Plant Production Technology/ Volume 25/ Issu 2/ Pages 87-100/ Autumn and Winter 2026
https://doi.org/10.22084/ppt.2025.31249.2167

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Response of Anam Rice Variety (*Oryza sativa* L.) to Different Levels of Phosphorus and Potassium Fertilizers

Mahmoud Soltani[1*], Sh., Seyedi[2], S. R., Allahgholipour[3], M., Nabipour[4], A. and Abbasian[5], A.

1 and 3. Associate Professor of Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Rasht, Iran
2 and 5. Expert of Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
4. Assistant Professor of Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran
*: Corresponding Author Email: Shmsoltani@gmail.com

Received: 2025/07/15 Accepted: 2025/09/08

Introduction
Phosphorus and potassium are two essential macronutrients that play significant roles in the growth, development, and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Phosphorus is vital for energy transfer, root development, nucleic acid synthesis, and overall plant vigor. Potassium is involved in enzyme activation, osmoregulation, photosynthesis, and the translocation of carbohydrates and nutrients. While nitrogen has traditionally been the primary focus in rice fertilization programs, optimizing phosphorus and potassium application has gained importance, especially for newly developed rice varieties with potentially different nutrient requirements. Rice is a staple food crop in Iran, with the northern provinces of Guilan and Mazandaran as the major rice-growing areas. The introduction of the Anam rice variety has created opportunities to enhance rice productivity per unit area due to its adaptability and high yield potential. However, limited comprehensive research exists on the optimal phosphorus and potassium fertilizer rates for this variety under local environmental conditions. Therefore, identifying the appropriate phosphorus and potassium needs to maximize growth, yield components, and grain yield of the Anam variety in northern Iran's rice-growing regions is essential.

Materials and Methods
A two-year field experiment was conducted during the 2020 and 2021 growing seasons at the Rice Research Institute of Iran's experimental stations in Rasht and Tonekabon. These sites represent typical agro-ecological conditions of northern Iran with clay and loam soil textures, respectively, showing low to moderate fertility, especially regarding phosphorus and potassium. The experiment was arranged in a factorial design within a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Treatments included four phosphorus fertilizer levels (0, 30, 45, and 60 kg phosphorus pentoxide ha^{-1}) and four potassium fertilizer levels (0, 50, 100, and 150 kg potassium oxide ha^{-1}) applied in all possible combinations. Phosphorus and potassium fertilizers were applied as basal fertilizers before transplanting seedlings during land preparation. Nitrogen fertilizer was applied at 75 kg N ha^{-1} as urea, split into two applications: two-thirds basal and one-third at maximum tillering stage. Additionally, 20 kg ha^{-1} zinc sulfate was broadcast evenly and incorporated into the soil before transplanting in all plots. Standard crop management practices, including irrigation, weed control, pest, and disease management, were carried out throughout the growing seasons. Morphological traits such as plant height, total and fertile tiller numbers, number of panicles per square meter, and filled/unfilled grain numbers were measured according to the International Rice Research Institute bulletin. For measurements, ten hills were randomly sampled from each plot after border plants removal, and mean values were calculated. Thousand-grain weight was determined by weighing 1000 randomly selected grains with a balance accurate to 0.01 g. At maturity, harvesting was conducted on 4 m^2 per plot after border plant removal, and grain yield were recorded. Data were analyzed using SAS software (version 9.4) with combined analysis of variance, and means were compared using LSD at 5% significance ($P \leq 0.05$).

Results and Discussion
Analysis of variance revealed significant effects of phosphorus and potassium fertilizer applications on agronomic traits of the Anam rice variety, including total and fertile tiller numbers, panicles per square meter, filled grains per panicle, and 1000-grain weight at the 1% significance level ($P \leq 0.01$). The combined application of 60 kg P_2O_5 and 150 kg K_2O ha^{-1} increased total tiller number, fertile tiller number, panicles per square meter, filled grains per panicle, and 1000-grain weight by 45%, 44.4%, 64.5%, 64.7%, and 55.8%, respectively, and decreased the number of unfilled grains per panicle by 33.3% compared with the control treatment. The interaction between fertilizer treatments and location was

significant for grain yield at $P \leq 0.01$. The highest mean paddy yields were recorded in the Rasht and Tonekabon research fields under the combined application of 60 kg P_2O_5 and 150 kg K_2O ha^{-1}, reaching 5061.8 and 4909.0 kg ha^{-1}, respectively. These yields correspond to increases of 75.2% and 47.7% compared with the control treatment, and increases of 4.4% and 2.12% relative to the recommended chemical fertilizers treatment in the Rasht and Tonekabon, respectively. These results indicate that optimal phosphorus and potassium fertilization positively influences growth and yield across different environmental conditions and soil types. The improvements in yield components and grain yield are attributed to the synergistic roles of phosphorus and potassium in plant physiology. Phosphorus promotes root growth and energy metabolism, increasing tillering and panicle formation, while potassium activates enzymes and regulates osmotic potential, enhancing photosynthesis and assimilate translocation, which supports grain filling and increases grain weight. Therefore, the combined application of 60 kg P_2O_5 and 150 kg K_2O ha^{-1} is recommended to maximize the productivity of the Anam rice variety.

Conclusions

This two-year field study demonstrated that phosphorus and potassium fertilization had significant and synergistic effects on the agronomic performance and grain yield of the Anam rice variety under northern Iran's agro-ecological conditions. The combined application of 60 kg P_2O_5 ha^{-1} and 150 kg K_2O ha^{-1} consistently improved key yield components including total and fertile tiller numbers, panicle density, filled grain number, and 1000-grain weight. This fertilization regime produced the highest grain yields in both Rasht and Tonekabon, proving its effectiveness across diverse soil types and environments. The observed benefits are due to the complementary functions of phosphorus and potassium in root development, energy metabolism, enzyme activation, and assimilate translocation. Thus, the combined application of 60 kg P_2O_5 ha^{-1} and 150 kg K_2O ha^{-1} is recommended as the optimal fertilization strategy to maximize the productivity of the Anam rice variety in northern Iran's rice-growing regions.

Keywords: Yield components, Improved varieties, Paddy field, Paddy yield

Citations: Mahmoud Soltani, Sh., Seyedi, S. R., Allahgholipour, M., Nabipour, A. and Abbasian, A. (2026). Response of Anam Rice Variety (*Oryza sativa* L.) to Different Levels of Phosphorus and Potassium Fertilizers, *Plant Production Technology*, 25(2), 87-100. https://doi.org/10.22084/ppt.2025.31249.2167
© 2025 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Online ISSN: 2476-5651 **Print ISSN:** 2476-6321

فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و پنجم/ شمارهٔ دوم/ صفحات ۸۷-۱۰۰/ پاییز و زمستان ۱٤۰٤
https://doi.org/10.22084/ppt.2025.31249.2167

ارزیابی واکنش برنج رقم آنام به سطوح مختلف کودهای فسفر و پتاسیم

Response of Anam Rice Variety (*Oryza sativa* L.) to Different Levels of Phosphorus and Potassium Fertilizers

شهرام محمود سلطانی[۱*]، سیدرضا سیدی[۲]، مهرزاد الهقلی‌پور[۳]، علیرضا نبی‌پور[٤] و ابوذر عباسیان[٥]

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰٤/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰٦/۱۷
(مقاله پژوهشی)

