

Response of yield and nitrogen efficiency indices of rice (*Oryza sativa* L.) Shiroudi variety to the amount of nitrogen and radiation in different stages of growth

Nahid Fathi ^{*1}, Hemmtollah Pirdashti², Morteza Nasiri³, Esmail bakhshandeh⁴

¹ Corresponding author, Laboratory Expert, Deputy Director of the National Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran, Email: nahidfathi21@yahoo.com

² Professor, Dept. of Agronomy, Agricultural BioTechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir

³ Assistant Professor, Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran, Email: m_nasiri1@yahoo.com

⁴ Associate Professor, Genetics and Agricultural BioTechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, Email: bakhshandehesmail@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Full Paper

ABSTRACT

Background and objectives: Nitrogen (N) and radiation are important and effective factors on nitrogen uptake and rice yield. Dimming is a new phenomenon in climate change process, and few studies have been conducted on its effects on rice. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of reduced radiation at different growth stages on paddy yield (PY) and nitrogen use efficiency (NUE) under varying N application rates.

Materials and methods: The experiment was conducted in a split-split plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications in 2018. The study focused on the Shiroudi variety, a high-yielding cultivar commonly grown in Mazandaran Province, Iran. The treatments included four different levels of N (0, 46, 92, 138 Kg ha⁻¹) and three radiation levels (natural light, 30% shading, and 60% shading) applied during three stages of vegetative, reproductive, and grain filling stages using standard shade nets. At harvest stage, PY, N absorption in straw and grain, and NUE indices were measured using specific equations.

Results: The results indicated that with the reduction of N consumption efficiency, particularly recovery efficiency (REN) and N internal efficiency (IEN) decreased by up to 80% at the highest N application rate 138 kg of N fertilizer. In contrast, the amount of N harvest index (NHI), partial factor productivity (PFPN), agronomic efficiency (AEN) and physiological efficiency of N (PEN) increased up to 46 Kg ha⁻¹ under the conditions of reduced radiation condition but declined sharply thereafter. According to the findings, the highest PY was achieved with 9167 Kg ha⁻¹ in the treatment of 92 kg of N and natural light, whereas the lowest PY was observed with 4593 Kg ha⁻¹ in the treatment with no N and 60% shading during the reproductive and grain filling stage. protein content ranged from 11.7% in the treatment with 138 Kg of N fertilizer and 60% shading during the grain filling stage to 5.57% in the control treatment (no N

Article history:

Received: 2025-02-05

Accepted: 2025-05-17

Keywords:

Protein
Partial factor productivity
Residue efficiency
Shading

under natural light).

Conclusion: According to the results of this research, the increased N application under reduced radiation conditions leads to a decline in N efficiency indicators and PY. In the conditions of reduced radiation, increasing the application of N from 46 to 92 Kg ha⁻¹ resulted a reduction in agronomic efficiency and physiological efficiency by about 40%. Although based on the findings, optimal N application rate for Shiroudi variety under conditions of the research area was determined to be 92 Kg ha⁻¹, but under shading conditions, the treatment of 46 Kg ha⁻¹ of N performed better than the 92 Kg ha⁻¹ treatment. Therefore, optimizing N application based on solar radiation levels can reduced environmental pollution, lower production costs and enhance of PY.

Cite this article: Fathi, N., Pirdashti, H., Nasiri, M., bakhshandeh, E. 2025. Response of yield and nitrogen efficiency indicies of rice (*Oryza sativa* L.) Shiroudi variety to the amount of nitrogen and radiation in different stages of growth. *Crop Production Journal*, 18 (1), 133-154.



© The Author(s).

DOI: [10.22069/ejcp.2025.23290.2664](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23290.2664)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



پاسخ عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن برنج (*Oryza sativa* L.) رقم شیرودی به مقدار نیتروژن و تشعشع در مراحل مختلف رشد

ناهید فتحی^{۱*}، همت‌اله پیردشتی^۲، مرتضی نصیری^۳، اسماعیل بخشنده^۴

^۱ نویسنده مسئول، کارشناس مسئول آزمایشگاه، معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران.

رایانامه: nahidfathi21@yahoo.com

^۲ استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.

رایانامه: h.pirdashti@sanru.ac.ir

^۳ استادیار پژوهش، معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران. رایانامه: m_nasiri1@yahoo.com

^۴ دانشیار پژوهش، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.

رایانامه: bakhshandehesmail@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: نیتروژن و تشعشع از عوامل مهم و تأثیرگذار بر جذب نیتروژن و عملکرد برنج می‌باشند. کم‌نوری پدیده‌ای نو در فرآیند تغییر اقلیم است و مطالعات اندکی درخصوص اثرات آن بر برنج صورت گرفته است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات کاهش تشعشع در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در مقادیر مختلف نیتروژن اجرا شد. مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت کرت‌های دوبارخرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷ روی رقم برنج شیرودی، از ارقام پرمحصول رایج در مازندران، اجرا شد. چهار سطح مختلف نیتروژن با مقادیر ۰، ۴۶، ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار، تشعشع شامل نور طبیعی، ۳۰ و ۶۰ درصد سایه‌اندازی در سه مرحله رویشی، زایشی و پرشدن دانه با استفاده از توری‌های سایه‌انداز، تیمارهای آزمایش بودند. در مرحله برداشت عملکرد شلتوک، جذب نیتروژن در کاه و دانه اندازه‌گیری و با معادلات مشخص شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن محاسبه شد. یافته‌ها: نتایج نشان داد با کاهش تشعشع میزان کارایی مصرف نیتروژن به‌ویژه کارایی بازیافت ظاهری و کارایی داخلی نیتروژن تا سطح ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن تا ۸۰ درصد کمتر شد. درمقایسه، میزان شاخص برداشت نیتروژن، بهره‌وری نسبی، کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک نیتروژن تحت شرایط کاهش تشعشع تا ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش و سپس به شدت کاهش یافت. براساس یافته‌ها، بالاترین عملکرد شلتوک با ۹۱۶۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۹۲ کیلوگرم نیتروژن و نور طبیعی و کمترین میزان آن با ۴۵۹۳ کیلوگرم در هکتار در تیمار صفر نیتروژن و ۶۰ درصد سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه به دست آمد. میزان پروتئین با ۱۱/۷ درصد در تیمار ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ درصد سایه‌اندازی در مرحله
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۸	
واژه‌های کلیدی: سایه‌اندازی کارایی بازیافت پروتئین بهره‌وری نسبی	

پرشدن دانه تا ۵/۵۷ درصد در شاهد نیتروژن و نور طبیعی متغیر بود.

نتیجه‌گیری: باتوجه به نتایج این تحقیق افزایش میزان مصرف کود نیتروژن در شرایط کاهش تشعشع، کاهش شاخص‌های کارایی نیتروژن و عملکرد شلتوک را به‌همراه داشت. در شرایط کاهش تشعشع با افزایش مصرف نیتروژن از ۴۶ به ۹۲ کیلوگرم در هکتار میزان کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک حدود ۴۰ درصد کاهش نشان داد. براساس یافته‌ها میزان مطلوب کود اوره برای رقم شیروودی در شرایط منطقه پژوهش گرچه ۹۲ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد، اما در شرایط سایه‌اندازی تیمار ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن عملکرد بهتری نسبت به تیمار ۹۲ کیلوگرم داشت. لذا کاربرد بهینه کود نیتروژن بسته به میزان تشعشع خورشیدی منجر به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش عملکرد شلتوک خواهد شد.

استناد: فتحی، ناهید؛ پردشتی، همت‌اله؛ نصیری، مرتضی؛ بخشنده، اسماعیل. (۱۴۰۴). پاسخ عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن برنج (*Oryza sativa* L.) رقم شیروودی به مقدار نیتروژن و تشعشع در مراحل مختلف رشد. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۸ (۱)، ۱۵۴-۱۳۳.



© نویسندگان.

DOI: [10.22069/ejcp.2025.23290.2664](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23290.2664)

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

نیتروژن (N) یکی از عناصر غذایی مهم و حیاتی برای رشد و نمو برنج است. جذب این عنصر به ویژگی‌های مختلف از جمله کاربرد کود، شرایط خاک و عوامل محیطی بستگی دارد. به منظور پاسخگویی به تقاضای فزاینده مواد غذایی به‌ویژه محصولات راهبردی مانند برنج، مقدار زیادی کود نیتروژن در طول دوره رشد برای دستیابی به عملکرد بالاتر استفاده می‌شود (۱). هدررفت نیتروژن از سامانه کشت برنج باعث کاهش راندمان مصرف نیتروژن و بروز مشکلات زیست‌محیطی از جمله سرشارسازی^۱، سخت‌شدن خاک، باران اسیدی و اثر گلخانه‌ای می‌شود (۲). افزون بر این، نیتروژن اضافی حساسیت محصولات را نسبت به خوابیدگی و بیماری‌ها افزایش داده و افزایش عملکرد برنج را محدود می‌کند. بنابراین، بهبود کارایی مصرف نیتروژن برای دستیابی به عملکرد بالا ضروری است.

مصرف مناسب نیتروژن بهبود ساختار کانوبی گیاه، جذب بهتر تشعشع خورشید، آب و عناصر غذایی را به همراه دارد (۳). افزایش مصرف نیتروژن باعث کاهش کارایی زراعی، کارایی بازیافت و بهره‌وری نسبی نیتروژن می‌شود (۴). این نتیجه نشان می‌دهد که یک آستانه برای نیاز گیاهان به نیتروژن وجود دارد و مقدار بیش از اندازه نیتروژن توسط گیاه قابل جذب نبوده و ممکن است در گیاه یا خاک باقی بماند و یا در محیط هدر برود. با افزایش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن مقدار هدرروی و آبشویی آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. به دلیل حلالیت بسیار زیاد کود نیتروژن در آب، اتلاف و آبشویی کود نیتروژن و امکان خروج آن از منطقه جذب ریشه‌ها بیشتر می‌شود و کارایی بازیافت ظاهری آن کاهش می‌یابد (۵). کاهش مصرف کودهای شیمیایی از طریق

کم‌شدن میزان آبشویی آن‌ها موجب کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود و در نتیجه در تداوم تولید و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی و طبیعی بسیار اهمیت خواهد داشت (۶). ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که کاربرد بیش از اندازه نیتروژن میزان پرشدن دانه را کاهش می‌دهد. پوکی دانه‌های تحتانی و تأخیر در زمان پرشدن 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 پرکردن دانه شود (۷).

