

## Nutrient content of soil and wheat grain due to the integrated application of chemical and organic fertilizers

A R. Jafarnejadi<sup>1</sup>, F. Moshiri<sup>2</sup> and F. Meskini-Vishkaee<sup>3</sup>

1. Associate Professor, Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran
2. Associate Professor, Soil fertility and Plant nutrition, soil and water research institute, , Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

Received: 5 October 2024 Accepted: 19 December 2024 \*Corresponding Author: arjafarnejady@gmail.com

### Abstract

**Introduction:** Arid and semi-arid areas such as Khuzestan province has highly fragile ecosystems that are characterized by low soil fertility, and high organic matter decomposition rates. According to the FAO, around 12% of world soils and 65% of Iran's soils are calcareous and more than 20 % of the irrigated farms in the world is affected by salinity. Since soil organic carbon content is low in saline-calcareous soils, the use of organic manure can be effective in increasing soil organic carbon and supplying essential nutrients in crop production. Applying organic manure in agriculture has been considered during the last two decades due to its high quality products, high price, and low market availability of chemical fertilizers, chiefly in developing countries. The organic fertilizer application, both alone or in combination with inorganic fertilizers, is effective in increasing soil organic carbon (SOC) content and improve in soil fertility, microbial activity, and soil water retention capacity. Now the integrated application of organic and chemical fertilizers is inevitable for sustainable production and soil conservation. Hence, comprehension of the response of the soil and crop to applying organic and inorganic fertilizer may help to determine proper manure management strategies to enhance SOC and improve soil health and its ecosystem services. Thus, the aim of the study was to investigate the effects of different fertilizer managements on nutrient content of soil and wheat in saline-calcareous soils of Khuzestan province.

**Materials and Methods:** To evaluate the effect of the integrated and long-term application of chemical and organic fertilizers on the nutrient content of soil and wheat grain in fixed plots, this research was carried out in Khuzestan province (Ahvaz city) in a calcareous- saline soil with silty clay texture under wheat cultivation (Barat cultivar) as a randomized complete block design for four years (2017-2021) in six treatments with three replications. The treatments included T1: unfertilized control, T2: application of nitrogenous, phosphorus and potassium chemical fertilizers based on soil test, T3: application of 20 tons of cattle manure every two years + 75% of recommended nitrogen + 50% of the recommended phosphorus and potassium, T4: application 20 tons of bagasse every two years + 75% of the recommended nitrogen + 50% of the recommended phosphorus and potassium, T5: annual application of 20 tons of cattle manure + 75% of the recommended nitrogen, T6: annual application of 20 tons of bagasse + 75% of the recommended nitrogen. In treatment T2 recommended dose of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, and 30 % of recommended N were applied at the time of second irrigation; the remaining N dose was applied in two splits at tillering (40 % of recommended N) and booting stages (30 % of recommended N). The organic manures were



incorporated in the soil (depth 0-15 cm) a week before sowing. At the end of the growing season, wheat yield components were measured and also some soil properties involved pH, salinity and SOC, and the concentration of nitrogen, phosphorous and potassium in soil and grain wheat were determined. SAS v.9.1 statistical software and LSD test were used to compare the means of the studied treatments.

**Results and Discussion:** The mean values of SOC varied in range of 0.60 to 0.73 %. As a result of applying treatment T2 (inorganic fertilizers application as alone), no significant difference was observed in SOC compared to the control treatment ( $p < 0.05$ ). Compared to unfertilized control treatment, the SOC content were increased significantly by the use of cattle manure at T3 treatment (0.13 %), which could be attributed to the larger proportion of tenacious organic compounds in organic fertilizers than in chemical fertilizer. The highest concentration of soil available phosphorus ( $19.8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) was obtained in the integrated application of chemical fertilizer and cattle manure (T3), which is 60 and 169 % higher than those in the exclusive chemical fertilizer application ( $12.35 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and control ( $7.35 \text{ mg kg}^{-1}$ ) treatments, respectively. The highest average soil available potassium concentration ( $253.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) was also observed in T3. The results showed that the application of different fertilizer treatments was significant on the nutrient uptake by wheat grain ( $p < 0.01$ ). The variation ranges of nitrogen, phosphorous and potassium uptake by wheat grain due to the application of different treatments was obtained in  $35.3 - 92.68$ ,  $7.3 - 14.87$  and  $9.3 - 17.11 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectively.

**Conclusion:** Based on the results of this research, it was found that the integrated application of organic and inorganic fertilizers has a more positive effect on improving soil fertility in the long term than using them alone. Moreover, the results indicated that the use of cattle manure was more effective than bagasse manure which may be due to its lower carbon to nitrogen ratio (21/3). The integrated use of organic and inorganic fertilizers not only improve soil fertility, but also increases the efficiency of chemical fertilizer use, which reduces the basic chemical fertilizers consumption. Therefore, it is recommended to application of 20 tons of cattle manure every two years + 75% of recommended nitrogen + 50% of the recommended phosphorus and potassium (T3) in the saline-calcareous soils under wheat cultivation in arid and semi-arid climates such as southern of Khuzestan province.

**Keywords:** *Cattle manure, Saline - calcareous soil, Sustainable agriculture Sugarcane, bagasse compost.*

## محتوای عناصر غذایی خاک و دانه گندم در اثر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی

علیرضا جعفرنژادی<sup>۱</sup>، فرهاد مشیری<sup>۲</sup> و فاطمه مسکینی ویشکایی<sup>۳</sup>

