Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Effect of low radiation on yield and yield components in rice (*Oryza sativa* L. *cv.* 'Shiroudi') under different levels of nitrogen

Nahid Fathi[1], Hemmatollah Pirdashti[*2], Morteza Nasiri[3], Esmail Bakhshandeh[4]

1. Ph.D. Student of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: nahidfathi21@yahoo.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: h.pirdashti@sanru.ac.ir
3. Assistant Prof., Rice Research Institute, Mazandaran, Agricultural, Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran. E-mail: m_nasiri1@yahoo.com
4. Associate Prof., Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: bakhshandehesmail@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 11.13.2023
Revised: 12.24.2023
Accepted: 01.23.2024

Keywords:
Grain number,
Harvest index,
Rice,
Shading,
Urea fertilizer

ABSTRACT

Background and Objectives: Light and nitrogen (N) are critical factors that determine the growth and yield of cereals, particularly rice. However, there is limited research on the interaction of light and N on the growth and yield of rice. Therefore, this study aimed to assess the impact of reduced radiation at various growth stages on the yield and yield components of rice under different levels of N.

Materials and Methods: A field experiment was conducted at the Rice Research Institute of Iran-Deputy of Mazandaran (Amol) using a split-split plot based randomized complete block design with three replications in 2017. The experiment involved four different levels of N fertilizer (0, 100, 200, 300 kg of urea per hectare) and shading treatments (natural light, 30% shading, and 60% shading) applied at three stages of vegetative, reproductive, and grain filling using shade nets. At the harvest stage, various traits related to yield and yield components were measured.

Results: The results showed that the amount of N, shading stage (S) and percentage (SP) as well as their interaction were statistically significant in terms of yield and yield components. The highest amount of yield was assigned to the treatment of 200 kg/ha of urea fertilizer in the control condition (natural light) with 8910 kg/ha, while in the low radiation condition, compared to the control treatment, a 35% decrease in yield was observed. The results of the interaction between the stage and percentage of shading also indicated that the highest yield was assigned to the control treatment with natural light (8000 kg/ha) and the lowest to the light stress of 60% in the grain filling stage with about 5000 kg/ha. With the reduction of radiation intensity in the reproductive and grain filling stage, full grains decreased by 17-50%, 1000-grain weight decreased by 7-12%, and rice yield decreased by 15-38%.

Conclusion: The research findings revealed that the highest yield of Shiroudi rice variety was obtained with 200 kg/ha of fertilizer and natural light. However, under reduced radiation conditions, the highest rice yield was observed with the fertilizer treatment of 100 kg/ha. In shading conditions (30% and 60%), the treatment of 100 kg urea/ha resulted in superior yield and yield components (approximately 10%) compared to the

plots that received 200 kg urea/ha. The 50% increase in the number of empty grains in the panicle in the shading treatment during the seed filling stage highlights the critical role of lower radiation during this stage. Therefore, the reduction in Shiroudi cultivar yield under shade stress depends on the growth stage and the nitrogen consumption level. Using 100 kg/ha urea fertilizer per hectare under stress conditions mitigates the adverse effects of shade stress compared to the 200 kg/ha treatment.

Cite this article: Fathi, Nahid, Pirdashti, Hemmatollah, Nasiri, Morteza, Bakhshandeh, Esmail. 2025. Effect of low radiation on yield and yield components in rice (*Oryza sativa* L. *cv.* 'Shiroudi') under different levels of nitrogen. *Journal of Plant Production Research*, 31 (4), 23-42.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2024.21913.3092
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

اثر کاهش تشعشع بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم شیرودی در مقادیر مختلف نیتروژن

ناهید فتحی[۱]، همت‌الله پیردشتی*[۲]، مرتضی نصیری[۳]، اسماعیل بخشنده[٤]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: nahidfathi21@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: h.pirdashti@sanru.ac.ir
۳. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران. رایانامه: m_nasiri1@yahoo.com
٤. دانشیار پژوهش، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: bakhshandehesmail@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۸/۲۲
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۲/۱۰/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۱۱/۰۳

واژه‌های کلیدی:
برنج،
تعداد دانه،
سایه‌اندازی،
شاخص برداشت،
کود اوره

چکیده

سابقه و هدف: نور و نیتروژن از عوامل تعیین‌کننده در رشد و عملکرد غلات به‌ویژه برنج به‌شمار می‌روند. از آن‌جایی‌که مطالعات اندکی در خصوص برهم‌کنش این دو عامل بر رشد و نمو و عملکرد برنج صورت گرفته است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثرات کاهش تشعشع در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در مقادیر مختلف نیتروژن اجرا شد.

مواد و روش‌ها: پژوهش به‌صورت کرت‌های دوبارخرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور معاونت مازندران اجرا شد. چهار سطح مختلف کود نیتروژن با مقادیر ۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، سایه‌اندازی شامل نور طبیعی، ۳۰ و ٦۰ درصد سایه‌اندازی در سه مرحله رویشی، زایشی و پرشدن دانه در مزرعه با استفاده از توری‌های سایه‌انداز تیمارهای آزمایش بودند. در مرحله برداشت صفات مختلف مرتبط با عملکرد و اجزای عملکرد اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقادیر نیتروژن، مراحل و درصد سایه‌اندازی همچنین برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد، و اجزا عملکرد برنج از نظر آماری معنی‌دار بود. بیش‌ترین میزان عملکرد به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در شرایط شاهد (نور طبیعی) با ۸۹۱۰ کیلو در هکتار اختصاص داشت، درحالی‌که در شرایط تشعشع پایین در مقایسه با تیمار شاهد تا ۳۵ درصد کاهش

عملکرد مشاهده شد. نتایج برهم‌کنش مرحله و درصد سایه‌اندازی نیز بیانگر آن بود که بیش‌ترین عملکرد به تیمار شاهد با نور طبیعی (۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین میزان به تنش نوری ٦۰ درصد در مرحله پرشدن دانه با حدود ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختصاص داشت. با کاهش شدت تشعشع در مرحله زایشی و پرشدن دانه، دانه‌های پر ۱۷ تا ۵۰ درصد، وزن هزاردانه ۷ تا ۱۲ درصد و عملکرد شلتوک ۱۵ تا ۳۸ درصد کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج این پژوهش با وجود این‌که بیش‌ترین عملکرد شلتوک رقم شیرودی در سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و نور طبیعی به‌دست آمد، اما در صورت کاهش تشعشع بیش‌ترین عملکرد شلتوک در تیمار کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار ثبت شد. در شرایط سایه‌اندازی (۳۰ و ٦۰ درصد) تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار عملکرد و اجزا عملکرد بهتری (حدود ۱۰ درصد) نسبت به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم داشت. افزایش حدود ۵۰ درصدی تعداد دانه پوک در خوشه در تیمار سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه بیانگر این است که میزان کاهش شدت تشعشع در مرحله پرشدن دانه از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین میزان کاهش عملکرد رقم شیرودی در شرایط تنش سایه به مرحله رشدی و میزان نیتروژن مصرفی بستگی دارد و مصرف کود اوره ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط تنش موجب کاهش اثرات سوء آن نسبت به تیمار ۲۰۰ کیلو می‌باشد.

استناد: فتحی، ناهید، پیردشتی، همت‌الله، نصیری، مرتضی، بخشنده، اسماعیل (۱۴۰۳). اثر کاهش تشعشع بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم شیرودی در مقادیر مختلف نیتروژن. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۱ (۴)، ۴۲-۲۳.
DOI: 10.22069/JOPP.2024.21913.3092

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) مهم‌ترین منبع غذایی برای حدود نیمی از مردم جهان بوده و در ایران نیز پس از گندم، به‌عنوان مهم‌ترین محصول زراعی به‌شمار می‌رود. با توجه به افزایش جمعیت، استفاده از ارقام پرمحصول و متحمل به تنش، اصلاح مدیریت زراعی و افزایش بهره‌وری استفاده از منابع آب، خاک و تشعشع خورشید جهت دستیابی به حداکثر تولید، بسیار مؤثر می‌باشد (۱).

