



Application of Nano Cow Manure Compared to Common Chemical and Cow Fertilizers on Saffron Yield and Some Soil Characteristics

Hesam Aryanpour^{1*}, Hossein Sahabi², Hassan Feizi³, Alijan Salariyan⁴ and Amir Salari⁵

Article type:

Research Article

Article history:

Submitted: 24 October 2022

Revised: 11 December 2022

Accepted: 29 December 2022

Available Online: 31 December 2022

How to cite this article:

Aryanpour, H., Sahabi, H., Feizi, H., Salariyan, A., and Salari, A. 2023. Application of Nano Cow Manure Compared to Common Chemical and Cow Fertilizers on Saffron Yield and Some Soil Characteristics. *Saffron Agronomy & Technology*, 10(4): 305-323.

DOI: 10.22048/jsat.2022. 366991.1470

Abstract

Cow manure is one of the most commonly used fertilizers in saffron cultivation, but its main problem is the slow process of decomposition and the slow release of nutrients in the short term; leading to overuse of chemical fertilizers by farmers. It is expected that with the introduction of nanotechnology in the field of agriculture, a suitable solution will be found to improve the absorption time of organic fertilizers. Cattle manure nanoparticles can reduce the decomposition time of cattle manure with a higher specific surface area. Therefore, a split-plot design was carried out using two conventional methods of mulching and mixing with soil on the performance of saffron and soil characteristics to compare the performance of conventional chemical fertilizers and cow manure with nano cow manure. The main factor in seven levels (including nano cow manure in two amounts of five and 20 tons per hectare and in two forms of application of mulch and mixed with soil, normal cow manure in the amount of 20 tons per hectare and two forms of mulch and mixed with soil and no use cow manure) and the sub-factor included NPK chemical fertilizer (at two levels of use and non-use). The results showed that by making cattle manure nanosized, its half-life in the soil decreased from about 36 weeks to 11 weeks. Nano cow manure treatment of 20 tons per hectare mixed with soil showed an increase in dry stigma yield by 43.7, 46, and 57%, respectively, compared to conventional cow manure treatments, chemical fertilizer treatments, and controls. The nano application of cow manure resulted in maintaining more moisture, less mechanical resistance in the soil, and more percentage of nutrients in the plant. In the comparison of the two methods of mulching and mixing, it was observed that in the mulching method, the amount of moisture is higher and the surface mechanical resistance is lower in the soil, and in the mixing method, the amount of nutrients in the leaves is higher. The results showed that in treatments with nano cow manure, the mixed method is preferable to mulch. Making cattle manure nano,

1 - Ph.D. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.

2 -Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran

3 -Associate Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran

4 -Ph.D. Student of Agronomy, Saffron Institute researcher, University of Birjand, Birjand, Iran.

5 -Assistant Professor, Department of water science engineering. University of hormozgan, Minab higher education center, Minab, Iran.



Corresponding author: Hesam_aryanpour@yahoo.com

using the mixed method instead of mulch, and applying higher levels of cattle manure, was reduced the synergistic effect of chemical fertilizers in increasing yield. As in nano cow manure treatment (20 tons per hectare mixed with soil) was not observed significant yield increase due to the addition of chemical fertilizer. Also, nano cow manure five ton per hectare treatments (mulch and mixture) showed a 22% yield increase compared to conventional cow manure treatments. It is possible to increase the yield by 22% by making cow manure nanosized, along with reducing the consumption of cow manure by 75% in the second year of saffron cultivation.

Keywords: Fertilizer half-life, Flowering, Mulch, Organic nano fertilizer, Stigma

مقاله پژوهشی

اثر استفاده از نانو کود گاوی در مقایسه با کودهای شیمیایی و گاوی رایج بر عملکرد زعفران و برخی

خصوصیات خاک

حسام آریان پور^{۱*}، حسین صحابی^۲، حسن فیضی^۳، علی جان سالاریان^۴ و امیر سالاری^۵

تاریخ دریافت: ۲ آبان ۱۴۰۱

تاریخ بازنگری: ۲۰ آذر ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۸ دی ۱۴۰۱

آریان پور، ح.، صحابی، ح.، فیضی، ح.، سالاریان، ع.، و سالاری، ا. ۱۴۰۱. اثر استفاده از نانو کود گاوی در مقایسه با کودهای شیمیایی و گاوی رایج بر عملکرد زعفران و برخی خصوصیات خاک. زراعت و فناوری زعفران، ۱۰(۴): ۳۰۵-۳۲۳.

چکیده

کود گاوی از متداولترین کودهای مصرفی در زعفرانکاری است، اما مشکل اصلی آن سرعت کم آزاد سازی عناصر غذایی است؛ که کشاورز را بسمت استفاده از کودهای شیمیایی سوق می‌دهد. باورود فناوری نانو به عرصه کشاورزی انتظار می‌رود تا راه‌حل مناسبی برای بهبود زمان جذب کودهای آلی پیدا شود. نانوذرات کود گاوی با سطح ویژه بیشتر می‌توانند مدت زمان تجزیه کود گاوی را کاهش دهند. از اینرو طرحی بصورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی جهت مقایسه عملکرد کودهای شیمیایی و گاوی معمول با کود گاوی درمقیاس نانو بر روی عملکرد زعفران و خصوصیات خاک اجرا شد. فاکتور اصلی در هفت سطح (شامل نانو کود گاوی به دومیزان پنج و ۲۰ تن در هکتار و به دوصورت کاربرد بعنوان مالچ و مخلوط با خاک، کود گاوی معمولی به میزان ۲۰ تن در هکتار و به دوصورت مالچ و مخلوط با خاک و عدم مصرف کود گاوی) و فاکتور فرعی شامل کود شیمیایی NPK (در دوسطح مصرف و عدم مصرف) بودند. نتایج نشان داد که با نانوکودن کود گاوی نیمه عمر آن در خاک از حدود ۳۶ هفته به ۱۱ هفته کاهش یافت. تیمار مصرف نانو کود گاوی به میزان ۲۰ تن در هکتار بصورت مخلوط در خاک نسبت به تیمارهای کود گاوی معمولی، تیمار کود شیمیایی و شاهد بترتیب افزایش عملکرد خشک کلاله به میزان ۴۳/۷، ۴۶ و ۵۷ درصدی را نشان داد. نانوکودن کود گاوی سبب حفظ رطوبت بیشتر، مقاومت مکانیکی کمتر خاک و در صد عناصر غذایی بیشتر در گیاه شد. درمقایسه دو روش مختلف مصرف کود، در روش مالچ میزان رطوبت بیشتر در خاک و مقاومت مکانیکی سطحی کمتر و در روش مخلوط میزان عناصر غذایی بیشتر در برگ مشاهده شد. نتایج نشان داد در صورت نانوکودن کود گاوی، روش مخلوط نسبت به مالچ ارجحیت دارد. با نانوکودن کود گاوی، استفاده از روش مخلوط به جای مالچ و کاربرد سطوح بالاتر کودهای گاوی از تأثیر هم‌افزایی کودهای شیمیایی در افزایش عملکرد کاسته شد، بطوریکه در تیمار کاربرد کود گاوی نانو به مقدار ۲۰ تن در هکتار و به روش مخلوط در خاک افزایش عملکرد معنی‌داری در اثر افزودن کود شیمیایی مشاهده نشد. همچنین اعمال تیمار کود گاوی نانو به مقدار پنج تن در هکتار نسبت به تیمار کود گاوی معمولی به میزان ۲۰ تن در هکتار، افزایش عملکرد ۲۲ درصدی در کنار کاهش ۷۵ درصدی مصرف کودهای گاوی در فصل دوم رشد زعفران شد.

کلمات کلیدی: کلاله، گلدهی، مالچ، نیمه عمر کود، نانو کود آلی.

