Publisher: Soil Science Society of Iran

Journal of Soil Research

(Soil and Water Sci.)

https:// srjournal.areeo.ir/

Cost–Benefit Analysis of Different Fertilizer Recommendation Approaches for Hashemi Rice (*Oryza sativa* L.) in the Paddy Fields of Rasht County: A Case Study of Sangar District

Mohammad Khaneh Angha[a*], Jafar Asghari[a], Naser Davatgar[b], and Mahmoud Shabanpour[c]

[a] Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran.
[b] Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
[c] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran.

Article Info

Article Type
Research Article

Received
June 28, 2026
Revised
August 11, 2026
Accepted
September 02, 2026
Published online
November 16, 2026

Keywords
Economic Benefit
Nitrogen
Phosphorus
Potassium

***Corresponding author's email**
mohamadkhanea@gmail.com

Extended Abstract

Background and Objectives: Conventional nutrient management practices adopted by rice farmers, often without considering soil fertility status, together with the rising cost of agricultural inputs, particularly chemical fertilizers, can adversely affect the productivity and profitability of this strategic crop. Therefore, implementing a nutrient management approach tailored to soil fertility status can improve grain yield, enhance farmers' economic returns, and contribute to the sustainable production of rice at the national level. In this study, the contribution of indigenous soil nutrient supply was quantified, and the effects of different nutrient management approaches on grain yield and economic productivity were evaluated and compared with the conventional nutrient management practices of rice farmers.

Materials and Methods: This study was conducted during the 2022–2023 growing season in the paddy fields of Sangar District, Guilan Province, Iran. The experiment was carried out in nine farmers' fields using a randomized complete block design (RCBD) with six treatments and nine replications. Composite soil samples were collected from the 0–30 cm layer of each field to determine soil fertility status. The experimental treatments consisted of: (1) nitrogen omission (N0PK), (2) phosphorus omission (NP0K), (3) potassium omission (NPK0), (4) soil test-based fertilizer recommendation (NPK), (5) seed pretreatment combined with soil test-based fertilizer recommendation (N1P1K1), and (6) farmers' conventional fertilizer management (Farmer). Seed pretreatment was carried out using a nutrient solution containing 5% seaweed extract, zinc, potassium, phosphorus, and nitrogen. Rice seedlings (Hashemi cultivar) were transplanted in all experimental plots. Grain yield was determined at a standard moisture content of 14%. The contribution of indigenous soil nutrient supply and the economic performance of the different nutrient management strategies were evaluated.

Results: The soil fertility assessment of the experimental fields showed that the average contents of total nitrogen (0.17%), available phosphorus (9.82 mg kg^{-1}), and soil organic carbon (1.66%) were below their respective critical levels, whereas available potassium (315.56 mg kg^{-1}) was above the critical level. The average indigenous soil nutrient supply of nitrogen and phosphorus was estimated at 22.21 and 5.82 kg ha^{-1}, respectively, indicating that these two nutrients were the major limiting factors for rice production in the study area. The lowest grain yield (1,855 kg ha^{-1}) was recorded in the nitrogen omission treatment, whereas the highest grain yield (4,482 kg ha^{-1}) was obtained under the soil test-based nutrient management approach. Economic analysis demonstrated that the highest economic return was achieved under the soil test-based nutrient management approach combined with seed pretreatment using a nutrient solution. Compared with the

conventional fertilizer management practiced by farmers, this integrated approach increased economic profit by 39%, resulting in an additional net profit of 506,485,000 Rials.

Conclusion: Given that farmers' management of agricultural inputs, particularly chemical fertilizers, is often carried out without considering soil nutrient requirements, and in view of the increasing cost of agricultural inputs, the economic evaluation of fertilizer recommendation strategies has become increasingly important for farm households. Implementing a soil test-based nutrient management approach combined with seed pretreatment using a nutrient solution, while accounting for the contribution of indigenous soil nutrient supply, can prevent excessive fertilizer application and ensure that nutrients are supplied when rice plants require them most. Consequently, this integrated nutrient management strategy not only improves grain yield but also increases economic returns by 39% compared with farmers' conventional nutrient management practices.

Cite this article: Khaneh Angha, M., Asghari, J., Davatgar, N., Shabanpour, M., 2026. Cost–Benefit Analysis of Different Fertilizer Recommendation Approaches for Hashemi Rice (*Oryza sativa* L.) in the Paddy Fields of Rasht County: A Case Study of Sangar District. Research Article, *Journal of Soil Research*, 40 (3), pp 305-322.

DOI: https://doi.org/10.22092/IJSR.2026.373433.827

Publisher: Soil Science Society of Iran

Publisher: Soil Science Society of Iran

نشریه پژوهش‌های خاک

(علوم خاک و آب)

https:// srjournal.areeo.ir/

ارزیابی هزینه- فایده رویکردهای مختلف توصیه‌های کودی برنج رقم هاشمی در اراضی شالیزاری شهرستان رشت (مطالعه موردی: اراضی شالیزاری سنگر)

محمدخانه‌عنقا[۱*]، جعفر اصغری[۱]، ناصر دواتگر[۲] و محمود شعبانپور[۳]

[۱] گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

[۲] مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

[۳] گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۲۵

واژه‌های کلیدی

پتاسیم

سود اقتصادی

فسفر

نیتروژن

***ایمیل نویسنده مسئول**

mohamadkhanea@gmail.com

چکیده

به‌منظور ارزیابی اقتصادی رویکردهای مختلف مدیریت تغذیه در اراضی شالیزاری، پژوهشی در سال زراعی ۱۴۰۲–۱۴۰۱ در بخش سنگر شهرستان رشت و در نه مزرعه شالیزاری اجرا شد. در این پژوهش، با استفاده از آزمایش کرت‌های حذف عناصر غذایی، وضعیت تأمین عناصر غذایی بومی خاک بررسی و شش تیمار مدیریت تغذیه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهره اقتصادی رویکردهای مختلف توصیه کودی متفاوت بود. مدیریت تغذیه متداول زارعین، بدون توجه به وضعیت حاصلخیزی خاک، در مقایسه با مدیریت تغذیه مبتنی بر آزمایش خاک، عملکرد و بهره اقتصادی کمتری داشت. همچنین، ترکیب مدیریت تغذیه مبتنی بر آزمایش خاک و پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی، در مقایسه با مدیریت تغذیه متداول زارعین، موجب افزایش میانگین عملکرد شلتوک به میزان ۱۲۴۸ کیلوگرم در هکتار و افزایش بهره اقتصادی به مقدار ۵۰۶/۴۸۵/۰۰۰ ریال شد. بر اساس نتایج این مطالعه، مدیریت تغذیه مبتنی بر آزمایش خاک همراه با پیش‌تیمار بذر، در شرایط مزارع مورد مطالعه، می‌تواند رویکردی مناسب برای بهبود عملکرد و افزایش سود اقتصادی تولید برنج باشد.

استناد: خانه‌عنقا، م.، اصغری، ج.، دواتگر، ن.، شعبانپور، م.، ۱۴۰۵. ارزیابی هزینه- فایده رویکردهای مختلف توصیه‌های کودی برنج رقم هاشمی در اراضی شالیزاری شهرستان رشت (مطالعه موردی: اراضی شالیزاری سنگر). مقاله پژوهشی، *نشریه پژوهش‌های خاک*، (۳) ۴۰، ص ۳۰۵- ۳۲۲.

DOI: https://doi.org/10.22092/IJSR.2026.373433.827

مقدمه

برنج با سطح زیر کشت بیش از ۱۶۱ میلیون هکتار و مقدار تولید ۷۸۰ میلیون تن در جهان، با تأمین ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین مورد نیاز روزانه یکی از مهم‌ترین منابع غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان است (Depar *et al.*, 2011). این محصول برای میلیون‌ها کشاورزی که در میلیون‌ها هکتار اراضی شالیزاری برنج کشت می‌کنند و حتی برای کارگران بدون زمینی که درآمد خود را از کار در این زمین‌های کشاورزی به دست می‌آورند، بسیار مهم است (Sandhu *et al.*, 2021). بر اساس پیش‌بینی‌ها نیاز غذایی به برنج طی سال‌های ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ به ترتیب حدود ۲۶ و ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (IRRI, 2020). در بسیاری از کشورهای تولیدکننده برنج تقریباً ۹۰ درصد از برنج تولید شده، برای مصرف داخلی است، بنابراین بروز هرگونه عاملی که منجر به کاهش عملکرد برنج شود می‌تواند سبب کاهش خودکفایی کشور تولیدکننده و عدم دسترسی امن به این منبع غذایی در کشورهای واردکننده شود (Sarkar *et al.*, 2019). در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ (که این تحقیق انجام شد) سطح زیر کشت برنج در ایران ۷۹۲,۵۴۳ هکتار و میزان تولید شلتوک ۳,۴۸۵,۶۱۰ تن بود که از این میزان ۹۵۳,۱۶۶ تن در استان گیلان (استان محل انجام تحقیق) تولید شد (Agricultural Statistics, 2024). در استان گیلان با توجه به روند افزایش تبدیل اراضی شالیزاری برای سایر مصارف غیر مولد از یک سو و نبود امکان افزایش سطح اراضی شالیزاری از سوی دیگر، چشم‌اندازی برای افزایش تولید از مسیر افزایش سطح زیر کشت متصور نبوده و به‌منظور افزایش تولید برنج در واحد سطح باید به دنبال راهکارهای به‌نژادی (استفاده از ارقام پرمحصول) و به‌زراعی بود. متأسفانه در ایران ارقام اصلاح شده پرمحصول به دلایل اقتصادی، عرضه، تقاضا و ذائقه غذایی از بازار پسندی کمتری نسبت به ارقام محلی مانند رقم هاشمی برخوردار هستند و در سطح محدودی کشت می‌شوند، این در حالی است که ارقام محلی که عملکرد در هکتار کمتری دارند، کشت غالب در شالیزارهای شمال کشور به‌خصوص استان گیلان هستند. این شیوه تداوم تولید برنج محلی و کم محصول سبب شده که رویکردهای به‌زراعی بیشتر مورد توجه قرار گیرد. در این میان روش‌های نوین به‌زراعی مبتنی بر تغذیه مناسب و متعادل گیاه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راهبردهای سریع، ارزان و مؤثر می‌تواند به‌صورت پایدار بر بحران کمبود مواد غذایی ناشی از روند رو به رشد جمعیت بشر غلبه کند (Veena and Puthur, 2022).