چکیده

فسفر و پتاسیم از عناصر ضروری رشد و نمو برنج به‌شمار می‌روند که میزان مصرف آن‌ها در معرفی ارقام جدید کمتر موردتوجه قرار گرفته است. لذا به این منظور، آزمایشی دو ساله به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با هدف تعیین حد بهینه مصرف این کودها در کشت برنج رقم آنام در مزارع پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت و تنکابن) انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل مصرف کودهای فسفر (شاهد، ۳۰، ٤۵ و ٦۰ کیلوگرم پنتا اکسید فسفر در هکتار) و پتاسیم (شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که مصرف ٦۰ کیلوگرم فسفر و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به‌ترتیب سبب افزایش ٤۵، ٤٤/٤، ٦٤/۵، ٦٤/۷ و ۵۵/۸ درصدی تعداد پنجه کل، تعداد پنجه بارور، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه پر در خوشه، وزن هزار دانه و کاهش ۳۳/۳ درصدی تعداد دانه پوک در خوشه در مقایسه با تیمار شاهد شد. همچنین، بیشترین میانگین عملکرد شلتوک با میانگین ۵۰٦۱/۸ و ٤۹۰۹ کیلوگرم در هکتار از تیمار مصرف ٦۰ کیلوگرم فسفر و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به‌ترتیب در مزارع پژوهشی رشت و تنکابن حاصل شد که دارای افزایش ۷۵/۲ و ٤۷/۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد و و افزایش ٤/٤ و ۱۲/۲ درصدی نسبت به تیمار مصرف کودهای شیمیایی توصیه شده به‌ترتیب در مزارع پژوهشی رشت و تنکابن بود. لذا مصرف تیمار ترکیبی مذکور به‌دلیل ثبت بیشترین میانگین اجزای عملکرد و عملکرد شلتوک برای برنج رقم آنام پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، ارقام اصلاح شده، شالیزار، عملکرد شلتوک

ارجاع به مقاله: محمود سلطانی، ش.، سیدی، س. ر.، الهقلی‌پور، م.، نبی‌پور، ع. و عباسیان، ا. (۱٤۰٤). ارزیابی واکنش برنج رقم آنام به سطوح مختلف کودهای فسفر و پتاسیم، *مجله فنآوری تولیدات گیاهی*، ۲۵(۲)، ۸۷-۱۰۰. https://doi.org/10.22084/ppt.2025.31249.2167/

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons License Attribution (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

شاپا الکترونیکی: ۲٤۷٦-۵٦۵۱ **شاپا چاپی:** ۲٤۷٦-٦۳۲۱

۱ و ۳. دانشیاران مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۲ و ۵. کارشناسان مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
٤. استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران
*: نویسنده مسئول Email: Shmsoltani@gmail.com

۱. مقدمه

عملکرد نهایی محصولات زراعی (*Oryza sativa* L.) حاصل برهم‌کنش ژنوتیپ و عوامل محیطی است که ارزیابی آن، اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با عملکرد ارقام گیاهی در محیط‌های مختلف فراهم می‌کند. وجود این نوع اثرات متقابل یکی از عوامل کند بودن روند اصلاح، معرفی ارقام جدید و خلاء عملکرد ناشی از عوامل محیطی است؛ لذا بررسی و مدیریت برخی از این عوامل محیطی قابل کنترل در شرایط اقلیمی متفاوت دارای نقش چشمگیری در دست‌یابی به پتانسیل عملکرد رقم و پایداری تولید در واحد سطح است (Mostafavi *et al.*, 2019). از میان عوامل تولید، افزایش عملکرد ناشی از عوامل تغذیه‌ای به‌طور متوسط حدود ۳۵ تا ۵۵ درصد است. فسفر و پتاسیم ازجمله کودهای پرمصرف در کشت برنج به شمار می‌روند که در تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی، فعال‌سازی آنزیم‌ها، تشکیل نشاسته و پروتئین، افزایش کارآیی مصرف آب، افزایش مقاومت در برابر آفات، بیماری‌ها و تنش‌های محیطی، افزایش استحکام ساقه، گلدهی و رسیدن دانه نقش داشته و موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی برنج می‌شوند (Mohseni *et al.*, 2020; MahmoudSoltani *et al.*, 2021). لذا تعیین دقیق نیاز برنج به این کودها به‌ویژه در ارقام اصلاح شده به‌عنوان یک اولویت تحقیقاتی لازم به‌نظر می‌رسد چرا که در فرآیند معرفی ارقام جدید تاثیر آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. مروری بر منابع نشان می‌دهد کاربردهای سطوح مختلف کودهای فسفر و پتاسیم ضمن ارتقای خصوصیات شیمیایی خاک شالیزار موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف برنج می‌شود. نتایج یک بررسی پنج ساله به‌منظور بررسی سطوح مختلف مصرف فسفر شامل (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار) بر عملکرد محصول و تراز فسفر خاک نشان داد که افزایش میزان فسفر مصرفی تا ۷۵ کیلوگرم P_2O_5 در هکتار موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و کاه برنج و گندم شد، همچنین، تراز مثبت فسفر خاک برای گندم در سطح ۵۰ و برای برنج در سطح ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده شد (Chen *et al.*, 2025). یافته‌های پژوهش دیگر نشان داد که کاربرد ۱۸۰ کیلوگرم کود پتاسیم در هکتار منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه برنج در مقایسه با تیمار شاهد شد؛ به‌طوری‌که عملکرد شلتوک در رقم «شیادائو ۱» ۵۷/۲۹ درصد و در رقم «شن‌لیانگ‌یوی ۵۸۱۴» به میزان ۳۳/۵۱ درصد افزایش یافت. این محققان علت عمده افزایش عملکرد دانه ارقام برنج را به افزایش تعداد خوشه‌چه در هر خوشه و بهبود درصد پرشدن دانه‌ها مرتبط دانستند (Liu *et al.*, 2025). نتایج مطالعات محققان دیگری حاکی از اثرات مثبت سطوح مختلف کودهای فسفر و پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج است (Oo *et al.*, 2023; Akter *et al.*, 2023).

علی‌رغم اهمیت فسفر و پتاسیم در تغذیه گیاهی، بازیافت این عناصر در خاک بسیار پایین است به‌طوری‌که طبق آزمایشات میدانی صورت گرفته در اراضی شالیزاری استان گیلان، مقدار این عناصر در بخش‌های مشخصی از این اراضی پایین‌تر از حد بحرانی برای برنج است (Shakouri *et al.*, 2020). صرف‌نظر از کیفیت کودهای یارانه‌ای و غیریارانه‌ای موجود در بازار، بخش زیادی از فسفر و پتاسیم مصرفی به شکل کود، در خاک به فرم غیرقابل جذب تبدیل شده و یا هر ساله همراه با حجم زیادی از کاه و کلش از مزرعه خارج شده و به خاک بازگردانده نمی‌شود (Daemi *et al.*, 2020; Palihakkara *et al.*, 2024; Xu *et al.*, 2025; Zhang *et al.*, 2021). لذا با توجه به نقش عناصر فسفر و پتاسیم در حفظ و ارتقای حاصلخیزی خاک شالیزار و اهمیت آن‌ها در جبران خلاء عملکرد ناشی از عوامل تغذیه‌ای و تشکیل اجزای عملکرد، پژوهش حاضر با هدف تعیین حد بهینه مصرف فسفر و پتاسیم در کشت و تولید برنج رقم آنام و اصلاح توصیه‌های رایج این عناصر برای کشت ارقام جدید طراحی، تدوین و اجرا شد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزارع پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت (بافت سنگین) و ایستگاه چپرسر تنکابن (بافت سبک) طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ انجام شد. مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در استان گیلان، شهر رشت با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه و ۴۲ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه و ۱۸ ثانیه شمالی و ارتفاع ۲۱ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد و خاک آن در غالب موارد رسی است. همچنین، ایستگاه تحقیقاتی تنکابن واقع در استان مازندران دارای طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. بافت خاک در این ایستگاه، لومی تا لوم- رسی و مقادیر فسفر و پتاسیم خاک کمتر از حد بحرانی است. تیمارهای آزمایشی شامل مصرف مقادیر متفاوت کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل در چهار سطح (صفر، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم پنتا اکسید فسفر در هکتار) و مصرف مقادیر مختلف کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار) در نظر گرفته شد. کود فسفر در پایان مرحله آماده‌سازی زمین و کود پتاسیم به‌صورت دو مرحله‌ای (دو سوم در مرحله پایه و یک سوم در زمان ظهور خوشه)

به‌طور یکنواخت در کرت‌های آزمایشی پخش شد. همچنین، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره (دو سوم در مرحله پایه و یک سوم در مرحله حداکثر پنجه‌زنی) و ۲۰ کیلوگرم کود سولفات روی ۲۲ درصد قبل از نشاکاری به‌طور یکنواخت در تمام کرت‌های آزمایشی پخش و با خاک به خوبی مخلوط شد. قبل از عملیات آماده‌سازی زمین یک نمونه مرکب از عمق ۲۵ -۰ سانتی‌متری خاک از چندین نقطه مزرعه آزمایشی تهیه شد و خصوصیات شیمیایی خاک شامل pH، EC، OC، N، P و K در آزمایشگاه خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور تعیین شد (جدول ۱).

