J. Crop Prod. Process. 2026, 16(3), 79-98; DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

Evaluation of Planting Depth and Plant Density Effects on Vegetative Traits, Yield, and Grain Quality of Shiroudi Rice (*Oryza sativa* L.) in the Amol Region, North of Iran

Seyyed Ali Sadeghi, Hamid Reza Mobasser*, Elyas Rahimi Petroudi and Alireza Daneshmand

Department of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

Extended Abstract:

Introduction: Rice (*Oryza sativa L.*) is one of the world's most important food crops, and improving its yield and ensuring sustainable production are essential for global food security. Spatial variability caused by erosion or topographic features can alter soil properties across different cultivation zones. Selecting an appropriate planting depth enhances plant growth, root development, and yield, although the extent of these effects depends on soil type and field conditions. Determining the optimal plant density in rice cultivation is also crucial, as it is influenced by the soil's physical and chemical characteristics as well as its fertility status. Accordingly, this study aimed to investigate how planting depth affects the optimal plant density of rice at two distinct locations in the Amol region in north of Iran.

Materials and Methods: This experiment was conducted in Amol, located in Mazandaran Province in northern Iran. A randomized complete block design with a split-plot arrangement and four replications was used. Planting depth at two levels (1.5 and 4 cm) served as the main factor, while plant density at three levels (15.2, 19.6, and 27.8 hills m^{-2}, corresponding to planting spacings of 22 × 30, 17 × 30, and 12 × 30 cm, respectively) was evaluated as the sub-factor. The study was carried out simultaneously in 2022 and 2023 across two rice fields with different geographic coordinates (Location 1: 36°36'16.9"N, 52°28'10.9"E; Location 2: 36°36'25.4"N, 52°27'57.5"E) but under the same climatic conditions. Measured traits included root length, shoot height, number of panicles m^{-2}, total spikelets m^{-2}, filled spikelets m^{-2}, 1000-grain weight, paddy yield, milling recovery, head rice yield, chalkiness, and gelatinization temperature. Combined analysis of variance was performed using SAS 9.2 and MSTAT-C, and mean comparisons were conducted using Tukey's test at the 5% probability level.

Results and Discussion: The results showed that at the tillering stage, root length in Location 2 was 8.7% greater than in Location 1. However, at the panicle-initiation stage, shoot height in Location 1 exceeded that of Location 2 by 27.63 cm. At the tillering stage, root length at the 4 cm planting depth was also 7.2% shorter than at the 1.5 cm depth. During panicle initiation, the greatest root length was recorded in Location 1 at the 1.5 cm depth (25.74 cm). At the flowering stage, the highest root lengths (21.87 and 20.73 cm) and shoot heights (111.1 and 114.1 cm) were obtained in the same location at planting depths of 1.5 and 4 cm, respectively. In this stage, the minimum root length occurred at the density of 27.8 hills m^{-2} (19.12 cm), while the shortest shoot height in 2023 was observed at the density of 19.6 hills m^{-2} (100.2 cm). The lowest shoot height at the tillering stage was recorded in Location 1 in 2022 at the 4 cm depth and a density of 27.8 hills m^{-2} (27.84 cm). The highest total number of spikelets and filled spikelets m^{-2} was recorded in Location 1 at the density of 27.8 hills m^{-2} (73120 and 65300 spikelets, respectively). The maximum number of tillers m^{-2} in Location 1 was obtained in 2022 and 2023 at the 1.5 cm planting depth and the density of 27.8 hills m^{-2}, with 541.1 and 549.5 tillers, respectively. In addition, the greatest 1000-grain weight was recorded in the same location and only in 2023 under the same treatments, reaching 28.59 g. The highest paddy yield, 9322 kg ha^{-1}, was achieved in Location 1 in 2022 at the density of 15.2 hills m^{-2}. Additionally, the maximum paddy yield in the latter location was obtained at the 1.5 cm planting

Received: Feb. 11, 2026; Revised: Aug. 16, 2026; Accepted: Aug. 23, 2026; Published Online: Oct. 17, 2026.
* Corresponding Author: drmobasser.neg@gmail.com

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

depth with a density of 15.2 hills m^{-2} (9559 kg ha^{-1}), and at the 4 cm depth with a density of 27.8 hills m^{-2} (9291 kg ha^{-1}). The milling degree in Location 1 was 2.82% higher than in Location 2. However, gelatinization temperature (3.678) and grain chalkiness (4.326%) were both higher in Location 2 compared with Location 1 (3.142 and 3.836%, respectively). The milling degree in 2023 was also 1.75% greater than in 2022. In addition, the lowest milling degree was observed at the density of 19.6 hills m^{-2} (83.64%). The lowest milling recovery, with an average of 61.40%, occurred in Location 2 in 2022 at the density of 19.6 hills m^{-2}.

Conclusions: Based on the results of the present study, root length was greater in Location 2 at the tillering stage; however, during panicle initiation and flowering, both root length and shoot height were superior in Location 1. In Location 1, the highest number of tillers, the greatest 1000-grain weight (under shallow planting), and the highest total and filled spikelets (under both shallow and deep planting) were obtained at a density of 27.8 hills m^{-2}. In the same location, planting at 1.5 cm with 15.2 hills m^{-2} and 4 cm with 27.8 hills m^{-2} produced the highest grain yields. In 2022, the lowest milling recovery was recorded in Location 2 at a medium density of 19.6 hills m^{-2}, and grain chalkiness was also higher in this location. Overall, for the Amol region and the clay-loam conditions of Location 1, planting at 1.5 cm with 15.2 hills m^{-2} and 4 cm with 27.8 hills m^{-2} is recommended for the Shiroudi cultivar.

Keywords: Appropriate depth, Optimal density, Paddy yield, Qualitative yield, Soil properties.

How to Cite: Sadeghi S A., Mobasser H R., Rahimi Petroudi E., Daneshmand A., Evaluation of planting depth and plant density effects on vegetative traits, yield, and grain quality of shiroudi rice (*Oryza sativa* L.) in the Amol region region, North of Iran. *J. Crop Prod. Process*. 2026, 16(3), 79-98 (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

Copyright © 2026 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۵، دوره ۱۶، شماره ۳، صص. ۹۸-۷۹ DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی

صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر عمق کاشت و تراکم گیاهی برخصوصیات رویشی، عملکرد و کیفیت دانه برنج (*Oryza sativa* L.) رقم شیرودی در منطقه آمل

سید علی صادقی، حمیدرضا مبصر*، الیاس رحیمی پطرودی و علیرضا دانشمند

چکیده– تراکم بهینه برنج (*Oryza sativa L.*) ممکن است تحت تأثیر عمق کاشت تغییر کند. به‌منظور بررسی این مهم، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش کرت‌های یک‌بار خرد شده و چهار تکرار در منطقه آمل اجرا شد. عمق کاشت (۱/۵ و ٤ سانتی‌متر) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم گیاهی (۱۵/۲، ۱۹/٦ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع) به‌عنوان عامل فرعی طی سال‌های ۱٤۰۱ و ۱٤۰۲ در دو مکان ارزیابی شدند. اختلافات آب و هوایی بین سال‌های آزمایش و تفاوت ویژگی‌های خاک در دو مکان با آب و هوای مشابه ممکن است بر نتایج مطالعه اثرگذار باشند. نتایج نشان داد در مرحله پنجه‌دهی، طول ریشه در مکان دو، ۸/۷ درصد بیشتر از مکان یک و در عمق ۱/۵ سانتی‌متر ۷/۲ درصد بیشتر از عمق ٤ سانتی‌متر بود. کمترین ارتفاع اندام هوایی در مکان یک در سال ۱٤۰۱ با عمق ٤ سانتی‌متر و تراکم ۲۷/۸ بوته در مترمربع (۲۷/۸ سانتی‌متر) مشاهده شد. بیشترین تعداد پنجه در مترمربع در مکان یک و در سال‌های ۱٤۰۱ و ۱٤۰۲،با عمق ۱/۵ سانتی‌متر و تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع (به‌ترتیب ٥٤۱ و ٥٤۹ پنجه)به‌دست آمد. بیشترین عملکرد شلتوک در مکان یک، با عمق ۱/۵ سانتی‌متر و تراکم ۱۵/۲ کپه در مترمربع و عمق ٤ سانتی‌متر و تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع (به‌ترتیب ۹٥٥۹ و ۹۲۹۱ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. گچی‌شدن دانه با اختلاف ۰/٤۹ درصد، در مکان دو بیشتر از مکان یک بود. کمترین راندمان تبدیل در مکان دو در سال ۱٤۰۱ با تراکم ۱۹/٦ کپه در مترمربع (٦۱/٤ درصد) مشاهده شد. در منطقه آمل و در مکان ۱، استفاده از عمق کاشت ۱/۵ سانتی‌متر با تراکم ۱۵/۲ کپه در مترمربع و نیز عمق ٤ سانتی‌متر با تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع برای رقم شیرودی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تراکم بهینه، عمق مناسب، عملکرد شلتوک، عملکرد کیفی، ویژگی‌های خاک.

دریافت مقاله: ۱٤۰٤/۱۱/۲۲، بازنگری: ۱٤۰٥/۰٥/۲٥، پذیرش: ۱٤۰٤/۰٦/۰۱، اولین انتشار: ۱٤۰٥/۰۷/۲٥

گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر، قائم‌شهر، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانامه: drmobasser.neg@gmail.com

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱٤۰٥ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان است (٤٦). این محصول در ١٦٨ میلیون هکتار کشت می‌شود و تولید سالانه آن ٨٠٠ میلیون تن است (١٣). بر اساس اظهارات ساکی و همکاران (٤٦) که در سال ٢٠٢٥ ارائه شد، تولید برنج باید ٢٥ درصد افزایش یابد تا تقاضای پیش‌بینی‌شده برای سال ٢٠٣٠ را برآورده کند. دستیابی به این هدف مستلزم بهبود مدیریت محصولات و منابع است (٢٠).

در زمین‌های کشاورزی، تغییرات مکانی در توپوگرافی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موجب تفاوت در عملکرد محصولات می‌شود (٦٦). تفاوت‌های عملکردی میان انواع خاک‌ها عمدتاً به اختلاف در بهره‌وری ناشی از تفاوت بافت خاک نسبت داده شده است (٤٩). بافت خاک از طریق اثرگذاری بر ساختار خاک، فعالیت میکروبی و ظرفیت تأمین عناصر غذایی، نقش مهمی در جذب مواد مغذی توسط گیاه و تشکیل عملکرد برنج دارد (٥٦). شواهد نشان می‌دهد که، تعداد کل خوشه‌چه‌ها در خاک رس ١٩ درصد بیشتر از خاک لومی‌شنی گزارش شده است (١١). رائو و همکاران (٤١) نیز با بررسی چهار نوع خاک مختلف، دامنه تغییرات تعداد خوشه‌چه در خوشه را بین ٤٣ تا ١٩٨ گزارش کردند و این اختلاف را به تفاوت‌های موجود در بافت خاک نسبت دادند. افزون بر این، ژانگ و همکاران (٥٩) نشان دادند که تعداد خوشه‌های برنج در خاک رس بیشتر از خاک شنی است؛ نتیجه‌ای که با افزایش ٢٥ درصدی گزارش شده توسط دو و همکاران (١١) نیز همخوانی دارد و این تفاوت را ناشی از اختلاف در تأمین یا جذب عناصر غذایی می‌دانند. این پژوهشگران همچنین گزارش کردند که عملکرد دانه در خاک رس ٤٦ درصد بیشتر از خاک لومی‌شنی بود. یافته‌های مشابهی توسط سایر محققان نیز ارائه شده است (٤ و ٥٧). تسوبو و همکاران (٥١) نیز تأیید کردند که عملکرد دانه و زیست‌توده برنج در خاک‌هایی با محتوای بالای رس بیشتر از خاک‌های کم‌رس است.