تشعشع خورشید یکی از عوامل محیطی مؤثر بر فتوسنتز و رشد گیاه و منبع انرژی برای تثبیت کربن و یکی از عوامل تعیین‌کننده جهت رشد و نمو مناسب برنج می‌باشد (۲). کم‌نوری جهانی (Global dimming) یک جنبه جدید و کم‌تر توجه شده از تغییر اقلیم است که به همراه افزایش گرمایش جهانی (Global warming) در بسیاری از مناطق جهان مشاهده شده است. طبق آمار اعلام شده از سوی شبکه جهانی تشعشع‌سنجی، طی یک دوره ۳۰ ساله میزان تشعشع خورشیدی دریافتی به ازای هر دهه دو درصد کاهش داشته است (۳). اگرچه علت اصلی این کاهش هنوز به درستی مشخص نشده است، اما دلیل احتمالی این کاهش را به تغییر در میزان گازهای گلخانه‌ای و انتقال آن‌ها در اتمسفر و همچنین افزایش غلظت آئروسل‌ها (بخارآب و گازهای گلخانه‌ای) نسبت داده‌اند (٤). هم‌چنین این کاهش در میزان تشعشع خورشیدی به‌دلیل توزیع نامناسب روزهای بارانی و یا ابری در مراحل مختلف رشدی گیاه به‌ویژه در مرحله گلدهی و پرشدن دانه بر رشد و تولید آن اثرگذار است (۵).

میزان تشعشع مورد نیاز گیاه برنج در مراحل مختلف رشد آن متفاوت است. به‌عنوان مثال، ناکافی بودن میزان نور در مراحل مختلف رشدی بر طول دوره رشد برنج، ویژگی‌های زراعی و در نهایت بر تولید و عملکرد برنج اثرات منفی می‌گذارد (٦). در مطالعات محدودی به نقش تشعشع نسبت به دما در عملکرد برنج توجه شده است. قبل از مرحله خوشه‌دهی، تشعشع پائین موجب کاهش تعداد خوشه‌های بارور در گیاه برنج می‌شود. بعد از مرحله خوشه‌دهی، سایه‌اندازی موجب محدود شدن میزان فتوسنتز خالص، تجمع کم‌تر ماده خشک و کاهش ظرفیت مخزن در گیاه برنج شده و به‌طور معنی‌داری موجب کاهش تعداد دانه پر و وزن هزاردانه و در نهایت منجر به کاهش عملکرد می‌شود (۵ و ۷). روزهای ابری در طول مراحل بحرانی رشد مثل خوشه‌دهی یا پرشدن دانه اغلب موجب کاهش عملکرد شلتوک می‌گردد (۸). اگر گیاه برنج از مرحله نشاکاری تا مرحله آبستنی تحت شرایط تشعشع پائین قرار گیرد، به‌دلیل کاهش تعداد پنجه بارور و تعداد دانه تولید شده در هر خوشه عملکرد نهایی شلتوک به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (۵). هم‌چنین کاهش تشعشع از مرحله آغاز خوشه‌دهی حدود ۱۵ درصد کاهش عملکرد شلتوک را به همراه داشت که علت آن را می‌توان به کاهش تعداد دانه پر در خوشه برنج نسبت داد (٦). در مقایسه، زمانی که گیاه برنج از مرحله ابتدای خوشه‌دهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تحت شرایط سایه‌اندازی قرار گیرد عملکرد شلتوک حدود ۵۵ درصد کاهش می‌یابد که علت آن کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه عنوان شد (٦).

نتایج بررسی‌های دیگری نشان داد که تشعشع پائین در طول دوره تمایز خوشه و پرشدن دانه تأثیر بیش‌تری بر کاهش عملکرد شلتوک دارد. در شرایط سایه‌اندازی، برگ‌ها، ساقه و غلاف‌های برنج به‌دلیل محدودیت فتوسنتزی نمی‌توانند مقدار کافی مواد فتوسنتزی برای ظهور پنجه و رشد دانه فراهم کنند (۹). تشعشع پائین در این مراحل، نسبت منبع به مخزن را تغییر داده و زیست‌توده اندام‌های مخزن

(تعداد دانه‌های بارور، تعداد دانه در خوشه و اندازه دانه) به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در مقابل، ظرفیت فتوسنتزی اندام‌های منبع (برگ‌ها) وقتی میزان نور کافی است به یک مقدار مطلوب رسیده و در نتیجه، عملکرد شلتوک نیز افزایش می‌یابد (٦ و ۱۰).

از طرف دیگر، نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی در تولید گیاهان زراعی و اولین عنصر محدودکننده عملکرد در زراعت برنج است (۱۱). در مورد اثر نیتروژن بر عملکرد شلتوک برنج پژوهش‌های متعددی انجام شده است؛ به‌طورکلی با افزایش مقدار نیتروژن تا یک حد معین عملکرد شلتوک به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد و تشکیل سنبلچه‌ها به‌وسیله جذب نیتروژن و دسترسی به کربوهیدرات‌ها در طول مرحله زایشی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. استفاده بیش از اندازه از کود نیتروژن و کاربرد نامناسب آن منجر به کاهش کارآیی مصرف نیتروژن و آلودگی‌های زیست‌محیطی، افزایش هزینه‌های تولید، کاهش عملکرد دانه و افزایش گرمای جهانی می‌گردد. کاربرد و مدیریت نامناسب مصرف نیتروژن آسیب‌های ناشی از تشعشع پایین را در بوم‌نظام برنج افزایش می‌دهد (۱۲). بنابراین کاربرد بهینه نیتروژن نه‌تنها موجب افزایش عملکرد و بهبود کارایی نیتروژن می‌شود، بلکه به‌طور فزاینده‌ای جهت تولید در کشاورزی پایدار اهمیت دارد (۱۳).

هرچند میزان دسترسی به نیتروژن و شدت تشعشع دو عامل کلیدی مؤثر در رشد و نمو برنج می‌باشند، اما در رابطه با اثرات مجموع این دو بر رشد و نمو و عملکرد برنج مطالعات بسیار کمی صورت گرفته است. برای کاهش اثرات سوء تشعشع پایین بر عملکرد، غربالگری واریته‌های متحمل به تنش سایه‌اندازی و بهینه‌سازی مدیریت زراعی رژیم کودی مناسب پیشنهاد شده است (١٤). تغذیه بهتر کارایی مصرف تابش در برنج را افزایش می‌دهد (۱۳). شی‌ئا و همکاران (۲۰۱۹) ثابت کردند میزان نیتروژن در کاهش اثرات مخرب تشعشع پایین بر عملکرد برنج از طریق افزایش تعداد گلچه در هر خوشه در رقم هیبرید مؤثر است (١٤). بنابراین هدف پژوهش حاضر ارزیابی اثرات کاهش تشعشع بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم شیرودی تحت تیمارهای مختلف نیتروژن در شرایط تشعشع طبیعی و سایه‌اندازی در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷ در معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در مازندران- آمل با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ٣٦ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۲۹/۸ متر از سطح آب‌های آزاد انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل کود نیتروژن از منبع اوره با ٤٦ درصد نیتروژن خالص در چهار سطح (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سایه‌اندازی در سه سطح (۰، ۳۰ و ٦۰ درصد سایه‌اندازی) و مرحله رشدی در سه سطح یعنی مرحله رویشی (۲۰ روز بعد از نشاکاری تا مرحله حداکثر پنجه‌زنی)، زایشی (از مرحله تشکیل خوشه اولیه حدود ٤٥ روز پس از نشاکاری تا ۵۰ درصد گلدهی) و پرشدن دانه (از ۵۰ درصد گلدهی تا رسیدگی کامل) و در هر مرحله به‌مدت ۲۵ روز بر اساس شناخت فنولوژی رقم پرمحصول شیرودی بودند. رقم شیرودی حاصل روش اصلاحی شجره‌ای و تلاقی رقم خزر و رقم محلی دیلمانی و یکی از ارقام پرمحصول رایج در مازندران با متوسط عملکرد ۷/۵ تن در هکتار و دوره رشد ۱۲۵ روز با میانگین مصرف کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار

اوره می‌باشد (۱۵). طرح آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خردشده با عامل اصلی مقدار کود نیتروژن، عامل فرعی مرحله رشدی و عامل فرعی فرعی سطوح مختلف تشعشع (نور) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. قبل از آماده‌سازی زمین، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مزرعه آزمایش برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و نیاز عناصر غذایی انجام شد (جدول ۱).

بذرهای رقم شیرودی پس از جوانه‌دارشدن، ۲۵ فروردین در خزانه بذرپاشی و آماده‌سازی زمین شامل انجام شخم اول در نیمه اول فروردین، شخم دوم در اواسط اردیبهشت و شخم سوم گلخرابی یا پیش‌کاول دو روز قبل از نشاکاری بود. بعد از این‌که نشاها به مرحله سه تا چهار برگی رسیدند به تعداد سه بوته در هر کپه و با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی‌متر مربع در کرت‌های فرعی فرعی به اندازه شش مترمربع در تاریخ ۳۱ اردیبهشت نشا شدند. کود اوره به عنوان منبع نیتروژن در سه مرحله (۵۰ درصد پایه، ۲۵ درصد ۲۰ روز و ۲۵ درصد باقی‌مانده ٤٥ روز بعد از نشاکاری) به کرت‌ها داده شد. مدیریت زراعی مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز در مواقع ضروری به صورت کنترل شیمیایی (آفات و بیماری) و دستی (علف‌هرز) انجام شد. بیست روز بعد از نشاکاری تیمار سایه‌اندازی 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 LP80 Accu PAR پایش گردید. داده‌های هواشناسی شامل دماهای بیشینه و کمینه (درجه سانتی‌گراد)، رطوبت نسبی (درصد)، شدت تشعشع (مگاژول بر مترمربع بر روز) و بارندگی (میلی‌متر) به‌صورت ماهانه از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی جمع‌آوری شد (جدول ۲).

به‌منظور بررسی اجزای عملکرد، ۱۰۰ خوشه از هر کرت به‌طور تصادفی برداشت و تعداد ۱۰ خوشه به‌عنوان نماینده جهت اندازه‌گیری صفات طول خوشه، تعداد کل دانه در خوشه، تعداد دانه پر و پوک انتخاب و شمارش شد. طول خوشه از محل گره زیرخوشه تا نوک خوشه در نظر گرفته شد. برای محاسبه وزن هزاردانه، تعداد صددانه بذر پر در سه تکرار از هر نمونه انتخاب و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ توزین شدند. به‌منظور تعیین شاخص برداشت، تعداد چهار کپه از هر کرت برداشت و در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرار داده شد. دانه و ساقه جدا توزین شده و شاخص برداشت از تقسیم عملکرد اقتصادی (شلتوک) به عملکرد زیست‌توده (مجموع شلتوک و کاه) محاسبه شد. برای تعیین عملکرد شلتوک نیز در مرحله رسیدگی کامل سه مترمربع از هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها در تاریخ ۸ شهریور برداشت و بعد از خرمنکوبی عملکرد با رطوبت ١٤ درصد محاسبه گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام و میانگین‌ها نیز به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

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

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

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.

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

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مقادیر مختلف کود بر تمامی صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تأثیر تیمار سایه‌اندازی، مرحله سایه‌اندازی و برهم‌کنش تیمارها بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد شامل دانه پر، پوک، تعداد خوشه و طول خوشه از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳).

اجزای عملکرد برنج

تعداد دانه کل، پر و پوک در خوشه: نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش مقادیر کود نیتروژنه و مرحله سایه‌اندازی نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه با حدود ۱۵۲ دانه در خوشه مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره همراه با سایه‌اندازی در مرحله رویشی بود که از نظر آماری با تیمار کودی ۱۰۰ کیلوگرم در

هکتار اوره تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین تعداد دانه با ۱۳۰ دانه در خوشه نیز مربوط به تیمار عدم مصرف کود و تنش سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه بود (جدول ٤). دانه‌های پر در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره و سایه‌اندازی در مرحله رویشی بیشترین تعداد و در تیمار عدم مصرف کود اوره و سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه کم‌ترین تعداد (۹۳ عدد) را داشتند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش مقادیر کود اوره و درصد سایه‌اندازی بیانگر آن بود که تیمارها از نظر صفات تعداد دانه کل و دانه‌های پر و پوک در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفتند (جدول ۵). بیش‌ترین تعداد دانه کل و دانه پر در خوشه به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و شرایط شاهد (نور طبیعی) به‌ترتیب با ١٦٥ و ١٤٦ دانه در خوشه اختصاص داشت (جدول ٦). در شرایط تنش سایه‌اندازی ٦٠ درصد، تعداد دانه کل در خوشه در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نسبت به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره حدود ۳ درصد بیش‌تر بود (جدول ۵). این نتیجه بیانگر این است که در شرایط تشعشع پایین مصرف زیاد کود نیتروژن موجب افزایش کانوپی (سایه‌انداز گیاهی) به‌دلیل بسته‌شدن فاصله، سایه‌اندازی بیش‌تر و رقابت برای جذب نور افزایش یافته، باروری گلچه و درنتیجه تعداد خوشه‌چه پر کاهش می‌یابد (١٤). به گزارش فتحی و همکاران (٢٠١٦) تعداد دانه کل بیش‌تر در خوشه نشان‌دهنده تخصیص بیش‌تر مواد فتوسنتزی از کل ماده خشک تولید شده به خوشه‌چه‌ها است (۱۷). بر طبق مطالعه شی‌ئا و همکاران (۲۰۱۹) تحت شرایط تشعشع پایین افزایش میزان کود نیتروژن رابطه منفی با میزان عملکرد داشت (١٤). مقایسه میانگین برهم‌کنش مرحله و درصد سایه‌اندازی بیانگر آن است که سایه‌اندازی در مرحله پر شدن دانه منجر به کاهش تعداد دانه در خوشه خواهد شد. کم‌ترین تعداد دانه کل در خوشه (١١٦ دانه) به ٦٠ درصد سایه‌اندازی در مرحله زایشی و بیش‌ترین تعداد دانه پوک در خوشه نیز با ٤٣ عدد به همین تیمار اختصاص داشت (جدول ٦). این میزان نسبت به تیمار شاهد (نور طبیعی) ۲۵ درصد در تعداد دانه و حدود ٤٥ درصد در تعداد دانه پر کاهش نشان داد (جدول ٦). تنش سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه منجر به پوک شدن درصد زیادی از دانه گردید، به‌طوری‌که درصد دانه پر در این تیمار به کم‌ترین مقدار (۷۳ دانه) رسیده است (جدول ٦). دلیل این موضوع را می‌توان به محدودیت مبدأ در تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای تولید و یا پرکردن دانه‌های موجود در خوشه‌ها دانست (١٦) در مطالعه‌ای شدت تشعشع خورشیدی اثر مثبتی بر تعداد دانه کل در برنج داشت (۱۷). تشکیل گلچه به‌شدت با جذب نیتروژن در اوایل دوره تشکیل خوشه ارتباط دارد. شدت تشعشع پایین نیز از طریق کاهش فتوسنتز در برگ برنج موجب کاهش تعداد دانه کل در خوشه می‌شود. علت اصلی کاهش فتوسنتز در برگ را می‌توان به عدم انتقال کربوهیدرات‌ها و مواد اولیه جهت فتوسنتز از آوند آبکش به برگ نسبت داد (۱۸). به‌طورکلی، دوره بحرانی برای مشخص‌شدن اندازه نهایی مخزن (تعداد دانه کل در خوشه و تعداد خوشه) در برنج ۲۰ تا ۳۰ روز قبل از گلدهی می‌باشد و سایه‌اندازی با تأثیر بر میزان تجمع ماده خشک در ابتدای مرحله تشکیل خوشه و مرحله گلدهی بر تعداد دانه کل اثر می‌گذارد (١٤). تشعشع پایین به‌ویژه در مرحله زایشی تعداد دانه پر در خوشه را کاهش