از طرفی دیگر تولید برنج در اراضی شالیزاری استان‌های شمالی کشور با محدودیت‌های اقتصادی متعددی روبرو هستند (Rezaee *et al.*, 2020). از جمله محدودیت‌های اقتصادی افزایش قیمت کودهای شیمیایی است (Kopahi et al., 2009). با توجه به افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه کودهای شیمیایی در چند سال اخیر، تولید محصول برنج در کشور تحت تأثیر قرار گرفته است. از این رو آگاهی و انتخاب رویکردی مناسب برای مدیریت تغذیه محصول برنج که بتواند ضمن دستیابی به تولید پایدار اقتصادی، بیشینه سود را نیز به همراه داشته باشد ضروری است. در جهان امروز مدیریت عناصر غذایی، مبتنی بر نیاز واقعی گیاه و ظرفیت خاک است و به‌عنوان یکی از روش‌های کارآمد در توصیه بهینه و مصرف متعادل کودهای شیمیایی به‌شمار می‌آید. مدیریت مصرف کود، هم‌سو با نتایج آزمایش خاک و نیازهای رشدی گیاه، از رویکردهای مهم در افزایش تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود(Jafarnejadi *et al.*, 2025). اگر عناصر غذایی در زمان و مقدار مناسب به گیاه عرضه شود، آنگاه با استفاده از منابع بومی خاک و تأمین عناصر غذایی، عملکرد بهتر می‌شود (Rodriguez, Bullock and Boerngen, 2019). شکری واحد (۱۳۹۵) با بررسی تعداد ۳۳ مزرعه در غرب استان گیلان که از نظر ویژگی‌های خاک، مدیریت و موقعیت مکانی متفاوت بودند، نشان داد که بر اساس مدیریت کودی ویژه مکان، نیاز نیتروژن در شش مزرعه (۲۷ درصد) کمتر از مقدار توصیه شده و در ۱۴ مزرعه (۶۳ درصد) نیز بیشتر از مقدار توصیه شده بود (Shokrivahed, 2016). کاربرد کود بر اساس آزمایش خاک با بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک و کارایی مصرف کود، باعث افزایش پنج درصدی عملکرد برنج در مقایسه با روش رایج کشاورزان شد و بهره اقتصادی نیز افزایش یافت (Jayalakshmi *et al.*, 2021). مدیریت تغذیه اختصاصی ویژه مکان به‌عنوان یک روش تغذیه‌ای، موجب افزایش عملکرد دو محصول برنج و گندم شد و افزایش بازده اقتصادی را نسبت به روش توصیه عمومی کودی داشت(Sharma and Singhal, 2016). ارزیابی سه رویکرد متفاوت توصیه کودی گیاه برنج (مدیریت کودی متداول زارع، توصیه کودی عمومی و توصیه کودی بر مبنای کارشناسی تغذیه) در مزارع کشاورزان نشان داد که عملکرد در توصیه کودی کارشناسی تغذیه (۵۴۶۰ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از توصیه عمومی (۴۷۹۰ کیلوگرم در هکتار) و مدیریت کودی متداول زارع با ۴۴۳۰ کیلوگرم در هکتار بود (Gupta *et al.*, 2016). مدیریت عناصر غذایی به‌عنوان یک عامل ضروری برای دستیابی به محصول پایدار اقتصادی برنج است. مطالعات بابازاده و همکاران (۱۴۰۰) در اراضی شالیزاری کوچصفهان در استان گیلان نشان داد که عملکرد و بهره اقتصادی حاصل از توصیه کودی بر اساس آزمایش خاک به همراه مصرف کود کامل و محرک رشد به ترتیب ۱۴ و ۸ درصد در مقایسه با مدیریت کودی متداول زارع بهبود یافتند و بعد از آن اعمال مدیریت‌های تغذیه بر

مبنای آزمایش خاک (۱۳ و ۷ درصد) قرار داشتند (Babazadeh Jafari, Feizian and Davatgar, 2022). نتایج سینگ و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که کاربرد کود بر اساس نتایج آزمایش خاک، در مقایسه با روش متداول توصیه عمومی کوددهی، عملکرد دانه را بین ۲۰/۲ تا ۳۲/۳ درصد افزایش داد. همچنین، جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و نیز کارایی مصرف این عناصر به‌طور معنی‌داری بهبود یافت. از نظر اقتصادی نیز تیمارهای مبتنی بر آزمایش خاک، بیشترین سود خالص و بالاترین نسبت منفعت به هزینه را به خود اختصاص دادند. با این حال، کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و کود دامی، در مقایسه با مصرف صرف کودهای شیمیایی، نتایج مطلوب‌تری از نظر عملکرد و بازده اقتصادی به همراه داشت (Singh *et al.*, 2021). این نتیجه در مطالعات مونیکا و همکاران (۲۰۲۰) نیز تأیید شده است (Mounika, Babu and Luther, 2020). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که مدیریت تغذیه بر پایه آزمایش خاک موجب افزایش عملکرد، کارایی مصرف عناصر غذایی و سودآوری تولید برنج می‌شود. از سوی دیگر، پژوهش‌های مربوط به پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی به‌عنوان یک رویکرد تغذیه‌ای مکمل نشان می‌دهد که پیش‌تیمار بذر موجب کاهش زمان سبز شدن، افزایش درصد و یکنواختی جوانه‌زنی، افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، افزایش وزن خشک گیاهچه و بهبود استقرار گیاه و جذب عناصر غذایی می‌شود (Farooq *et al.*, 2010) با این حال، بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات جامعی که اثر هم‌زمان مدیریت تغذیه مبتنی بر آزمایش خاک و پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی را به‌عنوان یک رویکرد تلفیقی تغذیه‌ای، بر عملکرد و بازده اقتصادی برنج در شرایط مختلف حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری ارزیابی کرده باشند، بسیار محدود است. ازاین‌رو، بررسی اثر تلفیقی این دو راهکار مدیریتی بر عملکرد و سودآوری اقتصادی برنج، در مقایسه با مدیریت تغذیه متداول زارعین، می‌تواند به‌عنوان یک خلأ پژوهشی و جنبه‌ای نوآورانه در مطالعات مدیریت تغذیه این محصول مطرح باشد.

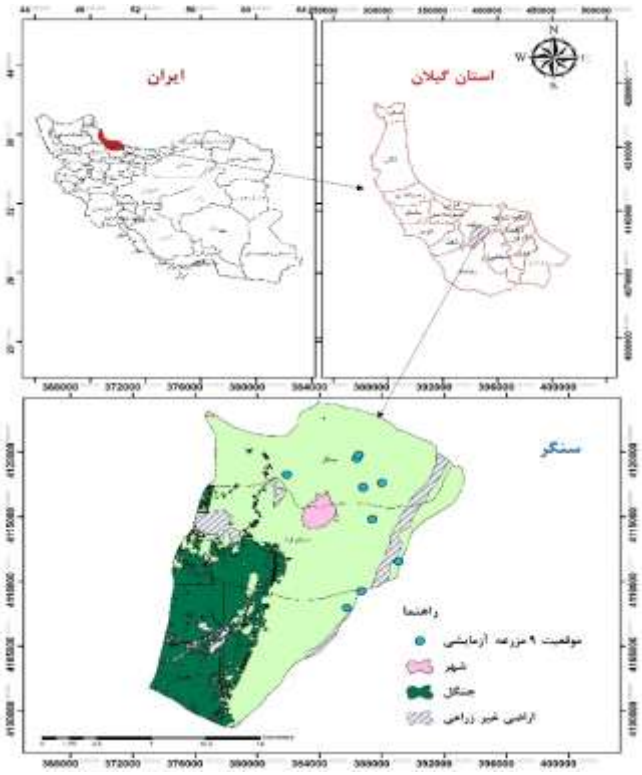
این پژوهش ضمن مشخص کردن سهم تأمین بومی نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، مناسب‌ترین رویکرد توصیه کودی از جنبه عملکرد اقتصادی در اراضی شالیزاری منتخب بخش سنگر شهرستان رشت را تعیین می‌نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعه شده اراضی شالیزاری بخش سنگر از توابع شهرستان رشت به مساحت ۱۱,۳۷۰ هکتار با مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه، ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه، ۱۱ دقیقه عرض شمالی بود. بیشتر اراضی بخش سنگر دارای شیب کمتر از ۲ درصد و مسطح است. اقلیم منطقه بر پایه روش‌های طبقه‌بندی دومارتن و آمبرژه، بسیار مرطوب است. این ناحیه دارای خاک‌های آبرفتی است و طبق نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (Benayi, 1998) دارای رژیم رطوبتی یودیک[1] و رژیم حرارتی مزیک[2] و بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی در رده‌های انتی‌سول[3]، اینسپتی‌سول[4] و آلفی‌سول[5] طبقه‌بندی می‌شوند. میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۱۲۶۳/۳ میلی‌متر است. بیشترین کاربری اراضی منطقه، کشت گیاه برنج است. زارعین بیشتر از بذر خودمصرفی رقم هاشمی برای کشت استفاده می‌کنند. طول دوره رشد رقم هاشمی حدود ۱۱۰ تا ۱۲۰ روز از تاریخ خزانه است. مدیریت آبیاری مزارع از طریق شبکه آبیاری و منبع ذخیره آب سد سفیدرود است. تاریخ خزانه‌گیری از ۱۸ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ماه در منطقه انجام می‌شود و تاریخ رهاسازی آب ۱۵ اردیبهشت است. برای آزمایش‌های مزرعه‌ای، پس از مشاوره با برخی کشاورزان منطقه، نُه نفر از آنان راضی به انجام آزمایش‌های مزرعه در اراضی شالیزاری تحت مالکیت خود شدند. موقعیت جغرافیایی اراضی شالیزاری بخش سنگر و نُه مزرعه آزمایشی در شکل یک نشان داده شده‌اند.

