



Production of Slow Release Urea Fertilizer by Three Methods of Rotary Drum Coating, Insitu and Two-Stage Hydrogel Synthesis and Evaluation Their Performance in Tomato Greenhouse Cultivation

Mehri Salimi¹, Elaheh Motamedi², Babak Motesharezedeh^{3✉}, Hossein Ali Alikhani⁴, Hossein Mirseyed Hosseini⁵

1. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: mehri.salimi@ut.ac.ir
2. Department of Nanotechnology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: motamedi.elahesh@gmail.com
3. Corresponding Author, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: moteshare@ut.ac.ir
4. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: halkhan@ut.ac.ir
5. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mirseyed@ut.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type: Research Article

Article history:

Received: Nov. 11, 2021

Revised: March. 9, 2022

Accepted: Sep. 10, 2022

Published online: Oct. 23, 2022

Keywords:

Coating, Nanocomposite,
Slow release fertilizer,
Starch,
Rotary Drum,
Hydrogel,
tomato.

Today, in order to increase the efficiency of fertilizer use and reduce environmental pollution, the production and consumption of slow-release fertilizers is considered. The objective of the current study was to apply three methods of rotary drum (A), insitu hydrogel synthesis (B) and two-stage (C) to reduce the solubility rate of urea fertilizer using starch as a cheap and environmentally friendly source and evaluation the comparative efficiency of these samples on the growth and nutritional responses of tomatoes. At first, fertilizers were synthesized in three methods. Then, the effects of synthesized samples (A,B and C) were compared with un-coated urea granules on morphological characteristics of tomatoes. A factorial based on completely randomized blocks design were utilized with three replications in 2020 in greenhouse conditions, at 180 and 420 kg/ha of each fertilizer treatment. The results showed that urea release rate after 6 hours from synthesized (A, B and C) fertilizers was reduced 87.33, 32.08 and 29.22%, respectively compared to un-coated urea. Comparison of coating methods showed that the highest amount of dry weight (roots and shoots), stem length, chlorophyll content and number of leaves and lateral branches were observed in C fertilizer treatment. Nitrogen use efficiency and apparent nitrogen recovery in C fertilizer treatment increased 36.54 and 27.04% compared to urea, respectively. The use of starch as a natural biopolymer in the structure of these fertilizers reduces nitrogen loss and environmental pollution.

Cite this article: Salimi, M., Motamedi, M., Motesharezedeh, B., Alikhani, H. A. & Mirseyed Hosseini, H. (2022). Production of slow release urea fertilizer by three methods of rotary drum coating, insitu and two-stage hydrogel synthesis and evaluation their performance in tomato greenhouse cultivation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8), 1715-1726.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.333757.669128>

تولید کود اوره آهسته‌رهش به سه روش پوشش‌دهی با روتاری درام، سنتز هیدروژل همزمان و دو مرحله‌ای و بررسی عملکرد آن‌ها در کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی

مهری سلیمی^۱، الهه معتمدی^۲، بابک متشروع زاده^۳، حسینعلی علیخانی^۴، حسین میرسیدحسینی^۵

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: mehri.salimi@ut.ac.ir

۲. بخش نانوتکنولوژی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، ایمیل: motamedi.elahesh@gmail.com

۳. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: [moteshare@ut.ac.ir](mailto:motamedi.elahesh@gmail.com)

۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: halikhan@ut.ac.ir

۵. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، ایمیل: mirseyed@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۸/۱

واژه‌های کلیدی:

پوشش‌دهی،

روتاری درام،

کود آهسته‌رهش،

گوجه فرنگی،

نانو کامپوزیت،

نشاسته،

هیدروژل.

امروزه به منظور افزایش کارایی مصرف کودها و کاهش آلودگی محیط زیست، تولید و مصرف کودهای آهسته‌رهش مورد توجه قرار دارد. هدف از انجام این پژوهش کاربرد سه روش روتاری درام (A)، سنتز هیدروژل همزمان (B) و دو مرحله‌ای (C) برای کاهش سرعت حلالیت کود اوره با استفاده از نشاسته به عنوان یک منبع ارزان قیمت و سازگار با محیط زیست و بررسی اثر مقایسه‌ای این کودها، بر رشد و پاسخ‌های تغذیه‌ای گیاه گوجه‌فرنگی بود. در ابتدا کودها به سه روش سنتز شدند. نتایج نشان داد که میزان رهاسازی اوره پس از ۶ ساعت از کودهای A، B و C در مقایسه با اوره معمولی به ترتیب ۲۹/۲۲، ۸۷/۳۳ و ۳۲/۰۸ درصد کاهش یافت. مقایسه روش‌های پوشش‌دهی نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک (ریشه و اندام هوایی)، طول ساقه، میزان کلروفیل و تعداد برگ و شاخه‌های جانبی در تیمار کودی C مشاهده شد. کارایی مصرف نیتروژن و بازیابی ظاهری نیتروژن در تیمار کودی C به ترتیب ۳۶/۵۴ و ۲۷/۰۴ درصد نسبت به اوره افزایش یافت. بنابراین استفاده از نشاسته به عنوان یک بیوپلیمر طبیعی در ساختار این کودها باعث کاهش اتلاف نیتروژن و آلودگی محیط زیست می‌شود.

استناد: سلیمی، مهری؛ معتمدی، الهه؛ متشروع‌زاده، بابک؛ علیخانی، حسینعلی؛ میرسیدحسینی، حسین. (۱۴۰۱). تولید کود اوره آهسته‌رهش به سه روش پوشش‌دهی با روتاری درام، سنتز هیدروژل همزمان و دو مرحله‌ای و بررسی عملکرد آن‌ها در کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۸)، ۱۷۲۶-۱۷۱۵.



DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.333757.669128>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت، کشاورزان از کودهای شیمیایی برای افزایش تولید در واحد سطح استفاده می‌کنند که استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی باعث هدرروی عناصر غذایی می‌گردد؛ به طوری که ۴۰ تا ۷۰ درصد از کودهای شیمیایی از دسترس گیاه خارج شده و علاوه بر ضررهای اقتصادی باعث آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی شده و خسارات جبران ناپذیری را به محیط زیست وارد می‌کند (Azeem et al., 2014). بنابراین برای استفاده کارآمدتر از کودهای شیمیایی باید تمهیداتی اندیشیده شود که یکی از این راهکارها پوشش‌دهی کودهای شیمیایی و کاهش میزان حلالیت آن‌ها و تولید کودهای آهسته رهش می‌باشد. کودهای آهسته‌رهش، کودهایی با طراحی هدفمند هستند که مواد غذایی موجود در کود را به صورت کنترل شده و مطابق با نیاز گیاه آزاد می‌کنند، بنابراین علاوه بر افزایش عملکرد گیاه، کارایی جذب عناصر غذایی از خاک را نیز افزایش می‌دهند (Azeem et al., 2014) روش‌های مختلفی برای سنتز کودهای آهسته‌رهش وجود دارد که می‌توان به روش‌های شیمیایی، کپسوله کردن و سیستم ماتریس اشاره کرد. در سیستم کپسوله کردن، کود با یک مانع فیزیکی مقاوم در برابر آب، پوشش داده می‌شود تا میزان رهاسازی از این طریق کاهش یابد. اسپری کردن و غوطه ور کردن کود در مایع پوششی نمونه هایی از این روش‌ها هستند (Fertahi et al., 2021).

در روش شیمیایی کود با آلدیدهای مختلفی واکنش می‌دهد تا میزان حلالیت آن در آب کاهش یابد. تولید اوره فرمالدهید نمونه‌ای از این روش است. روش سوم، استفاده از سیستم ماتریسی می‌باشد. در این روش عناصر غذایی به شکل یکنواختی در ماتریس پراکنده می‌شود. فرآیند رهاسازی از طریق نفوذ در تخلخل‌های ماتریس انجام می‌گیرد (Shayesteh and Sadeghi., 2017). هیدروژل‌ها نمونه ای از این روش است که کودهای شیمیایی در ماتریس پلیمری پراکنده می‌گردد (Fertahi et al., 2021). از دو روش برای بارگذاری کود در سیستم ماتریس استفاده می‌شود؛ در روش سنتز همزمان که کود در هنگام سنتز هیدروژل به آن اضافه می‌شود و در روش دو مرحله‌ای ابتدا هیدروژل خشک گردیده و سپس در کود مایع غوطه‌ور می‌شود (Ramli, 2019).

