Evaluation of yield and nitrogen use efficiency by managing nitrogen and phosphorus application at farm scale for rice (*Oryza sativa* L.)

Saheb Soodaee Mashaee[1], Mohammad Mohammadian[2*] and Mortaza Nasiri[2]

1 -Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Shahre Kord University, Iran
2- Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran
* Corresponding author, Email: mohammadian953@yahoo.com

Abstract

Background and Objective: Nitrogen is the most important external input for crop production system, and efficient nitrogen management is essential for improving long-term sustainability in modern agricultural production systems. This study was conducted with the aim of achieving an effective approach to optimizing fertilization and improving the efficiency of nitrogen fertilizer use in rice.

Methods: The present study was conducted as a factorial (2×3×4) randomized complete block design with 24 treatments and three replications in the research farm of the Deputy of the National Rice Research Institute in Mazandaran during two cropping years. The treatments included four nitrogen levels (0, 46, 69 and 92 kg N ha^{-1} applied as urea) and three phosphorus levels (0, 23 and 46 kg P_2O5 ha^{-1} applied as triple superphosphate). At harvest stage, grain and straw yield, nitrogen and phosphorus uptake were measured and nitrogen use efficiency (NUE) indices were computed using established equations.

Results: Results indicated statistically significant effects of treatments on the measured traits and certain NUE indices at the 1% probability level. Specifically, the N_{92} treatment yielded grain and straw amounts of 864.2 and 1263.4 kg ha^{-1}, respectively, representing increases of 88.23% and 43.02% relative to the control (N_0). This corresponded to a 98.8% and 160% higher nitrogen uptake in grain and straw, respectively, compared to N_0. Relative nitrogen productivity declined with increasing nitrogen rates in ratoon crops but rose with higher phosphorus application across different nitrogen levels. Apparent nitrogen recovery efficiency increased up to the N_{69} treatment and declined at the highest nitrogen rate (N_{92}).

Conclusion: Nitrogen and phosphorus interactions increased grain yield and nitrogen use efficiency, which was accompanied by increased nitrogen uptake. Therefore, balanced application of nitrogen and phosphorus is recommended to enhance yield and NUE in ratoon rice systems.

Keywords: Ratoon rice, nitrogen and phosphorus nutrition, nitrogen efficiency and fertilization.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

ارزیابی عملکرد و راندمان مصرف نیتروژن با مدیریت مصرف نیتروژن و فسفر در مقیاس مزرعه برای رتون برنج (*Oryza sativa* L.)

صاحب سودائی مشائی[1]، محمد محمدیان[2*] و مرتضی نصیری[2]

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران
۲- معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران
*نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: mohammadian953@yahoo.com

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: نیتروژن مهمترین نهاده خارجی اضافه شده برای هر سیستم تولید محصول است، و مدیریت کارآمد نیتروژن برای بهبود پایداری بلندمدت در سیستم‌های مدرن تولید محصولات کشاورزی ضروری است. این پژوهش با هدف دستیابی به رویکردی مؤثر در بهینه‌سازی کوددهی و ارتقای راندمان مصرف کود نیتروژن رتون برنج انجام شد.

روش‌ها: پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل (۲×۳×۴) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۴ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران در دو سال زراعی اجرا گردید. تیمارها شامل چهار سطح نیتروژن (صفر، ۴۶، ۶۹ و ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (منبع اوره) و سه سطح فسفر (صفر، ۲۳ و ۴۶ کیلوگرم فسفر P_2O_5 در هکتار (منبع سوپرفسفات تریپل) بود. در مرحله برداشت عملکرد دانه و کاه، جذب نیتروژن و فسفر اندازه‌گیری و با معادلات مشخص شاخص‌های راندمان مصرف نیتروژن محاسبه گردید.

نتایج: نتایج نشان داد که اثر تیمارها بر صفات اندازه‌گیری شده و برخی راندمان‌های نیتروژن محاسبه شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تیمار نیتروژن ۹۲ (N_{92}) با عملکرد دانه و کاه به ترتیب ۸۶۴/۲ و ۱۲۶۳/۴ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار شاهد (N_0) به‌ترتیب ۸۸/۲۳ و ۴۳/۰۲ درصد افزایش نشان داد که میزان جذب نیتروژن در دانه و کاه هم نسبت به تیمار شاهد (N_0) به ترتیب ۹۸/۸ و ۱۶۰ درصد افزایش داشت. بهره‌وری نسبی نیتروژن با افزایش مصرف نیتروژن در رتون کاهش یافت که با افزایش مصرف فسفر در سطوح مختلف نیتروژن افزایش نشان داد. راندمان بازیافت ظاهری نیتروژن تا تیمار نیتروژن ۶۹ (N_{69}) افزایشی و با مصرف بیشتر نیتروژن (در تیمار نیتروژن ۹۲) کاهش یافت.

نتیجه‌گیری کلی: برهمکنش‌های نیتروژن و فسفر باعث افزایش عملکرد دانه و راندمان مصرف نیتروژن شد که با افزایش جذب نیتروژن همراه بود. افزایش راندمان مصرف نیتروژن برنج برای توسعه کشاورزی پایدار ضروری است و به شدت مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: برنج رتون، تغذیه نیتروژن و فسفر، راندمان نیتروژن و کوددهی.

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

مقدمه

خاک‌های شالیزاری که تقریباً ۹ درصد از مساحت زمین‌های زراعی جهان را تشکیل می‌دهند، اکوسیستم‌های کشاورزی حیاتی هستند که تولید جهانی برنج و امنیت غذایی بیش از ۳/۵ میلیارد نفر را حفظ می‌کنند (Liu et al., 2021). با افزایش سریع جمعیت جهانی که باعث افزایش تقاضای غذا می‌شود، پیش‌بینی می‌شود که نیاز به محصولات کشاورزی گیاهی تا سال ۲۰۵۰ دو برابر شود (Zou et al., 2022). اگر قرار باشد تقاضای رو به افزایش جمعیت برآورده شود، افزایش تولید برنج ضروری است. با این‌حال، منابع طبیعی زمین قابل کشت محدود است. بنابراین، بخش زیادی از این افزایش باید از طریق کشت مجدد و بهبود عملکرد در هکتار حاصل شود. تولید محصول دوم برنج در یک فصل کشت به‌عنوان راتونینگ شناخته می‌شود. محصول رتون با جوانه زدن مجدد پنجه‌های برنج از قسمت جوانه‌های گردنی ساقه‌های به‌جامانده پس از برداشت کشت اول برنج توسعه می‌یابد (Wang et al., 2020). رتون دارای دوره رشد کوتاهی بوده و رسیدن آن‌ها تنها در ۳۵ تا ۶۵ درصد زمان لازم برای تولید محصول اصلی صورت می‌گیرد. بر اساس بررسی و گزارشات موجود در کشورهای مختلف عملکرد رتون در گستره ۰/۶۸ تا ۳/۵ تن در هکتار برآورد شده است (Zhang et al., 2023; Bahar and De Datta, 1977). عملکرد برنج رتون در مرز شمالی کشور بین ۱ تا ۳ تن در هکتار متغیر بوده که به دلیل مدیریت متفاوت کودی و آبیاری مزرعه و مدت زمان فصل رشد می‌باشد (Firouzi et al., 2018).

نیتروژن یک عنصر غذایی معدنی اولیه مورد نیاز برای رشد گیاه است و به‌طور گسترده در تولید محصولات کشاورزی استفاده می‌شود (Du et al., 2022). مصرف جهانی کود نیتروژن از ۱۱ تراگرم در سال ۱۹۶۰ به ۱۱۰ تراگرم در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است که بیش از نیمی از آن برای تولید غلات استفاده شده است (FAOStat, 2021). الگوهای نامناسب کوددهی و استفاده بیش از حد از کود نیتروژن منجر به هدررفت قابل توجه نیتروژن از طریق تبخیر آمونیاک و آبشویی شده است (Peng et al., 2010) این بدان معناست که راندمان مصرف نیتروژن به حدود ۳۵ درصد رسیده است (Sun et al., 2015; Cao et al., 2013). بنابراین، هزینه‌های تولید و خطرات زیست‌محیطی افزایش می‌یابد (Somaweera et al., 2016). بهبود راندمان مصرف نیتروژن برای کاهش هزینه‌های اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی در عین حفظ عملکرد محصول بسیار مهم است. دانشمندان تحقیقات زیادی در مورد اصلاح ارقام با راندمان نیتروژن بالا، بهینه‌سازی استراتژی کاربرد کود نیتروژن و انجام تکنیک‌های کشاورزی دقیق انجام داده‌اند (Chu et al., 2019). گادفری و همکاران (Godfrey et al., 2010) گزارش دادند که با بهینه‌سازی مدیریت کود و محصول و فراهم کردن شرایط محیطی مناسب، راندمان بازیابی نیتروژن می‌تواند تا ۷۰ درصد افزایش یابد. کاربرد متعادل کود، مهم‌ترین جزء فناوری‌های مدرن تولید محصولات کشاورزی است (Zheng et al., 2017). مطالعات گزارش داده‌اند که اثرات متقابل بین نیتروژن و فسفر می‌تواند بر رشد گیاه، راندمان مصرف نیتروژن (NUE) و عملکرد دانه تأثیر بگذارد (Duncan et al., 2018; Du et al., 2022). برخی اقدامات مؤثر برای کاهش میزان مصرف نیتروژن و افزایش راندمان مصرف نیتروژن توصیه شده است، مانند استفاده از نیتروژن در چند مرحله رشد (تقسیطی)، تنظیم میزان نیتروژن بر اساس قرائت کلروفیل (Hu et al., 2007)، استفاده از کود نیتروژن با رهایش کنترل‌شده، استفاده از مهارکننده‌های اوره‌آز، کاشت گونه‌های برنج با راندمان بالا و کاربردهای ترکیبی کودهای آلی و معدنی (Liu et al., 2016). کوددهی نیتروژن می‌تواند بر خواص خاک و فعالیت‌های جامعه میکروبی ریزوسفر تأثیر بگذارد که به نوبه خود تأثیرات قابل‌توجهی بر تولید برنج دارند (Ding et al., 2019).