عمق کاشت یکی از عوامل کلیدی در رشد و نمو محصولات زراعی است و نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به عملکرد مطلوب برنج دارد (٢ و ٥٤). این اهمیت از آن‌جا ناشی می‌شود که ترکیب‌های شیمیایی و کانی‌شناسی خاک، فعالیت‌های زیستی، مقدار ماده آلی و میزان دسترسی عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد و غیره در عمق‌ها و لایه‌های مختلف خاک تفاوت قابل‌توجهی دارند (٣٣). بنابراین، اثر عمق کاشت می‌تواند بسته به نوع خاک و شرایط مزرعه تغییر کند (٨ و ٣٨). عمق نامناسب کاشت موجب کاهش تعداد پنجه در کپه، کاهش تعداد دانه در خوشه و درنهایت افت عملکرد برنج می‌شود (٤٥). در مقابل، عمق کاشت مناسب با فراهم کردن فضای کافی برای توسعه ریشه و ایجاد ناحیه رطوبتی مطلوب، رشد و توسعه طبیعی گیاه را تقویت می‌کند و درنتیجه عملکرد را افزایش می‌دهد (٤٥ و ٥٤). در برنج، رعایت عمق کاشت بهینه از جنبه‌های دیگر نیز اهمیت دارد؛ زیرا کاشت بیش از حد کم‌عمق باعث می‌شود نشاها با جریان ملایم آب یا باد از خاک جدا و کاشت بیش‌ازحد عمیق نیز می‌تواند موجب غوطه‌ور شدن نشاها و افزایش خطر پوسیدگی شود (٤٤).

تراکم گیاهی نقش تعیین‌کننده‌ای بر کانوپی گیاهی، میزان عملکرد دانه و کیفیت دانه برنج دارد (٦٥). زمانی که تراکم نشاکاری بیش از حد کم یا زیاد باشد، پتانسیل عملکرد به‌طور کامل محقق نمی‌شود (٥ و ٢١). فاصله‌گذاری مناسب میان بوته‌ها، شرایط مطلوبی را برای رشد بخش‌های هوایی و زیرزمینی فراهم کرده و امکان استفاده کارآمدتر از نور خورشید و مواد غذایی خاک را ایجاد می‌کند (٩). از این‌رو، تعیین تراکم بهینه گیاهی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های مدیریت کشت برنج به شمار می‌رود (٦٥). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و سطح حاصلخیزی آن نیز بر تراکم مطلوب بوته‌های برنج اثرگذار است (١، ٣٦ و ٤٢). بنابراین، با مدیریت صحیح تراکم گیاهی می‌توان از محیط رشد به‌صورت مؤثر بهره‌برداری کرد (٢٦). تراکم مناسب گیاهی موجب تنظیم اندازه جمعیت، تثبیت تعداد کافی خوشه، افزایش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

تعداد دانه در خوشه و درنهایت دستیابی به عملکرد بالا می‌شود (۱۵).

یی و همکاران (۵۶) گزارش دادند که افزایش محتوای رس خاک، ماده آلی، نیتروژن کل و پتاسیم کل را افزایش می‌دهد. نیتروژن قابل دسترس با افزایش مقدار رس خاک افزایش یافت، درحالی‌که پتاسیم با افزایش مقدار سیلت افزایش یافت. استوارت و همکاران (۴۹) دریافتند که عملکرد دانه در خاک لومی غنی از رس و مواد آلی، بیشتر از خاک‌های شنی یا لومی- شنی است. در خاک لومی، کاشت سطحی باعث کاهش عملکرد شد، درحالی‌که کاشت عمیق منجر به بالاترین عملکرد شد. نمرگوت و همکاران (۳۸) گزارش دادند که در خاک‌های لومی تا سیلتی- لومی با سطح ماده آلی ۲۱ تا ۳۱ گرم در کیلوگرم، عملکرد دانه با افزایش عمق کاشت، کاهش جزئی نشان داد. با این حال، در خاک‌های سیلتی- رسی- لومی با سطح ماده آلی ۴۳ تا ۴۶ گرم در کیلوگرم، عملکرد دانه با افزایش عمق کاشت به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. طبق گفته‌ی راجپوت و همکاران (۴۰)، کاشت کم‌عمق با افزایش تعداد پنجه‌های بارور، طول و وزن خوشه، دانه‌های پر و وزن هزار دانه، عملکرد دانه برنج را افزایش داد. مشاهدات نشان دادند، افزایش تراکم بوته تا ۳۳/۳ بوته در مترمربع، تعداد خوشه و عملکرد دانه را در خاک رسی- لومی حاوی ۱/۹۱ تا ۲/۸۵ درصد ماده آلی، بهبود بخشید (۳). با این حال، در خاک لومی با ۳/۵ درصد ماده آلی، تراکم بالای ۲۵ بوته در مترمربع منجر به کاهش این پارامترها شد (۲۵). دنگ و همکاران (۱۰) نشان دادند که طول ریشه تحت شرایط نیتروژن کم و تراکم کاشت بالا به حداکثر خود می‌رسد. علاوه بر این، افزایش کاربرد نیتروژن همراه با تراکم بالای گیاه، طول ریشه و زیست توده را به حداکثر رساند (۶). مبصر و همکاران (۳۶) گزارش دادند که در مرحله پنجه‌زنی در سال اول، طول ریشه در خاک غیرحاصلخیز تحت تراکم بالای گیاه به حداکثر خود رسید، درحالی‌که در مرحله گلدهی، در خاک حاصلخیز تحت تراکم کم تا متوسط گیاه به اوج خود رسید. عملکرد دانه در خاک‌های حاصلخیز تحت تراکم بالا و در خاک‌های غیرحاصلخیز تحت تراکم پایین به حداکثر رسید.

با وجود شرایط آب و هوایی مشابه، عملکرد دانه برنج در مزارع مختلف متفاوت است. این تنوع در درجه اول به عوامل خاص مزرعه، به‌ویژه خصوصیات خاک نسبت داده می‌شود (۲۲ و ۵۲). عمق کاشت و تراکم گیاه از عوامل کلیدی زراعی در کشت برنج هستند. آنها بر رقابت بین گیاهان تأثیر می‌گذارند و در نهایت رشد و عملکرد محصول را تعیین می‌کنند (۱۸). عمق کاشت بسته به محل کشت ممکن است متفاوت باشد و بر تراکم بهینه گیاه تأثیر بگذارد. بر این اساس، فرضیه‌های زیر مطرح شدند: ۱- عمق کاشت بر تعیین تراکم بهینه گیاه در برنج تأثیر می‌گذارد؛ ۲- در شرایط آب و هوایی مشابه، تعامل بهینه بین عمق کاشت و تراکم گیاه به شرایط خاص مزرعه بستگی دارد. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر عمق کاشت بر تراکم گیاهی مطلوب برنج در دو مکان متفاوت در منطقه آمل، با تمرکز بر صفات زراعی و کیفیت دانه برنج بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در روستای کچب کلوا، واقع در منطقه آمل استان مازندران انجام شد. برای این منظور، طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش کرت‌های یک‌بار خرد شده به کار گرفته شد. عمق کاشت در دو سطح (۱/۵ و ۴ سانتی‌متر) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم گیاهی در سه سطح (۱۵/۲، ۱۹/۶ و ۲۷/۸ کپه در مترمربع به‌ترتیب با فضاهای ۲۲ × ۳۰، ۱۷ × ۳۰ و ۱۲ × ۳۰ سانتی‌متر) به‌عنوان عامل فرعی ارزیابی شدند. این مطالعه در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ همزمان در دو مزرعه برنج با مختصات جغرافیایی متفاوت (مکان یک: ۳۶ درجه ۳۶ دقیقه ۱۶/۹ ثانیه شمالی و ۵۲ درجه ۲۸ دقیقه ۱۰/۹ ثانیه شرقی؛ مکان دو: ۳۶ درجه ۳۶ دقیقه ۲۵/۴ ثانیه شمالی و ۵۲ درجه ۲۷ دقیقه ۵۷/۵ ثانیه شرقی) و شرایط آب و هوایی یکسان اجرا شد. داده‌های هواشناسی در طول فصل کشت برنج از ایستگاه هواشناسی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران- آمل تهیه شد (جدول ۱).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

جدول ۱. داده‌های هواشناسی در طول فصل کشت برنج

Table 1. Meteorological data during the rice growing season

Total sunshine (h)		Total rain (mm)		Min. temperature (°C)		Max. temperature (°C)		Average temperature (°C)		Months
2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022	
181	117	82.6	46.1	15.5	15.6	24.5	23.4	20.0	19.5	May
211	264	18.4	2.0	21.1	19.0	30.9	30.1	26.0	24.6	June
157	265	18.3	0.9	21.8	21.5	31.9	32.3	26.8	26.9	July
205	191	12.1	20.1	23.1	22.6	34.5	32.8	28.8	27.7	August
155	243	71.1	8.6	21.3	20.0	30.4	32.3	25.8	26.2	September

جدول ۲. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 2. Soil physical and chemical properties (0- to 30-cm depth) at the two experimental locations

Location 2	Location 1	Unit	Property
55	24	%	Sand
31	46	%	Silt
14	30	%	Clay
Sandy Loam	Clay Loam	-	Texture
7.79	7.72	-	pH
1.08	1.24	$dS\ m^{-1}$	Electrical conductivity
1.07	3.05	%	Organic matter
0.62	1.77	%	Organic carbon
0.06	0.18	%	Total Nitrogen
11	15	$mg\ kg^{-1}$	Available Phosphorus
185	273	$mg\ kg^{-1}$	Available Potassium