مواد مختلفی که تاکنون برای پوشش‌دهی کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند دارای مزایا و معایبی هستند به عنوان مثال کودهای پوشش‌دهی شده با گوگرد دارای پوششی غیریکنواخت و شکننده هستند و در اثر حمل و نقل به راحتی شکاف برداشته و از مقاومت مکانیکی کمتری برخوردارند. پوشش‌های رزینی، فرم آلدیدی به دلیل قیمت بالا، هزینه‌های زیادی را به کشاورزان تحمیل می‌کنند. علاوه بر این، غیرقابل تجزیه بودن و سمیت پوشش‌های حاصل از پلیمرهای مصنوعی و آلودگی محیط زیستی ناشی از انباشت آنها، پژوهشگران را بر آن داشت تا از موادی با قیمت و آلودگی کمتر برای محیط زیست برای پوشش‌دهی کودهای شیمیایی استفاده کنند. لیگنین، کیتوسان، سدیم آلزینات و رزین با نشاسته اصلاح شده از جمله مواد طبیعی هستند که برای پوشش‌دهی کودها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پژوهشگران از لاتکس پلیمرینشاسته برای پوشش‌دهی کود دی آمونیوم فسفات استفاده کردند و سرعت رهاسازی فسفر و نیتروژن را در مقایسه با کودهای بدون پوشش به سه برابر کاهش دادند (Sofyane et al., 2021). همچنین Salimi et al (2020) از روش پلیمریزاسیون رادیکالی همزمان برای سنتز نوعی کود آهسته‌رهش نانوکامپوزیت پلیمری مبتنی بر نشاسته استفاده کردند و نتایج آنها نشان داد که میزان رهاسازی اوره از هیدروژل‌های سنتز شده به میزان قابل توجهی کاهش و ظرفیت جذب و نگهداری آب نیز بهبود یافت. آنها در مطالعه دیگری از روتاری درام برای پوشش‌دهی کود اوره گرانوله استفاده کردند و لاتکس نانوکامپوزیت پلیمری بر پایه نشاسته را بر روی کود اوره اسپری کردند و در نهایت نتیجه گرفتند که پوشش‌دهی کود با لاتکس پلیمری، موجب کاهش سرعت رهاسازی اوره در مقایسه با رزین تجاری شد (Salimi et al., 2021). با توجه به مطالب ذکر شده هدف از انجام این پژوهش مقایسه عملکرد کود اوره پوشش‌دهی شده با نانوکامپوزیت پلیمری بر پایه نشاسته به روش روتاری درام^۱، سنتز همزمان هیدروژل^۲ و سنتز دومرحله‌ای^۳ بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه گوجه فرنگی به منظور انتخاب مؤثرترین روش در بهبود عملکرد گیاه و کاهش هدر رفت کود بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه و گلخانه تحقیقاتی پژوهشگاه بیوتکنولوژی واقع کرج در سال ۱۳۹۹ انجام گرفت که از سه روش برای تولید کودهای آهسته‌رهش استفاده شد.

¹ Rotary Drum

² Insitu Hydrogel Synthesis

³ Two-Stage



روش اول: برای پوشش دهی کود اوره به روش روتاری درام، ابتدا نشاسته توزین و با آب مقطر (۵٪ وزنی) به مدت نیم ساعت با همزن مکانیکی به خوبی مخلوط شد. ظرف واکنش در حمام روغن قرار گرفت و تا ۸۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد و نانوذرات بیوچار دیسپرس شده توسط دستگاه اولتراسونیک به ظرف واکنش اضافه شد؛ سپس مخلوطی از مونومرهای استایرن، بوتیل آکریلات، آب مقطر و توئین ۸۰ به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شدند. در نهایت آغازگر (آمونیم پروسولفات) با آب مقطر به واکنش مورد نظر اضافه شده و به مدت ۳ ساعت در ۸۰ درجه سانتی گراد مخلوط شدند تا واکنش کامل شود. نسبت‌های وزنی بهینه شده از مونومرها بصورت استایرن:نشاسته (۱:۳) و استایرن:بوتیل آکریلات (۱:۱) بود. به منظور پوشش دهی، ۱ کیلوگرم از کود اوره داخل دستگاه روتاری درام ریخته و ۵۰۰ میلی لیتر از فرمولاسیون لاتکس پلیمری با استفاده از نازل دستگاه بر روی آن اسپری شد و با باد گرم حاصل از دستگاه خشک شد (Salimi et al., 2021). با در نظر گرفتن نسبت‌های بهینه، برای تهیه ۱ کیلوگرم از کود اوره پوشش دهی شده، ۲۰ گرم نشاسته و ۶۰ گرم از هر یک از مونومرهای استایرن و بوتیل آکریلات مورد نیاز است.

روش دوم: سنتز همزمان هیدروژل که از طریق واکنش کوپلیمریزاسیون رادیکالی انجام گرفت. در این روش نشاسته، مونومرهای آکریلیک، نانوذرات بیوچار و اوره با نسبت‌های مختلف وزنی استفاده شدند. به طور خلاصه مقدار معینی نشاسته با ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر در یک بالن چند دهانه مجهز به همزن مکانیکی مخلوط شد. سپس مقدار معینی نانوبیوچار و اوره به ۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه و به مدت ۱۵ دقیقه توسط دستگاه اولتراسونیک دیسپرس شد و سپس به مخلوط نشاسته اضافه شد. مواد به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مکانیکی مخلوط شد و مونومرهای آکریلیک (آکریل آمید و آکریلیک اسید (۶۰٪ خنثی شده با هیدروکسیدپتاسیم)) به آن اضافه شدند. سپس کراس لینکر و آغازگر به مخلوط واکنش اضافه شدند تا مخلوط همگنی تهیه شود. واکنش در حمام روغن تا ۸۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد تا ژل چسبنده‌ای حاصل شود. ژل مورد نظر برای حذف مونومرهای باقیمانده با متانول شستشو داده شده و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در آن خلاء خشک و سپس پودر شد. نسبت‌های بهینه برای تهیه اوره پوشش دار به روش سنتز همزمان بصورت اوره:نشاسته (۱:۱/۵)، اوره:اکریلامید (۱:۲) و اوره:اکریلیک اسید خنثی شده (۴:۱) بود که به این ترتیب برای تهیه ۱ کیلوگرم ترکیب هیدروژل حاوی اوره به میزان ۱۱۰ گرم نشاسته، ۷۲ گرم اکریلامید و ۴۰۰ گرم اکریلیک اسید مورد نیاز است (Salimi et al., 2020).

روش سوم: روش دومرحله‌ای که در این روش ابتدا پوشش هیدروژلی مورد نظر تولید شد که ترکیب آن مشابه روش قبل بود با این تفاوت که کود اوره در ترکیب پوشش مورد نظر استفاده نشد. برای پوشش دهی ابتدا محلول ۱۰ درصد اوره آماده شد و سپس مقدار ۰/۳ گرم از هیدروژل مورد نظر توزین کرده و به ۶ میلی لیتر اوره ۱۰ درصد و ۶ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد و کاملاً مخلوط شد تا ترکیب ژل یکنواختی حاصل شود. سپس این ژل در دمای ۴۰ درجه سلسیوس در آن خشک شد (Ramli., 2019).