فسفر یک عنصر غذایی حیاتی برای رشد گیاه است که نقش کلیدی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی ایفا می‌کند. با این‌حال، اکثر منابع فسفر کاربردی از نظر دسترسی محدود و عمدتاً نامحلول هستند، زیرا عمدتاً از هوازدگی مواد معدنی، کودها، مواد آلی در حال تجزیه و بقایای گیاهی سرچشمه

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

می‌گیرند (Luo et al., 2026; Vaccari, 2009). با وجود اینکه برخی از خاک‌ها دارای محتوای فسفر کل بالایی هستند، بخش زیادی از این فسفر برای گیاهان غیرقابل دسترس باقی می‌ماند (Syers et al., 2008). استفاده کارآمد و منطقی از کود فسفره برای حمایت از رشد محصول و تضمین امنیت غذایی ضروری است (Mogollon et al., 2021). کوددهی فسفر بر جذب و استفاده از نیتروژن توسط محصول تأثیر می‌گذارد و این تأثیرات تحت تأثیر وضعیت فسفر یا عناصر دیگر مثل پتاسیم خاک قرار دارند. کودهای فسفر می‌توانند مورفولوژی ریشه، مانند طول ریشه، زیست توده ریشه و تعداد ریشه را تغییر دهند و به‌طور بالقوه بر جذب و توزیع مجدد نیتروژن تأثیر بگذارند (Deng et al., 2018; Fageria et al., 2014). متو و همکاران (Metho et al., 1997) گزارش دادند که عملکرد و راندمان مصرف نیتروژن گندم پس از استفاده همزمان از کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم از مجموع مقادیر حاصل از افزودن هر عنصر غذایی به‌صورت جداگانه فراتر رفت.

کاربرد بیش از اندازه نیتروژن میزان پر شدن دانه را کاهش می‌دهد، پوکی دانه‌های تحتانی خوشه و تأخیر در زمان پر شدن دانه نیز موجب کاهش عملکرد می‌شود. احتمالاً ورودی نیتروژن بالا باعث افزایش غلظت نیتروژن در بافت گیاهی می‌شود و ممکن است میزان بالایی از متابولیسم نیتروژن را به همراه داشته و منجر به افزایش مصرف کربوهیدرات و کاهش انتقال کربوهیدرات برای پر شدن دانه شود (Zhang et al., 2021). دیو و همکاران (Du et al., 2022) نشان دادند که برهمکنش‌های نیتروژن، فسفر و پتاسیم به دلیل افزایش راندمان زراعی مصرف نیتروژن (AEN)، عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. کاربرد همزمان N، P و K، راندمان جذب و بازیابی نیتروژن را بهبود بخشید، که از کاهش راندمان مصرف نیتروژن فیزیولوژیکی و داخلی فراتر رفت و در نتیجه NAE را بهبود بخشید. افزایش طول و زیست‌توده ریشه، جذب نیتروژن به‌ازای واحد طول ریشه به زیست‌توده ریشه، فعالیت اکسیداسیون ریشه، کل سطح جذب ریشه‌ها و سطح جذب فعال ریشه‌ها در مرحله طویل شدن، جذب نیتروژن را از طریق برهمکنش‌های N، P و K بهبود بخشید. جذب کل نیتروژن بالاتر از برهمکنش‌های N، P و K به دلیل بهبود ویژگی‌های ریشه بود که عملکرد برنج و راندمان مصرف نیتروژن را افزایش داد (Du et al., 2022). راندمان بازیافت کود نیتروژن با شیوه مدیریت کشاورزان در آزمایشات مزارع شالیزاری آنها، ۱۸ درصد می‌باشد (Wang et al., 2001). گزارش شد که راندمان بازیافت کود نیتروژن کشاورزان در چهار استان چین، ۲۰ تا ۳۰ درصد است (Peng et al., 2006). همچنین گزارش کردند که راندمان زراعی مصرف نیتروژن در فصل خشک در مزارع کشاورزان در فیلیپین، ۱۵ تا ۱۸ کیلوگرم در کیلوگرم نیتروژن است (Cassman et al., 2002). از آنجایی که راندمان مصرف نیتروژن گیاه یک ویژگی پیچیده است که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و همچنین نشانه‌های محیطی قرار دارد، درک بهتری از تعاملات بین اجزای کلیدی راندمان مصرف نیتروژن و شیوه‌های مدیریت کشاورزی برای دستیابی به برنج با راندمان نیتروژن بهینه مورد نیاز است.

به‌دلیل عدم خاک‌ورزی در تولید محصول رتون، مصرف کود تماماً در سطح خاک صورت گرفته و همین امر راندمان مصرف پایین کودها به ویژه نیتروژن را درپی دارد. از طرفی، پس از برداشت محصول اول برنج، سطح عناصر غذایی خاک در پایین‌ترین مقدار ممکن در طول سال قرار دارد بنابراین مصرف عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌صورت پایه اهمیت زیادی دارد، و همچنین، متأسفانه بیشتر کشاورزان در تولید رتون از مقادیر بسیار زیاد و بیش از حد نیاز کود نیتروژن استفاده می‌کنند بدون اینکه از سایر کودها به ویژه کودهای فسفر و یا پتاسیم استفاده کنند و این مسئله دلایل راندمان پایین مصرف کود نیتروژن پرورش رتون است. این پژوهش با هدف اندازه‌گیری و مقایسه انواع راندمان مصرف نیتروژن در پرورش رتون با تغذیه مقادیر مختلف نیتروژن و فسفر در دو سال زراعی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

کاشت برنج و شرایط رشد

نسخه پس از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

جدول ۱. نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده برای آزمایش

Table 1. Results of analysis of physical and chemical properties of the soil used for the experiment

بافت خاک Soil Texture	پتاسیم قابل جذب Kava	فسفر قابل جذب Pava	آهک TNV	کربن آلی OC	هدایت الکتریکی EC	درصد اشباع SP	pH
	mg/kg		(%)	(%)	($dS.m^{-1}$)	(%)	
Clay Loam	224	8.25	29	2.51	0.99	68	6.7

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور معاونت مازندران واقع در آمل با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی و با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۳۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد. رقم برنج مورد بررسی رقم طارم هاشمی بود، که بذر آن از مؤسسه تحقیقات برنج کشور معاونت مازندران تهیه شد. این رقم از ارقام بومی با کیفیت مطلوب بوده و میانگین عملکرد دانه آن حدود ۳۸۵۰ کیلوگرم در هکتار، شلتوک‌های این رقم دارای ریشک بوده و میانگین ارتفاع بوته ۱۴۰ سانتی‌متر است (Hosseinpour et al., 2021). عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل بهار و نشاکاری در هر دو سال در نیمه اردیبهشت انجام شد. در همه کرت‌ها، تمامی کودهای شیمیایی مورد نیاز در کشت اول به‌صورت یکنواخت و براساس نتایج تجزیه خاک مصرف شد (Emami, 1996). براین اساس، ۵۰ کیلوگرم کود اوره با ۱۰۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم قبل از کشت به‌صورت پایه مصرف گردید، در مرحله دوم ۵۰ کیلوگرم کود اوره و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم ۲۵ روز بعد از نشاکاری به‌صورت سرک مصرف شد، و در نهایت ۲۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره ۴۵ روز بعد از نشاکاری به‌عنوان سرک سوم مصرف شد. بعد از نشاکاری، طبق توصیه مؤسسه تحقیقات برنج کشور مبارزه با آفت کرم ساقه‌خوار در مرحله زایشی از آفت‌کش دیازینون گرانوله ۱۰ درصد به میزان ۲۵ کیلوگرم درهکتار و بیماری سوختگی غلاف با استفاده از قارچکش تیلت به نسبت دو در هزار استفاده شد. همچنین علف‌های هرز با دو روش وجین دستی در دو مرحله ۲۰ و ۳۵ روز پس از نشاکاری و مبارزه شیمیایی با علفکش کلین‌وید به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار کنترل شدند. برداشت محصول اصلی در ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر انجام شد. پس از برداشت محصول اصلی، از هر تکرار یک نمونه خاک مرکب سطحی تهیه و تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک صورت گرفت. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

کربن آلی خاک در حد مطلوب بوده، هدایت الکتریکی خاک مورد استفاده برابر ۰/۹۹ دسی‌زیمنس بر متر است بنابراین خاک مورد استفاده محدویت شوری نداشته و واکنش آن در محدوده خنثی تا کمی اسیدی است. بافت خاک لوم رسی بوده و دارای فسفر قابل جذب نسبتاً کم است. مقدار پتاسیم قابل جذب خاک، بالا بوده و محدودیتی برای رشد گیاه ایجاد نخواهد کرد. سایر عملیات زراعی از قبیل مبارزه با علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها به‌طور یکنواخت در کلیه کرت‌های آزمایشی در کشت رتون هم صورت گرفت