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

آماده‌سازی مزرعه با شخم زدن، روتیواتور، ماله‌کشی و تسطیح انجام شد. هر مزرعه به ٤ بلوک و هر بلوک به ٦ کرت (۲ عمق کاشت × ۳ تراکم گیاهی) با چیدمان تصادفی تقسیم شد. ابعاد هر کرت ۸ × ٦ متر بود که توسط پشته‌هایی به عرض ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر از هم جدا می‌شدند. برای سهولت حرکت در مزارع فاصله گذاری مناسب اعمال شد. برنج شیرودی که توسط مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) معرفی شد، رایج‌ترین رقم پرمحصول کشت‌شده در ایران است و به عنوان یک رقم دیررس، پاکوتاه و با کیفیت پخت خوب مورد مطالعه قرار گرفت (٤۳). هر ساله در ١٦ اردیبهشت، نشاهای ۲۵ روزه از بانک نشاء برنج تهیه و بلافاصله نشاء می‌شدند. نشاکاری با استفاده از دستگاه نشاکار یانمار ٤ ردیفه رونده کره‌ای مدل AP4K، با چهار نشا در هر کپه انجام شد. قبل از نشاءکاری، دستگاه نشاءکار کالیبره شد تا عمق کاشت و تراکم گیاهی تنظیم شود. پس از کاشت، آبیاری به تدریج انجام شد. با توجه به تفاوت در ویژگی‌های شیمیایی اولیه خاک‌ها (جدول ۲)، میزان کوددهی بر اساس نیازهای هر خاک تنظیم شد. نیتروژن (N)، فسفر (P_2O_5) و پتاسیم (K_2O) به‌ترتیب از طریق کودهای اوره (٤٦ درصد نیتروژن)، سوپرفسفات تریپل (٤٦ درصد فسفر) و سولفات پتاسیم (۵۰ درصد پتاسیم) تأمین شدند. میزان مصرف آنها برای مکان ۱، ١٤٠، ۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار و برای مکان ۲، ۲۲۰، ۱۰۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار بود که پس از محاسبه برای هر کرت به‌صورت دستی با خاک مخلوط شدند. کودهای فسفر و پتاسیم قبل از کاشت (پایه) استفاده شدند، درحالی‌که کود نیتروژن در سه مرحله (پایه، خوشه‌آغازین و خوشه‌دهی کامل) اعمال شد (۳۵). برای به حداقل رساندن هدررفت نیتروژن و جلوگیری از آبشویی، کرت‌ها با نوارهای پلاستیکی تا عمق ۳۰ سانتی‌متر محصور شدند و کانال‌های آب به مدت ٤٨ ساعت پس از کوددهی مسدود شدند تا جذب کامل تضمین شود. آفات، علف‌های هرز و بیماری‌ها طبق روش‌های استاندارد کنترل شدند. برنج در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی برداشت شد. تاریخ برداشت بسته به مکان متفاوت بود: ۲۵ مرداد ١٤٠١ و ۲۷ مرداد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

۱۴۰۲ برای مکان یک و ۲ شهریور ۱۴۰۱ و ۶ شهریور ۱۴۰۲ برای مکان دو ثبت شد. نمونه‌برداری‌ها در طول رشد و نمو برنج و در زمان برداشت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای (دو ردیف کاشت در هر طرف کرت) انجام شد. طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی در ابتدای پنجه‌دهی، خوشه‌آغازین و ابتدای گلدهی بررسی شدند. برای این منظور، پنج کپه با حجم خاک مشخص (۲۰ × ۲۰ × ۳۰ سانتی‌متر) از هر کرت جدا و با آب شسته شدند (۳۹). سپس هم‌زمان طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی با استفاده از خط کش اندازه‌گیری شدند. میانگین تعداد روز از کاشت تا ابتدای پنجه‌دهی، خوشه‌آغازین و ابتدای گلدهی در مکان ۱ (به ترتیب ۱۴، ۵۴ و ۶۷ روز) و مکان ۲ (به ترتیب ۲۵، ۵۴ و ۷۵ روز) متفاوت بود. تعداد خوشه در مترمربع، تعداد کل خوشه‌چه در مترمربع و تعداد خوشه‌چه پر در مترمربع با شمارش از مساحت یک مترمربع تعیین شدند. وزن هزار دانه با توزین ۱۰ نمونه ۱۰۰ دانه‌ای اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد شلتوک تمام کپه‌ها از مرکز هر کرت (۴ × ۲ متر) برداشت شدند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس دانه‌ها از کاه جدا شده و بر حسب کیلوگرم در هکتار وزن شدند. در زمان توزین‌ها، میزان رطوبت دانه ۱۴ درصد بود. برای ارزیابی صفات کیفی، نمونه‌های برنج شلتوک به آزمایشگاه کنترل کیفیت مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران- آمل منتقل و به مدت سه ماه در دمای اتاق نگهداری شدند (۱۴). پس از اندازه‌گیری رطوبت نمونه با رطوبت‌سنج کت (Kett) ژاپن و تشخیص سطوح بالای رطوبت، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون ممرت (Memmert) آلمان خشک شدند تا رطوبت به ۱۱ درصد کاهش یابد. سپس نمونه‌های شلتوک با استفاده از دستگاه پوست کن و سفیدکن ساتاکه (Satake) ژاپن ابتدا به برنج قهوه‌ای و سپس به برنج سفید تبدیل شد. راندمان تبدیل از تقسیم وزن برنج سفید (دانه کامل + خرده) به وزن شلتوک اولیه و درجه تبدیل که معیار اندازه‌گیری لایه سبوس برداشته شده از برنج قهوه‌ای است، از تقسیم وزن برنج سفید به برنج قهوه‌ای محاسبه شد. دمای ژلاتینه شدن با مقیاس پخش در قلیا اندازه‌گیری شد. هدف از این آزمون تعیین نمره ژلاتینه شدن دانه برنج در محلول هیدروکسید پتاسیم به مدت ۲۳ ساعت می‌باشد (۲۹). درصد گچی‌شدن دانه با تقسیم وزن دانه‌هایی با لکه‌های گچی ≤۵۰ درصد بر وزن نمونه اولیه (۲۰ گرم برنج سفید) محاسبه شد (۴۷). تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزارهای سس نسخه ۹/۲ (SAS 9.2) و ام‌استت- سی (MSTAT-C) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. وقتی اثر متقابل معنی‌دار بودند، اثرات ساده گزارش نشد.

نتایج و بحث

طول ریشه و ارتفاع هوایی

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که در مراحل پنجه‌دهی، خوشه‌آغازین و گلدهی، طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی تحت تأثیر اثر ساده مکان در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند. اثر ساده سال و اثر متقابل مکان × سال فقط بر ارتفاع اندام هوایی در مرحله پنجه‌دهی به‌ترتیب در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد معنی‌دار شد. طول ریشه در مراحل پنجه‌دهی و خوشه- آغازین و ارتفاع اندام هوایی در تمام مراحل مورد مطالعه تحت اثر ساده عمق کاشت در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی- دار نشان دادند. اثر متقابل مکان × عمق کاشت بر طول ریشه در مراحل خوشه‌آغازین و گلدهی (در سطح احتمال پنج درصد) و بر ارتفاع اندام هوایی در مراحل پنجه‌دهی و گلدهی (به‌ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد) معنی‌دار شد. فقط در مرحله گلدهی، طول ریشه تحت تأثیر اثر ساده تراکم گیاهی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. این اثر بر ارتفاع اندام هوایی در مرحله پنجه‌دهی در سطح احتمال پنج درصد و در مراحل خوشه‌آغازین و گلدهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. ارتفاع اندام هوایی در مراحل خوشه‌آغازین و گلدهی تحت تأثیر اثر متقابل سال × تراکم گیاهی به‌ترتیب در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد قرار گرفت. این صفت فقط در مرحله پنجه- دهی تحت اثرات متقابل مکان × سال × تراکم گیاهی و مکان ×

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی تحت تأثیر عمق کاشت و تراکم گیاهی در دو مکان متفاوت (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 3. Combined analysis of variance for root length and shoot height under the effects of planting depth and plant density in two locations (2022 and 2023)

Shoot height			Root length			df	Sources of variation
Flowering	Panicle initiation	Tillering	Flowering	Panicle initiation	Tillering		
3857**	18312**	127**	212**	475**	70.4**	1	Location (L)
34.5	5.22	9.01	1.62	1.28	4.96	6	R(L)
29.8^{ns}	20.7^{ns}	20.8*	2.42^{ns}	6.71^{ns}	9.26^{ns}	1	Year (Y)
13.8^{ns}	0.29^{ns}	32.1**	0.17^{ns}	1.37^{ns}	3.30^{ns}	1	L × Y
17.6	15.1	7.56	1.74	3.55	4.50	6	Error
781**	506**	159**	1.41^{ns}	64.6**	45.9**	1	Planting depth (A)
171*	9.80^{ns}	28.8**	19.4*	19.9*	15.2^{ns}	1	L × A
20.7^{ns}	20.7^{ns}	0.43^{ns}	7.84^{ns}	0.49^{ns}	0.001^{ns}	1	Y × A
18.2^{ns}	22.6^{ns}	0.65^{ns}	0.11^{ns}	1.55^{ns}	2.07^{ns}	1	L × Y × A
29.5	14.4	3.04	2.47	2.59	4.90	12	Error
333**	84.8**	27.9*	11.6*	0.59^{ns}	9.22^{ns}	2	Plant density (B)
39.1^{ns}	1.49^{ns}	10.8^{ns}	7.15^{ns}	2.63^{ns}	7.08^{ns}	2	L × B
151**	52.1*	12.3^{ns}	3.15^{ns}	2.17^{ns}	1.22^{ns}	2	Y × B
18.0^{ns}	4.93^{ns}	45.5**	0.30^{ns}	1.44^{ns}	13.7^{ns}	2	L × Y × B
8.37^{ns}	1.24^{ns}	9.11^{ns}	7.94^{ns}	1.21^{ns}	1.19^{ns}	2	A × B
0.31^{ns}	18.7^{ns}	34.0*	1.76^{ns}	0.16^{ns}	4.65^{ns}	2	L × A × B
50.0^{ns}	69.3**	16.8^{ns}	6.89^{ns}	13.1*	0.85^{ns}	2	Y × A × B
55.5^{ns}	0.50^{ns}	34.6*	0.86^{ns}	0.16^{ns}	0.10^{ns}	2	L × Y × A × B
24.0	12.8	7.05	2.63	3.68	4.91	48	Error
4.61	4.53	7.50	8.19	8.63	11.8	-	CV (%)

ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

ns, **, *: non-significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

عمق کاشت × تراکم گیاهی به‌ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد. فقط در مرحله خوشه‌آغازین، طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی تحت تأثیر اثر متقابل سال × عمق کاشت × تراکم گیاهی به‌ترتیب در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد قرار گرفتند. اثر متقابل ٤ گانه (مکان × سال × عمق کاشت × تراکم گیاهی) فقط بر ارتفاع اندام هوایی در مرحله پنجه‌دهی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

در مرحله پنجه‌دهی، طول ریشه در مکان دو، به‌طور متوسط ۸/۷ درصد بیشتر از مکان یک بود. اما در مرحله خوشه‌آغازین، ارتفاع اندام هوایی در مکان یک به‌طور متوسط ۲۷/٦ سانتی‌متر بیشتر از مکان دو بود. همچنین در مرحله پنجه‌دهی، طول ریشه در عمق ٤ سانتی‌متر، به‌طور متوسط ۷/۲ درصد کمتر از عمق ۱/۵ سانتی‌متر بود. در مرحله گلدهی، کمترین طول ریشه با ۱۹/۱ سانتی‌متر، در تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع مشاهده شد (جدول ٤).

نتایج اثرات متقابل نشان داد که در مرحله خوشه‌آغازین، بیشترین طول ریشه در مکان یک با عمق ۱/۵ سانتی‌متر (۲۵/۷ سانتی‌متر) مشاهده شد. در مرحله گلدهی، بیشترین طول ریشه (۲۱/۸ و ۲۰/۷ سانتی‌متر) و ارتفاع اندام هوایی (۱۱۱ و ۱۱٤ سانتی‌متر) در همان مکان به‌ترتیب با عمق ۱/۵ و ٤ سانتی‌متر به دست آمد (جدول ۵).