به منظور بررسی اثر این کودها بر رشد گیاه گوجه‌فرنگی، سه نوع کود A (سنتز شده به روش روتاری درام)، B (هیدروژل‌های سنتز شده به روش همزمان) و C (سنتز دومرحله‌ای) انتخاب و اثر آنها بر رشد و عملکرد گیاه مورد بررسی قرار گرفتند و با کود اوره معمولی و شاهد مقایسه شدند. برای هر بوته گوجه‌فرنگی گلدان ۲ کیلوگرمی شامل مخلوطی از کوکوپیت، پرلیت و ماسه با نسبت ۱:۱:۱ استفاده شد. تیمارهای کودی A، B، C و اوره در سه سطح شامل صفر، ۱۸۰ و ۴۲۰ کیلوگرم در هکتار به بستر کشت اضافه و با خاک به خوبی مخلوط شدند (میزان اوره مصرفی در هر چهار کود یکسان بود)؛ یک گلدان نیز به عنوان شاهد (بدون کود) در نظر گرفته شد. سپس داخل هر گلدان ۴ بذر کاشته شد. پس از جوانه‌زنی و ظهور برگ‌های حقیقی به منظور تولید نشاءهای قوی، عملیات تنک کاری انجام گرفت و داخل هر گلدان یک نشاء باقی ماند. در زمان‌های مورد نیاز آبیاری صورت گرفت. عناصر مورد نیاز (به غیر از نیتروژن) طبق آزمون خاک و به صورت محلول غذایی هوگلند همراه با آبیاری در ۳ مرحله در اختیار گیاه قرار گرفت. برداشت گیاهان پس از اتمام رشد رویشی و شروع میوه‌دهی گیاه انجام گرفت. پس از برداشت، طول ساقه، طول ریشه، تعداد برگ، وزن خشک (ریشه و اندام هوایی)، تعداد شاخه‌های جانبی، میزان کلروفیل، درصد نیتروژن کل در خاک و گیاه (به روش کجدال (Haluschak, 2006) و غلظت نترات (Cataldo et al, 1975) در اندام‌هوایی تعیین شد. کارایی مصرف نیتروژن (NUE)^۱ (Fan et al., 2004)، کارایی زراعی مصرف نیتروژن (NAE)^۲ و بازیابی ظاهری نیتروژن (NRF)^۳ (Malakouti and Baba Akbari, 2005) نیز با استفاده از روابط زیر نیز محاسبه شد.

^۱ . Nitrogen Use Efficiency

^۲ . Nitrogen Agronomic Efficiency

3 . Nitrogen Apparent Recovery Fraction

$$NUE = \frac{W_g}{N_f} \quad \text{رابطه ۱}$$

NUE کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)، N_f مقدار نیتروژن مصرفی به صورت کود بر حسب کیلوگرم، W_g وزن اندام‌هوایی

بر حسب کیلوگرم

$$NAE = \frac{Y_{NX} - Y_{N0}}{N_f} \quad \text{رابطه ۲}$$

NAE کارایی زراعی نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)، Y_{NX} عملکرد کل ماده خشک در تیمار کودی، Y_{N0} عملکرد در تیمار شاهد

(بدون کود)، N_f کل نیتروژن مصرفی بر حسب کیلوگرم

$$NRF = \frac{D-E}{B} * 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

NRF بازایی ظاهری نیتروژن بر حسب درصد، D جذب عنصر غذایی توسط گیاه در تیمار کودی، E جذب عنصر غذایی توسط

گیاه در تیمار شاهد (بدون کود) و B مقدار نیتروژن مصرفی بر حسب کیلوگرم.

کشت گلخانه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل (با دو تیمار روش پوشش‌دهی کود و غلظت کود) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی

با سه تکرار و تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام گرفت.

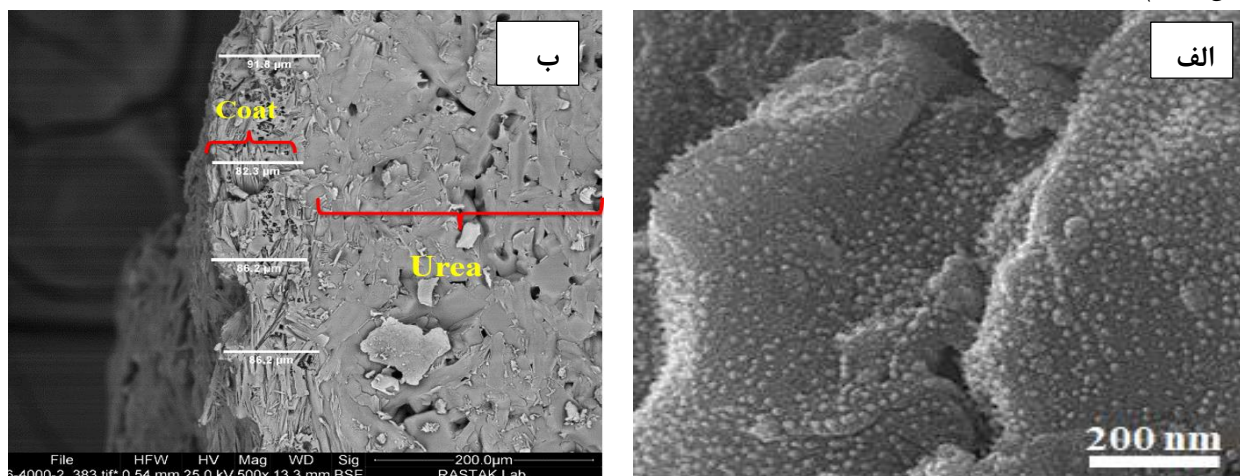
از میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی، FESEM^۱ (مدل TESCAN MIRA II؛ با ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰ کیلوولت)، برای

مشخصه‌یابی و بررسی وجود نانوبیوچار در زمینه هیدروژل و چگونگی توزیع آنها در نانوکامپوزیت پلیمری و همچنین برای بررسی ضخامت پوششی و یکنواختی آن بر روی کودهای پوشش‌دهی شده با روتاری درام استفاده شد.

نتایج و بحث

مشخصه‌یابی

شکل ۱ (الف) توزیع تصادفی و یکنواخت نانوذرات را در ماتریس هیدروژل نشان می‌دهد نانوذرات بیوچار با اندازه کمتر از ۲۰ نانومتر به صورت متراکم و با توزیع یکنواخت در زمینه پلیمری پراکنده شده‌اند. توزیع یکنواخت نانوذرات بدون نیاز به لیگاند، سورفکتانت و یا عامل پایدارکننده، مؤید این موضوع است که گروه‌های عامل اکسیژنی در برقراری اندرکنش‌های پایدار کننده (مانند پیوندهای هیدروژنی و برهمکنش الکترواستاتیکی) بین پلیمر و نانوذرات نقش موثر و مطلوبی داشته‌اند. همچنین از آنالیز FESEM به منظور تأیید پوشش‌دهی کود اوره گرانولی و تعیین میزان ضخامت پوشش ایجاد شده در کودهای پوشش‌دهی شده به روش روتاری درام استفاده شد. پوشش ایجاد شده بر روی کود اوره گرانوله هرچند بسیار صاف و یکنواخت بود اما ضخامت آن در قسمت‌های مختلف از ۸۲ تا ۱۱۰ نانومتر متغیر بود (شکل ۱، ب).

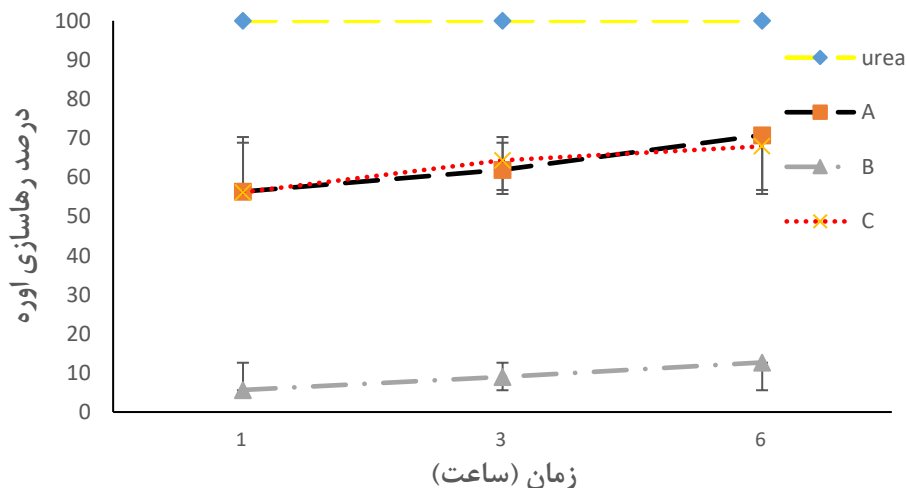


شکل ۱- تصاویر SEM از الف) نانوبیو کامپوزیت پلیمری نشاسته (اکریلیک اسید- کو- اکریل آمید)/ نانوبیوچار (روش B و C)، ب) بررسی میزان ضخامت ایجاد شده بر روی کود اوره گرانولی در پوشش‌دهی به روش روتاری درام