از طرفی کم‌نوری جهانی^۲، پدیده‌ای نو از تغییر اقلیم است که در بسیاری از مناطق جهان در آسیا، آفریقا، اروپا و آمریکای شمالی مشاهده شده است، اما کمتر به این پارامتر تغییر اقلیم پرداخته و توجه شده است (۸). اگر چه علت اصلی این کاهش در میزان تشعشع هنوز به درستی مشخص نشده است، اما دلیل احتمالی این کاهش را به تغییر در میزان گازهای گلخانه‌ای و انتقال آن‌ها در اتمسفر همچنین افزایش غلظت آئروسول‌ها (بخار آب و گازهای گلخانه‌ای) نسبت داده‌اند (۹). آمار ده‌ساله هواشناسی در مازندران نیز نشان از کاهش میزان تشعشع دریافتی خورشیدی داشته است (۱۰). پاسخ گیاهان در هنگام تنش تشعشع پایین در شرایطی که مقدار نیتروژن خاک در حد مطلوب باشد، به دلیل استفاده از نیتروژن فتوسنتزی اشباع‌شده در نور زیاد، افزایش می‌یابد (۱۱). گلدانی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند اعمال محدودیت نوری در گیاه ذرت موجب شد که به ترتیب بیشترین و کمترین میزان کلروفیل در تشعشع پایین و نور کامل خورشید (شاهد) حاصل شود (۱۲).

² Global dimming

¹ Eutrophication

بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر میزان تشعشع خورشیدی در مراحل مختلف رشد برنج بر عملکرد شلتوک و شاخص‌های مرتبط با کارایی مصرف نیتروژن در رقم شیرودی و در مقادیر متفاوت کود نیتروژن طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی موسسه 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 ۱۳۹۷ انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خردشده (اسپلیت اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی کاربرد نیتروژن از منبع اوره با ۴۶ درصد نیتروژن خالص در چهار سطح صفر (شاهد)، ۴۶ (سطح کم)، ۹۲ (مقدار مطلوب) و ۱۳۸ (زیاد) کیلوگرم در هکتار بود. عامل فرعی، سایه‌اندازی در سه مرحله رشدی شامل رویشی: از مرحله گیاهچه‌ای تا مرحله تشکیل خوشه اولیه (BBCH:۲۱-۳۹)، زایشی: از مرحله تشکیل خوشه اولیه تا ۵۰ درصد گلدهی (BBCH:۴۱-۶۳) و پرشدن دانه: از ۵۰ درصد گلدهی تا رسیدگی کامل (BBCH:۶۵-۸۹) بر مبنای مقیاس BBCH (۱۷) و عامل فرعی فرعی سایه‌اندازی در سه سطح نور طبیعی، ۳۰ و ۶۰ درصد سایه‌اندازی بود. رقم برنج مورد بررسی رقم شیرودی بود، که بذر آن از مؤسسه تحقیقات برنج کشور-معاونت مازندران (آمل) تهیه شد. این رقم از ارقام پرمحصول اصلاح‌شده با سطح زیرکشت بالا در استان مازندران با متوسط عملکرد ۷/۵ تن در هکتار و دوره رشد ۱۲۵ روز است. میزان مطلوب کود

کود نیتروژن در مرحله رشد به تنظیم ساختار کانوبی برنج و بهبود استفاده از کارایی تشعشع کمک خواهد کرد (۱۳). مصرف کود نیتروژن با تشکیل کانوبی کافی و افزایش جمعیت گیاهی برای استفاده کامل از تشعشع خورشیدی و مواد مغذی خاک تأثیرگذار است. کارایی مصرف تشعشع^۱، (RUE) تحت تأثیر عنصر نیتروژن، خشکی و تشعشع فصلی محیط می‌باشد. در برنج تغذیه بهتر، کارایی مصرف تشعشع را بهبود می‌بخشد، درحالی‌که مصرف کمتر نیتروژن موجب کاهش آن می‌شود (۱۳). نور کافی، راندمان انتقال نیتروژن از ساقه و برگ به دانه را تسریع کرده و سپس محتوای نیتروژن در دانه را افزایش می‌دهد (۱۴). تشعشع پایین همچنین مقدار نیتروژن انتقال‌یافته از ساقه و غلاف به خوشه‌ها را کاهش داده و باعث افزایش درصد نیتروژن در برگ‌ها و غلاف‌ها و همچنین کاهش مقدار آن در خوشه‌ها در مقایسه با مقدار کل نیتروژن اندام هوایی می‌شود. همچنین سایه‌اندازی باعث کاهش بهره‌وری نسبی نیتروژن و افزایش شاخص برداشت نیتروژن می‌شود (۱۵). روزهای ابری طی مراحل بحرانی رشد برنج مانند مرحله گلدهی و یا پرشدن دانه اغلب موجب خسارات مهمی بر عملکرد برنج می‌شود (۱۶). از آنجایی‌که مدیریت نامناسب مصرف نیتروژن آسیب‌های ناشی از تشعشع پایین را در بوم‌نظام‌های برنج افزایش می‌دهد، میزان این خسارت را می‌توان با مدیریت صحیح به‌ویژه مدیریت مصرف کود نیتروژنه کاهش داد. (۱۶).

قابلیت دسترسی به نیتروژن و تشعشع خورشیدی دو عامل کلیدی مؤثر در رشدونمو برنج، عملکرد شلتوک و میزان عناصر غذایی در برگ و دانه برنج می‌باشند. اما برهم‌کنش این دو عامل بر تجمع نیتروژن کل و عملکرد برنج به‌طور کامل درک نشده است.

¹ Radiation use efficiency

نیتروژن از منبع اوره برای این رقم نیز ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (۱۸). قبل از آماده‌سازی زمین، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه آزمایش برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و نیاز عناصر غذایی انجام شد (جدول ۱). بذره‌های رقم شیرودی پس از ضدعفونی در محلول کاربوکسی‌تیرام دو در هزار به مدت ۲۴ ساعت خیسانده و سپس جوانه‌دار شدند. در ادامه روز ۲۵ فروردین در خزانه سستی به میزان ۱۵۰ گرم در هر مترمربع بذرپاشی و برای جلوگیری از خسارت سرما با پلاستیک پوشانده شدند. زمین اصلی با انجام شخم اول در نیمه اول فروردین، شخم دوم در اواسط اردیبهشت و شخم سوم گلخراشی یا پیش‌کاول دو روز قبل از نشاکاری آماده شد. بعد از اینکه نشاها به مرحله سه تا چهار برگگی و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری رسیدند به تعداد سه بوته در هر کپه و با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی‌متر مربع (۱۸) در کرت‌های فرعی فرعی به اندازه نه مترمربع در تاریخ ۳۱ اردیبهشت نشا شدند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the soil in the experimental field

بافت texture	شن Sand	سیلت Silt (%)	رسی Clay	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن کل Total nitrogen (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon O.C (%)	مواد خنثی‌شونده Neutralizing agents T.N.V (%)	واکنش خاک Soil reaction (pH)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)
رسی Clay	30	30	40	118	8.6	0.2	3.4	36.4	7.0	0.86

داده‌های هواشناسی طی دوره رشد شامل دماهای بیشینه و کمینه (درجه‌سانتی‌گراد)، رطوبت نسبی (درصد)، شدت تشعشع (مگاژول بر متر مربع در روز) و بارندگی (میلی‌متر) به صورت ماهانه از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی جمع‌آوری شد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین ماهانه دمای کمینه، بیشینه، رطوبت نسبی، تشعشع خورشیدی و مجموع بارندگی در دوره آزمایش

Table 2. Weather parameters including minimum and maximum air temperatures, relative humidity, solar radiation and rainfall during the growth stage

ماه Month	دمای کمینه Minimum temperature (°C)	دمای بیشینه Maximum temperature (°C)	رطوبت نسبی Relative Humidity (%)	مجموع بارندگی Precipitation (mm)	تشعشع خورشیدی Solar radiation (MJ. m ⁻² . d ⁻¹)
فروردین March	12.1	18.0	78.0	41.4	14.0
اردیبهشت April	15.7	24.9	68.0	6.4	17.9
خرداد May	19.9	28.0	76.0	13.4	17.7
تیر June	23.3	33.8	77.0	6.8	21.5
مرداد July	24.1	32.7	79.0	27.0	15.8
شهریور Aug	21.4	30.5	80.0	4.5	15.8

اعمال گردید. میزان سایه‌دهی با استفاده از تورهای سایه‌انداز (از جنس فیبر و دارای پوشش پلی‌اتیلن با درصد کاهش نور متفاوت) تنظیم شد. میزان نور عبوری از توری‌ها در طی فصل با اندازه‌گیری شدت تشعشع از بالا و پایین بوته با دستگاه PAR/LAI CEPTOMETER مدل Accu PAR LP80 پایش گردید. برای تعیین عملکرد شلتوک در مرحله رسیدگی کامل سه مترمربع از هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها برداشت و بعد از خرم‌نکوبی، عملکرد با رطوبت ۱۴ درصد محاسبه گردید. از دانه و کاه هر کرت نمونه تهیه و محتوای نیتروژن آن‌ها به روش کج‌دال با دستگاه هانون مدل SH-420F و K98-40 اندازه‌گیری شد. درصد پروتئین از رابطه میزان نیتروژن دانه در ضریب ۵/۹۵ تعیین شد (۱۹). شاخص‌های کارایی نیتروژن براساس معادلات ۱-۳ تا ۶-۳ محاسبه شد (جدول ۳). در یک تعریف ساده کارایی نسبت خروجی (عملکرد اقتصادی) به ورودی (کودها) برای یک فرآیند را نشان می‌دهد (۲۰).