طرح آزمایش

نشاکاری به تعداد سه کپه و با فاصله ۲۰ × ۲۰ سانتی‌مترمربع در کرت‌ها به اندازه ۱۲ مترمربع در اواخر اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ نشا شدند (Mohammadian et al., 2019). برای جلوگیری از نشت آب همراه با کود بین کرت‌های اصلی تیمارهای کودی مرز گرفته و دو طرف مرز به‌طورکامل تا اعماق حدود ۱۵ سانتی‌متر زیر سطح خاک با نایلون پوشانده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، عامل اول شامل مصرف نیتروژن در چهار سطح صفر (N_0)، ۴۶ (N_{46})، ۶۹ (N_{69}) و ۹۲ (N_{92}) کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره و عامل دوم مصرف فسفر در سه سطح صفر (P_0)، ۲۳ (P_{23}) و ۴۶ (P_{46}) کیلوگرم فسفر P_2O_5 در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل در سه تکرار اجرا گردید. پس از برداشت

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

کشت اصلی، نسبت به آبیاری کرت‌ها برای پرورش رتون اقدام شد و به همراه آبیاری دوم تمامی مقدار کود فسفاته و ۷۰ درصد کود اوره (سرک اول) استفاده شد و باقیمانده کود اوره ۲ هفته پس از آن (سرک دوم) مصرف شد.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌ها

برای اندازه‌گیری صفات عملکرد دانه و کاه، نمونه ۱۲ بوته‌ای در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی تهیه شد. برای تعیین عملکرد دانه، پنج متر مربع از هر کرت برداشت و میزان تولید با رطوبت ۱۴ درصد محاسبه گردید (IRRI, 2013). نمونه‌های ساقه و برگ (کاه) در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت در آون خشک و سپس وزن شدند. غلظت نیتروژن دانه و کاه با استفاده از هضم و روش کجلدال، و غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی (وانادات- مولیبدات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Nelson and Sommers, 1980). وزن خشک دانه، کاه و غلظت نیتروژن برای محاسبه جذب نیتروژن گیاه و راندمان بازیابی نیتروژن استفاده شد. از زیست توده، غلظت نیتروژن و فسفر در بافت‌ها برای محاسبه جذب کل نیتروژن و فسفر، راندمان زراعی کود نیتروژن (AE_N)، راندمان بازیافت نیتروژن (RE_N)، راندمان فیزیولوژیکی نیتروژن (PE_N)، راندمان داخلی نیتروژن (IE_N) و عامل بهره‌وری نسبی نیتروژن (RPF_N) استفاده شد که از طریق روابط ۱ تا ۵ محاسبه شدند (Wei et al., 2018). کل جذب نیتروژن در میلی‌گرم گیاه با حاصلضرب غلظت نیتروژن در زیست‌توده هوایی گیاه محاسبه گردید.

$$AE_N= (GY_{+N} - GY_{0N})/FN \quad (۱)$$

$$RE_N= (UN_{+N}-UN_{0N})/FN \quad (۲)$$

$$PE_N= (GY_{+N}-GY_{0N})/(UN_{+N}-UN_{0N}) \quad (۳)$$

$$IE_N= GY/UN \quad (۴)$$

$$RPF_N= GY_{+N}/FN \quad (۵)$$

که در آن، GY_{+N} عملکرد شلتوک در تیمار با مصرف نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)، GY_{0N} عملکرد شلتوک در تیمار بدون مصرف کود، UN_{+N} و UN_{0N} به‌ترتیب میزان جذب کل نیتروژن زیست توده اندام هوایی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی در کرت‌هایی که کود نیتروژن دریافت کرده‌اند و کرت بدون مصرف نیتروژن برحسب کیلوگرم در هکتار، FN مقدار کود نیتروژن مصرف شده (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. در راندمان داخلی، GY عملکرد شلتوک هر تیمار برحسب کیلوگرم در هکتار و UN جذب کل نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) هر تیمار است (Dobermann and Fairhurst, 2000).

تجزیه و تحلیل آماری

برای تعیین اثرات تیمارهای کوددهی بر رشد گیاه و راندمان مصرف نیتروژن، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2019 (Microsoft, Redmond, WA, USA) محاسبه شدند. بررسی آماری نتایج حاصل از داده‌های پژوهش، ابتدا پیش شرط‌های تجزیه واریانس شامل همگن بودن واریانس خطا و توزیع نرمال باقیمانده‌ها بررسی و در صورت لزوم، تبدیل داده‌ها با روش‌های معمول انجام گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (ver. 23.0) و در پایان مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($p<0.05$) انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و کاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۲) که اثر اصلی تیمار نیتروژن، فسفر، اثر سال و اثر متقابل نیتروژن × فسفر بر عملکرد دانه و کاه رتون در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود و اثر متقابل سال × فسفر و سال × نیتروژن × فسفر بر عملکرد دانه فقط در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود. مقایسه میانگین عملکرد دانه و کاه نشان داد (جدول ۳) که تیمار N_{92} با عملکرد دانه و کاه به‌ترتیب ۸۶۴/۲ و ۱۲۶۳/۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین و تیمار شاهد (N_0) با ۴۵۹/۱ و ۸۸۳/۳ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه و کاه حاصل شد و تیمار فسفر P_{46} با ۷۴۴/۹ و

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

جدول۲. تجزیه واریانس اثر مقدار کاربرد نیتروژن (N) و فسفر (P) بر عملکرد دانه (GY)، عملکرد کاه (SY)، جذب نیتروژن کاه (SNU)، جذب نیتروژن دانه (GNU)، جذب نیتروژن کل (TNU)، جذب فسفر کاه (SPU)، جذب فسفر دانه (GPU) و جذب فسفر کل (TPU) در رتون رقم هاشمی در دوسال زراعی

Table 2. Variance analysis of the effect of nitrogen (N) and phosphorus (P) application rates on grain yield (GY), straw yield (SY), straw nitrogen uptake (SNU), grain nitrogen uptake (GNU), total nitrogen uptake (TNU), straw phosphorus uptake (SPU), grain phosphorus uptake (GPU), and total phosphorus uptake (TPU) in Hashemi cultivar ratoon in two crop years

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	Mean squares (میانگین مربعات)							
		عملکرد دانه GY	عملکرد کاه SY	جذب نیتروژن کاه SNU	جذب نیتروژن دانه GNU	جذب نیتروژن کل TNU	جذب فسفر کاه SPU	جذب فسفر دانه GPU	جذب فسفر کل TPU
Block	2	2351.2	63050	0.713	0.215	0.408	0.018	0.103	0.203
N	3	526795**	500609**	138.0**	163.3**	600.0**	4.30**	58.86**	94.71**
P	2	70677**	21034**	9.02**	19.53**	54.93**	0.233**	1.53**	2.92**
Year	1	586264**	675606**	295.6**	314.7**	1220**	0.00001	0.00001	0.00001
P×N	6	3341**	555395**	0.946**	1.04**	2.68**	0.146**	0.415**	0.659**
Year× N	3	847.4	1338	5.51**	0.349	8.48**	0.00001	0.00001	0.00001
Year× P	2	24549**	379.5	5.55**	7.59**	25.80**	0.00001	0.00001	0.00001
Year × P× N	6	3188.1**	720.4	1.31**	0.880**	3.71**	0.00001	0.00001	0.00001
Erorr	44	537.2	1875.6	0.359	0.249	0.686	0.011	0.043	0.074
C.V.		3.38	4.19	8.03	4.52	4.47	7.73	3.38	3.62

ns معنی‌دار نیست، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد آماری را نشان می دهد.

ns. is not significant, * and ** indicate statistical significance at the 5 % and 1 % levels, respectively

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر مقدار کاربرد نیتروژن (N) و فسفر (P) بر عملکرد دانه (GY)، عملکرد کاه (SY)، جذب نیتروژن کاه (SNU)، جذب نیتروژن دانه (GNU)، جذب نیتروژن کل (TNU)، جذب فسفر کاه (SPU)، جذب فسفر دانه (GPU) و جذب فسفر کل (TPU) در رتون رقم هاشمی در دوسال زراعی

Table 3. Mean comparisons of nitrogen (N) and phosphorus (P) application rates on grain yield (GY), straw yield (SY), straw nitrogen uptake (SNU), grain nitrogen uptake (GNU), total nitrogen uptake (TNU), straw phosphorus uptake (SPU), grain phosphorus uptake (GPU), and total phosphorus uptake (TPU) in Hashemi cultivar ratoon in two crop years