- ۱- دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس و پژوهشگر پژوهشکده زعفران، تربت حیدریه، ایران
 - ۲- استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه و پژوهشگر پژوهشکده زعفران، تربت حیدریه، ایران
 - ۳- دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه و پژوهشگر پژوهشکده زعفران، تربت حیدریه، ایران
 - ۴- دکتری زراعت و پژوهشگر پژوهشکده زعفران، تربت حیدریه، ایران
 - ۵- استادیار گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، ایران
- (* - نویسنده مسئول: Hesam_aryanpour@yahoo.com)

مقدمه

در بین گیاهان دارویی، زعفران (*Crocus sativus* L.) جایگاه ویژه‌ای در تغذیه و سلامت انسان دارد. این گیاه نقش قابل توجهی در وضعیت اجتماعی و اقتصادی مناطق خشک و نیمه خشک ایران پیدا کرده است. زعفران به دلیل نیاز آبی پایین و ارزش اقتصادی بالا به طور ویژه‌ای مورد استقبال واقع شده است (Dastranj & Sepaskhah, 2019). با توجه به کاربردهای فراوان زعفران، اگر هر نفر ۰/۲۵ گرم زعفران در سال مصرف کند، جمعیت دنیا متقاضی ۲۰۰۰ تن کلاله خشک خواهد بود (Chen, 2008). این تقاضا فقط برای مصرف شخصی است و جهت تأمین مصارف دارویی و غذایی بر آمار فوق افزوده خواهد شد. امروزه به دلیل تأمین این نیاز و افزایش میزان تولید در واحد سطح، متأسفانه استفاده از کودهای شیمیایی به شدت رواج پیدا کرده است. مصرف کودهای شیمیایی موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی، کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌ها و حشرات مفید خاکریزی، اسیدی یا قلیایی شدن خاک، کاهش ماده آلی و حاصلخیزی و در نهایت عدم تولید پایدار می‌گردد (Chen, 2008). همچنین استفاده از این کودها به دلیل وجود نمک‌های محلول و افزایش میزان شوری خاک سبب تخریب ساختمان خاک نیز می‌شوند (Rezaei, 2013). ورود کودهای نیتروژنه به منابع آب و افزایش تجمع آن‌ها در محصولات کشاورزی موجب رواج برخی بیماری‌ها شده است. علاوه بر این، کودهای شیمیایی حاوی مقادیری عناصر سنگین هستند. به عنوان مثال، کودهای فسفاتی معمولاً حاوی کادمیم می‌باشند که با مصرف این کود، کادمیم وارد چرخه غذایی انسان گردیده، از اینرو ضرورت حذف یا مصرف حداقلی این نوع کودها بیش از پیش نمایان می‌گردد. یکی از راه‌های جلوگیری از این مشکلات، کاهش یا حذف کودهای شیمیایی در کشاورزی و جایگزینی کودهای آلی و زیستی از جمله کودهای حیوانی و بقایای گیاهی به جای

آن‌هاست (Naghavi maremati et al., 2007).

کودهای آلی کودهای کاملی هستند که حاوی تمامی عناصر غذایی ماکرو و میکرو مورد نیاز گیاهان هستند. استفاده از کودهای آلی در گیاه زعفران موجب افزایش وزن و درصد ماده خشک بنه‌ها و توسعه سیستم ریشه‌ای شده که این اثرات ممکن است در نتیجه افزایش رطوبت خاک و نهایتاً رشد بهتر گیاه باشد (Koocheki et al., 2015). در سالیان دور استفاده از کودهای آلی مدیریت رایج در میان کشاورزان بود اما با ورود کودهای شیمیایی و سهولت استفاده و اثربخشی سریع آن‌ها این نوع مدیریت رو به فراموشی نهاد (Rezaei, 2013). کاربرد کودهای آلی علاوه بر حفظ چرخه عناصر غذایی موجب کاهش آلودگی محیط و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد و تأثیرگذاری آن به مراتب فراتر از کودهای شیمیایی است؛ که متأسفانه به دلایل مختلف از رواج چندان برخوردار نیست (Magdoff, 2004). از جمله این دلایل، منابع بسیار محدود تأمین کننده مواد آلی خاک که عمدتاً شامل کودهای گاوی، بقایای گیاهی و انواع کمپوست می‌باشند که جوابگوی نیاز روافزون بخش کشاورزی به کودهای آلی نیست (Kalbasi, 1996). از طرفی زمان نسبتاً طولانی فرایند تجزیه کودهای آلی که معمولاً هماهنگ با رشد گیاه نمی‌تواند نیازهای غذایی را برطرف کند از جمله دلایلی هستند که کشاورز را برای رسیدن به عملکرد مورد انتظارش در کوتاه مدت وادار به استفاده از کودهای شیمیایی می‌کند. شیرانی (Shirani, 2002) بیان کرد که کشاورزان در ایران برای دستیابی و حفظ عملکردهای بالا به مصرف کودهای شیمیایی روی می‌آورند و حداکثر سرعت تجزیه و قابل استفاده شدن کود آلی برای گیاه با زمان نیاز گیاه مطابقت ندارد (Shirani et al., 2002). بنابراین یکی از چالش‌ها، افزایش کارایی کودهای آلی از جمله کودهای گاوی برای تأمین عناصر غذایی است (Rezaei, 2013)؛ که لزوم فرآوری کودهای گاوی با هدف افزایش کارایی و در عین حال

می‌تواند عاملی در جهت افزایش تجزیه کودهای آلی در خاک باشد. همچنین نانو کودهای آلی به دلیل ماهیت کاملاً ارگانیکی که دارند سبب بهبود شرایط فیزیکی خاک و حفظ پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌گردند. این نانوذرات سطح تماس بسیار زیادی دارند و بنابراین تماس قویتری را با ترکیبات ترشح شده از گیاه و میکروارگانیسم‌ها برقرار می‌کنند. در نتیجه این عناصر با سهولت بیشتر و به تدریج در اختیار گیاه قرار می‌گیرند و گیاه در طول دوره رشد خود با کمبود این عناصر روبرو نمی‌شود. از طرفی گیاه از تمامی عناصر پرمصرف و ریزمغذی‌ها برخوردار بوده و به خوبی رشد می‌کند در نهایت عملکرد، رشد ریشه و مقاومت در برابر شوری خاک در گیاه افزایش می‌یابد (CNIR23', 2015). تولید کودهایی حاوی عناصر غذایی در اندازه نانومتری، باعث می‌شود انحلال‌پذیری و پراکندگی این عناصر غذایی در خاک افزایش یافته و بازده جذب این عناصر توسط گیاه بهبود یابد. همچنین استفاده از نانو کودها سبب برهم کنش طولانی مدت با میکروارگانیسم‌های موجود در خاک می‌شود (CNIR45, 2015). در بررسی نانوذرات هیدروکسی آپاتیت به عنوان کود فسفر نتایج امیدوارکننده‌ای بدست آمده است (Montalvo et al., 2015). لیو ولای (Liu & Ial, 2014) با کاربرد نانو ذرات هیدروکسی آپاتیت افزایش میزان رشد و عملکرد دانه سویا به ترتیب به میزان ۳۳ و ۲۰ درصد در مقایسه با کودهای جامد فسفر گزارش کردند. که احتمالاً به دلیل تحرک بیشتر و سطوح واکنش پذیر بیشتر نانو ذرات که اجازه حلالیت و آزاد سازی بیشتر فسفر به آن‌ها را می‌دهد باشند. همچنین نانو کودهای آلی به دلیل ماهیت کاملاً ارگانیکی که دارند سبب بهبود شرایط فیزیکی خاک و حفظ پایداری کشاورزی می‌گردند. همچنین می‌تواند به دلیل سطح ویژه بالا عاملی در جلوگیری از آبشویی عناصر غذایی و آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی گردد.

حفظ عناصر غذایی قابل استفاده گیاه باید مورد توجه قرار بگیرد. با توجه به این موانع و مشکلات این ایده به میان آمد که بتوان با ارائه راه حلی، کودهای گاوی را در مدت زمان کوتاه‌تر برای گیاه قابل جذب کرد تا علاوه بر تأثیر بلند مدت در کوتاه مدت نیز نیازهای تغذیه‌ای در طول فصل رشد گیاه را بتواند تأمین کند.

یکی از راه‌حل‌ها استفاده از این کودها در مقایسه بسیار کوچک‌تر یعنی نانو می‌باشد که با افزایش نسبت سطح به حجم و سطح ویژه ذرات سبب افزایش قابلیت جذب برای گیاه شود. دهه گذشته شاهد توسعه سریع فناوری نانو با هدف استفاده از موادی با خصوصیات جدید و ویژه که در محدوده یک تا صد نانومتر قرار دارند بوده است (Roco & Bainbridge, 2013). نانو ذرات از ده‌ها یا صدها اتم یا مولکول و با اندازه‌ها و مورفولوژی‌های مختلف ساخته شده است. اندازه نانو محدوده‌ای از اندازه مولکول‌ها و مواد است که در این محدوده، مواد خواص بی‌مانند یا به طور کیفی متفاوتی با ذرات بزرگتر از خود دارند (Zhang et al., 2010). از خصوصیتی که در اندازه‌های زیر ۱۰۰ نانومتر تغییر می‌کند سطح ویژه است. مواد با گذر از اندازه‌های معمول به مقیاس نانو، با تغییر برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی روبرو می‌شوند. که از مهمترین آن‌ها می‌توان به افزایش نسبت سطح به حجم (Handley-Sidhu et al., 2012; Chen et al., 2010; Zhang et al., 2010) و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی اشاره کرد که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند و مدت زمان لازم برای تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Wang et al., 2015). در مواد نانو درصد بالایی از اتم‌ها در سطح ماده قرار گرفته‌اند، لذا احتمال برخورد اتم‌ها با یکدیگر افزایش و واکنش‌پذیری ماده بالا می‌رود (Karimzadeh et al., 2005) که

روش والکلی و بلاک (Walkley & Blak, 1934)، pH گل اشباع (Rhoades, 1982)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع (Lean, 1982)، رطوبت اشباع به روش جرمی، نیتروژن کل به روش کجلدال (Mulvaney & Bremner, 1982)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید (Richards, 1962)، فسفر قابل جذب به روش اولسن و همکاران (Olsen et al., 1954) و پتاسیم قابل جذب (Knudsen et al., 1982)، اندازه گیری شدند. نتایج آزمایش خاک مود مطالعه نشان داد که خاک از لحاظ عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و میزان ماده آلی جهت کشت زعفران دارای کمبود است (Zabihi, 2017).