کود اوره به عنوان منبع نیتروژن در سه مرحله ۵۰ درصد پایه، ۲۵ درصد ۲۰ روز (BBCH:۲۵) و ۲۵ درصد باقیمانده ۴۵ روز بعد از نشاکاری (BBCH:۳۷) به کرت‌ها اضافه شد. آبیاری مزرعه با روش آبیاری تناوبی با آب چاه انجام شد. برای جلوگیری از نشت آب همراه با کود بین کرت‌های اصلی تیمارهای کودی مرز گرفته و دو طرف مرز به‌طور کامل تا عمق ۱۵ سانتی‌متر زیر سطح خاک با نایلون پوشانده شد. طبق توصیه مؤسسه تحقیقات برنج کشور مبارزه با آفت کرم ساقه‌خوار در مرحله زایشی از آفت‌کش دیازینون گرانوله ۱۰ درصد به میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار و بیماری سوختگی غلاف (شیت‌بلایت) با استفاده از قارچ‌کش تیلت به نسبت دو در هزار استفاده شد. همچنین علف‌های هرز با دو روش دستی (وجین) در دو مرحله ۲۰ و ۳۵ روز پس از نشاکاری و مبارزه شیمیایی با علف‌کش کلین‌وید (بیس‌پیریپاک سدیم) به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار کنترل شدند. بیست روز بعد از نشاکاری تیمار سایه‌اندازی

جدول ۳- معادلات مربوط به کارایی مصرف نیتروژن

Table 3. Equations of nitrogen efficiency indices

ردیف	نام شاخص	علامت اختصاری	معادله	واحد
[رابطه ۱-۳]	بهره‌وری نسبی نیتروژن	PFPN	$GY+N/FN$	کیلوگرم/کیلوگرم
[رابطه ۲-۳]	کارایی زراعی نیتروژن	AEN	$(GY+N - GY0N) / FN$	کیلوگرم/کیلوگرم
[رابطه ۳-۳]	کارایی بازیافت نیتروژن	REN	$(UN+N - UN0N) / FN$	درصد
[رابطه ۴-۳]	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن	PEN	$(GY+N - GY0N) / (UN+N - UN0N)$	کیلوگرم/کیلوگرم
[رابطه ۵-۳]	کارایی داخلی نیتروژن	IEN	GY/UN	درصد
[رابطه ۶-۳]	شاخص برداشت نیتروژن	HIN	(GN/ UN)	درصد

که در این رابطه‌ها $GY+N$ عملکرد شلتوک در تیمار با مصرف کود (کیلوگرم در هکتار)، $GY0N$ عملکرد شلتوک در تیمار بدون مصرف کود، $UN+N$ و $UN0N$ به ترتیب میزان جذب کل نیتروژن زیست‌توده اندام‌های هوایی در مرحله رسیدن فیزیولوژیک در کرت‌هایی که کود نیتروژن دریافت کرده‌اند و کرت بدون مصرف کود نیتروژن بر حسب کیلوگرم در هکتار، FN مقدار کود نیتروژن مصرف شده (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. GY عملکرد شلتوک هر تیمار بر حسب کیلوگرم در هکتار GN نیتروژن موجود در شلتوک و UN جذب کل نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) هر تیمار است (۲۱).

نیتروژن اثر معنی‌داری نداشت. همچنین برهم‌کنش معنی‌داری بین مقدار نیتروژن و درصد سایه‌اندازی ($P < 0.01$)، مرحله و درصد سایه‌اندازی ($P < 0.01$)، مقدار نیتروژن در مرحله سایه‌اندازی بر بهره‌وری نسبی، کارایی داخلی، کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک مشاهده شد. نتایج نشان داد شاخص برداشت نیتروژن تحت تأثیر برهم‌کنش نیتروژن در مرحله سایه‌اندازی قرار نگرفت. اثر سه‌گانه مقدار نیتروژن $\times$ مرحله سایه‌اندازی $\times$ درصد سایه‌اندازی جز بر کارایی داخلی و کارایی بازیافت نیتروژن بر باقی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۴).

پس از ثبت و آزمون نرمال بودن داده‌ها با روش کولموگروف-اسمیرنوف تجزیه واریانس داده‌ها و آنالیز آماری با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح آماری پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به کارایی‌ها (جدول ۴) نشان داد اثر ساده مقدار نیتروژن، مرحله و درصد سایه‌اندازی بر شاخص برداشت نیتروژن، بهره‌وری نسبی، کارایی داخلی و کارایی زراعی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. سایه‌اندازی بر کارایی بازیافت

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تشعشع و نیتروژن در مراحل مختلف رشدی بر عملکرد و شاخص‌های کارایی نیتروژن رقم شیرودی

Table 4. Variance analysis of radiation and nitrogen effect in different developmental stages on paddy yield and nitrogen efficiency indices consumption in rice (cv. 'Shiroudi').

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	شاخص برداشت نیتروژن Harvest Index	کارایی فیزیولوژیک نیتروژن Physiologic Efficiency	کارایی داخلی نیتروژن Internal Efficiency	عملکرد شلتوک Paddy yield	درصد پروتئین Protein percent
بلوک (R)	2	17.90	2.25	1.71	1340.1	0.14
مقدار کود (N) Amounts of N fertilizer (N)	3	175.2**	710.4**	3403.2**	81852.2**	32.28 **
اشتباه (E _a)	6	14.03	0.74	6.02	386.1	0.01
مرحله سایه‌اندازی (G)	2	245.09**	144.15**	151.75**	103856.2**	52.38 **
Shading stage N $\times$ G	6	9.78 ns	83.67**	75.67**	156482.3**	0.10 **
اشتباه (E _b)	24	4.50	1.64	12.36	1542.4	0.02
درصد سایه‌اندازی (S) Shading percent	1	181.20**	508.75**	545.99**	825419.5 **	102.24 **
N $\times$ S	3	16.58*	81.79**	77.27**	1748906.0**	0.18 **
G $\times$ S	2	38.22**	13.43**	87.18**	1748624.0**	21.12 **
N $\times$ G $\times$ S	6	31.67**	3.88**	35.87*	92884.1**	0.26 **
اشتباه (E _c)	48	4.05	3.15	9.93	1624.7	0.02
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		2.93	18.04	5.51	8.4	0.94

ادامه جدول ۴

Cont table 4

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کارایی زراعی نیتروژن Agronomic Efficiency	بهره‌وری نسبی نیتروژن Partial Factor Productivity	کارایی بازیافت نیتروژن Residue Efficiency
بلوک (R)	2	0.5	2.09	0.01
مقدار کود (N) Amounts of N fertilizer (N)	2	11923.2**	76249.0**	2.76**
اشتباه (E _a)	4	0.10	0.27	0.003
مرحله سایه‌اندازی (G) Shading stage	2	49.36**	1163.2**	0.02*
N × G	4	63.44**	230.17**	0.07**
اشتباه (E _b)	18	0.84	0.17	0.01
درصد سایه‌اندازی (S) Shading percent	1	36.91**	1970.36**	0.03 ^{ns}
N × S	2	148.77**	208.12**	0.02**
G × S	2	58.18**	54.95**	0.04 ^{ns}
N × G × S	4	12.30**	12.38**	0.02 ^{ns}
اشتباه (E _c)	36	0.96	3.01	0.015
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		10.11	1.73	13.50

*، **، به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

شاخص برداشت نیتروژن^۱ (NHI): مقایسه

میانگین داده‌ها در جدول ۵ نشان از تأثیر معنی‌دار سایه‌اندازی در تمام مراحل رشدی و در همه سطوح نیتروژن بر شاخص برداشت نیتروژن داشت. داده‌های جدول مقایسه میانگین نشان داد با کاهش تشعشع در مرحله رویشی، زایشی و پرشدن دانه در سطح صفر نیتروژن میزان شاخص برداشت نیتروژن به ترتیب ۱۰، ۱۳ و ۱۱ درصد کمتر شد. با افزایش سطح نیتروژن نیز میزان شاخص برداشت تا سطح ۴۶ روند افزایشی و سپس تا سطح ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم روند کاهشی (۹ درصد) داشت. براساس یافته‌ها بیشترین میزان شاخص برداشت نیتروژن با ۷۳/۱ درصد مربوط به تیمار ۴۶ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در نور

¹ Nitrogen harvest index

طبیعی و کمترین میزان آن با ۵۳/۳ درصد در تیمار ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۶۰ درصد سایه‌اندازی در مرحله زایشی مشاهده شد (جدول ۵). مقدار شاخص برداشت نیتروژن به صورت بخشی از نیتروژن کل در دانه از طریق تجمع نیتروژن در دانه تقسیم بر نیتروژن تجمع یافته در دانه به علاوه کاه محاسبه می‌شود. شاخص برداشت نیتروژن، یک شاخص مهم در تعریف عملکرد برنج است زیرا ارتباط مثبتی با عملکرد شلتوک دارد (۱). در آزمایش نایاک و همکاران (۲۰۱۵) بین شاخص برداشت نیتروژن و سطوح نیتروژن رابطه منفی و قوی وجود داشت. بیشترین شاخص برداشت نیتروژن در تیمار بدون کاربرد نیتروژن، به دست آمد که در مقایسه با شاخص برداشت نیتروژن تیمار کودی بلافاصله پس از آن یعنی تیمار ۴۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار برابر بود (۲۲).