- ۱- دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، اهواز، ایران
- ۲- دانشیار بخش تحقیقات تغذیه گیاه و حاصلخیزی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران
- ۳- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، اهواز، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹	
<b>کلمات کلیدی:</b> خاک شور- آهکی کشاورزی پایدار کمپوست باگاس نیشکر کود گاوی	
* عهده دار مکاتبات Email: arjafarnejadi@gmail.com	
	<p>امروزه استفاده تلفیقی از کودهای آلی و شیمیایی برای تولید پایدار و حفظ منابع خاک اجتناب ناپذیر می باشد. به منظور مطالعه تأثیر طولانی مدت کاربرد توأم کودهای شیمیایی و آلی بر برخی ویژگی های خاک و محتوای عناصر غذایی خاک و دانه گندم در کرت های ثابت، پژوهشی در شش تیمار مدیریت مصرف کودهای آلی و شیمیایی در سه تکرار و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی به مدت ۴ سال در استان خوزستان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد بدون کاربرد کود شیمیایی (T1)، کاربرد کودهای شیمیایی NPK بر اساس آزمون خاک (T2)، کاربرد کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده (T3)، کاربرد کمپوست باگاس نیشکر هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده (T4)، کاربرد سالانه کود گاوی + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده (T5)، کاربرد سالانه کمپوست باگاس نیشکر + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده (T6) بودند. کاربرد تیمارهای کودی (به جز تیمار T2 کاربرد انحصاری کود شیمیایی) تأثیر معنی داری بر شوری خاک نداشتند. بیشترین افزایش معنی دار کربن آلی خاک (حدود ۰/۱۳ درصد) در تیمارهای کاربرد تلفیقی کود گاوی و کودهای شیمیایی (T3 و T5) مشاهده شد. بیشترین مقدار فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک به ترتیب برابر با ۱۹/۸ و ۲۵۳/۳ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار T3 به دست آمد. نتایج نشان داد که تیمارهای کودی موجب افزایش معنی دار مقدار جذب عناصر غذایی توسط دانه گندم شد. دامنه تغییرات مقدار جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط دانه گندم به ترتیب برابر با ۹۲/۶۸-۳۵/۳، ۱۴/۸۷-۷/۳ و ۱۷/۱۱-۳-۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده</p>

شد. نتایج مؤید تأثیر بیشتر کود دامی نسبت به باگاس نیشکر بر بهبود محتوای عناصر غذایی خاک و گیاه بود. بنابراین، کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده در مزارع گندم استان خوزستان توصیه می‌شود.

#### مقدمه

کاربرد کودهای شیمیایی از عوامل اصلی حفظ حاصلخیزی خاک محسوب می‌شوند، اما استفاده بی‌رویه و نامناسب آن‌ها توأم با اقدامات مدیریتی نامناسب مانند خاک‌ورزی شدید، سوزاندن بقایای گیاهی، چرای بی‌رویه سبب کاهش شدید مقدار ماده آلی خاک شده و این عامل روی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مؤثر بوده و منجر به افزایش خطر فرسودگی خاک‌ها گردیده است. در حال حاضر پنجاه درصد جمعیت جهان غذای خود را با استفاده از کودهای شیمیایی به دست می‌آورند. میزان نیاز جهانی به غذا در طی سال‌های ۲۰۳۰-۱۹۹۰ دو برابر شده و انتظار می‌رود در کشورهای جهان سوم حدود ۲/۵ تا ۳ برابر افزایش یابد (۴). اگرچه کودهای شیمیایی منبع اصلی عناصر غذایی ضروری در تولید محصولات هستند، اما گیاهان می‌توانند عناصر غذایی مورد نیاز خود را از منابع دیگری همچون مواد آلی خاک، بقایای گیاهی، پسماندهای تر و خشک و تثبیت بیولوژیک نیتروژن تأمین نمایند (۱). ماده آلی خاک از منابع اصلی تأمین عناصر غذایی کربن، نیتروژن، فسفر و گوگرد می‌باشد و چرخه عناصر و قابلیت استفاده از آن‌ها تحت تأثیر فعالیت‌های زیستی خاک است (۶). کودهای آلی با افزایش ماده آلی خاک در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، حفظ آب، افزایش فعالیت زیستی و افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی مؤثر می‌باشد (۱۶). این اثرات بایستی در نهایت به افزایش زیست‌توده و تولید محصول منجر شود (۲۳). علاوه بر این، کودهای آلی توانایی تأمین تمام و یا بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را دارند. سهم کودهای آلی در فراهم نمودن عناصر غذایی برای گیاه به نوع سیستم زراعی (تناوب زراعی)، شرایط خاکی، اقلیمی، نوع کود آلی و عملکرد محصول وابسته بوده و می‌توان با کاربرد کودهای آلی از

مصرف کودهای شیمیایی کاست (۲۴). پژوهش شلگل<sup>۱</sup> و همکاران (۲۵) نشان داد که کاربرد طولانی مدت کود دامی موجب افزایش عملکرد و جذب عناصر غذایی دانه ذرت شد. ژائو<sup>۲</sup> و همکاران (۳۴) نیز در پژوهشی افزایش ماده آلی خاک، عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی خاک و همچنین pH و شوری را در یک خاک آهکی در اثر استفاده از کود دامی گزارش کردند.

در مدیریت تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی هر منطقه می‌توان از ظرفیت بومی خاک و تمامی مواد در دسترس اعم از کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک در تأمین عناصر غذایی محصول استفاده نمود (۱۴). سیمک<sup>۳</sup> و همکاران (۲۷) اثر کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی را بر ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های کشاورزی ارزیابی نمودند. نتایج آنها مؤید افزایش محتوای کربن آلی و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک در تیمارهای کاربرد تلفیقی کود نسبت به تیمار شاهد بود. نتایج پژوهش یانگ<sup>۴</sup> و همکاران (۳۳) نیز نشان داد که کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی علاوه بر بهبود کربن آلی خاک موجب افزایش تعداد ریشه‌های ذرت، افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه و در نهایت افزایش عملکرد محصول گردید.

در استان خوزستان به دلیل کشت متمرکز نیشکر توسط شرکت‌های توسعه نیشکر، سالانه یک میلیون و ۲۰۰ هزار تن باگاس (مواد پسماندهای نیشکر پس از استخراج عصاره آن) مازاد تولید می‌شود (۱۸). از سوی دیگر، استان خوزستان با بیش از ۴۰۰ هزار هکتار سطح زیر کشت گندم

1-Schlegel et al.

2- Zhao et al.

3- Simek et al.