(CNIR23, 2015). هدف از این تحقیق بررسی تأثیر مصرف کود گاوی در مقیاس نانو بر عملکرد کلاله خشک زعفران و برخی خصوصیات خاک در مقایسه با کودهای گاوی و شیمیایی معمول بود.

مواد و روش‌ها

خصوصیات خاک محل اجرای تحقیق

خصوصیات خاک مورد استفاده قبل از کشت در یک نمونه مرکب اندازه‌گیری شد (جدول ۱). توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدورمتری (Gee & Bauder, 1982)، میزان کربن آلی به

جدول ۱- خصوصیات خاک مورد مطالعه قبل از کشت

Table 1- Characteristics of the studied soil before cultivation

واکنش گل اشباع pH	هدایت الکتریکی EC (ds.m ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available P	کربنات کلسیم CaCO ₃	نیتروژن کل Total N	رطوبت اشباع Saturated moisture	کربن آلی Organic carbon (%)	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand
7.90	1.04	186	7.6	17	0.03	37	0.4	16.5	39.3	44.2

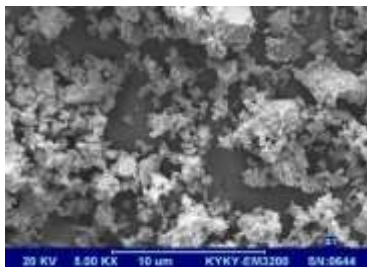
آزمون خاک (جدول ۱) به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد (Zabihi, 2017). در مجموع، آزمایش شامل ۱۴ تیمار در سه تکرار بود که شامل ۴۲ واحد آزمایشی (کرت) می‌شود.

از آنجایی که به طور معمول زعفرانکاران در دو زمان کود گاوی را به خاک اضافه می‌کنند؛ یکی قبل از کشت و شخم خوردن زمین و یکی بعد از کشت و به صورت مالچ در سطح خاک در این پژوهش نیز کود گاوی به این دو روش مرسوم به کار برده شد تا کارایی هر روش به طور عملی و کاربردی مشخص شود. شایان ذکر است که در روش مالچ همانند کشاورزی مرسوم منطقه، در اثر فعالیت‌های بعدی مانند وجین و سله‌شکنی مقداری از کود گاوی با خاک مخلوط شد.

طرح و تیمارهای آزمایشی

این آزمایش بصورت اسپلیت پلات در پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شهرستان تربت‌حیدریه بخش مرکزی طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ انجام شد. فاکتور اصلی دارای هفت سطح شامل ۱- نانو کود گاوی به میزان پنج تن در هکتار بصورت مالچ، ۲- نانو کود گاوی پنج تن در هکتار بصورت مخلوط با خاک، ۳- نانو کود گاوی ۲۰ تن در هکتار بصورت مالچ، ۴- نانو کود گاوی ۲۰ تن در هکتار بصورت مخلوط با خاک، ۵- کود گاوی معمولی به میزان پنج تن در هکتار بصورت مالچ، ۶- کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار بصورت مالچ و ۷- عدم مصرف کود گاوی به عنوان تیمار شاهد بود. فاکتور فرعی شامل عدم مصرف یا مصرف کود شیمیایی NPK (اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم) بود که مقدار آن بر اساس

شکل استوانه‌ای یا استوانه‌ای-مخروطی هستند و نیروی خردکننده آن‌ها را گلوله‌هایی از جنس مواد سخت تشکیل می‌دهد. این گلوله‌ها با شدت زیاد به مواد درون استوانه برخورد کرده و آن‌ها را خرد می‌کنند. کود گاوی پس از فرایند پوسیده شدن، در گرمخانه در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و سپس وارد مخزن آسیاب گلوله‌ای شد. در اثر برخورد گلوله‌ها به مدت ۴۸ ساعت و ۶۰ دور در دقیقه کود گاوی به ذرات نانومتری تبدیل شد (شکل ۲). در این آزمایش نانو کود گاوی در اندازه‌های با میانگین ۷۰ نانومتر تولید شدند. جهت اطمینان از حصول نتایج پیش‌بینی شده مبنی بر نانو بودن ذرات حاصل، نمونه‌گیری انجام شد و توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی، عکسبرداری انجام گرفت (شکل ۳).



شکل ۳- تصویر SEM نانو کود گاوی با بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ (هر um برابر با 10⁻⁶ متر)
Figure 3- SEM image of nano cow manure with magnification ×5000 (each um is equal to 10⁻⁶ meters).



شکل ۲- نمونه نانو کود گاوی تولید شده
Figure 2- A sample of produced nano cow manure.



شکل ۱- دستگاه آسیاب گلوله‌ای
Figure 1- Ball mill machine.

کود شیمیایی اوره بعد از برداشت گل در سال اول در آذرماه ۱۳۹۹ به صورت سرک و همزمان با آبیاری‌های پس از گلدهی طی سه نوبت استفاده شد. مرحله اول ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در آبیاری اول بعد از برداشت گل (زاج آب)، مرحله دوم به میزان ۳۵ کیلوگرم در هکتار اوره و در نوبت بعدی آبیاری و مرحله سوم ۱۵ کیلوگرم در هکتار اوره با فاصله یک ماه بعد به کرت‌های مربوطه داده شد. کودهای سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل همزمان با اولین آبیاری (گل آب) به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد.

تولید کود دامی نانو

جهت نانو کردن کود گاوی از دستگاه آسیاب گلوله‌ای استفاده شد (شکل ۱). این نوع آسیاب‌ها از قدرتمندترین ابزارهای تولید نانو ذرات در مقیاس صنعتی به حساب می‌آیند که دارای

مستقیم از خاک تا عمق اختلاط کود انجام گرفت و مقدار ماده آلی اندازه‌گیری شده به روش والکی و بلاک از مقدار ماده آلی اولیه خاک (قبل از افزودن کودهای گاوی؛ ارایه شده در جدول ۱) در آن کرت کاسته شد. در نهایت مقادیر بدست آمده در فاصله‌های زمانی عنوان شده با قرار گرفتن در معادله شماره ۱، ماده آلی در هفته متناظر با آن هفته) و سپس محاسبه شیب خط

جهت بدست آوردن نیمه‌عمر انواع کود گاوی اضافه شده به خاک، در ۶ زمان (صفر، ۱۱، ۲۴، ۴۸، ۵۵ و ۶۶ هفته پس از افزایش کود گاوی به خاک)، نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری میزان ماده آلی خاک انجام گرفت. میزان ماده آلی اضافه شده به خاک در زمان صفر از تقسیم جرم کود گاوی افزوده شده (۲۰ تن یا پنج تن در هکتار) بر جرم خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری (عمق شخم) بدست آمد. برای مراحل بعدی نمونه‌گیری بصورت

صفات اندازه‌گیری شده

نمونه‌برداری از کرت‌های آزمایشی در سال دوم پس از کشت و در زمان گلدهی با حذف اثر حاشیه‌ای از ۱۸ آبان تا چهارم آذرماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. در سال اول (پاییز ۱۳۹۹) چون هنوز تیمارهای کودی یا اعمال نشده و یا اثرگذار نبودند عملکرد کلاله خشک فقط سال دوم از رشد گیاه ارزیابی شد. صفات مورد بررسی شامل میزان عناصر غذایی برگ (شامل نیتروژن به روش کجلدال، فسفر به روش رنگ سنجی و پتاسیم به روش نورسنج شعله‌ای) (Ghazanshahi, 2006)، در صد رطوبت جرمی خاک و مقاومت مکانیکی خاک در آذرماه ۱۴۰۰ بعد از برداشت گل اندازه‌گیری شدند.