شاخص برداشت نیتروژن از یک گونه به گونه دیگر و در میان ژنوتیپ‌های مختلف یک گونه نیز متفاوت است. این صفت برای انتخاب ژنوتیپ‌های زراعی برای عملکرد بیشتر مهم است. فاجریا (۲۰۱۳) گزارش داد که مقدار شاخص برداشت نیتروژن در برنج‌های غرقابی از ۰/۵۳ تا ۰/۶۴ متغیر بوده و میانگین آن معادل ۰/۶۰ می‌باشد (۲۳). براساس نتایج وانگ و همکاران (۲۰۲۲) میزان شاخص برداشت نیتروژن در تیمار شاهد نیتروژن در مقایسه با تیمار دیگر نیتروژن، فقط در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن افزایش نشان داد که با نتایج مطالعه

حاضر مطابقت داشت. نتایج نشان داد که افزایش میزان مصرف نیتروژن باعث کاهش انتقال نیتروژن از ساقه و برگ به دانه و در نهایت کاهش شاخص برداشت نیتروژن می‌شود (۴). تشعشع پایین همچنین مقدار نیتروژن (N) انتقال یافته از ساقه و غلاف به خوشه‌ها را کاهش داده و با افزایش درصد نیتروژن در برگ‌ها و غلاف‌ها و همچنین کاهش مقدار آن در خوشه‌ها موجب کاهش شاخص برداشت نیتروژن می‌شود (۱۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص برداشت نیتروژن (درصد) تحت برهم‌کنش مرحله سایه‌اندازی، درصد سایه‌اندازی و مقدار نیتروژن
Table 5. Mean comparison of nitrogen harvest index (%) under the interaction of shading stage, shading percent and amount of nitrogen

مرحله سایه‌اندازی Shading stage	سایه‌اندازی Shading (%)	مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen amount (Kg/ha)			
		0	46	92	138
control	شاهد	69.2 ^a ± 0.32 (a)	73.1 ^{ab} ± 0.90 (a)	69.3 ^b ± 2.1 (a)	66.7 ^b ± 1.49 (a)
رویشی	30	64.3 ^b ± 1.01 (b)	69.0 ^c ± 1.16 (b)	67.6 ^c ± 0.65 (a)	64.8 ^e ± 2.13 (a)
vegetative	60	59.1 ^c ± 0.86 (c)	65.5 ^d ± 1.82 (c)	59.2 ^d ± 0.52 (b)	62.7 ^d ± 0.73 (b)
زایشی	30	57.6 ^d ± 1.38 (b)	63.3 ^e ± 1.67 (b)	59.6 ^d ± 1.28 (b)	64.1 ^c ± 0.76 (a)
reproductive	60	55.4 ^e ± 0.42 (b)	61.7 ^f ± 0.78 (b)	54.7 ^e ± 0.86 (c)	53.3 ^g ± 1.01 (b)
پرشیدن دانه	30	57.1 ^d ± 0.53 (b)	61.4 ^f ± 0.88 (b)	59.2 ^d ± 0.67 (b)	65.6 ^a ± 1.32 (a)
maturity	60	58.3 ^c ± 0.35 (b)	60.8 ^d ± 1.39 (b)	53.3 ^e ± 1.51 (c)	56.3 ^f ± 0.65 (b)
برش‌دهی اثرات	Slicing effect	8.14 **	2.52 **	6.18 **	1.86 **

*میانگین‌های (± خطای معیار) دارای حرف یا حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. حروف داخل پرانتز بیانگر مقایسه میانگین با برش‌دهی کود نیتروژن است.

*Means (± standard error) with letter or letters in common in each fertilization treatment are not significantly different from each other at the five percent probability level based on LSD test. The letters in the parentheses indicate the mean comparison with nitrogen fertilizer slicing.

مشاهده می‌شود با کاهش تشعشع در مراحل رویشی، زایشی و پرشدن دانه در همه سطوح نیتروژن بهره‌وری نسبی نیتروژن به ترتیب حدود ۱۵، ۲۸ و ۳۳ درصد کمتر شد. همچنین طبق داده‌های جدول کمترین میزان بهره‌وری نسبی نیتروژن با عدد ۳۵ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده مربوط به تیمار ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ درصد سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه بود. همچنین بیشترین میزان

بهره‌وری نسبی نیتروژن^۱ (PFPN): مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۶) نشان داد میزان بهره‌وری نسبی نیتروژن با کاهش تشعشع به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش سطح نیتروژن تا ۱۳۸ کیلوگرم در شرایط ۶۰ درصد سایه‌اندازی خصوصاً در مرحله زایشی میزان کاهش بهره‌وری نسبی نیتروژن تا ۷۰ درصد هم رسید. با نگاهی به داده‌های جدول ۶

¹ Nitrogen partial factor productivity

آن را به دست آورد. با این حال، نگرانی‌های زیست‌محیطی حائز اهمیت خواهد بود، زیرا رشد ضعیف محصول به معنای بقایای سطحی و رشد ریشه کمتر برای ساخت مواد آلی خاک است (۱). هرچه به طرف بالای منحنی پاسخ حرکت می‌کنیم افزایش عملکرد با شدت کمتری ادامه داشته و کارایی مصرف عناصر غذایی به‌طور مشخص کمتر می‌شود (۲۴).

بهره‌وری نسبی نیتروژن با ۱۸۳ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده با کاربرد ۴۶ کیلوگرم کود نیتروژن در شرایط نور طبیعی مشاهده شد (جدول ۶). با کم شدن عملکرد گیاه کارایی مصرف عناصر غذایی بیشتر می‌شود. در این شرایط مصرف هر مقدار کم عنصر غذایی می‌تواند پاسخ زیاد عملکرد را در پی داشته باشد. اگر تنها کارایی مصرف عناصر غذایی هدف باشد، در بخش پایین‌تر منحنی عملکرد می‌توان

جدول ۶- مقایسه میانگین بهره‌وری نسبی نیتروژن (کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده) تحت برهم‌کنش مرحله سایه‌اندازی، درصد سایه‌اندازی و مقدار نیتروژن

مرحله سایه‌اندازی Shading stage	سایه‌اندازی Shading (%)	مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen amount (Kg/ha)		
		46	92	138
شاهد	control	183.05 ^a ± 0.14 ^(a)	103.01 ^a ± 1.03 ^(a)	57.85 ^a ± 0.09 ^(a)
رویشی	30	165.05 ^d ± 0.55 ^(b)	81.60 ^d ± 0.06 ^(b)	49.19 ^d ± 0.02 ^(b)
vegetative	60	152.88 ^f ± 0.06 ^(c)	74.25 ^f ± 0.03 ^(c)	44.46 ^g ± 0.11 ^(c)
زایشی	30	154.38 ^e ± 0.24 ^(b)	75.35 ^e ± 0.07 ^(b)	48.04 ^e ± 0.03 ^(b)
reproductive	60	129.76 ^h ± 0.22 ^(c)	63.20 ^h ± 0.13 ^(c)	41.63 ^h ± 0.04 ^(c)
پرسیدن دانه	30	140.78 ^g ± 0.21 ^(b)	69.68 ^g ± 0.05 ^(b)	45.92 ^f ± 0.01 ^(b)
maturity	60	118.59 ⁱ ± 0.21 ^(c)	58.71 ⁱ ± 0.01 ^(c)	37.63 ⁱ ± 0.27 ^(c)
Slicing effect	برش‌دهی اثرات	1529.77 ^{**}	859.45 ^{**}	150.69 ^{**}

*میانگین‌های (± خطای معیار) دارای حرف یا حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. حروف داخل پرانتز بیانگر مقایسه میانگین با برش‌دهی کود نیتروژن است.

*Means (± standard error) with letter or letters in common in each fertilization treatment are not significantly different from each other at the five percent probability level based on LSD test. The letters in the parentheses indicate the mean comparison with nitrogen fertilizer slicing.

رشدی در سطوح متفاوت نیتروژن میزان کارایی داخلی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. میزان این کاهش در مراحل رشدی رویشی، زایشی و پرسیدن دانه به ترتیب هشت، شش و ۳۰ درصد بود. همچنین با افزایش سطح نیتروژن تا ۴۵ درصد مقدار کارایی داخلی نیتروژن کاهش یافت. با نگاهی به جدول ۷ بیشترین میزان کارایی داخلی با ۷۰/۰۶ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده متعلق به تیمار سطح صفر نیتروژن و نور طبیعی و کمترین میزان آن با ۳۱/۶ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در تیمار

بهره‌وری نسبی نیتروژن را می‌توان از طریق افزایش میزان جذب و استفاده از منابع نیتروژن خاک و افزایش کارایی زراعی کود نیتروژن مصرفی افزایش داد (۱). همچنین نتایج وانگ و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان داد دریافت نور کم و سایه‌اندازی موجب کاهش میزان بهره‌وری نسبی نیتروژن می‌شود (۴).

