

Yield response of low and high-yielding rice varieties to nutrition management improvement

Seyed Farhad Saberli^{*1}, Abdullah Darzi- Naftchali², Shayegan Adibi³, Faramak Aziz-Karimi⁴

1. Department of Horticulture Science and Engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Iran. 2. Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran. 3. Cereals and Basic

Products Office, Ministry of Agriculture Jalhad, Iran.

(Received: July 6, 2021 - Accepted: August 25, 2021)

ABSTRACT

Fertilizer management is one of the most important managements to improve production and also minimize its harmful effects on the environment. The aim of this study was to investigate the effect of optimal and conventional application of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) on the yield of low (Deylamani and Hashemi) and high (Fajr and Shirodi) yielding rice varieties. The experiment was conducted as a split plot in a randomized complete block design with three replications at the research farms of Agricultural Sciences and Natural Resources of the University of Sari in 2019. In the absence of any of N, K and P fertilizers, the yield of Shiroodi cultivar was 5458, 8399 and 9926 kg ha⁻¹, respectively, and yield of Fajr cultivar was 4894, 7364 and 8903 kg ha⁻¹, respectively. In low-yielding cultivars and in the absence of any of N, K and P fertilizers, yield in Hashemi cultivar was 2969, 5134 and 4925 kg ha⁻¹, respectively, and yield in Deylamani cultivar was 3028, 5408 and 5384 kg ha⁻¹, respectively. Optimal application of N, P and K fertilizers caused a significant increase in Shiroodi, Fajr, Hashemi Tarom and local Tarom cultivars (82, 65, 55 and 34% of yield, respectively), compared to the current application of these three nutrients. The results showed that suboptimal application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers is a main limiting factor in rice production, and improving the amount and split application of these fertilizers simultaneously can increase yield by 59% compared to their current application in the region.

Keywords: Fertility, nitrogen, phosphorus, potassium, rice.

بررسی پاسخ عملکرد ارقام برنج کم محصول و پر محصول به بهبود مدیریت تغذیه

سید فرهاد صابری^{۱*}، عبدالله درزی نفت‌چالی^۲، شایگان ادیبی^۳، فرامک عزیز کریمی^۴

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، ۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع

طبیعی ساری، ۳- کارشناس ارشد، دفتر امور غلات و محصولات اساسی وزارت جهاد کشاورزی

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۳)

چکیده

مدیریت کودی، از جنبه‌های مهم مدیریتی جهت ارتقای تولید و همچنین به حداقل رساندن اثرات مضر کودها بر محیط زیست می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی تاثیر مصرف بهینه و رایج نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد ارقام کم محصول (دیلمانی و هاشمی) و پر محصول (فجر و شیروودی) برنج انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۸ انجام شد. عملکرد رقم شیروودی در صورت عدم مصرف هر یک از کودهای نیتروژن، پتاسیم و فسفر، به ترتیب ۵۴۵۸، ۸۳۹۹ و ۹۹۲۶ و رقم فجر در شرایط مشابه، به ترتیب ۴۸۹۴، ۷۳۶۴ و ۸۹۰۳ کیلوگرم در هکتار بود. در ارقام کم محصول نیز در صورت عدم مصرف هر یک از کودهای نیتروژن، پتاسیم و فسفر، عملکرد رقم هاشمی به ترتیب ۲۹۶۹، ۵۱۳۴ و ۴۹۲۵ و رقم دیلمانی به ترتیب ۳۰۲۸، ۵۴۰۸ و ۵۳۸۴ کیلوگرم در هکتار بود. مصرف بهینه کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مقایسه با مصرف رایج این سه عنصر نیز به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۸۲، ۶۵، ۵۵ و ۳۴ درصدی عملکرد شلتوک به ترتیب در ارقام شیروودی، فجر، هاشمی و دیلمانی شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که از جمله عوامل اصلی محدود کننده تولید برنج، عدم مصرف بهینه کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم است و بهبود مقدار مصرف و تعداد دفعات تقسیم این کودها، به‌طور همزمان در مقایسه با نحوه مصرف رایج آن‌ها در منطقه می‌تواند عملکرد را به‌طور متوسط، ۵۹ درصد افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، حاصلخیزی، شلتوک، فسفر، نیتروژن.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین غلات جهان، از اهمیت زیادی در سبد غذایی بیش از نیمی از مردم جهان به‌ویژه قاره کهن آسیا برخوردار است (Shi *et al.*, 2020). در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، سطح زیر کشت این محصول در ایران که کاملاً به-صورت فاریاب می‌باشد، ۸۹۲۲۱۳ هکتار و میزان تولید آن ۴۴۲۲۳۱۹ تن شلتوک بود (Statistical yearbook of Agriculture, 2019). با توجه به اهمیت برنج در بحث امنیت غذایی کشور، فراهم نمودن حاصلخیزی مناسب خاک با استفاده متعادل از کودهای شیمیایی و تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، یکی از جنبه‌های مهم مدیریت زراعی جهت حصول حداکثر عملکرد و کیفیت مطلوب محصولات زراعی و به حداقل رساندن اثرات مضر آن‌ها بر محیط زیست است.

در بحث تغذیه گیاهی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم از جمله مهم‌ترین عناصر غذایی هستند که مصرف آن‌ها برای تولید مطلوب برنج لازم است (Khajehpour, 2014). عنصر نیتروژن در ساخت اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک نقش اساسی دارد و از اجزای ساختمانی کلروفیل در گیاهان نیز محسوب می‌شود (Sun *et al.*, 2016). مصرف متعادل کود نیتروژن، سبب بهبود فعالیت آنزیم روبیسکو و همچنین افزایش و دوام سطح برگ و محتوای کلروفیل برگ می‌شود که در نهایت می‌تواند میزان فتوسنتز و رشد گیاهان را بهبود دهد (Saberli *et al.*, 2016; Sun *et al.*, 2015). میزان نیاز کودی هر گیاه، به دو عامل کلی یعنی میزان تقاضای گیاه برای یک عنصر و میزان عرضه آن عنصر غذایی توسط خاک دابسته است (Dobermann *et al.*, 2003). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که برخلاف ارقام بومی، ارقام پرمحصول برنج، کودپذیری بیشتری دارند و برای دست‌یابی به بیشینه عملکرد آن‌ها، به مصرف مقدار بیشتری کود نیتروژن نیاز است (Mustafavi-Rad & Tahmasebi-Sarvestani, 2003). در شالیزارهای منطقه آسیا و باتوجه به ارقام مختلف برنج، شرایط خاکی و اقلیمی متفاوت در هر منطقه، میزان نیتروژن

