The Effect of Long-Term and Integrated Application of Organic and Chemical Fertilizers on the Production of Wheat (*Triticum Aestivum* L.) in Fixed Plots

Alireza Jafarnejhadi [1*], Farhad Moshiri [2], Fatemeh Meskini-Vishkaee [3]

(Received: January, 2024 Accepted: May, 2024)

Abstract

Theintegrated application of organic and chemical fertilizers is inevitable for sustainable production and soil conservation. To evaluate the effect of the integrated and long-term application of chemical and organic fertilizers on the Brat variety wheat production in fixed plots, research was carried out in Ahvaz city in six treatments with three replications for four years (2017-2021) in the form of randomized complete block design. 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. At the end of the growing season, wheat yield components were measured. The results showed that in integrated management treatments, the use of cattle manure was more effective than bagasse. The highest wheat grain yield was observed in the T2 and T3 treatments, respectively, at the rate of 4845 and 4473 kg ha^{-1}, significantly higher than the grain yield in the control treatment (2350 kg ha^{-1}). The highest profit-to-benefit ratio (in 1400) was obtained by applying T2 treatment (20.2). The benefit to cost ratio due to the integrated application of organic and chemical fertilizer management treatments (T4 and T3 treatments) was approximately 50% lower than the exclusive application of chemical fertilizers treatment. By recalculating the benefit to cost ratio based on the prices of inputs in the crop year 2023-2024, it was observed that the T2 treatment still had the highest benefit-to-cost ratio (13.4), but it decreased with a sharp slope. In contrast the benefit-to-cost ratio remained almost constant and stable due to the application of T3 and T4 treatments (in the range of 8 to 11). The results indicate that the integrated application of organic and chemical fertilizers will not only be effective in the sustainability of soil fertility and agricultural products but will also play an important role in the stability of the farmer's profit.

Keywords: Soil fertility, Economic profit, Integrated management, Sustainable agriculture

Jafarnejadi A.R., Moshiri F., and Meskini-Vishkaee F. 2024. The effect of long-term and integrated application of organic and chemical fertilizers on the production of wheat (*Triticum aestivum* L.) in fixed plots. *Applied Soil Research*, 12(3): 81-92.

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- Assistant 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
* Corresponding Author Email: arjafarnejady@gmail.com

تأثیر کاربرد طولانی‌مدت و تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در کرت‌های ثابت

علیرضا جعفرنژادی[1*]، فرهاد مشیری[2]، فاطمه مسکینی ویشکایی[3]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱۱/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹)

چکیده

امروزه استفاده تلفیقی از کودهای آلی و شیمیایی برای تولید پایدار و حفظ خاک اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر کاربرد طولانی‌مدت و توأم کودهای شیمیایی و آلی بر تولید گندم رقم برات در کرت‌های ثابت، پژوهشی در شش تیمار با سه تکرار و به مدت چهار سال (۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰) در شهرستان اهواز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارها شامل T1: شاهد بدون مصرف کود، T2: کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی بر اساس آزمون خاک، T3: کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یکبار+ ۷۵ درصد مقدار نیتروژن + ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، T4: کاربرد ۲۰ تن باگاس هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد مقدار نیتروژن + ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، T5: کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی + ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده، T6: کاربرد سالانه ۲۰ تن باگاس + ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده بودند. در پایان فصل رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گندم اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تیمارهای مدیریت تلفیقی، کاربرد کود دامی نسبت به کود باگاس از اثربخشی بیشتری برخوردار بود. بیشترین عملکرد دانه گندم در تیمارهای T2 و T3 به‌ترتیب به میزان ۴۸۴۵ و ۴۴۷۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به عملکرد دانه در تیمار شاهد (۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) افزایش عملکرد معنی‌داری داشتند. بیشترین نسبت فایده به هزینه (در سال ۱۴۰۰) در اثر اعمال تیمار T2 به دست آمد (۲۰/۲). نسبت فایده به هزینه در اثر اعمال تیمارهای مدیریت تلفیقی کود آلی و شیمیایی (تیمارهای T4 و T3) تقریباً ۵۰ درصد کمتر از تیمار کاربرد انحصاری کودهای شیمیایی بود. با محاسبه‌ی مجدد نسبت فایده به هزینه براساس قیمت نهاده‌ها در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ مشاهده شد که تیمار T2 همچنان بالاترین نسبت فایده به هزینه را داشت (۱۳/۴) اما با شیب شدیدی کاهش یافت. این درحالی است که نسبت فایده به هزینه در اثر استفاده از تیمارهای T3 و T4 تقریباً ثابت و پایدار ماند (در محدوده ۸ تا ۱۱). نتایج حاکی از این حقیقت است که کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی نه تنها در پایداری حاصلخیزی خاک و تولید محصولات کشاورزی مؤثر خواهد بود بلکه در پایداری سود بهره‌برداران نیز نقش خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: حاصلخیزی خاک، سود اقتصادی، کشاورزی پایدار، مدیریت تلفیقی

جعفرنژادی، ع.ر.، مشیری، ف.، مسکینی ویشکایی، ف. ۱۴۰۳. تأثیر کاربرد طولانی‌مدت و تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در کرت‌های ثابت. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۲، شماره ۳. صفحه: ۸۱-۹۲.

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 (مکاتبه کننده)

۲- استادیار 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 خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی(AREEO)، اهواز، ایران.

* پست الکترونیک: arjafarnejady@gmail.com

مقدمه

مهم‌ترین عامل در افزایش تولیدات کشاورزی و تأمین غذای جمعیت رو به رشد حفظ و ارتقای توان تولید خاک و به‌تبع آن حفظ حاصلخیزی خاک است. افزایش جمعیت و نیاز به تولید غذای بیشتر سبب رشد روز افزون مصرف کودهای شیمیایی گردید. در حال حاضر پنجاه درصد جمعیت جهان غذای خود را با استفاده از کودهای شیمیایی به‌دست می‌آورند. میزان نیاز جهانی به غذا در طی سال‌های ۲۰۳۰-۱۹۹۰ دو برابر خواهد شد و انتظار می‌رود در کشورهای جهان سوم حدود ۲/۵ تا ۳ برابر افزایش یابد (Daily, 1997). در ۵۰ سال اخیر، افزایش کشاورزی فشرده و کاربرد کودهای شیمیایی برای پرکردن شکاف بین تقاضا و تأمین افزایش عملکرد محصولات منجر به کاهش حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی شده است (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2010). 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 (Aryal *et al.*, 2021). بنابراین حفظ محتوای کربن آلی خاک به‌ویژه برای کیفیت خاک و حفظ بهره‌وری اکوسیستم‌های زراعی بسیار مهم است چون با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، نقش تعیین‌کننده‌ای در چرخه و تبدیل عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ایفا می‌کند (Zhu *et al.*, 2015). پلنگی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که استفاده از بیوچار حاصل از کاه و کلش گندم، علاوه بر بهبود شاخص‌های عملکرد گندم موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش توانایی نگهداشت آب در خاک می‌گردد.