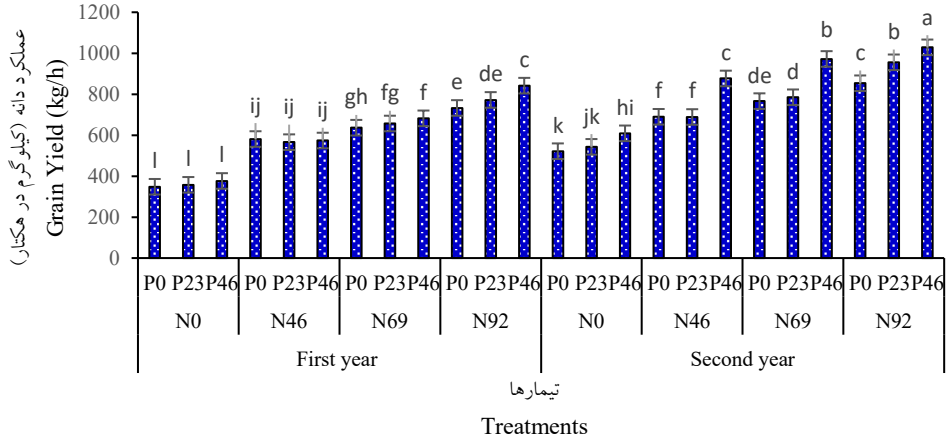
تیمارها Treatments		عملکرد دانه GY	عملکرد کاه SY	جذب نیتروژن کاه SNU	جذب نیتروژن دانه GNU	جذب نیتروژن کل TNU	جذب فسفر کاه SPU	جذب فسفر دانه GPU	جذب فسفر کل TPU
		($Kg.h^{-1}$)							
N	0	459.1d	881.3d	4.07d	7.13d	11.21d	0.671d	3.83d	4.51d
	46	662.6c	947.9c	6.77c	10.45c	17.22c	1.41c	6.04c	7.45c
	69	749.8b	1041.9b	8.37b	12.36b	10.74b	1.54b	6.89b	8.41b
	92	864.2a	1263.4a	10.65a	14.18a	24.83a	1.82a	8.13a	9.95a
P	0	741.2c	1001.0b	6.97b	10.38b	17.35c	1.25c	5.99c	7.25c
	23	665.6b	1044.9a	7.27b	10.67b	17.94b	1.36b	6.17b	7.54b
	46	744.9a	1056.8a	8.15a	12.07a	20.22a	1.45a	6.49a	7.94a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

In each column, numbers with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]



شکل ۱. اثر متقابل سال × نیتروژن × فسفر بر عملکرد دانه در محصول رتون برنج در شرایط مزرعه. ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 1. Interaction effect of year × nitrogen × phosphorus on grain yield in rice ratoon crop under field conditions. Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

۱۰۵۶/۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه و کاه رتون را داشت. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × نیتروژن × فسفر در شکل ۱ نشان داد که در سال دوم تیمار نیتروژن N_{92} و تیمار فسفر P_{46} بیشترین عملکرد دانه مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد نیتروژن (N_0) و فسفر (P_0) در همان سال ۹۷/۳۱ درصد افزایش نشان داد. این نتایج اهمیت مصرف کودهای نیتروژن و فسفر در افزایش عملکرد رتون را نشان می‌دهد. مطالعات دیگران هم گزارش داده‌اند که اثرات متقابل بین نیتروژن و فسفر می‌تواند بر رشد گیاه و عملکرد دانه برنج تأثیر بگذارد (Duncan et al., 2018; Du et al., 2022; Liu et al., 2016; Metho et al., 1997).

در میان شیوه‌های مدیریت محصول رتون، کود نیتروژن به ویژه برای رشد و توسعه محصول بسیار مهم است. افزایش جذب نیتروژن، به‌ویژه در شرایط مصرف بالای کود نیتروژن، می‌تواند منجر به افزایش زیست‌توده و پتانسیل تولید سیستم شود، با این وجود، نیتروژن مصرفی تأثیر ماندگاری بر رشد و عملکرد برنج رتون دارد (Lin, 2019). کاربرد مناسب نیتروژن می‌تواند سرعت باززایی را بهبود بخشد و تعداد خوشه‌های مؤثر برنج رتون را افزایش دهد (Qi et al., 2024)، اما کاربرد بیش از حد نیتروژن می‌تواند مانع از فتوسنتز و توانایی جذب نیتروژن شود و منجر به هدر رفتن نیتروژن به محیط زیست، مانند انتشار اکسید نیتروژن و آبشویی نیترات شود (Bilotto et al., 2021). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که عملکرد بالاتر رتون در درجه اول تابعی از تعداد خوشه‌های مؤثر است که به‌طور مثبت با تعداد پنجه‌های ساقه باقیمانده کشت اول و میزان باززایی مرتبط است (Wang et al., 2020; Zhang et al., 2023). علاوه بر این، وضعیت مورفولوژیکی و معدی بیشتر کاه و کلش باقی‌مانده، مانند سطح نیتروژن و کربوهیدرات‌های غیرساختاری، می‌تواند رشد پنجه‌های باززایی شده را بهبود بخشد و تعداد، طول و وزن تازه جوانه باززایی شده را افزایش دهد (Qi et al., 2024; Zhang et al., 2023). شیخ‌نظری و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که کاربرد کود نیتروژن در تمام سطوح مصرفی منجربه افزایش عملکرد شلتوک در مقایسه با شاهد شد اگرچه بیشترین عملکرد دانه با مصرف نیتروژن در مقدار ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. مصرف زیاد کود نیتروژن می‌تواند سبب افزایش رشد قسمت‌های رویشی شده و بروز خوابیدگی را در گیاه برنج افزایش و در نتیجه عملکرد را کاهش دهد. کود فسفر با افزایش تعداد خوشه، تعداد دانه در هر خوشه و سرعت تشکیل دانه، اجزای عملکرد برنج را بهبود می‌بخشد (Wei et al., 2018). در مطالعه لیوو و همکاران (Luo et al., 2026) کاربرد فسفر به‌طور قابل توجهی عملکرد دانه برنج را ۴/۹ تا ۱۷/۷ درصد افزایش داد.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

نکته قابل توجه این است که افزایش عملکرد در درجه اول به دلیل افزایش ۱۱/۳ تا ۲۶/۸ درصدی تعداد خوشه بود که نشان دهنده بهبود پنجه‌زنی است.

جذب نیتروژن و فسفر در دانه و کاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۲) که اثر اصلی تیمار نیتروژن، فسفر، اثر سال، اثر متقابل نیتروژن × فسفر، اثر متقابل سال × فسفر و سال × نیتروژن × فسفر بر میزان جذب نیتروژن در دانه و کاه رتون در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود. اثر اصلی تیمار نیتروژن و فسفر و اثر متقابل نیتروژن × فسفر فقط بر میزان جذب فسفر دانه و کاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود. مقایسه میانگین اثر تیمار نیتروژن بر میزان جذب نیتروژن در دانه و کاه نشان می دهد که تیمار N_{92} بیشترین میزان جذب نیتروژن در دانه و کاه داشت که نسبت به تیمار شاهد (N_0) به‌ترتیب ۹۸/۸ و ۱۶۰ درصد افزایش نشان داد. جذب فسفر هم در این تیمار بیشترین مقدار بود که میزان فسفر در دانه و کاه نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱/۱۲ و ۱/۷۱ برابر بیشتر بوده است. در تیمار فسفر بیشترین میزان جذب نیتروژن و فسفر دانه و کاه در تیمار P_{46} رخ داد به‌طوری‌که جذب فسفر در این تیمار نسبت به تیمار شاهد در دانه و کاه به‌ترتیب ۸/۳ و ۱۶/۰ درصد افزایش یافت. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × نیتروژن × فسفر بر میزان جذب نیتروژن در دانه و کاه در شکل ۲ و ۳ نشان می‌دهد که که تیمار نیتروژن ۹۲ (N_{92}) و فسفر ۴۶ کیلوگرم در هکتار (P_{46}) در سال دوم آزمایش بیشترین میزان جذب نیتروژن در دانه و کاه را نشان دادند.

تجمع عناصر غذایی ساقه و برگ در مرحله خوشه‌دهی معمولاً به حداکثر می‌رسد. پس از برداشت برنج فصل اول، تجمع نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کلش‌ها روند نزولی نشان می‌دهد و تجمع عناصر در ساقه و برگ برنج رتون ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. از مرحله خوشه‌دهی تا مرحله رسیدن، انتقال نیتروژن در هر اندام تمایل به برگ>ساقه>ریشه، برای انتقال فسفر، ساقه>ریشه>برگ و برای انتقال پتاسیم، ریشه>برگ>ساقه را نشان می‌دهد (Wang et al., 2018). میزان جذب نیتروژن در طول مرحله جوانه زنی تا آبستنی برنج بالا است و تأمین کافی نیتروژن در این مرحله حیاتی نقش کلیدی در بهبود عملکرد برنج ایفا می‌کند (Liu et al., 2016). تجمع و انتقال نیتروژن قبل از گلدهی در بهبود عملکرد دانه بسیار مهم است، زیرا بیشتر نیتروژن دانه از کاه یا ساقه به دانه منتقل می‌شود. تقریباً ۷۰ درصد از نیتروژن جذب شده توسط کاه به دانه منتقل می‌شود و این امر باعث می‌شود که محتوای نیتروژن دانه در طول رسیدن گیاه در سطح مشخصی حفظ شود (Yang et al., 2011).