در مرحله خوشه‌آغازین، طول ریشه بر اساس آزمون توکی تحت تأثیر اثر متقابل سال × عمق کاشت × تراکم گیاهی اختلاف معنی‌داری نشان نداد؛ با این حال، بیشترین مقدار آن در سال۱٤۰۲ و در عمق ۱/۵ سانتی‌متر و تراکم ۱۹/٦ کپه در مترمربع با مقدار ۲۳/۸ سانتی‌متر ثبت شد (جدول ٦). در همان مرحله، کمترین ارتفاع اندام هوایی در سال ۱٤۰۲، در عمق ۱/۵ سانتی‌متر و تراکم ۱۹/٦ کپه در مترمربع با مقدار ۷۳/۳ سانتی‌متر مشاهده شد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

جدول ٤. مقایسه میانگین‌های طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی تحت اثرات ساده مکان، عمق کاشت و تراکم گیاهی

Table 4. Mean comparison of root length and shoot height under the main effects of location, planting depth, and plant density

Shoot height (cm) Panicle initiation	Root length (cm) Flowering	Root length (cm) Tillering	Experimental treatments	
93.1[a]	-	17.8[b]	First location	Location
65.4[b]	-	19.5[a]	Second location	
-	-	19.4[a]	1.5	Planting depth (cm)
-	-	18.0[b]	4	
-	20.1[a]	-	15.2	Plant density (hills m^{-2})
-	20.1[a]	-	19.6	
-	19.1[b]	-	27.8	

میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test ($p \leq 0.05$).

جدول ٥. مقایسه میانگین‌های طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی تحت اثر متقابل مکان × عمق کاشت

Table 5. Mean comparison of root length and shoot height under the interaction effect of location × planting depth

Shoot height (cm) Flowering	Root length (cm) Flowering	Root length (cm) Panicle initiation	Planting depth (cm)	Location
111[a]	21.8[a]	25.7[a]	1.5	First location
114[a]	20.7[a]	23.2[b]	4	
95.7[c]	18.0[b]	20.4[c]	1.5	Second location
104[b]	18.6[b]	19.6[c]	4	

میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test ($p \leq 0.05$).

جدول ٦. مقایسه میانگین‌های طول ریشه در مرحله خوشه‌آغازین تحت اثر متقابل سال × عمق کاشت × تراکم گیاهی

Table 6. Mean comparison of root length at the panicle initiation stage under the interaction effect of year × planting depth × plant density.

Root length (cm)	Plant density (hills m^{-2})	Planting depth (cm)	Year	Root length (cm)	Plant density (hills m^{-2})	Planting depth (cm)	Year
23.6[a]	15.2			22.8[a]	15.2		
23.8[a]	19.6	1.5		22.1[a]	19.6	1.5	
22.3[a]	27.8		2023	23.6[a]	27.8		2022
21.0[a]	15.2			21.4[a]	15.2		
21.5[a]	19.6	4		20.9[a]	19.6	4	
22.7[a]	27.8			20.8[a]	27.8		

میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

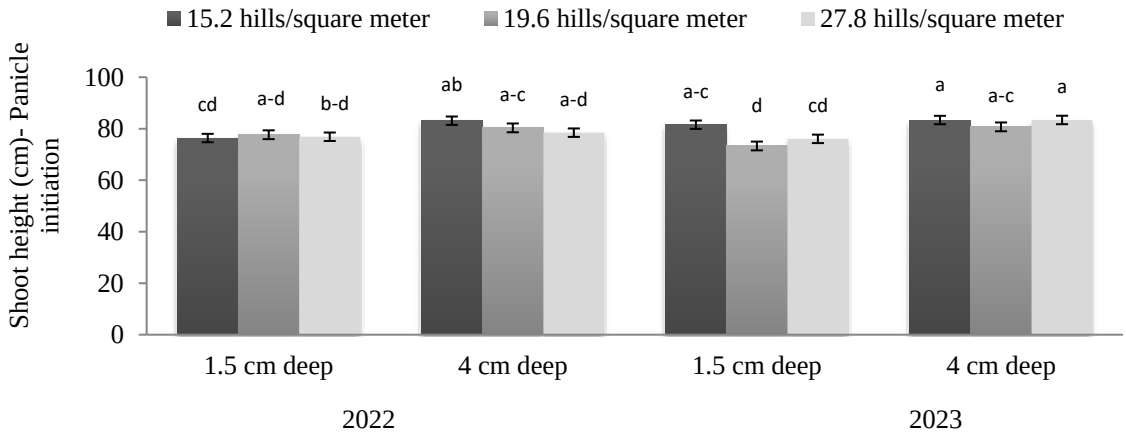
Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test ($p \leq 0.05$).

(شکل ۱). در مرحله گلدهی، کمترین ارتفاع اندام هوایی با میانگین ۱۰۰ سانتی‌متر در همان سال و همان تراکم به‌دست آمد (جدول ۷). در مرحله پنجه‌دهی، کمترین ارتفاع اندام هوایی در مکان یک و در سال ۱٤۰۱، در عمق ٤ سانتی‌متر و تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع (۲۷/۸ سانتی‌متر) ثبت شد (جدول ۸).

به‌نظر می‌رسد ویژگی‌های خاک محل رشد برنج می‌تواند دلیلی بر این نتایج باشد. در شرایطی که مواد مغذی خاک محدود است (مکان دو)، گیاهان برنج در مرحله پنجه‌زنی تمایل دارند انرژی بیشتری را به توسعه ریشه اختصاص دهند، تا به رشد اندام‌های هوایی. این راهبرد تطبیقی، نسبت ریشه به ساقه را افزایش داده و صفات مختلف مرتبط با ریشه را بهبود می‌بخشد (۳۰). علاوه بر این، شعاع وسیع‌تر منافذ در خاک‌های شنی، همراه با افزایش جابجایی ذرات تحت فشار ریشه‌های در حال رشد، رشد ریشه برنج را تسهیل می‌کند (۲٤). با این حال، در خاک‌هایی با محتوای رس بالا و دسترسی بیشتر به مواد مغذی، ریشه‌های برنج به تدریج در طول فصل رشد گسترش یافتند. زیرا در چنین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]



شکل ۱. ارتفاع اندام هوایی در مرحله خوشه‌آغازین (سانتی‌متر) تحت اثر متقابل سال × عمق کاشت × تراکم گیاهی. میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 1. Shoot height (cm) at the panicle initiation stage under the interaction effect of year × planting depth × plant density. Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test (p≤0.05).

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های ارتفاع اندام هوایی در مرحله گلدهی تحت اثر متقابل سال × تراکم گیاهی

Table 7. Mean comparison of shoot height under the interaction effect of year × plant density

Shoot height (cm)	Plant density (hills m^{-2})	Year
109^{a}	15.2	2022
106^{a}	19.6	
104^{ab}	27.8	
110^{a}	15.2	2023
100^{b}	19.6	
107^{a}	27.8	

میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test (p≤0.05).

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های ارتفاع اندام هوایی در مرحله پنجه‌دهی تحت اثر متقابل مکان × سال × عمق کاشت × تراکم گیاهی

Table 8. Mean comparison of shoot length at the tillering stage under the interaction effect of location × year × planting depth × plant density

Shoot length (cm)	Plant density (hills m^{-2})	Planting depth (cm)	Year	Location	Shoot length (cm)	Plant density (hills m^{-2})	Planting depth (cm)	Year	Location
34.5^{a-c}	15.2	1.5	2022	Second location	35.8^{ab}	15.2	1.5	2022	First location
34.8^{a-c}	19.6				29.1^{bc}	19.6			
35.1^{a-c}	27.8				32.8^{a-c}	27.8			
38.9^{a}	15.2	4			36.5^{ab}	15.2	4		
36.6^{ab}	19.6				37.1^{a}	19.6			
40.2^{a}	27.8				27.8^{c}	27.8			
36.1^{ab}	15.2	1.5	2023		34.9^{a-c}	15.2	1.5	2023	
34.1^{a-c}	19.6				32.9^{a-c}	19.6			
33.7^{a-c}	27.8				35.4^{ab}	27.8			
38.4^{a}	15.2	4			36.3^{ab}	15.2	4		
37.9^{a}	19.6				34.5^{a-c}	19.6			
38.4^{a}	27.8				37.7^{a}	27.8			

میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test (p≤0.05).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

شرایطی، گیاه منابع بیشتری را به رشد اندام‌های هوایی اختصاص می‌دهد (۳۰). لیو و همکاران (۳۰) گزارش دادند که در طول مرحله پنجه‌دهی، خاک فقیر از نظر مواد مغذی، نسبت ریشه به ساقه بالاتری را نشان می‌دهد، درحالی‌که خاک غنی‌شده منجر به زیست‌توده ساقه بیشتری می‌شود. نتایج مطالعه‌ی رضایی و همکاران (۴۲) نشان داد که در مرحله پنجه‌دهی، وزن ریشه در خاک رسی بیشتر بود؛ با این حال، در مرحله خوشه‌آغازین، خاک رسی- لومی برتری نشان داد.

بر اساس نتایج ما، در مرحله پنجه‌زنی، طولانی‌ترین ریشه‌ها در کاشت سطحی مشاهده شدند؛ الگویی که در خوشه‌آغازین نیز، به‌ویژه در مکان ۱، تکرار شد. با این حال، کاشت عمیق‌تر ارتفاع اندام هوایی را در هر دو مرحله خوشه‌آغازین و گلدهی افزایش داد. طبق گفته‌ی سانگ (۴۸)، در خاک‌های با تراکم متوسط، عمق کاشت را می‌توان کم‌عمق‌تر تنظیم کرد. مو (۳۴) گزارش می‌دهد که این روش، گره‌های القاکننده ریشه را در لایه‌های بالایی و گرم‌تر خاک قرار می‌دهد که جذب مواد مغذی و رشد پنجه را افزایش می‌دهد و درنتیجه تشکیل ریشه را تقویت می‌کند. در مقابل، دمای پایین‌تر در لایه‌های عمیق‌تر خاک، جذب مواد مغذی را به تأخیر می‌اندازد و توسعه ریشه و پنجه‌زنی را محدود می‌کند (۳۲).

طبق یافته‌های ما، فاصله کاشت بیشتر در مرحله گلدهی موجب شکل‌گیری طولانی‌ترین ریشه‌ها و بیشترین ارتفاع اندام هوایی شد. فاصله کاشت بیشتر، رشد ریشه را بیشتر می‌کند (۴۰). با افزایش تراکم کاشت، فضای موجود برای گسترش ریشه محدود می‌شود (۲۸). هورگان و همکاران (۱۹) کاهش وزن ریشه برنج را در شرایط تراکم بالا گزارش کردند و آن را به رقابت درون گونه‌ای نسبت دادند؛ با این حال، نسبت ریشه به ساقه تغییر معنی‌داری نشان نداد. ژائو و همکاران (۶۳) نیز کاهش طول، حجم، سطح و قطر ریشه را با افزایش تراکم کاشت ثبت کردند. طبق مطالعه رضایی و همکاران (۴۲) که در دو خاک مجزا (رسی و رسی- لومی) انجام شد، کمترین طول ریشه در مرحله پنجه‌دهی، در سال دوم در خاک رسی- لومی با تراکم های کم تا متوسط مشاهده شد. با این حال، در هر دو خاک، طول ریشه در مرحله رسیدگی در شرایط تراکم کم بیشتر بود.