1 Udic soil moisture regime
2 Mesic soil temperature regime
3 Entisol
4 Inceptisol
5 Alfisol



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی همراه با نُه مزرعه آزمایشی منتخب بخش سنگر.

Figure 1. Geographic location of the study area and the nine selected experimental farms in Sangar District.

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

پیش از اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای به‌منظور تعیین وضعیت حاصلخیزی خاک از عمق صفر تا سی سانتی‌متر خاک اراضی شالیزاری منتخب نمونه‌برداری مرکب صورت گرفت و مشخصات جغرافیایی (UTM) نقاط با دستگاهGPS ثبت شد. نمونه‌های خاک در ابتدا هوا خشک شده و پس از عبور از الک دو میلی‌متری، بافت خاک (شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتر بایکاس، واکنش خاک (pH) در گل اشباع با الکترود شیشه‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی[۶](EC) در عصاره گل اشباع به روش هدایت سنجی، کربن آلی[۷](OC) به روش اکسیداسیون‌تر، گنجایش تبادل کاتیونی[۸](CEC) به روش استات سدیم در pH=7، فسفر قابل استفاده [۹](AP) به روش اولسن، نیتروژن کل [۱۰](TN) بر اساس روش کجلدال، پتاسیم قابل استفاده [۱۱](AK) به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم اندازه‌گیری شدند. شرح گام به گام روش‌های این ویژگی‌ها در راهنمای (Aliehyayi and Behbehanizadeh, 1993) مشخص شده است. اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک در آزمایشگاه خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد.

آزمایش‌های مزرعه‌ای

آزمایش‌های مزرعه‌ای در نُه مزرعه شالیزاری در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ بر پایه روش استاندارد پیشنهادی موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (Dobermann *et al.*, 2003) به‌صورت کرت‌های حذف عناصر غذایی در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی انجام و هر یک از مزارع به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. برای اجرای آزمایش‌های مدیریت تغذیه در هر مزرعه، کرت‌های آزمایشی با ابعاد ۳×۳ متر تهیه و توسط مرزهایی از دیگر بخش‌های مزرعه جدا شدند. سپس نشاهای برنج به‌صورت ۳ نشاء در هر کپه و به فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در یک تاریخ در کرت‌های آزمایشی هر نُه مزرعه نشاکاری شدند. گیاه برنج استفاده شده در این آزمایش رقم هاشمی بود. تیمارهای آزمایشی عبارت‌اند از: ۱) بدون نیتروژن (N0PK)، ۲) بدون فسفر (NP0K)، ۳) بدون پتاسیم (NPK0)، ۴) توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک (NPK)، ۵) پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی و توصیه کودی بر مبنای آزمایش خاک (N1P1K1) و ۶) مدیریت کودی متداول زارع (Farmer). منابع کودی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب اوره، سوپرفسفات تریپل و کلرور پتاسیم بودند. مقدار استفاده شده از این منابع در شش تیمار آزمایشی (جدول ۱)

6 Electrical Conductivity
7 Organic Carbon
8 Cation Exchange Capacity
9 Available phosphorus
10 Total Nitrogen
11 Available potassium

بر اساس توصیه کودی موسسه تحقیقات برنج کشور (Shokri vahed, 2022)، با استفاده از نتایج آزمایش خاک مزارع مورد مطالعه این پژوهش بود. در تیمار پنجم از پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی (ترکیب عصاره جلبک دریایی ۵ درصد، روی ۱۵ درصد، پتاسیم ۴ درصد، فسفر ۴ درصد و نیتروژن ۴ درصد) افزون بر مقادیر کود مشخص‌شده در آزمایش خاک استفاده شد. برای انجام پیش‌تیمار بذر غلظت ۲۰ میلی‌لیتر از کود مایع به ازای یک کیلوگرم بذر تلقیح شد. در تیمار ششم مزرعه در اختیار زارع بود تا برحسب عرف خود مدیریت کودی را اعمال کند. در این بررسی آبیاری مزرعه زارع و کرت‌های آزمایشی جداگانه انجام شد و برای جلوگیری از اختلاط کودها و نفوذ آب بین کرت‌های مجاور و همچنین دیگر بخش‌های مزرعه مرزهای آن‌ها با پلاستیک پوشانده شد. برای ارزیابی عملکرد، از هر کرت آزمایشی به ابعاد ۱×۱ متر بوته‌ها کف‌بر شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل و عملکرد و اجزای عملکرد شلتوک بر اساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد.

جدول ۱- مقدار کود شیمیایی مصرفی به‌وسیله زارعین (کیلوگرم در هکتار) و رویکردهای مختلف تغذیه در اراضی شالیزاری مطالعه شده.
Table 1 - Amount of chemical fertilizer used by farmers (kg/ha) and different nutrition approaches in the studied paddy fields.

شماره مزرعه Farm	مدیریت زارع / Farmer management			جمع	آزمایش خاک/ NPK			آزمایش خاک به‌اضافه پیش‌تیمار بذر N1P1K1/			
	اوره	سوپر فسفات تریپل	کلرور پتاسیم		اوره	سوپر فسفات تریپل	کلرور پتاسیم		اوره	سوپر فسفات تریپل	کلرور پتاسیم	
1	200	150	50	400	130	30	0	160	130	30	0	160
2	200	50	50	300	165	165	0	330	165	165	0	330
3	200	100	50	350	165	200	0	365	165	200	0	365
4	220	50	50	320	165	135	0	200	165	135	0	200
5	260	100	100	460	230	200	30	460	230	200	30	460
6	280	50	100	430	230	285	80	595	230	285	80	595
7	100	150	50	300	70	25	0	95	70	25	0	95
8	250	80	0	330	195	200	25	420	195	200	25	420
9	200	100	50	350	165	285	0	450	165	285	0	450
جمع	1910	830	500	3240	1515	1525	135	3175	1515	1525	135	3175
میانگین	212	92	55	360	168	169	15	352	168	169	15	352

برآورد ظرفیت تأمین عناصر غذایی بومی خاک

ظرفیت تأمین بومی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بومی خاک از طریق عملکرد دانه در کرت‌های شاهد (N0، P0، K0) انجام شد (Dobermann and Fairhurst, 2000; Dobermann *et al.*, 2003; Susanto and Sirappa, 2015). بر پایه تعریف Dobermann and Fairhurst (2000) تأمین عنصر غذایی بومی خاک عبارت از مقدار یک عنصر غذایی ویژه است که از همه منابع به غیر از کودها (مانند خاک، بقایای گیاه و آب آبیاری) برای گیاه در طول دوره رشد آن تأمین می‌شود. تأمین بومی عنصر غذایی را می‌توان به‌صورت جذب کل عنصر غذایی توسط گیاه در کرت بدون آن عنصر غذایی معین (مشروط بر این که هیچ عامل دیگری از قبیل آب، عناصر غذایی دیگر یا آفات، رشد را تحت تأثیر قرار ندهند) اندازه‌گیری کرد. برای برآورد تأمین بومی نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک از روابط ۱، ۲ و ۳ استفاده شد (Doberman and Fairhurst , 2000). از این روابط زمانی می‌توان استفاده کرد که عملکرد دانه در کرت با مصرف NPK مساوی و یا بیشتر از عملکرد دانه در کرت‌های بدون مصرف این عناصر باشد:

رابطه (۱) ۱۳ × عملکرد دانه کرت بدون مصرف نیتروژن =تأمین نیتروژن بومی خاک (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)

رابطه (۲) ۲/۳ × عملکرد دانه کرت بدون مصرف فسفر = تأمین فسفر بومی خاک (کیلوگرم فسفر در هکتار)

رابطه (۳) ۱۵ × عملکرد دانه کرت بدون مصرف فسفر =تأمین پتاسیم بومی خاک (کیلوگرم پتاسیم در هکتار)

ارزیابی بهره اقتصادی

برای تعیین بهره اقتصادی رویکردهای مدیریت مختلف تغذیه و مقایسه آن با مدیریت متداول زارع از روابط ۴، ۵ و ۶ استفاده شد.