Table 1: Chemical properties of the studied farm soil before land prepration

Place	pH	EC ($ds.m^{-1}$)	Soil texture	Sand	Silt	Clay	Organic Cartbon (%)	Total Nitrogen (%)	Absorbable potassium ($mg.kg^{-1}$)	Absorbable phosphorus ($mg.kg^{-1}$)
Rasht	7.11	0.45	Silty Clay	12	41	47	1.4	0.13	198	10
Tonekabon	6.99	0.52	Clay Loam	34	41	25	3.6	0.2	118	5.4

این آزمایش برروی رقم برنج اصلاح شده آنام انجام شد. رقم آنام حاصل تلاقی ساده بین رقم صالح به‌عنوان والد مادری و رقم محلی هاشمی به‌عنوان والد پدری می‌باشد. این رقم با عملکرد دانه پنج تا ۵/۵ تن در هکتار، وزن صد دانه ۲/۵ تا ۲/٦ گرم، ارتفاع ۱۰۵ تا ۱۱۵ سانتی‌متر و طول دوره رشد ۱۱۰ تا ۱۱۵ روز از ارقام اصلاح شده‌ای است که با ضریب نفوذ قابل‌قبولی مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است (Allahgholipour *et al.*, 2019). بعد از انجام عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه، گل‌خرابی و تسطیح نهایی، کرت‌هایی به ابعاد ۲۰ مترمربع (٤×۵) با مرزبندی مشخص احداث شد. عملیات نشاکاری به فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و سه گیاهچه در هر کپه انجام شد. طی دوره رشد و نمو برنج، عملیات داشت شامل مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری در کلیه کرت‌ها به‌صورت یکسان اعمال شد. طبق دستورالعمل مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج، ارزیابی‌های لازم برای صفات مختلف شامل ارتفاع بوته، تعداد پنجه کل، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه پر در هر خوشه انجام گرفت (IRRI, 2013). برای اندازه‌گیری صفات پس از حذف حاشیه، ابتدا ده بوته به‌طور تصادفی از فضای نمونه‌برداری هر کرت انتخاب شد و میانگین اندازه‌گیری‌ها برای هر صفت منظور شد. همچنین، بین توده بذر مذکور، تعداد ۱۰۰۰ عدد دانه سالم به‌طور تصادفی انتخاب و با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و وزن هزار دانه برای هر تیمار تعیین شد. در زمان رسیدگی محصول، پنج مترمربع از مرکز هر کرت برداشت و پس از انجام عملیات خرمن‌کوبی و توزین دانه و کاه، عملکرد شلتوک بر اساس رطوبت ١٤ درصد و عملکرد کاه تعیین شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، تعداد ۱۰ بوته در هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و کف‌بر شده و به‌مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شد (IRRI, 2013). به‌منظور اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی از آزمون بارتلت استفاده شد. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با نرم‌افزار SAS (SAS, version 9.4) و همچنین، مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. ارتفاع بوته

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثر متقابل مکان و سطوح مختلف مصرف فسفر و پتاسیم بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، بیشترین (١٥٣/٤ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع بوته (۸۹/۸ سانتی‌متر) به‌ترتیب از تیمار مصرف ٦٠ کیلوگرم فسفر در هکتار، ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و تیمار عدم‌مصرف کودهای پتاسیم و فسفر در سایت پژوهشی رشت حاصل شد. طبق نتایج حاصله، مصرف تیمار مذکور موجب افزایش ۷۰/۸ و ۲۲/۲ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود به‌ترتیب در مزارع پژوهشی رشت و تنکابن شد (جدول ۸). طبق نتایج یک بررسی کاربرد فسفر به روش‌های مختلف شامل مصرف خاکی (٤٣/١ و ۸۵/۹ میلی‌گرم P_2O_5 از منبع کود سوپرفسفات تریپل در هر گلدان) و غوطه‌ورسازی ریشه در محلول فسفر (مخلوط ٤٥ گرم خاک خشک، ١٤ میلی‌لیتر آب و ١/٣١ گرم کود سوپرفسفات تریپل) به‌ترتیب موجب افزایش ٢٠/٦، ١٥/٣ و ۹/۵ درصدی سرعت فتوسنتز برنج رقم NERICA 4 نسبت به شاهد شد (Odama *et al.*, 2023). لذا طبق یافته‌های این محققان این احتمال وجود دارد که مصرف مقادیر مناسب کود فسفر از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و تولید بیشتر مواد پرورده موجب تحریک رشد اندام های رویشی و افزایش طول میانگره‌های ساقه شده باشد. نتایج بررسی دیگر نشان داد که کمبود فسفر و پتاسیم بر رشد، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و جذب مواد مغذی گیاه برنج به‌طور قابل‌توجهی اثر می‌گذارد. به‌طوری‌که مشخص شد که تیمار غلظت

طبیعی فسفر و پتاسیم نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی با غلظت پایین فسفر و پتاسیم موجب بهینه‌سازی مؤثر پیکربندی گیاه، توسعه برگ، بهبود فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم نیتروژن برگ (ارتقاء متابولیسم فتوسنتزی نیتروژن) و ریشه، افزایش تجمع نیتروژن در گیاه در مراحل اصلی رشد، افزایش کارآیی‌های مرتبط با نیتروژن و در نهایت افزایش قابل‌توجه عملکرد شلتوک برنج می‌شود (Liu *et al.*, 2024). محققان طی یک بررسی دریافتند که بیشترین ارتفاع بوته دو رقم برنج هاشمی و گیلانه از تقسیط دو مرحله‌ای کود فسفره (۵۰ درصد پایه و ۵۰ درصد ۲۰ روز بعد از نشاکاری) به‌دست آمد (Daemi *et al.*, 2020). در نتایجی مشابه، گزارش شد که افزایش کود فسفره بر تمام صفات مورفولوژیک ارقام برنج در مقایسه با تیمار شاهد دارای تأثیر معنی‌داری بود (Massawe and Mrema, 2017). محققان طی یک بررسی گزارش کردند که مصرف کود پتاسیم به میزان ۶۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب سبب افزایش ۱۳ و ۱۹ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شد (Islam *et al.*, 2015).