کارایی داخلی نیتروژن^۱ (IEN): نتایج برهم‌کنش مقدار نیتروژن در مرحله و درصد سایه‌اندازی (جدول ۷) نشان داد با کاهش تشعشع در مراحل مختلف

¹ Nitrogen internal efficiency

کودی ۱۳۸ کیلوگرم و ۶۰ درصد سایه‌اندازی در مرحله زایشی مشاهده شد. جدول ۷- مقایسه میانگین کارایی داخلی نیتروژن (کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده) تحت برهم‌کنش مرحله سایه‌اندازی، درصد سایه‌اندازی و مقدار نیتروژن

Table 7. Mean comparison of nitrogen internal efficiency (kg/kg) under the interaction of shading stage, shading percent and amount of nitrogen

مرحله سایه‌اندازی Shading stage	سایه‌اندازی Shading (%)	مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen amount (Kg/ha)			
		0	46	92	138
control	شاهد	70.06 ^a ± 4.51 ^(a)	60.17 ^a ± 0.73 ^(a)	48.84 ^a ± 0.62 ^(a)	39.22 ^a ± 0.91 ^(a)
رویشی	30	58.79 ^e ± 1.08 ^(b)	53.25 ^c ± 1.35 ^(ab)	40.23 ^c ± 0.77 ^(b)	33.55 ^d ± 1.85 ^(a)
vegetative	60	57.66 ^e ± 2.99 ^(b)	49.38 ^d ± 1.82 ^(b)	38.65 ^d ± 0.66 ^(b)	33.49 ^d ± 0.42 ^(a)
زایشی	30	64.02 ^b ± 2.63 ^(b)	58.45 ^d ± 1.24 ^(b)	46.68 ^b ± 1.43 ^(a)	31.77 ^e ± 0.34 ^(b)
reproductive	60	60.15 ^f ± 2.30 ^(c)	40.62 ^e ± 0.69 ^(c)	35.36 ^e ± 1.28 ^(b)	31.65 ^e ± 0.59 ^(b)
پرشدن دانه	30	60.37 ^d ± 4.39 ^(b)	51.72 ^e ± 1.91 ^(b)	39.29 ^{cd} ± 1.38 ^(b)	34.85 ^e ± 0.62 ^(a)
maturity	60	44.41 ^g ± 0.85 ^(c)	44.93 ^f ± 0.48 ^(c)	36.24 ^e ± 2.55 ^(b)	34.35 ^{cd} ± 0.78 ^(a)
برش‌دهی اثرات	Slicing effect	276.81 ^{**}	245.40 ^{**}	78.03 ^{**}	27.44 ^{**}

*میانگین‌های (± خطای معیار) دارای حرف یا حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. حروف داخل پرانتز بیانگر مقایسه میانگین با برش‌دهی کود نیتروژن است.

*Means (± standard error) with letter or letters in common in each fertilization treatment are not significantly different from each other at the five percent probability level based on LSD test. The letters in the parentheses indicate the mean comparison with nitrogen fertilizer slicing.

افزایش شدت تنش میزان عملکرد کاهش و موجب کاهش کارایی داخلی می‌شود (۴).

کارایی زراعی نیتروژن^۱ (AEN): بر اساس یافته‌ها کرت‌هایی که کود نیتروژن بیشتری دریافت کردند دارای کارایی زراعی کمتری بودند. همچنین کاهش تشعشع اثر معکوسی بر کارایی زراعی نیتروژن داشت (جدول ۸). کاهش این صفت از ۱۴ درصد در مرحله رویشی تا ۷۰ درصد در مراحل زایشی و پرشدن دانه متغیر بود. بیشترین میزان کارایی زراعی با ۲۲/۳ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در تیمار ۹۲ کیلوگرم نیتروژن و نور طبیعی و کمترین میزان آن با ۰/۴ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در تیمار ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن و ۳۰ درصد سایه‌اندازی در مرحله زایشی ثبت شد. همچنین نتایج (جدول ۸) نشان داد میزان کارایی زراعی در شرایط نور طبیعی تا سطح کودی ۹۲ کیلوگرم افزایش و سپس کمتر شد. درمقایسه در شرایط تنش تشعشع پایین میزان کارایی

کارایی داخلی نیتروژن تا حدود زیادی به ژنوتیپ، شاخص برداشت، برهم‌کنش با دیگر عناصر غذایی و عوامل دیگر مؤثر بر گلدهی و پرشدن دانه بستگی دارد. در مزارع زارعین، شاخص کارایی داخلی نیتروژن از ۵۰ تا ۶۰ کیلوگرم بر کیلوگرم می‌باشد (۲۱). در آزمایش‌های مزرعه‌ای، کارایی داخلی نیتروژن به مقدار قابل‌توجهی از ۲۰/۷ تا ۱۳۵ کیلوگرم بر کیلوگرم متغیر بوده و میانگین آن ۵۳/۹ کیلوگرم بر کیلوگرم است که نشان می‌دهد به ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه برنج می‌توان بیش از ۵۰ کیلوگرم دانه برنج تولید کرد. در پژوهشی کارایی داخلی نیتروژن در شش منطقه تولید برنج به‌طور نمایی با افزایش مقدار مصرف نیتروژن کمتر شده و تنها ۲۴/۸ درصد از تغییر در کارایی داخلی نیتروژن با مقدار مصرف نیتروژن تفسیر شد (۲۵). از آنجا که میزان عملکرد بر میزان کارایی داخلی به‌طور مستقیم تأثیرگذار می‌باشد در شرایط تنش تشعشع پایین با

¹ Nitrogen agronomic efficiency

زراعی سطح ۶۶ کیلوگرم در هکتار به بالاتر شدیداً کاهش یافت.

جدول ۸- مقایسه میانگین کارایی زراعی نیتروژن (کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده) تحت برهم کنش مرحله سایه اندازی، درصد سایه اندازی و مقدار نیتروژن

Table 8. Mean comparison of nitrogen agronomic efficiency (kg/kg) under the interaction of shading stage, shading percent and amount of nitrogen

مرحله سایه اندازی Shading stage	سایه اندازی Shading (%)	مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen amount (Kg/ha)		
		46	92	138
شاهد	control	21.72 ^a ± 0.17 ^(a)	22.34 ^b ± 0.94 ^(a)	4.07 ^a ± 0.01 ^(a)
رویشی	30	19.16 ^c ± 0.40 ^(b)	8.65 ^c ± 0.01 ^(b)	0.56 ^d ± 0.03 ^(b)
vegetative	60	18.54 ^c ± 0.15 ^(b)	8.58 ^c ± 0.07 ^(b)	0.68 ^d ± 0.08 ^(b)
زایشی	30	11.46 ^c ± 0.19 ^(b)	3.89 ^c ± 0.06 ^(b)	0.40 ^d ± 0.05 ^(b)
reproductive	60	8.04 ^f ± 0.18 ^(c)	2.34 ^f ± 0.11 ^(c)	1.05 ^c ± 0.02 ^(b)
پرسیدن دانه	30	14.04 ^d ± 0.05 ^(b)	6.81 ^d ± 0.06 ^(b)	2.67 ^b ± 0.06 ^(b)
maturity	60	5.62 ^g ± 1.68 ^(c)	1.73 ^g ± 0.93 ^(c)	0.97 ^{cd} ± 0.36 ^(c)
برش دهی اثرات Slicing effect		122.66 ^{**}	236.78 ^{**}	8.85 ^{**}

*میانگین های (± خطای معیار) دارای حرف یا حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. حروف داخل پرانتز بیانگر مقایسه میانگین با برش دهی کود نیتروژن است.

*Means (± standard error) with letter or letters in common in each fertilization treatment are not significantly different from each other at the five percent probability level based on LSD test. The letters in the parentheses indicate the mean comparison with nitrogen fertilizer slicing.

کارایی زراعی کود شده و هدررفت جدی نیتروژن و آلودگی منابع آب سطحی و آب های زیرزمینی و اتمسفر را به دنبال دارد (۵).

کارایی بازیافت نیتروژن^۱ (REN): اثر ساده سایه اندازی، برهم کنش مرحله و درصد سایه اندازی و تیمارهای سه گانه مقدار نیتروژن × مرحله سایه اندازی × درصد سایه اندازی بر کارایی بازیافت نیتروژن تأثیر معنی داری نداشتند (جدول ۹). براساس مقایسه میانگین داده ها در برهم کنش مقدار نیتروژن در مرحله سایه اندازی تنها تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در شرایط کاهش تشعشع در مراحل مختلف تأثیر معنی داری بر میزان کارایی بازیافت نیتروژن داشت. همچنین یافته ها نشان داد کاهش تشعشع در مرحله رویشی موجب کاهش کارایی بازیافت شده و در دو مرحله دیگر از نظر آماری تفاوت معنی داری با هم

نتایج آزمایش طایفه و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن، کارایی زراعی نیتروژن کاهش یافت. این امر نشان داد که قابلیت افزایش عملکرد در هر کیلوگرم نیتروژن به طور قابل ملاحظه ای با افزایش مصرف کود نیتروژن کاهش می یابد (۲۶). پنگ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که عملکرد برنج حدود ۵ تا ۱۰ کیلوگرم برای هر کیلوگرم کود نیتروژن مصرف شده با شیوهی مدیریت کودی کشاورزان افزایش می یابد (۲۷).

بین کارایی زراعی نیتروژن و مقدار مصرف کود نیتروژن رابطه معکوس و منفی وجود دارد (۲۴). در آزمایشی، هنگامی که بیشتر از ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن مصرف شد، کارایی زراعی مصرف نیتروژن کمتر از ۱۰ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. کارایی زراعی مصرف نیتروژن منفی وقتی مشاهده شد که عملکرد شلتوک با مصرف کود نیتروژن کاهش یافت. طبق نتایج پژوهش، مصرف زیاد کود نیتروژن سبب کاهش

¹ Nitrogen residu efficiency

نداشتند (جدول ۹). برهم‌کنش سطوح نیتروژن در درصد سایه‌اندازی نشان داد با افزایش نیتروژن و همچنین افزایش تنش سایه میزان کارایی بازیاخت نیتروژن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین با کاهش تشعشع میزان کارایی بازیاخت نیتروژن در تیمار کودی ۴۶، ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم به‌ترتیب ۲۷، ۲۱ و ۲۱ درصد کمتر شد (جدول ۱۰).
 نتایج بررسی ربیعی و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که اثر مقدار نیتروژن بر بازیاخت نیتروژن معنی‌دار بود. با افزایش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه اتلاف و آبشویی و امکان خروج آن از منطقه جذب ریشه‌ها بیشتر خواهد شد (۶). کارایی بازیاخت نیتروژن در محصولات کشاورزی با مدیریت کشاورزان، به ندرت بیش از ۵۰ درصد است. بررسی بهترین اطلاعات موجود نشان می‌دهد که متوسط کارایی بازیاخت نیتروژن برای مزارعی که توسط کشاورزان مدیریت می‌شود در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد در شرایط دیم و ۳۰ تا ۴۰ درصد در شرایط فاریاب بوده و روند کاهشی در مقدار کارایی بازیاخت نیتروژن با افزایش در مقدار مصرف کود نیتروژن مشاهده می‌شود (۲۱ و ۲۵).