می‌دهد که علت آن را می‌توان به عقیمی گلچه‌ها، ضعف در باروری و اختلال در سرعت پرشدن دانه نسبت داد (۱۹). در برنج تعداد دانه پر در خوشه به مقدار فعالیت منبع و اندازه مخزن و یا قابلیت گلچه‌ها در جذب کربوهیدرات و انتقال مواد فتوسنتزی از برگ بستگی دارد (۱٤). در نتیجه، کاهش شدت تشعشع خورشیدی از طریق تأثیرگذاری بر تولید و انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به گلچه‌ها بر تعداد دانه پر اثر می‌گذارند (۱٤).

تعداد خوشه، طول خوشه و وزن دانه در خوشه: طول خوشه و تعداد خوشه دو جز مهم و تأثیرگذار بر عملکرد نهایی شلتوک می‌باشند. مقایسه میانگین برهم‌کنش کود در مرحله سایه‌اندازی نشان داد بیش‌ترین طول خوشه و تعداد خوشه به‌ترتیب با ۳۱ سانتی‌متر و ۲٦ خوشه در کپه به تیمار ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و سایه‌اندازی در مرحله رویشی تعلق داشت که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. کم‌ترین طول خوشه با ۲٦ سانتی‌متر به تیمار عدم مصرف کود اوره و سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه اختصاص داشت (جدول ٤). تعداد خوشه در کپه به مقدار زیادی تحت‌تأثیر مصرف کود اوره قرار می‌گیرد، به‌طوری که با افزایش مقدار کود اوره تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار تعداد خوشه در هر سه تیمار سایه‌اندازی افزایش یافت (جدول ۵). با افزایش نیتروژن سطح برگ، دوام برگ و توان فتوسنتزی افزایش یافته که نتیجه آن می‌تواند باعث افزایش تعداد پنجه بارور شود. اما افزایش بیش از حد نیتروژن و افزایش بیش از حد پنجه و تراکم بالا موجب سایه‌اندازی در فضای بین بوته‌ها و عدم توزیع نامناسب مواد فتوسنتزی و در نهایت منجر به ایجاد پنجه‌های نابارور و کاهش تعداد خوشه می‌شود (۱٤).

هم‌چنین با افزایش میزان مصرف نیتروژن و کاهش تشعشع، رشد رویشی افزایش یافته و تراکم بین بوته‌ای بالا و رقابت زیاد می‌شود و تخصیص مواد فتوسنتزی به هر خوشه کم‌تر و طول خوشه کاهش می‌یابد (۲). در بررسی برهم‌کنش کود و سایه‌اندازی اختلاف معنی‌داری بین میانگین تعداد خوشه و طول خوشه مشاهده شد. بیش‌ترین طول خوشه و تعداد خوشه در کپه به‌ترتیب با ۳۳ سانتی‌متر و ۳۰ خوشه در کپه به کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و تیمار شاهد (نور طبیعی) و کم‌ترین میزان آن نیز به تیمار عدم مصرف کود و ٦۰ درصد سایه‌اندازی با طول خوشه ۲۵ سانتی‌متر و ۱۵ خوشه در کپه تعلق داشت (جدول ۵). جانگ و همکاران (۲۰۱٤) ثابت کردند که میزان نیتروژن مصرفی و شاخص سطح برگ دو عامل اصلی اثرگذار بر تعداد پنجه می‌باشند که تنش سایه با ۸۰ درصد تأثیرگذاری بر میزان پنجه مؤثر موجب کاهش تعداد خوشه می‌شود (۲۰). ذخیره ناکافی آسیمیلات‌ها، کاهش سرعت فتوسنتز تحت شرایط تشعشع پایین منجر به عدم تشکیل خوشه از پنجه‌ها و افزایش تولید پنجه غیرمؤثر می‌گردد (۲۰). نتایج برهم‌کنش درصد سایه در مرحله سایه‌اندازی نشان داد بیش‌ترین میزان طول خوشه و تعداد خوشه مربوط به تیمار شاهد (نور طبیعی) با طول خوشه ۳۱ سانتی‌متر و تعداد ۲۷ خوشه در کپه بوده و کم‌ترین آن در تیمار ٦۰ درصد سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه (طول خوشه ۲٤ سانتی‌متر و تعداد ۱٤ خوشه در کپه) مشاهده شد (جدول ٦). یکی از دلایل تعیین‌کننده تفاوت در تعداد خوشه مربوط به میزان تشعشع دریـافتی می‌باشد. تعداد پنجه بالاتر در شرایط عدم محدودیت سایر منابع محیطی وابستگی بالایی به تأمین تابش خورشیدی و در نتیجه افزایش

فتوسنتز گیاه دارد (۲۰). تشعشع مناسب منجر به استفاده بهتر از فضاهای خالی و در نتیجه افزایش جذب نور و مواد غذایی و تولید پنجه بارور بیش‌تر در بوته می‌شود (٦). در پژوهشی به رابطه مثبت شدت تشعشع خورشیدی و تعداد خوشه برنج اشاره شد (۱۷). کاهش شدت تشعشع موجب کاهش تعداد پنجه و سطح برگ بوته و در نهایت کاهش تولید ماده خشک لازم برای تولید خوشه می‌شود (۱۱). از طرفی کمبود نیتروژن با کاهش رشد ریشه و تحریک پیری زودرس بر جذب و انتقال مواد به اندام رویشی تأثیر و باعث کاهش تعداد پنجه مؤثر می‌شود. هم‌چنین افزایش بیش از اندازه نیتروژن با افزایش رقابت درون‌گیاهی و فشردگی بیش از حد بوته‌ها از میزان فتوسنتز نهایی کاسته و تعداد خوشه را کاهش می‌دهد (۱۲).