Table 2: Composite analysis of rice agronomic traits during 2020-21

S.O.V.	df	Plant height	Total number of tillers per hill	Number of fertile tillers per hill	Number of panicle per square	Number of filled grain per panicle	Number of unfilled grain per panicle	Paddy yield
Location	1	21941.2^{**}	794.3^{**}	717.1^{**}	49625.7^{**}	9537.5^{**}	24.3^{**}	3246849.1^{ns}
Year	1	221.6^{*}	136.7^{**}	123.5^{**}	74928.7^{**}	15030.1^{**}	35.7^{**}	775223.5^{*}
L(Y)	1	6830.2^{**}	3.4^{ns}	3^{ns}	205.6^{ns}	39^{ns}	0.1^{ns}	1346813.9^{**}
R(L×Y)	8	174.2	4.3	3.9	5995.2	506.3	8.8	132193.8
P	3	1654.9^{**}	107.4^{**}	96.9^{ns}	41073.7^{**}	8230.7^{**}	15.5^{**}	6469700.5^{**}
K	3	235.2^{**}	56.1^{**}	50.7^{**}	48726.2^{**}	9960.6^{**}	16.1^{**}	6251567.3^{**}
P×K	9	722.3^{**}	8.6^{**}	7.8^{**}	3198.6^{**}	657.7^{**}	69.5^{**}	344848.2^{**}
L×P	3	722.3^{**}	14.3^{**}	12.9^{**}	1415.9^{ns}	261.9^{ns}	0.7^{ns}	394952.7^{*}
L×K	3	3099.3^{**}	30.5^{**}	27.5^{**}	8589.4^{**}	1714.8^{**}	4^{**}	1304338.5^{**}
L×P×K	9	218.4^{**}	0.8^{ns}	0.7^{ns}	2138.5^{ns}	431.1^{ns}	1^{ns}	374613.1^{**}
Y×P	3	26.1^{ns}	1.8^{ns}	1.6	1116.5^{ns}	234^{ns}	0.5^{ns}	136633.8^{ns}
Y×K	3	107.9^{ns}	8.9^{ns}	4.8^{ns}	1556.5^{ns}	322.5^{ns}	0.7^{ns}	48223.1^{ns}
Y×P×K	9	61.5^{ns}	1.4^{ns}	1.2^{ns}	481^{ns}	102.5^{ns}	0.2^{ns}	69856.1^{ns}
L×Y×P	3	44.4^{ns}	1.9^{ns}	1.7^{ns}	4.9^{ns}	1^{ns}	0.002^{ns}	87614.9^{ns}
L×Y×K	3	93.6^{ns}	3.7^{ns}	3.3^{ns}	49.3^{ns}	9.7^{ns}	0.02^{ns}	78293.7^{ns}
L×Y×P×K	9	62.4^{ns}	2^{ns}	1.8^{ns}	16.6^{ns}	3.3^{ns}	0.007^{ns}	81190.6^{ns}
Error	120	42.8	2.2	2	1202.6	250	0.56	122309
CV	-	7.6	10.2	9.8	11.2	13.4	9.2	9.1

ns: Not significant *and ** : Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

Table 3: Interaction effets of different levels of phosphorus and potassium application on rice agronomic traits during 2020-21

Treatments		Total number of tillers per plant (No/Hill)	Number of fertile tillers per hill (No/Hill)	Number of panicle per square meter (No/m^2)
Phosphorus rates (kg P_2O_5 ha^{-1})	Potassium rates (kg K_2O ha^{-1})			
Control	Control	14.2^{g}	13.5^{g}	238^{h}
	50	15.3^{fg}	14.5^{fg}	268.2^{g}
	100	15.9^{ef}	15.1^{ef}	287^{efg}
	150	14.4^{g}	13.6^{g}	278.5^{g}
30	Control	15.6^{ef}	14.8^{ef}	271^{g}
	50	17.4^{cd}	16.5^{cd}	314.8^{de}
	100	18^{bcd}	17.1^{bcd}	323.1^{cd}
	150	16.8^{de}	15.9^{de}	337^{bcd}
45	Control	15.9^{ef}	15.1^{ef}	286.6^{fg}
	50	18^{bcd}	17.1^{bcd}	312.1^{def}
	100	18.4^{bc}	17.5^{bc}	330.3^{bcd}
	150	18.6^{bc}	17.6^{bc}	350.4^{bc}
60	Control	16^{ef}	15.2^{ef}	265.7^{gh}
	50	18.1^{bc}	17.2^{bc}	326.5^{cd}
	100	19^{b}	18.1^{b}	358^{b}
	150	20.6^{a}	19.5^{a}	391.7^{a}

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the five percent probability level using LSD 's Test

Table 4: Interaction effets of different levels of phosphorus and potassium application on rice agronomic traits during 2020-21

Treatments		Number of filled grain per panicle	Number of unfilled grain per panicle	Thousand-grain weight (gr)
Phosphorus rates (kg P_2O_5 ha^{-1})	Potassium rates (kg K_2O ha^{-1})			
Control	Control	106.6^{h}	14.2^{a}	19.5^{h}
	50	120.1^{g}	6^{g}	20.8^{gh}
	100	128.4^{efg}	6.2^{fg}	22.3^{efg}
	150	123.2^{g}	6^{g}	21.4^{gh}
30	Control	120.9^{g}	5.9^{g}	21^{gh}
	50	140.9^{de}	6.8^{ef}	24.4^{de}
	100	144.1^{cd}	7^{de}	25^{cd}
	150	150.9^{bcd}	7.3^{cde}	26.1^{bcd}
45	Control	127.6^{fg}	6.2^{fg}	22.2^{fg}
	50	138.7^{def}	6.8^{ef}	24.2^{def}
	100	149.3^{bcd}	7.1^{de}	25.7^{bcd}
	150	156.2^{bc}	7.6^{cd}	27.2^{bc}
60	Control	118.9^{gh}	8.5^{b}	20.7^{gh}
	50	145.6^{cd}	7.1^{de}	25.3^{cd}
	100	160.7^{b}	7.8^{c}	27.8^{b}
	150	175.6^{a}	5.8^{g}	30.4^{a}

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the five percent probability level using LSD 's Test

Table 5: Interaction of location and different levels of phosphorus application on rice agronomic traits during 2020-21

Treatments		Total number of tillers per hill (No/Hill)	Number of fertile tillers per hill (No/Hill)
Location	Phosphorus rates (kg P_2O_5 ha^{-1})		
Rasht (L_1)	Control	16.4^{d}	15.6^{d}
	30	18.7^{c}	17.8^{c}
	45	19.9^{b}	18.9^{b}
	60	21.1^{a}	20.1^{a}
Tonekabon (L_2)	Control	13.5^{f}	12.8^{f}
	30	15.2^{e}	14.4^{e}
	45	15.6^{e}	14.8^{e}
	60	15.7^{de}	14.9^{de}

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the five percent probability level using LSD 's Test

Table 6: Interaction of location and different levels of potassium application on rice agronomic traits during 2020-21

Treatments		Total number of tillers per hill (No/Hill)	Number of fertile tillers per hill (No/Hill)	Number of panicle per square meter (No/m^2)
Location	Potassium rates (kg K_2O ha^{-1})			
Rasht (L_1)	Control	16.4^{c}	15.5^{c}	267.3^{d}
	50	19.4^{b}	18.5^{b}	332.5^{b}
	100	20^{ab}	19^{ab}	331.9^{b}
	150	20.4^{a}	19.4^{a}	366.6^{a}
Tonekabon (L_2)	Control	14.5^{e}	13.8^{e}	263.3^{d}
	50	14.9^{de}	14.2^{de}	278.2^{d}
	100	15.7^{cd}	14.9^{cd}	317.3^{bc}
	150	14.7^{e}	14^{e}	310.9^{c}

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the five percent probability level using LSD 's Test

Table 7: Interaction of location and different levels of potassium application on rice agronomic traits during 2020-1

Treatments		Number of filled grain per panicle	Number of unfilled grain per panicle	Thousand-grain weight (gr)
Location	Potassium rates (kg K_2O ha^{-1})			
Rasht (L_1)	Control	119.4^{d}	8^{a}	21^{d}
	50	148.4^{b}	7.2^{b}	258.8^{b}
	100	148.6^{b}	7.2^{b}	25.7^{b}
	150	163.8^{a}	6^{a}	28.4^{a}
Tonekabon (L_2)	Control	117.6^{d}	8.3^{a}	20.7^{d}
	50	124.3^{d}	7.7^{b}	21.6^{d}
	100	142.7^{bc}	7.4^{c}	24.6^{bc}
	150	139.2^{c}	7^{d}	24.1^{c}

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the five percent probability level using LSD 's Test