(Doberman and Fairhurst , 2000):

رابطه (۴)

$$TFC=P_NF_N+P_pF_p+P_kF_k$$

رابطه (۵)

$$GRF=P_RY_R-TFC$$

رابطه (۵)

$$\Delta GRF=GRF_i-GRF_{FFP}$$

که در آن TFC هزینه کل کود استفاده شده (ریال/هکتار) و P_N، P_p و P_k به ترتیب قیمت کود نیتروژنی، فسفره و پتاسیمی بر حسب کیلوگرم/ ریال است. همچنین F_N، F_p و F_k به ترتیب مقدار کود نیتروژنی، فسفره و پتاسیمی بر حسب کیلوگرم بر هکتار است. GRF سود حاصل از مصرف کود (ریال/هکتار) ، P_R قیمت برنج (کیلوگرم/ریال) ، Y_R عملکرد گیاه برنج (کیلوگرم/هکتار) است. ΔGRF اختلاف سود بین هر یک از مدیریت‌های تغذیه GRF_i و GRF_{FFP} بهره مدیریت کودی عرف زارعین است. قیمت نهاده‌های کشاورزی و شلتوک هاشمی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- قیمت شلتوک برنج و نهاده‌های کودی در سال زراعی ۱۴۰۲ (هزار ریال).

Table 2- Price of rice seeds and fertilizer inputs in the 1402 crop year (thousand rials).

شلتوک هاشمی / Hashemi rice	کود اوره Urea/ fertilizer	کود سوپرفسفات تریپل / Triple superphosphate fertilizer	کود کلرور پتاسیم / Potassium chloride fertilizer	کود مایع /liquid fertilizer
410	39	143	165	2500

نتایج و بحث

وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری در مزارع مطالعه شده

برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مزارع مطالعه شده و آمار توصیفی آن‌ها در جدول (۳) نشان داده شدند. مزارع آزمایشی دارای بافت نسبتاً سنگین بودند، از این رو پیش‌بینی می‌شود که خاک‌های مزارع از نظر نگهداری آب و عناصر غذایی مناسب باشند. هدایت الکتریکی خاک مزارع آزمایشی در دامنه ۰/۷۴ تا ۲/۶۴ دسی‌زیمنس بر متر بود که نشان‌دهنده نبود محدودیت شوری خاک اراضی بود. واکنش خاک در دامنه ۶/۸۷ تا ۷/۶۴ با میانگین ۷/۳۲ بود. یوشیدا (Yoshida, 1981) pH مناسب برای خاک‌های شالیزاری را ۶/۶ گزارش کرده است. بعد از فرایند غرقاب کردن خاک‌های شالیزار، واکنش خاک در هر دو حالت اسیدی و قلیایی به حد خنثی میل می‌کند (Ponnamperuma, 1972). ظرفیت تبادل کاتیونی یک مشخصه مفید خاک است، میانگین ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)[۱۲] برای مزارع مورد بررسی، ۳۰/۸۲ بوده که بالاتر از حد بحرانی آن بود. بر اساس مطالعات دوبرمن و فرهوست (۲۰۰۰) (Doberman and Fairhurst , 2000) ظرفیت تبادل کاتیونی مطلوب بین ۲۰-۱۰ است. بنابراین ظرفیت تبادل کاتیونی برای مزارع مورد بررسی به‌عنوان یک شاخص محدود کننده رشد نبود. کربن آلی خاک که منبع تأمین بومی نیتروژن کل خاک است (به غیر از یک مزرعه) کمتر از حد بحرانی ۲ درصد (De Datta, 1981) بود. فسفر قابل استفاده در دامنه تغییرات ۲/۴ تا ۲۱/۲ با میانه ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار داشت. بر پایه حد بحرانی ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Dobermann and Fairhurst, 2000) شش مزرعه کمبود فسفر داشتند. همه مزارع بر پایه حد بحرانی پتاسیم قابل استفاده ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Kavoosi and Malakouti, 2006) دچار محدودیت کمبود پتاسیم نبودند. مرور کلی بر آمار توصیفی ویژگی‌های عناصر غذایی خاک نشان داد که به غیر از پتاسیم مزارع منتخب دارای غیریکنواختی بودند.

[12] Cation Exchange Capacity

جدول ۳- موقعیت جغرافیایی نه مزرعه شالیزاری در بخش سنگر و آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 3. Geographic locations of the nine paddy fields in Sangar District and descriptive statistics of the soil physical and chemical properties.

number	village /روستا	UTM	UTM	soil texture/بافت‌خاک	AK	AP	TN	OC	CEC	pH	EC
1	Nashroudkol/نشرودکل	387993	4117598	Silty clay/رسی‌سیلتی	320	21.2	0.20	1.93	30.47	6.87	1.42
2	Vishkanank/ویشکاننک	386522	4119774	Silty clay/رسی‌سیلتی	300	8.4	0.15	1.37	30.71	7.36	1.05
3	Nashroudkol/نشرودکل	386792	4117258	Silty clay/رسی‌سیلتی	310	6.8	0.15	1.33	34.19	7.51	1.12
4	Banakdeh/بنکده	387376	4114795	Silty clay/رسی‌سیلتی	330	10.4	0.17	1.60	34.61	7.23	1.17
5	Ghazian/قاضیان	385748	4107793	Silty clay/رسی‌سیلتی	280	6.8	0.10	0.74	30.43	7.64	0.84
6	Ayenevar/آینه‌ور	387043	4109119	Silty clay لومی‌سیلتی‌رسی /loam	240	2.4	0.11	0.82	22.83	7.63	0.74
7	Gilpordsar/گیل‌پرده‌سر	381881	4118238	clay/رسی	400	20.4	0.36	4.64	31.15	6.39	2.64
8	Bazghaledej/بازقلعه‌دژ	388069	4111514	clay/رسی	290	8	0.14	1.25	31.52	7.37	0.98
9	Omshe/امشه	386375	4119477	Silty clay /رسی‌سیلتی	370	4	0.15	1.30	31.17	7.34	1.09
آمارتوصیفی/	Descriptive statistics										
کمترین/	Minimum	–	–	–	240	2.4	0.10	0.74	22.83	6.87	0.74
بیشترین/	Maximum	–	–	–	400	21.20	0.36	4.64	34.61	7.64	2.64
میانگین/	Average	–	–	–	315.556	9.82	0.170	1.66	30.82	7.32	1.22
میانه/	Median	–	–	–	310	8	0.149	1.32	31.16	7.36	1.09

UTM: عرض‌جغرافیایی و طول جغرافیایی، AK: پتاسیم قابل استفاده خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، AP: فسفر قابل استفاده خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، TN: نیتروژن‌کل (درصد)، OC: کربن آلی خاک (درصد)، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک)، pH: واکنش خاک و EC: هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر).

UTM: latitude and longitude, AK: soil available potassium (mg/kg), AP: soil available phosphorus (mg/kg), TN: total nitrogen (percent), OC: soil organic carbon (percent), CEC: cation exchange capacity (centimole bar/kg soil), pH: Soil pH, and EC: electrical conductivity (ds/m)

تأمین بومی عناصر غذایی خاک مزارع مطالعه شده

در جدول (۴) عملکرد شلتوک، تأمین بومی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) و راندمان بازیافت (درصد) این عناصر در نه مزرعه مطالعه شده نشان داده شد. بیشترین، کمترین و میانگین تأمین بومی نیتروژن در خاک‌های مطالعه شده به ترتیب ۳۴/۵۲، ۱۷/۲۳، ۲۲/۲۱ کیلوگرم در هکتار بود که از گزارش‌های دوبرمن و فیرهورست (۲۰۰۰) (Doberman and Fairhurst , 2000) با میانگین ۶۰ کیلوگرم در هکتار در اغلب خاک‌های شالیزاری کمتر است. کمترین عملکرد شلتوک در نه مزرعه شالیزاری مطالعه شده در رویکرد کودی بدون مصرف نیتروژن بود (جدول ۴). با اینکه کشاورزان هر ساله از کود نیتروژن در شالیزار استفاده می‌کنند (جدول ۱) اما به علت آنکه کربن آلی خاک به‌طور میانگین (۱/۶۶ درصد) کمتر از حد بحرانی (۲ درصد) در زمین‌های مطالعه شده بود (جدول ۳)، از این رو به نظر می‌رسد عنصر نیتروژن یک عامل محدود کننده اصلی در عملکرد گیاه برنج است و تأمین بومی نیتروژن پاسخگوی نیاز گیاه برنج در خاک‌های مطالعه شده نیست. رابطه بین تأمین بومی نیتروژن با کربن آلی خاک در مزارع مطالعه شده نشان داد که با افزایش کربن آلی خاک تا دو درصد که بیشتر خاک‌های مطالعه شده کمتر از آن حد بودند، نیتروژن بومی خاک نیز افزایش می‌یابد (شکل ۲). مطالعات بابازاده و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که با افزایش کربن آلی، تأمین نیتروژن بومی خاک نیز افزایش یافت. در مزرعه شماره هفت واقع در روستای گیل‌پرده‌سر با داشتن بیشترین کربن آلی خاک (۴/۶۴) تأمین نیتروژن بومی خاک (۳۴/۵۲)، نیز بیشتر بود (جدول ۱ و ۴).