^۱. Field Emission Scanning Electron Microscope

میزان رهاسازی اوره از کودهای پوشش‌دهی شده به روش‌های مختلف

شکل ۲ میزان رهاسازی اوره از کودهای پوشش‌دهی شده به سه روش مختلف (A، B و C) و اوره بدون پوشش را در مدت ۶ ساعت نشان می‌دهد. مکانیسم رهاسازی عناصر غذایی از کودهای پوشش‌دهی شده شامل جذب آب به داخل پوشش پلیمری، حل شدن اوره و انتشار آهسته آن به خارج از شبکه پلیمری از طریق تبادل آب بین پوشش پلیمری و محیط بیرونی آن است (Xiao et al., 2017). همان‌طور که انتظار می‌رفت بیشترین مقدار رهاسازی مربوط به اوره بدون پوشش بود که در مدت زمان ۵ دقیقه، کل اوره در آب حل شد؛ در حالیکه رهاسازی اوره از هر سه کود پوشش‌دهی شده به میزان قابل توجهی کمتر از اوره بدون پوشش بود. پس از گذشت ۶ ساعت ۱۲/۶۷ درصد از اوره پوشش‌دهی شده به روش B رهاسازی شده است که نسبت به کود اوره بدون پوشش ۸۷/۳۳ درصد کاهش نشان می‌دهد، پس از آن کمترین مقدار رهاسازی مربوط به کود C و سپس A بود که به ترتیب ۳۲/۰۸ و ۲۹/۲۲ درصد نسبت به اوره معمولی کاهش نشان می‌دهند. بنابراین کودهای B کارایی بالاتری در کنترل رهاسازی اوره داشت. استفاده از نانوذرات در ساختار این کودها موجب کاهش سرعت رهاسازی اوره می‌شود (Salimi et al. 2020). اگرچه در هر سه روش از نانوذرات بیوپار استفاده شده است اما نتایج نشان‌دهنده رهاسازی کمتر اوره پوشش‌دهی شده به روش B نسبت به A و C بود. کاهش بسیار قابل توجه رهاسازی اوره از این کودها در مقایسه با روش A و C احتمالاً به چند دلیل صورت می‌گیرد که به طور خلاصه بیان می‌شود. تعامل فیزیکی مطلوب بین نانوذرات، اوره و ماتریس هیدروژل مبتنی بر نشاسته موجب به دام افتادن اوره در ماتریس پلیمری می‌شود که در نهایت باعث بهبود کنترل رهاسازی اوره می‌شود (Salimi et al. 2020). همچنین نانوذرات بیوپار که به طور یکنواخت در ماتریس پلیمری پراکنده شده‌اند، می‌توانند از طریق تشکیل مسیر پر پیچ و خم خواص سدکنندگی هیدروژل را افزایش داده و انتشار اوره را به محیط اطراف محدود کنند (شکل ۱، الف). روش B هرچند یک روش متداول برای سنتز کودهای آهسته‌رهش است اما معایبی نیز دارد؛ احتمال تجزیه کود شیمیایی در این روش وجود دارد (Ramli., 2019). همچنین استفاده از متانول به منظور حذف ناخالصی‌های موجود در هیدروژل موجب خارج شدن مقادیری از اوره و هدرروی آن می‌شود. (Olad and Gharakhani (2017 گزارش کردند که استفاده از نانوذرات سیلیکا در ساختار هیدروژل (روش B) سرعت رهاسازی نیتروژن را کاهش می‌دهد که به دلیل تخلخل‌های بهم پیوسته در ساختار شبکه‌ای فرمولاسیون هیدروژلی است. در واقع نانوسیلیکا یک شبکه سه‌بعدی با تخلخل بالا را ایجاد می‌کند که باعث می‌شود محلول کود برای انتشار از داخل فرمولاسیون به محیط رهایش مسیر پر پیچ و خمی را طی کند که این امر باعث می‌شود که سرعت رهاسازی کاهش پیدا کند. در روش C با اینکه از هیدروژل استفاده شده است اما محلول اوره تنها در سطوح خارجی هیدروژل نفوذ می‌کند که این امر باعث سهولت رهاسازی نیتروژن می‌گردد.



شکل ۲- درصد رهاسازی اوره از کودهای پوشش‌دهی شده به روش A، B و C و اوره معمولی

اثر کودهای سنتز شده بر خصوصیات مورفو- فیزیولوژیکی گیاه گوجه‌فرنگی

نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها نشان داد که روش پوشش‌دهی اثر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ، میزان کلروفیل، تعداد شاخه‌های جانبی ($p < 0.01$) و همچنین وزن خشک ریشه ($p < 0.05$) داشت. از طرفی غلظت کودهای مورد استفاده تنها بر میزان

کلروفیل ($p < 0.01$) اثر معنی‌دار داشت. اثر متقابل روش پوششی دهی و غلظت کود نیز بر میزان کلروفیل، تعداد برگ ($p < 0.01$)، طول اندام‌هوایی و تعداد شاخه‌های جانبی ($p < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای تولید شده به روش (A، B و C)، دوره و غلظت کود بر وزن خشک (ریشه و اندام‌هوایی)، طول (ریشه و ساقه)، قطر ساقه، تعداد (برگ و شاخه‌های جانبی) و میزان کلروفیل SPAD در گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک		طول	قطر ساقه	تعداد برگ	کلروفیل	شاخه‌های جانبی
		ریشه	اندام‌هوایی					
بلوک	۲	۰/۱۷۸ ^{ns}	۰/۰۸۳ ^{ns}	۲۸/۱۰ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱۷۵۲۲/۲۳ ^{ns}	۱۲/۷۶ ^{ns}	۳۱/۶۳ ^{ns}
کود	۴	۰/۸۰۱*	۷۰/۱۰**	۳/۰۹ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}	۷۸۶۱۸/۱۱**	۳۸۳/۴۱**	۵۲۶/۷۱**
غلظت	۱	۰/۲۵۳ ^{ns}	۱۵/۷۵ ^{ns}	۱/۸۷ ^{ns}	۰/۶۳ ^{ns}	۵۰۴۴/۰۳ ^{ns}	۱۹۰/۰۰**	۵۸/۸۰ ^{ns}
نوع کود * غلظت	۴	۰/۰۵۴ ^{ns}	۱۰/۳۸ ^{ns}	۱۲/۳۹ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۵۱۲۵۶/۲۸**	۶۱/۱۶**	۱۶۷/۸۸*
خطا	۱۸	۰/۱۹۵	۷/۵۹	۸/۸۴	۰/۲۷	۸۵۱۸/۰۴	۷/۸۰	۵۷/۳۰
ضریب تغییرات	-	۱۲/۱۹	۶/۳۲	۷/۳۷	۱۰/۹۵	۱۲/۴۹	۸/۰۷	۷/۷۶