جدول ۹- مقایسه میانگین کارایی بازیاخت نیتروژن (درصد) تحت برهم‌کنش مرحله سایه‌اندازی و مقدار نیتروژن

مرحله سایه‌اندازی Shading stage	مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen amount (Kg/ha)		
	46	92	138
رویشی Vegetative	92.09 ^b ± 0.06 ^(b)	89.62 ^c ± 0.03 ^(a)	61.52 ^{ef} ± 0.02 ^(a)
زایشی Reproductive	91.27 ^a ± 0.05 ^(a)	89.44 ^d ± 0.02 ^(a)	61.66 ^e ± 0.02 ^(a)
پرسیدن دانه Maturity	92.29 ^a ± 0.07 ^(a)	88.81 ^d ± 0.07 ^(a)	60.55 ^f ± 0.04 ^(a)
برش‌دهی اثرات Slicing effects	0.11 ^{**}	0.02 ^{ns}	0.03 ^{ns}

*میانگین‌های (± خطای معیار) دارای حرف یا حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. حروف داخل پرانتز بیانگر مقایسه میانگین با برش‌دهی کود نیتروژن است.

* Means (± standard error) with letter or letters in common in each fertilization treatment are not significantly different from each other at the five percent probability level based on LSD test. The letters in the parentheses indicate the mean comparison with nitrogen fertilizer slicing.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین کارایی بازیاخت نیتروژن (درصد) تحت برهم‌کنش درصد سایه‌اندازی و مقدار نیتروژن

سایه‌اندازی Shading (%)	مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen amount (Kg/ha)		
	46	92	138
0	92.28 ^a ± 0.04 ^(a)	90.02 ^b ± 0.02 ^(a)	64.45 ^{cd} ± 0.02 ^(a)
30	91.29 ^a ± 0.08 ^(a)	84.76 ^c ± 0.02 ^(b)	63.23 ^d ± 0.03 ^(a)
60	89.09 ^b ± 0.05 ^(b)	83.74 ^{cd} ± 0.04 ^(b)	56.52 ^e ± 0.03 ^(b)
برش‌دهی اثرات Slicing effects	0.12 ^{**}	0.21 ^{**}	0.05 ^{**}

*میانگین‌های (± خطای معیار) دارای حرف یا حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. حروف داخل پرانتز بیانگر مقایسه میانگین با برش‌دهی کود نیتروژن است.

*Means (± standard error) with letter or letters in common in each fertilization treatment are not significantly different from each other at the five percent probability level based on LSD test. The letters in the parentheses indicate the mean comparison with nitrogen fertilizer slicing.

کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (PEN): نتایج نشان داد با افزایش مصرف کود نیتروژن میزان کارایی فیزیولوژیک نیتروژن نیز به طور معنی داری (تا ۳۵ درصد) کاهش یافت (جدول ۱۱). سایه اندازی در تمام سطوح کودی میزان کارایی فیزیولوژیک نیتروژن را کاهش داد. این میزان کاهش در مرحله رویشی ۱۸ درصد اما در مراحل زایشی و پرشدن دانه به ۶۰ و ۸۰ درصد رسید. بیشترین میزان کارایی فیزیولوژیک با ۲۲/۴ کیلوگرم دانه در کیلوگرم نیتروژن جذب شده در تیمار ۹۲ کیلوگرم نیتروژن و نور طبیعی و کمترین میزان آن با ۰/۵۵ کیلوگرم دانه در کیلوگرم نیتروژن جذب شده در تیمار ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن و ۶۰ درصد سایه اندازی در مرحله زایشی ثبت شد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- مقایسه میانگین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن (کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده) تحت برهم کنش مرحله سایه اندازی، درصد سایه اندازی و مقدار نیتروژن

Table 11. Mean comparison of nitrogen physiological efficiency (kg/kg) under the interaction of shading stage, shading percent and amount of nitrogen

مرحله سایه اندازی Shading stage	سایه اندازی Shading (%)	مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen amount (Kg/ha)		
		46	92	138
شاهد	control	22.01 ^a ± 0.17 (a)	22.38 ^a ± 0.82 (a)	6.28 ^b ± 0.29 (a)
رویشی	30	18.94 ^c ± 0.40 (b)	10.46 ^d ± 0.19 (b)	0.94 ^{de} ± 0.02 (b)
vegetative	60	17.51 ^e ± 0.15 (b)	9.92 ^e ± 0.31 (b)	1.17 ^d ± 0.11 (b)
زایشی	30	8.25 ^g ± 0.10 (b)	5.57 ^f ± 0.35 (b)	0.55 ^e ± 0.05 (b)
reproductive	60	6.25 ^h ± 0.49 (b)	3.09 ^g ± 0.29 (b)	1.83 ^c ± 0.06 (b)
پرشدن دانه	30	11.61 ^f ± 0.43 (b)	11.37 ^c ± 0.15 (b)	7.17 ^a ± 0.16 (a)
maturity	60	3.07 ⁱ ± 1.03 (c)	2.02 ^h ± 1.36 (c)	1.39 ^d ± 1.10 (b)
برش دهی اثرات Slicing effect		133.85 **	196.61 **	25.28 **

*میانگین های (± خطای معیار) دارای حرف یا حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. حروف داخل پرانتز بیانگر مقایسه میانگین با برش دهی کود نیتروژن است.

*Means (± standard error) with letter or letters in common in each fertilization treatment are not significantly different from each other at the five percent probability level based on LSD test. The letters in the parentheses indicate the mean comparison with nitrogen fertilizer slicing.

کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بیانگر تبدیل مقدار معینی از عنصر غذایی کودی جذب شده به عملکرد اقتصادی (دانه) می باشد و به ویژگی های ژنوتیپی از قبیل شاخص برداشت و کارایی مصرف داخلی عنصر غذایی بستگی دارد که خود تحت تأثیر مدیریت زراعی و مدیریت عناصر غذایی نیز قرار می گیرد (۱). در گیاه برنج که هیچ عاملی رشد گیاه را محدود نمی کند، کارایی فیزیولوژیک نیتروژن باید نزدیک ۵۰ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده از کود باشد (۲۱). نتایج ربیعی و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که اثر مقدار نیتروژن بر کارایی زراعی معنی دار بود (۶). کارایی فیزیولوژیک کود نیتروژن بسته به دیررس و متوسط رس بودن رقم بین ۳۵ تا ۹۴ متغیر می باشد اما کارایی فیزیولوژیک در برخی از ارقام تحت تأثیر مقدار مختلف نیتروژن قرار نگرفت (۲۸). تشعشع پایین مقدار نیتروژن انتقال یافته از ساقه و غلاف به خوشه ها را کاهش داده و باعث افزایش درصد نیتروژن در برگ ها و غلاف ها و همچنین

کاهش مقدار آن در خوشه‌ها در مقایسه با مقدار کل نیتروژن در اندام‌های هوایی (برگ + ساقه + غلاف + خوشه) می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مقدار نیتروژن تخصیص یافته به خوشه‌ها در شرایط تشعشع پایین کمتر از نور طبیعی است و مقدار نیتروژن مورد استفاده برای رشد برگ‌ها و غلاف در شرایط تشعشع پایین افزایش می‌یابد (۱۵). افزایش نیتروژن با ایجاد کانویزی زیاد و سایه‌اندازی باعث کاهش جذب و انتقال نیتروژن به دانه می‌شود. نیتروژن مصرفی پایین ممکن است راندمان انتقال نیتروژن از ساقه و برگ به دانه را تسریع کرده و سپس محتوای نیتروژن در دانه را افزایش دهد (۲۹).

عملکرد شلتوک: نتایج نشان از تأثیر معنی‌دار نیتروژن، مرحله و درصد سایه‌اندازی بر عملکرد شلتوک داشت (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۱۲) کاهش تشعشع در مرحله رویشی، زایشی و پرشدن دانه به ترتیب ۱۸، ۲۳ و ۳۵ درصد عملکرد شلتوک را کاهش داد. از طرفی با افزایش سطوح نیتروژن تا تیمار ۹۲ کیلوگرم در هکتار عملکرد شلتوک حدود ۲۲ درصد افزایش و سپس روند کاهشی (حدود ۱۳ درصد) داشت. همچنین، در شرایط تنش سایه‌اندازی تا سطح کودی ۴۶ کیلوگرم در هکتار ۱۵ درصد بیشتر و سپس تا سطح ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار با کاهش ۱۳ درصدی مواجه شد. داده‌های جدول ۱۲ همچنین بیانگر آن بود که عملکرد شلتوک از ۹۱۶۷ کیلوگرم در هکتار با کاربرد ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در شرایط نور طبیعی تا ۴۶۰۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار صفر نیتروژن و ۶۰ درصد سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه متغیر بود. کاهش تشعشع در هر سه مرحله رویشی، زایشی و پرشدن دانه عملکرد شلتوک را کاهش داد (جدول ۱۲).

ژو و همکاران (۲۰۰۸) دریافتند که با افزایش نیتروژن، عملکرد شلتوک دو رقم مورد مطالعه ابتدا

بیشتر و سپس کمتر شد. هرچند تشکیل سنبلچه تحت تأثیر جذب نیتروژن و دسترسی به کربوهیدرات در مرحله زایشی قرار می‌گیرد اما درصد دانه پر با افزایش مقدار نیتروژن به بالاتر از حد مشخصی کاهش می‌یابد (۳۰). نتایج مطالعات شیخ‌نظری و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که کاربرد کود نیتروژن در تمام سطوح مصرفی منجر به افزایش عملکرد شلتوک در مقایسه با شاهد شد اگرچه بیشترین عملکرد شلتوک به ترتیب با میانگین‌های ۴۳۴۰ و ۴۱۷۲ کیلوگرم در هکتار با مصرف نیتروژن در مقدار ۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که حدود ۲۹/۸ و ۲۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد یا عدم کاربرد نیتروژن بود. نتیجه حاصله نشان داد که مصرف مقدار پایین کود نیتروژن (۲۵ کیلوگرم در هکتار) منجر به تولید حداکثری عملکرد شلتوک نشد (۳۱). 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 (۳۲).