4- Yang et al.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش این پژوهش به صورت مزرعه‌ای به مدت چهار سال از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گلستان اهواز در استان خوزستان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. مختصات جغرافیایی، شرایط اقلیمی و ویژگی‌های خاکی محل اجرای آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است. از خاک محل آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه خاک مرکب تهیه گردید و برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک (جدول ۲) شامل بافت به روش هیدرومتر، pH با استفاده از pH متر، هدایت الکتریکی خاک با استفاده از EC متر، کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر، محتوای آهک خاک (TNV) به روش خشتی‌سازی با اسید، فسفر قابل دسترس خاک به روش اولسن و با دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم قابل دسترس خاک با دستگاه فلیم-فتومتر اندازه‌گیری شد (۸). بافت خاک رسی سیلتی و مقدار کربن آلی خاک برابر با ۰/۵۹ درصد بود. خاک مورد مطالعه آهکی و شور ( $EC < 4 \text{ dS m}^{-1}$ ) بود (جدول ۱).

آبی، نقش حیاتی در تولید گندم کشور دارد. با این حال، به دلیل اقلیم خشک و نیمه خشک و اکوسیستم بسیار آسیب پذیر استان به ویژه در نیمه جنوبی، شدت تجزیه مواد آلی در خاک‌ها بسیار زیاد بوده که منجر به حاصلخیزی کم خاک-های کشاورزی می‌گردد (۲). بنابراین، وجود اطلاعات ارزشمند از اثر مثبت کاربرد توأم کودهای شیمیایی و آلی در تولید محصولات کشاورزی و حفظ حاصلخیزی خاک می‌تواند نوید بخش دستیابی به رهیافتی کارا و اقتصادی در مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه باشد که علاوه بر تضمین پایداری تولید، سلامت غذایی و حفظ محیط زیست از جمله اثرات مثبت آن محسوب می‌گردد. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف کاربرد کودهای شیمیایی و آلی از دو منبع دامی و ضایعات کشاورزی موجود در استان خوزستان بر ویژگی‌های حاصلخیزی و شیمیایی خاک انجام شد.

جدول (۱) مختصات جغرافیایی، شرایط اقلیمی و طبقه‌بندی خاک ایستگاه گلستان اهواز

Table (1) Geographical coordinates, climatic conditions and soil classification of Golestan Station, Ahvaz

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	فامیلی خاک	سری خاک	میانگین بارش	میانگین دمای کمینه	میانگین دمای بیشینه	اقلیم
Longitude	Latitude	Soil Family	Soil Seri	average rainfall	Average minimum temperature	Average maximum temperature	climate
48°40'	31°20'	Fine, Carbonatic, hyperthermic, Typic Toriothents	Ahvaz	224	17.6	32.9	خشک arid

دوره آماری طولانی مدت ۲۰ تا ۵۰ ساله (۱۶)

Long-term statistical period of 20 to 50 years (16)

جدول (۲) ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه

Table (1) Chemical and physical properties of the studied soil

عمق	شن	سیلت	رس	هدایت الکتریکی	پ‌هاش خاک	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	آهک
depth (cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	pH	OC (%)	P ( $\text{mg Kg}^{-1}$ )	K	TNV (%)
0-30	8	46	46	8.8	7.8	0.59	9.2	250	45



جدول (۴) شرایط کاشت محصول و کود مصرفی  
 Table (4) Planting conditions and fertilizer consumption

	فصل زراعی Crop season			
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021
واریته گندم Wheat cultivar	Barat	Barat	Barat	Barat
تاریخ کشت Planting date	2 December	14 November	21 November	10 November
مقدار بذر مصرفی * Consumable seed	180 Kg ha <sup>-1</sup>	180 Kg ha <sup>-1</sup>	180 Kg ha <sup>-1</sup>	180 Kg ha <sup>-1</sup>
تاریخ برداشت Harvest date	5 May	5 May	9 May	30 April
کود اوره Urea fertilizer	350 Kg ha <sup>-1</sup>	350 Kg ha <sup>-1</sup>	350 Kg ha <sup>-1</sup>	350 Kg ha <sup>-1</sup>
کود سوپرفسفات تریپل Triple superphosphate fertilizer	200 Kg ha <sup>-1</sup>	150 Kg ha <sup>-1</sup>	100 Kg ha <sup>-1</sup>	100 Kg ha <sup>-1</sup>
کود سولفات پتاسیم Potassium sulfate fertilizer	50 Kg ha <sup>-1</sup>	80 Kg ha <sup>-1</sup>	50 Kg ha <sup>-1</sup>	50 Kg ha <sup>-1</sup>

شوری خاک، pH، کربن آلی خاک، فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک در آزمایشگاه اندازه گیری شد. نتایج حاصل با استفاده از نرم افزار SAS v.9.3 به صورت مرکب (طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چند سال) تجزیه و میانگین تیمارها با روش حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین شوری خاک و کربن آلی در سطح پنج درصد و فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در سطح یک درصد بین تیمارهای مختلف وجود داشت (جدول ۵).

### برداشت محصول و اندازه‌گیری عناصر غذایی دانه گندم و ویژگی‌های خاک

برداشت گندم به صورت دستی و از سه متر مربع وسط هر کرت انجام شد. بدین منظور از چارچوب یک متر مربعی استفاده شد. اندام هوایی گندم در سه قسمت یک متر مربعی از وسط هر کرت برداشت گردید. پس از برداشت، کاه و کلش و دانه گندم از هم جدا شدند و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. سپس دانه گندم در هر تیمار در آزمایشگاه آسیاب و بعد از هضم نمونه غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود در دانه گندم اندازه‌گیری شد (۸). همچنین در انتهای فصل کشت و بعد از برداشت گندم از خاک هر کرت در هر تیمار به صورت مجزا نمونه‌برداری انجام شد و ویژگی‌های

جعفر نژادی و همکاران: محتوای عناصر غذایی خاک و دانه گندم در...