استفاده از کودهای آلی در کشاورزی در طول دو دهه اخیر به دلیل تولید محصولات باکیفیت در این روش (Farhad *et al.*, 2018)، قیمت بالا و محدودیت دسترسی به کودهای معدنی در بازار به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است (Hammad *et al.*, 2020). برخلاف کودهای معدنی، کودهای آلی مواد آلی را به خاک اضافه می‌کنند و حاصلخیزی، فعالیت میکروبی، نفوذ آب و ظرفیت نگهداری آب در خاک را بهبود می بخشند (Meagy *et al.*, 2016). 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 (Samavat, 2016). ادغام یا کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی، مواد مغذی ضروری برای محصولات را فراهم می‌کند که منجر به افزایش عملکرد محصول و کاهش تهدیدات زیست محیطی می‌شود (Yadvinder-Singh *et al.*, 2009). همچنین با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و آلی می‌توان از مصرف کودهای شیمیایی کاست. میرزاشاهی (Mirzashahi, 2007) نشان داد که با مصرف ۱۰ تا ۲۰ تن کود حیوانی می‌توان تا ۲۵ درصد از مصرف کودهای شیمیایی حاوی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در زراعت ذرت کم کرد. این اثر تا سه سال پس از مصرف کود حیوانی مشاهده شد. بیشترین عملکرد ذرت در اثر مصرف کود شیمیایی به مقدار توصیه شده براساس آزمون خاک و ۲۰ تن کود حیوانی حاصل شد. حماد و همکاران (Hammad *et al.*, 2020) تأثیر کاربرد توأم کودهای شیمیایی و کودهای آلی را بر عملکرد گندم در شرایط اقلیم خشک پاکستان بررسی نمودند. مطالعه آن‌ها نشان داد که با وجود اینکه بیشترین عملکرد دانه در تیمار کاربرد کودهای شیمیایی مشاهده شد اما، کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی موجب افزایش پروتئین و محتوای عناصر غذایی دانه گندم و در نهایت بهبود کیفیت دانه گندم شد. با توجه به اینکه یکی از مزیت‌های کودهای آلی نسبت به کودهای شیمیایی مقرون به صرفه بودن و سهولت دسترسی به آن‌ها براساس محصولات هر منطقه است (Solomon *et al.*, 2012). بنابراین، 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 (Mahanjan & Gupta, 2009). در استان خوزستان به‌دلیل کشت متمرکز نیشکر توسط شرکت‌های توسعه نیشکر، مقادیر قابل توجهی باگاس تولید می‌شود، باگاس نیشکر مواد پسمانده‌ی نیشکر پس از استخراج عصاره‌ی آن می‌باشد که ۳۴ درصد وزن ساقه نیشکر را تشکیل می‌دهد. سالانه یک میلیون و ۲۰۰ هزار تن باگاس مازاد تولید می‌شود (Moghimi *et al.*, 2016). بخش عمده باگاس نیشکر انبار شده و یا سوزانده می‌شود. باگاس انبارشده به سبب خطر خودسوزی، تهدیدی برای سلامت

محیط زیست است (Khanmohammadi *et al*., 2016). از سوی دیگر، استان خوزستان با بیش از ۴۰۰ هزار هکتار سطح زیر کشت گندم آبی، نقش حیاتی در تولید گندم کشور دارد. با این حال، به دلیل اقلیم نیمه خشک و اکوسیستم بسیار آسیب‌پذیر استان به‌ویژه در نیمه جنوبی، شدت تجزیه مواد آلی در خاک‌ها بسیار زیاد بوده که منجر به حاصلخیزی کم خاک‌های کشاورزی می‌گردد (Austin & Vivanco, 2006). اکثر خاک‌های کشاورزی استان خوزستان با محدودیت‌های مختلفی برای رشد گیاه همچون شوری بالا، بافت سنگین، محتوای آهک زیاد و عدم تعادل عناصر غذایی خاک مواجه هستند (Meskini-Vishkaee *et al*., 2020). 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 حاصلخیزی خاک با کاربرد کودهای شیمیایی و آلی از دو منبع دامی و ضایعات کشاورزی موجود در منطقه (باگاس) بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی و تغییرات عملکرد گندم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت مزرعه‌ای به مدت چهار سال از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گلستان اهواز در استان خوزستان در قالب طرح بلوک 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 عصاره اشباع خاک با استفاده از pHمتر، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از ECمتر، کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر، محتوای آهک خاک (TNV) به روش خنثی‌سازی با اسید، فسفر قابل دسترس خاک به روش اولسن، پتاسیم قابل دسترس خاک با دستگاه فلیم فتومتر و غلظت عناصر آهن، منگنز، روی و مس در خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Ghazan Shahi, 2006).

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

Longitude	Latitude	Soil Family	Soil Seri	average rainfall μ	Average minimum temperature μ	Average maximum temperature μ	climate*
48°40′	31°20′	Fine, Carbonatic, hyperthermic, Typic Toriothents	Ahvaz	224	17.6	32.9	arid

* Climate classification based on de-Martonne aridity index (Croltoru and Burada, 2012), μ Long-term statistical period of 20 to 50 years (National Climatology Center, 2017)

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ایستگاه گلستان

Table 2. Some soil physical and chemical properties at the research site

Soil Texture	Sand	Silt	Clay	Cu	Zn	Mn	Fe	K	P	TNV	OC	CEC	ECe	pH
	%			mg kg^{-1}						%	%	meq 100g r^{-1}	dS m^{-1}	-
Silty Clay	8	46	46	1.8	0.9	6.4	8	250	9.2	45	0.59	16.4	8.8	7.8

pH: Soil reaction, ECe: Electrical conductivity of saturated soil extract, CEC: Cation exchange capacity, OC: Organic carbon, TCA: Total neutralizing value, P: soil available phosphorous, K: soil available potassium, Fe: soil available iron, Mn: soil available manganese, Zn: soil available zinc, Cu: soil available copper.