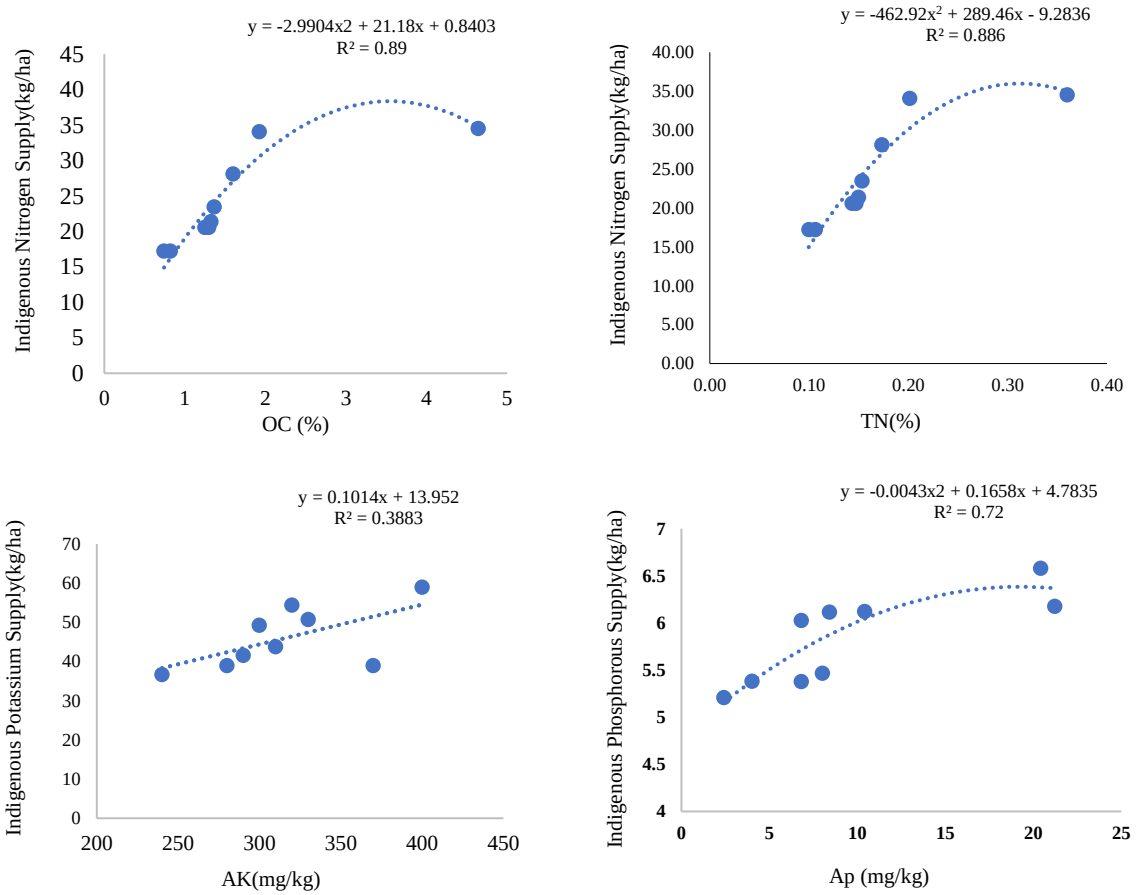
جدول ۴- عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار)، تأمین نیتروژن، فسفر و پتاسیم بومی خاک (کیلوگرم در هکتار) و درصد راندمان بازیافت این عناصر در مزارع مطالعه شده.

Table 4- Paddy yield (kg/ha), soil native nitrogen, phosphorus and potassium supply (kg/ha) and percentage of recovery efficiency of these elements in the studied fields.

RE_K (%)	RE_P (%)	RE_N (%)	IKS (Kg/ha)	IPS (Kg/ha)	INS (Kg/ha)	عملکرد/Yield (Kg/ha) N1P1K1	NPK	K0	P0	N0	عرف زارع/ Farmer management	مزرعه/ farm
0	193.54	95.80	54.44	6.18	34.07	5405	4834	4188	2686	2621	3750	1
0	27.26	54.65	49.31	6.11	23.47	4552	4071	3793	2658	1805	3300	2
0	20.92	50.80	43.82	6.03	21.36	4258	3808	3371	2621	1643	3200	3
0	36.56	58	50.78	6.12	28.09	4743	4243	3906	2662	2161	3600	4
48.24	11.99	31.50	39	5.38	17.23	3753	3357	3000	2339	1325	2834	5
26.54	25.37	27.57	36.70	5.21	17.23	3721	3328	2823	2264	1325	2800	6
0	313.84	188.52	59.01	6.58	34.52	5565	4977	4539	2861	2655	3750	7
73.43	19.02	37.41	41.60	5.47	20.58	4176	3735	3200	2377	1583	2969	8
0	90.28	44.48	39	5.38	20.58	4173	3732	3000	2340	1583	2909	9
26.54	9.28	27.57	39	5.21	17.23	3721	3328	2823	2264	1583	۲۸۰۰	کمترینminimum
73.43	313.84	188.52	59.01	6.58	34.52	5565	4977	4539	2861	2655	۳۷۵۰	بیشترینmaximum
16.46	73.08	65.41	45.96	5.82	22.21	4482	4009	3535	2534	1855	۳۲۳۴	میانگینAverage
–	7.66	50.02	–	–	–	–	–	–	–	–	–	*میانگینAverage

*به معنی میانگین راندمان بازیافت نیتروژن و فسفر بدون در نظر گرفتن مزارع استثنایی مانند شماره هفت و یک است. عدد صفر در راندمان مصرف پتاسیم برخی مزارع به معنای عدم مصرف کود پتاسیم با توجه به نتایج آزمایش خاک است. این مزارع از پتاسیم بومی خاک بیشتری در مقایسه با دیگر مزارع مطالعه شده برخوردار بودند. N0، P0، K0، به ترتیب تیمارهای بدون مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم هستند. NPK و N1P1K1 به ترتیب تیمارهای مصرف کود بر اساس آزمایش خاک و آزمایش خاک به‌اضافه استفاده از پیش‌تیمار بذر هستند. INS (Indigenous Nitrogen Supply) نیتروژن بومی خاک. IPS (Indigenous Phosphorous Supply) فسفر بومی خاک. IKS (Indigenous Potassium Supply) پتاسیم بومی خاک. RE_N، RE_P و RE_K به ترتیب راندمان بازیافت نیتروژن، فسفر و پتاسیم هستند که به‌صورت درصد بیان می‌شوند.

*Means the average nitrogen and phosphorus recovery efficiency excluding exceptional farms such as number seven and one. The number zero in the potassium use efficiency of some farms means that no potassium fertilizer was used according to the soil test results. These farms had more native soil potassium compared to the other studied farms. N0, P0, K0, are the treatments without nitrogen, phosphorus and potassium, respectively. NPK and N1P1K1 are the fertilizer use treatments based on soil test and soil test plus seed pretreatment, respectively. INS (Indigenous Nitrogen Supply) Native soil nitrogen. IPS (Indigenous Phosphorous Supply) Native soil phosphorus. IKS (Indigenous Potassium Supply) Native soil potassium. REN, REP and REK are the nitrogen, phosphorus and potassium recovery efficiencies, respectively, expressed as a percentage.



شکل ۲- رابطه تامین بومی نیتروژن کل با کربن آلی خاک، فسفر بومی با فسفر قابل استفاده خاک، پتاسیم بومی با پتاسیم قابل استفاده خاک.

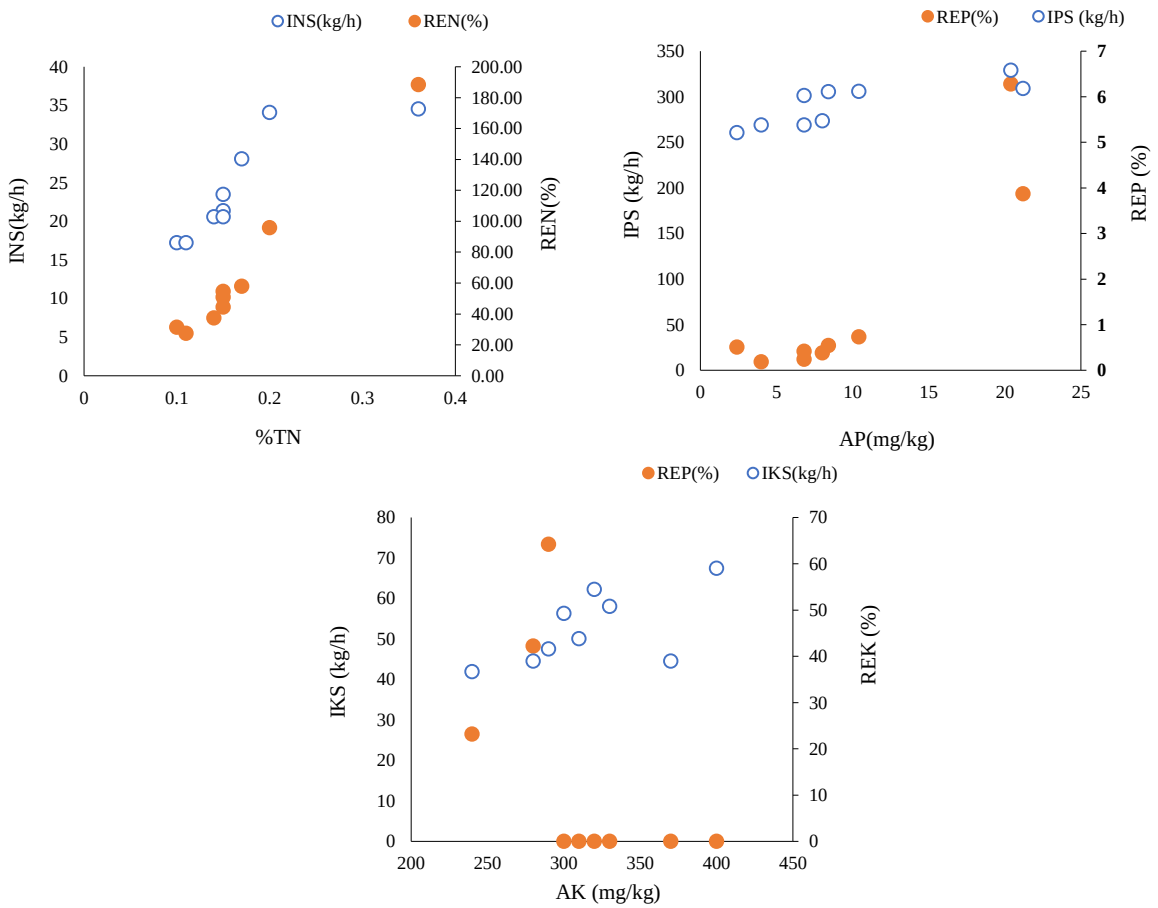
Figure 2 . Relationship between Indigenous supply of total nitrogen and soil organic carbon, Indigenous phosphorus and soil available phosphorus, Indigenous potassium and soil available potassium.