جدول (۵) تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب اثر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های خاک و غلظت عناصر غذایی خاک و دانه گندم

Table (5) Analysis of variance (mean of squares) for effect of different management on some soil properties and the nutrient concentration of soil and wheat grain

Nutrient uptake by wheat grain جذب عناصر غذایی توسط دانه گندم			Soil available K پتاسیم قابل دسترس خاک	Soil available P فسفر قابل دسترس خاک	Organic Carbon کربن آلی	pH پ‌هاش	Electrical conductivity شوری	Degree of Freedom درجه آزادی	Variation Source منبع تغییرات
K پتاسیم	P فسفر	N نیتروژن							
55.2 ns	296.6 **	6143 **	22562.5 **	2.4 ns	0.32 **	0.13 ns	0.21 ns	3	سال
51.1 ns	26 ns	0.06 ns	910.1 ns	0.12 ns	0.005 ns	0.23 *	2.28 ns	2	year بلوک
104.2 **	86.5 **	4722 **	2137.74*	224.9 **	0.03 *	0.07 ns	5.52 *	5	Block تیمار
15.6	25.3	594	303.75	1.89	0.01	0.06	1.57	40	Treatment خطا
25.6	13.8	21.4	7.5	11.7	14.7	3.5	19.4		ضریب تغییرات (CV)

ns, \* و \*\*: به ترتیب غیر معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح پنج و یک درصد

ns, \* and \*\*: are non-significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

کاربرد مدیریت‌های اعمال شده بر میزان پ‌هاش در خاک گردیده است.

### شوری خاک

نتایج نشان داد که در بین ویژگی‌های خاک مورد مطالعه، تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف کودی، تغییرات شوری خاک (ضریب تغییرات ۱۹/۴ درصد) نسبت به سایر ویژگی‌های خاک مشهودتر بود (جدول ۵). کمترین میانگین شوری خاک (۵/۲۴ دسی زیمنس در متر) در تیمار کاربرد انحصاری کود شیمیایی (T2) مشاهده شد که به طور معنی‌داری نسبت به شوری تیمار شاهد (۶/۴ دسی زیمنس در متر) کمتر بود (جدول ۶). علت کاهش میزان شوری در تیمار T2 نسبت به تیمار شاهد به دلیل فراهمی سریع عناصر غذایی در ابتدای فصل رشد برای گیاه و رشد مناسب قسمت‌های هوایی و ریشه گندم (۲۶) در تیمار T2 و در نتیجه بهبود نفوذ، حرکت آب در خاک و آبشویی املاح خاک در طی مراحل کاشت گندم بود. همچنین نتایج نشان داد که با وجود اینکه کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی موجب

نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف کودی تأثیر معنی‌داری بر پ‌هاش خاک نداشتند (جدول ۵). در حالی که نتایج نژاد حسینی و آستارایی (۲۲) در خصوص کاربرد منابع کود آلی بر پ‌هاش خاک نشان داد که اثرات باقیمانده کودهای کمپوست و گاوی یک‌سال بعد از استفاده سبب افزایش پ‌هاش خاک شده است. همچنین، اقبال و همکاران<sup>۱</sup> (۵) نیز نشان دادند که میزان افزایش پ‌هاش خاک در اثر کاربرد کودهای کمپوست و گاوی تا چهار سال بعد از مصرف می‌تواند ادامه یابد. عدم تغییر معنی‌دار پ‌هاش خاک در مطالعه حاضر، احتمالاً به دلیل آهکی بودن خاک و بالا بودن ظرفیت بافری خاک مورد مطالعه می‌باشد. مواد آلی دارای گروه‌های عاملی هستند که با آزاد نمودن پروتون در تغییرات پ‌هاش خاک مؤثر هستند. با توجه به محتوای زیاد کربنات کلسیم خاک و بالا بودن ظرفیت بافری در این خاک‌ها (جدول ۲)، احتمالاً پروتون آزاد شده توسط گروه‌های عامل بازی خنثی شده و باعث عدم تأثیر



تغییرات شوری معنی داری در خاک ایجاد نخواهد شد. همچنین در تیمارهای مدیریت تلفیقی کود، با توجه به کاربرد قابل توجه کودهای آلی به میزان ۲۰ تن در هکتار توأم با کودهای شیمیایی که ذاتاً دارای مقداری شوری می باشند، آبشویی خاک در این تیمارها در طی داشت گندم تا حد تیمار شاهد مؤثر بوده است. با این وجود سانگ و همکاران (۲۹) گزارش کردند که کاربرد بقایای گیاهی روشی مؤثر در افزایش آبشویی نمک ها و جلوگیری از تجمع نمک در خاک های شور آهکی است. نتایج این پژوهشگران به دلیل تفاوت در نوع، مقدار، شدت پوسیدگی بقایای گیاهی مورد استفاده و نوع گیاه کشت شده، با نتایج مطالعه حاضر متفاوت است.

افزایش شوری خاک نسبت به تیمار شاهد شد اما در بازه زمانی مورد مطالعه، این افزایش معنی دار نبود. علت افزایش ناچیز میزان شوری خاک در مدیریت های مورد مطالعه می تواند تا حدی ناشی از انتقال نمک موجود در این کودها بعد از استفاده در خاک باشد (جدول ۳). بر این اساس مصرف هر ساله آن ها می تواند منجر به افزایش شوری و کاهش عملکرد محصول گردد (۲۸). با وجود اینکه شوری کود دامی مورد استفاده در این پژوهش ( $5/9 \text{ dSm}^{-1}$ ) بسیار بیشتر از کود باگاس نیشکر ( $0/7 \text{ dSm}^{-1}$ ) بود، اما تغییرات شوری خاک در همه تیمارهای مدیریت تلفیقی کود آلی و شیمیایی تقریباً مشابه با تیمار شاهد به دست آمد. در صورتی که منابع کودهای دامی از وضعیت مناسبی از نظر پوسیدگی برخوردار باشند در مقایسه با غلظت املاح در کودهای آلی تازه، احتمالاً

جدول (۶) مقایسه میانگین اثرات تیمارهای مختلف کودی بر برخی ویژگی های خاک

Table (6) Mean Comparison of effects of different fertilizer treatments on some soil properties