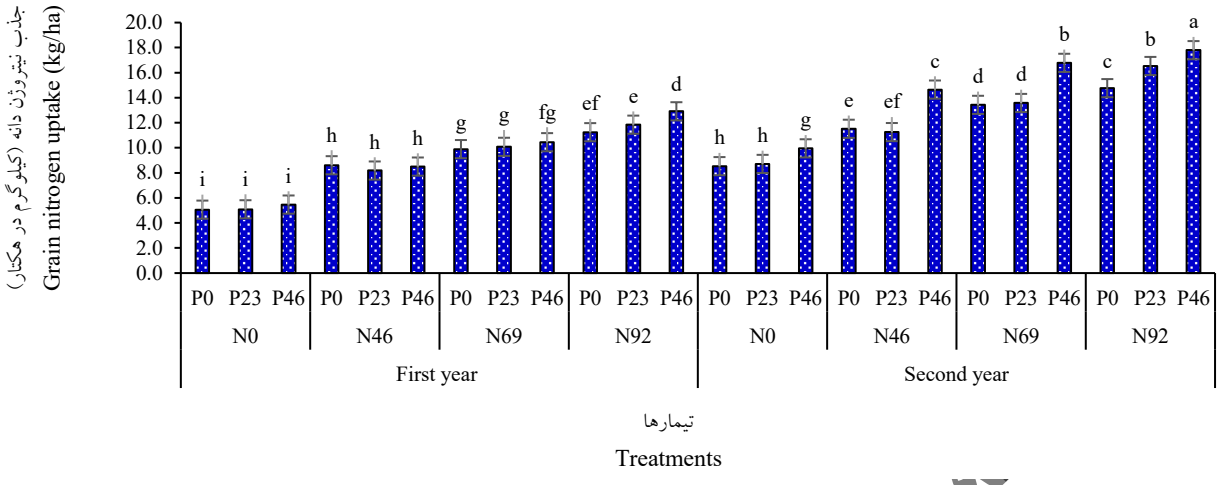
تأثیر مصرف کود نیتروژن و فسفر بر انواع راندمان نیتروژن در رتون

نتایج تجزیه واریانس مربوط به راندمان‌های نیتروژن (جدول ۴) نشان داد که اثر ساده نیتروژن و فسفر، اثر متقابل نیتروژن × فسفر، اثر سال × نیتروژن و اثر متقابل سال × نیتروژن × فسفر بر بهره‌وری نسبی نیتروژن (RPF_N)، راندمان زراعی نیتروژن (AE_N) و راندمان بازیافت نیتروژن (RE_N) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر ساده نیتروژن و سال بر راندمان فیزیولوژیکی (PE_N) و راندمان داخلی نیتروژن (IE_N) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که راندمان بازیافت نیتروژن تحت تأثیر اثر سال قرار نگرفت، راندمان فیزیولوژیکی و راندمان داخلی نیتروژن تحت تأثیر برهمکنش سال × نیتروژن × فسفر قرار نگرفتند. همچنین راندمان داخلی نیتروژن تحت تأثیر اثر ساده فسفر و برهمکنش نیتروژن × فسفر قرار نگرفت.

مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۴) نشان داد میزان بهره‌وری نسبی نیتروژن در سال دوم بیشتر از سال اول بوده و در هر دو سال در تیمار نیتروژن ۴۶ (N_{46})بیشتر از بقیه سطوح نیتروژن بود و در سال دوم در تیمار فسفر ۴۶ (P_{46}) بیشتر از بقیه سطوح فسفر بود. نتایج نشان داد که با افزایش مصرف فسفر در سطوح مختلف نیتروژن مصرف شده در هر دو سال میزان بهره‌وری نسبی نیتروژن افزایش یافته است. نتایج نشان داد که با افزایش سطح نیتروژن (سطوح N_{69} و N_{92}) به عبارتی مصرف بیشتر نیتروژن، بهره‌وری

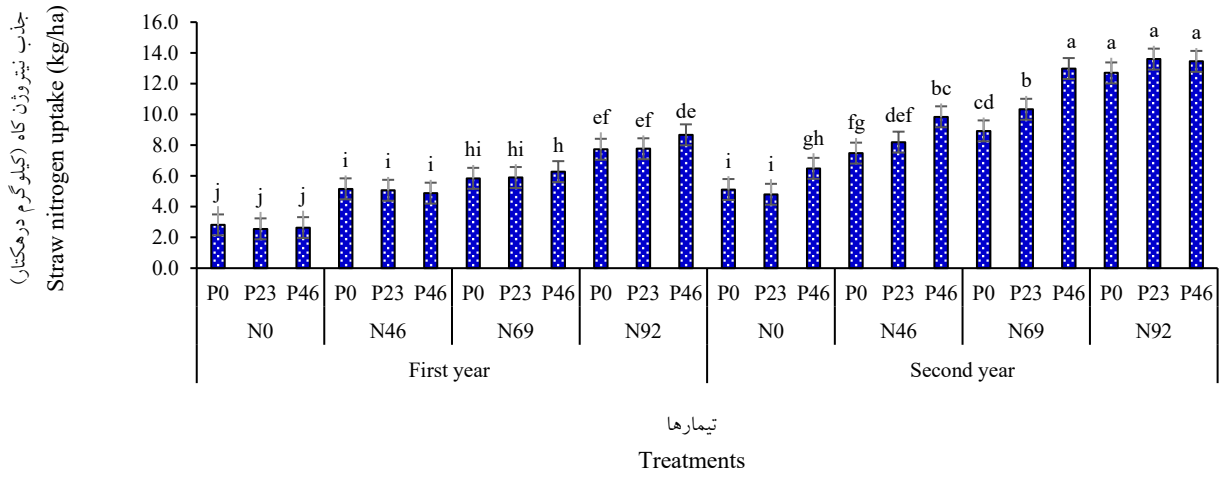
نسخه پیش از انتشار اصلاح نشده

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × نیتروژن × فسفر بر جذب نیتروژن دانه در محصول رتون برنج در شرایط مزرعه. ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 2. Comparison of the mean interaction effect of year × nitrogen × phosphorus on grain nitrogen uptake in rice rotan crop under field conditions. Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × نیتروژن × فسفر بر جذب نیتروژن کاه در محصول رتون برنج در شرایط مزرعه. ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 3. Comparison of the mean interaction effect of year × nitrogen × phosphorus on straw nitrogen uptake in rice straw crop under field conditions. Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

نسبی نیتروژن را در محصول رتون برنج کاهش داد. بهره‌وری نسبی نیتروژن، ساده‌ترین معیار برای نشان دادن راندمان مصرف نیتروژن است که واحدهای عملکرد محصول به ازای هر واحد نیتروژن اعمال شده را توصیف می‌کند. بهره‌وری نسبی نیتروژن را می‌توان از طریق افزایش میزان جذب نیتروژن و استفاده از منابع نیتروژن خاک و افزایش کارایی زراعی نیتروژن مصرف شده افزایش داد (Mohammadian et al., 2019). در مزارع برنج، میزان بهره‌وری نسبی نیتروژن بین ۴۰ تا ۵۰ کیلوگرم دانه در کیلوگرم کود نیتروژن مصرفی می‌باشد اما می‌تواند از ۱۵ تا ۱۰۰ کیلوگرم در کیلوگرم نوسان داشته باشد. با مدیریت مناسب زراعی

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

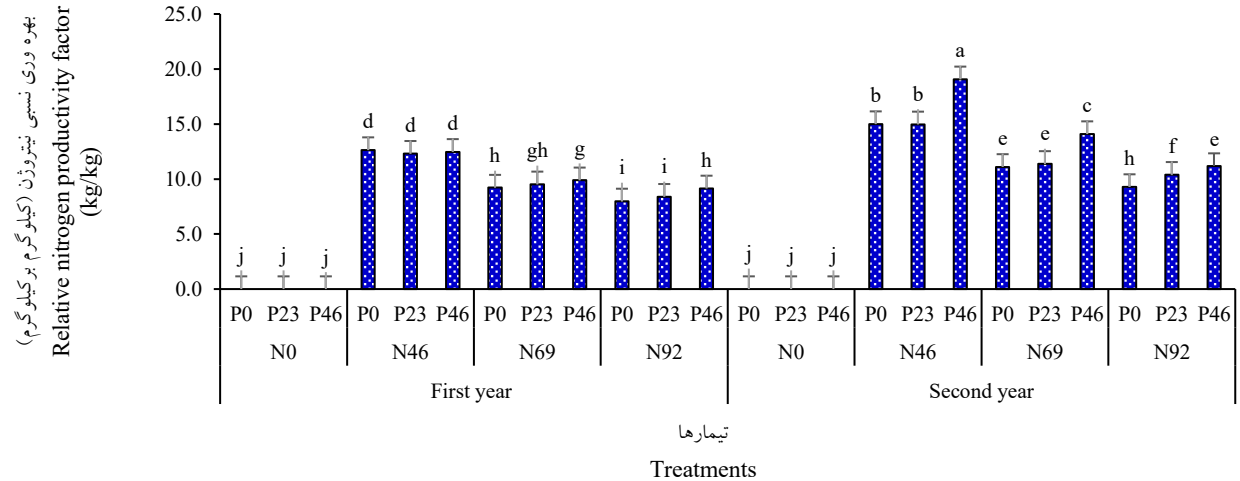
جدول ۴. تجزیه واریانس اثر مقدار کاربرد نیتروژن (N) و فسفر (P) بر عامل بهره‌وری نسبی نیتروژن (RPF_N)، راندمان زراعی نیتروژن (AE_N) و راندمان بازیافت نیتروژن (RE_N)، راندمان فیزیولوژیکی (PE_N) و راندمان داخلی نیتروژن (IE_N) در کشت رتون برنج در دو سال زراعی

Table 4. Variance analysis of the effect of nitrogen (N) and phosphorus (P) application rates on relative nitrogen productivity factor (RPF_N), agronomic efficiency of nitrogen (AE_N), nitrogen recovery efficiency (RE_N), physiological efficiency (PE_N), and internal nitrogen efficiency (IE_N) in rice ratoon cultivation in two crop years

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Squares)				
		بهره‌وری نسبی نیتروژن RPF_N	راندمان زراعی نیتروژن AE_N	راندمان بازیافت نیتروژن RE_N	راندمان فیزیولوژیکی PE_N	راندمان داخلی نیتروژن IE_N
Block	2	0.188	0.733	0.002	22.50	10.92
N	3	680.3**	66.82**	0.069**	4463.6**	152.4**
P	2	12.21**	11.56**	0.011**	18.36**	2.09
Year	1	77.46**	8.83**	0.00001	755.1**	928.0**
P×N	6	1.84**	1.83**	0.002**	10.98**	2.85
Year× N	3	11.92**	1.31**	0.001**	96.75**	0.498
Year× P	2	5.85**	6.32**	0.005**	10.50*	2.68
Year × P× N	6	1.82**	2.01**	0.002**	5.79	2.21
Erorr	44	0.082	0.143	0.00001	3.01	1.76
C.V.		3.31	13.12	10.98	7.41	3.45

ns معنی‌دار نیست، * و ** بترتیب معنی دار در سطح پنج و یک درصد آماری را نشان می دهد.

ns. is not significant, * and ** indicate statistical significance at the 5 % and 1 % levels, respectively.