۳-۲. تعداد پنجه کل و بارور در هر کپه

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها اثرات متقابل سطوح مختلف مصرف فسفر و پتاسیم، مکان و سطوح مختلف مصرف فسفر، مکان و سطوح مختلف مصرف پتاسیم بر صفات تعداد پنجه کل و بارور در هر کپه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف مصرف فسفر و پتاسیم بر این صفات نشان داد که تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و ٦۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار با میانگین تعداد پنجه کل ۲۰/٦ عدد و تعداد پنجه بارور ۱۹/۵ عدد و تیمار شاهد بدون مصرف کود با میانگین تعداد پنجه کل ۱٤/۲ عدد و تعداد پنجه بارور ۱۳/۵ عدد به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد پنجه کل و بارور در هر کپه بودند (جدول ۳). طبق این نتایج، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و ٦۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار موجب افزایش ٤۵ درصدی تعداد پنجه کل و افزایش ٤٤/٤ درصدی تعداد پنجه بارور نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود شد. مقایسه میانگین اثر متقابل مکان و سطوح مختلف مصرف فسفر بر این صفات نشان داد که تیمار مصرف ٦۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در مزرعه پژوهشی رشت با میانگین تعداد پنجه کل ۲۱/۱ عدد و تعداد پنجه بارور ۲۰/۱ عدد و تیمار عدم مصرف فسفر در مزرعه پژوهشی تنکابن با میانگین تعداد پنجه کل ۱۳/۵ عدد و تعداد پنجه بارور ۱۲/۸ عدد به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد پنجه کل و بارور در هر کپه بودند (جدول ۵). نتایج بررسی کاربرد فسفر به دو روش اختلاط فسفر با خاک و غوطه‌وری ریشه در محلول فسفر بر رشد و عملکرد لاین‌های برنج نشان داد که روش غوطه‌ور ساختن ریشه ضمن افزایش پنجه‌زنی برنج موجب افزایش ۲۰ تا ۳۰ درصدی تولید زیست‌توده اولیه ساقه نسبت به تیمار مصرف خاکی و افزایش ٤۸ تا ۵۲ درصدی آن نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفر شد. این محققان طی مطالعات قبلی خود نیز دریافتند که قرار دادن نشای برنج در محلول فسفر از طریق فعال‌سازی یک آلل طبیعی (OsTB1/FC1)، پنجه‌زنی برنج را افزایش می‌دهد (Takai *et al.*, 2024). همچنین، نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل مکان و سطوح مختلف مصرف پتاسیم برای این صفات نشان داد که تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار در مزرعه رشت با میانگین تعداد پنجه کل ۲۰/٤ عدد و تعداد پنجه بارور ۱۹/٤ عدد و تیمار عدم‌مصرف پتاسیم در مزرعه پژوهشی تنکابن با میانگین تعداد پنجه کل ۱٤/۵ عدد و تعداد پنجه بارور ۱۳/۸ عدد به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد پنجه کل و بارور در هر کپه بودند (جدول ٦). نتایج یک مطالعه نشان داد که کاربرد پتاسیم می‌تواند تعداد پنجه کل و بارور، تعداد دانه در خوشه، درصد دانه‌های پر، وزن دانه و در نتیجه وزن هزاردانه برنج را افزایش دهد (Mahmoud Soltani *et al.*, 2021). در نتایجی منطبق با یافته‌های این مطالعه، گزارش شد که تعداد پنجه در کپه با مصرف ۱۲۸ و ۱۵٤ کیلوگرم پتاسیم در هکتار در مقایسه با شاهد به‌طور میانگین تا ۱۰ درصد افزایش یافت (Zhang *et al.*, 2021). این نتایج با یافته‌های سایر محققان نیز در یک راستا بود (Zhao *et al.*, 2019).

۳-۳. تعداد خوشه در مترمربع

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثرات متقابل سطوح مختلف مصرف فسفر و پتاسیم و مکان و مصرف سطوح مختلف پتاسیم بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

Table 8: Interaction of location and different levels of phosphorus and potassium application on rice agronomic traits during 2020-21

Treatments			Plant height (cm)	Paddy yield (kg.ha^{-1})
Location	Phosphorus rates (kg P_2O_5 ha^{-1})	Potassium rates (kg K_2O ha^{-1})		
Rasht (L_1)	Control	Control	89.8^{q}	2888.3^{p}
		50	120.4^{defg}	3947.9^{ijkl}
		100	113.6^{ghij}	3861.7^{ijklm}
		150	126.4^{cd}	3931.2^{ijklm}
	30	Control	105^{klmn}	3216^{op}
		50	128.1^{c}	4182.8^{ghij}
		100	122.5^{cdef}	4054.4^{hijk}
		150	143.1^{b}	4612.6^{bcdef}
	45	Control	115.9^{fghi}	3786.3^{jklm}
		50	129^{c}	4752.4^{abcde}
		100	123.7^{cde}	4188.3^{ghi}
		150	148.3^{ab}	4995^{ab}
	60	Control	116.4^{efgh}	4161.3^{ghijk}
		50	127.7^{cd}	4523.9^{cdefg}
		100	148.7^{ab}	4847.3^{abcd}
		150	153.4^{a}	5061.8^{a}
Tonekabon (L_2)	Control	Control	93.2^{pq}	3322.3^{no}
		50	109.3^{hijk}	3567.8^{lmno}
		100	107.8^{jkl}	3775.1^{klm}
		150	96.5^{pq}	3316no
	30	Control	108.7^{ijk}	3616.8^{lmn}
		50	103.5^{klmno}	3905.4^{ijklm}
		100	113.7^{ghij}	4228^{fghi}
		150	104.3^{klmn}	4028.8^{hijk}
	45	Control	108.7^{ijk}	3843.9 ^{ijklm}
		50	103.5^{klmno}	3950.8^{ijkl}
		100	113.4^{ghij}	4495.6^{defg}
		150	104.7^{klmn}	4135.7^{ghijk}
	60	Control	99.7^{mnop}	3538.5^{mno}
		50	98.1^{nop}	3843.3^{ijklm}
		100	107.1^{jklm}	4373.1^{efgh}
		150	113.9^{ghij}	4909^{abc}

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at the five percent probability level using LSD 's Test

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین (۳۹۱/۷ عدد) و کمترین (۲۳۸ عدد) تعداد خوشه در مترمربع به‌ترتیب از تیمار مصرف ٦٠ کیلوگرم فسفر و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و تیمار عدم‌مصرف فسفر و پتاسیم حاصل شد (جدول ۳). طبق این نتایج، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و ٦٠ کیلوگرم پتاسیم در هکتار موجب افزایش ٦٤/٥ درصدی تعداد خوشه در مترمربع نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود شد.

نتایج یک مطالعه به‌منظور ارزیابی تأثیر سطوح مختلف کود فسفر (صفر، ۳۰ و ٦٠ کیلوگرم فسفر در هکتار) بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم RNR 15048 نشان داد که مصرف ۳۰ و ٦٠ کیلوگرم فسفر در هکتار، به‌ترتیب موجب افزایش ۳/۱ و ۵/۸ درصدی تعداد خوشه در مترمربع نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود فسفر شد. این محققان علت اصلی افزایش معنی‌دار تعداد خوشه را بهبود رشد ریشه و افزایش جذب مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) در اثر کاربرد مقادیر مناسب کود فسفر عنوان کردند (Sivani *et al.*, 2023). محققان دیگر طی بررسی خود دریافتند که افزایش میزان مصرف پتاسیم از صفر به ۸۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد پنجه در مترمربع، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه‌های پر در خوشه و عملکرد ماده خشک برنج رقم BRRI dhan49 را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Islam *et al.*, 2015). طبق یافته‌های این تحقیق به‌نظر می‌رسد که مصرف به اندازه کودهای فسفره و پتاسه در زمان مناسب از طریق افزایش توان گیاه در تولید پنجه‌های قوی و بارور و اثرگذاری بر فرآیند تشکیل پرایموردیای خوشه در مرحله حداکثر پنجه‌زنی برنج دارای نقش قابل‌توجهی در افزایش تعداد خوشه در مترمربع بوده باشد. همچنین، مقایسه میانگین مکان و سطوح مختلف مصرف پتاسیم برای این صفت نشان داد که بیشترین تعداد خوشه در مترمربع (با میانگین ۳٦٦/٦ عدد) از مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در مزرعه پژوهشی رشت و کمترین تعداد خوشه در مترمربع (با میانگین ۲٦۳/۳ عدد) از تیمار عدم مصرف پتاسیم در مزرعه پژوهشی تنکابن حاصل شد (جدول ٦). اثر مثبت و معنی‌دار کاربرد کودهای فسفره و پتاسه بر تعداد خوشه در مترمربع توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Murthy *et al.*, 2015).