Soil available K پتاسیم قابل جذب	Soil available P فسفر قابل جذب	Organic Carbon کربن آلی	pH پهاش	EC شوری	Treatment تیمار
( $\text{mg kg}^{-1}$ )		(%)	(-)	( $\text{dS m}^{-1}$ )	
236.2 b	7.35 e	0.6 c	7.56 a	6.4 a	T1
233.2 b	12.35 b	0.63 c	7.61 a	5.24 b	T2
253.3 a	19.8 a	0.73 a	7.45 a	6.5 a	T3
213.7 c	11.5 bc	0.65 bc	7.45 a	6.7 a	T4
230.3 b	11.0 c	0.72 ab	7.42 a	6.8 a	T5
223.7 bc	8.75 d	0.65 bc	7.47 a	7.3 a	T6

(T1 شاهد بدون مصرف کود، T2 کودهای شیمیایی توصیه شده T3) ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد

فسفر و پتاسیم توصیه شده، T4) ۲۰ تن کمپوست باگاس هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده، T5) سالانه ۲۰

تن کود گاوی + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده، T6) سالانه ۲۰ تن کمپوست باگاس + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده. اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای

اختلاف معنی دار ( $P < 0.05$ ) نمی باشند.

T1: unfertilized control, T2: application of NPK fertilizers based on soil test, T3: application of 20 tons of cattle manure every two years + 75% of recommended nitrogen + 50% of the recommended phosphorus and potassium, T4: application 20 tons of bagasse every two years + 75% of the recommended nitrogen + 50% of the recommended phosphorus and potassium, T5: annual application of 20 tons of cattle manure + 75% of the recommended nitrogen, T6: annual application of 20 tons of bagasse + 75% of the recommended nitrogen. Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ( $P < 0.05$ )

### کربن آلی خاک:

مقدار مصرف کودهای آلی در تیمارهای مدیریت تلفیقی، افزایش میانگین کربن آلی خاک در طی زمان مطالعه این پژوهش، علی‌رغم معنی‌دار شدن نسبت تیمار شاهد، چندان قابل توجه نبوده است. این موضوع احتمالاً به دلیل انجام خاک‌ورزی‌های مرسوم، به هم خوردن خاک و عدم رعایت اصول کشت حفاظتی و انجام حداقل خاک‌ورزی می‌باشد. از سوی دیگر وقوع درجه‌حرارت‌های بالا و اقلیم خشک منطقه سرعت اکسیداسیون مواد آلی را افزایش می‌دهد (۲). نتایج پژوهش‌های گذشته نشان داده است که زمانی که بقایای گیاهی محصول قبل در خاک حفظ شوند اما عملیات خاک‌ورزی شدید صورت گیرد، در میزان مواد آلی خاک تفاوت معنی‌داری را ایجاد نخواهد کرد (۱۷).

### غلظت فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک

عناصر فسفر و پتاسیم از مهم‌ترین عناصر حیاتی موجود در خاک بوده که نقش مؤثری در تعیین میزان تولید یک خاک دارند. نتایج نشان داد که میانگین غلظت فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در تیمارهای مدیریتی مورد مطالعه نسبت به میانگین تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۶). کاربرد تمام تیمارهای مورد مطالعه شامل کود شیمیایی به تنهایی و یا همراه با کودهای آلی موجب افزایش معنی‌دار فسفر قابل جذب خاک نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین غلظت فسفر قابل جذب خاک (۱۹/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و کود دامی (T3) به دست آمد که ۶۰ و ۱۶۹ درصد از غلظت فسفر قابل جذب خاک به ترتیب در تیمارهای کاربرد انحصاری کود شیمیایی (۱۲/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و شاهد (۷/۳۵) بیشتر بود (جدول ۶). مقایسه میانگین غلظت فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی و کود دامی (T3 و T5) نسبت به کود کمپوست باگاس نیشکر (T4 و T6) مؤید اثرگذاری بیشتر کودهای دامی در تأمین فسفر قابل جذب خاک است. نتایج تجزیه این دو منبع کودی (جدول ۴) نیز نشان داد که میزان فسفر

میانگین ۴ ساله کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف مورد مطالعه از ۰/۶ تا ۰/۷۳ درصد متغیر بود (جدول ۶). بین میانگین کربن آلی خاک در تیمار کاربرد انحصاری کود شیمیایی (T2) و تیمار شاهد (T1) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. مطالعات مختلف نشان داده است که تأثیر کاربرد انحصاری کودهای شیمیایی بر ماده آلی خاک می‌تواند بدون اثر مثبت (۹) یا منفی و کاهش (۱۲) باشد. ۰/۰۳ درصد افزایش مشاهده شده در میانگین کربن آلی خاک در تیمار کود شیمیایی احتمالاً به دلیل تأثیر کود شیمیایی بر رشد و توسعه گندم و برگشت بقایا (ریشه و بخشی از قسمت‌های هوایی گیاه) به خاک پس از برداشت محصول است (۱۵ و ۳۰). بیشترین افزایش میانگین کربن آلی خاک در تیمار کاربرد تلفیقی کود دامی و هر سه کود شیمیایی پایه (T3) مشاهده شد (۰/۷۳ درصد) که نسبت به تیمار شاهد، مقدار کربن آلی خاک ۰/۱۳ درصد افزایش داشت (جدول ۶). افزایش میانگین کربن آلی خاک در اثر مصرف کودهای آلی را می‌توان به وجود بیشتر ترکیبات آلی مقاوم در کودهای آلی نسبت به کود شیمیایی و اشباع کم کربن در خاک‌های شور آهکی نسبت داد (۱۳). همچنین نتایج نشان داد که تیمارهای مدیریت تلفیقی با کاربرد کود دامی (T3 و T5) نسبت به کاربرد کمپوست باگاس نیشکر (T4 و T6)، در افزایش کربن آلی خاک مؤثرتر بوده‌اند. به گونه‌ای که افزایش میانگین کربن آلی در تیمارهای تلفیقی کود باگاس نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود. دلیل احتمالی این موضوع، کمتر بودن نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در کود دامی (۲۱/۳) نسبت به کمپوست باگاس نیشکر (۲۶۷/۵) است (جدول ۳). تجزیه بقایای آلی با نسبت مقدار کربن به نیتروژن خاک مرتبط است. کودهای دامی با C/N کمتر، سرعت تجزیه بیشتری دارد اما بقایای غنی از لیگنین و خشبی همانند باگاس نیشکر با C/N بالاتر، تجزیه کندتری دارند (۱۱). با توجه به