سایه‌اندازی قبل از مرحله خوشه‌دهی با کاهش تعداد خوشه‌های بارور در گیاه برنج از عملکرد نهایی می‌کاهد. بعد از مرحله خوشه‌دهی، سایه‌اندازی موجب محدود شدن میزان فتوسنتز خالص، تجمع کمتر ماده خشک و کاهش ظرفیت مخزن در گیاه برنج و به‌طور معنی‌داری موجب کاهش تعداد دانه پر و وزن هزاردانه و در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌شود (۳۳). گیاه برنجی که از مرحله نشاکاری تا مرحله آبستنی تحت شرایط تشعشع پایین رشد یافته بود، حدود ۳۴ درصد کاهش عملکرد شلتوک داشته و تعداد خوشه بارور و تعداد دانه تولیدشده در هر خوشه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر شد (۳۴). در مقایسه، زمانی که گیاه برنج از مرحله ابتدای خوشه‌دهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تحت شرایط سایه‌اندازی قرار گرفت عملکرد شلتوک

به علت کاهش معنی دار دانه بندی و وزن هزار دانه حدود ۵۵ درصد کمتر شد (۳۳). نتایج همچنین نشان داد که تشعشع پایین در طول دوره تمایز خوشه و پرشدن دانه اثرات بیشتری بر کاهش عملکرد شلتوک دارد. تشعشع پایین در این مراحل، نسبت منبع به مخزن را تغییر می دهد و زیست توده اندام های مخزن (تعداد دانه های بارور، تعداد دانه در خوشه و اندازه

دانه) به طور معنی داری کاهش می یابد (۱۳). تحقیقات ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد در شرایط نور طبیعی با افزایش نیتروژن تا سطح خاصی عملکرد افزایش و سپس کاهش یافت. اما در شرایط کاهش تشعشع با افزایش کود نیتروژن عملکرد کمتری به دست آمد (۳۴).

جدول ۱۲- مقایسه میانگین عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار) تحت برهم کنش مرحله سایه اندازی، درصد سایه اندازی و مقدار نیتروژن

Table 12. Mean comparison of paddy yield (kg/ha) under the interaction of shading stage, shading percent and amount of nitrogen

مرحله سایه اندازی Shading stage	سایه اندازی Shading (%)	مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen amount (Kg/ha)			
		0	46	92	138
control	شاهد	7232.7 ^a ± 6.45 ^(a)	8202.9 ^a ± 17.70 ^(a)	9167.8 ^a ± 93.79 ^(a)	7817.2 ^a ± 12.82 ^(a)
رویشی	30	6690.4 ^b ± 11.36 ^(b)	7565.4 ^b ± 17.01 ^(b)	7489.0 ^b ± 10.15 ^(b)	6764.7 ^b ± 11.51 ^(b)
vegetative	60	6024.0 ^c ± 9.56 ^(c)	7004.1 ^c ± 14.26 ^(c)	6820.8 ^d ± 5.20 ^(c)	6112.5 ^c ± 12.88 ^(c)
زایشی	30	6557.4 ^c ± 10.22 ^(b)	7079.8 ^c ± 11.19 ^(b)	6902.4 ^c ± 16.04 ^(b)	6621.3 ^c ± 4.98 ^(b)
reproductive	60	5587.5 ^f ± 7.50 ^(c)	5935.3 ^e ± 17.24 ^(c)	5793.6 ^f ± 11.08 ^(c)	713.9 ^f ± 18.57 ^(c)
پرشدن دانه	30	6223.3 ^d ± 11.08 ^(b)	6461.3 ^d ± 7.96 ^(b)	6398.1 ^e ± 6.62 ^(b)	6316.1 ^d ± 12.27 ^(b)
maturity	60	593.1 ^g ± 99.51 ^(c)	5434.8 ^f ± 10.26 ^(c)	5343.3 ^g ± 26.78 ^(c)	5068.6 ^g ± 58.40 ^(c)
برش دهی اثرات	Slicing effect	4814224 ^{**}	6376585 ^{**}	12955327 ^{**}	5984882 ^{**}

*میانگین های (± خطای معیار) دارای حرف یا حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. حروف داخل پرانتز بیانگر مقایسه میانگین با برش دهی کود نیتروژن است.

*Means (± standard error) with letter or letters in common in each fertilization treatment are not significantly different from each other at the five percent probability level based on LSD test. The letters in the parentheses indicate the mean comparison with nitrogen fertilizer slicing.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین پروتئین (درصد) تحت برهم کنش مرحله سایه اندازی، درصد سایه اندازی و مقدار نیتروژن

Table 13. Mean comparison of protein (%) under the interaction of shading stage, shading percent and amount of nitrogen

مرحله سایه اندازی Shading stage	سایه اندازی Shading (%)	مقدار نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen amount (Kg/ha)			
		0	46	92	138
control	شاهد	5.57 ^e ± 0.03 ^(b)	6.01 ^e ± 0.04 ^(b)	6.28 ^e ± 0.03 ^(b)	7.58 ^f ± 0.05 ^(b)
رویشی	30	6.56 ^d ± 0.03 ^(a)	6.86 ^d ± 0.03 ^(a)	7.21 ^d ± 0.03 ^(a)	8.82 ^e ± 0.03 ^(a)
vegetative	60	6.66 ^c ± 0.02 ^(a)	6.91 ^d ± 0.03 ^(a)	7.31 ^d ± 0.04 ^(a)	8.98 ^{de} ± 0.03 ^(a)
زایشی	30	8.11 ^b ± 0.04 ^(a)	8.33 ^c ± 0.02 ^(a)	8.63 ^c ± 0.02 ^(a)	9.13 ^{cd} ± 0.03 ^(a)
reproductive	60	8.15 ^b ± 0.04 ^(a)	8.38 ^c ± 0.05 ^(a)	8.63 ^c ± 0.03 ^(a)	9.32 ^c ± 0.03 ^(a)
پرشدن دانه	30	9.48 ^a ± 0.03 ^(a)	9.60 ^b ± 0.19 ^(b)	10.55 ^b ± 0.04 ^(b)	11.25 ^b ± 0.04 ^(b)
maturity	60	9.60 ^a ± 0.04 ^(a)	10.15 ^a ± 0.04 ^(a)	10.97 ^a ± 0.06 ^(a)	11.68 ^a ± 0.08 ^(a)
برش دهی اثرات	Slicing effect	276.81 ^{**}	245.40 ^{**}	78.03 ^{**}	27.44 ^{**}

*میانگین های (± خطای معیار) دارای حرف یا حروف مشترک در هر تیمار کوددهی براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. حروف داخل پرانتز بیانگر مقایسه میانگین با برش دهی کود نیتروژن است.

*Means ($\pm$ standard error) with letter or letters in common in each fertilization treatment are not significantly different from each other at the five percent probability level based on LSD test. The letters in the parentheses indicate the mean comparison with nitrogen fertilizer slicing.

جدول ۱۴- همبستگی بین صفات مورد مطالعه (n=۳۶)

Table 14. Correlation between studied traits (n=36)

شاخص برداشت	بهره‌وری نسبی	کارایی داخلی	کارایی زراعی	کارایی بازیاخت ظاهری	کارایی فیزیولوژیک	پروتئین	عملکرد
HIN	PFPN	IEN	AEN	REN	PEN	Protein	yield
عملکرد شلتوک	1						
yield							
پروتئین	-0.72**	1					
Protein							
کارایی فیزیولوژیک نیتروژن	0.74**	-0.40*	1				
PEN							
کارایی بازیاخت ظاهری	0.34*	0.11	0.69**	1			
REN							
کارایی زراعی نیتروژن	0.71**	-0.43**	0.98**	0.68**	1		
AEN							
کارایی داخلی نیتروژن	0.25	-0.62**	0.06	-0.47**	0.14	1	
IEN							
بهره‌وری نسبی نیتروژن	0.44**	-0.17	0.81**	0.85**	0.85**	-0.03	1
PFPN							
شاخص برداشت	0.85**	-0.69**	0.66**	0.24	0.65**	0.35*	4.91**
NHI							

*, **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*, **: is significant at one and five percent level

منجر به افزایش محتوای پروتئین و کاهش چسبندگی می‌شود. علت این فرآیند ممکن است به‌دلیل تأثیر پروتئین بر جذب آب و یا کاهش میزان آمیلوز به‌دلیل افزایش درصد پروتئین باشد (۳۵). شانگ و همکاران (۲۰۲۲) اظهار داشتند در شرایط تشعشع پایین فعالیت آنزیم نترات ردوکتاز و پروتئین سنتتاز افزایش یافته و تبدیل نیتروژن معدنی به آمینواسید و پروتئین افزایش می‌یابد (۳۶).

تجزیه همبستگی صفات (جدول ۱۴) نشان داد که عملکرد شلتوک بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (در سطح یک درصد) را با صفت شاخص برداشت نیتروژن ($r=0.85^{**}$) داشت. همبستگی کارایی بازیاخت نیتروژن و کارایی زراعی با عملکرد برنج نیز مثبت و معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری کلی

درصد پروتئین دانه: براساس یافته‌ها (جدول ۱۳) با افزایش میزان نیتروژن در شرایط تنش، میزان پروتئین دانه تا سطح ۶۶ کیلوگرم نیتروژن تفاوت معنی‌دار نداشته اما در تیمار ۹۲ و ۱۳۸ کیلوگرم نیتروژن موجب افزایش درصد پروتئین شد. نتایج جدول ۱۳ همچنین بیانگر آن است کمترین میزان پروتئین در تیمار صفر نیتروژن و نور طبیعی با ۵/۳ درصد و بیشترین آن با ۱۱/۷ درصد در تیمار ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در شرایط ۶۰ درصد سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه مشاهده شد.