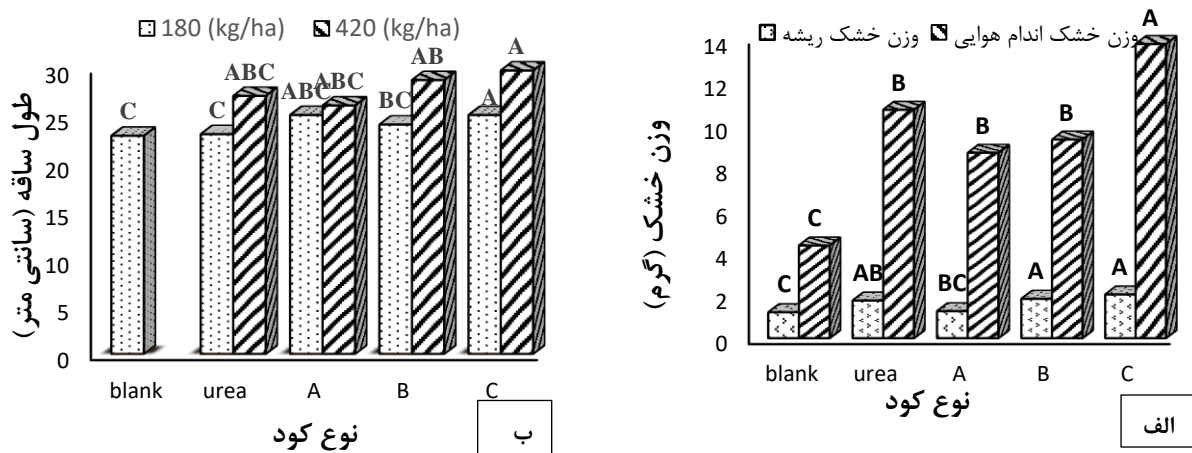
ns، ** و * به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که وزن خشک ریشه به ترتیب در تیمارهای $C > B > Urea > A > blank$ است و همچنین وزن خشک اندام‌هوایی نیز در $C > Urea > B > A > blank$ است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بیشترین وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی در تیمار کودی C (سنتز شده به روش دومرحله‌ای) مشاهده شد که مقادیر یدست آمده حتی از تیمار کودی دوره بدون پوشش نیز بالاتر بود؛ وزن خشک ریشه و اندام‌هوایی در تیمار پوشش‌دهی دوره به روش دومرحله‌ای (C) نسبت به دوره معمولی، به ترتیب ۱۳/۷۲ و ۳۴/۲۲ درصد افزایش داشت (شکل ۳، الف). بیشترین طول ساقه نیز در تیمار کودی C با غلظت ۴۲۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که به ترتیب ۲۳/۰۲ و ۸/۹۶ درصد نسبت به شاهد و کود دوره معمولی افزایش یافته است (شکل ۳، ب). همچنین به طور مشابه، تیمار کودی C بیشترین تعداد برگ و شاخه‌های جانبی را داشت که در مقایسه با تیمار کودی دوره به ترتیب ۴۶/۷۶ و ۳۵/۰۵ درصد افزایش داشت (شکل ۴، شکل ۵، الف و ب). (Rychter et al (2016) در بررسی اثر کود دوره پوشش‌دار شده بر رشد گیاه یولاف و تریچه نتیجه گرفتند که نشاسته مورد استفاده رشد گیاه را تحریک کرده و وزن تر و خشک گیاه را افزایش می‌دهد. (Zafar et al. (2021 نیز گزارش کردند که پوشش‌دهی کود دوره با نشاسته و پلی وینیل الکل به طور معنی‌داری موجب افزایش عملکرد گیاه اسفناج (عملکرد اندام‌هوایی، میزان کلروفیل و بازیابی ظاهری نیتروژن) شد. یکی از دلایل احتمالی افزایش عملکرد، تأمین مداوم و پایدار نیتروژن خاک توسط کودهای آهسته‌رهش برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در فرآیندهای فیزیولوژیکی می‌باشد که باعث بهبود عملکرد می‌شود. (Saurabh.2016) روش پوشش‌دهی بر کیفیت پوشش ایجاد شده بر روی کود، تأثیر می‌گذارد و عامل بسیار مهمی در کنترل رهاسازی عناصر غذایی به شمار می‌رود (Fertahi et al., 2021). نتایج نشان می‌دهد که کودهای سنتز شده به روش دومرحله‌ای بیشترین تأثیر را بر عملکرد گیاه داشتند. در روش A اگرچه عواملی مانند سرعت چرخش و سرعت اسپری کردن ماده پوششی به منظور کاهش آسیب مکانیکی بر روی کودها قابل کنترل است اما عدم یکنواختی در ضخامت پوششی موجب رهاسازی نامنظم عناصر غذایی می‌شود که به نوبه خود بر روی رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Li et al., 2017)؛ تصویر SEM از کود دوره پوشش‌دهی شده با روتاری درام نشان می‌دهد که علیرغم اینکه یک لایه یکنواخت از مواد پوششی بر روی کود تشکیل شده است اما ضخامت این لایه پوششی متغیر بوده (۸۰-۱۱۰ نانومتر) که همین عامل می‌تواند باعث رهاسازی نامنظم عناصر غذایی گردد (شکل ۱-ب). رهاسازی نامنظم باعث می‌شود رهاسازی عناصر غذایی متناسب با زمان نیاز گیاه نباشد و هدررفت عناصر غذایی را به همراه خواهد داشت. کودهای سنتز شده به روش C نسبت به کودهای تیمار شده به روش B نیاز به دو مرحله خشک کردن دارند که باعث افزایش هزینه تولید می‌شود. با این وجود در روش B به منظور جلوگیری از تولید مواد جانبی و تولید بیورت از دوره در دمای بالا، به کنترل دقیق‌تری نیاز است (Ramli., 2019). همچنین مقادیر زیادی متانول جهت شستشو مورد نیاز می‌باشد؛ که علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، به دلیل سمیت خطرناکی را به همراه دارد. میزان رهاسازی دوره در تیمار c نسبت به B موید رشد بیشتر گیاه در تیمار C است (شکل ۲). وزن خشک ریشه و ساقه در تیمار کودی C به ترتیب ۹/۸۰ و ۳۲/۴۵ درصد نسبت به تیماری کودی B افزایش داشت (شکل ۳، الف). میزان کلروفیل، تعداد برگ و طول ساقه در تیمار کودی C با غلظت

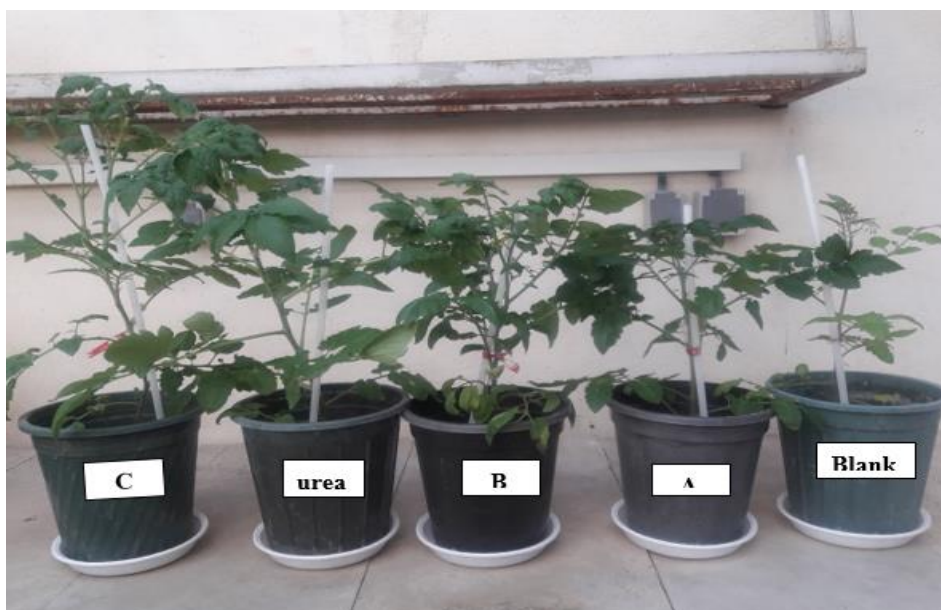
۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۱۴/۳۵، ۲۴/۵۳ و ۴ درصد نسبت به تیمار کودی B افزایش نشان داد (شکل ۳، ب و شکل ۵ الف، ب و ج). (Rabat et al. (2014) گزارش دادند که گیاهان تیمار شده با کودهای B نسبت به C رشد بهتری داشتند که احتمالاً در این تحقیق استفاده از متانول به منظور حذف ناخالصی‌ها (Salimi et al., 2020) موجب خارج شدن مقادیر قابل توجهی اوره و کاهش نیتروژن قابل استفاده برای گیاه و در نهایت کاهش رشد گیاه می‌شود.