رطوبت خاک به روش جرمی و مقاومت مکانیکی خاک با استفاده از پنترومتر جیبی اندازه‌گیری شدند. برای تبدیل اعداد به دست آمده از پنترومتر به کیلوپاسکال دستگاه پنترومتر روی ترازوی دیجیتال گذاشته شد و با فشارهای متوالی بر آن مقادیر جرمی روی ترازو به همراه عدد پنترومتر مربوط به آن فشار یادداشت شد. سپس اعداد روی ترازو از وزن اولیه دستگاه پنترومتر کسر شد. سپس عدد به دست آمده بر حسب کیلوگرم بر سطح پنترومتر بر حسب سانتی‌متر مربع تقسیم شد و در عدد $98/066$ ضرب گردید. اعداد بدست آمده بر حسب کیلوپاسکال همراه با اعداد پنترومتر اولیه، روی نمودار خطی که از صفر شروع می‌شود برده شد. از این نمودار یک معادله خطی با یک مجهول به دست آمد. در نهایت اعداد بدست آمده از قرائت پنترومتر در مزرعه در معادله $y = 521.4 x + 4$ قرار گرفت و میزان مقاومت مکانیکی بر حسب کیلوپاسکال محاسبه شد (Movahedi & Naeini, 1999).

جهت تجزیه آماری از نرم‌افزار SAS استفاده شد و مقایسه میانگین برای صفات ذکر شده به روش LSD انجام گردید.

معادله (K) و قرار دادن آن در معادله ۲، $t_{1/2} = 0.693/K$ ، نیمه عمر کود گاوی بدست آمد (Movahedi Naeini, 1999).

عملیات زراعی

بنه‌های مورد استفاده جهت کشت همگی با وزن برابر بین ۱۱-۱۲ گرم انتخاب شدند و در کرت‌هایی به ابعاد $2 \times 1/5$ متر و با تراکم ۶۶ بنه در مترمربع و در عمق ۲۰ سانتی‌متر بصورت دستی در نیمه دوم شهریورماه سال ۱۳۹۹ کشت شد. فاصله بین ردیف‌های کشت ۱۵ سانتی‌متر و فاصله در روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کرت‌ها با ایجاد پشته‌هایی از یکدیگر جدا شد و بین کرت‌ها نیم متر فاصله به عنوان راهرو در نظر گرفته شد.

مقدار آب آبیاری بر مبنای رساندن میزان رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی انجام گرفت. عمق آب آبیاری بر اساس معادله بدست آمد.

$$I = \sum_{i=1}^n (\Theta_{FCi} - \Theta_i) \times \Delta Zi \quad (3)$$

در این معادله I عمق آب آبیاری (m)، Θ_{FCi} رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی در لایه i، Θ_i رطوبت موجود در خاک در لایه i قبل از آبیاری، ΔZi ضخامت هر لایه از خاک (m) و n تعداد لایه‌های خاک است. همچنین مقدار ۱۵ درصد نیز به عنوان کسر آبشویی به مقدار آب محاسبه شده از معادله اضافه شد (Yarami & Sepaskhah, 2015).

کرت‌های آزمایشی به تعداد ۷ بار در طول هر فصل رشد با فواصل ۲۴ روز آبیاری شد. حجم آب آبیاری در هر مرحله بر حسب میزان رطوبت باقی مانده در خاک قبل از آبیاری (بر اساس معادله ۲) متغیر بود. پس از مرحله کاشت، تمامی عملیات زراعی مانند آبیاری، سله شکنی، وجین علف‌های هرز بصورت یکسان انجام شد.

نتایج و بحث

خ صو صیات خاک و عملکرد زعفران در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کود گاوی و شیمیایی بر نیمه عمر کود گاوی، میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ،

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات تیمارهای کودی بر نیمه عمر کود گاوی، میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ، خصوصیات خاک و عملکرد زعفران

Table 2- Variance analysis of the effects of fertilizer treatments on the half-life of cow manure, the amount of nitrogen, phosphorus, and potassium in leaves, soil characteristics, and saffron yield

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square						
		وزن کلاله خشک Dry weight of stigma	نیمه عمر Half life	مقاومت مکانیکی خاک Mechanical resistance of soil	رطوبت جرمی (O _m)	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen
تکرار Repeat	2	0.1088095	0.488611	1492.9524	0.184523	0.009007	0.000516	0.052916
Cow manure (A)	6	17.571031**	1137.59**	142506.20**	16.49746**	0.179292**	0.006282**	0.753253**
کود شیمیایی Chemical fertilizer (B)	1	8.960952**	0.38027 ^{ns}	30.8571 ^{ns}	0.019285 ^{ns}	0.128152**	0.008009**	0.668809**
اثرات متقابل A × B	6	0.192619*	1.6642 ^{ns}	189.1905 ^{ns}	0.005396 ^{ns}	0.002435 ^{ns}	0.000309 ^{ns}	0.011031 ^{ns}
ضریب تغییرات C.V. (100%)	-	3.85	8.03	4.67	2.58	9.61	7.42	5.48

ns: No significant difference, *: Significant difference at the one percent level, **: Significant difference at the five percent level.

ns: عدم اختلاف معنی دار، *: اختلاف معنی دار در سطح یک درصد، **: اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد.

نیمه عمر کود گاوی

نتایج تجزیه واریانس نیمه عمر کود گاوی (جدول ۲) در خاک نشان داد که اثر تیمارهای کود گاوی بر نیمه عمر آن در خاک در سطح یک درصد معنی دار بود اما تیمار کود شیمیایی و اثرات متقابل کودهای گاوی و شیمیایی بر نیمه عمر کود گاوی در خاک معنی دار نبود. در جدول ۳ مقایسه میانگین نیمه عمر کودهای گاوی در اندازه (نانو و معمولی) و سطوح مختلف (پنج و ۲۰ تن در هکتار) نشان داده شده است.

مقایسه میانگین نیمه عمر کودهای گاوی در خاک نشان داد که تیمار کود گاوی معمولی به صورت مالچ و به میزان ۲۰ تن در هکتار بیشترین نیمه عمر و تیمار نانو کود گاوی مخلوط پنج تن در هکتار کمترین میزان نیمه عمر کود گاوی در خاک را با میانگین به ترتیب ۳۸/۹۵ و ۶/۸۵ هفته داشتند (جدول ۳). با نانو

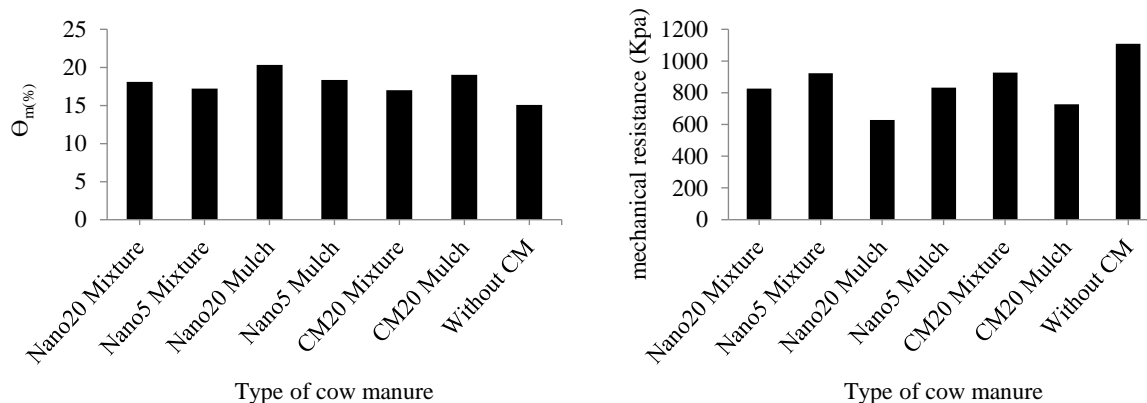
شدن کود گاوی مدت زمان نیمه عمر کود گاوی در خاک کاهش یافت (جدول ۳). همچنین تیمارهای مخلوط نسبت به تیمارهای مالچ هم ابعاد خودشان نیمه عمر کمتری را نشان دادند. مواد با گذر از اندازه‌های معمول به مقیاس نانو، با تغییر برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی روبرو می‌شوند. که از مهمترین آن‌ها می‌توان به افزایش نسبت سطح به حجم (Handley- Chen et al., 2010) و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی اشاره کرد که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی را بشدت تحت تأثیر قرار می‌دهند و مدت زمان لازم برای تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Wang et al., 2015). در حالت م صرف کود به صورت مخلوط در خاک سطح تماس و میزان اثرگذاری ریزجانداران در مقایسه با مصرف کود بصورت مالچ افزایش پیدا می‌کند و با

افزایش سرعت تجزیه کود از نیمه عمر آن کاسته می‌شود.