میزان پروتئین ذخیره‌ای در آندوسپرم دانه جهت بهبود پخت در دانه برنج لازم است چراکه برهم‌کنش نشاسته و پروتئین می‌تواند مانع ژلاتینه‌شدن نشاسته و ازهم‌گسیختن ساختمان پروتئین هنگام پخت و افزایش ویسکوزیته برنج شود (۳۵). شرایط محیطی و آب‌وهوایی موجب تغییر میزان پروتئین ذخیره‌ای در آندوسپرم دانه برنج می‌شود. مصرف زیاد کود نیتروژن

میزان عملکرد با کاربرد کود ۹۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. لذا کاربرد بهینه کود نیتروژن در شرایط تغییر اقلیم به ویژه کاهش تشعشع منجر به کاهش آلودگی های زیست محیطی، کاهش هزینه های تولید و افزایش عملکرد شلتوک شده و میزان خسارت مربوط به تنش تشعشع پایین را می توان با مدیریت مصرف کود نیتروژن کاهش داد.

سیاسگذاری

به این وسیله از مؤسسه تحقیقات برنج کشور معاونت مازندران (آمل) و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در حمایت مالی و همکاری در اجرای این پروژه تشکر و قدردانی می شود.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد با افزایش میزان مصرف نیتروژن در شرایط کاهش تشعشع میزان هر یک از شاخص های کارایی نیتروژن و عملکرد شلتوک کاهش داشت. میزان انواع کارایی ها از جمله کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک در شرایط نور طبیعی با افزایش میزان نیتروژن تا سطح ۹۲ کیلوگرم تفاوت معنی داری نداشت. در مقایسه، در شرایط کاهش تشعشع با افزایش مصرف کود نیتروژن از ۴۶ به ۹۲ کیلوگرم در هکتار میزان کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک حدود ۴۰ درصد کمتر شد. از طرفی میزان عملکرد شلتوک در شرایط کاهش تشعشع تا سطح ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن افزایش و سپس کاهش یافت. گرچه در شرایط نور طبیعی بیشترین

References

1. 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 Journal of Crop Sciences*, 21(1), 82-95. [In Persian]
2. Xie, X., Shan, S., Wang, Y., Cao, F., Chen, J., Huang, M., & Zou, Y. (2019). Dense planting with reducing nitrogen rate increased grain yield and nitrogen use efficiency in two hybrid rice varieties across two light conditions. *Field Crops Research*, 236, 24-32.
3. Yang, W.H., Peng, S., Huang, J., Sanico, A.L., Buresh, R.J., & Witt, C. (2003). Using leaf color charts to estimate leaf nitrogen status of rice. *Agronomy Journal*, 95(1), 212-217.
4. Wang, W., Shen, C., Xu, Q., Zafar, S., Du, B., & Xing, D. (2022). Grain yield, nitrogen use efficiency and antioxidant enzymes of rice under different fertilizer n inputs and planting density. *Agronomy*, 12(2), 430.
5. Liu, J., & Diamond, J. (2005). China's environment in a globalizing world. *Nature*, 435(7046), 1179-1186.
6. 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 Agricultural Research Journal*, 20(2), 217-228. [In Persian]
7. Zhang, T.T., Li, Y.Z., Xie, W.J., Du, P., Lu, R.H., Chen, Y.L., Lai, R.F., Zheng, A.X., & Tang, X.R. (2019). Excessive fertilization resulted in decreased antioxidant performance of three varieties of super rice. *Applied Ecology & Environmental Research*, 17(2), 1882-1898.
8. Stanhill, G. (2005). Global dimming: A new aspect of climate change. *Weather*, 60(1), 11-14.
9. Shuai, J., Zhang, Z., Liu, X., Chen, Y., Wang, P. and Shi, P., 2013. Increasing concentrations of aerosols offset the benefits of climate warming on rice yields during 1980–2008 in Jiangsu Province, China. *Regional Environmental Change*, 13, 287-297.
10. Darzi Naftchali, A., Maldar Badli, M., Ziyatbar Ahmadi, M. Kh., & Karandish, F. (2014). Analysis of the effects of climate change on agricultural sustainability in Mazandaran province. *Journal of Irrigation and Drainage*. 6(9), 1004-994. [In Persian]
11. Chen, H., Li, Q.P., Zeng, Y.L., Deng, F., & Ren, W.J. (2019). Effect of different shading materials on grain yield and quality of rice. *Scientific Reports*, 9(1), 9992.

12. Guldani, M., & Nasiri Mahalati, M. (2010). Effect of quantity and quality of light on some morphological and physiological traits of maize cultivars (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Ecology*, 172(2), 3-180. [In Persian]
13. Dong, X.D., Zhou, Z.N., Xing, X.Z., Hu, H.Y., Cui, C.P., & Dai, D.Q. (2018). Combined effect of shading time and nitrogen level on grain filling and grain quality in japonica super rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11), 2405-2417.
14. Fu, Y., Li, H., Yu, J., Liu, H., Cao, Z., Manukovsky, N.S., & Liu, H. (2017). Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. Youmaicai). *Scientia Horticulturae*, 214, 51-57.
15. Ren, W.J., Yang, W.Y., Zhang, G.Z., Zhu, X., Fan, G.Q., & Xu, J.W. (2003). Effect of low-light stress on nitrogen accumulation, distribution and grains protein content of Indica hybrid. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 9(3), 288-293.
16. Li, D.Q., Tang, Q.Y., Zhang, Y.B., Qin, J.Q., Hu, L.I., Chen, L.J., Yang, S.H., Zou, Y.B., & Peng, S.B. (2012). Effect of nitrogen regimes on grain yield, nitrogen utilization, radiation use efficiency, and sheath blight disease intensity in super hybrid rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(1), 134-143.
17. Meier, U. (2001). Growth stages of mono and dicotyledonous plants. BBCH monograph. *Federal Biological Research Center for Agriculture and Forestry*. 158p.
18. Mohaddisi, A., Eshraqi, A., Nasiri, M., Bahrami, M., Elah-Qalipour, M., Kianoush, Q., Tousli, F., Esco, T., Arefi, H., Mohammad Salehi, M., Padam, H., Omrani, M., Fahadar, A., Saidi, M., & Yousefi, M. (2016). Shiroodi, a new variety of rice with good quality and high yield. *Seedling and seed production magazine*, 4, 1-25. [In Persian]
19. Emami, A. (1996). Analytical methods. *Technical Publication Soil and Water Realization Institute, Tehran, Iran*, 1, 982. [In Persian]
20. Fageria, N.K. & Baligar, V.C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88, 97-185.
21. Dobermann, A. & Fairhurst, T.H. (2000). Nutrient disorders and nutrient management. *Potash and Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute, Singapore*, 191.
22. Nayak, S. K., Janardhan, K.V., & Murty, K.S. (1978). Photosynthetic efficiency of rice as influenced by light intensity and quality. *Indian Journal Plant Physiology*, 21(1), 48-52.
23. Fageria, N.K., Dos Santos, A.B., & De Oliveira, J.P. (2013). Nitrogen-use efficiency in lowland rice genotypes under field conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(17), 2497-2506.
24. Roberts, T.L. (2008). Improving nutrient use efficiency. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 32(3), 177-182.
25. Che, S.G., Zhao, B.Q., Li, Y.T., Liang, Y.U.A.N., Wei, L.I., Lin, Z.A., Hu, S.W., & Bing, S.H.E.N. (2015). Review grain yield and nitrogen use efficiency in rice production regions in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(12), 2456-2466.
26. Tayefe, M., Gerayzade, A., Amiri, E., & Zade, A.N. (2011).. Effect of nitrogen fertilizer on nitrogen uptake, nitrogen use efficiency of rice. *In International conference on biology, Environment and Chemistry*, 24, 470-473. [In Persian]
27. Peng, S., Buresh, R.J., Huang, J., Zhong, X., Zou, Y., Yang, J., Wang, G., Liu, Y., Hu, R., Tang, Q., & Cui, K. (2010). Improving nitrogen fertilization in rice by sitespecific N management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 649-656.
28. Cassman, K.G., Dobermann, A., & Walters, D.T. (2002). Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Journal of the Human Environment*, 31(2), 132-140.
29. Bagheri, R., Akbari, Gh.A., Kianmehr, M.H., & Tahmasbi-Sarvastani, Z. (2011). The effect of slow releasing nitrogen from pellet fertilizer of nitrogen and manure on grain yield and some physiological Characteristics of corn. *Electronic journal crop production*, 4(1), 97-113. [In Persian]

30. Zhu, P., Yang, S. M., Ma, J., Li, S. X., & Chen, Y. (2008). Effect of shading on the photosynthetic characteristics and yield at later growth stage of hybrid rice combination. *Acta Agronomy Sinica*, 34(11), 2003–2009.
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 Agricultural Research Journal*, 20(3), 349-361. [In Persian]
32. Berari tari, D., & Amiri, A. (2015). The effect of the amount and time of nitrogen fertilizer application on the biomass, yield and morpho-physiological characteristics of rice flag leaf (Shirodi variety). *Sciences of agricultural plants of Iran*, 15(5), 72-93. [In Persian]
33. Liu, Q. h., Wu, X., Chen, B. C., Ma J. Q., & Gao, J. (2014). Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality. *Rice Science*, 21(5), 243-251.
34. Wang, L., Deng, F., & Ren, W.J. (2015). Shading tolerance in rice is related to better light harvesting and use efficiency and grain filling rate during grain filling period. *Field Crops Research*, 180, 54-62.
35. Zhang , H., Zhao , Q., Wang, Z, Wang, L., Li, X., Fan, Z., Zhang, V., 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. *Agronomy*, 11(1989).
36. Zhu, Z., Kim, K., Yuan, P., Zhao, G., Su, Z., Shi, R., Zou, Q., & Yang, S. (2010). RVA profile properties for cold tolerant and sensitive cultivars of japonica rice at different altitudes in Highland region. *Chinese Journal of Rice Science*, 24(2), 151-156.