مورد نیاز برای دستیابی به بیشینه عملکرد، بین ۷۰ تا ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Fei & Shao-bing, 2017). در صورتی که میزان نیتروژن مصرفی بیشتر از نیاز گیاه برنج باشد، علاوه بر تحریک شدید رشد رویشی و افزایش احتمال ورس و کاهش عملکرد آن، امکان تلفات آن از طرق مختلف و اثرات سوء زیست محیطی ناشی از آن نیز افزایش می‌یابد (Darzi-Naftchali & Shahnazari, 2014). فسفر یکی دیگر از عناصر غذایی اساسی مورد نیاز گیاه است که به شکل‌های آلی و غیرآلی در خاک وجود دارد. فسفات یک جز ساختاری مهم در ATP، فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک، کوآنزیم‌ها و فسفوپروتئین‌ها است؛ بدین ترتیب کمبود فسفر خاک، منجر به کاهش جذب سایر عناصر غذایی گیاه، کاهش فتوسنتز، طولانی شدن سیکل زایشی، کاهش فعالیت آنزیم‌ها و اختلال در زنجیره انتقال پیام‌های سلولی و کار غشا سلولی می‌شود (Barker & Pilbeam, 2007). با توجه به تاثیر قابل توجه ویژگی‌های خاک بر قابلیت دسترسی به فسفر و نیاز متفاوت ارقام مختلف برنج، میزان فسفر مورد نیاز برای دستیابی به حداکثر عملکرد برنج، بین ۲۵ تا ۷۵ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Shahdi-Komeleh & kavousi, 2004; Sharma *et al.*, 2011; Salehifar *et al.*, 2009). موسسه تحقیقات برنج کشور، حد بحرانی فسفر برای برنج رقم بینام را ۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده است؛ اگرچه در حال حاضر، مقادیر ۱۸ و ۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک را حد بحرانی غلظت فسفر برای ارقام دیلمانی و پرمحصول برنج شالیزارهای شمال کشور در نظر می‌گیرند (Shahdi-Komeleh *et al.*, 2012). عنصر غذایی مهم دیگری که برای رشد برنج ضروری است، پتاسیم می‌باشد. این عنصر با تاثیر بر توازن پتانسیل الکتروشیمیایی سلول‌ها، در حرکت آب و عناصر غذایی موثر است؛ همچنین پتاسیم به باز و بسته شدن روزنه‌ها نیز کمک می‌کند و از این طریق، بر وضعیت آب، اکسیژن و دی‌اکسید کربن سلول‌ها اثر گذار است (Brady & Weil, 2002). کمبود پتاسیم در گیاه،

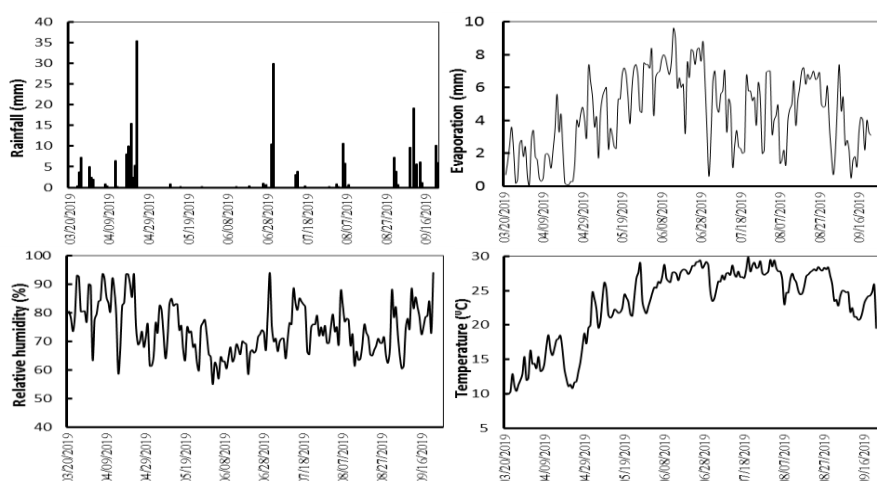
است که تاکنون تحقیق جامعی درباره اثرات تلفیقی مصرف بهینه هر سه عنصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد برنج در ایران گزارش نشده است. بنابراین با توجه به جایگاه پراهمیت برنج در سفره غذایی مردم ایران، این پژوهش با هدف بررسی تاثیر مصرف رایج و مطلوب نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر میزان عملکرد ارقام کم محصول و پر محصول رایج در استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در کیلومتر نه جاده ساری-دریا در استان مازندران انجام شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۳۹ درجه شمالی و ۵۳/۰۴ درجه شرقی و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵- متر بود. متوسط دمای هوا ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد و حداقل و حداکثر دمای هوای ثبت شده به ترتیب منفی شش و ۳۸/۹ درجه سانتی‌گراد بود. عملیات بذرپاشی در خزانه و برداشت ارقام مختلف برنج در استان مازندران، به طور غالب در دوره بین اسفند تا شهریور انجام می‌شود. روند تغییرات پارامترهای مختلف هواشناسی طی دوره در شکل ۱ آمده است. مجموع بارندگی و تبخیر در این مدت به ترتیب ۲۴۳ و ۸۱۹ میلی‌متر بود.

موجب کاهش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، گرما و حساسیت به خوابیدگی بوته در غلات می‌شود (Malakouti & Tehrani, 2000). بر اساس نتایج یک مطالعه در چین، برای دستیابی به سه تا هفت تن عملکرد دانه برنج، لازم است میزان جذب پتاسیم توسط این گیاه حدود ۱۳۸ تا ۲۱۲ کیلوگرم در هکتار باشد (Zhang *et al.*, 2010). حداکثر عملکرد رقم برنج خزر در رشت، با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم مشاهده شد (Esfehani *et al.*, 2005). Malakouti *et al.* (2001) بر اهمیت موجودی پتاسیم خاک هر منطقه در پاسخ کودی ارقام برنج تاکید کردند و حد بحرانی پتاسیم خاک برای ارقام پرمحصول برنج در استان مازندران را ۱۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش کردند.

تاثیر برهمکنش عناصر غذایی مختلف بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف از جمله برنج در مطالعات گذشته مورد توجه قرار گرفته است (Fageria & Oliveira, 2014). این برهمکنش زمانی اتفاق می‌افتد که فراهمی یک عنصر غذایی بر جذب و یا استفاده از عنصر غذایی دیگر تاثیر گذارد (Wilkinson *et al.*, 2000). بنابراین مصرف متعادل عناصر غذایی در قالب یک مدیریت جامع تغذیه، از جمله مهم‌ترین مدیریت‌های زراعی لازم برای کارایی پایدار نظام‌های زراعی محسوب می‌شود. مرور منابع موجود حاکی از آن



شکل ۱- روند تغییرات روزانه متغیرهای اقلیمی در دوره مطالعه

Figure 1. The trend of daily changes in climate variables during the study period.

خاک مزرعه نمونه‌برداری و برای آنالیز به آزمایشگاه

قبل از انجام آزمایش مزرعه‌ای، از لایه‌های مختلف

فرستاده شد. خلاصه‌ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خلاصه‌ای از ویژگی‌های خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 1. Summary of soil properties of the experimental field

Layer depth (cm)	Texture	Total N (%)	Available P (mg kg ⁻¹)	Available K (mg kg ⁻¹)	Organic carbon (%)	Organic matter (%)	pH	EC (dS m ⁻¹)
0-30	Silty Clay	0.152	14	118	2.632	4.538	7.65	2.08
30-60	Silty Clay	0.067	5	101	0.799	1.378	7.60	1
60-90	Silty Clay	0.035	8.8	76	0.487	0.84	7.68	0.92

غذایی محاسبه شد. مقدار متوسط مصرف رایج عناصر غذایی در استان مازندران نیز از طریق مشورت با کارشناسان کشاورزی منطقه به دست آمد؛ در نتیجه ۱۱ ترکیب مختلف از تیمارهای تغذیه‌ای به شرح زیر بود:

۱. تیمار رایج: مصرف نیتروژن و فسفر و پتاسیم در حد رایج منطقه (NcPcKc).

۱-۱. مقدار مطلوب نیتروژن + مقدار رایج فسفر + مقدار رایج پتاسیم (NoPcKc).

۱-۲. مقدار مطلوب فسفر + مقدار رایج نیتروژن + مقدار رایج پتاسیم (NcPoKc).

۱-۳. مقدار مطلوب پتاسیم + مقدار رایج نیتروژن + مقدار رایج فسفر (NcPcKo).

