان و خطرات زیست محیطی کم، پتانسیل غنی‌شدن کم و شدت آبشویی نیتروژن کم به آب‌های زیرزمینی) ضروری هستند و اولویت بیش‌تری برای تحقیق دارند.

زئولیت هنوز به‌عنوان نانوماده نویدبخش در کاهش آبشویی نیتروژن و افزایش کارایی استفاده از آن مطرح است. تحقیقات بیش‌تری برای مقایسه عملکرد و فواید محیطی کودهای نیتروژن متصل به زئولیت با وجود قیمت زیاد زئولیت و فرآیند بارگیری نیتروژن نیاز است. تحقیقات بیش‌تری برای تأیید پتانسیل‌های نانوذرات هیدروکسی آپاتایت در مقابل کودهای مرسوم مانند اثرات متقابل با اجزای خاک، انتقال در پروفیل خاک، زیست-فراهمی آن برای جلبک‌ها و پاسخ گیاهان در شرایط مزرعه لازم است. به‌علاوه، تا حالا این نانومواد به‌عنوان حامل عنصر غذایی برای گیاه نبوده است، بنابراین، جزئیات سازوکار عملکرد آنها و افزایش رشد نیاز به توضیح و شفاف‌سازی دارد.

منابع


1. RS, Loomis; DJ, Connor; Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press, Cambridge 538 pp, 1992.

2. GV, Johnson; WR, Raun; Nitrogen response index as a guide to fertilizer management. J Plant Nutr (26): 249–262, 2003.

3. WR, Raun; GV, Johnson; Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. (91): 357–363, 1999.

4. DJ, Conley; HW, Paerl; RW, Howarth; DF, Boesch; SP, Seitzinger; KE, Havens; ECOLOGY-controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. Science. (323): 1014–1015, 2009.

5. DL, Correll; The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review. J. Environ. Qual. (27): 261–266, 1998.

6. P, Solanki; A, Bhargava; H, Chhipa; N, Jain; J, Panwar; Nano-fertilizers and Their Smart Delivery System. Nanotechnologies in Food and Agriculture. Rai, M., N. Duran, C. Ribeiro, L. Mattoso. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. 2015, Springer International Publishing Switzerland.

۷. ک، بازرگان؛ م، متین¬فر؛ ح ع، حسین¬زاده؛ م ح، داودی؛" ضرورت تدوین «قانون کود» و «استانداردهای ملی» در راستای ساماندهی مدیریت امرو کود در ایران"، مجله پژوهش¬های خاک، شماره ۲۶ (۳): ۲۱۹-۲۲۵، ۱۳۹۱.

8. MR, Naderi; A, Danesh-Shahraki; Nanofertilizers and their role in sustainable agriculture. Int. J. Agric. Crop Sci. (5): 2229–2232, 2013.

9. N, Kottegoda; I, Munaweera; N, Madusanka; V, Karunaratne; (2011c). A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. Curr. Sci. (101):73–78, 2002.

10. H, Wanyika; E, Gatebe; P, Kioni; Z, Tang; Y, Gao; Mesoporous silica nanoparticles carrier for urea: potential applications in agrochemical delivery systems. J. Nanosci. Nanotechnol. (12): 2221–2228, 2012.

11. N, Milani; MJ, McLaughlin; SP, Stacey; JK, Kirkby; GM, Hettiarachchi; DG, Beak; G, Cornelis; Dissolution kinetics of macronutrient fertilizers coated with manufactured zinc oxide nanoparticles. J. Agric. Food Chem. (60): 3991–3998, 2012.

12. H, Zareabyaneh; M, Bayatvarkeshi; Effects of slow-release fertilizers on nitrate leaching, its distribution in soil profile, N-use efficiency, and yield in potato crop. Environ. Earth Sci. (74): 3385–3393, 2015.

13. AR, Mohhamadi; F, Faeznia; Effects of water stress on growth and yield of two potato cul-tivars. Research Report, Agricultural Research Center, Semnan. Shahrood, 2001.

14. DD, Eberl; Controlled release fertilizers using zeolites. USGS Science for Changing World. Tech. Transfer, pp: 1–3, 2008.