۳-٤. تعداد دانه پر و پوک در خوشه

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثرات متقابل سطوح مختلف مصرف فسفر و پتاسیم و مکان و مصرف سطوح مختلف پتاسیم بر تعداد دانه پر و پوک در خوشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف مصرف فسفر و پتاسیم بر تعداد دانه پر در خوشه نشان داد که بیشترین (۱۷۵/٦ عدد) تعداد دانه پر در خوشه و کمترین (۵/۸ عدد) تعداد دانه پوک در خوشه و کمترین (۱۰٦/٦ عدد) تعداد دانه پر در خوشه و بیشترین (۱٤/۲ عدد) تعداد دانه پوک در خوشه به‌ترتیب از تیمار مصرف ٦٠ کیلوگرم فسفر و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و عدم‌مصرف فسفر و پتاسیم حاصل شد (جدول ٤). طبق این نتایج، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و ٦٠ کیلوگرم پتاسیم در هکتار موجب افزایش ٦٤/۷ درصدی تعداد دانه پر در خوشه و کاهش ۱٤٤/۸ درصدی تعداد دانه پوک در خوشه نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود شد. همچنین، نتایج مقایسه میانگین مکان و سطوح مختلف مصرف پتاسیم بر تعداد دانه پر در خوشه نشان داد که بیشترین تعداد دانه پر (با میانگین ۱٦۳/۸ عدد) و کمترین تعداد دانه پوک در خوشه (با میانگین ٦ عدد) و کمترین تعداد دانه پر (با میانگین ۱۱۷/٦ عدد) و بیشترین (با میانگین ۸/۳ عدد) تعداد دانه پوک در خوشه به‌ترتیب از تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار در مزرعه پژوهشی رشت و تیمار عدم‌مصرف پتاسیم در مزرعه پژوهشی تنکابن حاصل شد (جدول ۷). نتایج یک بررسی نشان داد که مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم دارای اثر مثبت و معنی‌داری بر درصد دانه‌های پر در خوشه برنج رقم خزر بوده و کمبود آن موجب عقیمی دانه‌های گرده و کاهش دانه‌های پر می‌شود (Esfehani *et al.*, 2005). همچنین، طبق یافته‌های پژوهش محققان دیگر مشخص شد که مصرف ۲۰ و ٤۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم خالص به‌ترتیب سبب افزایش ٤٦/٦ و ۱۰۵/۵ درصدی تعداد دانه پر در خوشه برنج نسبت به تیمار شاهد شد. این محققان اذعان داشتند که به‌نظر می‌رسد که تأمین کافی عنصر پتاسیم از طریق اثرگذاری مثبت بر متابولیسم کربوهیدرات‌ها و تولید بیشتر نشاسته موجب انتقال مواد پرورده بیشتر به خوشه و در نهایت افزایش تعداد دانه پر در خوشه شده باشد (Islam *et al.*, 2015).

به‌طور معمول در مرحله گرده‌افشانی و خوشه‌دهی برنج، میزان مواد فتوسنتزی تولیدی بیش از نیاز گیاه است. مازاد مواد فتوسنتزی که حاوی عناصر غذایی نظیر فسفر و پتاسیم است به ساقه و برگ‌ها منتقل شده و به‌صورت کربوهیدرات ذخیره می‌شود. هم‌زمان با شروع پر شدن دانه، این کربوهیدرات‌های ذخیره شده از برگ و ساقه به دانه‌های در حال پر شدن منتقل می‌شود (Akbari *et al.*, 2010)؛ انتقال مجدد هیدرات‌های کربن از طریق اندام‌های هوایی یکی از عوامل مؤثر در پر شدن دانه برنج است (Saraie *et al.*, 2020). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که جذب مقادیر بالای عناصر غذایی فسفر و پتاسیم به‌ویژه در ارقام اصلاح شده برنج که از ظرفیت فتوسنتزی بیشتر و مقصد (محل ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی) بزرگتری نسبت به ارقام بومی برخوردارند، از طریق افزایش تولید، ذخیره و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، می‌تواند موجب کاهش تعداد دانه پوک و افزایش تعداد دانه پر در خوشه و در نهایت افزایش عملکرد کمی شلتوک شود.

۳-۵. وزن هزاردانه

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثرات متقابل سطوح مختلف مصرف فسفر و پتاسیم و مکان و مصرف سطوح مختلف پتاسیم بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف مصرف فسفر و پتاسیم بر وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین (۳۰/٤ گرم) و کمترین (۱۹/۵ گرم) وزن هزار دانه به‌ترتیب از تیمار مصرف ٦۰ کیلوگرم فسفر و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و تیمار عدم مصرف فسفر و پتاسیم حاصل شد (جدول ٤). طبق این نتایج، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و ٦۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار موجب افزایش ۵۵/۸ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود شد. همچنین، مقایسه میانگین مکان و سطوح مختلف مصرف پتاسیم برای این صفت نشان داد که بیشترین (با میانگین ۲۸/٤ گرم) و کمترین وزن هزار دانه (با میانگین ۲۰/۷ گرم) به‌ترتیب از مصرف ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار در مزرعه پژوهشی رشت و تیمار عدم‌مصرف پتاسیم در مزرعه پژوهشی تنکابن حاصل شد (جدول ۷). محققان طی یک مطالعه در ۵۰ پایلوت آزمایشی گزارش کردند که مصرف فسفر در سه مرحله (پایه، حداکثر پنجه‌زنی و ظهور خوشه) موجب افزایش ۱۰ درصدی وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد (Archana *et al.*, 2021). این نتایج با یافته‌های محققان دیگر منطبق بود (Meena *et al.*, 2014). مهم‌ترین دلیل افزایش وزن هزار دانه به بهبود فرآیند انتقال مجدد مواد غذایی و حرکت آن در آوند آبکش نسبت داده شده است؛ به‌طوری‌که طبق نتایج یک بررسی، تولید کربوهیدرات و ذخیره آن در اندام‌های رویشی در دوره قبل از گلدهی و انتقال مجدد آن به دانه‌های در حال رشد در عملکرد نهایی دانه برنج نقش مهمی برعهده دارد و میزان آن به ماهیت ژنوتیپ، شرایط محیطی و عناصر غذایی خاک بستگی دارد (Saraie *et al.*, 2020). نتایج بررسی دیگر نشان داد که سهم مواد فتوسنتزی ذخیره شده در اندام هوایی قبل از مرحله گرده‌افشانی در وزن دانه برنج حدود ۹/۱ تا ٤۲/۲ است که این موضوع نشان‌دهنده اهمیت ذخایر غذایی قبل از مرحله گرده‌افشانی در حصول عملکرد بالای دانه برنج است (Ntanos and Koutrobas, 2002). بررسی مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که عناصر فسفر و پتاسیم داری سهم به‌سزایی در انتقال مجدد و همچنین، فرآیند پر شدن دانه برنج می‌باشند (Sun *et al.*, 2023)، لذا مصرف مقادیر کافی این عناصر ضمن افزایش تولید و ذخیره مواد فتوسنتزی در اندام‌های ذخیره‌ای نظیر برگ و ساقه، موجب افزایش حجم انتقال این عناصر به‌سمت دانه‌های در حال پر شدن و افزایش وزن دانه‌ها می‌شود.