اثر کودهای سنتز شده بر میزان نیتروژن (خاک و گیاه)، نیترات، کارایی مصرف نیتروژن، بازیابی ظاهری و زراعی نیتروژن در گیاه گوجه‌فرنگی

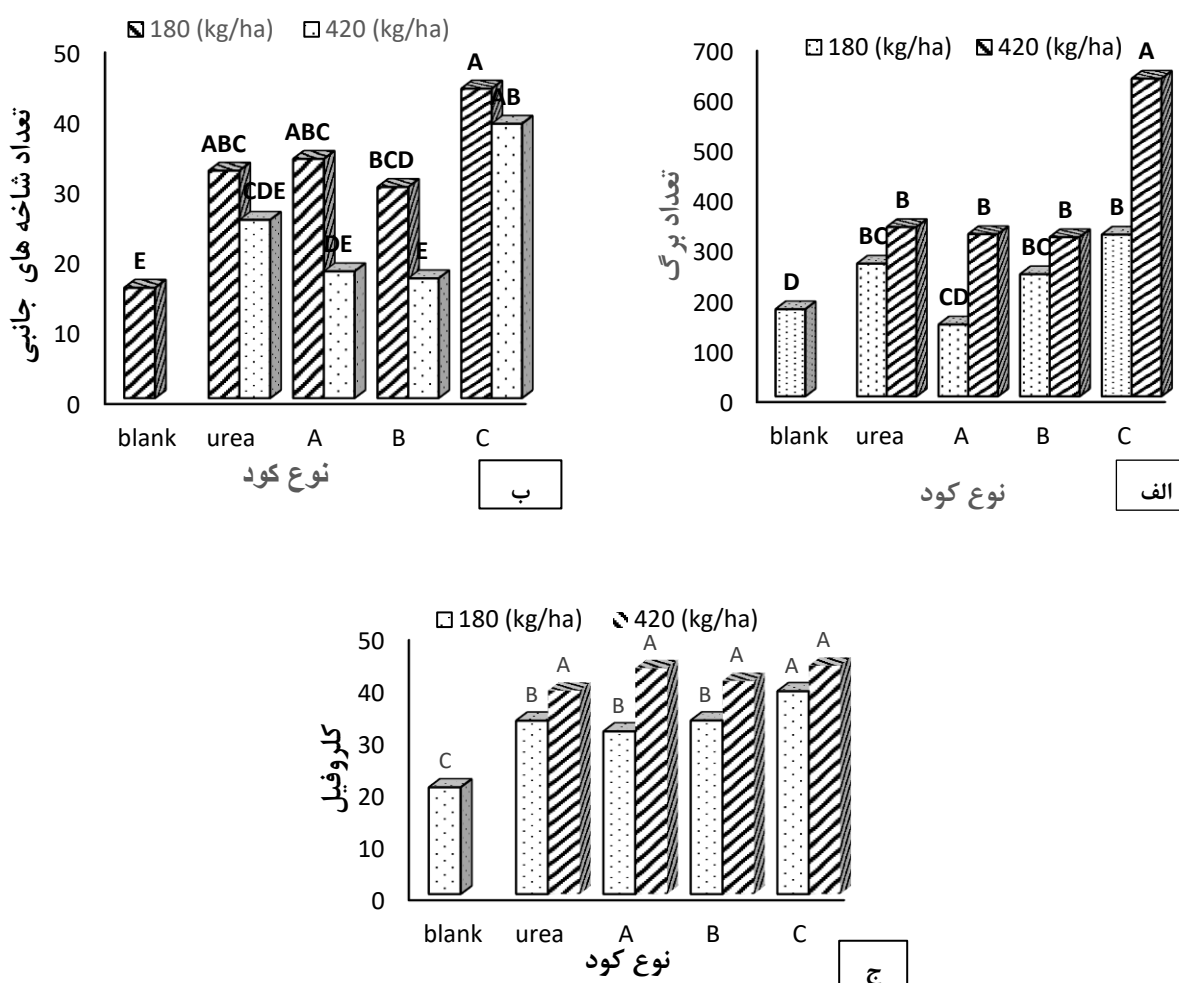
نتایج تجزیه واریانس جدول ۲ نشان داد که روش تولید و غلظت کود اثر معنی‌داری بر نیتروژن کل گیاه و خاک داشت ($p < 0.01$). همچنین این دو تیمار و اثر متقابل آنها اثر معنی‌داری بر نیترات گیاه داشت ($p < 0.01$). روش پوشش‌دهی و غلظت کود اختلاف معنی‌داری بر کارایی مصرف نیتروژن نشان دادند ($p < 0.01$), در حالی که اثر متقابل دو تیمار تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. علاوه بر این روش پوشش‌دهی اختلاف معنی‌داری بر کارایی زراعی و بازیابی ظاهری نیتروژن داشت ($p < 0.01$), همچنین اثر تیمار غلظت و روش پوشش‌دهی بر بازیابی ظاهری نیتروژن معنی‌دار شد ($p < 0.01$).



شکل ۳- الف) اثر کودهای تولید شده به روش (A، B، C) و اوره بر میزان وزن خشک (ریشه و اندام‌هوایی) گوجه‌فرنگی و ب) اثر کودهای تولید شده به روش (A، B، C)، اوره و غلظت طول ساقه گوجه‌فرنگی



شکل ۴- اثر کودهای تولید شده به روش (A، B، C) و اوره معمولی بر تعداد برگ و شاخه‌های جانبی گوجه‌فرنگی



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر کودهای تولید شده به روش (A, B, C)، اوره و غلظت بر (الف) تعداد برگ، (ب) تعداد شاخه های جانبی و (ج) میزان کلروفیل

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای تولید شده به روش (A, B, C)، اوره و غلظت بر بر میزان نیتروژن کل (گیاه و خاک)، نیترات گیاه، کارایی مصرف نیتروژن، کارایی زراعی نیتروژن و بازیابی ظاهری نیتروژن در گوجه فرنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن کل گیاه (درصد)	نیتروژن کل خاک (درصد)	نیترات (میلی گرم / کیلوگرم)
بلوک	۲	۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۸/۰۰ ^{ns}
نوع کود	۳	۰/۶۵۷ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}	۹۴۲۴/۹۰ ^{**}
غلظت	۱	۰/۵۳۱ ^{**}	۰/۰۰ ^{**}	۱۶۵۳۷/۵۰ ^{**}
نوع کود * غلظت	۳	۰/۰۴۶ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۶۹۶/۹۲ ^{**}
خطا	۱۴	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۱۵/۰۹
ضریب تغییرات	-	۳/۸۲	۱۱/۶۸	۴/۱۶
منابع تغییرات	درجه آزادی	کارایی مصرف نیتروژن	کارایی زراعی نیتروژن	بازیابی ظاهری نیتروژن
بلوک	۲	۷/۲۳ ^{ns}	۷/۲۳ ^{ns}	۱/۶۷ ^{ns}
نوع کود	۳	۳۳۷/۴۱ ^{**}	۳۳۷/۴۳ ^{**}	۳۲۳/۴۶ ^{**}
غلظت	۱	۱۱۶۷/۴۷ ^{**}	۱۶۷/۸۵ ^{ns}	۷۰۸۰/۵۶ ^{**}
نوع کود * غلظت	۳	۱۲۰/۱۶ ^{ns}	۱۲۰/۱۶ ^{ns}	۶۸/۹۷ ^{**}
خطا	۱۴	۵۰/۳۱	۵۰/۳۱	۶/۴۷
ضریب تغییرات	-	۸/۸۹	۷/۵۱	۵/۸۱

ns, ** و * به ترتیب عدم اختلاف معنی دار و معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد