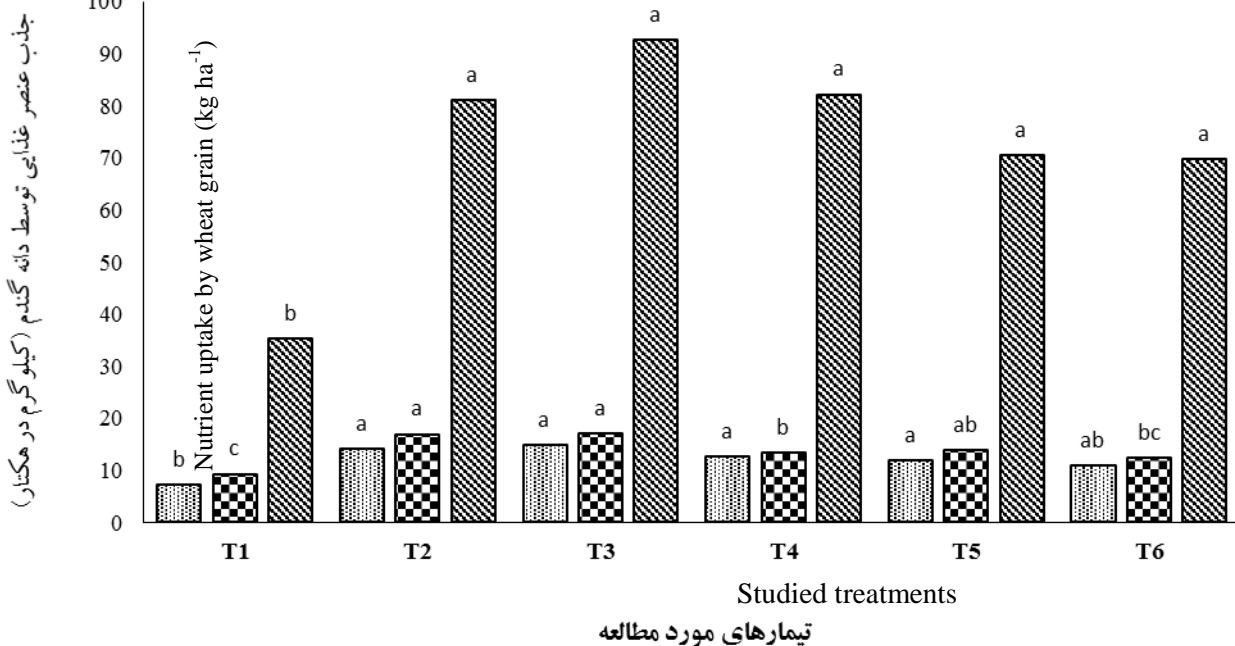
شرایط خاک و نیز به دلیل محتوای عناصر غذایی همراه با کودهای آلی اثرات مثبت و معنی داری دارد. کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی، شرایط مناسب و ایده آلی برای رشد گیاه فراهم می کند و ضمن کاهش هزینه تولید، عملکرد کمی و کیفی گیاهان را نیز افزایش می دهد (۱۰ و ۲۶). نتایج مطالعات پیشین نیز مؤید این حقیقت است که مدیریت تلفیقی کودها با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی منطقه از ظرفیت بومی خاک و تمامی مواد در دسترس در تأمین عناصر غذایی مورد نیاز محصول استفاده می کند (۱۵) و (۳۱).

### جذب عناصر غذایی توسط دانه گندم

بررسی نتایج مقادیر جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط دانه گندم نشان داد که کاربرد تیمارهای کودی مختلف بر مقدار جذب هر سه عنصر غذایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بوده است (جدول ۵). میانگین مقدار جذب نیتروژن توسط دانه گندم در تیمارهای مختلف مورد مطالعه از ۳۵/۳ کیلوگرم در هکتار (تیمار شاهد) تا ۹۲/۶۸ کیلوگرم در هکتار (تیمار T3) متغیر بود. دامنه تغییرات میانگین جذب عناصر فسفر و پتاسیم توسط دانه گندم در تیمارهای مورد مطالعه به ترتیب از ۷/۳ تا ۱۴/۸۷ و ۹/۳ تا ۱۷/۱۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای کودی مورد مطالعه شامل مصرف انحصاری کودهای شیمیایی و کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی موجب افزایش معنی دار جذب عناصر غذایی پر مصرف توسط دانه گندم نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۱). کودهای آلی به ویژه کودهای دامی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و قادرند عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز برای گیاه را تأمین نمایند (۷).

موجود در کود دامی نسبت به باگاس نیشکر بالاتر بود. همچنین، حذف کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم در تیمارهای تلفیقی T5 (۱۱ میلی گرم در کیلوگرم) و T6 (۸/۷۵ میلی گرم در کیلوگرم) موجب کمتر شدن غلظت فسفر قابل جذب خاک نسبت به تیمارهای T3 (۱۹/۸ میلی گرم در کیلوگرم) و T4 (۱۱/۵ میلی گرم در کیلوگرم) شد که نشان دهنده اهمیت مصرف کود شیمیایی فسفر همراه با کودهای آلی در تأمین فسفر قابل جذب خاک است. این موضوع بیانگر این مطلب است که کاربرد کودهای فسفوری توأم با کودهای آلی ضرورت داشته و نباید کاربرد آنها متوقف گردد.