آماده‌سازی زمین و کشت گیاه

پس از آماده سازی بستر کشت در مزرعه (خاک‌ورزی به روش معمول با اجرای عملیات شخم، دیسک و تسطیح

زمین)، برای اعمال شش تیمار مورد مطالعه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی ابتدا نقشه کرت‌ها، فاصله مابین آن‌ها و مرزبندی بر روی مزرعه انجام شد. برای هر تیمار کرت هایی به مساحت ۱۵۰ متر مربع (۱۰متر × ۵ متر) در نظر گرفته شد. تیمارهای مورد مطالعه در پژوهش حاضر شامل تیمار اول (T1): شاهد بدون کاربرد کود شیمیایی، تیمار دوم (T2): کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی بر اساس آزمون خاک، تیمار سوم (T3): کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود گاوی پوسیده هر دو سال یکبار+ ۷۵ درصد مقدار نیتروژن + ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، تیمار چهارم (T4): کاربرد ۲۰ تن در هکتار کمپوست پسماند باگاس هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد مقدار نیتروژن + ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، تیمار پنجم (T5): کاربرد سالانه ۲۰ تن در هکتار کود گاوی پوسیده + ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده، تیمار ششم (T6): کاربرد سالانه ۲۰ تن در هکتار کمپوست پسماند باگاس + ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده بود. کودهای شیمیایی مورد نیاز با توجه به آزمون خاک و بر اساس دستورالعمل‌های مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه مصرف گردید (Moshiri *et al.*, 2014). کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز به‌ترتیب از منبع اوره (۴۶ ٪ N)، سوپرفسفات تریپل (۴۶ ٪ P_2O_5) و سولفات پتاسیم (۵۰ ٪ K_2O) تأمین گردید (جدول ۴). بر این اساس، کود اوره در سه تقسیط و به‌صورت ۲۰ تا ۳۰ درصد در زمان کاشت و ۴۰ درصد در مرحله پنجه‌زنی و ۳۰ تا ۴۰ درصد در مرحله انتهای ساقه‌روی مصرف شد. همچنین کودهای فسفری و پتاسیمی به‌صورت نواری همزمان با کشت بوسیله دستگاه بذرکار-کودکار مصرف شد. کودهای آلی مورد استفاده کود گاوی پوسیده و پسماند باگاس نیشکر بود که به‌ترتیب از مجتمع گاوداری صنعتی کارون و شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی تهیه شدند (جدول ۳). کودهای آلی به‌طور یکنواخت در سطح خاک پخش شده و قبل از کشت با دیسک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. در تیمارهای T3 و T5، از ۳۰۰ کیلوگرم کود گاوی پوسیده در هر کرت (۱۵۰ مترمربع) به‌ترتیب هر دوسال یکبار (T3) و هرساله (T5) استفاده شد. اما، در تیمارهای T4 و T6، ۳۰۰ کیلوگرم کمپوست باگاس نیشکر در هر کرت به‌ترتیب هر دوسال یکبار (T4) و هرساله (T6) مصرف شد.

جدول ۳- برخی ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مصرفی

Table 3. Some chemical characteristics of used organic fertilizers

Manure source	pH	OC	Total N	C/N	Total P	Total K	moisture	NO_3^-	NH_4	Total Fe	Total Mn	Total Zn	Total Cu
	-	%	%	-	%	%	%	mg kg^{-1}					
Cattle manure	7.8	23.4	1.1	21.3	1.3	0.46	25.6	140	168	1480	137	31.5	7
Sugarcane bagasse	6.8	42.8	0.16	267.5	0.16	0.25	14.3	112	140	4237	140	39	11

برای کشت گندم از بذرکار همدانی با فواصل ردیف کشت ۲۰ سانتی‌متری استفاده شد. آبیاری به روش سطحی کرتی صورت گرفت. شش نوبت آبیاری در طول هر فصل کشت انجام شد هر کرت به صورت جداگانه آبیاری می‌شد. علاوه بر مرزبندی کرت‌ها، مابین کرت‌ها سه متر فاصله نکاشت وجود داشت تا از انتقال مواد کودی از یک کرت به کرت دیگر از طریق نفوذ یا نشت آب جلوگیری شود. مبارزه با علف های هرز و آفات به روش مبارزه شیمیایی و با استفاده از سموم کشاورزی معمول انجام شد. برخی شرایط عملیات کاشت، داشت و برداشت گندم در جدول ۴ ارائه شده است. در این پژوهش کشت گندم به صورت تک کشتی بود و در هر سال پس از برداشت گندم، مزرعه در فصل تابستان به‌صورت آیش رها می‌شد.

برداشت محصول و اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد

برداشت گندم به‌صورت 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 مترمربعی 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 در انتها، وزن کل اندام هوایی، کاه و کلش و دانه گندم تعیین شد. اجزای عملکرد شامل وزن هزار دانه،

تعداد دانه در هر خوشه و تعداد خوشه در متر مربع نیز تعیین شد. نتایج حاصل با استفاده از نرم افزار آماری SAS v.9.3 تجزیه و میانگین تیمارها با روش حداقل تفاوت معنی‌داری (LSD) مقایسه شدند.

جدول ۴- شرایط کاشت محصول و کود مصرفی

Table 4. Planting conditions and fertilizer consumption

	Crop season			
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021
Wheat cultivar	Barat	Barat	Barat	Barat
Planting date	2 December	14 November	21 November	10 November
Consumable seed*	180 Kg ha^{-1}	180 Kg ha^{-1}	180 Kg ha^{-1}	180 Kg ha^{-1}
Harvest date	5 May	5 May	9 May	30 April
Urea fertilizer	350 Kg ha^{-1}	350 Kg ha^{-1}	350 Kg ha^{-1}	350 Kg ha^{-1}
Triple superphosphate fertilizer	200 Kg ha^{-1}	150 Kg ha^{-1}	100 Kg ha^{-1}	100 Kg ha^{-1}
Potassium sulfate fertilizer	50 Kg ha^{-1}	80 Kg ha^{-1}	50 Kg ha^{-1}	50 Kg ha^{-1}