عملکرد و اجزای عملکرد

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که عملکرد شلتوک و تمام اجزای عملکرد مورد مطالعه تحت تأثیر اثر ساده مکان در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند. اثر ساده عمق کاشت و اثر متقابل مکان × عمق کاشت فقط بر تعداد پنجه در مترمربع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. تعداد پنجه در مترمربع، وزن هزار دانه (سطح احتمال یک درصد) و تعداد کل خوشه‌چه در مترمربع (سطح احتمال پنج درصد) تحت اثر ساده تراکم گیاهی اختلاف معنی‌دار نشان دادند. تعداد پنجه در مترمربع، تعداد کل خوشه‌چه در مترمربع و تعداد خوشه‌چه پر در مترمربع تحت اثر متقابل مکان × تراکم گیاهی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند. عملکرد شلتوک تحت اثر متقابل مکان × سال × تراکم گیاهی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد. عملکرد شلتوک (سطح احتمال یک درصد)، تعداد پنجه در مترمربع و وزن هزار دانه (سطح احتمال پنج درصد) تحت اثر متقابل مکان × عمق کاشت × تراکم گیاهی معنی‌دار شدند. تعداد پنجه در مترمربع تحت اثرات متقابل عمق کاشت × تراکم گیاهی و سال × عمق کاشت × تراکم گیاهی در سطح احتمال یک درصد و تحت اثرمتقابل ٤ گانه (مکان × سال × عمق کاشت × تراکم گیاهی) در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار نشان داد. اثرمتقابل ٤ گانه بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۹).

حداکثر تعداد کل خوشه‌چه و تعداد خوشه‌چه پر در هر مترمربع در مکان یک با تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع (به‌ترتیب ۷۳۱۲۰ و ٦٥٣٠٠ خوشه‌چه) مشاهده شد (جدول ۱۰). بیشترین تعداد پنجه در مترمربع در مکان یک و در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲، با عمق ۱/۵ سانتی‌متر و تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع (به

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

جدول ۹. تجزیه واریانس مرکب عملکرد و اجزای آن تحت تأثیر عمق کاشت و تراکم گیاهی در دو مکان متفاوت (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 9. Combined analysis of variance for yield and its components under the effects of planting depth and plant density in two locations (2022 and 2023)

Paddy yield	Thousand-grain weight	Filled spikelets m^{-2}	Total number of spikelets m^{-2}	Tillers m^{-2}	df	Sources of variation
25317604^{**}	27.1^{**}	2826121254^{**}	1865809455^{**}	126026^{8**}	1	Location (L)
1669756	0.14	97118220	61578027	1952	6	R(L)
8437^{ns}	0.02^{ns}	14589122^{ns}	45668347^{ns}	73.3^{ns}	1	Year (Y)
104^{ns}	0.006^{ns}	3982090^{ns}	3670317^{ns}	7.65^{ns}	1	L × Y
309479	0.14	49825730	59310587	503	6	Error
426666^{ns}	0.01^{ns}	108992126^{ns}	101346435^{ns}	33104^{**}	1	Planting depth (A)
3526666^{ns}	0.006^{ns}	5572884^{ns}	80881309^{ns}	18964^{**}	1	L × A
920416^{ns}	0.50^{ns}	44627355^{ns}	79827361^{ns}	277^{ns}	1	Y × A
3375000^{ns}	0.02^{ns}	50173308^{ns}	4035630^{ns}	223^{ns}	1	L × Y × A
801041	0.14	51932400	38116800	766	12	Error
868027^{ns}	0.49^{**}	111046372^{ns}	239315472^{*}	116903^{**}	2	Plant density (B)
512584^{ns}	0.16^{ns}	531760208^{**}	363451110^{**}	10561^{**}	2	L × B
1163339^{ns}	0.23^{ns}	13599879^{ns}	32207843^{ns}	333^{ns}	2	Y × B
2807350^{**}	0.01^{ns}	23147451^{ns}	10379909^{ns}	632^{ns}	2	L × Y × B
374342^{ns}	0.001^{ns}	4082509^{ns}	57567978^{ns}	9581^{**}	2	A × B
3209889^{**}	0.28^{*}	53527618^{ns}	133803747^{ns}	3041^{*}	2	L × A × B
468092^{ns}	0.10^{ns}	38018217^{ns}	4863568^{ns}	5184^{**}	2	Y × A × B
559394^{ns}	0.31^{*}	19748266^{ns}	152915574^{ns}	3265^{*}	2	L × Y × A × B
443884	0.09	71205877	55117992	881	48	Error
7.86	1.07	15.7	12.0	8.23	-	CV (%)

ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

ns, **, *: non-significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین‌های تعداد خوشه چه کل و تعداد خوشه چه پر در هر مترمربع تحت اثر متقابل مکان × تراکم گیاهی

Table 10. Mean comparison of total spikelets m^{-2} and filled spikelets m^{-2} under the interaction effect of location × plant density

Filled spikelets m^{-2}	Total number of spikelets m^{-2}	Plant density (hills m^{-2})	Location
58130^{ab}	64060^{b}	15.2	First location
54110^{b}	61580^{b}	19.6	
65300^{a}	73120^{a}	27.8	
50620^{bc}	58320^{b}	15.2	Second location
49220^{bc}	57420^{b}	19.6	
45160^{c}	56580^{b}	27.8	

میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test ($p \leq 0.05$).

میانگین ۲۸/٦ گرم، در مکان یک و در سال ۱۴۰۲، برای همان تیمارها ثبت شد (جدول ۱۱).

حداکثر عملکرد شلتوک با ۹۳۲۲ کیلوگرم در هکتار در مکان یک و در سال ۱۴۰۱، با تراکم ۱۵/۲ کپه در مترمربع مشاهده شد (شکل ۲). علاوه بر این، بیشترین عملکرد شلتوک در همان مکان با عمق ۱/۵ سانتی‌متر و تراکم ۱۵/۲ کپه در مترمربع (۹۵۵۹ کیلوگرم در هکتار) و همچنین با عمق ٤ سانتی‌متر و تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع (۹۲۹۱ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (شکل ۳).

عمق کاشت با تأثیر بر پنجه‌زنی اولیه، نقش مهمی در افزایش عملکرد برنج ایفا می‌کند (۵۸). پنجه‌های برنج از جوانه‌های جانبی گره‌ها منشأ می‌گیرند و در شرایط نشاءکاری کم‌عمق، به دلیل نزدیکی به سطح خاک و دسترسی بهتر به هوا، مواد مغذی، دما و نور، سریع‌تر و قوی‌تر رشد می‌کنند (۳٤). در مقابل، کاشت عمیق، شروع پنجه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد و تشکیل خوشه را محدود می‌کند (۵۸). یک مطالعه در خاک سیلتی– لومی با ۱٦ گرم در کیلوگرم کربن و ۱/۲ گرم در کیلوگرم نیتروژن، نشان داد که کاشت عمیق، تراکم پنجه و خوشه و درنتیجه عملکرد را

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

جدول ۱۱. مقایسه میانگین‌های تعداد پنجه در مترمربع و وزن هزار دانه تحت اثر متقابل مکان × سال × عمق کاشت × تراکم گیاهی

Table 11. Mean comparison of tiller number m^{-2} and thousand-grain weight under the interaction effect of location × year × planting depth × plant density

Thousand-grain weight (g)	Tillers m^{-2}	Plant density (hills m^{-2})	Planting depth (cm)	Year	Location
28.3^{a-d}	358^{b-f}	15.2			
28.4^{a-c}	396^{b-e}	19.6	1.5		
28.4^{ab}	541^{a}	27.8		2022	
28.2^{a-d}	324^{d-g}	15.2			
28.5^{ab}	337^{c-g}	19.6	4		
28.1^{a-e}	419^{bc}	27.8			First location
28.0^{a-e}	350^{b-g}	15.2			
28.3^{a-d}	381^{b-e}	19.6	1.5		
28.6^{a}	549^{a}	27.8		2023	
28.3^{a-d}	329^{d-g}	15.2			
28.5^{ab}	345^{c-g}	19.6	4		
28.5^{ab}	429^{b}	27.8			
27.2^{f}	273^{g}	15.2			
27.7^{b-f}	351^{b-g}	19.6	1.5		
27.1^{f}	359^{b-f}	27.8		2022	
27.3^{ef}	272^{g}	15.2			
27.3^{ef}	294^{fg}	19.6	4		
27.0^{f}	389 $^{b-e}$	27.8			Second location
27.3^{ef}	268^{g}	15.2			
27.3^{ef}	315^{e-g}	19.6	1.5		
26.9^{f}	405^{b-d}	27.8		2023	
27.1^{f}	314^{e-g}	15.2			
27.6^{c-f}	318^{e-g}	19.6	4		
27.5^{d-f}	330^{d-g}	27.8			

میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test ($p \leq 0.05$).

کاهش می‌دهد (۲۳). با این حال، در خاک سیلتی- رسی- لومی با ۰/۷۸ درصد ماده آلی و ۰/۰۳ درصد نیتروژن کل، عمق کاشت ٤ سانتی‌متر به‌دلیل پنجه‌زنی مؤثرتر و تعداد بیشتر دانه‌های کل و پر در هر خوشه در مقایسه با عمق‌های ۲، ٦ و ۸ سانتی‌متر، بالاترین عملکرد را تولید کرد (٤٥). عدم تفاوت معنی دار عملکرد دانه در عمق‌های کاشت مختلف در شرایط خاک یکسان به اثر جبرانی سایر اجزای عملکرد نسبت داده شد (٤٩).

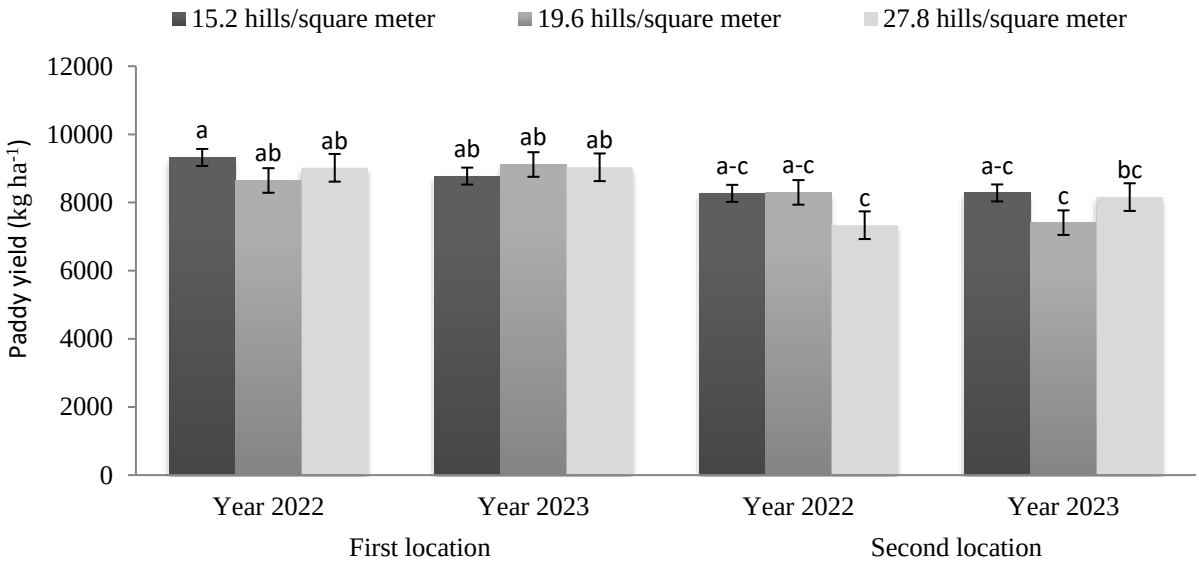
مدیریت مؤثر تراکم گیاهی، استفاده از منابع را افزایش می‌دهد (٢٦). در شرایط محیطی مطلوب، جمعیت‌های گیاهی بالاتر، استفاده کارآمدتر از آب، نور و مواد مغذی را افزایش می‌دهند و در نتیجه عملکرد را بهبود می‌بخشند (۱). در مطالعه‌ای که چن و همکاران (٦) تحت شرایط بهینه خاک انجام داده‌اند، نشان داده شد که افزایش تراکم کاشت منجر به افزایش حجم، طول و سطح ریشه، تعداد بیشتر خوشه در واحد سطح و درنهایت بهبود عملکرد دانه برنج می‌شود. با این حال، در شرایط محدودیت منابع، تراکم بالای کاشت ممکن است مانع دستیابی به عملکرد بهینه شود (۱۷). در چنین مواردی، کاهش تراکم کاشت می‌تواند رقابت بین گیاهان و سایه‌اندازی را کاهش دهد و درنتیجه دسترسی به نور و مواد مغذی را افزایش دهد. این تغییرات باعث توسعه ریشه و بهبود راندمان جذب مواد مغذی از خاک می‌شود (٥٥). ژائو و همکاران (٦٣) اخیراً گزارش دادند که در شرایط خاک نامطلوب، کاهش تراکم گیاه منجر به بهبود حجم، طول، سطح و قطر ریشه می‌شود. این تنظیم همچنین تعداد خوشه‌چه‌ها، دانه‌های پر شده، درصد پر شدن دانه و وزن هزار دانه و درنهایت عملکرد کلی را افزایش داد.