عملکرد شلتوک و عملکرد زیست‌توده: نتایج حاصل از مقایسه میانگین برهم‌کنش مقادیر کود نیتروژنه و مرحله سایه‌اندازی نشان می‌دهد که در این بررسی بیش‌ترین میزان عملکرد شلتوک با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و با تنش نوری در مرحله رویشی و با مقدار ۷۷۲۸ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین میزان تولید با عدم مصرف کود اوره و با تنش نوری در مرحله پر شدن دانه و با عملکرد ۵۹۱۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول‌های ٤ و ٥). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش مقادیر کود اوره و درصد سایه‌اندازی نشان داد بیش‌ترین میزان عملکرد به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و شرایط شاهد (نور طبیعی)، با ۸۹۱۰ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین میزان تولید به تیمار بدون مصرف کود اوره و تنش نوری ٦۰ درصد با مقدار ۵۳۳۰ کیلوگرم در هکتار اختصاص داشت که نسبت به تیمار شاهد (نور طبیعی)، ۳۵ درصد کاهش عملکرد داشته است (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش مرحله و درصد سایه‌اندازی نیز بیانگر آن است که بیش‌ترین عملکرد شلتوک در واحد سطح به تیمار شاهد (نور طبیعی) با میزان ۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین میزان عملکرد به تنش نوری ٦۰ درصد در مرحله پرشدن دانه با حدود ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختصاص داشت (جدول ۷). این میزان یعنی حدود ٤۰ درصد عملکرد کم‌تر نسبت به تیمار شاهد در شرایط تنش تشعشع پایین مشاهده شد. علت کاهش عملکرد را می‌توان به کاهش تولید مواد فتوسنتزی ناشی از کاهش تشعشع دریافتی در مرحله‌ای که گیاه برنج، به مواد غذایی یا هیدرات‌های کربن بیش‌تری برای پرشدن دانه نیاز دارد، نسبت داد. بسیاری از پژوهش‌گران اثر مثبت شدت تشعشع خورشیدی بر عملکرد شلتوک را گزارش نمودند (۷ و ۲۱). یکی از دلایل اصلی افزایش عملکرد در گیاه برنج در شدت تشعشع مطلوب افزایش کارایی فتوسنتز در برگ به‌ویژه برگ پرچم عنوان شده است (۲۲). فقدان تشعشع خورشیدی کافی طی مراحل مختلف رشد برنج علاوه بر تأثیر بر طول دوره رشد در مرحله قبل از خوشه‌دهی موجب کاهش تعداد خوشه بارور شده و بعد از این مرحله موجب کاهش میزان فتوسنتز، کاهش تجمع ماده خشک و ظرفیت منبع، کاهش تعداد دانه پر، وزن هزاردانه و در نهایت کاهش عملکرد شلتوک خواهد شد (١٤). در این خصوص پژوهش‌های دنگ و همکاران (۲۰۰۹) و لیو و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که سایه‌اندازی بعد از مرحله خوشه‌دهی، موجب محدودشدن میزان فتوسنتز خالص، تجمع کم‌تر ماده خشک و کاهش ظرفیت مخزن در گیاه برنج می‌شود که به‌طور معنی‌داری موجب کاهش تعداد دانه پر و وزن هزاردانه و در

نهایت منجر به کاهش عملکرد شلتوک می‌شود. روابط عکس تعداد خوشه در کپه و میزان تولید در واحد سطح، به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی را می‌توان به عدم توازن منبع و مخزن در مرحله پرشدن دانه نسبت داد (٦). علاوه‌براین، کاهش تشعشع خورشیدی از مرحله کاشت تا مرحله آبستنی موجب کاهش تعداد خوشه بارور، تعداد دانه در خوشه و در مرحله خوشه‌دهی موجب کاهش دانه‌بندی و کاهش عملکرد شلتوک شد (٦). تشعشع پایین در مرحله زایشی تعداد دانه در بوته را کاهش و در نهایت موجب کاهش عملکرد می‌شود که علت آن به عقیمی گلچه‌ها، ضعف در باروری و اختلال در سرعت پر شدن دانه نسبت داده شده است (۲۳).

بیش‌ترین مقدار عملکرد زیست‌توده با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و با سایه‌اندازی در مرحله رویشی با مقدار ۱٥٤٤۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ٤). کم‌ترین مقدار عملکرد زیست‌توده نیز متعلق به تیمار عدم مصرف کود و سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه با ۱۲۰٥۳ کیلوگرم در هکتار بود. این نتیجه نشان می‌دهد که مصرف کود اوره منجر به افزایش عملکرد زیست‌توده می‌گردد اما به علت رقابت دانه‌ها به عنوان مخزن در جذب مواد غذایی و هم‌چنین تولید مواد فتوسنتزی اندک ناشی از تنش‌های محیطی از جمله تنش نوری در مراحل مختلف رشد به‌ویژه در مرحله پرشدن دانه منجر به کاهش عملکرد اقتصادی در برنج خواهد شد (١٤). بیش‌ترین میزان عملکرد زیست‌توده در تیمار برهم‌کنش دوگانه کود و درصد سایه‌اندازی به‌ترتیب مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در شرایط شاهد (نور طبیعی) با ١٦٥۰۰ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن مربوط به تیمار عدم مصرف کود و ٦۰ درصد سایه‌اندازی با مقدار ۱۱۷۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد زیست‌توده بوده است (جدول ٥).

افزایش شدت تشعشع خورشیدی در طول دوره رشد گیاه برنج موجب افزایش عملکرد زیست‌توده و کاهش آن باعث کاهش جذب انرژی لازم توسط برگ‌ها، کاهش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی شده که در نهایت کاهش عملکرد زیست‌توده در ارقام برنج را در پی خواهد داشت (١٤). هر چه میزان جذب نور توسط جامعه گیاهی افزایش یابد به دنبال آن عملکرد زیست‌توده و اقتصادی نیز افزایش خواهد یافت، چرا که در محصولات دانه‌ای افزایش سهم عملکرد اقتصادی نسبت به عملکرد بیولوژیکی مدنظر است (١٤).

وزن هزاردانه و شاخص برداشت: وزن هزاردانه در تیمارهای مختلف، متفاوت بوده به‌طوری‌که در برهم‌کنش مقدار کود و مرحله سایه‌اندازی بیش‌ترین مقدار این صفت به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و سایه‌اندازی در مرحله رویشی با ۲٦/٥ گرم تعلق داشت (جدول ٤). هم‌چنین مقایسه میانگین برهم‌کنش مقادیر کود و درصد سایه‌اندازی نشان داد بیش‌ترین وزن هزاردانه به تیمار کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و تیمار شاهد (نور طبیعی) با ۲۸/۱ گرم و کم‌ترین مقدار به تیمار کودی صفر و با تنش نوری ٦۰ درصد با ۲۳/۷ گرم وزن هزاردانه تعلق داشت (جدول ٥). بیش‌ترین وزن هزاردانه در برهم‌کنش مرحله و درصد سایه‌اندازی مربوط به تیمار شاهد (نور طبیعی) با ۲۷/۱ گرم بود (جدول ٦). هرچند وزن هزاردانه صفتی است که تحت‌تأثیر عوامل ژنتیکی قرار داشته اما تا حدودی تحت‌تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (۲٤). یکی از دلیل بالا بودن وزن هزاردانه را می‌توان به کاهش تعداد پنجه و دانه

در خوشه به‌خاطر تنش نوری در مرحله رویشی و به شرایط مطلوب نوری در مرحله زایشی و رسیدگی نسبت داد. در همین رابطه، جانگ و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که وزن هزاردانه برنج تحت‌تأثیر تیمار کود نیتروژن قرار گرفت، به‌طوری‌که کاربرد کود نیتروژنه در حد مطلوب منجر به تولید دانه‌های بزرگ‌تر و در نتیجه وزن هزاردانه بیش‌تری شد. از سوی دیگر مصرف بیش از اندازه آن به‌دلیل رشد رویشی بالا و پرشدن ضعیف دانه دانه‌های لاغرتر با وزن هزاردانه کم‌تر خواهد بود (۲۰). تشعشع پایین با تأثیر بر اندازه شلتوک و رشد ناقص بذر موجب کاهش وزن هزاردانه می‌شود (۲۵). شی‌ئا و همکاران در پژوهشی نشان دادند وقوع تنش تشعشع پایین به‌ویژه در مرحله پرشدن دانه از طریق تأثیر بر روند انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش تجمع ماده خشک وزن هزاردانه را کاهش می‌شود که با نتایج این مطالعه مطابقت داشت (۱٤). شاخص برداشت بیانگر چگونگی تسهیم مواد پرورده بین اندام رویشی گیاه و دانه می‌باشد. با توجه به جدول اثر متقابل کود در مرحله سایه‌اندازی بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص برداشت به‌ترتیب به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و مرحله رویشی و تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و مرحله پرشدن دانه اختصاص داشت (جدول ٤). معمولاً ارقام اصلاح شده در مقایسه با ارقام محلی برنج دارای توانایی بیش‌تری در تخصیص مواد فتوسنتزی به خوشه‌ها و در نتیجه افزایش شاخص برداشت هستند. در مطالعه حاضر نیز رقم شیرودی به عنوان یک رقم اصلاح‌شده پرمحصول، با تولید تعداد دانه بیش‌تر در هر خوشه ظرفیت مخزن خود را بیش‌تر کرده و از این طریق منجر به افزایش شاخص برداشت شد.