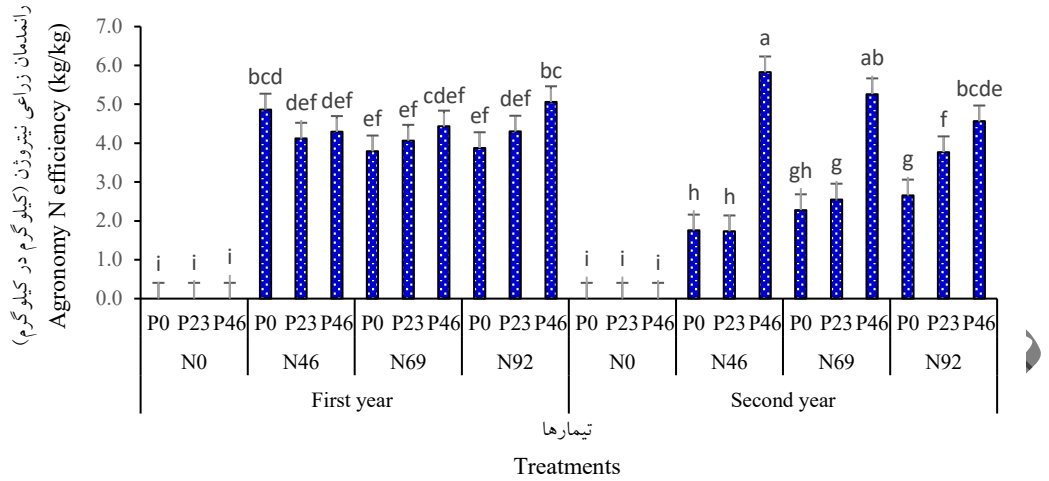
شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × نیتروژن × فسفر بر عامل بهره‌وری نسبی نیتروژن (PFP_N) در محصول رتون برنج. ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 4: Comparison of the mean interaction effect of year × nitrogen × phosphorus on the relative nitrogen productivity factor (PFPN) in rice rotan crop. Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

و مصرف عناصر غذایی، مقدار عامل بهروری نسبی نیتروژن باید بیشتر از ۵۰ کیلوگرم در کیلوگرم نیتروژن مصرفی باشد (Dobermann and Fairhurst, 2000).

در شکل ۵ مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که راندمان زراعی

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × نیتروژن × فسفر بر راندمان زراعی کود نیتروژن (AE_N) در محصول رتون برنج. ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

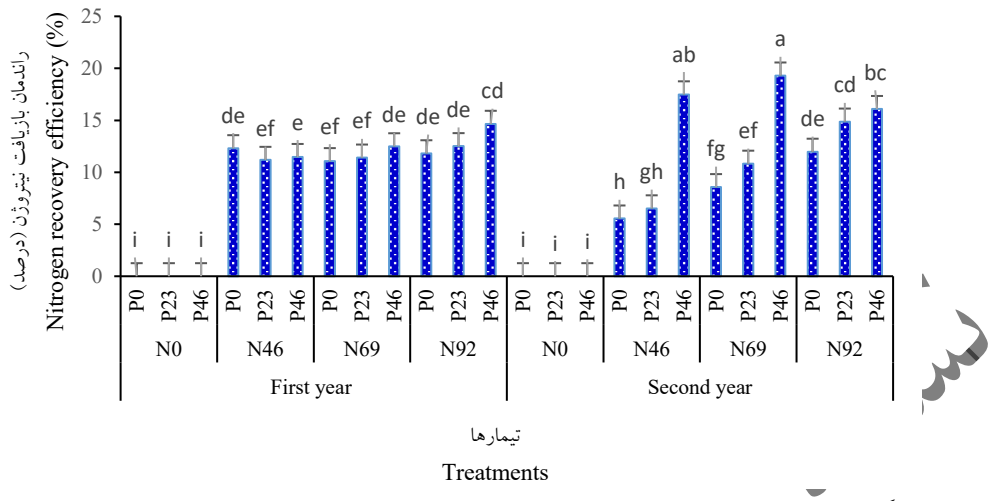
Fig. 5. Comparison of the mean interaction effect of year × nitrogen × phosphorus on the agronomic efficiency of nitrogen fertilizer (AEN) in rice ratoon crop. Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$)

کود نیتروژن در سال دوم بیشتر از سال اول بود. در سال دوم در تیمار N_{46} و سطح فسفر P_{46} بیشتر از بقیه تیمارها بود و در سال دوم در تیمار N_{92} و سطح فسفر P_{46} بیشتر از بقیه تیمارها بود. افزایش نسبی راندمان زراعی کود نیتروژن با افزایش مصرف فسفر مشاهده شد ولی با افزایش مصرف نیتروژن در سال دوم بعد از مصرف ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کاهش میزان راندمان زراعی کود نیتروژن در رتون مشاهده شد. راندمان زراعی نیتروژن (AE_N)، رایج‌ترین شاخص مورد استفاده توسط محققان کشاورزی است که این شاخص به‌صورت افزایش واحد در عملکرد اقتصادی به‌ازای هر واحد کود نیتروژن اعمال شده بیان می‌شود. کاهش راندمان زراعی نیتروژن با افزایش مقدار کود نیتروژن توسط طایفه و همکاران (۲۰۱۱) گزارش شد. پنگ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که عملکرد برنج حدود ۵ تا ۱۰ کیلوگرم برای هر کیلوگرم کود نیتروژن مصرف شده با شیوه‌های مدیریت کودی زراعین افزایش می‌یابد. راندمان زراعی نیتروژن در فصل خشک در مزارع کشاورزان در فیلیپین، ۱۵ تا ۱۸ کیلوگرم در کیلوگرم نیتروژن گزارش شد (Cassman et al., 2002).

مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۶) نشان داد که میزان راندمان بازیافت نیتروژن در سال اول آزمایش در تیمار مصرف ۹۲ کیلوگرم نیتروژن (N_{92}) و مصرف فسفر ۴۶ کیلوگرم فسفر در هکتار بیشتر بود. در سال دوم با افزایش نیتروژن تا مقدار ۶۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N_{69}) راندمان بازیافت افزایش یافت که با افزایش مصرف فسفر این افزایش بیشتر بود و با مصرف ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار راندمان بازیافت نیتروژن کاهش یافت. راندمان بازیافت نیتروژن را می‌توان با تفاوت در جذب نیتروژن (زیتوده هوایی محصول) در تیمار کودی و شاهد نسبت به مقدار نیتروژن اعمال شده توصیف کرد. با افزایش مصرف کودهای نیتروژنی در اتلاف و آبشویی و امکان خروج آن از منطقه جذب ریشه‌ها بیشتر خواهد بود (Rabiei et al., 2022). راندمان بازیافت نیتروژن در مدیریت مرسوم منطقه، به ندرت بیش از ۵۰ درصد است. راندمان بازیافت کود نیتروژن با شیوه مدیریت کشاورزان در آزمایشات مزارع شالیزاری آن‌ها، ۱۸ درصد گزارش شد (Wang et al., 2001). راندمان بازیافت کود نیتروژن کشاورزان در چهار استان چین، ۲۰ تا ۳۰ درصد گزارش شد (Peng et al., 2006).

مقایسه میانگین اثر متقابل نیتروژن × فسفر بر راندمان فیزیولوژیکی نیتروژن (شکل ۷) نشان داد که با مصرف ۴۶

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل سال × نیتروژن × فسفر بر راندمان بازیافت نیتروژن (RE_N) در محصول رتون برنج. ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

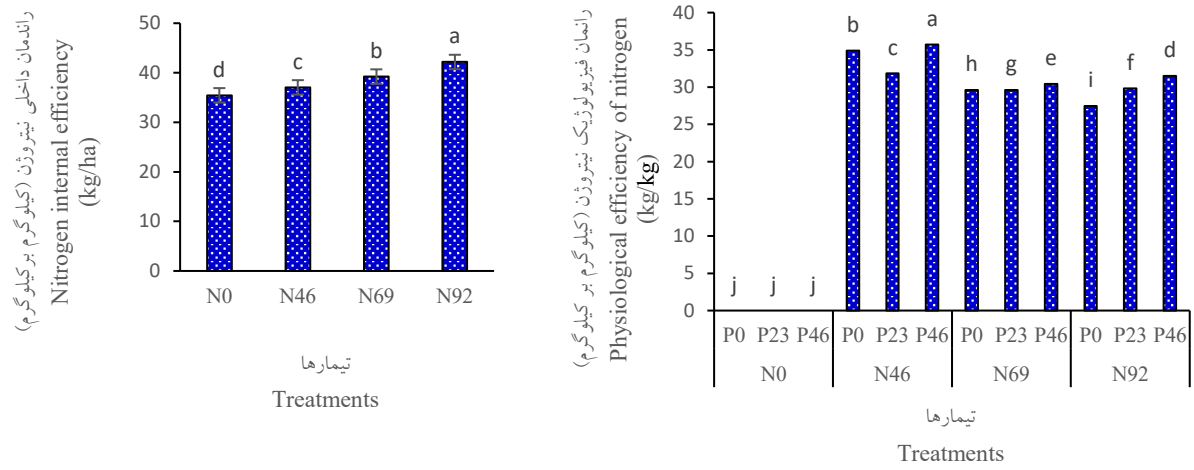
Fig. 6. Comparison of the mean interaction effect of year × nitrogen × phosphorus on nitrogen recovery efficiency (REN) in rice ratoon crop. Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N_{46}) در سطح فسفر P_{46} بیشترین راندمان فیزیولوژیکی نیتروژن در رتون ثبت شد. راندمان فیزیولوژیکی (PE_N)، به‌عنوان افزایش عملکرد در رابطه با افزایش جذب نیتروژن در زیتوده هوایی محصول تعریف می‌شود، به عبارتی دیگر بیانگر تبدیل مقدار مشخصی از عنصر غذایی کودی جذب شده به عملکرد اقتصادی می‌باشد. راندمان فیزیولوژیکی، به ویژگی‌های ژنوتیپی از قبیل شاخص برداشت و راندمان مصرف داخلی عنصر غذایی بستگی دارد که خود تحت تأثیر مدیریت زراعی و مدیریت تغذیه‌ای نیز قرار می‌گیرد (Mohammadian et al., 2019). راندمان فیزیولوژیک کود نیتروژن بسته به دیررس یا متوسط رس بودن رقم برنج بین ۳۵ تا ۹۴ می‌تواند متغیر باشد، اما راندمان فیزیولوژیک در برخی از ارقام تحت تأثیر مقادیر نیتروژن قرار نمی‌گیرد (Rabiei et al., 2022).