۳-٦. عملکرد شلتوک

طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، اثر متقابل مکان، فسفر و پتاسیم بر عملکرد شلتوک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد شلتوک در واحد سطح به تیمارهای مصرف ٦۰ کیلوگرم فسفر و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار (با میانگین ۵۰٦۱/۸ کیلوگرم در هکتار) و تیمار شاهد بدون مصرف کودهای فسفر و پتاسیم در مزرعه پژوهشی رشت (با میانگین ۲۸۸۳/۳ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت (جدول ۸). همچنین، نتایج نشان داد که تیمار مصرف ٦۰ کیلوگرم فسفر و ۱۵۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار موجب افزایش ۷۵/۲ و ٤۷/۷ درصدی عملکرد شلتوک نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود و همچنین، افزایش ٤/٤ و ۱۲/۲ درصدی عملکرد شلتوک نسبت به تیمار مصرف کودهای شیمیایی توصیه شده (٦۰ کیلو پتا اکسید فسفر و ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار)

به‌ترتیب در مزارع پژوهشی رشت و تنکابن شد. نتایج بررسی تأثیر میزان و زمان مصرف کودهای فسفره بر عملکرد شلتوک برنج نشان داد که تمامی مقادیر مصرف کود فسفر سبب افزایش عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد شلتوک (٦/٤١ تن در هکتار) از تیمار مصرف ٨٥ کیلوگرم پنتا اکسید فسفر در هکتار در مرحله پایه به ثبت رسید (Archana *et al.*, 2021). نتایج این تحقیق با یافته‌های سایر محققان منطبق بود (Meena *et al.*, 2014). این محققان دلیل این نتایج را به رشد بهتر ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی در اثر مصرف مقدار مناسب فسفر مرتبط دانستند. طبق نتایج یک بررسی، افزایش میزان مصرف فسفر و پتاسیم از ١٠٠ به ١٢٥ درصد (فسفر از ٦٠ به ٧٥ و پتاسیم، از ٤٠ به ٥٠ کیلوگرم در هکتار) عملکرد شلتوک برنج را به‌طور قابل‌توجهی بهبود بخشید. همچنین، طبق نتایج این تحقیق، کارآیی زراعی فسفر و پتاسیم با افزایش میزان مصرف مواد مغذی به‌تدریج افزایش یافت (Murthy *et al.*, 2015). نتایج بررسی دیگر نشان داد که افزایش سطوح تیمارهای ترکیبی NPK موجب افزایش معنی‌دار تعداد پنجه، تعداد خوشه در مترمربع، عملکرد دانه و عملکرد کاه برنج نسبت به سطوح پایین‌تر مصرف کودهای NPK شد؛ به‌طوری‌که طبق یافته‌های این محققان تیمار مصرف ٦٠ کیلوگرم نیتروژن، ٩٠ کیلوگرم فسفر و ١٢٠ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به‌عنوان بهترین تیمار آزمایشی معرفی شد (Srinivas, 2017). نتایج آزمایش دیگر نشان داد که کاربرد همزمان NPK از طریق افزایش طول، زیست‌توده و سطح جذب فعال ریشه‌های برنج موجب افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن، رشد محصول و عملکرد دانه شد (Du *et al.*, 2021). نتایج بررسی تأثیر تقسیط فسفر بر رشد و عملکرد ارقام برنج نشان داد که مصرف فسفر به میزان ٤٥ کیلوگرم پنتا اکسید فسفر در هکتار سبب افزایش ١٠ و ١٨ درصدی عملکرد شلتوک به‌ترتیب در ارقام هاشمی و گیلانه در مقایسه با تیمار شاهد شد (Daemi *et al.*, 2020). این محققان دلیل احتمالی این امر را به کودپذیری بیشتر ارقام اصلاح شده نسبت به ارقام بومی نسبت دادند. محققان طی یک بررسی در سه سایت پژوهشی گزارش نمودند که تمامی تیمارهای کاربرد کود پتاسیم سبب افزایش ٣٠ درصدی عملکرد شلتوک در مقایسه با تیمار شاهد شد. این محققان علت افزایش عملکرد شلتوک را به افزایش ١٧ تا ٣٤ درصدی تعداد خوشه، بهبود ١٥ درصدی سرعت تشکیل دانه و افزایش ١٠ درصدی تعداد دانه در خوشه مربوط دانستند (Zhang *et al.*, 2021). اثر مثبت کاربرد کودهای فسفره و پتاسه بر عملکرد شلتوک برنج توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Sheng *et al.*, 2025; Das *et al.*, 2023).

٤. نتیجه‌گیری کلی

کمبود یا مصرف نامتوازن کودهای فسفر و پتاسیم در کشت ارقام برنج به‌ویژه ارقام اصلاح شده موجب نقصان شدید عملکرد شلتوک در واحد سطح می‌شود. بنابراین تعیین دقیق نیاز به این عناصر به‌ویژه در کشت ارقام اصلاح شده برنج از جمله آنام ضروری به‌نظر می‌رسد. براساس نتایج کلی این مطالعه، مصرف ٦٠ کیلوگرم پنتا اکسید فسفر در هکتار و ١٥٠ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار به‌ترتیب سبب افزایش ٤٥، ٤٤/٤، ٦٤/٥، ٦٤/٧ و ٥٥/٨ درصدی تعداد پنجه کل در هر کپه، تعداد پنجه بارور در هر کپه، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه پر در خوشه، وزن هزار دانه و کاهش ٣٣/٣ درصدی تعداد دانه پوک در خوشه در مقایسه با تیمار شاهد بدون مصرف کود شد. همچنین، مصرف تیمار مذکور با افزایش ٧٥/٢ و ٤٧/٧ درصدی عملکرد شلتوک نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود و همچنین، افزایش ٤/٤ و ١٢/٢ درصدی عملکرد شلتوک نسبت به تیمار مصرف کودهای شیمیایی توصیه شده (٦٠ کیلو پنتا اکسید فسفر و ١٠٠ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار) به‌ترتیب در مزارع پژوهشی رشت و تنکابن قابل تعمق بوده و بدیهی است که دارای نقش چشمگیری در جبران کم‌رشدی و کاهش عملکرد ناشی از مصرف مقادیر ناکافی کودهای شیمیایی در واحد سطح است. لذا مصرف تیمار مصرف ٦٠ کیلوگرم پنتا اکسید فسفر در هکتار و ١٥٠ کیلوگرم اکسید پتاسیم به‌عنوان بهترین مقدار برای مصرف کودهای فسفره و پتاسه در کشت و تولید برنج رقم آنام معرفی می‌شود. با این حال پیشنهاد می‌شود که مصرف تیمار مذکور برای ارقام بومی نیز کنترل و آزموده شود.

۵. منابع

Akbari, GHA., Salehi-Zarkhooni, R., Mottaghi, S., Lotfifar, O., Yusefi-Rad, M. and Nasiri, R. (2010). Comparision of yield, yield components and remobilization of assimilates in old and new rice genotypes, *Plant Production Techonology*, 9(2): 21-32, (In Persian). https://ppt.basu.ac.ir/article_103.html.

Akter, S., Kamruzzaman, M., Khan, M. Z. and Amin, M. S. (2023). Enhanced potassium fertilization improved rice (*Oryza sativa*) yield and nutrient uptake in coastal saline soil of Bangladesh. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2): 1884-1895. https://doi.org/10.1007/s42729-023-01144-3.

Allahgholipour, M., PourAmir, F., Kavosi, M., Hosseini, M., Sharafi, N., Majdi, F., Yazdani, M. R., Tarang, A., Ebdai, A. A., Mahmoud Soltani, Sh. and Yaghoubi, B. (2019). Agronomic guidelines for the new rice variety, Anam, ricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rice Research Institute of Iran (RRII), Rasht, Iran, (In Persian). https://agrilib.areeo.ac.ir/book_7573.pdf.

Archana, K., Prabhakar Reddy, T., Anjaiah, T. and Padmaja, B. (2021). Effect of dose and time of application of phosphorous on yield and economics of rice grown on P accumulated soil. *International Journal of Environmental Science Technology*, 5(5): 3309-3319. https://www.researchgate.net/publication/348430178.

Chen, G., Xiao, L., Yue, K., Wang, Y., Wang, S., Zhu, Y., and Kai, L. 2025. Optimizing phosphate application to improve soil quality and reduce phosphorus loss in rice-wheat rotation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 378: 109310. https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109310.

Daemi, F., MahmoudSoltani, Sh., Esfehani, M. and Majidian, M. (2020). The effect of phosphorous fertilizer splitting on morphological charcters, yield, and ield, and yield components of two rice (Oryza sativa L.) cultivars (Hashemi and Guilaneh), *Iranian Journal of Soil and Water Reseach*, 51(9): 2379-2392, (In Persian). https:// 10.22059/ijswr.2020.303674.668635.

Das, P. R. and Falguni Akter, M. Z. H. (2024). Rice (*Oryza sativa* L.) yield and potassium use efficiency as affected by potassium fertilizer sources. *South Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4(1): 22-27. https://doi.org/10.22271/27889289.2024.v4.i1a.106.