۲. تیمار مطلوب: مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم در حد مطلوب (NoPoKo).

۲-۱. مقدار رایج نیتروژن + مقدار مطلوب فسفر + مقدار مطلوب پتاسیم (NcPoKo).

۲-۲. مقدار رایج فسفر + مقدار مطلوب پتاسیم + مقدار مطلوب نیتروژن (NoPcKo).

۲-۳. مقدار رایج پتاسیم + مقدار مطلوب فسفر + مقدار مطلوب نیتروژن (NoPoKc).

شاهد بدون نیتروژن: عدم مصرف نیتروژن و مصرف فسفر و پتاسیم در حد مطلوب (N0PoKo).

شاهد بدون فسفر: عدم مصرف فسفر و مصرف نیتروژن و پتاسیم در حد مطلوب (P0NoKo).

شاهد بدون پتاسیم: عدم مصرف پتاسیم و مصرف نیتروژن و فسفر در حد مطلوب (K0NoPo).

در تیمارهای شاهد، برای این که کاهش رشد مشاهده شده در گیاه برنج تنها مربوط به عنصر غذایی مورد نظر محقق باشد و نه دو عنصر اصلی دیگر، نحوه

آزمایش‌های مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۸ و با هدف ارزیابی واکنش ارقام مختلف برنج به مصرف متداول و بهینه نیتروژن، فسفر و پتاسیم، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش تیماری کرت‌های خرد شده در سه تکرار طراحی شد. کرت اصلی شامل چهار رقم برنج (فجر و شیروزی از ارقام پر محصول و طارم هاشمی و طارم دیلمانی از ارقام کم محصول) بود. برخی از ویژگی‌های این ارقام در جدول ۲ ارایه شده است (Ali-Neya *et al.*, 2017). در کرت‌های فرعی، مختلف حاصلخیزی قرار داشت که شامل دو تیمار اصلی تغذیه‌ای، یعنی تغذیه مطلوب با عناصر غذایی اصلی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و همچنین تغذیه رایج منطقه از نظر مصرف عناصر غذایی اصلی بود. به علاوه، تیمارهای تغذیه‌ای حدواسط دو تیمار اصلی (تغذیه مطلوب و تغذیه رایج) نیز تعریف شد تا امکان کمی کردن پاسخ عملکرد برنج را در شرایط بهبود یا عدم بهبود مصرف هر کدام از عناصر غذایی در شرایط ثابت بودن مصرف دو عنصر تغذیه‌ای دیگر فراهم آورد؛ به علاوه سه تیمار عدم مصرف کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که چنین آرایش تیماری در مطالعات مزرعه‌ای تعیین خلا عملکرد محصولات زراعی از جمله برنج مرسوم می باشد (Dai *et al.*, 2013; Ruffo *et al.*, 2015). مقدار مطلوب کود مصرفی برای هر عنصر با استفاده از پتانسیل تولید ارقام مختلف و بر اساس میزان عنصر غذایی مورد نیاز برای تولید هر تن عملکرد شلتوک برآورد شد (Dobermann *et al.*, 2003) و بدین ترتیب از حاصلضرب پتانسیل عملکرد مورد انتظار هر رقم در مقدار عنصر غذایی مورد نیاز برای تولید هر تن عملکرد آن، مقدار خالص آن عنصر

هاشمی) به ترتیب ۹۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. در تیمار کودی مطلوب نیز مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم خالص مصرفی در ارقام پر محصول (شیرودی و فجر) به ترتیب ۲۶۰، ۶۰ و ۱۰۰ کیلوگرم و در ارقام کم محصول (طارم دیلمانی و طارم هاشمی) به ترتیب ۱۳۰، ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. لازم به ذکر است که منبع کودی برای تامین نیتروژن، فسفر و پتاسیم، به ترتیب کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن)، سوپرفسفات تریپل (۲۰ درصد فسفر) و سولفات پتاسیم (۴۲ درصد پتاسیم) بود.

اجرای تیمارهای شاهد به توصیه نشریه فنی موسسه تحقیقات بین‌المللی برنج و موسسه بین‌المللی تغذیه گیاهی، به صورت بالا یعنی عدم مصرف عنصر مورد نظر و مصرف دو عنصر دیگر در حد مطلوب در نظر گرفته شد (Fairhurst et al., 2007). بنابراین، در مجموع ۱۱ تیمار تغذیه‌ای برای هر کدام از ارقام طارم هاشمی، طارم دیلمانی، شیرودی و فجر در سه تکرار اجرا شد. در تیمار کودی رایج منطقه، مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم خالص مصرفی در ارقام پر محصول (شیرودی و فجر) به ترتیب ۱۶۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار و در ارقام کم محصول (طارم دیلمانی و طارم

جدول ۲- برخی ویژگی‌های ارقام برنج مورد استفاده در این پژوهش.

Table 2. Some characteristics of rice cultivars used in this research

Rice cultivars	Plant height (cm)	Lodging sensitivity	Potential yield (kg ha ⁻¹)	Growing duration (days)	Grain length (mm)
Shirodi	115	Resistant	14000	130	8
Fajr	111	Resistant	13000	130	8
Hashemi Tarom	142	Sensitive	9000	116	7.8
Deylamani Tarom	150	Sensitive	9000	116	7.9

متداول در منطقه انجام شد (جدول ۲). در تیمارهای کودی، پنچینج درصد از کل کود نیتروژن نیز در خزانه مصرف شد. به علاوه در تیمار کودی مطلوب، ۱۵ درصد کود نیتروژن و ۵۰ درصد پتاسیم و تمام کود فسفر به صورت پایه مصرف شد. همچنین ۲۰ درصد کود نیتروژن در مراحل اوایل پنجه‌زنی، ۳۰ درصد در اواخر پنجه‌زنی و نهایتاً ۳۰ درصد کود نیتروژن و ۵۰ درصد کود پتاس در مرحله ساقه‌رفتن مصرف شد. در تیمار کودی رایج نیز ۴۰ درصد از کود نیتروژن و تمام کود فسفر و پتاسیم به صورت پایه مصرف شد و ۵۰ درصد مابقی کود نیتروژن نیز در اواسط پنجه‌دهی مصرف شد. لازم به ذکر است که با توجه به حساسیت ارقام برنج به خوابیدگی بوته به‌ویژه در ارقام کم محصول، تقسیط مناسب کود نیتروژن برای تعیین حد مصرف بهینه کود حیاتی می‌باشد. خلاصه‌ای از عملیات‌های زراعی انجام شده در مدت مطالعه در جدول ۳ آمده است.