راندمان داخلی نیتروژن تنها تحت تأثیر معنی‌دار مصرف نیتروژن قرار گرفت، نتایج مقایسه میانگین (شکل ۷) نشان داد که بیشترین راندمان داخلی نیتروژن مربوط به تیمار N_{92} بود که نسبت به تیمار شاهد (N_0) ۱۸/۹۸ درصد افزایش نشان داد. راندمان استفاده داخلی نیتروژن (IEN)، یک معیار ساده از راندمان مصرف نیتروژن بر اساس عملکرد محصول و جذب نیتروژن است. راندمان استفاده داخلی نیتروژن به شرایط آب و هوایی کشاورزی، رقم محصول، شاخص برداشت، برهمکنش با سایر عناصر غذایی و عوامل دیگر مؤثر بر گلدهی و پرشدن دانه گیاه بستگی دارد. در مزارع کشاورزان، شاخص راندمان داخلی نیتروژن از ۵۰ تا ۶۰ کیلوگرم بر کیلوگرم می‌باشد (Dobermann and Fairhurst, 2000). عوامل مؤثر بر نیاز محصول به نیتروژن، متغیرهای اقلیمی مانند دمای محیط، بودجه خورشیدی، میزان بارندگی و رطوبت نسبی از عوامل خارجی مهم مؤثر بر سلامت محصول و همچنین تقاضای آن برای نیتروژن هستند. چگونگی تأثیر این متغیرهای ذکر شده و تعاملات آن‌ها بر عملکرد هر محصول یا توالی کشت، تا حد زیادی به شرایط آب و هوایی کشاورزی منطقه‌ای که محصول در آن کشت می‌شود، بستگی دارد (Yadav et al., 2017).

روش کشت رتون دارای راندمان اقتصادی بهتر و کیفیت برنج بالاتری را با مزایای صرفه‌جویی چندگانه مانند صرفه‌جویی در منابع بذر، نیروی کار و آب همراه با کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصدی در مصرف کود و کاهش ۴۰ درصدی در استفاده از آفت‌کش‌ها به همراه خواهد داشت. در نهایت، همه این جنبه‌های مفید می‌توانند منجر به کاهش هزینه‌ها، افزایش کارایی و در نتیجه

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر ساده نیتروژن بر راندمان داخلی نیتروژن (IE_N) و اثر متقابل نیتروژن × فسفر بر راندمان فیزیولوژیکی نیتروژن (PE_N) در محصول رتون برنج. ستون‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Fig. 7. Comparison of the mean simple effect of nitrogen on internal nitrogen efficiency (IEN) and the interaction effect of nitrogen × phosphorus on physiological nitrogen efficiency (PEN) in rice ratoon yield. Bars with similar letters are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

افزایش درآمد خالص کشاورز شوند. بنابراین، توسعه و گسترش فناوری راتونینگ برنج به مناطق مناسب کاشت در کشور، اهمیت مثبتی برای تضمین افزایش مداوم تولید غلات و افزایش بهره‌وری اقتصادی کشت محصولات غذایی برای افزایش درآمد کشاورز دارد (Lin, 2019).

نتیجه‌گیری

مدیریت کارآمد نیتروژن در سیستم‌های مدرن تولید محصولات کشاورزی برای بهبود پایداری بلندمدت ضروری است. مدیریت تلفیقی نیتروژن و کوددهی متعادل نه تنها عملکرد رتون برنج، بلکه راندمان مصرف نیتروژن سیستم تولید را نیز بهبود می‌بخشد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد برهمکنش‌های نیتروژن و فسفر باعث افزایش عملکرد دانه و راندمان مصرف نیتروژن شد که با افزایش جذب نیتروژن همراه بود. نتایج نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن و فسفر، میزان عملکرد دانه و کاه، جذب نیتروژن و فسفر در دانه و کاه در محصول رتون برنج افزایش یافت ولی راندمان بهره‌وری نسبی نیتروژن و راندمان زراعی نیتروژن با مصرف بیش از ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کاهش یافت که در سطح مصرف فسفر با افزایش مقدار کوددهی فسفر، افزایشی بوده است. در دو سال آزمایش پاسخ گیاه به مدیریت مصرف کود و راندمان مصرف نیتروژن تفاوت معنی‌دار داشت که به‌دلیل تغییرات محیطی و شاید موارد مدیریتی در کشت اول برنج مربوط باشد. مقادیر مختلف کودهای نیتروژن و فسفر با روش‌ها و زمان‌های مختلف مصرف، باید تحت شرایط مختلف اقلیمی و خاکی آزمایش شوند تا بهره‌وری سیستم‌های تولید رتون برنج بهینه شود.

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله به‌عنوان بخشی از طرح تحقیقاتی به شماره مصوب ۹۷۰۲۸۷ با حمایت موسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران منتشر شده است. نویسندگان از همه شرکت‌کنندگان در اجرای این پژوهش تشکر می‌کنند.

تضاد منافع

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

References **منابع مورد استفاده**

1. Bahar, F.A., and De Datta S.K., 1977. Prospects of increasing tropical rice production through ratooning. Agron. J. 69: 53–540. https://doi.org/10.2134/agronj1977.00021962006900040003x
2. Bilotto, F., Harrison, M.T., Migliorati, M.D.A. Christie, K.M., Rowlings, D.W., Grace, P.R., Smith, A.P., Rawnsley, R.P., Thorburn, P.J., Eckard, R.J., 2021. Can seasonal soil N mineralisation trends be leveraged to enhance pasture growth? Sci. Total Environ. 772, 145031. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145031
3. Cao, Y.S., Tian, Y.H., Yin, B., Zhu, Z.L., 2013. Assessment of ammonia volatilization from paddy fields under crop management practices aimed to increase grain yield and N efficiency. Field Crop Res. 147:23–31. WOS:000320094100003.
4. Cassman, K.G., Dobermann, A.R., Walters, D.T., 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency and nitrogen management. AMBIO: J. Human Environ. 31(2): 132–140. https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.2.132
5. Chu, G., Chen, S., Xu, C., Wang, D., Zhang, X., 2019. Agronomic and physiological performance of indica/japonica hybrid rice cultivar under low nitrogen conditions. Field Crop Res. 243, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107625
6. Deng, Y., Teng, W., Tong, Y., Chen, X., Zou, C., 2018. Phosphorus Efficiency Mechanisms of Two Wheat Cultivars as Affected by a Range of Phosphorus Levels in the Field. Front. Plant Sci. 9, 1–12. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01614
7. Ding, L.J., Cui, H.L., Nie, S.A., Long, X.E., Duan, G.L., Zhu, Y.G., 2019. Microbiomes inhabiting rice roots and rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, 95 (5). https://doi.org/10.1093/femsec/fiz040
8. Dobermann, A. and Fairhurst, T., 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. IRRI & PPI & PPIC, Makati City & Singapore.
9. Du, M., Zhang, W., Gao, J., Liu, M., Zhou, Y., He, D., Zhao, Y., Liu, S., 2022. Improvement of Root Characteristics Due to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Interactions Increases Rice (*Oryza sativa* L.) Yield and Nitrogen Use Efficiency. Agron. 12(1), 23. https://doi.org/10.3390/agronomy12010023.
10. Duncan, E.G.; O'Sullivan, C.A.; Roper, M.M.; Palta, J.; Whisson, K.; Peoples, M.B., 2018. Yield and Nitrogen Use Efficiency of Wheat Increased with Root Length and Biomass Due to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Interactions. J. Plant Nutr. Soil Sci. 181, 364–373. https://doi.org/10.1002/jpln.201700376
11. Emami, A., 1996. Plant Analysis Methods, Soil and Water Research Organization. Publication 982. Vol. 1: pp. 128. (In Persian with English abstract)
12. Fageria, N.K.; Moreira, A.; Moraes, L.A.C.; Moraes, M.F., 2014. Root Growth, Nutrient Uptake, and Nutrient-Use Efficiency by Roots of Tropical Legume Cover Crops as Influenced by Phosphorus Fertilization. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45, 555–569. https://doi.org/10.1080/00103624.2013.861908
13. FAOStat. Available online: https://www.fao.org/faostat/en/ (accessed on 8 November 2021).
14. Firouzi, S., Nikkhah, A., Aminpanah, H., 2018. Rice single cropping or ratooning agro- system: which one is more environment-friendly? Environ. Sci. Pollut. Res. 25, 32246–32256.
15. Godfrey, D., Hawkesford, M.J., Powers, S.J., Millar, S., Shewry, P.R., 2010. Effects of Crop Nutrition on Wheat Grain Composition and End Use Quality. J. Agric. Food Chem. 58, 3012–3021. https://doi.org/10.1021/jf9040645
16. Hosseinpour, S., Moghadam, H. and Pirdashti, H., 2021. Evaluation of Yield and Yield Components of Rice cv. 'Tarom Hashemi' in System of Rice Intensification (SRI) and Conventional Systems. *J. Agricul. Sci. Sustain. Produc. 31*(3), 329–340. https://doi.org/10.22034/saps.2021.36888.2376. (In Persian with English abstract)
17. Hu, R.F., Cao, J.M., Huang, J.K., Peng, S.B., Huang, J.L., Zhong, X.H., 2007. Farmer participatory testing of standard and modified site-specific nitrogen management for irrigated rice in China. Agr Syst. 94 (2):331–40. WOS:000246955100019.
18. IRRI. (2013). Standard Evaluation System (SES) for rice. 5th edition. Manila, Philippines. p. 55.
19. Lin, W.X. 2019. Developmental status and problems of rice ratooning. J. Integrat. Agricul. 18 (1): 246–247. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62568-2.
20. Liu, X., Wang, H., Zhou, J., Hu, F., Zhu, D., Chen, Z., liu, Y., 2016. Effect of N Fertilization Pattern on Rice Yield, N Use Efficiency and Fertilizer–N Fate in the Yangtze River Basin, China. PLOS ONE 11(11): e0166002. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166002
21. Liu, Y.L., Ge, T.D., van Groenigen, K.J., Yang, Y.H., Wang, P., Cheng, K., Zhu, Z.-K., Wang, J.K., Li, Y., Guggenberger, G., 2021. Rice paddy soils are a quantitatively important carbon store according to a global synthesis. Commun. Earth Environ. 2, 154. https://doi.org/10.1038/s43247-021-00229-0.
22. Luo, L., Li, N., Sha, W., Li, Z., Chai, R., Zhang, L., Zhang, C., Siddiqued, K.H.M., 2026. Novel phosphorus fertilizers enhance rice yield, efficiency, and environmental sustainability by optimizing soil phosphorus pools in paddy fields. Soil Tillage Res. 255: 106833. https://doi.org/10.1016/j.still.2025.106833
23. Metho, L.A., Hammes, P.S., de Beer, J.M., Groeneveld, H.T., 1997. Interaction between Cultivar and Soil Fertility on Grain Yield, Yield Components and Grain Nitrogen Content of Wheat. S. Afr. J. Plant Soil. 1997, 14, 158–164.