تأمین بومی فسفر در خاک‌های مطالعه شده در دامنه بین ۵/۲۱ تا ۶/۵۸ با میانگین ۵/۸۲ کیلوگرم در هکتار بود. رابطه تأمین فسفر بومی خاک و فسفر قابل استفاده خاک (R^2=۰/۷۲) نشان داد (شکل ۲) که با افزایش فسفر قابل استفاده تا حد معینی، تأمین بومی آن نیز افزایش می‌یابد و سپس مجانب می‌شود. نگاهی به جدول مصرف کودهای شیمیایی توسط زارعین نشان می‌دهد (جدول ۱) که بر اساس فسفر قابل استفاده خاک، زارعین با میانگین ۹۲ کیلوگرم کود سوپرفسفات‌تریپل، کود فسفره کمتری را در مقایسه با نیاز گیاه بر اساس آزمایش خاک با میانگین ۱۶۹ کیلوگرم در هکتار مصرف کردند. در نتیجه کاهش مصرف کودهای فسفره باعث کاهش فسفر قابل استفاده در خاک و به دنبال آن کاهش تأمین فسفر بومی خاک شد (Zhou *et al.*, 2022). رابطه تأمین پتاسیم بومی خاک و پتاسیم قابل استفاده خاک هر چند روند افزایشی داشت اما بر پایه ضریب تبیین (R^2=۰/۳۸) چندان قوی نبود (شکل ۲). پتاسیم قابل استفاده خاک در همه مزارع مطالعه شده بیشتر از حد بحرانی با میانگین ۳۱۵/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۳). از سوی دیگر پاسخ عملکرد به مصرف کودهای پتاسیمی زمانی است که فراهمی دیگر عناصر مانند نیتروژن و فسفر کافی باشد. یک آزمایش کوددهی، با هدف تعیین اثرات مقادیر مختلف کود پتاسیم و برهمکنش آنها با نیتروژن و فسفر بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۲۰ در لیتوانی انجام شد. مشخص شد که کودهای پتاسیم در ترکیب با سایر مواد مغذی اصلی گیاه یعنی نیتروژن و فسفر بیشترین تأثیر را بر محصولات کشاورزی دارند (Arbačauskas *et al.*, 2023). کمترین عملکرد شلتوک در مزارع واقع در قاضیان (مزرعه ۵) و آینه‌ور (مزرعه۶) مشاهده شد (جدول۴). در این مزارع کمترین مقدار فسفر قابل استفاده و نیتروژن کل خاک در مقایسه با دیگر مزارع مطالعه شده وجود داشت، در صورتی که پتاسیم قابل استفاده این مزارع بیشتر از حد بحرانی بود (جدول ۳). از سوی دیگر در این دو مزرعه کمترین تأمین فسفر و نیتروژن بومی خاک در مقایسه با دیگر مزارع مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که در این دو مزرعه تأمین بومی فسفر، نیتروژن و پتاسیم خاک امکان دستیابی به عملکرد مناسب را نمی‌دهد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که کمیت عناصر غذایی قابل استفاده خاک و تأمین بومی آن به گیاه در کیفیت

حاصلخیزی خاک بسیار مهم هستند، اما نمی‌توان انتظار داشت که با افزایش غلظت عنصر در خاک، به همان نسبت تأمین بومی آن نیز افزایش یابد (همبستگی بین آن‌ها تا حد معینی خطی و افزایشی است و سپس مجانب می‌شود).

کارایی بازیافت عناصر غذایی

کارایی بازیافت عناصر در نه مزرعه مطالعه شده برای عنصر نیتروژن در دامنه ۲۷/۵۷ تا ۱۸۸/۵۲ با میانگین ۶۵/۴۱، فسفر در دامنه ۹/۲۸ تا ۳۱۳/۸۴ با میانگین ۷۳/۰۸ و پتاسیم در دامنه ۲۶/۵۴ تا ۷۳/۴۳ با میانگین ۱۶/۴۶ درصد متغیر بود (جدول ۴). البته باید توجه داشت که مزارع هفت و یک به ترتیب واقع در روستاهای گیل‌پرده‌سر و نشرودکل موارد استثنایی در راندمان بازیافت نیتروژن و فسفر بودند که راندمان بیشتر از ۱۰۰ درصد را نشان دادند که نیاز به بررسی بیشتر دارد. نگاهی به درصد نیتروژن کل و مقدار فسفر قابل استفاده خاک این دو مزرعه نشان می‌دهد که فراتر از حد بحرانی در مقایسه با دیگر مزارع مطالعه شده بودند (جدول ۳). همچنین با توجه به مقدار مصرف بیشتر از نیاز کود نیتروژن و فسفر توسط این دو زارع (جدول ۲) طی چند سال در مقایسه با دیگر مزارع مطالعه شده این تحقیق، می‌تواند در افزایش مقدار فسفر قابل استفاده خاک و نیتروژن کل و در نتیجه افزایش تأمین بومی و راندمان آن‌ها تأثیر گذار باشد. نتایج رابطه بین نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم خاک با تأمین بومی و راندمان آن‌ها در نه مزرعه مطالعه شده نشان داد (شکل ۳) که با افزایش درصد نیتروژن کل، مقدار تأمین بومی و راندمان بازیافت آن نیز افزایش یافت. افزایش مقدار فسفر قابل استفاده خاک تا حدی باعث افزایش تأمین بومی و راندمان بازیافت آن شد و سپس نمودار مجانب شد؛ اما راندمان بازیافت پتاسیم از الگوی راندمان نیتروژن و فسفر تبعیت نکرد، به نظر می‌رسد بخشی از علت آن به نبود نمونه خاک‌های با غلظت پتاسیم کمتر از حد بحرانی در جامعه آماری مطالعه شده است که امکان تبیین بیشتر موضوع را ممکن نکرد. افزایش نیتروژن کل خاک و فسفر قابل استفاده معمولاً نشان‌دهنده ظرفیت بیشتر خاک برای تأمین این عناصر به‌صورت طبیعی است؛ و انتظار می‌رود تأمین بومی نیتروژن (INS) و فسفر (IPS) نیز افزایش می‌یابد. بر اساس مطالعات دوبرمن (Dobermann, 2007) تأمین بومی عناصر با ویژگی‌های خاک (مانند ماده آلی، مقدار کل عناصر، ظرفیت نگه‌داری مواد مغذی) ارتباط مستقیم دارد. راندمان بازیافت نیتروژن (REN) و فسفر (REP) به میزان جذب این عناصر نسبت به مقدار مصرف‌شده اشاره دارد. وقتی خاک از نظر تغذیه‌ای غنی‌تر باشد (دارای نیتروژن کل یا فسفر قابل استفاده بالاتری باشد)، گیاه عملکرد بهتری در جذب دارد که می‌تواند به راندمان بازیافت بالاتر منجر شود. به‌ویژه در شرایطی که سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته‌تر و فعالیت میکروبی خاک بیشتر باشد. بر اساس نتایج کاسمن و همکاران (Cassman *et al.*, 2003) راندمان بازیافت عناصر غذایی، به میزان تأمین بومی و وضعیت تغذیه‌ای خاک وابسته است، به‌ویژه در سیستم‌های کشت مانند برنج که به‌خوبی به نیتروژن و فسفر پاسخ می‌دهد.



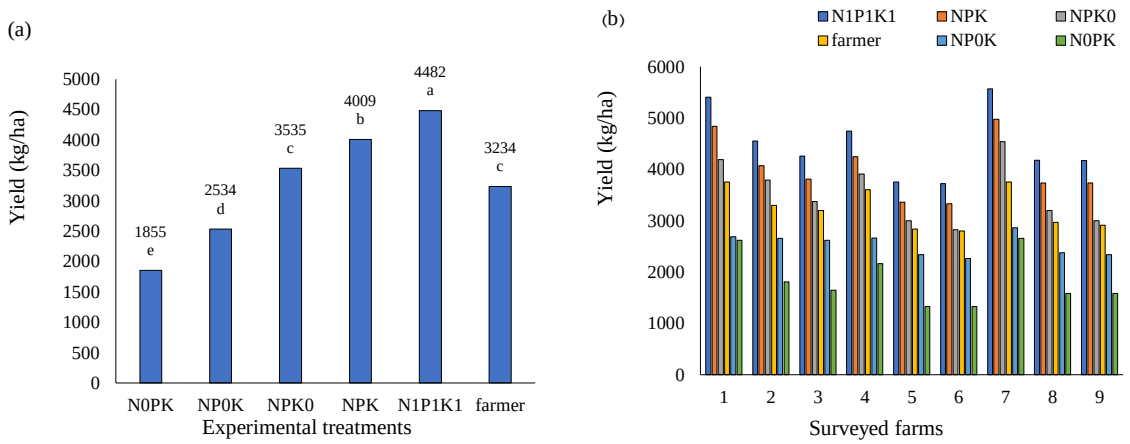
شکل۳- رابطه بین نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم خاک با عرضه بومی و راندمان بازیافت.

Figure 3 . Relationship between total nitrogen, phosphorus, and potassium in soil with native supply and Recovery efficiency.