برای تحلیل اقتصادی تیمارها براساس نسبت فایده به هزینه، قیمت هر کیسه ۵۰ کیلوگرمی کود شیمیایی اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم براساس سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به‌ترتیب ۵۰۰۰۰۰، ۶۵۰۰۰۰ ، ۷۵۰۰۰۰ ریال و در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ به ترتیب ۱۵۰۰۰۰۰، ۵۵۰۰۰۰۰ و ۶۰۰۰۰۰۰ ریال، قیمت هر تن کود گاوی و باگاس نیشکر براساس سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به ترتیب برابر با ۷۵۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰۰ ریال و در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳ به‌ترتیب ۱۵۰۰۰۰۰ و ۱۷۴۰۰۰۰ ریال و قیمت فروش هر کیلوگرم گندم در سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۳ معادل ۵۰۰۰۰ و ۱۷۴۰۰۰ریال براساس قیمت‌های مصوب وزارت جهاد کشاورزی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک در جدول ۲ نشان داد، بافت خاک مورد مطالعه رسی سیلتی است. مقدار کربن آلی خاک کمتر از یک درصد و در محدوده نامناسب قرار داشت. مقدار کربنات کلسیم معادل خاک ۴۵ درصد اندازه‌گیری شد، بنابراین خاک آهکی است. خاک مورد مطالعه دچار کمبود فسفر بود (کمتر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم). میزان پتاسیم در خاک برای رشد گیاه محدودیتی ایجاد نمی‌کرد (بیش از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم). از نظر مقدار عناصر کم نیاز میزان آهن، منگنز و روی دچار محدودیت بودند (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کودی مختلف بر عملکرد و اجزا عملکرد گندم در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کودی مختلف بر عملکرد و اجزا عملکرد گندم رقم برات (۱۳۹۷-۱۴۰۰)

Table 5. Results of variance analysis of the different fertilizer treatments effects on yield and yield components of wheat Barat cultivar (2017- 2021)

Variation source	Degree of freedom	Grain yield	Straw yield	Total yield	1000 grain weight	Number of grains per spikelet	Number of tillers per square meter
Year	3	9.1 **	17.6 **	15.7 *	112.7 **	304.46 **	264959.4**
Block	2	2.04*	1.03 ^{ns}	3.36 ^{ns}	2.68 ^{ns}	22.33 ^{ns}	8047.5 **
Treatment	5	7.75**	11.3 **	36.6 **	25.5 **	94.83 **	39227.3 **
Error	40	0.53	0.65	1.94	6.36	15.24	1386.1
Coefficient of variation		19.4	16.5	16.1	5.78	11.9	11.3

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج تجزیه واریاتس اثر تیمارهای مختلف کودی نشان داد تغییرات عملکرد دانه، عملکرد کاه، تعداد سنبله در متر مربع و وزن هزار دانه در سال‌های مختلف از نظر آماری دارای اختلاف بسیار معنی‌دار (سطح یک درصد) و تغییرات ویژگی‌های عملکرد کل و تعداد دانه در سنبله در سال‌های مختلف اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد را نشان داد (جدول ۵). همچنین، تأثیر تیمار بر تمام ویژگی‌های مورد مطالعه ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری را در سطح

یک درصد نشان داد. این موضوع بیانگر این مطلب می‌باشد کـه مـدیریت کاربرد توأم و تلفیقی کودهای شـــیمیایی و موادآلی می‌تواند بر عملکرد و اجزای عملکرد در خاک‌های آهکی با کمبود عناصـر پرنیاز و برخی عناصـر کم‌نیاز مؤثر باشـد. علاوه بر این، نتایج جدول ۵ نشـان داد که اثر بلوک بر عملکرد دانه گندم در سـطح احتمال ۵ درصـد معنی‌دار بود که احتمالا به دلیل ابعاد بزرگ کرت‌های آزمایشی (۱۰ متر در ۵ متر) و تغییر ویژگی‌های خاک به صورت موضعی در برخی از کرت‌های تکراری در یک تیمار بود. زمین مورد مطالعه، در ایسـتگاه تحقیقات گلسـتان اهواز، محل اجرای طرح‌هـای تحقیقاتی متعدد بوده که ممکن اســت موجب ایجـاد تغییرات موضـــعی در برخی ویژگی‌های خاک مورد مطالعه شده باشد. به منظور بررسی اثرات کاربرد تیمارهای مورد مطالعه بر اجزای عملکردگندم، مقایسه میانگین تأثیر مدیریت‌های مختلف در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول۶- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای کودی مختلف بر عملکرد گندم رقم برات در استان خوزستان (۱۳۹۷-۱۴۰۰)

Table 6. Compare means of the simple effect of different fertilizer treatment on the yield of wheat Barat cultivar in Khuzestan province (2017-2021)

Treatment	Grain yield (kg ha^{-1})	Straw yield (kg ha^{-1})	Total yield (kg ha^{-1})	1000 grain weight (g)	Number of grains per spikelet	Number of tillers per square meter
T1	2350.8 c	3174.2 d	5525.0 d	41.4 c	37.3 c	226.9 d
T2	4845.3 a	5425.5 ab	10000.8 ab	43.8 b	40.6 bc	399.2 a
T3	4473.3 a	5842.2 a	10345.8 a	44.0 ab	43.6 ab	336.9 bc
T4	3930.0 ab	5103.3 bc	9091.7 bc	45.9 a	40.2 a	348.8 b
T5	3651.7 b	5395.0 ab	9045.8 bc	43.3 bc	45.3 bc	348.6 b
T6	3538.3 b	4474.2 c	8011.7 c	43.2 bc	42.6 bc	315.4 c

T1: Unfertilized Control; T2: Recommended mineral fertilizers (N, P, K) based on the soil analysis; T3: 20 tons of cattle manure every two years + 75 % of recommended N fertilizer+ 50 % of recommended P and K fertilizers; T4: 20 tons of bagasse manure every two years + 75 % of recommended N fertilizer+ 50 % of recommended P and K fertilizers; T5: 20 tons of cattle manure per year + 75 % of recommended N fertilizer and T6: 20 tons of bagasse manure per year + 75 % of recommended N fertilizer. Means with the similar letters in each column are not significantly different using Duncan's multiple range test at 5% probability level.