به‌منظور اجرای آزمایش، در دی ماه سال ۱۳۹۷ شخم و شیار اولیه مزرعه انجام شد و دو هفته قبل از نشاکاری، عملیات گل‌خرابی و آماده‌سازی نهایی زمین صورت گرفت. بذرپاشی در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۵ در خزانه انجام شد و در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۳۰، نشاکاری در کرت‌های دو در سه متر (معادل شش متر مربع) به صورت دستی انجام شد. به‌منظور کنترل دقیق ورود و خروج آب در هر کرت، روی مرزهای آن تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با پلاستیک پوشانده شد و برای ورود و خروج آب نیز کانال‌های آبیاری تعبیه شد. فاصله بین کرت‌های اصلی دو متر و بین کرت‌های فرعی یک متر در نظر گرفته شد. عملیات ماله‌کشی با توجه به اندازه کوچک کرت‌ها، به صورت دستی انجام شد. جهت استقرار هر چه بهتر نشاها بعد از انتقال به زمین اصلی، کرت‌ها به مدت یک هفته غرقاب و ارتفاع آب در هر نوبت آبیاری آن‌ها، پنج سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک قرار گرفت. به‌جز کوددهی در تیمارهای مطلوب، سایر موارد نظیر آبیاری، وجین و سمپاشی بر اساس روش

جدول ۳- خلاصه‌ای از عملیات زراعی انجام شده در مدت مطالعه

Table 2. Summary of agricultural operations were performed during the study period

Date	Agricultural operations	Remarks
2018-12-31	Primary tillage	Moldboard plowing
2019-04-25	Seeding in the treasury	Seeding manually, with application 5% of the total nitrogen
2019-05-05	Puddling and final land preparation	Using Rotavator
2019-05-13	Butachlor-Lundax herbicide	3.5 l ha ⁻¹ - 150 g ha ⁻¹
2019-05-20	Transplanting	Manually
2019-05-24	Basal fertilization, NPK	Optimal fertilization: Consumption of 15% of total N, 50% of total K and all P. Conventional fertilization: Consumption of 45% of total N, total consumption of P and K
2019-06-07	First weeding	Manually
2019-06-22	Granule application with 10% diazinon	15 kg ha ⁻¹
2019-06-22	Second weeding	Manually
2019-07-06	Nativo fungicide spraying	160 g ha ⁻¹
2019-07-31	Harvesting	Hashmi and Deylamani Tarom cultivars
2019-09-01	Harvesting	Shirodi and Fajr cultivars

خاک مصرف شد. تاثیر عدم مصرف یک ماده غذایی و کاربرد بهینه دو ماده غذایی دیگر بر عملکرد ارقام برنج در شکل ۲ آمده است. در ارقام پر محصول، عدم مصرف کود نیتروژن، بیشترین نقش بازدارنده در تولید عملکرد شلتوک را داشت و پس از آن به ترتیب عدم مصرف پتاسیم و فسفر قرار داشتند. در صورت عدم مصرف هر یک از کودهای نیتروژن، پتاسیم و فسفر، میزان عملکرد رقم شیروودی به ترتیب ۵۴۵۸، ۸۳۹۹ و ۹۹۲۶ کیلوگرم در هکتار و رقم فجر به ترتیب ۴۸۹۴، ۷۳۶۴ و ۸۹۰۳ کیلوگرم در هکتار بود. در ارقام کم محصول نیز کمبود نیتروژن، اصلی ترین عامل محدود کننده عملکرد بود و پس از آن فسفر و پتاسیم موثر بودند. در صورت عدم مصرف هر یک از کودهای نیتروژن، پتاسیم و فسفر، میزان عملکرد رقم طارم هاشمی ۲۹۶۹، ۵۱۳۴ و ۴۹۲۵ کیلوگرم و رقم طارم دیلمانی به ترتیب ۳۰۲۸، ۵۴۰۸ و ۵۳۸۴ کیلوگرم در هکتار بود. با این وجود، مقایسات آماری، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار عملکرد بین تیمارهای کمبود فسفر و پتاسیم در ارقام کم محصول بود. در نتیجه و با توجه به عملکرد بالاتر ارقام پر محصول، کمبود پتاسیم در مقایسه با کمبود فسفر، تاثیر بیشتری بر عملکرد این ارقام داشت، در صورتی که نقش آن‌ها بر عملکرد ارقام کم محصول تقریباً مشابه بود. نتایج مطالعات گذشته نیز نشان داد که ارقام مختلف برنج، نیاز متفاوتی به عناصر غذایی دارند (Zhang *et al.*, 2010). به علاوه با توجه به نقش بی‌همتای عنصر نیتروژن در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه

برای تعیین عملکرد در زمان برداشت، پس از حذف حاشیه نیم متری از هر سمت، برداشت محصول (به صورت کف بر) از سطحی معادل یک مترمربع در وسط هر کرت انجام شد. پس از رسیدگی و برداشت، خوشه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه در داخل آون برای خشک شدن قرار گرفتند. وزن کاه و کله و عملکرد شلتوک (برحسب کیلوگرم در هکتار) بر اساس رطوبت ۱۴ درصد تعیین شد. پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع خطای آزمایشی، تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده توسط نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین با روش LSD در سطح معنی داری پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، حاصلخیزی و برهمکنش آن‌ها بر عملکرد معنی دار بود (جدول ۴). با توجه به معنی داری برهمکنش رقم در حاصلخیزی، تیمارهای حاصلخیزی متناسب در سطح هر واریته مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

تاثیر عدم مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم

برای بررسی تاثیر کمبود یک عنصر غذایی خاص بر رشد و عملکرد گیاهان، عنصر غذایی دیگری نباید محدود کننده رشد گیاه مورد مطالعه باشد (Dobermann & Fairhurst, 2000). بر این اساس و در شرایط عدم مصرف هر کدام از عناصر نیتروژن، فسفر و یا پتاسیم، دو عنصر دیگر در حد مطلوب در

در مقایسه با ارقام پر محصول آن بالاتر گزارش شده است (Shahdi-Komeleh *et al.*, 2012)؛ بنابراین بر اهمیت تر بودن نقش فسفر در ارقام کم محصول در مقایسه با ارقام پر محصول کاملاً منطقی به نظر می‌رسد.

و نیز به عنوان پرمصرف‌ترین عنصر غذایی در گیاهان (Brady & Weil, 2002; Sun *et al.*, 2016) و سطح پایین نیتروژن خاک (جدول ۱)، کاهش شدید عملکرد ارقام برج در شرایط عدم مصرف نیتروژن در مقایسه با دو عنصر دیگر کاملاً توجیه‌پذیر است. با توجه به اینکه غلظت بحرانی فسفر خاک برای ارقام کم محصول برنج

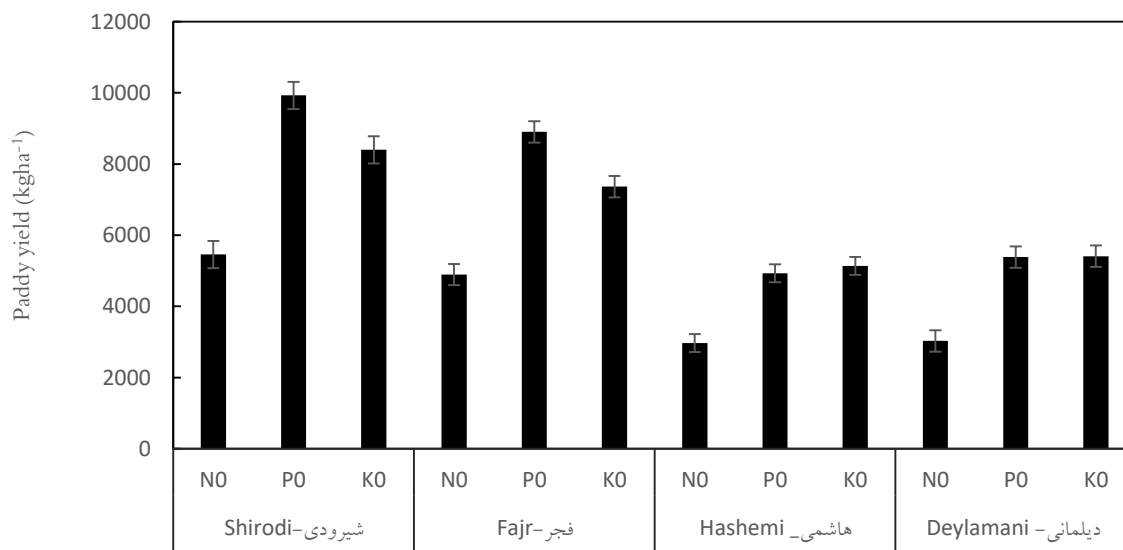
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد برنج در پاسخ به تیمارهای مختلف حاصلخیزی.