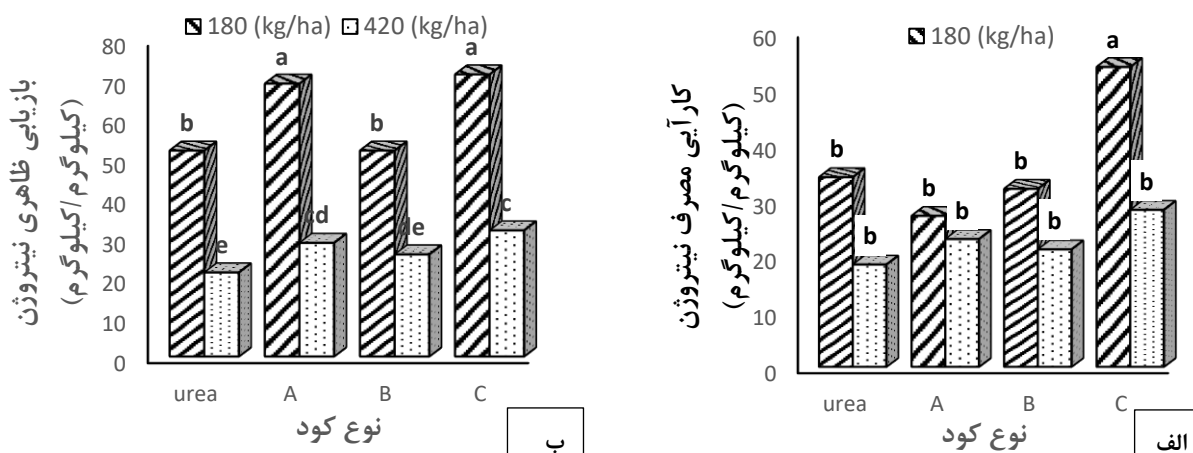
مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که، بیشترین مقدار نیتروژن کل در اندام‌هوایی گیاه و خاک به ترتیب ۳/۸۲ و ۰/۰۴۹ درصد در تیمار کودی C مشاهده شد که نسبت به تیمار کود اوره معمولی به ترتیب ۱۷/۵۳ و ۳۲/۶۵ درصد افزایش نشان می‌دهد (جدول ۳). دو عامل مؤثر بر میزان جذب نیتروژن، نیترات و کارآیی نیتروژن مصرفی خاصیت رهاسازی آهسته کودهای پوشش‌دهی شده و روش پوشش‌دهی است. با توجه به نتایج شکل ۲، کاهش سرعت رهاسازی در کودهای پوشش‌دهی شده نسبت به کود معمولی موجب کاهش هدرروی و افزایش کارآیی مصرف آنها می‌گردد. از طرفی بیشترین درصد نیتروژن کل در خاک و اندام‌هوایی در تیمار کودی C مشاهده گردید؛ که می‌توان نتیجه گرفت که روند رهاسازی کودهای C با میزان مصرف نیتروژن توسط گیاه مطابقت داشته و لذا هدرروی آن کاهش یافته است. (Saha et al. (2018) بیان کردند که درصد نیتروژن کل باقیمانده در بستر کشت کودهای آهسته رهش نسبت به کود معمولی بیشتر بوده است که نشان می‌دهد که مقادیر زیادی از اوره معمولی از طریق آبشویی از خاک خارج شده است. بیشترین نیترات جذب شده ۱۲۰/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، مربوط به تیمار کود اوره بود که نسبت به تیمارهای کودی A، B و C تفاوت معنی‌داری دارای نشان داد. یعنی میزان جذب نیترات در تیمار کودهای پوشش‌دهی شده کمتر از اوره معمولی بود (جدول ۳). این موضوع احتمالاً به دلیل خاصیت رهاسازی آهسته نیتروژن و همچنین استفاده از نانوذرات در ساختار پوششی این کودها است. Zare abyane and Bayat varkeshi (2015) علت افزایش نیتروژن موجود در برگ سیب‌زمینی و کاهش نیترات در تیمار کودی نانوکلات را، ابعاد نانوکلات بیان کردند که موجب تثبیت نیترات و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی برای گیاه و افزایش نیتروژن گیاه و عملکرد می‌شود. (Ye et al. (2019) اظهار داشتند که اگر نیتروژن به مقدار کافی در دسترس گیاه قرار گیرد موجب افزایش رشد گیاه و عملکرد می‌شود؛ در حالیکه عرضه بیش از حد نیتروژن موجب انباشت نیترات و اثرات سوء آن بر سلامتی انسان می‌شود.

استفاده از کودهای آهسته‌رهش منجر به افزایش کارآیی مصرف نیتروژن، بازیابی ظاهری نیتروژن و کارآیی زراعی نیتروژن می‌شود. به‌طوری‌که بیشترین مقدار کارآیی مصرف نیتروژن در سطح کودی ۱۸۰ و ۴۲۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار کودی C مشاهده شد که به ترتیب ۳۶/۵۴ و ۳۴/۵۳ درصد نسبت به اوره افزایش نشان داد (شکل ۶، الف). به طور مشابه بیشترین مقدار بازیابی ظاهری نیتروژن در سطح کودی ۱۸۰ و ۴۲۰ کیلوگرم در هکتار نیز در تیمار کودی C مشاهده شد که به ترتیب ۲۷/۰۴ و ۳۳/۳۲ درصد نسبت به اوره افزایش داشت و تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کودی B و اوره نشان داد (شکل ۶، ب). (Pimsen et al. (2021) در رابطه با پوشش‌دهی اوره با نشاسته، نانوذرات و کیتوسان گزارش کردند که اوره پوشش‌دهی شده موجب افزایش رشد گیاه در مقایسه با تیمار اوره معمولی گردید که پوشش موردنظر موجب شد که اوره به صورت تدریجی در دسترس گیاه قرار گیرد، هدرروی آن کاهش یافته و کارآیی مصرف آن افزایش یابد. همچنین پژوهشگران متعددی اظهار داشتند که رهاسازی آهسته نیتروژن موجب کاهش هدرروی نیتروژن و افزایش کارآیی مصرف نیتروژن، کارآیی زراعی نیتروژن و بازیابی ظاهری نیتروژن می‌شود (Giroto et al. 2019؛ Li et al. 2017) به علاوه استفاده از نانوذرات بیوجار در پلیمرهای پوششی موجب بهبود کنترل رهاسازی عناصر غذایی و افزایش کارآیی مصرف می‌شود (Salimi et al., 2021). (Chen et al (2008) گزارش کردند که پوشش‌دهی اوره با نشاسته و پلی‌لاکتید موجب افزایش کارآیی مصرف نیتروژن می‌شود که ناشی از خاصیت آبگریزی پلی‌لاکتید است و منجر به کاهش جذب آب و افزایش زمان رهاسازی اوره می‌گردد. افزایش غلظت اثر معکوس بر کارآیی نیتروژن دارد به‌طوری‌که با افزایش غلظت کود از ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به ۴۲۰ کیلوگرم در هکتار، کارآیی مصرف نیتروژن و بازیابی ظاهری نیتروژن کاهش یافت (شکل ۶، الف و ب). (Rostam zadeh et al. (2012) گزارش کردند که با افزایش سطح کود مورد استفاده میزان کارآیی مصرف نیتروژن و کارآیی زراعی کاهش یافت و استفاده از کودهای آهسته‌رهش کارآیی مصرف نیتروژن و کارآیی زراعی را در مقایسه با کود اوره معمولی افزایش داد. نانوکامپوزیت‌های پلیمری قادرند مقادیر زیادی آب و عناصر غذایی را ذخیره کرده و در صورت نیاز در اختیار گیاه قرار دهند. افزایش کارآیی مصرف نیتروژن با مصرف نانوکامپوزیت‌های پلیمری احتمالاً به دلیل رهاسازی منظم نیتروژن باشد. افزایش قابل توجه در جذب نیتروژن با کاربرد کود نانوکامپوزیت پلیمری را می‌توان به افزایش عناصر غذایی، افزایش رطوبت قابل دسترس خاک، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش کارآیی استفاده از کود را که در نتیجه جذب بیشتر عناصر غذایی توسط ریشه‌های گیاه صورت می‌گیرد، نسبت داد (Saurbh, 2016). کاربرد نانوکامپوزیت پلیمری زیست توده قابل توجهی تولید کرده و در نتیجه بازیافت ظاهری نیتروژن بالاتری نسبت به کودهای معمولی دارد. در نتیجه نیتروژن باقیمانده در خاک با کاربرد نانوکامپوزیت پلیمری در مقایسه با کود اوره معمولی به خصوص در اواخر دوره رشد محصول افزایش می‌یابد که احتمالاً به دلیل همزمان بودن رهاسازی نیتروژن و نیاز گیاه باشد (Saurbh, 2016).