اجزای عملکرد گندم

سه جزء تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین عملکرد دانه محسوب می‌شوند. نتایج جدول ۶ نشان داد تغییرات میانگین چهارساله‌ی این اجزا در مدیریت‌های مختلف کاربرد توأم کودهای شیمیایی و آلی دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. بیشترین تعداد سنبله در متر مربع در تیمار کاربرد کودهای شیمیایی (T2) به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود. با کاهش میزان کودهای شیمیایی در تیمارهای مدیریت تلفیقی تعداد سنبله در متر مربع کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار کودهای شیمیایی نشان داد. این موضوع بیانگر نقش مهم کودهای شیمیایی در ایجاد تعداد سنبله در متر مربع می‌باشد. به‌عبارت دیگر هرگونه تغییر در میزان مصرف کودهای شیمیایی نیازمند در نظر گرفتن تمام جوانب کار بوده در غیر این صورت عملکرد محصول با کاهش قابل توجهی مواجه خواهد شد. کمترین میزان تعداد سنبله در متر مربع (۳۱۵/۴) پس از تیمار شاهد در تیمار تلفیقی با منبع باگاس (T6) مشاهده شد (جدول ۶). کمبود عناصر غذایی قابل استفاده گیاه به‌ویژه عناصر غذایی پرمصرف و نسبت کربن به نیتروژن بسیار بالای پسماند باگاس نیشکر نسبت به کود دامی دانست (جدول ۴). با توجه به این که جزء تعداد سنبله در متر مربع در مرحله استقرار گیاه تا مرحله تکمیل پنجه ایجاد می‌شود و تأمین نیاز گیاه به عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در این مرحله ضروری می‌باشد، بنابراین عدم مصرف کودهای شیمیایی فسفری و پتاسیمی و کاربرد منبع کود آلی منجر به کاهش تعداد سنبله در متر مربع گردیده است (جدول ۶). بنابراین کاربرد کافی و مناسب کودهای شیمیایی و آلی برای تأمین مناسب تعداد سنبله در متر مربع ضروری می‌باشد. این یافته‌ها به وسیله نتایج حماد و همکاران (Hammad *et al.*, 2020) تایید می‌شود این پژوهشگران نیز بیشترین تعداد سنبله در متر مربع را در اثر کاربرد انحصاری کودهای شیمیایی گزارش کردند. تعداد دانه در سنبله گندم نیز از اجزاء مؤثر در تعیین عملکرد گندم می‌باشد. بر اساس نتایج جدول ۶، تأثیر کاربرد تیمارهای مختلف بر تعداد دانه در سنبله نسبت به تیمار

شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان داد. بیشترین میزان دانه در سنبله در T5 به میزان ۴۵/۳ دانه در سنبله به‌دست آمد که با تیمارهای T3 و T6 از نظر آماری اختلاف آماری را نشان نداد. نتایج نشان داد که کاربرد کودهای شیمیایی در تیمار T2 (کاربرد انحصاری کودهای شیمیایی)، تعداد دانه در سنبله کمتری را نسبت به تیمارهای تلفیقی داشت، هرچند که این اختلاف به‌جز در تیمار پنجم با دیگر تیمارها معنی‌دار نبود. علت احتمالی وضعیت مناسب‌تر تعداد دانه در سنبله در تیمارهای تلفیقی کود آلی و شیمیایی، به بهبود وضعیت خاک در اطراف ریشه و شرایط جذب بهتر عناصر پرنیاز و کم‌نیاز گیاه مرتبط می‌باشد. همچنین، نتایج نشان داد که استفاده از کودهای شیمیایی به تنهایی و یا توأم با کودهای آلی موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۶). با این حال، بیشترین وزن هزار دانه به‌ترتیب در تیمارهای تلفیقی T4 و T3 به‌میزان ۴۵/۹ و ۴۴ گرم مشاهده شد که این افزایش در هر دو تیمار T4 (۱۰/۸ ٪) و T3 (۶/۲ ٪) نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار بود ($p < 0.01$). علت مشاهده‌ی بیشترین تعداد سنبله در مترمربع در تیمار T2، احتمالا ناشی از دسترسی سریع نیتروژن و سایر عناصر غذایی از منابع غیرآلی (کودهای شیمیایی) در اوایل فصل رشد گیاه است (Hammad *et al.*, 2011). اما، تیمار تلفیقی T4 نیز موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله نسبت به تیمار شاهد شد که احتمالا به‌دلیل افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن از منابع آلی و افزایش فعالیت ریزجانداران خاک است (Hammad *et al.*, 2020). در واقع، زمانی که کودهای آلی به‌وسیله ریزجانداران خاک تجزیه می‌شوند عناصر غذایی در فرم قابل دسترس برای گیاه آزاد می‌شود (Ding *et al.*, 2016).

عملکرد دانه

عملکرد دانه گندم تمام مدیریت‌های کاربرد کودهای شیمیایی و آلی مورد مطالعه بر عملکرد گندم نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۶). به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه گندم در تیمارهای T2 و T3 به‌ترتیب ۴۸۴۵ و ۴۴۷۳ کیلوگرم در هکتار تعیین که نسبت به عملکرد دانه در تیمار شاهد (۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند. استفاده تلفیقی از کود گاوی با کاهش کودهای شیمیایی نیتروژنی (۲۵ درصد کاهش مصرف کود)، فسفری و پتاسیمی (۵۰ درصد کاهش مصرف کود) در T3 هیچ‌گونه تأثیر منفی معنی‌داری بر کاهش عملکر دانه گندم نداشت. به عبارت دیگر عناصر موجود در کود آلی استفاده شده (کود دامی) توانسته است کاهش مصرف کودهای شیمیایی را جبران نماید. این موضوع در تیمار T4 (۲۰ تن کمپوست باگاس هر دو سال یکبار + ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده + ۵۰ درصد فسفر و پتاسیم توصیه شده) نیز مشخص نمود که کاهش عملکرد دانه در این تیمار با عملکر دانه در تیمارهای T2 و T3 از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. به عبارت دیگر در این پژوهش مشخص شد که کاربرد کود آلی از منابع متفاوت مورد مطالعه قادرند بخش قابل توجهی از عناصر عناصر غذایی مورد نیاز گندم را در طی مراحل رشد و نمو تأمین نمایند. نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان داد که با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و آلی از مصرف کودهای شیمیایی کاسته می‌شود. میرزاشاهی (Mirzashahi, 2007) نشان داد که با مصرف ۱۰ تا ۲۰ تن کود حیوانی می‌توان تا ۲۵ درصد از کودهای شیمیایی حاوی عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در زراعت ذرت کاست. چاناباسانگودا و همکاران (Channabasanagowda *et al.*, 2008) نیز گزارش نمودند که عملکرد بالای دانه گندم در تیمارهای تلفیقی کود آلی و شیمیایی ممکن است در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن از منابع آلی باشد. کاربرد کود آلی به خاک با تحریک فعالیت میکروبی موجب بهبود حاصلخیزی خاک و در نهایت افزایش عملکرد محصول می‌شود (Gaind & Singh, 2016). بررسی نتایج جدول ۶ نشان داد استفاده از کودهای شیمیایی فسفری و پتاسیمی برای دستیابی به عملکرد مورد نظر ضروری بوده به‌طوری که با حذف این عناصر در تیمارهای T5 و T6 علی‌رغم مصرف سالانه کودهای آلی، عملکرد دانه از نظر آماری به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارهای تلفیقی بود. به عبارت برای دستیابی به عملکرد بهینه، کاربرد توأم کودهای شیمیایی و آلی لازم و ملزوم یکدیگر می‌باشند. نتایج نشان داد که عدم مصرف کودهای فسفری و پتاسیمی سبب کاهش عملکرد دانه گندم در دامنه ۱۲ تا ۳۰ درصد نسبت به تیمارهای T2 و T3 شد (جدول ۶). نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان داد که استفاده انحصاری از کود آلی ممکن است مواد مغذی مورد نیاز برای محصولات را به‌طور کامل تأمین نکند، چون آزاد شدن