تجزیه همبستگی صفات نشان داد که عملکرد شلتوک بیش‌ترین همبستگی مثبت را با صفات تعداد کل دانه و تعداد دانه پر ($r=۰/۹۹^{**}$) و بیش‌ترین همبستگی منفی را با تعداد دانه پوک ($r=-۰/۹۳^{**}$) داشت. این نتایج نشان‌دهنده آن است که با افزایش تعداد دانه پر به میزان عملکرد شلتوک افزوده و با افزایش میزان دانه پوک از عملکرد کاسته می‌شود. از طرفی تعداد دانه پر نیز بیش‌ترین همبستگی مثبت را با تعداد خوشه در گیاه داشت. در واقع با افزایش تعداد خوشه، گیاه در مراحل انتهایی رشد دچار محدودیت مبدا شده و توانایی تولید مواد فتوسنتزی کافی برای تشکیل دانه زیاد و در نتیجه پرکردن آن‌ها نیست، چون باید شیره پرورده تولیدشده را به خوشه‌های زیادتری تخصیص دهد، در نتیجه از تعداد دانه‌ها در خوشه کاسته می‌شود. نتایج این مطالعه هم‌چنین نشان داد بین عملکرد شلتوک با عملکرد زیست‌توده ($r=۰/۸۷^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. با افزایش تعداد دانه پر شاخص برداشت افزایش و با افزایش دانه پوک به‌دلیل کاهش عملکرد شلتوک (عملکرد اقتصادی) از شاخص برداشت کاسته می‌شود.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات زراعی رقم شیرودی تحت شرایط سایه‌اندازی و نیتروژن.

Table 3. Analysis of variance results related to the agronomic traits in rice (cv. 'Shiroudi') at different levels of shading and nitrogen fertilizer.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کل دانه No. Total grains	دانه پر No. Filled grains	دانه پوک Empty grains	وزن هزاردانه Weight of thousand grain (g)	طول خوشه Panicle length (cm)	تعداد خوشه No. panicle in plant	عملکرد دانه Paddy yield (kg ha^{-1})	وزن خوشه Panicle weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد زیست‌توده Biological yield (kg ha^{-1})
تکرار Replication (R)	2	1.63	2.85	0.56	0.001	0.05	0.01	14551.11	0.005	0.13	25703
مقادیر کود Amounts of N fertilizer (N)	3	716.32**	1737.62**	269.76**	10.684**	26.24**	78.23**	4725302.63**	0.502**	134.20**	25287219**
تکرار × کود R * N	6	0.63	0.51	0.29	0.016	0.03	0.06	553.06	0.001	0.02	817
مرحله سایه Shading stage (S)	2	1097.92**	2490.35**	288.13**	6.189**	44.56**	127.63**	5897015.96**	1.296**	25.16**	14838528**
کود × مرحله سایه N * S	6	12.17**	76.22**	30.54**	0.328**	1.50**	5.05**	97595.30**	0.019**	4.90**	133697**
تکرار × کود (مرحله سایه) R * N (S)	16	0.34	0.08	0.40	0.020	0.04	0.06	1516.57	0.001	0.02	2000
درصد سایه Shading percent (SP)	2	8058.91**	19617.32**	2534.92	80.440	311.14	1050.56	47415682.65	6.729	748.80	40537995**
کود × درصد سایه SP * N	6	71.74**	178.23**	97.16**	2.827**	1.56**	2.89**	738944.85**	0.022**	2.80**	1518884**
مرحله سایه × درصد سایه S * SP	4	333.89**	726.27**	86.21**	1.144**	7.46**	26.29**	1201370.91**	0.368**	26.52**	1159051**
کود × مرحله سایه × درصد سایه N * S * SP	12	13.21**	29.32**	9.86**	0.286**	0.68**	2.62**	79821.37**	0.017**	1.77**	80725**
خطای کل Total error	48	0.61	0.44	0.51	0.024	0.05	0.09	1392.69	0.001	0.02	1752
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		5.2	9.7	10	2.24	1	2.1	8.5	9	6.4	5.7

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

جدول ٤- اثر متقابل مقادیر کود و مرحله سایه‌اندازی بر صفات مورد مطالعه.

Table 4. Interaction effect of fertilizer amounts and light stress stage on studied traits.

مقادیر کود Amount of N Fertilizer	مرحله سایه‌اندازی Shading stage	کل دانه No. Total grains	دانه پر No. Filled grains	دانه پوک Empty grains	وزن هزاردانه Weight of thousand grain (g)	طول خوشه Panicle length (cm)	تعداد خوشه No. panicle in plant	عملکرد دانه Paddy Yield (kg/ha)	وزن خوشه Panicle weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد زیست‌توده Biological yield (kg/ha)
0	رویشی Vegetative	139.94^{d}	107.03^{i}	32.91^{c}	24.86^{g}	28.12^{d}	21.07^{ef}	6668.41^{gh}	3.25^{c}	50.61^{b}	13156.62^{j}
	زایشی Reproductive	137.06^{f}	102.9^{k}	34.18^{b}	24.65^{h}	27.56^{f}	20.18^{g}	6446.12^{i}	3.13^{e}	50.57^{b}	12713.44^{k}
	رسیدگی Maturity	130.38^{h}	93.28^{l}	37.11^{a}	24.32^{i}	26.28^{h}	18.42^{i}	5913.50^{k}	2.85^{g}	48.61^{f}	12053.58^{l}
100	رویشی Vegetative	152.17^{a}	129.71^{a}	22.466^{j}	26.50^{a}	30.71^{a}	26.01^{a}	7606.11^{b}	3.58^{a}	51.72^{a}	14688.29^{e}
	زایشی Reproductive	145.58^{b}	115.66^{d}	29.93^{e}	25.61^{c}	29.03^{b}	22.68^{c}	7043.42^{d}	3.33^{b}	50.12^{c}	13991.06^{g}
	رسیدگی Maturity	139.18^{e}	107.99^{h}	31.20^{d}	25.33^{e}	28.01^{de}	20.88^{f}	6630.05^{h}	3.15^{de}	49.02^{e}	13434.67^{i}
200	رویشی Vegetative	152.60^{a}	128.28^{b}	24.32^{h}	26.57^{a}	30.86^{a}	25.88^{a}	7728.81^{a}	3.56^{a}	49.89^{d}	15442.36^{a}
	زایشی Reproductive	145.60^{b}	116.64^{c}	28.95^{fg}	25.81^{b}	29.23^{b}	22.96^{b}	7209.65^{c}	3.33^{b}	48.12^{g}	14856.74^{c}
	رسیدگی Maturity	140.28^{d}	108.47^{g}	31.81^{d}	25.56^{cd}	27.90^{e}	21.16^{e}	6834.69^{f}	3.15^{de}	47.87^{h}	14112.23^{f}
300	رویشی Vegetative	143.05^{c}	114.56^{e}	28.50^{g}	25.44^{de}	28.61^{c}	22.17^{d}	6919.74^{e}	3.31^{b}	45.53^{i}	15154.46^{b}
	زایشی Reproductive	139.1^{e}	109.8^{f}	29.22^{f}	25.13^{f}	28.08^{de}	20.97^{ef}	6697.11^{g}	3.18^{d}	45.06^{j}	14798.91^{d}
	رسیدگی Maturity	133.77^{g}	103.32^{j}	30.45^{e}	24.91^{g}	27.21^{g}	19.644^{h}	6308.72^{j}	3.03^{f}	45.58^{i}	13734.13^{h}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, the averages that have at least one common letter are not significantly different based on the least significant difference (LSD) test

جدول ۵- اثر متقابل کود و درصد سایه‌اندازی بر صفات مورد مطالعه.