Du, M., Zhang, W., Gao, J., Liu, M., Zhou, Y., He, D., Zhao, Y. and Liu, S. (2021). Improvement of root characteristics due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions increases rice (*Oryza sativa* L.) yield and nitrogen use efficiency. *Agronomy*, 12(1): 23. https://doi.org/10.3390/agronomy12010023.

Esfehani, M., Sadrzadeh, S. M. and Kavoosi, M. (2005). Study the effect of different levels of nitrogen and potassium fertitizers on yield, yield components and growth of rice c. v. Khazar, *Iranian Journal of Crop Sciences*. 7(3): 226-241. https://agrobreedjournal.ir/article-1-317-fa.html.

IRRI, 2013. Standard Evaluation System (SES) for Rice. International Rice Research Institue, Manila, Philippines.

Islam, A. M. I. N. U. L., Chandrabiswas, J., Sirajul Karim, A. J. M., Salmapervin, M. S. T. and Saleque, M. D. (2015). Effects of potassium fertilization on growth and yield of wetland rice in grey terrace soils of Bangladesh. *Research on Crop Ecophysiology*, 10(2): 64-82. https://www.researchgate.net/publication/306544611.

Liu, A., Ye, T., Zhang, Y., Liao, S. and Li, X. (2025). Effects of potassium fertilization on grain yield, taste quality, and starch characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(5): 3036-3044. https://doi.org/10.1002/jsfa.14096.

Liu, Y., Gao, J., Zhong, M., Chen, L. and Zhang, W. (2024). Effects of phosphorus and potassium supply on photosynthetic nitrogen metabolism, nitrogen absorption, and nitrogen utilization of hydroponic rice. *Agronomy*, 14(8): 1726. https://doi.org/10.3390/agronomy14081726. https://doi.org/10.3390/agronomy14081726.

MahmoudSoltani, Sh., Kavosi, M., Shokri Vahed., H., Razavipour, T., Babazadeh, Sh., Shakouri Katigri, M. and Mohammadian, M. (2021). Rice Nutrition, No. 8404196, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran, (In Persian). https://agrilib.areeo.ac.ir/book_9661.html.

Massawe, P. I. and Mrema, J. (2017). Effects of different phosphorus fertilizers on rice (*Oryza sativa* L.) yield components and grain yields. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 3(2): 1-13. https://doi.org/10.9734/AJAAR/2017/37202.

Meena, R. K., M. P. Neupane. and Singh, S. P. (2014). Effect of phosphorous levels and bioorganic sources on growth and yield of rice. *Indian Journal of Nutrition*, 1(1): 105. https://www.researchgate.net/publication/340630402.

Mohseni, S. M., Esmaeli, M. A., Pirdashti, H., Abbasi, R. and Nasiri, M. (2020). Physiological and antioxidant responses of rice (*Oryza sativa* L.) plant in response to deficit irrigation and application of certain potassium fertilizers, *Plant Production Technology*, 12(1): 85-98. (In Persian). https:// 10.22084/ppt.2019.15690.1815.

Mostafavi, Kh., Hosseini Imeni, S. S. and Haji Mohammadali Jahromi, M. (2019). Assessing grain yield stability of rice genotypes under humid climate of northern iran, *Plant Production Technology*, 11(2): 43-56. (In Persian). https://10.22084/ppt.2017.7140.1418.

Murthy, K. M., Rao, A. U., Vijay, D. and Sridhar, T. V. (2015). Effect of levels of nitrogen, phosphorus and potassium on performance of rice. *Indian Journal of Agricultural Research*, 49(1): 83-87. https://doi.org/10.5958/0976-058X.2015.00012.8.

Ntanos, D. A. and Koutroubas, S. D. (2002). Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 74(1): 93-101. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00203-9.

Odama, E., Tsujimoto, Y., Yabuta, S., Akagi, I., Chepkoech, R., Soe, I. and Sakagami, J. I. (2023). Effect of P-dipping on growth of NERICA 4 rice in different soil types at initial growth stages. *Sustainability*, 15(21): 15402. https://doi.org/10.3390/su152115402.

Oo, A. Z., Asai, H., Kawamura, K., Marui, J., Nakahara, K., Takai, T., Saito, H., Win, Kh. T. and Pariasca-Tanaka, J. (2023). Optimizing phosphorus management to increase grain yield and nutritional quality while reducing phytic acid concentration in black rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in Sustainable Food System*, 7: 1200453. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1200453. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1200453.

Palihakkara, J., Burkitt, L., Jeyakumar, P. and Attanayake, C. P. (2024). Exploring phosphorus dynamics in submerged soils and its implications on the inconsistent rice yield response to added inorganic phosphorus fertilisers in paddy soils in Sri Lanka. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1): 1-20. https://doi.org/10.1007/s42729-023-01553-4.

Saraei, M., Moballeghi, M., Nasiri, M. and Nashaeemoghaaddam, M. (2020). Studying the relation between some agronomic traits and dry matter remobilization rate in canopy of rice genotypes, *Journal of Crop Improvement*, 22(4): 617-628, (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2020.295416.2331.

SAS Institute. (2011). SAS/IML 9.4 user's guide. SAS Institute.

Shakouri, M., MahmoudSoltani, Sh., Karbalai Agha Molki, M. T., Shabnpour, M. and Poorsafar Tabalvandani, A. (2020). Evaluation of paddy soil fertility using integrated fertility index, *Iranian Jorunal of Soil and Water Research*, 51(5): 1211-1226, (In Persian). https:// 10.22059/ijswr.2020.290244.668340.

Sheng, Q., Ren, T., Fang, Y., Zhao, J., Zhu, J., Zhang, W. and Lu, J. (2025). Comparison of phosphorus application on crop yield and soil phosphorus pool in rapeseed/wheat-rice rotations: An 8-year field experiment. *Field Crops Research*, 332: 110017. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.110017.

Sivani, S. S., Reddy, M. D., Sivasankar, A. and Maitra, S. (2023). Effect of different levels of nitrogen and phosphorus on yield and nutrient uptake of low glycemic index rice variety RNR 15048 during summer season. *Agriculture Science Digest*, 1-4. https://doi.org/10.18805/ag.D-5779.

Srinivas, M. 2017. Response of rice (*Oryza sativa* L.) to different nutrient levels under machine planted conditions. In 5th International Conference on Agriculture, Ecology and Biological Engineering, Pattaya, Thailand, Vol. 1, pp. 1-5. https://doi.org/10.17758/EAP.U0517203.

Sun, Y., Han, Y., Xu, Z., Zhang, J., Shen, J. and Cheng, L. (2023). Phosphorus partitioning contribute to phosphorus use efficiency during grain filling in *Zea mays*. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1223532. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1223532.

Takai, T., Oo, A. Z. and Tsujimoto, Y. (2024). Enhancing initial growth of transplanted rice under phosphorus deficiency: combined effects of tillering quantitative trait locus and P-dipping technique. *Plant Production Science*, 27(2): 78-84. https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2308337.

Xu, H., Sun, J., Zhao, Z., Gao, Y., Tian, L. and Wei, X. (2025). Long-term straw return promotes soil phosphorus cycling by enhancing soil microbial functional genes responsible for phosphorus mobilization in the rice rhizosphere. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 381: 109422. https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109422.

Zhang, T., He, X., Chen, B., He, L. and Tang, X. (2021). Effects of different potassium (K) fertilizer rates on yield formation and lodging of rice. *Phyton*, 90(3): 815. https://doi.org/10.32604/phyton.2021.014168.

Zhang, Z., Liu, D., Wu, M., Xia, Y., Zhang, F. and Fan, X. (2021). Long-term straw returning improve soil K balance and potassium supplying ability under rice and wheat cultivation. *Scientific Reports*, 11(1): 22260. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01594-8.

Zhao, X., Zhou, N., Lai, S., Frei, M., Wang, Y. and Yang, L., 2019. Elevated CO_2 improves lodging resistance of rice by changing physicochemical properties of the basal internodes. *Science of the Total Environment*, 10(647): 223-231. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.431.