Table 3. Variance analysis (Mean of squares) of rice yield in response to different fertilization treatments.

Source of variations	DF	Paddy yield
Replication	2	537863.7 *
Cultivar	3	136638069.6 ***
Error a	6	92034.5
Fertilization	10	22112340.2 ***
Cultivar × Fertilization	30	1181455.3 **
Error b	80	70527.9
CV (%)		13.8

***, **, * و * : معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۵.

***, ** and *: Significance at 0.001, 0.01 and 0.05 of probability levels, respectively.



شکل ۲- پاسخ عملکرد ارقام مختلف برنج به عدم مصرف نیتروژن (N₀)، فسفر (P₀) و پتاسیم (K₀)، اندیس c و o، به ترتیب معرف مصرف رایج و بهینه می‌باشند. بارهای روی ستون‌ها معرف LSD برای تعیین اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد است.

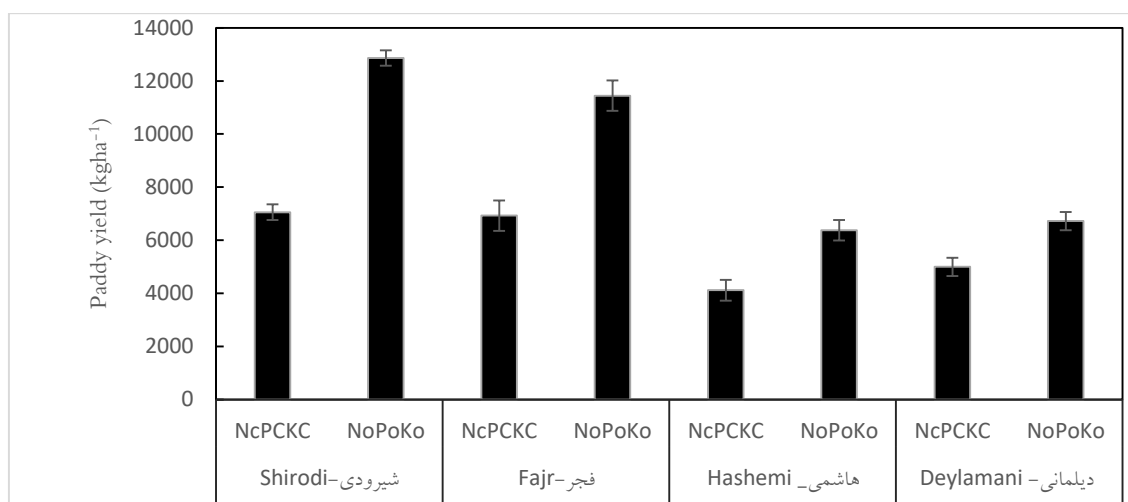
Figure 2. Yield response of different rice cultivars to no application of nitrogen (N₀), phosphorus (P₀) and potassium (K₀). Bars on the columns represent the LSD to determine the significant difference at the 5% of probability level.

۵۵ و ۳۴ درصدی عملکرد شلتوک به ترتیب در ارقام شیرودی، فجر، طارم هاشمی و طارم دیلمانی شد. بر این اساس، به نظر می‌رسد که کمبود عناصر غذایی اصلی، نقشی کلیدی در خلا عملکرد ارقام برنج در منطقه مورد مطالعه بازی می‌کند. خوابیدگی ساقه،

مقایسه تاثیر مصرف رایج و بهینه عناصر غذایی تاثیر مصرف رایج و بهینه کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد در شکل ۳ آمده است. مصرف بهینه کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مقایسه با مصرف رایج این سه عنصر، سبب افزایش معنی‌دار ۸۲، ۶۵،

است، سعی در کاهش میزان مصرف نیتروژن نموده‌اند. از طرفی با کاهش میزان مصرف نیتروژن، به دلیل عدم تاثیر مصرف حد مطلوب عناصر غذایی دیگری در شرایط تنش نیتروژن (Dobermann & Fairhurst, 2000)، میزان مصرف رایج عناصر غذایی فسفر و پتاسیم نیز همچون نیتروژن توسط کشاورزان منطقه کمتر از حد مطلوب مورد نیاز گیاه برنج است.

یکی از مشکلات مهم در تولید محصول برنج است و کاهش کمی و کیفی عملکرد آن را باعث می‌شود و این خوابیدگی بوته تحت تاثیر میزان کود نیتروژن مصرفی قرار می‌گیرد (Omidi-Rodbaraki *et al.*, 2013). بنابراین کشاورزان منطقه برای کاهش احتمال ورس بوته‌ها که ناشی از عدم تقسط مناسب کود نیتروژن مصرفی و یا برهمکنش ناشی از سایر مدیریت‌های نامناسب زراعی از جمله تراکم کشت بالا



شکل ۳- پاسخ عملکرد ارقام برنج به مصرف مقادیر مطلوب (NoPoKo) و رایج (NcPcKc) نیتروژن، فسفر و پتاسیم. اندیس C و O، به ترتیب معرف مصرف رایج و بهینه می‌باشند. بارها روی ستون‌ها معرف LSD برای تعیین اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد است.

Figure 3. Yield response of rice cultivars to application of optimum (NoPoKo) and conventional (NcPcKc) rates of nitrogen, phosphorus and potassium. Bars on the columns represent the LSD to determine the significant difference at the 5% of probability level.

(Motlagh *et al.*, 2013). نتایج تحقیقی در موسسه تحقیقات برنج کشور نشان داد که در خاکی با میزان فسفر کم (۴/۷ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک)، مصرف ۷۵ تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص، باعث افزایش عملکرد دانه در ارقام شیرودی، هاشمی، خزر و گوهر شد و مصرف بیشتر آن، تاثیر معنی‌دار بر عملکرد نداشت (Vahabzadeh *et al.*, 2015; Abbasian, & Aminpanah, 2017). نتایج یک تحقیق در چین نیز نشان داد که در خاک‌هایی با متوسط ۱۱۰ میلی‌گرم پتاسیم در هر کیلوگرم خاک، میزان مصرف پتاسیم تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، باعث افزایش عملکرد برنج شد و مصرف بیشتر آن، تاثیر