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای تولید شده به روش (A، B، C) و اوره بر میزان نیتروژن کل (گیاه و خاک) و نیترات گیاه

روش	نیتروژن کل در اندام‌هوایی (درصد)	نیترات اندام‌هوایی (میلی گرم/کیلوگرم)	نیتروژن کل خاک (درصد)
A	۳/۷۸ ^a	۱۰۷/۸۵ ^b	۰/۰۳۸ ^a
B	۳/۲۹ ^b	۳۴/۴۵ ^c	۰/۰۳۷ ^b
C	۳/۸۲ ^a	۱۱۰/۱۵ ^b	۰/۰۴۹ ^b
Urea	۳/۱۵ ^b	۱۲۰/۷۵ ^a	۰/۰۳۳ ^b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار هستند.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر کودهای تولید شده به روش (A، B، C)، اوره معمولی و غلظت برالف) کارایی مصرف نیتروژن، ب) بازیابی ظاهری نیتروژن

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از نشاسته به عنوان یک منبع ارزان قیمت برای پوشش‌دهی کود اوره، میزان رهاسازی اوره را در مقایسه با کود اوره معمولی به میزان قابل توجهی کاهش داد. کمترین میزان رهاسازی در تیمار کودی B مشاهده شد که رهاسازی بسیار آهسته اوره از این کودها موجب کاهش عملکرد گیاه در مقایسه با روش A و C گردید. بیشترین مقدار وزن خشک (ریشه و اندام‌هوایی)، طول ساقه، تعداد (برگ و شاخه‌های جانبی) و میزان کلروفیل در تیمار کودی C مشاهده گردید. درصد نیتروژن کل و میزان نیترات موجود در اندام‌هوایی در گیاهان تیمار شده با این کودها در مقایسه با اوره به‌ترتیب افزایش و کاهش یافتند. کودهای تولید شده به روش (A، B، C)، اوره و غلظت اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف نیتروژن، بازیابی ظاهری نیتروژن و کارایی زراعی نیتروژن داشتند. اگرچه تولید کود C نسبت به کود B طولانی‌تر بود اما نتایج نشان داد که گیاهان تیمار شده با این کود نسبت به کودهای A، B و اوره عملکرد بهتری داشتند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Azeem, B., Kushaari, K., Man, Z. B., Basit, A., and Thanh, T. H. (2014). Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Controlled Release*, 181(1), 11–21.
- Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E., & Youngs, V.L. (1975) Rapid, colorimetric determination of nitrate in plant- tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6 (1), 71-80.
- Chen, L. (2008). Controlled release of urea encapsulated by starch-g-poly (L -lactide). *Desalination*, 72, 342–348.
- Fan, X., Lin, F., & Kumar. D. (2004). Fertilization with a new type of coated urea evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. *Plant Nutrition*, 25, 853-865.
- Fertahi, S., Ilsouk, M., Zeroual, Y., Ouakroum, A., & Barakat, A. (2021). Recent trends in organic coating based on biopolymers and biomass for controlled and slow release fertilizers. *Controlled Release*, 330, 341–361.



- Giroto, A. S., Guimarães, G. G., Colnago, L. A., Klamczynski, A., Glenn, G., & Ribeiro, C. (2019). Controlled release of nitrogen using urea-melamine-starch composites. *Cleaner Production*, 217, 448–455.
- Haluschak, P., (2006). Laboratory methods of soil analysis. Canada-Manitoba soil survey, 3-133.
- Li, J., Wang, M., She, D., & Zhao, Y. (2017). Structural functionalization of industrial softwood kraft lignin for simple dip-coating of urea as highly efficient nitrogen fertilizer. *Industrial Crops and Products*, 109, 255–265.
- Li, Y., Sun, Y., Liao, S., Zou, G., Zhao, T., Chen, Y., Yang, J., & Zhang, L. (2017). Effects of two slow-release nitrogen fertilizers and irrigation on yield, quality, and water-fertilizer productivity of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, 186, 139–146.
- Malakouti, M and Baba Akbari, M. (2005). The need to increase the efficiency of nitrogen fertilizers in the country. Technical Journal, No. 425. *Soil and Water Research Institute*, Sana Publications. (In Farsi).
- Olad, A. and Gharakhani, H. (2016). Synthesis, characterization, The first seminar on applied chemistry in Iran tion and fertilizer release behavior of NaAlg-g-poly (AA-co-co-Aam)/silica silica superabsorbent nanocomposite. *The first seminar on applied chemistry in Iran*. 22-23, August, chemistry college. Tabriz university, Tabriz. (In Farsi).
- Pimsen, R., Porrawatkul, P., Nuengmatcha, P., Ramasoot, S., & Chanthai, S. (2021). Efficiency enhancement of slow release of fertilizer using nanozeolite-chitosan/sago starch-based biopolymer composite. *Coatings Technology and Research*, 18, 1321-1332.
- Rabat, N. E., Hashim, S., & Majid, R. A. (2014). Effect of oil palm empty fruit bunch-grafted-poly(acrylic acid-co-acrylamide) hydrogel preparations on plant growth performance. *Key Engineering Materials*, 594–595, 236–239.
- Ramli, R. A. (2019). Slow release fertilizer hydrogels: A review. *Polymer Chemistry*, 10, 6073–6090.
- Rostamzadeh, A., Golchin, A and Mohammadi, J. (2012). The Effects of Different Sources and Rates of Nitrogen on Nitrogen Use Efficiency and Cucumber Yield. *Water and soil Science*, 23, 15-26. (In Farsi).
- Rychter, P., Kot, M., Bajer, B., Rogacz, D., Siskova, A. and Kapusniak, J. (2016). Utilization of starch films plasticized with urea as fertilizer for improvement of plant growth. *Carbohydrate Polymers*, 137, 127–138.
- Saha, B. K., Rose, M. T., Wong, V. N. L., Cavagnaro, T. R., & Patti, A. F. (2018). Nitrogen Dynamics in Soil Fertilized with Slow Release Brown Coal-Urea Fertilizers. *Scientific Reports*, 8, 1–10.
- Salimi, M., Motamedi, E., Motesharezadeh, B., Hosseini, H. M., & Alikhani, H. A. (2020). Starch-g-poly(acrylic acid-co-acrylamide) composites reinforced with natural char nanoparticles toward environmentally benign slow-release urea fertilizers. *Environmental Chemical Engineering*, 8, 103765.
- Salimi, M., Motamedi, E., Safari, M., & Motesharezadeh, B. (2021). Synthesis of urea slow-release fertilizer using a novel starch-g-poly(styrene-co-butylacrylate) nanocomposite latex and its impact on a model crop production in greenhouse. *Cleaner Production*, 322, 129082.
- Saurabh, K. (2016). Nanoclay Polymer Composites (NCPCs) with biodegradable polymers for controlled release of nitrogen in rice and wheat crops. Ph.D dissertation, New Delhi, Indian
- Shayesteh, K and Sadeghi, N. (2017). The potential of using modified lignin sulfonate as a matrix phase to control the release of urea fertilizer and predict the release pattern. *Separation Science and Engineering*, 9, 1-9. (In Farsi).
- Sofyane, A., Ben Ayed, E., Lahcini, M., Khoulood, M., Kaddami, H., Ameduri, B., Boufi, S., & Raihane, M. (2021). Waterborne butyl methacrylate (co)polymers prepared by pickering emulsion polymerization: Insight of their use as coating materials for slow release-fertilizers. *European Polymer Journal*, 156, 110598.
- Ye, Z., Zhang, L., Huang, Q., & Tan, Z. (2019). Development of a carbon-based slow release fertilizer treated by bio-oil coating and study on its feedback effect on farmland application. *Cleaner Production*, 239, 118085.
- Zafar, N., Niazi, M. B. K., Sher, F., Khalid, U., Jahan, Z., Shah, G. A., & Zia, M. (2021). Starch and polyvinyl alcohol encapsulated biodegradable nanocomposites for environment friendly slow release of urea fertilizer. *Chemical Engineering Journal Advances*, 7, 100123.
- Zareabyaneh, H., and Bayatvarkeshi, M. (2015). Effects of slow-release fertilizers on nitrate leaching, its distribution in soil profile, N-use efficiency, and yield in potato crop. *Environmental Earth Sciences*, 74, 3385–3393.