مواد مغذی در دسترس گیاهان از کودهای آلی معمولاً پس از گذشت یک یا چند سال از کاربرد آن‌ها در خاک رخ می‌دهد (Hartl *et al.*, 2003). یافته‌های پژوهش حاضر توسط مطالعات گذشته که کاهش عملکرد دانه گندم در صورت مصرف کود آلی بدون کودهای شیمیایی را گزارش نموده‌اند، تایید می‌شود (Lu *et al.*, 2017; Yuan *et al.*, 2021). علاوه بر این، نتایج حاکی از تأثیر بیشتر منبع کود آلی دامی نسبت به کود باگاس در تأمین عناصر غذایی گندم بود که مؤید این حقیقت است که کود دامی منبع غنی‌تری نسبت به کود باگاس در تأمین عناصر غذایی پرمصرف گندم است (جدول ۴).

عملکرد کل و عملکرد کاه و کلش

نتایج حاصل نشان داد که مدیریت تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد کل و عملکرد کاه و کلش نسبت به تیمار شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). بیشترین عملکرد کاه و کلش و عملکرد کل به‌ترتیب در تیمار T3 به‌میزان ۵۸۴۲/۲ و ۱۰۳۴۵/۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که این نتیجه با مقادیر آن‌ها در تیمار کاربرد کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک (T2) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. بالا بودن مقدار عملکرد کل در تیمار T2 به‌دلیل دسترسی سریع گیاه به مواد مغذی از منابع معدنی مشاهده شد (Hammad *et al.*, 2011)، با این حال نتایج مطالعه نشان داد کود آلی (از منبع دامی) توانایی تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را دارد، به طوری که عملکرد کل در T3 با وجود کاهش ۲۵ درصد مصرف کود نیتروژنه و کاهش ۵۰ درصدی کودهای فسفر و پتاسیم تفاوت معنی‌داری با عملکرد کل گندم در تیمار مصرف کامل کودهای شیمیایی توصیه شده (T2) نداشت. کاربرد همزمان کود آلی و کود شیمیایی می‌تواند کارایی استفاده از کودهای شیمیایی را نیز بهبود بخشد (Lee *et al.*, 2004). علاوه بر این، پژوهش‌هایی نشان داد که می‌توان در زمین‌های زراعی با مصرف کودهای دامی حدود ۴۲ درصد نیتروژن، ۲۹ درصد فسفر و ۵۷ درصد پتاسیم مورد نیاز محصول را تأمین کرد (Qazanshahi, 1999). البته باید توجه نمود که با کاهش ۲۵ درصد مصرف کود نیتروژن و عدم کاربرد کودهای فسفری و پتاسیمی کاهش عملکرد کاه و کل گندم در تیمار باگاس (T6) نسبت به تیمار کود دامی (T5) بیشتر بود (جدول ۶) که می‌تواند ناشی از بیشتر بودن محتوای عناصر غذایی پرمصرف در کود دامی نسبت به باگاس باشد (جدول ۴). روند نتایج حاصل بر عملکرد کاه و کل با نتایج عملکرد دانه مشابه بود با این تفاوت که اختلاف میانگین در تیمارهای عملکرد کاه و کل نسبت به عملکرد دانه بیشتر بود.

تحلیل اقتصادی کاربرد تیمارهای کودی نسبت به شاهد

تحلیل اقتصادی کاربرد تیمارهای مختلف تلفیق کودهای آلی و معدنی براساس افزایش عملکرد دانه گندم نسبت به تیمار شاهد و سود ناشی از آن و سپس محاسبه افزایش هزینه کشاورز در اثر استفاده از تیمار مربوطه انجام شد. در نهایت، نسبت فایده به هزینه برای کاربرد تیمارهای مختلف مورد مطالعه محاسبه گردید (جدول ۷). با اینکه نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که کاربرد تلفیقی کودهای آلی با کودهای شیمیایی می‌تواند ضمن کاهش هزینه تولید، عملکرد کمی و کیفی گیاهان را افزایش دهد (Rezaei *et al.*, 2015). اما، نتایج ارزیابی اقتصادی در این پژوهش نشان داد با وجود اینکه بین عملکرد دانه گندم در تیمارهای T1، T2 و T3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت اما، شاخص فایده به هزینه در اثر اعمال تیمارهای مدیریت تلفیقی کودهای آلی و معدنی (تیمارهای T4 و T3) تقریبا ۵۰ درصد کمتر از تیمار کاربرد انحصاری کودهای شیمیایی (T2) بود. به‌گونه‌ای که بیشترین شاخص فایده به هزینه (۲۰/۲) در اثر اعمال تیمار کودهای شیمیایی براساس نتایج آزمون خاک (T2) به دست آمد و پس از آن مدیریت‌های کاربرد تلفیقی کود آلی و درصدی از هر سه کود شیمیایی پایه (N, P, K) عملکرد اقتصادی مناسب‌تری (نسبت سود به هزینه بین ۹/۲۷ تا ۹/۹۳) نسبت به تیمارهای مدیریت تلفیقی کاربرد کودآلی و درصدی از کود پایه نیتروژن (نسبت سود به هزینه بین ۳/۶۹ تا ۵/۵۹) داشتند. با محاسبه‌ی مجدد نسبت فایده به هزینه براساس قیمت کودهای شیمیایی و آلی و قیمت تضمینی گندم در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳، نتایج نشان داد که تیمار T2 همچنان بالاترین نسبت فایده به هزینه را داشت (۱۳/۴)، اما نسبت به سه سال گذشته به‌دلیل افزایش سریع قیمت کودهای شیمیایی، کاهش شدیدی در نسبت فایده به هزینه مشاهده شد (جدول ۷). در حالی‌که پس از گذشت چند سال، همچنان نسبت فایده به هزینه در اثر استفاده از تیمارهای T3 و T4 (تلفیق کود آلی + درصدی از سه کود پایه توصیه شده) تقریباً ثابت مانده است به‌گونه‌ای که در تیمار تلفیقی کود گاوی (T3)، نسبت فایده به هزینه از ۹/۲۷ به ۱۱