عملکرد شلتوک

آمار توصیفی عملکرد شلتوک در کرت‌های حذفی عناصر غذایی و عملکرد به‌دست آمده در رویکردهای مدیریت تغذیه بر اساس آزمایش خاک و مدیریت تغذیه بر اساس آزمایش خاک به‌اضافه تیمار بذر با محلول عناصر غذایی در جدول (۴) نشان داده شده است. کمترین عملکرد شلتوک به ترتیب در تیمارهای حذفی نیتروژن و فسفر مشاهده شد که تأییدی بر عامل عمده محدودکننده رشد گیاه عناصر نیتروژن و فسفر در این مطالعات بودند. دامنه عملکرد شلتوک در مدیریت متداول زارع (از ۲۸۰۰ تا ۳۷۵۰ با میانگین ۳۲۳۴ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با مدیریت تغذیه بر اساس آزمایش خاک (دامنه ۳۳۲۸ تا ۴۹۷۷ میانگین ۴۰۰۹ کیلوگرم در هکتار) بسیار کمتر بود، زیرا دامنه مصرف کود نیتروژن از منبع اوره (۱۰۰ تا ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار) در مدیریت تغذیه متداول زارع در مقایسه با توصیه کودی بر اساس آزمایش خاک (۷۰ تا ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار) متناسب نبود. در بسیاری از موارد کود فسفره کمتر از مقدار مورد نیاز و کود پتاسیم بسیار بیشتر از مقدار مورد نیاز گیاه در مدیریت متداول زارع مصرف شد. این یافته‌ها نشان‌دهنده این است که مقدار عناصر قابل استفاده خاک و تأمین بومی این عناصر در جذب گیاه در نظر گرفته نشده است. شکاف عملکرد در کرت حذفی پتاسیم در مقایسه با دیگر کرت‌های حذفی کمتر بود. این نتیجه نشان می‌دهد که در ناحیه مطالعه شده مواقعی که زارعین به هر دلیل از جمله شرایط اقتصادی نتوانند یکی از کودهای پایه را تهیه کنند، به طور موقت حذف کود پتاسیم کمترین شکاف عملکرد را در مقایسه با دیگر کرت‌های حذفی ایجاد خواهد کرد. از دلایل این امر می‌توان مقدار بیشتر پتاسیم قابل استفاده خاک و در نتیجه تأمین بومی بیشتر آن برای گیاه در مقایسه با دیگر کرت‌های حذفی را بر شمرد. نتایج مقایسه میانگین رویکردهای متفاوت کودی در نه مزرعه مطالعه شده نشان داد (شکل ۴ b) که تیمار مدیریت تغذیه بر اساس آزمایش خاک به اضافه تیمار بذر با محلول عناصر غذایی (N1P1K1) بیشترین عملکرد شلتوک را در شالیزارها با وضعیت حاصلخیزی متفاوت خاک داشتند. محدوده عملکردی این تیمار از ۳۷۲۱ کیلوگرم در هکتار واقع در روستای آینه‌ور تا ۵۵۶۵ کیلوگرم در هکتار واقع در روستای گیل‌پرده‌سر با میانگین ۴۴۸۲ کیلوگرم شلتوک در هکتار بود. این تیمار توانست باعث افزایش عملکرد شلتوک به مقدار ۴۷۳ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با مدیریت

تغذیه بر اساس آزمایش خاک (NPK) و ۱۲۸۴ کیلوگرم در هکتار در مدیریت متداول زارع شود. این یافته نشان‌دهنده این است که پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی، با تولید نشاهای قوی‌تر و گسترش ریشه باعث بهبود در جذب منابع غذایی شد و با تولید پنجه‌های بارور، تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزار دانه بیشتر به عملکرد برنج به‌طور معنی‌دار کمک کند (شکل a۴). برنج برای کاهش شکاف عملکرد به مقدار کافی از عناصر اصلی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم نیاز دارد. مدیریت بهینه این عناصر باعث افزایش جذب، رشد مطلوب ریشه و افزایش فتوسنتز می‌شود. مدیریت صحیح زمان، روش و مقدار کوددهی باعث کاهش تلفات (مثل تبخیر، آبشویی، تثبیت در خاک) و افزایش کارایی جذب توسط گیاه می‌شود. در بسیاری از مناطق، به‌جای افزایش بی‌رویه کود، اجرای برنامه‌های مبتنی بر آزمایش خاک و در نظر گرفتن نیاز واقعی گیاه به کوددهی دقیق توصیه می‌شود (Dobermann and Cassman, 2002).



شکل ۴- مقایسه میانگین رویکردهای مختلف تغذیه بر عملکرد شلتوک (a) و رویکردهای مختلف تغذیه در نه مزرعه شالیزاری (b).

Figure 4 - Comparison of the average effects of different feeding approaches on paddy yield (a) and different feeding approaches in nine paddy fields (b).

اثر بخشی مقدار توصیه‌های کودی در مدیریت‌های مختلف تغذیه

بیشترین مقدار مصرف کود در تیمار مدیریت تغذیه متداول زارع (۳۲۴۰ کیلوگرم با میانگین مصرف ۳۶۰ کیلوگرم در هر مزرعه) مشاهده شد (جدول ۱). کود اوره بیشترین مقدار مصرف کود در مدیریت تغذیه متداول زارع بود که علت آن شاید دسترسی بیشتر کشاورزان به این کود و هزینه کمتر آن است. نگاهی به مصرف کود در مدیریت تغذیه متداول زارعین در مقایسه با مدیریت تغذیه مصرف کود بر اساس آزمایش خاک نشان می‌دهد که زارعین کود بیشتری مصرف می‌کنند در صورتی که از عملکرد کمتری برخوردار هستند (جدول ۴). در واقع مصرف متوازن بر اساس نیاز خاک صورت نگرفته است. مجموع و میانگین مقدار مصرف کود سوپرفسفات تریپل در مدیریت تغذیه بر اساس آزمایش خاک (به ترتیب ۱۵۲۵ و ۱۶۹ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با مدیریت تغذیه متداول زارع (به ترتیب ۸۳۰ و ۹۲ کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود (جدول ۱) که نشان دهنده آن است که مقدار کود سوپرفسفات‌تریپل مصرفی کشاورزان به همراه تأمین بومی عنصر فسفر جبران کافی گیاه برنج (رقم هاشمی) را نکرده‌اند. کود پتاسیم به مقدار کمتری در مقایسه با دو عنصر اصلی دیگر با توجه به آزمایش خاک نیاز بود، این در حالی است که در مدیریت تغذیه متداول زارع کود پتاسیم بیشتری بدون توجه به نیاز خاک و گیاه مصرف شده که قطعاً هزینه زارع را در تولید اقتصادی برنج بالا خواهد برد بدون آنکه افزایش عملکرد محسوسی اتفاق افتد.

ارزیابی بهره اقتصادی مصرف کود

بهره اقتصادی مصرف کود در کشت برنج وابسته به‌دقت در مدیریت تغذیه است. هرچه تغذیه بر اساس شرایط مزرعه و نیاز واقعی گیاه انجام شود، نسبت فایده به هزینه بالاتر رفته و سود خالص کشاورز افزایش می‌یابد. بیشترین هزینه کود مصرفی به‌طور میانگین به ترتیب به ترکیب توصیه کودی بر اساس آزمایش خاک به اضافه پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی (۳۵/۶۹۴/۰۰۰ ریال)، مدیریت تغذیه بر اساس آزمایش خاک (۳۳/۱۹۴/۰۰۰ ریال) و تیمار مدیریت تغذیه متداول زارع (۳۰/۴۹۹/۰۰۰ ریال) اختصاص داشت (جدول ۵). هزینه کود مصرفی در تیمار مدیریت مصرف کود بر اساس آزمایش خاک افزایشی به مقدار ۸/۸۳ درصد را در مقایسه با مدیریت متداول زارع نشان داد و در مقایسه با دیگر تیمارها دارای کمترین افزایش

هزینه کود بود (جدول ۶). در تیمار مدیریت تغذیه بر اساس آزمایش خاک به اضافه پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی به علت مصرف کود مایع حاوی محلول عناصر غذایی، هزینه کود بیشتر از مدیریت مصرف کود بر اساس آزمایش خاک بود.

کمترین میانگین عملکرد (۳۲۳۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین هزینه مصرف کود (۳۰/۴۹۹/۰۰۰ ریال) به مدیریت تغذیه متداول زارع اختصاص داشت. از طرفی دیگر بیشترین میانگین مصرف کود (۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) در نه مزرعه مطالعه شده نیز به این مدیریت اختصاص داشت. علت این امر را می‌توان به مصرف بیش از اندازه کود اوره با هزینه کمتر ریالی در مقایسه با دیگر کودها و مصرف کمتر از نیاز کود سوپر فسفات تریپل دانست. در واقع در این نوع مدیریت مصرف متوازن کود بر اساس نیاز خاک و گیاه نبود. مصرف بیش از اندازه کود اوره می‌تواند خطر خوابیدگی گیاه را به همراه داشته و سبب کاهش عملکرد محصول شود و در نتیجه بهره اقتصادی کاهش یابد. بیشترین عملکرد و سود در مدیریت تغذیه بر اساس آزمایش خاک به همراه پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی (۳۸ و ۳۹ درصد) و بعد از آن تیمار مدیریت کودی بر اساس آزمایش خاک (۲۴ و ۲۴/۳ درصد) در مقایسه با مدیریت متداول زارع بود. مقایسه میانگین بهره اقتصادی رویکردهای مختلف اقتصادی نشان‌دهنده معنی‌دار بودن رویکردهای مختلف تغذیه برنج بود (شکل ۵). با توجه به فایده به هزینه و بهره اقتصادی بیشتر رویکرد مدیریت تغذیه بر اساس آزمایش خاک به همراه پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی (N1P1K1) می‌توان آن را به عنوان بهترین مدیریت تغذیه برنج در خاک‌های مطالعه شده در نظر گرفت. این رویکرد مدیریت تغذیه باعث افزایش میانگین عملکرد شلتوک به مقدار ۱۲۴۸ کیلوگرم و اختلاف سودی به مقدار ۵۰۶/۴۸۵/۰۰۰ ریال در مقایسه با مدیریت تغذیه متداول زارع داشت.