جدول ۳ - مقایسه میانگین نیمه عمر کودهای گاوی

Table 3 – Mean comparison of the half-life of cow manure

نوع کود گاوی Type of cow manure	میانگین نیمه عمر Average half-life (weeks)
نانو کود گاوی ۲۰ تن در هکتار بصورت مخلوط در خاک Nano cow manure 20 t.ha ⁻¹ mixed in soil	9.22
نانو کود گاوی ۲۰ تن در هکتار بصورت مالچ در خاک Nano cow manure 20 t.ha ⁻¹ applied as mulch	13.15
نانو کود گاوی ۵ تن در هکتار بصورت مخلوط در خاک Nano cow manure 5 t.ha ⁻¹ mixed in soil	6.85
نانو کود گاوی ۵ تن در هکتار بصورت مالچ در خاک Nano cow manure 5 t.ha ⁻¹ applied as mulch	10.48
کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار بصورت مخلوط در خاک Cow manure 20 t.ha ⁻¹ mixed in soil	33.17
کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار بصورت مالچ در خاک Cow manure 20 t.ha ⁻¹ applied as mulch	38.95
LSD 0.05	1.7938



شکل ۴ - اثر کود گاوی بر میزان رطوبت جرمی و مقاومت مکانیکی سطحی خاک

Figure 4 - The effect of cow manure on mass moisture content and surface mechanical resistance of the soil.

Nano20 Mixture: Nano cow manure 20 t.ha⁻¹ mixed with soil (کود گاوی نانو ۲۰ تن در هکتار مخلوط با خاک), Nano5 Mixture: Nano cow manure 5 t.ha⁻¹ mixed with soil (کود گاوی نانو پنج تن در هکتار مخلوط با خاک), Nano20 Mulch: Nano cow manure 20 t.ha⁻¹ mulch (کود گاوی نانو پنج تن در هکتار مالچ), Nano5 Mulch: Nano cow manure 5 t.ha⁻¹ mulch (کود گاوی نانو پنج تن در هکتار مالچ), CM20 Mixture: Cow manure 20 t.ha⁻¹ mixed with soil (کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار مخلوط با خاک), CM20 Mulch: Cow manure 20 t.ha⁻¹ mulch (کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار مالچ).

LSD 0.05 Θ_m = 0.548 , LSD 0.05 mechanical resistance = 47.391

رطوبت و مقاومت مکانیکی خاک

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی (جدول ۲) نشان داد که تأثیر تیمار کودی گاوی در سطح یک درصد بر میزان رطوبت و مقاومت مکانیکی خاک اثر معنی‌دار داشت اما اثر کود

شیمیایی و اثر متقابل کود گاوی و شیمیایی بر میزان رطوبت و مقاومت مکانیکی سطحی خاک معنی‌دار نبود. شکل ۴ مقایسه میانگین اثر کود گاوی بر میزان رطوبت جرمی و مقاومت مکانیکی خاک را نشان می‌دهد.

خشک زعفران نشان می‌دهد.

مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی گاوی بر میزان عناصر غذایی برگ نشان داد که با نانو کردن کود گاوی میزان عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ افزایش پیدا کرد. همچنین بر اساس این نتایج تیمارهای ۲۰ تن نسبت به پنج تن در هکتار درصد عناصر غذایی بیشتری نشان دادند؛ و در سطوح برابر کودهای گاوی (پنج تن یا ۲۰ تن) در هر دو مقیاس معمولی و نانو، میزان عناصر غذایی در تیمارهای مخلوط نسبت به مالچ بیشتر بود؛ این موضوع می‌تواند به دلیل نیمه‌عمر کمتر این کودها (جدول ۳) در روش مخلوط نسبت به مالچ و در نتیجه سرعت آزادسازی سریعتر عناصر غذایی در خاک باشد. به طوری که در مجموع بیشترین میزان عناصر غذایی برگ در تیمار نانو کود گاوی ۲۰ تن در هکتار مخلوط و کمترین آن در تیمار عدم مصرف کود گاوی مشاهده شد (جدول ۴). در تحقیقی که در مورد استفاده از هیدروکسی آپاتیت به عنوان کود فسفر انجام شد به این نتیجه رسیدند که اگر این کود جامد در اندازه نانو استفاده شود ترشحات اسیدهای آلی ریشه گیاه می‌تواند این نانو ذرات را حل نماید و بنابراین فسفر آزاد شده جذب گیاه گردد. آن‌ها بیان کردند سه نوع مزیت در استفاده از این نوع نانو کود نسبت به کودهای از قبیل سوپرفسفات تریبل وجود دارد؛ همه عناصر غذایی آنها به سرعت آزاد نمی‌شود و در اثر آزادسازی فسفر میزان واکنش خاک را تغییر نمی‌دهند.

مقایسه میانگین اثر تیمارهای کود گاوی نشان داد که تیمار نانو کود گاوی ۲۰ تن در هکتار مالچ بیشترین و تیمار عدم مصرف کود گاوی کمترین میزان رطوبت را در خاک داشته است. مقایسه میانگین رطوبت خاک نشان داد که تیمارهای ۲۰ تن نسبت به پنج تن در هکتار رطوبت بیشتر و مقاومت مکانیکی کمتری را داشتند و در مقایسه‌ی بین سطوح برابر کود گاوی، تیمارهای نانو نسبت به معمولی میزان رطوبت بیشتر و مقاومت مکانیکی کمتری را نشان دادند. تیمارهای نانو احتمالاً به دلیل اختلاط کامل‌تر با خاک و سطح ویژه بالاتر و در نتیجه تأثیرگذاری سریع‌تر توانستند شرایط مطلوب‌تری نسبت به کودهای گاوی معمولی در خاک ایجاد کنند. همچنین بین دو روش کاربرد کود گاوی، تیمارهای مالچ نسبت به مخلوط رطوبت بیشتر و مقاومت مکانیکی کمتری را در خاک نشان دادند. که این موضوع می‌تواند به دلیل پوشش سطحی خاک در تیمارهای مالچ باشد. کود دامی با تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش ظرفیت جذب موجب نگهداری آب و عناصر غذایی و در نتیجه بهبود رشد رویشی گیاه می‌گردد (Gliessman, 2006).

میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ

جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی (جدول ۲) نشان داد که تیمارهای کود گاوی و شیمیایی بر میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بودند اما اثرات متقابل تیمارهای کودی معنی‌دار نشد. جدول ۴ مقایسه میانگین اثرات تیمارهای کودی را بر میزان عناصر غذایی برگ و کلاله

جدول ۴ - مقایسه میانگین اثرات تیمارهای کودی بر میزان عناصر غذایی برگ و عملکرد کلانه خشک زعفران
Table 4- Comparison of the average effects of fertilizer treatments on the amount of leaf nutrients

نوع تیمار Type of treatment	وزن کلانه خشک Dry weight of stigma (kg.ha ⁻¹)	درصد پتاسیم Potassium percentage	درصد فسفر Phosphorus percentage	درصد نیتروژن Nitrogen percentage
The effect of cow manure (A)				
نانو کود گاوی ۲۰ تن در هکتار بصورت مخلوط در خاک Nano cow manure 20 t.ha ⁻¹ mixture in soil	9.17	1.32	0.316	3.40
نانو کود گاوی ۲۰ تن در هکتار بصورت مالچ در خاک Nano cow manure 20 t.ha ⁻¹ applied as mulch	8.50	1.01	0.273	3.03
نانو کود گاوی ۵ تن در هکتار بصورت مخلوط در خاک Nano cow manure 5 t.ha ⁻¹ mixture in soil	7.45	0.97	0.275	3.07
نانو کود گاوی ۵ تن در هکتار بصورت مالچ در خاک Nano cow manure 5 t.ha ⁻¹ applied as mulch	7.03	0.90	0.261	2.77
کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار بصورت مالچ در خاک Cow manure 20 t.ha ⁻¹ applied as mulch	5.66	0.85	0.238	2.50
کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار بصورت مخلوط در خاک Cow manure 20 t.ha ⁻¹ mixture in soil	5.55	0.87	0.247	2.58
بدون کود گاوی Without cow manure	4.40	0.81	0.215	2.43
LSD 0.05	0.3119	0.1098	0.023	0.1841
The effect of chemical fertilizer (B)				
نیتروژن+فسفر+پتاسیم Nitrogen + Phosphorus + Potassium	7.28	1.02	0.275	2.95
بدون کود شیمیایی Without chemical fertilizer	6.36	0.91	0.247	2.70
LSD 0.05	0.1667	0.0587	0.0123	0.0984

افزایش ۲۴/۴۲، ۲۶/۹۹ و ۳۰/۴۷ درصدی در میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ نسبت به تیمار عدم مصرف کود گاوی شد (جدول ۴). تولید کودهایی حاوی عناصر غذایی در اندازه نانومتری، باعث می شود انحلال پذیری عناصر غذایی در خاک افزایش یافته و جذب این عناصر توسط گیاه بهبود یابد. همچنین استفاده از نانوکودها سبب برهم کنش طولانی مدت با میکروارگانیسمهای موجود در خاک می شود (CNIR45, 2015). همان طور که پیشتر اشاره شد درصد عناصر غذایی برگ زعفران در تیمارهای مصرف کود گاوی بصورت مخلوط در خاک نسبت به تیمارهای مالچ بیشتر بود. اختلاف بین درصد عناصر غذایی برگ بین دو روش مالچ و مخلوط هنگامی که از کود گاوی معمولی استفاده شد در نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۳/۱، ۳/۶۴ و ۲/۳ درصد بود در حالی که این اختلاف هنگامی که از