افزایش یافته است اما در تیمار تلفیقی کود باگاس (T4) به دلیل افزایش قیمت این کود طی سالیان اخیر و افزایش کاربرد های آن در استان، نسبت فایده به هزینه از ۹/۷۸ به ۸ کاهش یافته است. با این حال، شیب تغییرات نسبت فایده به هزینه در تیمارهای تلفیقی کود آلی و شیمیایی (T3 و T4) نسبت به تیمار کاربرد انحصاری کودهای شیمیایی (T2) بسیار کمتر به دست آمد. در واقع، کاربرد کودهای آلی در ترکیب با کودهای شیمیایی نه تنها در پایداری حاصلخیزی خاک و تولید محصولات کشاورزی مؤثر خواهد بود بلکه در پایداری منفعت و سود بهره‌برداران نیز نقش خواهد داشت. باید به این نکته توجه داشت که برخلاف کودهای شیمیایی، کودهای آلی عناصر غذایی را اغلب به فرم آلی تأمین می‌کنند که در نتیجه علاوه بر بهبود ساختمان خاک، توانایی خاک برای نگهداری آب و مواد مغذی را نیز افزایش می‌دهد (Zhang *et al.*, 2009). از آنجایی که ریزجانداران موجود در خاک، شکل آلی عناصرغذایی را به شکل محلول غیرآلی تجزیه می‌کنند، آزادسازی آهسته مواد مغذی در مدت زمان طولانی‌تری اتفاق می‌افتد، که احتمالاً وضعیت سالم‌تری برای رشد گیاه فراهم می‌کند، زیرا عرضه بیش از حد مواد مغذی مانند نیتروژن علاوه بر افزایش آلودگی‌های محیط زیستی (آلودگی آب‌های کشاورزی)، می‌تواند منجر به رشد بافت شاداب گیاه شود که در برابر ورود قارچ‌ها و باکتری‌ها آسیب‌پذیرتر، برای برخی از آفات جذاب‌تر و مستعد آسیب‌های ناشی از تنش‌های گرما، سرما یا خشکسالی شود (Gupta & Hussain, 2014). هرچند هدف از کاربرد کودهای آلی، علاوه بر تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، اصلاح ساختمان خاک و بهبود شاخص‌های کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک در درازمدت است. ساختمان خاک در شوری بیشتر اشاره کرده‌اند.

جدول۷- ارزیابی اقتصادی کاربرد تیمارهای کودی مختلف بر عملکرد گندم رقم برات

Table 7. Economic evaluation of different fertilizer treatments application in compared to control treatment on wheat yield Barat cultivar

Treatment	Yield enhancement compared to control (kg ha^{-1})	Revenue from yield enhancement (Rials)		Increased cost in growth stimulant treatment compared to control (Rials)		Benefit to cost ratio	
		2021	2024	2021	2024	2021	2024
T2	2494.5	124725000	436537500	6150000	32525000	20.2	13.4
T3	2122.5	106125000	371437500	13950000	33887500	9.27	11.0
T4	1579.2	78960000	276360000	6450000	34318750	9.93	8.05
T5	1300.9	65045000	227657500	22625000	34429690	3.69	6.61
T6	1187.5	59375000	207812500	7625000	38122270	5.59	5.45

T1: Unfertilized Control; T2: Recommended mineral fertilizers (N, P, K) based on the soil analysis; T3: 20 tons of cattle manure every two years + 75 % of recommended N fertilizer+ 50 % of recommended P and K fertilizers; T4: 20 tons of bagasse manure every two years + 75 % of recommended N fertilizer+ 50 % of recommended P and K fertilizers; T5: 20 tons of cattle manure per year + 75 % of recommended N fertilizer and T6: 20 tons of bagasse manure per year + 75 % of recommended N fertilizer

نتیجه گیری کلی

کشاورزی فشرده و استفاده از ارقام پرمحصول برای تأمین غذای جمعیت در حال افزایش موجب تخلیه عناصر غذایی خاک و سیر نزولی وضعیت کربن آلی خاک و سایر شاخص-های حاصلخیزی خاک‌ها شده است. لذا ضروری است که مدیریت‌های تلفیقی کاربرد کودهای آلی و شیمیایی برای تأمین عناصر غذایی محصولات و بهبود شرایط حاصلخیزی خاک با توجه به منابع کود آلی دردسترس هر منطقه بسط داده شود. به همین منظور در این پژوهش، تأثیر کاربرد طولانی مدت تیمارهای تلفیقی کود گاوی و پسماند باگاس نیشکر با نسبت‌های مختلفی از کودهای شیمیایی بر اجزای عملکرد گندم در یک خاک آهکی و شور تحت اقلیم استان خوزستان بررسی شد. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه گندم در تیمار کاربرد انحصاری کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک مشاهده شد (۴۸۴۸ کیلوگرم در هکتار). با این‌حال، افزایش عملکرد دانه گندم در اثر کاربرد ۲۰ تن کود گاوی پوسیده یا پسماند باگاس هر دوسال یکبار با کاهش ۲۵ درصد کود نیتروژن توصیه شده و کاهش ۵۰ درصد از کود فسفر و پتاسیم توصیه شده با عملکرد دانه گندم در تیمار کاربرد انحصاری کودهای شیمیایی اختلاف معنی‌داری نداشت. هرچند کاربرد کود آلی از منبع کود گاوی نسبت به پسماند باگاس نیشکر، تاثیر بیشتری بر

عملکرد دانه گندم داشت که می‌توان دلیل این امر محتوای بیشتر عناصر غذایی و نسبت کربن به نیتروژن کمتر کود گاوی نسبت به باگاس نیشکر دانست. ارزیابی اقتصادی تیمارهای کودی نشان داد که علی‌رغم بالاتر بودن نسبت فایده به هزینه در تیمار کاربرد انحصاری کودهای شیمیایی (۲۰/۲) نسبت به تیمارهای تلفیقی کودهای گاوی پوسیده و درصدی از هر سه کود شیمیایی پایه (۹)، در طول سه سال پس از اجرای پروژه، نسبت فایده به هزینه در تیمار کاربرد انحصاری کود شیمیایی به دلیل افزایش قیمت کودها در سال‌های اخیر به شدت کاهش یافت (از ۲۰/۲ به ۱۳/۴) اما در تیمارهای تلفیقی کود آلی و شیمیایی، نسبت فایده به هزینه تقریباً پایدار باقی مانده است (افزایش از ۹ به ۱۱). بنابراین در شرایط خاک‌های شور و آهکی زیر کشت گندم در اقلیم خشک استان خوزستان با درنظر گرفتن اهداف کشاورزی پایدار، مصرف ۲۰ تن کود گاوی پوسیده هردو سال یکبار به همراه ۷۵ درصد کود نیتروژن و ۵۰ درصد کودهای فسفر و پتاسیم توصیه شده براساس آزمون خاک مزرعه پیشنهاد می‌گردد.