Table 5. Interaction effect of fertilizer amounts and shading percent on studied traits.

مقادیر کود Fertilizer level	سایه‌اندازی Shading	کل دانه No. Total grains	دانه پر No. Filled grains	دانه پوک Empty grains	وزن هزاردانه Weight of thousand grain (g)	طول خوشه Panicle length (cm)	تعداد خوشه No. panicle in plant	عملکرد دانه Paddy Yield (kg/ha)	وزن خوشه Panicle weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد زیست‌توده Biological yield (kg/ha)
0	0	148.20^{d}	118.72^{d}	29.47^{g}	25.40^{d}	29.96^{d}	24.78^{d}	7228.33^{d}	3.49^{d}	54.76^{a}	13200.47^{i}
	30	137.46^{h}	104.25^{g}	33.21^{e}	24.65^{e}	27.26^{h}	19.85^{h}	6471.10^{h}	3.16^{h}	49.92^{e}	12959.02^{k}
	60	121.73^{l}	80.22^{k}	41.51^{a}	23.78^{h}	24.74^{l}	15.04^{l}	5328.60^{l}	2.58^{l}	45.10^{h}	11764.15^{l}
100	0	160.75^{b}	138.85^{b}	21.90^{j}	27.60^{b}	32.04^{b}	28.28^{b}	8168.24^{b}	3.71^{b}	54.38^{b}	15018.55^{c}
	30	144.13^{e}	118.55^{d}	25.57^{i}	25.47^{d}	29.04^{e}	23.18^{e}	7014.25^{e}	3.39^{e}	49.91^{e}	14038.49^{f}
	60	132.06^{i}	95.94^{h}	36.12^{d}	24.36^{f}	26.66^{i}	18.11^{i}	6097.09^{i}	2.96^{i}	46.56^{g}	13056.98^{j}
200	0	165.87^{a}	146.02^{a}	19.85^{k}	28.31^{a}	33.02^{a}	29.65^{a}	8908.09^{a}	3.79^{a}	53.99^{c}	16501.08^{a}
	30	143.11^{f}	114.71^{e}	28.40^{h}	25.38^{d}	28.65^{f}	22.87^{f}	6909.33^{f}	3.35^{f}	47.72^{f}	14462.65^{e}
	60	129.50^{j}	92.65^{i}	36.84^{c}	24.25^{f}	26.32^{j}	17.48^{j}	5955.72^{j}	2.89^{j}	44.16^{j}	13447.60^{h}
300	0	152.64^{c}	136.71^{c}	15.93^{l}	26.80^{c}	31.25^{c}	26.57^{c}	7804.65^{c}	3.61^{c}	50.16^{d}	15567.05^{b}
	30	138.71^{g}	106.26^{f}	32.44^{f}	24.72^{e}	27.48^{g}	20.75^{g}	6549.13^{g}	3.20^{g}	44.89^{i}	14591.28^{d}
	60	124.57^{k}	84.77^{j}	39.80^{b}	23.96^{g}	25.16^{k}	15.46^{k}	5571.78^{k}	2.71^{k}	41.11^{k}	13529.16^{g}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, the averages that have at least one common letter are not significantly different based on the least significant difference (LSD) test

جدول ٦- اثر متقابل مرحله و درصد سایه‌اندازی بر صفات مورد مطالعه.

Table 6. Interaction effect of shading stage and percent on studied traits.

سایه‌اندازی Shading	مرحله سایه‌اندازی Shading stage	کل دانه No. Total grains	دانه پر No. Filled grains	دانه پوک Empty grains	وزن هزاردانه Weight of thousand grain (g)	طول خوشه Panicle length(cm)	تعداد خوشه No. panicle in plant	عملکرد دانه Paddy Yield (kg/ha)	وزن خوشه Panicle weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد زیست‌توده Biological yield (kg/ha)
0	رویشی Vegetative	157.18^{a}	135.25^{a}	21.92^{f}	27.12^{a}	31.82^{a}	27.62^{a}	8117.4^{a}	3.67^{a}	52.92^{b}	15357.5^{a}
	زایشی Reproductive	156.87^{a}	135.041^{a}	21.83^{f}	26.94^{b}	31.55^{b}	27.42^{a}	8043.3^{b}	3.66^{a}	53.02^{b}	15191.6^{b}
	رسیدگی Maturity	156.54^{a}	134.93^{a}	21.61^{f}	27.01^{ab}	31.33^{c}	26.93^{b}	7921.2^{c}	3.62^{b}	54.03^{a}	14666.1^{c}
30	رویشی Vegetative	145.68^{b}	120.01^{b}	25.67^{e}	25.72^{c}	29.44^{d}	23.75^{c}	7104.8^{d}	3.44^{c}	48.78^{c}	14579.1^{d}
	زایشی Reproductive	142.19^{c}	111.13^{c}	31.05^{d}	24.91^{d}	28.40^{e}	21.97^{d}	6770.8^{e}	3.31^{d}	48.12^{d}	14098.6^{e}
	رسیدگی Maturity	134.69^{e}	101.70^{e}	32.99^{c}	24.54^{f}	26.50^{g}	19.275^{f}	6332.2^{g}	3.08^{f}	47.45^{e}	13360.8^{g}
60	رویشی Vegetative	137.96^{d}	104.41^{d}	33.55^{c}	24.69^{e}	27.46^{f}	19.98^{e}	6470.1^{f}	3.17^{e}	46.6^{f}	13894.5^{f}
	زایشی Reproductive	126.45^{f}	87.62^{f}	38.82^{b}	24.05^{g}	25.48^{h}	15.71^{g}	5733.1^{h}	2.75^{g}	44.26^{g}	12979.8^{h}
	رسیدگی Maturity	116.49^{g}	73.15^{g}	43.33^{a}	23.54^{h}	24.22^{i}	13.88^{h}	5011.7^{i}	2.44^{h}	41.83^{h}	11974.0^{i}

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, the averages that have at least one common letter are not significantly different based on the least significant difference (LSD) test

جدول ۷- همبستگی بین صفات مورد مطالعه.

Table 7. Correlation between studied traits.