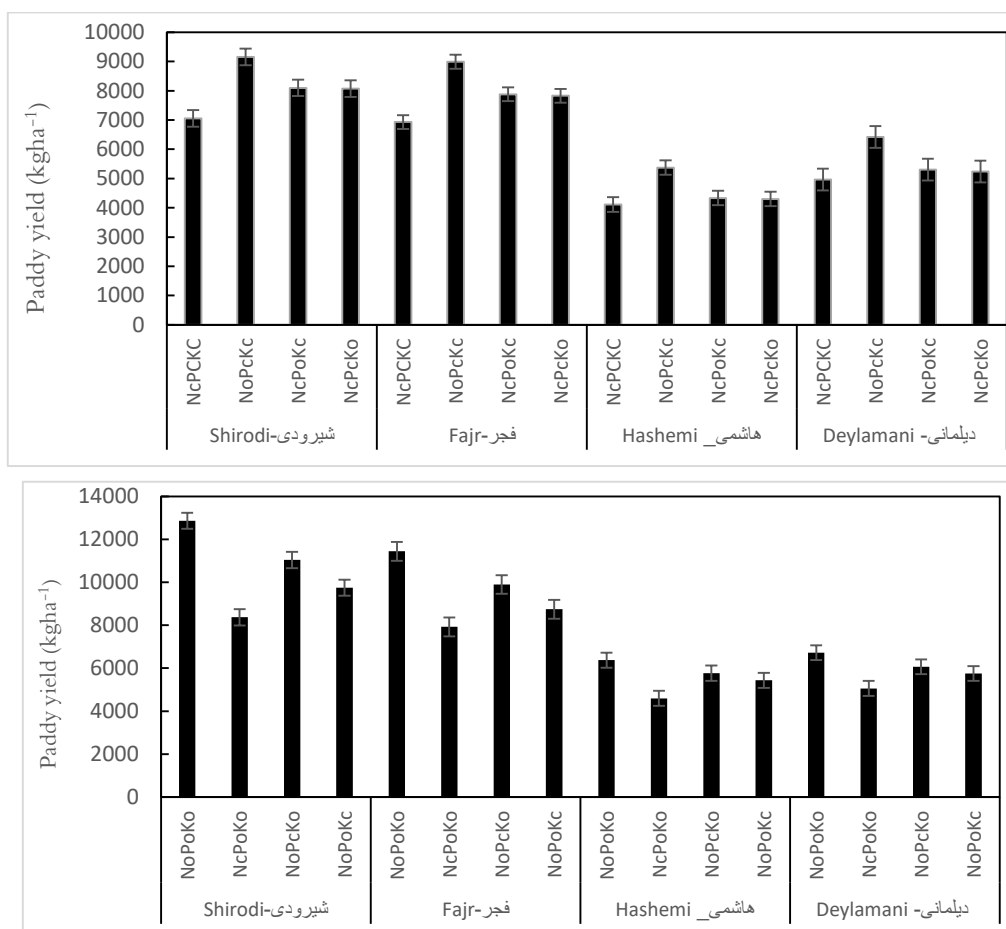
Razavipour *et al.* (2015) نشان دادند که مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن خالص در سه قسط، باعث حداکثر عملکرد تولیدی در رقم کم‌محصول طارم هاشمی شد. در یک پژوهش در چین نشان داده شد که بسته به واریته و فصل رشد برنج (میزان درجه حرارت و شدت نور) و در شرایطی که نیتروژن در سه قسط مصرف شد، بیشترین میزان عملکرد ارقام مختلف برنج با مصرف ۲۱۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد (Liu *et al.*, 2019). در یک مطالعه گلخانه‌ای نشان داده شد که افزایش میزان نیتروژن مصرفی می‌تواند میزان جذب عناصر فسفر و پتاسیم ارقام مختلف برنج را بهبود بخشد (Yazdani-

غذایی

بهبود سطح مصرف سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ارقام مختلف برنج، باعث افزایش چشمگیر عملکرد آن‌ها شد (شکل ۳). با این وجود، برای تعیین نقش مصرف هر عنصر به تنهایی در افزایش و یا کاهش عملکرد، تاثیر همزمان مصرف بهینه یک عنصر غذایی در صورت مصرف رایج دو عنصر دیگر یا مصرف رایج یک عنصر در شرایط مصرف بهینه دو عنصر دیگر بر عملکرد برنج تعیین و نتایج در شکل ۴ ارائه شد.

معنی داری بر عملکرد نداشت (Jiang *et al.*, 2019). همان طور که پیش تر گزارش شد، مقدار بهینه نیتروژن، فسفر و پتاسیم خالص مصرفی در ارقام پر محصول (شیرودی و فجر) به ترتیب ۲۶۰، ۶۰ و ۱۰۰ کیلوگرم و در ارقام کم محصول (طارم دیلمانی و طارم هاشمی) به ترتیب ۱۳۰، ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. مجموعه گزارش‌های داخلی و بین‌المللی فوق نیز امکان افزایش عملکرد برنج در دامنه مصرف عناصر غذایی در این تحقیق را تایید می‌نماید.

تاثیر سطوح مصرف بینابینی بهینه و رایج عناصر



شکل ۴- پاسخ عملکرد ارقام برنج به میزان مصرف کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم در حد رایج و بهینه. اندیس C و O، به ترتیب معرف مصرف رایج و بهینه می‌باشند. بارها روی ستون‌ها معرف LSD برای تعیین اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد است.

Figure 4. Response of rice cultivars yield to the rates of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers in the conventional and optimal range. C and o indices represent the conventional and optimal application. Bars on the columns represent the LSD to determine the significant difference at the 5% of probability level.

درصد افزایش یافت. در وضعیت مشابه یعنی مصرف رایج دو عنصر غذایی و مصرف بهینه عنصر دیگر، میزان افزایش عملکرد رقم شیرودی با مصرف بهینه

با مصرف بهینه نیتروژن و مصرف رایج فسفر و پتاسیم، عملکرد رقم شیرودی و فجر در مقایسه با شرایطی که هر سه عنصر در حد رایج مصرف شدند، حدود ۳۰

غذایی به میزان ۳۵، ۳۱، ۲۸ و ۲۵ درصد کاهش یافت. میزان کاهش عملکرد این ارقام در شرایط مصرف بهینه فسفر و نیتروژن و مصرف رایج پتاسیم، به ترتیب ۲۴، ۲۳/۵، ۱۴/۷ و ۱۴/۴ درصد بود. نتایج همچنین نشان داد که در شرایط مصرف بهینه پتاسیم و نیتروژن و مصرف فسفر در حد رایج منطقه، ارقام شیروودی، فجر، طارم هاشمی و طارم دیلمانی، ۱۴/۲، ۱۳/۵، ۹/۵ و ۹/۷ درصد در مقایسه با شرایط بهینه کاهش عملکرد داشتند. بنابراین در شرایط توصیه بهینه کودی، بیشترین نقش در افزایش عملکرد برنج بویژه در ارقام پر محصول آن، به ترتیب بر عهده نیتروژن، پتاسیم و فسفر بود. با این وجود، در ارقام کم محصول، اختلاف معنی داری بین میزان تاثیر پتاسیم و فسفر بر افزایش عملکرد در شرایطی که نیتروژن در حد رایج مصرف شد، مشاهده نشد. پتانسیل تولید ماده خشک بیشتر در ارقام پر محصول، منجر به تقاضای بیشتر آن‌ها برای عناصر غذایی خواهد شد؛ در نتیجه هرچه اختلاف بین تقاضای گیاه برای یک عنصر غذایی نسبت به موجودی آن عنصر در خاک بیشتر باشد، پاسخ گیاه به کود مصرفی نیز بیشتر خواهد بود (Brady & Weil, 2002). غلظت بحرانی فسفر و پتاسیم خاک شالیزارهای شمال کشور به ترتیب حدود ۱۴-۱۸ و ۱۱۰-۱۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Malakouti *et al.*, 2001; Kavousi, & Malakouti *et al.*, 2006; Shahdi-Komleh *et al.*, 2012)، از این رو به دلیل اختلاف بیشتر بین موجودی پتاسیم خاک مزرعه آزمایشی نسبت به موجودی فسفر آن در مقایسه با متوسط غلظت‌های بحرانی گزارش شده برای این دو عنصر، پاسخ بیشتر ارقام برنج به مصرف پتاسیم در مقایسه با مصرف فسفر کاملاً منطقی به نظر می‌رسد.