References

Aryal J.P., Sapkota T. B., Krupnik T.J., Rahut D. B., Jat M.L., Stirling C.M. 2021. Factors affecting farmers' use of organic and inorganic fertilizers in South Asia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 51480–51496.

Austin A.T, and Vivanco L. 2006. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. *Nature*, 442 (7102): 555-558.

Channabasanagowda N.K., Biradar P., Patil B.N., Awaknavar J.S., Ninganur B.T., and Hunje R. 2008. Effect of organic manures on growth, seed yield and quality of wheat. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21: 366–68.

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.

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.

Ding J., Jiang X., Ma M., Zhou B., Guan D., and Zhao B. 2016. Effect of 35 years inorganic fertilizer and manure amendment on structure of bacterial and archaeal communities in black soil of Northeast China. *Applied Soil Ecology*, 105: 187–195.

Farhad W., Cheema M.A., Saleem M.F., Hammad H.M., and Bilal M.F. 2011. Response of maize hybrids to composted and non-composted poultry manure under different irrigation regimes. *International Journal of Agriculture and Biological*, 6: 923–28.

Gaind S., and Singh Y.V. 2016. Short-term impact of organic fertilization and seasonal variations on enzymes and microbial indices under rice–wheat rotation. *Clean-Soil, Air, Water*, 44: 1396–404.

Ghazan Shahi J. 2006. Soil and Plant Analysis. Aiizh Publications, Iran, 296 pp. (In Persian)

Gupta A., and Hussain N. 2014. A critical study on the use, application and effectiveness of ogganic and inorganic fertilizers. *Journal of Industrial Pollution Control*, 30 (2): 191-194.

Hammad H.M., Khaliq A., Ahmad A., Aslam M., Malik A.H., Farhad W., and Laghari K.Q. 2011. Influence of different organic manures on wheat productivity. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13: 137–40.

Hartl W., Putz B., and Erah E. 2003. Influence of rates and timing bio Waste compost application on yield and soil nitrate levels. *European of soil Biology*, 39: 129-139.

Khanmohammadi Z., Afyuni M., and Mosaddeghi M. 2016. Effect of Pyrolysis Temperature on Chemical Properties of Sugarcane Bagasse and Pistachio residues Biochar. *Applied Soil Research*, 3 (1): 1-13. (In Persian)

Khoshgoftarmanesh A., Schulin R., Chaney R., Daneshbakhsh B., and Afyuni M. 2010. Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30:83–107.

Lee C.H., Park K.D., Jeon W.T., and Kim P.J. 2004. Lange term effect of fertilization on the forms and availability of soil phosphorus in rice paddy. *Chemosphere*, 56: 299-304.

Lu D., Li C., Sokolwski E., Magen H., Chen X., Wang H., and Zhou J. 2017. Crop yield and soil available potassium changes as affected by potassium rate in rice–wheat systems. *Field Crops Research*, 214: 38–44.

Mahajan A., and Gupta R.D. 2009. *Integrated Nutrient Management (INM) in a Sustainable Rice-Wheat Cropping System*. Springer, Dordrecht, 268p.

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: 1936–49.

Meskini-Vishkaee, F., Jafarnejhadi, A.L., and Mousavi-Fazl, M.H. 2020. Evaluation of soil physical quality in dominant series of calcareous soils in southwest of Iran. *Polish Journal of Soil Science*, 53(2): 225-243.

Mirzashahi K. 2007. The final report of the project "The effect of the combined use of organic materials (animal manure) and chemical fertilizers on the yield of Single Cross 704 corn and soil organic matter". Soil and Water Research Institute. (In Persian)

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)

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)

National Climatology Center. 2017. Monthly meteorological data of the country's synoptic stations. http://cri.ac.ir/show=251 (In Persian)

Palangi S., Bahmani O., and Atlasi-pak V. 2020. Comparison of different biochar and fertilizer levels on yield and yield components of wheat and water use efficiency. *Applied Soil Research*, 8(3): 160-171. (In Persian)

Qazanshahi J. 1999. Soil and its Relationships in Agriculture. First edition, *future publication*, Tehran. 274 pp. (In Persian)

Rezaei-Chiyaneh E., Tajabakhsh M., Hiyasim G., and Amirnia R. 2015. Effect of integrated organic and chemical fertilizers on qualitytative yield of chickpea (cicer aritinum L.) under dry farming conditions: *Research in field crops*, 1(3): 55-69.

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)

Shirkhani A, Nasralzadeh S., and Salmasi S. 2019. The effect of biological and chemical fertilizers on the yield and quality of corn seeds under conditions of full irrigation and drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3), 781-791. (In Persian).

Solomon W.G.O., Ndana R.W., and Abdulrahim Y. 2012. The Comparative study of the effect of organic manure cow dung and inorganic fertilizer NPK on the growth rate of maize (Zea mays L.*). International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 2: 516-519.

Yadvinder-Singh R.K., Gupta H.S.T., Bijay-Singh J., Varinderpal-Singh M., Gurpreet-Singh S., Jagmohan-Singh F., and Ladha J.K. 2009. Poultry litter as a nitrogen and phosphorous source for the rice–wheat cropping system. *Biology and Fertility of Soils*, 45:701–10.

Yuan G., Huan W., Song H., Lu D., Chen X., Wang H., and Zhou J. 2021. Effects of straw incorporation and potassium fertilizer on crop yields, soil organic carbon, and active carbon in the rice–wheat system. *Soil & Tillage Research*, 209: 104958.

Zhang H.M., Xu M.G., and Fan T.L. 2009. Crop yield and soil responses to long-term fertilization on a red soil in southern china. *Pedosphere*, 19: 199-207.

Zhu L., Hu N., Zhang Z., Xu J., Tao B., and Meng Y. 2015. Short-term responses of soil organic carbon and carbon pool management index to different annual straw return rates in a rice–wheat cropping system. *CATENA*, 135: 283–289.