میانگین غلظت پتاسیم قابل جذب خاک در تیمارهای مورد مطالعه از ۲۱۳/۷ تا ۲۵۳/۳ میلی گرم در کیلوگرم متغیر بود. نتایج نشان داد، با وجود اینکه بیشترین میانگین غلظت پتاسیم قابل جذب خاک (۲۵۳/۳ میلی گرم در کیلوگرم) نیز در تیمار کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم (T3) بدست آمد. اما کاربرد سایر تیمارهای مورد مطالعه، تأثیر معنی داری بر افزایش غلظت پتاسیم قابل جذب خاک نداشتند (جدول ۶). همچنین، کاهش یا عدم مصرف کود پتاسیم، در زمان کاربرد کود کمپوست باگاس نیشکر (تیمارهای T4 و T6) موجب کاهش معنی دار پتاسیم قابل جذب خاک نسبت به تیمار شاهد شد. به طوری که میانگین غلظت پتاسیم قابل جذب خاک در تیمار T4 (۲۱۳/۷) و T6 (۲۲۳/۷ میلی گرم در کیلوگرم) به ترتیب ۹/۵ و ۵/۳ درصد کمتر از تیمار شاهد (۲۳۶/۲ میلی گرم در کیلوگرم) به دست آمد. نتایج جدول ۶ نشان داد، که اثر بخشی کود دامی بر میزان پتاسیم قابل جذب خاک نیز بیشتر از کود باگاس بود. با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی بر میزان فراهمی عناصر غذایی خاک به دلیل اثرات مثبت مواد آلی بر بهبود



شکل (۱) میانگین جذب عناصر غذایی توسط دانه گندم (کیلوگرم در هکتار)  
 Figure (1) The average of nutrient uptake by wheat grain (kg ha<sup>-1</sup>)

کودهای آلی همراه با مصرف هر سه کود شیمیایی پایه موجب افزایش کارایی این کودها در بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک خواهد شد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که در دوره زمانی مورد بررسی در این پژوهش (۴ سال)، کود دامی با نسبت کربن به نیتروژن کمتر نسبت به کمپوست باگاس نیشکر تأثیر مثبت بیشتری بر بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک داشت. بنابراین براساس یافته‌های این پژوهش، کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده در خاک‌های شور و آهکی تحت اقلیم خشک و نیمه‌خشک استان خوزستان در مزارع گندم توصیه می‌گردد، که ضمن کاهش ۲۵، ۵۰ و ۵۰ درصد از مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجب بهبود شرایط حاصلخیزی خاک نیز می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر مدیریت‌های مختلف کودی در کاربرد طولانی مدت کودهای آلی و شیمیایی بر برخی ویژگی‌های خاک و محتوای عناصر غذایی خاک و گیاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدیریت‌های تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی اثر معنی‌داری بر میانگین شوری خاک نداشتند. در حالی که کاربرد کود دامی در تلفیق با مقادیر متفاوت کودهای شیمیایی در هر دو تیمار T3 و T5 موجب افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک شد و سایر تیمارهای تلفیقی (کود باگاس نیشکر + کود شیمیایی) و انحصاری کود شیمیایی (T2) تأثیر معنی‌داری بر افزایش کربن آلی خاک نداشتند. بالاترین مقدار فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک نیز در تیمار مدیریت تلفیقی کود دامی + درصد مشخصی از هر سه کود پایه (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) به دست آمد. این نتایج در بررسی محتوای عناصر غذایی دانه گندم نیز تکرار شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مدیریت تلفیقی

**Reference**

1. Aryal, J.P., Sapkota, T.B., Krupnik, T.J., Rahut, D.B., Jat, M.L., and Stirling, C.M. 2021. Factors affecting farmer's use of organic and inorganic fertilizers in South Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 51480–51496. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13975-7>
2. Austin, A.T. and Vivanco, L. 2006. Plant litter decomposition in a semiarid ecosystem controlled by photodegradation. *Nature*, 442: 555–558. <https://doi.org/10.1038/nature05038>
3. Croltoru, A.E. and Burada, C. 2013. Spatiotemporal distribution of aridity indices based on temperature and precipitation in the extra-Carpathian regions of Romania. *Theoretical and Applied Climatology*, 112: 597-607. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0755-2>
4. Daily, G.C., Dasgupta, P., Bolin, B., Crosson, P. and du Gurny, J. 1998. Food production, population growth, and the environment. *Science*, 281: 1291-1292. DOI: 10.1126/science.281.5381.1291
5. Eghball, B., Ginting, D. and Gilley, J.E. 2004. Residual Effects of Manure and Compost Applications on Corn Production and Soil Properties. *Agronomy Journal*, 96: 442- 447. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.4420>
6. Feichtinger, F., Erhardt, E. and Hartl, W. 2004. Net N-mineralisation related to soil organic matter pools. *Plant and Soil Environment*, 50: 273-276. DOI: 10.17221/4032-PSE
7. Fernandez, R., Scull, R., Gonzales, J. L., Crespo, M., Sanchez, E. and Carballo, C. 1993. Effect of fertilization on yield and quality of (*Matricaria reculita* L.) (Chamomile). Aspects of mineral nutrition of the crop. *Memorias 11th congreso latinoamericano de la ciencia del suelo, 2ed Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo*, Berlin, Germany, 891-894.
8. Ghazan Shahi, J. 2006. *Soil and Plant Analysis*. Aiizh Publications, Iran, 296 pp. (In Persian)
9. Gong, W., Yan, X., Wang, J., Hu, T., Gong, Y. 2009. Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools under a wheat–maize cropping system in North China Plain. *Plant Soil*, 314: 67–76. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9705-2>
10. Hamzei, E. and Najari, S. 2014. Evaluation of the possibility of reducing nitrogen fertilizer application using nitroxin biofertilizer in the production of anise (*Pimpinella anisum* L.) medicinal plant. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, 4(23): 57-70. (In Persian with English Summary)
11. Khosravi, H. 2022. The role of nitrogen biomineralization of organic matter in the decomposition of agricultural residues. *Iranian Journal of Biology*, 11(6), 84-91. (In Persian with English Summary)
12. Li, T., Zhang, Y., Bei, S., Li, X., Reinsch, S., Zhang, H., Zhang, J. 2020. Contrasting impacts of manure and inorganic fertilizer applications for nine years on soil organic carbon and its labile fractions in bulk soil and soil aggregates. *Catena*, 194: 104739. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104739>
13. Liu, J., Qiu, T., Peñuelas, J., Sardans, J., Tan, W., Wei, X., Cui, Y., Cui, Q., Wu, C., Liu, L., Zhou, B., He, H. and Fang, L. 2023. Crop residue return sustains global soil ecological stoichiometry balance. *Global Change Biology*, 29: 2203–2226. <https://doi.org/10.1111/gcb.16584>
14. Mahajan, A. and Gupta, R.D. 2009. Integrated nutrient management (INM) in a sustainable rice-wheat cropping system. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9875-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9875-8_10)
15. Mandal, M., Kamp, P. and Singh, M. 2020. Effect of long term manuring on carbon sequestration potential and dynamics of soil organic carbon labile pool under tropical rice-rice agro-ecosystem. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51: 468–480. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1718690>