تلفات فسفر از خاک در اثر آبشویی یا رواناب کم است و آزاد سازی پیوسته و آهسته فسفر نسبت به کودهای شیمیایی اجازه می دهد تا گیاه بطور پیوسته در طول رشد بتواند فسفر را جذب کند در حالی که کودهای شیمیایی به یکباره در خاک آزاد می شوند و زمان کافی در اختیار گیاه قرار نمی دهند و همچنین موجب مشکلات زیست محیطی در آبهای سطحی و زیرزمینی می گردند (Wang et al., 2015). استفاده از کود گاوی در مقیاس معمولی نسبت به عدم مصرف کود گاوی به ترتیب سبب افزایش ۴/۳۳، ۱۱/۳۴ و ۵/۸۱ درصد در میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ زعفران شد به طوری که از نظر آماری برای نیتروژن و پتاسیم معنی دار نبود (جدول ۴) این در حالی است که با نانو کردن کود گاوی در تیمارهای پنج تن به ترتیب افزایش ۱۶/۷۸، ۱۹/۷۷ و ۱۳/۳۷ درصدی و در تیمارهای ۲۰ تن به ترتیب

۴). مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای کود گاوی بر عملکرد زعفران (جدول ۴) نشان داد که تیمار مصرف نانو کود گاوی به میزان ۲۰ تن در هکتار به صورت مخلوط در خاک بیشترین و تیمار عدم مصرف کود گاوی کمترین میزان عملکرد را داشت به طوری که استفاده از نانو کود گاوی به مقدار ۲۰ تن در هکتار و بصورت مخلوط در خاک نسبت به تیمار عدم مصرف کود گاوی سبب افزایش ۵۲ درصدی عملکرد شد. تیمارهای نانو ۲۰ تن در هکتار کود گاوی (مالچ و مخلوط) به طور میانگین نسبت به تیمارهای معمولی کود گاوی ۲۰ تن در هکتار (مالچ و مخلوط) افزایش عملکرد ۳۶/۵ درصدی را نشان داد. تیمارهای نانو با نیمه عمر کوتاهتر (جدول ۳) توانستند عناصر غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار دهند و موجب بهبودی گلدهی زعفران شوند (جدول ۴). رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) به ترتیب پتاسیم، فسفر و نیتروژن را مهمترین عوامل موثر بر عملکرد زعفران گزارش کردند. نتایج مطالعه‌ای بر روی وضعیت تغذیه‌ای زعفران در استان خراسان جنوبی نشان داد که مشکل عدم تعادل تغذیه‌ای در تمامی مزارع زعفران وجود دارد و در بیشتر از ۹۵ درصد موارد عدم تعادل تغذیه‌ای ناشی از کمبود عناصر غذایی بوده است (Atarodi et al., 2022). علاوه بر این کودهای آلی نانو حاوی تمامی عناصر پرمصرف و کم مصرف برای رشد گیاه هستند. همچنین تیمارهای نانو پنج تن (مالچ و مخلوط) نسبت به تیمارهای کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار (مالچ و مخلوط) افزایش عملکرد ۲۲ درصدی را نشان دادند. این موضوع نشان می‌دهد که می‌توان با نانو کردن کود گاوی سبب افزایش ۲۲ درصدی در کنار کاهش مصرف ۷۵ درصدی کودهای گاوی شد.

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای کودی (شکل ۵) نشان داد که در تیمارهای نانو، روش مخلوط نسبت به مالچ عملکرد بیشتری داشته است؛ اما در تیمارهای کود گاوی معمولی روش مالچ عملکرد بیشتری داشته است هر چند که در مورد

کود گاوی در مقیاس نانو استفاده شد به ترتیب برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ۱۰/۸۸، ۱۳/۶۱ و ۲۳/۴۸ درصد افزایش یافت (جدول ۴). این موضوع نشان می‌دهد که با نانو کردن کود گاوی اختلاف دو روش مالچ و مخلوط بیشتر می‌شود.

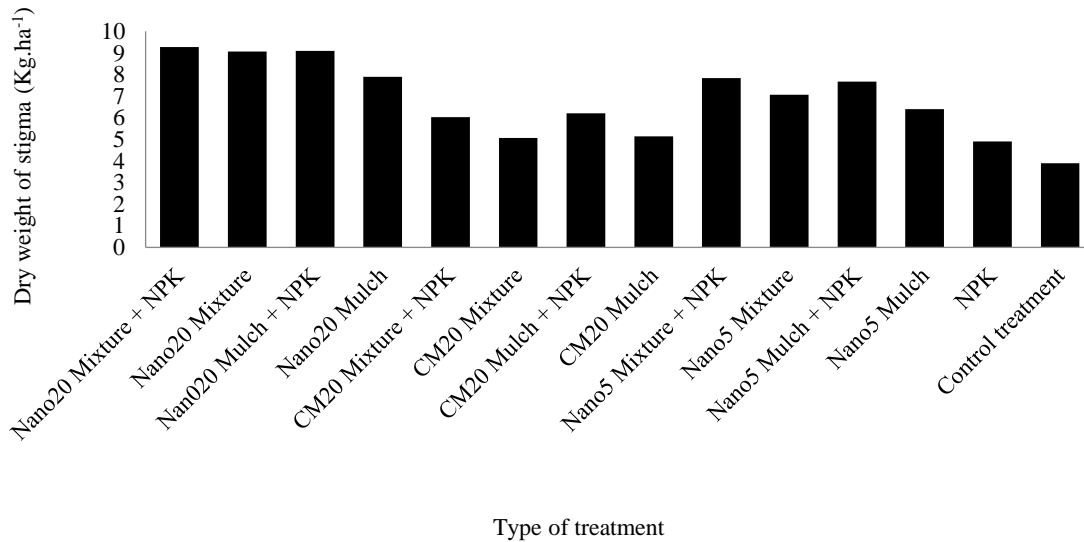
استفاده از کود شیمیایی سبب افزایش ۸/۴۷، ۱۰/۱۸ و ۱۰/۷۸ درصدی در میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ زعفران در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود شیمیایی شد (جدول ۴). درصد عناصر غذایی برگ زعفران در تیماری که فقط به آن کود شیمیایی داده شده بود نسبت به تیمارهای با کود گاوی معمولی (میانگین دو روش مخلوط و مالچ) برای سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۷/۸۷، ۶/۲۵ و ۸/۶۶ درصد بیشتر بود ولی نسبت به کود گاوی در مقیاس نانو (میانگین دو روش مخلوط و مالچ) برای سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در حالت پنج تن ۷/۲، ۶/۴ و ۱/۷ درصد و ۲۰ تن ۱۷/۹، ۱۶/۷ و ۱۷/۳ درصد کمتر بود (جدول ۴). در واقع کود شیمیایی نسبت به کود گاوی در مقیاس معمولی توانسته بود عناصر غذایی را برای گیاه بیشتر فراهم کند اما نسبت به کودهای گاوی در مقیاس نانو این میزان کمتر بود. این موضوع نشان می‌دهد که کود گاوی در مقیاس معمولی نتوانسته به خوبی نیازهای گیاه را در تأمین عناصر غذایی فراهم کند و جهت رسیدن به عملکرد مطلوب وابسته به کودهای شیمیایی است.

عملکرد کلالة

جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی بر عملکرد کلالة زعفران (جدول ۲) نشان داد که تیمارهای کود گاوی و شیمیایی در سطح یک درصد بر عملکرد زعفران اثر معنی‌داری داشته‌اند. همچنین اثر متقابل تیمارهای کودی گاوی و شیمیایی در سطح پنج درصد بر عملکرد زعفران معنی‌دار شد (جدول ۲). استفاده از کود شیمیایی سبب افزایش ۱۲/۶۴ درصدی در عملکرد خشک کلالة زعفران در مقایسه با عدم مصرف کود شیمیایی شد (جدول

غذایی برای گیاه باشد. رابطه غلظت عناصر در برگ با میزان عملکرد یک رابطه مستقیم بوده و به عبارتی مصرف کود تأثیر مستقیم و مثبت بر افزایش کمی عملکرد داشته است (Atarodi et al., 2022).

کودهای گاوی معمولی از نظر آماری معنی‌دار نشد. در جدول نیمه عمر (جدول ۳) مشاهده شد که تیمارهای مخلوط نیمه‌عمر کمتری نسبت به تیمارهای مالچ در خاک داشتند که این موضوع می‌تواند نشان دهنده افزایش تجزیه و دسترسی بیشتر به عناصر



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای کودی بر عملکرد زعفران

Figure 5- Comparison of the average effects of different fertilizer treatments on saffron yield.