نکته قابل توجه دیگر این بود که در شرایط مصرف بهینه عناصر غذایی مختلف، اختلاف معنی داری در تولید عملکرد بین رقم شیروودی و فجر مشاهده شد. به علاوه در شرایط مصرف رایج عناصر غذایی مختلف نیز اختلاف معنی داری در تولید عملکرد بین رقم طارم هاشمی و طارم دیلمانی مشاهده شد. بر این اساس و

فسفر و پتاسیم، به ترتیب ۱۴/۷ و ۱۴/۳ درصد بود. مصرف بهینه هر یک از عناصر غذایی فسفر و پتاسیم (با لحاظ مصرف رایج دو عنصر دیگر) در مقایسه با مصرف رایج هر سه عنصر، منجر به افزایش به ترتیب ۱۳/۷ و ۱۳ درصدی عملکرد رقم فجر شد. نتایج همچنین نشان داد که اختلاف عملکرد بین ارقام پرمحصول در تیمارهای مشابه کودی معنی دار نبود. به علاوه عملکرد ارقام کم محصول در شرایط مصرف بهینه یکی از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم (با لحاظ مصرف رایج دو عنصر دیگر) به ترتیب ۳۰/۶، ۵/۳ و ۴/۵ درصد در رقم طارم هاشمی و ۲۹/۳، ۶/۹ و ۵/۴ درصد در رقم طارم دیلمانی در مقایسه با وضعیت مصرف رایج این عناصر افزایش یافت. نتایج نشان داد که در ارقام کم محصول بر خلاف ارقام پر محصول، مصرف بهینه فسفر و یا پتاسیم به تنهایی و بدون مصرف بهینه نیتروژن، سبب افزایش معنی دار عملکرد در مقایسه با وضعیت مصرف هر سه عنصر به صورت رایج نشد. نتایج پژوهش‌های گذشته ثابت کرد که ارقام مختلف برنج، نیاز متفاوتی به عناصر غذایی دارند و ارقام پر محصول، نیاز بیشتری به عناصر غذایی برای رشد مطلوب خود دارند (Shahdi-Komeleh & kavousi, 2004; Zhang *et al.*, 2010). به علاوه تامین میزان نیتروژن کافی برای رشد مطلوب برنج می‌تواند میزان تقاضای گیاه برای سایر عناصر غذایی همچون فسفر و پتاسیم را بهبود بخشد (Brady & Weil, 2002; Yazdani-Motlagh *et al.*, 2013). با توجه به نتایج گزارش شده و همچنین با توجه به موجودی فسفر و پتاسیم خاک که معادل حدود ۴۰ کیلوگرم فسفر و حدود ۳۵۰ کیلوگرم پتاسیم در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک در هر هکتار بود، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایطی که میزان مصرف نیتروژن در حد رایج بوده است، میزان کافی از این دو عنصر برای تامین نیاز ارقام کم محصول در خاک موجود بوده است.

در شرایط مصرف بهینه فسفر و پتاسیم و مصرف رایج نیتروژن، عملکرد ارقام شیروودی، فجر، طارم هاشمی و طارم دیلمانی در مقایسه با مصرف بهینه هر سه عنصر

میزان تقاضای گیاه برای عناصر غذایی مختلف، علاوه بر پتانسیل ژنتیکی تولید در گیاه، به شرایط محیطی منطقه نیز که برای بروز پتانسیل ژنتیکی بسیار مهم است توجه شود.

نتیجه گیری کلی

براساس نتایج این پژوهش، عدم مصرف عناصر غذایی اصلی شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم، باعث افت عملکرد دانه در همه ارقام برنج شد؛ با این وجود شدت این افت عملکرد در ارقام پر محصول بیشتر از ارقام کم محصول بود. به علاوه، مصرف بهینه کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم که شامل بهبود مقدار و تعداد دفعات تقسیط آن‌ها بود، در مقایسه با مصرف رایج این سه عنصر، باعث افزایش متوسط ۵۹ درصدی در عملکرد شلتوک شد. مدیریت بهینه مصرف نیتروژن، مهم‌ترین عامل افزایش تولید در بین عناصر غذایی مصرفی بود و در ارقام کم محصول بر خلاف ارقام پر محصول، مصرف بهینه فسفر و یا پتاسیم به تنهایی و بدون مصرف بهینه نیتروژن، تاثیر معنی‌دار بر افزایش عملکرد برنج نداشت. به طور کلی، نیاز به عناصر غذایی مختلف در بین ارقام پر محصول و کم-محصول متفاوت بود و برای بروز پتانسیل ژنتیکی تولید در هر رقم، مصرف کافی و همزمان عناصر غذایی مختلف لازم بود.

با توجه به اختلاف معنی‌دار عملکرد بین رقم‌های شیروودی و فجر در شرایط مصرف بهینه عناصر غذایی مختلف، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً رقم فجر برای تولید حداکثر عملکرد خود به مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم کمتری در مقایسه با سطح مصرف بهینه در نظر گرفته شده در این مطالعه نیاز دارد. این نتایج کاملاً مشخص می‌کند که برای بروز پتانسیل ژنتیکی تولید در هر رقم، مصرف کافی و همزمان عناصر غذایی مختلف لازم است. تقاضای یک گیاه برای یک عنصر غذایی، کاملاً تحت تاثیر ژنتیک و محیط رشد اطراف آن گیاه قرار خواهد گرفت (Brady & Weil, 2002)؛ در نتیجه، هرچه پتانسیل ژنتیکی تولید ماده خشک در رقم مورد نظر بالاتر و شرایط اقلیمی (نور، دما و رطوبت) و خاکی منطقه مورد کشت و کار گیاه مطلوب‌تر باشد، میزان تولید ماده خشک توسط گیاه و به طبع آن تقاضای آن گیاه برای عناصر غذای بالاتر خواهد بود. به طور مثال، Fathi *et al.* (2017) با بررسی پتانسیل تولید برنج در سه منطقه بابلسر، آمل و پل سفید از شهرستان‌های استان مازندران نشان دادند که شدت تشعشع بالاتر و دامنه حرارتی مطلوب‌تر، چگونه منجر به تفاوت پتانسیل تولید بین مناطق مختلف کشت برنج شده است. بنابراین برای کاربردی کردن نتایج این تحقیق برای استفاده در مناطق دیگر، توصیه می‌شود برای تعیین

REFERENCES

1. Abbasian, A. & Aminpanah, H. (2017). Effects of previous crop and rate of phosphorous fertilizer application on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Shiroudi. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(4), 889-904. (In Persian)
2. Ali-Neya, F. & Nouri-Delavar, M. Z. H. M. 2017. *Transformation in the rice production through the introduction of high-yielding cultivars*. Agricultural Education and Extension Research Organization. (In Persian)
3. Barker, A. V. & Pilbeam, D. J. (2007). *Handbook of Plant Nutrition*, (2th ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group. 6000 Broken Sound Parkway NW.
4. Brady, N. C. & Weil, R. R. (2002). *The nature and properties of soils*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
5. Dai, X., Ouyang, Z., Li, Y. & Wang, H. (2013). Variation in yield gap induced by nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer in North China plain. *PLoS ONE* 8(12), 12e82147.
6. Darzi-Naftchali, A. & Shahnazari, A. (2014). Influence of subsurface drainage on the productivity of poorly drained paddy fields. *European Journal of Agronomy*, 56(5), 1-8.
7. Dobermann, A. & Fairhurst, T. (2000). *Rice Nutrient Disorders & Nutrient Management*. Oxford Graphic Printer's Pte Ltd.
8. Dobermann, A., Witt, C., Dawe, D., Abdurachman, S., Gines, H. C., Nagarajan, R., Son, T. T., Tan, P. S., Wang, G. H., Chien, N. V., Thoa, V. T. K., Phung, C. V., Stalin, P., Muthukrishnan, P., Babu,