صفات کیفی دانه

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر ساده مکان بر راندمان تبدیل، درجه تبدیل و دمای ژلاتینه شدن در سطح احتمال یک

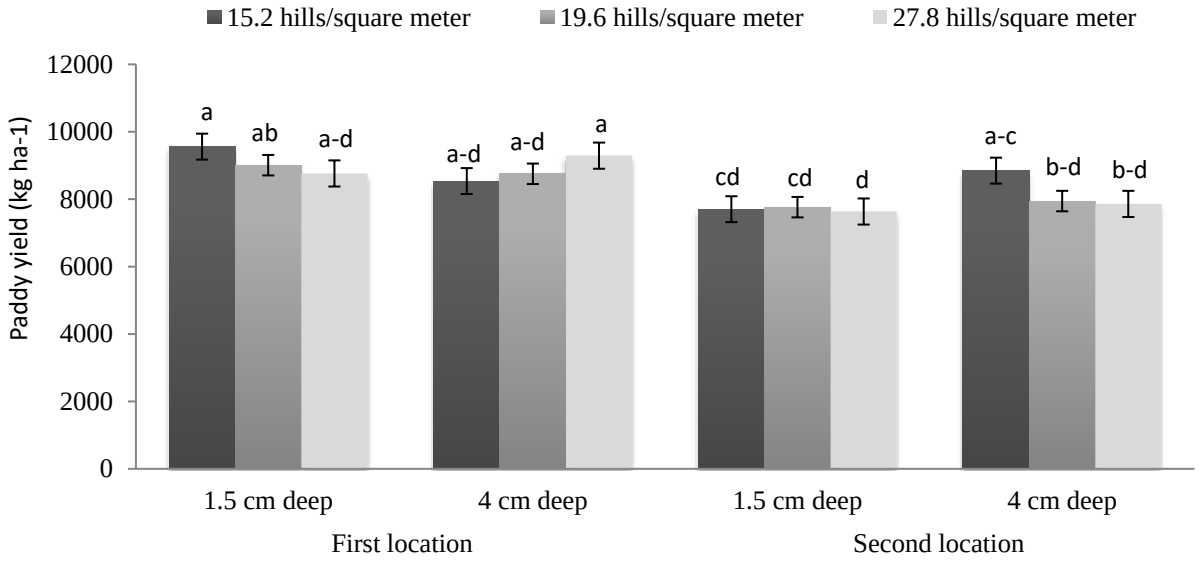
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]



شکل ۲. عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار) تحت اثر متقابل مکان × سال × تراکم گیاهی. میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Figure 2. Paddy yield (kg ha^{-1}) under the interaction effect of location × year × plant density. Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test (p≤0.05).



شکل ۳. عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار) تحت اثر متقابل مکان × عمق کاشت × تراکم گیاهی. میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 3. Paddy yield (kg ha^{-1}) under the interaction effect of location × planting depth × plant density. Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test (p≤0.05).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

جدول ۱۲. تجزیه واریانس مرکب صفات کیفی دانه برنج تحت تأثیر عمق کاشت و تراکم گیاهی در دو مکان متفاوت (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 12. Combined analysis of variance for rice grain quality traits under the effects of planting depth and plant density in two locations (2022 and 2023)

Grain chalkiness	Gelatinization temperature	Milling degree	Milling recovery	df	Sources of variation
5.77*	6.89**	190**	70.8**	1	Location (L)
0.77	0.05	4.84	1.51	6	R(L)
0.40ns	0.04ns	73.3*	24.8ns	1	Year (Y)
0.02ns	0.003ns	26.0ns	40.3*	1	L × Y
1.02	0.04	16.4	10.0	6	Error
0.30ns	0.004ns	1.24ns	0.78ns	1	Planting depth (A)
0.03ns	0.001ns	1.13ns	1.60ns	1	L × A
0.63ns	0.38*	10.4ns	19.3ns	1	Y × A
0.08ns	0.02ns	29.3ns	11.5ns	1	L × Y × A
1.20	0.07	8.37	5.93	12	Error
1.13ns	0.005ns	59.6**	21.3ns	2	Plant density (B)
0.70ns	0.03ns	20.5ns	19.0ns	2	L × B
1.75ns	0.03ns	33.7ns	11.1ns	2	Y × B
0.58ns	0.02ns	29.7ns	38.6*	2	L × Y × B
1.19ns	0.03ns	32.5ns	14.3ns	2	A × B
1.45ns	0.03ns	6.95ns	7.06ns	2	L × A × B
0.13ns	0.01ns	10.2ns	5.36ns	2	Y × A × B
0.05ns	0.09ns	10.7ns	21.7ns	2	L × Y × A × B
1.21	0.03	10.8	7.83	48	Error
26.9	5.09	3.87	4.18	-	CV (%)

ns، **، *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطوح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

ns, **, *: non-significant and significant at the 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول ۱۳. مقایسه میانگین‌های صفات کیفی دانه برنج تحت اثرات ساده مکان، سال و تراکم گیاهی

Table 13. Mean comparison of rice grain quality traits under the main effect of location, year, and plant density

Grain chalkiness (%)	Gelatinization temperature	Milling degree (%)	Experimental treatments	
3.83b	3.14b	86.6a	First location	Location
4.32a	3.68a	83.7b	Second location	
-	-	84.3b	2022	Year
-	-	86.0a	2023	
-	-	86.2a	15.2	Plant density (hills m^{-2})
-	-	83.6b	19.6	
-	-	85.6a	27.8	

میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test ($p \leq 0.05$).

درصد و بر گچی‌شدن دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. درجه تبدیل تحت تأثیر اثر ساده سال در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. راندمان تبدیل و دمای ژلاتینه شدن به‌ترتیب تحت تأثیر اثرات متقابل مکان × سال و سال × عمق کاشت در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار نشان دادند. اثر ساده تراکم گیاهی و اثر متقابل مکان × سال × تراکم گیاهی به‌ترتیب بر درجه تبدیل (سطح احتمال یک درصد) و راندمان تبدیل (سطح احتمال پنج درصد) معنی‌دار شدند (جدول ۱۲).

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده نشان داد که درجه تبدیل در مکان یک به‌طور متوسط ۲/۸۲ درصد بیشتر از مکان دو بود. در مقابل، دمای ژلاتیه شدن با میانگین ۳/۶۷ و میزان گچی‌شدن دانه با میانگین ۴/۳۲ درصد در مکان دو بالاتر از از مقادیر ثبت‌شده در مکان یک (به‌ترتیب ۳/۱۴ و ۳/۸۳ درصد) بود. در سال ۱۴۰۲، درجه تبدیل نسبت به سال ۱۴۰۱ به میزان ۱/۷۵ درصد افزایش یافت. کمترین درجه تبدیل با میانگین ۸۳/۶ درصد در تراکم ۱۹/۶ کپه در مترمربع مشاهده شد (جدول ۱۳). دمای

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

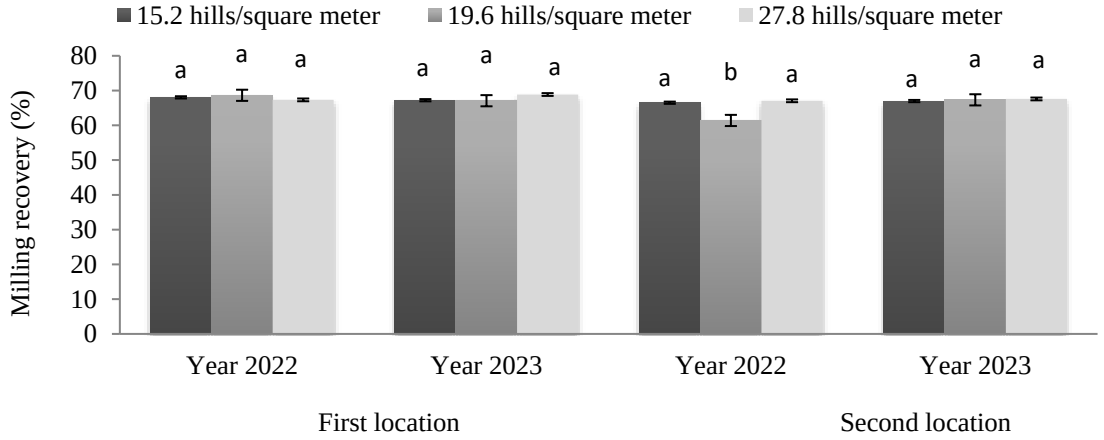
جدول ١٤. مقایسه میانگین‌های دمای ژلاتیه شدن تحت اثر متقابل سال × عمق کاشت

Table 14. Mean comparison of rice grain gelatinization temperature under the interaction effect of year × planting depth.

Gelatinization temperature	Planting depth (cm)	Year
3.50[a]	1.5	2022
3.36[a]	4	
3.33[a]	1.5	2023
3.45[a]	4	

میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test ($p \leq 0.05$).



شکل ٤. راندمان تبدیل (درصد) تحت اثر متقابل مکان × سال × تراکم گیاهی. میانگین‌هایی که با حرف یکسانی مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 4. Milling recovery (%) under the interaction effect of location × year × plant density. Means followed by the same letter do not differ by the Tukey test ($p \leq 0.05$).

ژلاتینه‌شدن بر اساس آزمون توکی تحت تأثیر اثر متقابل سال × عمق کاشت تفاوت معنی‌داری نشان نداد؛ با این حال، بیشترین مقدار آن با میانگین ٣/٥٠ در سال ١٤٠١ و در عمق کاشت ١/٥ سانتی‌متر ثبت شد (جدول ١٤). کمترین راندمان تبدیل با میانگین ٦١/٤ درصد در مکان دو و در سال ١٤٠١، تحت تراکم ١٩/٦ کپه در مترمربع مشاهده شد (شکل ٤).