31. Manikandan, K. S. Subramanian, Fabrication and characterisation of nanoporous zeolite based N fertilizer. Afric. J. of Agri. Rese. 9(2): 276-284, 2014.
32. CT, MacKown; TC, Tucker; Ammonium nitrogen movement in a coarse-textured soil amended with zeolite. Soil Sci. Soc. Am. J. (49): 235–238, 1985.
33. DW, Ming; ER, Allen; Use of natural zeolites in agronomy, horticulture, and environmental soil remediation. In: DL, Bish; DW, Ming; (Eds.), Natural Zeolites, 2001.
34. TS, Perrin; DT, Drost; JL, Boettinger; JM, Norton; Ammonium-loaded clinoptilolite: a slow-release nitrogen fertilizer for sweet corn. J. Plant Nutr. (21): 515–530, 1998.
35. R, Malekian; J, Abedi-Koupai; SS, Eslamian; Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. J. Hazard. Mater. (185): 970–976, 2011.
36. R, Liu; R, Lal; Potentials of engineered nano-particles as fertilizers for increasing agronomic productions. Sci. Tot. Envir. (514): 131–139, 2015.
37. Halajnia A., S. Oustan, N. Najafi, A. Khataee, A. Lakzian. 2016. Effects of Mg-Al-layered dou-ble hydroxide on nitrate leaching and nitrogen uptake by maize in a calcareous soil. Com. in Soil Sci. and Plant Analys. 47 (9): 1162-1175.Capacitive Characteristics of Electrochemical Capacitors, Nanomaterials, (2013), pp.1-8.
[14] Jae Young Kim, Ji-Wook Jang, Duck Hyun Youn, Jae Yul Kim, Eun Sun Kim and Jae Sung Lee, Graphene–carbon nanotube composite as an effective conducting scaffold to enhance the photoelectrochemical water oxidation activity of a hematite film, RSC Adv., 2, (2012), pp.9415–9422.
[15] G. K. Wertheim, D. E. Buchanan, E. E. Chaban, and J. E. Rowe, Surface effects in photoemission from alkali-fullerides, Solid. State Communications, 83, 785 (1992).
15. Y, Sultan; R, Walsh; C, Monreal; MC, DeRosa; Preparation of functional aptamer films using layer-by-layer self-assembly. Biomacromolecu. (10): 1149–1154, 2009.
16. E, Mastronardi; P, Tsae; X, Zhang; C, Monreal; MC, DeRosa; Strategic Role of Nanotechnology in Fertilizers: Potential and Limitations. Nanotechnologies in Food and Agriculture. M, Rai; N, Duran; C, Ribeiro; L, Mattoso. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. Springer International Publishing Switzerland, 2015.
17. M, Park; CY, Kim; DH, Lee; CL, Choi; J, Choi; SR, Lee; JH, Choy; Intercalation of magnesiumurea complex into swelling clay. J. Phys. Chem. Solids. (65): 409–412, 2004.
18. F, Cao; S, Mou; M, Li; Palygorskite material-based sustained-release nitrogen fertilizer. CN 1978396, 2007a.
19. F, Cao; S, Mou; M, Li; Palygorskite material-based sustained-release composite fertilizer. CN 1978399, 2007b.
20. F, Cao; S, Mou; M, Li; Palygorskite material-based sustained-release potash fertilizer. CN 10127832, 2007c.
21. F, Cao; S, Mou; M, Li; Palygorskite material-based sustained-release phosphorus fertilizer. CN 1978397, 2007d.
22. F, Zhang; Y, Wang; J, Zhang; Q, Yao; X, Liu; Q, Xiao; Preparation of nano-micro paraffin wax/kaolin mixture for film coating agent. CN 1635027, 2005.
23. Y, Li; G, Yin; L, Li; Z, Liu; Preparation of Ximaxi controlled-release fertilizer. CN 1349958, 2002.
24. D, Nilanjan; Plant nutrient coated nanopar-ticles and methods for their preparation and use. WO 2013121244, 2013.
25. RR, Price; A, Wagner; A method for treating agricultural crops using materials associated with tubular carriers. US 2008194406, 2008.
26. N, Kottegoda; I, Munaweera; AN, Madusanka; V, Karunaratne; Compositions for sustained release of agricultural macronutrients and process thereof. WO 2011151724, 2011a.
27. N, Kottegoda; I, Munaweera; L, Samara-nayake; S, Gunasekara; A, De Alwis; V, Karuna-ratne; AN, Madusanka; Cellulose based sustained release macronutrient composition for fertilizer application. US 20110296887, 2011b.
28. KZ, Hossain; CM, Monreal; A, Sayari; Adsorption of urease on PE-MCM-41 and its catalytic effect on hydrolysis of urea. Collo. Surf. (62): 42–50, 2008.
29. KZ, Hossain; M, Monreal; A, Sayari; Con-trolled release of a plant growth regulator, α-naphthalene acetate from the lamella of Zn–Al layered double hydroxide complex. J. Cont. Rele. (8): 417–427, 2002.
30. AS, Ruby Celsia; R, Mala; Fabrication of Nano Structured Slow Release Fertilizer System and its Influence on Germination And Biochemical Characteristics of Vigna Raidata. I. J. of Chem. Tech. Rese. 6(10): 4497-4503, 2014.