- M., Simbahan, G. C., Adviento, M. A. A. & Bartolome, V. (2003). Estimating indigenous nutrient supplies for site-specific nutrient management in irrigated rice. *Agronomy Journal*, 95(4), 924-935.
9. Esfehiani, M., sadrzadeh, S. J., Kavosi, M. & Dabagh Mahdi nasab, A. (2005). Effects of different amounts of nitrogen and potassium fertilizers on growth and yield and grain yield components of Khazar rice cultivar. *Iranian Journal of Crop Science*, 7(3), 226-240. (In Persian)
 10. Fageria, N. K. & Oliveira, J. P. (2014). Nitrogen, Phosphorus and Potassium Interactions in Upland Rice. *Journal of Plant Nutrition*, 37(10), 1586-1600.
 11. Fairhurst, T. H. Witt, C., Buresh, R. J. & Dobermann, A. (2007). *Rice: A Practical Guide to Nutrient Management* (2th ed.). International Rice Research Institute (IRRI), Philippines, International Plant Nutrition Institute (IPNI) and International Potash Institute (IPI), Singapore.
 12. Fathi, N., Pirdashti, H., Nasiri, M. & Bakhshandeh, A. (2017). The effect of temperature and radiation intensity on yield and yield components of rice under climate conditions of Mazandaran. *Journal of Crop Improvement*, 19(1), 163-176. (In Persian)
 13. Fei, W. & Shao-bing, P. 2016. Yield potential and nitrogen use efficiency of China's super rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(5), 1000-1008.
 14. Jiang, W., Wang, X., Xing, Y., Liu, X., Cui, Z. & Yang, L. (2019). Enhancing rice production by potassium management: Recommended reasonable fertilization strategies in different inherent soil productivity levels for a sustainable rice production system. *Sustainability*, 22(11), 6522.
 15. Kavousi, M. & Malakouti, M. J. (2006). Determining the critical level of potassium with ammonium acetate extract in Guilan paddy fields. *Iraninan Journal of Soil Water Science*, 10(3), 113-122. (In Persian)
 16. Khajehpour, M. R. (2014). *Principles and basics of agriculture*. Jihad Daneshgahi Publications. Isfahan University of Technology. (In Persian)
 17. Liu, K., Deng, J., Lu, J., Wang, X., Lu, B., Tian, X. & Zhang, Y. (2019). High nitrogen levels alleviate yield loss of super hybrid rice caused by high temperatures during the flowering stage. *Frontiers in Plant Science*, 10(3), 357-365.
 18. Malakouti, M., Davoodi, M. H., Saadati, N., Alinejad, M., Ramezanpour, R., Mohammadi, M. & Mohammadian, M. (2001). Determining the critical limit of potassium for rice and investigating its response to potassium chloride in paddy fields of Mazandaran. *Iranian Journal of Soil Water*, 12(14), 54-62. (In Persian)
 19. Malakouti, M. J. & Tehrani, M. M. (2000). *The role of micronutrients in increasing yield and improving the quality of agricultural crops: "Microelements with macro impact"*. Tarbiat Modares University Press. (In Persian)
 20. Mustafavi Rad, M. & Tahmasebi Sarvestani, Z. (2003). Evaluation of nitrogen fertilizer effects on yield, yield components and dry matter remobilization of three rice genotype. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 10(2), 21-31. (In Persian)
 21. Omid-Rodbaraki, H., Emadi, B., Abaspour-Fard M. H., Khorasani, R. & Taheri-Rad A. (2013). The Effect of different levels of silicon and nitrogen treatment on yield and lodging of local Tarom variety of rice. In: *Proceedings of the 8th National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization*, 29 Jan Ferdowsi Mashhad University, Mashhad, Iran. P9.488-498.
 22. Razavipour, T., Khaledian, M. R. & Rezaei, M. (2016). Effects of nitrogen levels and its splitting on rice yield and nutrient uptake in rice, Hashemi variety. *Iranian Journal of Human, Environment and Health Promotion*, 16(2), 153-164. (In Persian)
 23. Ruffo, M. L., Gentry, L. F., Henninger, A. S., Seebauer, J. R. & Below, F. E. (2015). Evaluating management factor contributions to reduce corn yield gaps. *Agronomy Journal*, 107(2), 495-505.
 24. Saberli, S. F., Modarres-Sanavy, S. A. M., Bannayan, M., Aghaalikhani, M., Haghayegh, G. & Hoogenboom, G. (2016). Common bean canopy characteristics and N assimilation as affected by weed pressure and nitrogen rate. *Journal of Agricultural Science*, 154(4), 598-611.
 25. Salehifar, M., Asghari, J., Peyman, S. H. Sami Zadeh, H. & Dorosti, H. (2011). Effects of planting distance, nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and yield component of hybrid rice (Bahar 1). *Electronic Journal of Crop Production*, 4(2), 155-168. (In Persian)
 26. Shad, R. A. & De Datta, S. K. (1988). Fertilizer nitrogen use efficiency in direct seeded wetland rice under different water management systems. *Pakistan Journal of Agricultural Recourses*, 9(4), 440-447.
 27. Shahdi-Komeleh, A. & kavousi, M. (2004). Investigation of the interaction of silicon and phosphorus on the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35(3), 581-586. (In Persian)

28. Shahdi-Komleh, A., Khankeshipour, G. R., Kavousi, M., Razavipour, T., Fathi Dokht, H., Ismaili, S. & Monshizadeh, A. (2012). *Nutrients of soil and rice plant nutrition*. Publications of the National Rice Research Institute. (In Persian)
29. Sharma, S. N., Prasad, R., Shivay, Y. S., Dwivedi, M. K., Kumar, S. & Kumar, D. (2009). Effect of rates and sources of phosphorus on productivity and economics of rice (*Oryza sativa*) as influenced by crop-residue incorporation. *Indian Journal of Agronomy*, 54(1), 42–46.
30. Shi, X., Hu, K., Batchelor, W. D., Liang, H., Wu, Y., Wang, Q., Fu, J., Cui, X. & Zhou, F. (2020). Exploring optimal nitrogen management strategies to mitigate nitrogen losses from paddy soil in the middle reaches of the Yangtze River. *Agricultural Water Management*, 228(11), 105877.
31. Statistical yearbook of Agriculture. (2019). *Ministry of Agriculture Jihad. Agriculture Jahad publication*. Volume One: Agricultural crops. (In Persian)
32. Sun, J., Ye, M., Peng, S., & Li, Y. (2016). Nitrogen can improve the rapid response of photosynthesis to changing irradiance in rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Scientific Reports*, 6 (10), 1-10.
33. Vahabzadeh, M., Isfahani, M., Alami, A., Shahdi Komleh, A., Fallah Shamsi, S. A. & Hemmati, S. (2015). Effect of phosphorus fertilizer levels and parboiling of paddy on phytic acid and mineral content of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, 17(4), 258-272. (In Persian)
34. Wilkinson, S. R., Grunes, D.L. & Sumner, M. E. (2000). Nutrient interactions in soil and plant nutrition. In: M. E. Sumner (Ed), *Handbook of Soil Science*. (pp. 89–111.) Boca Raton, FL: CRC Press.
35. Yazdani-Motlagh, N., Reyhani Tabar, A. & Najafi, N. (2013). Effects of combined application of nitrogen and phosphorus on their, and as well on potassium uptake by rice plant under flooded vs. non-flooded conditions. *Iranian Journal of Soil and Water*, 44(2), 183-192. (In Persian)
36. Zhang, H., Xu, M., Shi, X., Li, Z., Huang, Q. & Wang, X. (2010). Rice yield, potassium uptake and apparent balance under long-term fertilization in rice-based cropping systems in southern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88(2), 341–349.