Nano20 Mixture: Nano cow manure 20 t.ha⁻¹ mixed with soil (کود گاوی نانو ۲۰ تن در هکتار مخلوط با خاک), Nano5 Mixture: Nano cow manure 5 t.ha⁻¹ mixed with soil (کود گاوی نانو پنج تن در هکتار مخلوط با خاک), Nano20 Mulch: Nano cow manure 20 t.ha⁻¹ mulch (کود گاوی نانو ۲۰ تن در هکتار مالچ), Nano5 Mulch: Nano cow manure 5 t.ha⁻¹ mulch (کود گاوی نانو پنج تن در هکتار مالچ), CM20 Mixture: Cow manure 20 t.ha⁻¹ mixed with soil (کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار مخلوط با خاک), CM20 Mulch: Cow manure 20 t.ha⁻¹ mulch (کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار مالچ), + NPK: pulse Nitrogen, phosphorus and potassium (همراه با کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم).

LSD_{0.05} = 0.4485

نانو توانسته‌اند با افزایش فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف علاوه بر عناصر پرمصرف مورد نیاز زعفران نقش بسیار مهمی در ایجاد تعادل و رعایت تناسب میان همه عناصر غذایی ایجاد کنند و نیازهای غذایی گیاه را نسبت به کودهای شیمیایی بهتر برطرف نمایند. در حالت عدم تعادل غذایی، نه تنها افزایش عملکردی رخ نمی‌دهد، بلکه اختلالاتی نیز در رشد گیاه و نهایتاً افت در عملکرد مطرح می‌شود و پایین بودن بازده کودهای شیمیایی در ایران تأییدی بر این اصل مهم است (Malakouti & Homaei, 2003). در اثر افزودن کود شیمیایی به تیمارهای کودی گاوی

مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای کودی بر عملکرد زعفران نشان داد که تیمار کود گاوی نانو ۲۰ تن در هکتار مخلوط + شیمیایی بیشترین و تیمار شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی و آلی) کمترین عملکرد به میزان به ترتیب ۹/۲۶ و ۳/۹ کیلوگرم در هکتار را داشتند. همچنین تیمار کود گاوی نانو ۲۰ تن در هکتار مخلوط نسبت به تیمارهای کود گاوی معمولی ۲۰ تن، تیمار کود شیمیایی و شاهد به ترتیب افزایش عملکرد ۴۳/۷، ۴۶ و ۵۷ درصدی را نشان داد. با افزایش سرعت تجزیه و با توجه به وجود عناصر غذایی مختلف در کودهای گاوی، کودهای گاوی

نیز افزایش دهد (Gehan et al., 2010).

نتیجه گیری

نانو شدن کود گاوی به طور بسیار مؤثری سبب تأثیر مثبت بر عملکرد و محتوای عناصر غذایی برگ زعفران نسبت به کودهای گاوی معمول و کودهای شیمیایی شد. با نانو کردن کود گاوی نیمه عمر این کود در خاک به طور میانگین در دو روش مالچ و مخلوط ۶۹ درصد کاهش پیدا کرد که این موضوع نشان دهنده تجزیه سریعتر این کود و آزادسازی سریعتر عناصر غذایی در خاک است. با آزادسازی سریعتر عناصر غذایی میزان جذب عناصر غذایی در برگ‌های گیاه زعفران به طور میانگین در دو روش مالچ و مخلوط برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح پنج تن و ۲۰ تن نسبت به کودهای گاوی معمولی و کودهای شیمیایی افزایش پیدا کرد. نتایج نشان داد که در صورت نانو کردن کود گاوی، روش مخلوط نسبت به مالچ ارجحیت دارد؛ اما در کاربرد کود گاوی به صورت معمولی روش مالچ بهتر است که استفاده شود. این موضوع می‌تواند نشان دهنده این باشد که کود دامی در مقیاس معمولی بیشتر از اینکه نقش تأمین کننده عناصر غذایی را داشته باشد از طریق بهبود خصوصیات خاک سبب افزایش عملکرد شده است. تیمارهای نانو پنج تن (مالچ و مخلوط) نسبت به تیمارهای کود گاوی معمولی ۲۰ تن (مالچ و مخلوط) افزایش عملکرد ۲۲ درصدی را نشان دادند. این موضوع نشان می‌دهد که می‌توان با نانو کردن کود گاوی سبب افزایش ۲۲ درصدی در کنار کاهش مصرف ۷۵ درصدی کودهای گاوی که دارای محدودیت این منابع هستیم شد. در مقایسه بین دو روش مالچ و مخلوط، در روش مخلوط به واسطه تماس بیشتر و اختلاط بیشتر کود با خاک نیمه عمر آن در خاک کاهش بیشتری پیدا کرد و میزان عناصر غذایی برگ در حالت مخلوط نسبت به مالچ بیشتر بود. در کاربرد کودهای گاوی بصورت مالچ در خاک نسبت به حالت مخلوط، میزان رطوبت بیشتر و مقاومت مکانیکی

افزایش عملکرد مشاهده شد اما این افزایش در همه تیمارها یکسان نبود. به طور کلی در تیمارهای نانو نسبت به معمولی افزایش عملکرد ناشی از افزودن کودهای شیمیایی کمتر بود. همچنین افزایش عملکرد ناشی از افزودن کود شیمیایی به تیمارهای مخلوط نسبت به مالچ کمتر بود. این موضوع می‌تواند نشان دهنده تأمین بهتر عناصر غذایی در روش مخلوط با توجه به نیمه عمر کمترشان در خاک و احتیاج کمتر به کودهای شیمیایی باشد. همچنین این افزایش در تیمارهای ۲۰ تن نسبت به پنج تن کمتر بود؛ با نانو شدن ذرات کود گاوی، به کارگیری روش مخلوط به جای مالچ و افزایش میزان کاربرد کود از پنج تن به ۲۰ تن، از تأثیر کودهای شیمیایی در افزایش عملکرد کاسته شد که کمترین افزایش عملکرد فقط به میزان ۲/۱۶ درصد در اثر افزودن کود شیمیایی در تیمار کود گاوی نانو ۲۰ تن در هکتار مخلوط مشاهده شد به طوری که دو تیمار کود گاوی نانو ۲۰ تن در هکتار مخلوط و کود گاوی نانو ۲۰ تن در هکتار مخلوط + شیمیایی، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. این در حالی است که در اثر افزودن کود شیمیایی به تیمارهای عدم مصرف کود گاوی، کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار مالچ، کود گاوی نانو پنج تن در هکتار مالچ، کود گاوی معمولی ۲۰ تن در هکتار مخلوط، کود گاوی نانو ۲۰ تن در هکتار مالچ و کود گاوی نانو پنج تن در هکتار مخلوط به ترتیب ۲۰/۴، ۱۷/۲۶، ۱۵/۹۷، ۱۶/۴۵، ۱۳/۲ و ۹/۷۵ درصد افزایش عملکرد مشاهده شد. به طوری که بیشترین اثرگذاری کودهای شیمیایی در افزایش عملکرد مربوط به تیمار عدم مصرف کود گاوی و سپس کود گاوی معمولی مالچ بود (شکل ۴). استفاده از کودهای آلی از جمله کودهای دامی همراه با مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند ضمن افزایش و بهبود عملکرد گیاهان زراعی و افزایش حاصلخیزی خاک از میزان مصرف کودهای شیمیایی بکاهد (Ghosh et al., 2004). ترکیب ۵۰ درصد از کودهای زیستی علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند عملکرد را

شیمیایی، کارایی مصرف کودهای دامی را افزایش دهیم. در واقع می‌توان گفت که نانو ذرات حالت بینابینی بین کودهای دامی و کودهای شیمیایی دارند. نانو ذرات کود گاوی با تهیه سریعتر عناصر غذایی نسبت به کودهای دامی و تحرک کمتر و محدوده تأثیرگذاری زمانی بیشتر نسبت به کودهای شیمیایی می‌توانند نواقص هر دو را برطرف کنند. آینده بسیار روشنی در استفاده از این تکنولوژی برای افزایش عملکرد و کاهش اثرات زیست محیطی می‌توان تصور کرد. شاید بتوان در آینده‌ای نه چندان دور با جایگزین کردن کودهای نانو با کودهای شیمیایی وارد عصر جدیدی از کاربرد کودها و افزایش عملکرد گیاهان، بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، کشاورزی پایدار همراه با کاهش خطرات زیست محیطی شد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره قرارداد ۱۲۰۱۷۵/پ از محل اعتبارات پژوهش‌شکده زعفران دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد.