16. Meagy, M.J., Eaton, T.E., Barker, A.V. and Bryson, G.M. 2016. Assessment of organic and conventional soil fertility practices and cultivar selection on mineral nutrient accumulation in field-grown lettuce. *Journal of Plant Nutrition*, 39: 1936-1949. doi:10.1080/01904167.2016.1201490
17. Mirzavand, J. 2019. Soil organic matter changes and crop yield in conservation and conventional tillage systems under wheat-corn rotation in zarghan region (Fars province, Iran). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(2): 121-133. (In Persian with English Summary)
18. Moghimi, N., Naseri, A.A., Soltani Mohammadi, A. and Garm Dareh, S.E. 2016. Evaluation of bagasse on nitrate reduction from effluent subsurface drainage water. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 39(2): 49-58. (In Persian with English Summary)
19. Moshiri, F., Shahabi, A.A., Keshavarz, P., Khugar, Z., and Feisi-Asl, V. 2014. Guidelines for integrated management of soil fertility and wheat plant nutrition. Soil and Water Research Institute. (In Persian)
20. Moshiri, F., Shahabi, A.A., Keshavarz, P., khugar, Z., Feizi-asl, V., Tehrani, M.M., Asadi-Rahmani, H., Samavat, S., Gheybi, M.N., Sadri, M.H., Rashidi, N., Saadat, S. and Khademi, Z. 2013. The guideline of soil fertility and nutrition integrated management of wheat. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Agricultural Education and Extension Research Organization, Soil and Water Research Institute, SANA Publications, Tehran, Iran. (In Persian)
21. National Climatology Center. 2017. Monthly meteorological data of the country's synoptic stations. <http://cri.ac.ir/show=251> (In Persian)
22. Nezhad-Hoseini, T. and Astaraei, A. 2010. Residual effects of organic manures, boron and zinc elements on soil properties, wheat (*Triticum aestivum* L.) dry weight and chemical composition. *Journal of Agroecology*, 2(2): 215-224. (In Persian with English Summary)
23. Onemli, F. 2004. The effects of soil organic matter on seedling emergence in sunflower (*Helianthus annuus* L). *Plant and Soil Environment*, 50: 494-499.
24. Samavat, S. 2016. The final report of the research project "investigating the effect of different organic fertilizers on the chemical, physical and biological properties of the soil under wheat-corn rotation". Soil and Water Research Institute. (In Persian)
25. Schlegel, A.J., Assefa, Y., Bond, H.D., Wetter, S.M. and Stone, L.R. 2015. Corn response to long-term applications of cattle manure, swine effluent, and inorganic nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, 107(5): 700-710. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0632>
26. Seyed Sharifi, R., Hasani, S., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. 2014. Study of effects of integrated biological and chemical fertilizers on fertilizer use efficiency, grain yield and related traits to grain growth of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Dryland Agriculture*, 2(1): 61-95. <https://doi.org/10.22092/idaj.2014.100556>
27. Simek, M., Hopkins, D.W., Kalcik, J., Picek, T., Santruckova, H., Stana, J., Travnik, K. 1999. Biological and chemical properties of arable soils affected by long-term organic and inorganic fertilizer applications. *Biology and Fertility of Soils*, 29: 300-308. <https://doi.org/10.1007/s003740050556>
28. Smith, J. and Doran, W. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. pp: 169- 185. In: J.W. Doran and A.J. Jones (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of American Publication, 49, SSSA, Madison, WI. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c10>
29. Song, J., Zhang, H., Peixoto, L., Chang, F., Yu, R., Wang, X., Wang, J., Cao, J., Zhou, J., Kumar, A. and Li, Y. 2023. Burying straw interlayers decreases CO<sub>2</sub> emissions in deep saline soil. *Sustainable Production and Consumption*, 43: 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.10.022>
30. Tang, H., Li, C., Xiao, X., Pan, X., Cheng, K., Shi, L., Li, W., Wen, L. and Wang, K. 2020. Effects of long-term fertilizer regime on soil organic carbon and its labile fractions under double cropping rice

- system of southern China. *ACTA Agriculture Scandinavica*, 70(5): 409-418. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.10.022>
31. Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N. and Merckx, R. 2002. Integrated plant nutrient management in sub-saharan Africa, from concept to practice. CAB International, Oxford, UK. <https://doi.org/10.1079/9780851995762.0000>
32. Xu, M., Lou, Y., Sun, X., Wang, W., Baniyamuddin, M., Zhao, K. 2011. Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation. *Biology and Fertility of Soils*, 7: 745–752. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0579-8>
33. Yang, Q., Zheng, F., Jia, X., Liu, P., Dong, S., Zhang, J., Zhao, B. 2020. The combined application of organic and inorganic fertilizers increases soil organic matter and improves soil microenvironment in wheat-maize field. *Journal of Soils and Sediments*, 20: 2395- 2404. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02606-2>
34. Zhao, Y., Yan, Z., Qin, J. and Xiao, Z. 2014. Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China. *Environmental Science and Pollution Research*, 21: 7586-7595. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2671-8>