جدول ۵- میانگین عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار)، هزینه و سود (ریال) در هکتار، رویکردهای مختلف تغذیه در بخش سنگر سال ۱۴۰۲.

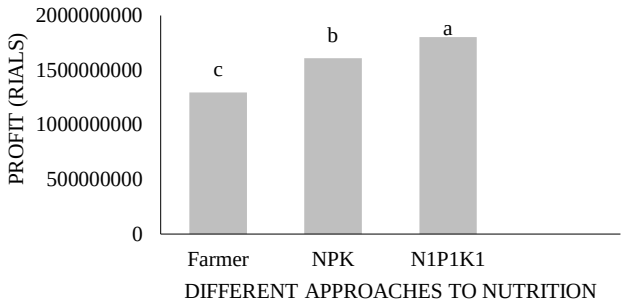
Table 5. Average paddy yield (kg/ha), cost and profit (rials) per hectare, different feeding approaches in the Sangar sector in 1402.

N1P1K1	NPK	مدیریت عرف زارع management farmer		شاخص ارزیابی
4482	4009	3234	Yield	عملکرد/
1837620000	1643690000	1325940000	Product price	قیمت محصول/
35694000	33194000	304999000	Fertilizer cost	هزینه کود/
1248	775	–	Difference in performance compared to farmer's custom	تفاوت عملکرد در مقایسه با عرف زارع
1801926000	1610496000	1295441000	profit	سود/
506485000	315055000	–	Difference in profit compared to the farmer's custom	اختلاف سود نسبت/ به عرف زارع

جدول ۶- درصد تغییرات عملکرد شلتوک برنج، هزینه، سود، رویکردهای مختلف تغذیه در مقایسه با مدیریت تغذیه متداول زارع در بخش سنگر.

Table 6 - Percentage changes in paddy yield, cost, profit, different feeding approaches compared to farmer's usual feeding management in Sangar sector.

N1P1K1	NPK	شاخص ارزیابی
+38	+24	عملکرد/ Yield
+17	+8.83	هزینه کود/ Fertilizer cost
+38.5	+24	قیمت‌محصول/Product price
+39	+24.3	سود حاصله/ profit



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر رویکردهای مختلف تغذیه بر بهره اقتصادی برنج در مزارع مطالعه شده سنگر.

Figure 5. Comparison of the average effect of different feeding approaches on the economic yield of rice in the studied Sangar farms.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مدیریت متداول زارعین در مصرف نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه کودهای شیمیایی بدون توجه به نیازهای خاک صورت می‌گیرد و با توجه به افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی، ارزیابی اقتصادی توصیه‌های کودی برای خانوارهای کشاورزی بسیار مهم خواهد بود. در محدوده مزارع مورد مطالعه انجام آزمایش خاک و در نظر گرفتن سهم عناصر غذایی بومی خاک در قالب رویکرد مدیریت تغذیه آزمایش خاک به همراه پیش‌تیمار بذر با محلول عناصر غذایی، از هدررفت کودی جلوگیری کرده و در مواقعی که گیاه برنج به عناصر غذایی احتیاج دارد می‌تواند سود حاصله از توصیه‌های کودی را ضمن افزایش عملکرد محصول، به مقدار ۳۹ درصد در مقایسه با رویکرد مدیریت تغذیه متداول زارعین بهبود بخشد.

تشکر و قدردانی

از مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) به واسطه فراهم نمودن امکان اجرای این پژوهش (با شماره مصوب ۱۶۵۹/۲۸۴/س مورخ ۱۴۰۲/۲/۱۷) تقدیر و تشکر می‌گردد.

References

1. Agricultural Jihad Statistics. (1403). Volume 1: Crops 2022-2023. Statistics and Information Technology Office. Ministry of Agricultural Jihad. p 42.
2. Arbačauskas, J. *et al.* (2023) 'The influence of mineral npk fertiliser rates on potassium dynamics in soil: data from a long-term agricultural plant fertilisation experiment', *Plants*, 12(21), p. 3700.
3. Babazadeh Jafari, S., Feizian, M. and Davatgar, N. (2022) 'Evaluation of the Effect of Different Nutritional Managements on Yield and Economic Benefit of Rice Plant (Oryza sativa L)', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(11), pp. 2923–2934.
4. Cassman, K.G. *et al.* (2003) 'Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality', *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), pp. 315–358.
5. De Datta, S.K. (1981) *Principles and practices of rice production*. Int. Rice Res. Inst.
6. Depar, N. *et al.* (2011) 'Mineral nutrient densities in some domestic and exotic rice genotypes', *Pakistan Journal of Agriculture: Agricultural Engineering Veterinary Sciences (Pakistan)*, 27(2).
7. Dobermann, A. *et al.* (2003) 'Estimating indigenous nutrient supplies for site-specific nutrient management in irrigated rice', *Agronomy Journal*, 95(4), pp. 924–935.
8. Dobermann, A. (2007) 'Nutrient use efficiency–measurement and management'.
9. Dobermann, A. and Cassman, K.G. (2002) 'Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia', *Plant and soil*, 247(1), pp. 153–175.
10. Dobermann, A. and Fairhurst, T.H. (2000) 'Nutrient disorders and nutrient management', *Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute, Singapore*, 191.
11. Farooq, M. *et al.* (2010) 'Changes in nutrient-homeostasis and reserves metabolism during rice seed priming: consequences for seedling emergence and growth', *Agricultural Sciences in China*, 9(2), pp. 191–198.
12. Gupta, G. *et al.* (2016) 'Evaluation of different nutrient management practice in yield and growth in rice in Morang district', *Adv. Plants Agric. Res*, 3(6), pp. 187–191.
13. Van Ittersum, M.K. *et al.* (2013) 'Yield gap analysis with local to global relevance—a review', *Field crops research*, 143, pp. 4–17.
14. Jafarnejadi, A.R. *et al.* (2025) 'Assessing Traditional and Innovative Fertilization Approaches for Rice Yield in Dry Direct-Seeding Systems (Case Study: Khuzestan Province)', *Journal of Water and Soil Science*, 29(3), pp. 187–199.
15. Jayalakshmi, M. *et al.* (2021) 'Impact of soil test based fertilizer application on yield, soil health and economics in rice', *Indian Journal of Extension Education*, 57(4), pp. 147–149.
16. Kavoosi, M. and Malakouti, M.J. (2006) 'Determination of potassium critical level with ammonium acetate extractant in Guilan rice fields.'
17. Mounika, D., Babu, G.K. and Luther, M.M. (2020) 'Soil test based fertilizer prescriptions through integrated nutrient management using targeted yield approach for rice', *ORYZA-An International Journal on Rice*, 57(2), pp. 139–145.
18. Ponnamperuma, F.N. (1972) 'The chemistry of submerged soils', *Advances in agronomy*, 24, pp. 29–96.
19. Rezaee, L. *et al.* (2020) 'Soil quality indices of paddy soils in Guilan province of northern Iran: Spatial variability and their influential parameters', *Ecological Indicators*, 117, p. 106566.
20. Rodriguez, D.G.P., Bullock, D.S. and Boerngen, M.A. (2019) 'The origins, implications, and consequences of yield-based nitrogen fertilizer management', *Agronomy Journal*, 111(2), pp. 725–735.
21. Shokri, Vahed. (2022). Practical Topics on the Application of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Rice Paddy Fields. Publication No. 7. Ministry of Agriculture Jihad, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rice Research Institute of Iran.
22. Sandhu, N. *et al.* (2021) 'Effective crop management and modern breeding strategies to ensure higher crop productivity under direct seeded rice cultivation system: A review', *Agronomy*, 11(7), p. 1264.
23. Sarkar, R.K. *et al.* (2019) 'Responses of rice to individual and combined stresses of flooding and salinity', in *Advances in rice research for abiotic stress tolerance*. Elsevier, pp. 281–297.
24. Sharma, V.K. and Singhal, S.K. (2016) 'Maximizing rice (Oryza sativa) and wheat (Triticum aestivum) productivity and profitability using improved nutrient

management practices', *Indian Journal of Agriculteral Sciences*, 86(9), pp. 1179–1182.
25. Singh, V.K. *et al.* (2021) 'Soil test based fertilizer application improves productivity, profitability and nutrient use efficiency of rice (Oryza sativa L.) under direct seeded condition', *Agronomy*, 11(9), p. 1756.
26. Susanto, A.N. and Sirappa, M.P. (2015) 'Assessment of indigenous N, P and K supply for rice site specific nutrient management in Buru regency', *Journal of Tropical Soils*, 19(3), pp. 151–159.
27. Veena, M. and Puthur, J.T. (2022) 'Seed nutripriming with zinc is an apt tool to alleviate malnutrition', *Environmental Geochemistry and Health*, 44(8), pp. 2355–2373.
28. Yoshida, S. (1981) 'Fundamentals of Rice Crop Science, International Rice Research Institute, Los Baños'.
29. Zhou, L. *et al.* (2022) 'Effect of different types of phosphate fertilizer on phosphorus absorption and desorption in acidic red soil of Southwest China', *Sustainability*, 14(16), p. 9973.