سطحی کمتر، در خاک مشاهده شد. در واقع روش مالچ با پوشش سطحی خاک و جلوگیری از تبخیر بهتر توانسته بود رطوبت را در خاک حفظ کند. لازم به ذکر است که تمامی نتایج بیان شده در شرایطی است که گیاه تحت تنش خشکی قرار نداشته و قبل از اعمال تیمارها از نظر عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم دارای کمیود بوده است. با توجه به این که در اکثر مزارع ایران احتمال ایجاد شرایط تنش خشکی در دوره رشد زعفران وجود دارد لازم است که این پژوهش در شرایط تنش خشکی نیز آزمایش شود تا اولویت روش مالچ یا مخلوط برر سی شود. تجزیه سریعتر کودهای دامی در خاک به آزادسازی سریعتر عناصر غذایی و تولید سریعتر هوموس کمک می‌کند. کودهای گاوی دارای اثرات بلند مدت در خاک هستند که دلیل آن تجزیه کند و نیمه عمر طولانی مدت این کودها در خاک است و اثرات مثبتش را در طولانی مدت و به طور جزئی در خاک آزاد می‌کند. اما این روش‌های سنتی دیگر جوابگوی نیاز روزافزون بشر نیست. با نانو کردن کود گاوی می‌توان این اثرات را که چندین سال و به تدریج طول می‌کشد تا خاک را تقویت کند در مدت زمان کوتاهتر انجام داد تا علاوه بر کاهش مصرف کودهای

منابع

- Atarodi, B., Zabihi, H.R., and Zangiabadi, M. 2022. Evaluation of Nutrition status of saffron (*Crocus sativus* L.) in South Khorasan province by "Deviation from optimum percentage" (DOP) method. *Saffron Agronomy and Technology* 10 (2): 117-127. (In Persian whit English Summary).
<https://doi.org/10.22048/jsat.2022.315828.1443>
- Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-Total. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. Eds., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624.
- Chen, J.H. 2008. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or bio-fertilizer for crop growth and soil fertility. *International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use*. National Chung Hsing University, Taiwan, 16 – 20 October 2006, p. 1-11.
- Chen, J.H., Wang, Y.J., Zhou, D.M., Cui, Y.X., Wang, S.Q., and Chen, Y.C. 2010. Adsorption

- and desorption of Cu(II), Zn(II), Pb(II), and Cd(II) on the soils amended with Nanoscale hydroxyapatite. *Environmental Progress and Sustainable Energy* 29 (2): 233–241. <https://doi.org/10.1002/ep.10371>.
- Collection of Nanotechnology Industrial Reports. 2015. Nanotechnology and its development in agriculture. First edition. Report No. 45. Available at Web site <http://indnano.ir/wp-content/uploads/45-Ariculture.pdf>. (In Persian).
- Collection of Nanotechnology Industrial Reports. 2015. Increasing the production and quality of agricultural products using biological Nano fertilizers. First edition. Report No. 23. Available at Web site <http://indnano.ir/wp-content/uploads/23-NanoFertilizer.pdf> (In Persian).
- Dastranj, M., and Sepaskhah, A.L. 2019. Saffron response to irrigation regime, salinity and planting method. *Scientia Horticulture* 251: 215-224. <https://doi.org/10.1016/J.scienta.2019.03.027>.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1982. Hydrometer method. In: A. Klute (eds). *Methods of Soil Analysis: Physical Properties*. Part 1, 2nd., ed., Monogr. No.9. ASA and SSSA, Madison, WI. p. 383-411.
- Gehan, G., Mostafa, A., and Abo-Baker, A.A. 2010. Effect of bio- and chemical fertilization on growth of sunflower at south valley area. *Asian Crop Science* 2: 137-146. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2010.137.146>.
- Gliessman, R.S. 2006. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. 2en ed. CRC Press. Boca Raton, FL. The USA.
- Ghazanshahi, J. 2006. *Plant and Soil Analysis*. Aiizh Publications. Tehran. Iran. (In Persian).
- Ghosh, P.K., Ramesh, P., Bandyopadhyay, K.K., Tripathi, A.K., Hati, K.M., and Misra, A.K. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost, and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content, and enzyme activity. *Bioresource Technology* 95: 85-93.
- Handley-Sidhu, S., Renshaw, J.C., Moriyama, S., Stolpe, B., Mennan, C., Bagheriasl, S., Yong, P., Stamboulis, A., Paterson-Beedle, M., Sasaki, K., Pattrick, R.A.D., Lead, J.R., and Macaskie, L.E. 2012. Uptake of Sr²⁺ and Co²⁺ into biogenic hydroxyapatite: Implications for biomineral ion exchange synthesis. *Environmental Science and Technology* 45 (16): 6985–6990. <https://doi.org/10.1021/es2015132>.
- Kalbasi, M. 1996. The status of organic matter in Iranian soils and the role of compost. The 5th Congress of Soil Sciences of Iran. Karaj. Iran. p. 7-11. (In Persian).
- Karimzadeh, F., Ghasemzadeh, A., and Salemizadeh, S. 2005. *Nanomaterials: Properties, Synthesis, Application*. Jahad Esfahan University of Technology. Esfahan. Iran. (In Persian).
- Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium and potassium. *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. Part 2, 2nd ed. Agron. Monoger. No.9. In: A. L. Page (eds.), ASA and SSSA, Madison. WI. P. 225-246
- Koocheki, A., Jamshid Eyni, M., and Seyyedi, S. 2015. The effects of mother corm size, manure and chemical fertilizers on replacement corm criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.), *Journal of Saffron Research* 2 (1): 34-46. (In Persian whit English Summary). <https://doi.org/10.22077/jsr.2015.328>.
- Lean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*. Part 2, 2nd ed. Agron. Monoger. No.9. In: A. L. Page (eds.), ASA and SSSA, Madison. p. 199-224.
- Liu, R., and Lal, R. 2014. Synthetic apatite

- nanoparticles as a phosphorus fertilizer for soybean (*Glycine max*). Scientific Reports (4): 5685–5691. <https://doi.org/10.1038/srep05686>.
- Magdoff, F., and Weil, R.R. 2004. Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9780203496374>.
- Malakouti, M.J., and Homaei, M. 2003. Soil Fertility of Arid and Semi-arid Regions Difficulties and Solutions. Publication of Tarbiat Modarres University. Tehran. Iran. (In Persian).
- Montalvo, D., McLaughlin, M.J., and Degryse, F. 2015. Efficacy of hydroxyapatite nanoparticles as phosphorus fertilizer in Andisols and Oxisols. Soil Science Society of America Journal 79 (2): 551–558. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2014.09.0373>.
- Movahedi Naeini, A., and Rezei, M. 1999. Soil physics (basics and application). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Goletan. Iran. (In Persian).
- Naghavi Maremati, A., Bahmanyar, M.A., Pirdashti, H., and Salak Gilani, S. 2007. Effect of different rates and types of organic and chemical fertilizers on yield and yield components of different rice cultivars. 10th Iranian Conference of Soil Science, Tehran, p. 766-767. (In Persian). https://issc.areeo.ac.ir/article_29398.pdf.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Frank, S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington DC: United States Department of Agriculture.
- Rezaei, H. 2013. A review of research on the use of cow manure in agricultural lands of Iran. Journal of Land Management 1 (1): 55-68. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/lmj.2013.100076>.
- Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., and Mollafilabi, A. 2015. Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research 3 (2): 188-203. (In Persian whit English Summary). <https://doi.org/10.22077/JSR.2015.294>.
- Richards, L.A. 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook No:60. US Department of Agriculture, Washington DC. The USA.
- Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. Part 2, 2nd ed. Agron. Monoger. No.9. In: A. L. Page (eds.), ASA and SSSA, Madison. WI. p. 167-179
- Roco, M.C., and Bainbridge, W.S. 2013. The new world of discovery, invention, and innovation: Convergence of knowledge, technology, and society. Journal of Nanoparticle Research 15 (9): 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1946-1>.
- Shirani, H., Hajabasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A. 2002. Effect of farmyard manure and tillage system on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research. 68 (2): 101-108. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00110-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00110-1).
- Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>.
- Wang, D., Jin, Y., and Jaisi, D.P. 2015. Cotransport of hydroxyapatite nanoparticles and hematite colloids in saturated porous media: Mechanistic insights from mathematical modeling and phosphate oxygen isotope fractionation. Journal of Contaminant Hydrology 182: 194–209. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2015.09.004>.
- Yarami, N., and Sepaskhah, A.R. 2015. Saffron response to irrigation water salinity, cow manure and planting method. Agricultural Water

- Management 150 (2015): 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.12.004>.
- Zabihi, H. 2017. Management of nutrition in saffron plant. Technical publication 555. Publications of Soil and Water Research Institute. Available at Web site: https://agrilib.areeo.ac.ir/book_6151.pdf (In Persian).
- Zhang, Z., Li, M., Chen, W., Zhu, S., Liu, N., and Zhu, L. 2010. Immobilization of lead and cadmium from aqueous solution and contaminated sediment using nano-hydroxyapatite. *Environmental Pollution* 158 (2): 514–519. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.08.024>.