بر اساس نتایج ثبت شده در مرحله گلدهی، طول ریشه گیاهان رشد یافته با هر عمق کاشت، در مکان یک بیشتر از مکان دو بود (جدول ٥). یک سیستم ریشه‌ای بزرگتر در طول مرحله پر شدن دانه، جذب مواد مغذی را افزایش می‌دهد (٢٧ و ٣٠)، که ظرفیت و مدت فتوسنتز را بهبود می‌بخشد و منجر به پر شدن بهتر دانه و افزایش وزن دانه می‌شود (٣١ و ٦٠). بنابراین، به نظر می‌رسد تحت شرایط کشت برنج در مکان یک، نسبت بالاتر آندوسپرم به سبوس، احتمال شکستگی دانه در طول آسیاب کردن را کاهش می‌دهد. برعکس، کاهش نرخ پر شدن دانه و پر شدن ناقص منجر به شل شدن آرایش گرانول‌های نشاسته و افزایش گچی شدن دانه می‌شود (٦٢). گچی بودن بیش از حد، دانه‌های برنج را در طول آسیاب کردن شکننده‌تر می‌کند و درنتیجه، راندمان تبدیل و نرخ برنج سالم کاهش می‌یابد (١٦). ژائو و همکاران (٦١) دریافتند که وزن خشک ریشه در مراحل خوشه‌دهی و رسیدگی با نرخ برنج قهوه‌ای و راندمان تبدیل همبستگی مثبت و با میزان دانه‌های گچی و درصد گچی بودن همبستگی منفی دارد.

طبق داده‌های هواشناسی روزانه، شروع پر شدن دانه در گیاهان برنج کشت شده در مکان ٢، به‌طور متوسط، هشت روز دیرتر از گیاهان کشت شده در مکان ١ رخ داد و این تأخیر با شرایط دمایی بالاتر همزمان بود. این دماهای بالا رشد و پر شدن دانه را تسریع کرد و درنهایت منجر به توزیع ناهموار مواد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

فتوسنتزی در دانه‌ها و افزایش گچی شدن آنها شد (۳۷، ۵۰ و ۵۳).

اگرچه تراکم کاشت بر کیفیت دانه تأثیر می‌گذارد (۶۵)، اما تأثیر آن بر اساس رقم متفاوت است (۶۴). به‌طور کلی، افزایش تراکم می‌تواند به‌دلیل خوابیدگی و سایه‌اندازی تاج پوشش، پر شدن دانه را تضعیف کرده و راندمان آسیاب برنج را کاهش دهد (۱۲). علاوه بر این، برخی شواهد نشان می‌دهد که افزایش تراکم کاشت تأثیر قابل‌توجهی بر میزان گچی شدن یا درجه گچی شدن ندارد (۷).

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه، اثر تراکم گیاهی و عمق کاشت در دو مکان ارزیابی شد. با توجه به مشابهت شرایط آب و هوایی در هر دو مکان، تفاوت اصلی میان نتایج به اختلاف بافت خاک مربوط بود؛ به‌طوری‌که مکان ۱ دارای خاک رسی لومی و مکان ۲ دارای خاک شنی لومی بود. در مرحله پنجه‌دهی، طول ریشه در مکان ۲ بیشتر بود؛ اما در مراحل خوشه‌آغازین و گلدهی، طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی در مکان ۱ از مکان ۲ پیشی گرفت. این الگو نشان می‌دهد که در خاک‌های شنی به‌دلیل کمبود مواد غذایی و منافذ بزرگ‌تر، گیاه در آغاز رشد انرژی بیشتری را صرف رشد طولی ریشه می‌کند تا حجم بیشتری از خاک را جست‌وجو کند. در مقابل، در خاک‌های رسی غنی از مواد غذایی، توسعه ریشه آهسته‌تر و تدریجی‌تر است و گیاه منابع بیشتری را به رشد بخش هوایی اختصاص می‌دهد؛ با افزایش رشد اندام هوایی، ریشه نیز همزمان گسترش می‌یابد. بیشترین تعداد کل خوشه‌چه و خوشه‌چه پر در مترمربع در مکان ۱ با تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع حاصل شد. همچنین بیشترین تعداد پنجه در مترمربع و وزن هزار دانه در مکان ۱، تحت عمق کاشت ۵/۱ سانتی‌متر و تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع به‌دست آمد. خاک‌های شنی با وجود ذرات درشت و نگه‌داشت پایین آب و مواد مغذی، اگرچه مسیر رشد ریشه را تسهیل می‌کنند، اما در مرحله پرشدگی دانه قادر به تأمین نیازهای گیاه نیستند و برای تجمع ماده خشک و تشکیل عملکرد مناسب محدودیت دارند. در مقابل، خاک‌های رسی با ظرفیت بالای نگه‌داری آب و عناصر غذایی، ضمن تقویت رشد ریشه و اندام هوایی، توان تأمین منابع لازم برای اجزای عملکرد تحت تراکم‌های بالاتر را نیز دارند. در چنین خاکی، اگر عمق کاشت سطحی انتخاب شود، به‌دلیل تقویت پنجه‌زنی، تراکم‌های پایین‌تر با فواصل کاشت بیشتر می‌توانند عملکرد بالایی تولید کنند. اما تحت کاشت عمیق، شرایط مناسب برای پنجه‌زنی کاهش می‌یابد؛ بنابراین افزایش تعداد بوته در واحد سطح می‌تواند این کاهش را جبران کرده و عملکرد دانه را به حداکثر برساند. بر همین اساس، عمق کاشت ۵/۱ سانتی‌متر با تراکم ۱۵/۲ کپه در مترمربع و عمق ۴ سانتی‌متر با تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. در سال ۱۴۰۱، کمترین راندمان تبدیل در مکان ۲ با تراکم متوسط ۱۹/۶ کپه در مترمربع مشاهده شد. درجه تبدیل در مکان ۱ بیشتر و گچی‌شدن دانه در مکان ۲ بالاتر بود. طول بیشتر ریشه در مرحله گلدهی، احتمالاً جذب عناصر غذایی و تداوم فعالیت برگ‌ها را افزایش داده و در نهایت وزن دانه را در خاک رسی لومی نسبت به شنی لومی بهبود می‌بخشد. به‌نظر می‌رسد، این امر موجب افزایش سهم آندوسپرم نسبت به سبوس و کاهش شکست دانه در آسیاب می‌شود؛ در مقابل، پرشدگی ناقص باعث افزایش گچی‌شدن دانه می‌شود. در مجموع، در منطقه آمل و تحت شرایط کشت در مکان ۱ با خاک رسی لومی، استفاده از عمق کاشت ۵/۱ سانتی‌متر با تراکم ۱۵/۲ کپه در مترمربع و عمق ۴ سانتی‌متر با تراکم ۲۷/۸ کپه در مترمربع برای رقم شیرودی توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از همکاری ارزشمند مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران- آمل، به‌ویژه در زمینه انجام اندازه‌گیری‌های مربوط به کیفیت دانه برنج، صمیمانه قدردانی می‌شود.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

منابع

1. Afa, L. O., A. Ansi, Z. Zulfikar, M. Muhidin and A. Al Qadri. 2023. The growth and yield of local upland rice (*Oryza sativa* L.) Wakawondu cultivar in various plant populations and balanced fertilization. *Buletin Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Haluoleo* 24: 88-98.
2. Ahmed, U. U. and S. M. A. Faiz. 1972. A study of effect of different levels of depth and water on the growth, yield and quality of IR8 28 8-3 rice. *Pakistan Journal of Soil Science* 5(2): 1-15.
3. Alipour Abookheili, F. and H. R. Mobasser. 2021. Effect of planting density on growth characteristics and grain yield increase in successive cultivations of two rice cultivars. *Agrosystems, Geosciences & Environment* 4: e20213.
4. Bouman, B. A. M., X. Yang, H. Wang, Z. Wang, J. Zhao and B. Chen. 2006. Performance of aerobic rice varieties under irrigated conditions in North China. *Field Crops Research* 97: 53-65.
5. Chen, C., H. X. Zhu, Q. Lv and Q. Tang. 2022. Impact of biochar on red paddy soil physical and hydraulic properties and rice yield over 3 years. *Journal of Soils and Sediments* 22: 607-616.
6. Chen, J., X. Zhu, J. Xie, G. Deng, T. Tu, X. Guan, Z. Yang, S. Huang, X. Chen, C. Qiu, Y. Qian, C. Shao, M. Xu and C. Peng. 2021. Reducing nitrogen application with dense planting increases nitrogen use efficiency by maintaining root growth in a double-rice cropping system. *The Crop Journal* 9: 805-815.
7. Chen, Y., Y. Liu, S. Dong, J. Liu, Y. Wang, S. Hussain, H. Wei, Z. Huo, K. Xu and Q. Dai. 2022. Response of rice yield and grain quality to combined nitrogen application rate and planting density in saline area. *Agriculture* 12: 1788.
8. Cox, W. J. and J. H. Cherney. 2015. Field-scale studies show site-specific corn population and yield responses to seeding depths. *Agronomy Journal* 107: 2475-2481.
9. Dejen, T. 2018. Effect of plant spacing and number of seedlings per hill to transplanted rice (*Oryza Sativa* X *Oryza Glaberrima*) under irrigation in Middle Awash, Ethiopia. *Journal of Applied Life Sciences International* 17: 1-9.
10. Deng, J., X. Feng, D. Wang, J. Lu, H. Chong, C. Shang, K. Liu, L. Huang, X. Tian and Y. Zhang. 2020. Root morphological traits and distribution in direct-seeded rice under dense planting with reduced nitrogen. *PLoS One* 15: e0238362.
11. Dou, F., J. Soriano, R. E. Tabien and K. Chen. 2016. Soil texture and cultivar effects on rice (*Oryza sativa* L.) grain yield, yield components and water productivity in three water regimes. *PLOS ONE* 11(3): e0150549.
12. Fagade, S. O. and A. A. Ojo. 1977. Influence of plant density and nitrogen on yield and milling quality of lowland rice in Nigeria. *Experimental Agriculture* 13: 17-24.
13. FAOSTAT. 2023. *Production/yield quantities of rice*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. . Available online at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize
14. Fitzgerald, M. A. and A. P. Resurreccion. 2009. Maintaining the yield of edible rice in a warming world. *Functional Plant Biology* 36: 1037-1045.
15. Fu, Y. Q., X. H. Zhong, J. H. Zeng, K. M. Liang, J. F. Pan, Y. F. Xin, Y. Z. Liu, X. Y. Hu, B. L. Peng, R. B. Chen, R. Hu and N. R. Huang. 2021. Improving grain yield, nitrogen use efficiency and radiation use efficiency by dense planting, with delayed and reduced nitrogen application, in double cropping rice in South China. *Journal of Integrative Agriculture* 20: 565-580.
16. Guo, T., X. Liu, X. Wan, J. Weng, S. Liu, X. Liu, M. Chen, J. Li, N. Su, F. Wu, Z. Cheng, X. Guo, C. Lei, J. Wang, L. Jiang and J. Wan. 2011. Identification of a stable quantitative trait locus for percentage grains with white chalkiness in rice (*Oryza sativa*). *Journal of Integrative Plant Biology* 53: 598-607.
17. Halder, J., G. M. Rokon, M. A. Islam, N. Salahin and M. K. Alam. 2018. Effect of planting density on yield and yield attributes of local aromatic rice varieties. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 43: 489-497.
18. Helios, W., A. Jama-Rodze´ nska, M. Serafin-Andrzejewska, A. Kotecki, M. Kozak, P. Zarzycki and L. Kuchar. 2021. Depth and sowing rate as factors affecting the development, plant density, height and yielding for two faba bean (*Vicia faba* L. Var. Minor) cultivars. *Agriculture* 11: 820.
19. Horgan, F. G., E. Crisol-Martínez, A. M. Stuart, J. M. Villegas, A. Peñalver-Cruz, E. A. Mundaca, M. O. Perez, C. C. Bernal, M. L. P. Almazan and A. F. Ramal. 2022. Direct and indirect effects of planting density, nitrogenous fertilizer and host plant resistance on rice herbivores and their natural enemies. *Agriculture* 12: 2053.
20. Horie, T., T. Shiraiwa, K. Homma, K. Katsura, S. Maeda and H. Yoshida. 2005. Can yields of lowland rice resume the increases that they showed in the 1980s? *Plant Production Science* 8: 259-274.
21. Huang, M., P. Jiang, X. F. Zhou and Y. B. Zou. 2018. No-tillage increases nitrogen scavenging by fallow weeds in a double-season rice cropping system in China. *Weed Biology and Management* 18: 105-109.
22. Jiang, S. C., J. M. Wang, H. W. Lou, Y. M. Xie, D. H. Feng, L. Zhou, L. Shi, H. Chen, Y. Y. Xu, M. Wang and D. Y. Xing. 2019. Effect of meteorology and soil fertility on direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.) performance in Central China. *Applied Ecology and Environmental Research* 17(5): 12397-12406.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