	کل دانه No. Total grains	دانه پر No. Filled grains	دانه پوک Empty grains	وزن هزاردانه Weight of thousand grain	طول خوشه Panicle length	تعداد خوشه No. panicle in plant	عملکرد شلتوک Paddy Yield	وزن خوشه Panicle weight	شاخص برداشت Harvest index
دانه پر	0.98**	1							
دانه پوک	-0.92**	-0.97**	1						
وزن هزاردانه	0.95**	0.95**	-0.91**	1					
طول خوشه	0.99**	0.99**	-0.94**	0.96**	1				
تعداد خوشه	0.99**	0.99**	-0.94**	0.94**	0.99**	1			
عملکرد شلتوک	0.99**	0.99**	-0.93**	0.97**	0.99**	0.98**	1		
وزن خوشه	0.98**	0.98**	-0.93**	0.89**	0.97**	0.98**	0.97**	1	
شاخص برداشت	0.86**	0.84**	-0.75**	0.79**	0.85**	0.86**	0.85**	0.85**	1
عملکرد زیست‌توده	0.85**	0.87**	-0.85**	0.85**	0.85**	0.83**	0.87**	0.84**	0.49**

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

** is significant at one percent level

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هرچه میزان دریافت تشعشع در مراحل زایشی و پرشدن دانه کم‌تر شود، درصد دانه‌های پر، وزن هزاردانه و عملکرد در واحد سطح کاهش می‌یابد. در بین صفات مورد مطالعه تعداد خوشه و تعداد دانه پر بیش‌ترین همبستگی مثبت و تعداد دانه پوک بیش‌ترین همبستگی منفی را با عملکرد شلتوک داشتند. افزایش حدود ۵۰ درصدی تعداد دانه پوک در خوشه با سایه‌اندازی در مرحله پرشدن دانه بیانگر این است که میزان کاهش شدت تشعشع خورشیدی در مرحله پرشدن دانه از اهمیت زیادی برخوردار است و بنابراین انتخاب تاریخ کاشت مناسب جهت مطابقت با دریافت تشعشع و دستیابی به تولید مطلوب، ضروری می‌باشد. با وجود این‌که میزان مطلوب کود اوره برای رقم شیرودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد اما در شرایط سایه‌اندازی (تشعشع پایین) تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره عملکرد بهتری نسبت به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم داشت و اجزاء عملکرد این تیمار کودی در شرایط تنش تشعشع پایین نتایج بهتری داشتند. بنابراین کاربرد بهینه کود نیتروژن با توجه به سایر پارامترهای محیطی مانند تشعشع منجر به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش عملکرد دانه می‌شود.

سپاسگزاری

به‌این‌وسیله از همکاری مؤسسه تحقیقات برنج کشور معاونت مازندران-آمل و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری که در اجرای پروژه نهایت همکاری را داشتند قدردانی می‌شود.

منابع

1. Amiri Larijani, B., Ramezanpour, Y., Karegaran, M., Shokri, A., & Hosseini, J. (2008). Technology for increasing rice yield and reducing producing cost based on modern system of culture management. In Proceeding of Improvement and Breeding of Rice. *Ghaemshahr, Iran*. [In Persian]
2. Pan, S. G., Cao, C. G., Cai, M. L., Wang, J. P., Wang, R. H., Yuan, B. Z., & Zhai, J. (2015). Effects of nitrogen application and shading on yields and some physiological characteristics in different rice genotypes. *Chinese Journal Rice Science*. 29 (2), 141-149. [in Chinese with English abstract]
3. Stanhill, G. (2005). Global dimming: A new aspect of climate change. *Weather*. 60 (1), 11-14.
4. Shuai, J., Zhang, Z., Liu, X., Chen, Y., Wang, P., & Shi, P. (2013). Increasing concentrations of aerosols offset the benefits of climate warming on rice yields during 1980–2008 in Jiangsu Province, China. *Regression Environment Change*, 13, 287-297.
5. 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.
6. 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.
7. Deng, F., Wang, L., Yao, X., Wang, J. J., Ren, W.J., & Yang, W.Y. (2009). Effects of different-growing-stage shading on rice grain-filling and yield. *Journal Sichuan Agriculture University*, 27 (3), 265-269. [In Chinese with English abstract]
8. Praba, M. L., Vanangamudi, M., & Thandapani, V. (2004). Effect of low light on yield and physiological attributes of rice. *Crop Management Physiology*, 29 (2), 71-73.
9. 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, 9992.
10. Zou, Y., & Peng, S. (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.
11. Peng, S., Buresh, R. J., Huang, J., Zhong, X., Zou, Y., Yang, J., Wang, G., Liu, Y., Hu, R., & Tang, Q. (2010). Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management. A review. *Agronomy Sustainable Development*, 30, 649-656.
12. Li, D. Q., Tang, Q. Y., Zhang, Y. B., Qin, J. Q., Li, H., 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.
13. Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2015). Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528 (3), 51-59.
14. Xiea, 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.
15. Mohaddesi A., Eshraghi, A., Nasiri, M., Bahrami, M., Allahgholipour, M., Kianoush, GH. A., Tavasoli, F., Oskou, T., Arefi, H., Mohammadsalehi, M., Padam, H., Omrani, M., Vafadar, A., Saeidi, M., & Yosofi, M. (2004). Shiroudi, a new high yielding and good quality rice cultivar. *Seed and Plant Journal*. 4, 1-25. [In Persian]
16. Gbadamosi, A., & Daniel, M. M. (2014). Effect of light intensity on growth and yield of a nigerian local rice variety-Ofada. *International Journal of Plant Research*. 4, 89-94.
17. Fathi, N., Pirdashti, H., Nasiri, M., & Bakhshandeh, A. (2016). The effect of

temperature and radiation intensity on rice yield and yield components in Mazandaran climatic conditions. *Journal of Crops Improvement*, 19 (1), 163-176.

18. Deng, X. L., Yang, S., Zhang, C., Fahad, S., Peng, S., Cui, K., Nie, L., & Huang, J. (2015). Influence of temperature and solar radiation on grain yield and quality in irrigated rice system. *European Journal of Agronomy*, 64, 37-46.
19. Shao, S., Liu, Z., Li, H., Zhang, Y., Dong, M., Guo, X., Zhang, H., Huang, B., Ni, R., Li, G., Cai, C., Chen, W., Luo, W., & Yin, X. (2021). The impact of global dimming on crop yields is determined by the source–sink imbalance of carbon during grain filling. *Global Change Biology*, 27, 689-708.
20. Zhang, W. J., Li, G. H., Yang Y. M., Li, Q., Zhang, J., Liu, J. Y., Wang S. H., Tang, S., & Ding, Y. F. (2014). Effects of Nitrogen Application Rate and Ratio on Lodging Resistance of Super Rice with Different Genotypes. *Journal of Integrative Agriculture*. 13 (1), 63-72.
21. Shrestha, S., Asch, F., Dusserre, J., Ramanantsoanirina, A., & Brueck, H. (2012). Climate effects on yield components as affected by genotypic responses to variable environmental conditions in upland rice systems at different altitudes. *Field Crops Research*, 134, 216-228.
22. Liu, Q., Cai, J., Li, T., & Zhang, J. (2007). Response of grain-filling properties and quality in rice to weak light during initial period of young spike. *Acta Agronomica Sinica*, 29, 172-175.
23. Wang, Y., Ge, M. J., Yan, X. T., Wei, H. Y., Zhang, H. C., Dai, Q. G., Huo, Zh. Y., & Xu, K. (2014). Effects of light, nitrogen and their interaction on grain yield and matter production characteristics of japonica super rice. *Acta Agronomica Sinica*. 40 (1), 154-165.
24. Zhang, B., & Yamagishi, J. (2010). Response of spikelet number per panicle in rice cultivars to three transplanting densities. *Plant Production Science*, 13, 279-288.
25. Alipour Abookheili, F., Noormohammadi, Gh., Madani, H., Heidari Sharifabad, H., & Mobasser, H. (2020). Effect of Nitrogen Splitting and Plant Density on Yield and Grain Yield Components of Two Rice Genotypes (*Oryza sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17 (4), 631-645.