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]

https://doi.org/10.1080/02571862.1997.10635101
24. Mogollon, J.M., Bouwman, A.F., Beusen, A.H.W., Lassaletta, L., van Grinsven, H.J.M., Westhoek, H., 2021. More efficient P use can avoid cropland expansion. Nat. Food. 2, 509–518. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00303-y
25. Mohammadian, M., Astaraie, A., Lakzian, A., Emami, H., & Kavoos, M., 2019. Effect of nitrogen fertilizer source on grain yield and nitrogen use efficiency in rice (*Oryza sativa*) cv. Shiroudi. Iranian J. Crop Sci. 21(1), 82–95. https://doi.org/10.29252/abj.21.1.82 (In Persian with English abstract)
26. Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1980. Total Nitrogen Analysis of Soil and Plant Tissues. J. AOAC Int. 63, 770–778. https://doi.org/10.1093/jaoac/63.4.770
27. Peng S., Buresh, R.J. Huang, J., Yang, J., Zou, Y., Zhong, X., Wang, G., Zhang, F., 2006. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China, Field Crops Research. 96 (1): 37–47. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.05.004
28. Peng, S.B., Buresh, R.J., Huang, J.L., Zhong, X.H., Zou, Y.B., Yang, J.C., 2010. Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management. A review. Agron Sustain Dev. 30(3): 649–56. WOS:000281616000009.
29. Qi, D., Chen, Y., Harrison, M., Liu, K., He, H., Ji, C., Du, K., Wang, J., Sun, Y., Yu, G., Liu, Y., Zhao, Y., Zhang, J., Zhao, Q., Peng, T., 2024. Mowing and nitrogen management guidelines for superior rice ratoon yields. Field Crops Res. 308, 109302. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109302.
30. Rabiei, Z., Mohammadian Roshan, N., Sadeghi, S.M., Amiri, A., Druids, H.R., 2022. Effect of irrigation frequency and nitrogen and potassium fertilizers on yield, yield components and traits of Gilaneh variety rice. Iranian Agricul. Res. J. 20(2), 217–228. https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.72996.1098 (In Persian with English abstract)
31. Sheikh Nazari S., Niknejad, Y., Fallah, H., Bararitari, D., 2022. The effect of nitrogen application along with biochar and zinc nanoparticles on quantitative and qualitative characteristics of rice (Oryza sativa L.). Iranian Agricul. Res. J. 20(3), 349–361. https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75649.1150 (In Persian with English abstract)
32. Somaweera, K.A.T.N.; Suriyagoda, L.D.B.; Sirisena, D.N.; De Costa, W.A.J.M., 2016. Accumulation and Partitioning of Biomass, Nitrogen, Phosphorus and Potassium among Different Tissues during the Life Cycle of Rice Grown under Different Water Management Regimes. Plant Soil, 401, 169–183. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2541-2
33. Sun, H., Zhang, H., Powlson, D., Min, J., Shi, W., 2015. Rice production, nitrous oxide emission and ammonia volatilization as impacted by the nitrification inhibitor 2- chloro-6-(trichloromethyl)-pyridine. Field Crops Res. 173, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.012
34. Syers, J., Johnston, A., Curtin, D., 2008. Efficiency of soil and fertilizer p use. Reconciling changing concepts of soil P behaviour with agronomic information. Fao fertilizer and plant nutrition bulletin 18. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
35. Vaccari, D.A., 2009. P: a looming crisis. Sci. Am. 300, 42–47.
36. Wang, G., Dobermann, A., Witt, C., Sun Q. and Fu, R., 2001. Performance of site-specific nutrient management for irrigated rice in southeast China. Agron. J., 93: 869–878. https://doi.org/10.2134/agronj2001.934869x
37. Wang, S., Mo, J., Wang, Y., You, Q., Ren, T., Cong, R., Li, X., 2018. Dry Matter Accumulation and N, P, K Absorption and Utilization in Rice-Ratoon Rice System. Chinese J. Rice Sci., 32(1): 67–77. https://doi.org/10.16819/j.1001-7216.2018.7027
38. Wang, W., He, A., Jiang, G., Sun, H., Jiang, M., Man, J., Nie, L., 2020. Ratoon rice technology: A green and resource-efficient way for rice production. Advanc. Agron. 159, 135–167. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.006
39. Wei, H., Hu, L., Zhu, Y., Xu, D., Zheng, L., Chen, Z., Hu, Y., Cui, P., Guo, B., Dai, Q., 2018. Different Characteristics of Nutrient Absorption and Utilization between Inbred Japonica Super Rice and Inter-Sub-Specific Hybrid Super Rice. Field Crops Res. 218, 88–96. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.012
40. Yadav, M.R., Kumar, R., Parihar, C.M., Yadav, R.K., Jat, S.L., Ram, H., Jat, M.L., 2017. Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review. Agricul. Review. 38(1). https://doi.org/10.18805/ag.v0iOF.7306
41. Yang, M., Wei, D., Wang, Q., Wang, K., Cui, K.H., Huang, J.L., 2011. Dry Matter and Nitrogen Partitioning in Rice Genotypes Varying in Different Nitrogen Harvest Index. Philipp J Crop Sci. 36(3):1–9. WOS:000298513900002.
42. Zhang, H., Zhao, Q., Wang, Z., Wang, L., Li, X., Fan, Z., Zhang, Y., Li, J., Gao, X., Shi, J., Chen, F., 2021. Effects of Nitrogen Fertilizer on Photosynthetic Characteristics, Biomass, and Yield of Wheat under Different Shading Conditions. Agron. 11(10), 1989. https://doi.org/10.3390/agronomy11101989
43. Zhang, W., Duan, X., Yao, X., Liu, Q., Xiao, R., Zhang, X., Luo, X., Tang, Y., Yao, Y., Li, J., 2023. Progress and challenges of rice ratooning technology in Chongqing Municipality, China. Crop Environ. 2, 137–146. https://doi.org/10.1016/j.crope.2023.05.003
44. Zheng, W.; Liu, Z.; Zhang, M.; Shi, Y.; Zhu, Q.; Sun, Y.; Zhou, H.; Li, C.; Yang, Y.; Geng, J., 2017. Improving Crop Yields, Nitrogen Use Efficiencies, and Profits by Using Mixtures of Coated Controlled-Released and Uncoated Urea in a Wheat-Maize System. Field Crops Res. 205, 106–115. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.009
Zou, T., Zhang, X., Davidson, E.A., 2022. Global trends of cropland P use and sustainability challenges. Nature 611, 81–87. https://doi.org/10.1038/s41586-022-05220-z

[Downloaded from jspi.iut.ac.ir on 2026-06-03]