23. Kanno, N., R. Garcia, R. R. Suralta, A. M. Corales, C. S. Bueno, N. P. M. C. Banayo, P. C. S. Cruz, V. Kumar and Y. Kato. 2023. Deep sowing of dry direct-seeded rice: Cultivar differences in seedling establishment and grain yield. *Plant Production Science* 26(2): 197-208.
24. Kar, S., S. B. Varade and B. P. Ghildyal. 1979. Pore size distribution and root growth relations of rice in artificially synthesized soils. *Soil Science* 128: 364-368.
25. Kheyri, N., H. R. Mobasser, B. Masoudi and P. Yadollahi. 2016. Effect of plant density and planting pattern on yield components and yield of rice (*Oryza sativa* L.) var. Tarom Amrollahi. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* 26(8): 26-34.
26. Kulig, B., E. Gacek, R. Wojciechowski, A. Oleksy, M. Kołodziejczyk, W. Szewczyk and A. Klimek-Kopyra. 2019. Biomass yield and energy efficiency of willow depending on cultivar, harvesting frequency and planting density. *Plant, Soil and Environment* 65: 377-386.
27. Li, H., X. Wang, R. W. Brooker, Z. Rengel, F. Zhang, W. J. Davies and J. Shen. 2019. Root competition resulting from spatial variation in nutrient distribution elicits decreasing maize yield at high planting density. *Plant and Soil* 439: 219-232.
28. Ling, Y., Q. Hu, D. Fu, K. Zhang, Z. Xing, H. Gao, H. Wei and H. Zhang. 2024. Optimum seeding density and seedling age for the outstanding yield performance of Japonica rice using crop straw boards for seedling cultivation. *Frontiers in Plant Science* 15: 1431687.
29. Little, R. R., G. B. Hilder and E. H. Dawson. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chemistry* 35: 111-126.
30. Liu, B., H. Li, H. Li, A. Zhang and Z. Rengel. 2021. Long-term biochar application promotes rice productivity by regulating root dynamic development and reducing nitrogen leaching. *Gcb Bioenergy* 13: 257-268.
31. Liu, K., R. Yang, J. Deng, L. Huang, Z. Wei, G. Ma, X. Tian and Y. Zhang. 2020. High radiation use efficiency improves yield in the recently developed elite hybrid rice Y-liangyou 900. *Field Crops Research* 253: 107804.
32. Matsushima, S. 1976. High Yielding Rice Cultivation: A Method for Maximizing Rice Yield Through Ideal Plants. University of Tokyo Press, Tokyo.
33. Millar, C. E., L. M. Turk and H. D. Foth. 1965. Fundamentals of Soil Science. John Wiley and Sons, New York.
34. Mo, W. 2016. Study on appropriate cultivation depth of manual transplanting rice. *Tillage and Cultivation 2*: 40-41.
35. Mobasser, H. R., G. Noormohamadi, V. M. Fallah, F. Darvish and S. Majidi. 2005. Effects of nitrogen rates and splitting on grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) Var.Tarom Hashemi. *Journal of Agricultural Science* 11: 109-120.
36. Mobasser, H. R., S. A. Sadeghi and F. Alipour Abookheili. 2024. The determination of desired plant density in soils with different fertility in a region for mechanized rice cultivation. *Agronomy Journal* 116: 2217-2228.
37. Morita, S., H. Wada and Y. Matsue. 2016. Countermeasures for heat damage in rice grain quality under climate change. *Plant Production Science* 19: 1-11.
38. Nemergut, K. T., P. R. Thomison, P. R. Carter and A. J. Lindsey. 2021. Planting depth affects corn emergence, growth and development, and yield. *Agronomy Journal* 113: 3351-3360.
39. Qi, W. Z., H. H. Liu, P. Liu, S. T. Dong, B. Q. Zhao, H. B. So, G. Li, H. D. Liu, J. W. Zhang and B. Zhao. 2012. Morphological and physiological characteristics of corn (*Zea mays* L.) roots from cultivars with different yield potentials. *European Journal of Agronomy* 38: 54-63.
40. Rajput, A., S. S. Rajput and G. Jha. 2016. Performance of rice varieties grown under different spacings with planting depths in system of rice intensification. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 9: 833-838.
41. Rao, P. R., D. Subrhamanyam, B. Sailaja, R. P. Singh, V. Ravichandran, G. V. S. Rao, P. Swain, S. G. Sharma, S. Saha, S. Nadaradjan, P. J. R. Reddy, A. Shukla, P. C. Dey, D. P. Patel, S. Ravichandran and S. R. Voleti. 2013. Influence of boron on spikelet fertility under varied soil conditions in rice genotypes. *Journal of Plant Nutrition* 36: 390-400.
42. Rezaei, E., M. Sam Daliri, H. R. Mobasser, A. A. Mousavi Mirkolaei and M. Moballeghi. 2025. Assessment of plant density and interactions with soil types and transplanting methods in rice cultivation. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 41: 59-75.
43. Rickman, J. F., F. Mussgnug, C. M. Khanda, S. D. Satpathy, N. Parida, K. Singla, V. Kumar, N. C. Banik, W. Iftikar, A. Mishra, S. Yadav, V. Kumar, R. K. Malik and A. J. McDonald. 2015. Operational Manual for Mechanical Transplanting of Rice. Available online at: https://www.knowledgebank.irri.org/csisa/
44. RRII. 2015. Transformation in the Country's Rice Production Through the Introduction of High-yielding Varieties. Rice Research Institute of Iran. Rasht, Iran. (In Farsi).
45. Rubel, M. A. 2018. Effect of transplanting depths on tillering and yield of hybrid and inbred rice. MSc thesis. Sher-e-Bangla Agricultural University, Dhaka, Bangladesh.
46. Sackey, O. K., N. Feng, Y. Z. Mohammed, C. F. Dzou, D. Zheng, L. Zhao and X. Shen. 2025. A comprehensive review on rice responses and tolerance to salt stress. *Frontiers in Plant Science* 16: 1561280.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]

47. Singh, N., N. S. Sodhi, M. Kaur and S. K. Saxena. 2003. Physico-chemical, morphological, thermal, cooking and textural properties of chalky and translucent rice kernels. *Food Chemistry* 82: 433-439.
48. Song, Q. 2022. Study on the optimized cultivation techniques of mechanical transplanting fertilizer density for rice seeding. MSc thesis. Shenyang Agricultural University, Shenyang, China.
49. Stewart, S., N. Kitchen, M. Yost, L. S. Conway and P. Carter. 2021. Planting depth and within-field soil variability impacts on corn stand establishment and yield. *Agrosystems, Geosciences & Environment* 4: e20186.
50. Tanaka, R. and H. Nakano. 2024. Grain yield and quality responses to nitrogen application rate and timing in dry direct broadcast seeded rice under different weather conditions. *Agrosystems, Geosciences & Environment* 7: e20519.
51. Tsubo, M., S. Fukai, J. Basnayake, T. P. Tuong, B. Bouman and D. Harnpichitvitaya. 2007. Effects of soil clay content on water balance and productivity in rainfed lowland rice ecosystem in northeast Thailand. *Plant Production Science* 10: 232-241.
52. Wang, D., S. Chen, Z. Wang, C. Ji, C. Xu, X. Zhang and B. S. Chauhan. 2014. Optimizing hill seeding density for high-yielding hybrid rice in a single rice cropping system in South China. *PLoS One* 9(10): e109417.
53. Wang, L., L. Zhang, N. He, C. Wang, Y. Zhang, Z. Ma, W. Zheng, D. Ma, H. Wang and Z. Tang. 2025. Effects of planting methods and varieties on rice quality in northern China. *Foods* 14: 1093.
54. Wang, S., S. Yi, B. Zhao, Y. Li, S. Li, G. Tao, X. Mao and W. Sun. 2024. Sowing depth monitoring system for high-speed precision planters based on multi-sensor data fusion. *Sensors* 24: 6331.
55. Yan, Y., F. Duan, X. Li, R. Zhao, P. Hou, M. Zhao, S. Li, Y. Wang, T. Dai and W. Zhou. 2024. Photosynthetic capacity and assimilate transport of the lower canopy influence maize yield under high planting density. *Plant Physiology* 195: 2652-2667.
56. Ye, C., G. Zheng, Y. Tao, Y. Xu, G. Chu, C. Xu, S. Chen, Y. Liu, X. Zhang and D. Wang. 2024. Effect of soil texture on soil nutrient status and rice nutrient absorption in paddy soils. *Agronomy* 14: 1339.
57. Ye, Q., H. Zhang, H. Wei, Y. Zhang, B. Wang, K. Xia, Z. Hou, Q. Dai and K. Xu. 2007. Effect of nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency and yield of rice under different soil conditions. *Frontiers of Agriculture in China* 1(1): 30-36.
58. Yuanyu, Q., X. Qianghui, L. Adian, L. Kaiming, Z. Zhangrong, H. Jichuan and F. Youqiang. 2024. Effect of transplanting depth on grain yield of high quality indica rice pot seedlings in Southern China. *Agricultural Engineering* 14: 35-40.
59. Zhang, X. C., Q. G. Dai, X. X. Hu, D. J. Zhu, X. W. Ding, K. Q. Ma, H. C. Zhang and C. C. Zhu. 2012. Effects of slow-release urea combined with conventional urea on rice output and growth in soils of different textures. *Acta Agronomica Sinica* 38: 1494-1503.
60. Zhang, W. M., J. Meng, J. Y. Wang, S. X. Fan and W. F. Chen. 2013. Effect of biochar on root morphological and physiological characteristics and yield in rice. *Acta Agronomica Sinica* 39: 1445-1451.
61. Zhao, C., M. Chen, X. Li, Q. Dai, K. Xu, B. Guo, Y. Hu, W. Wang and Z. Huo. 2021. Effects of soil types and irrigation modes on rice root morphophysiological traits and grain quality. *Agronomy* 11: 120.
62. Zhao, C., G. Liu, Y. Chen, Y. Jiang, Y. Shi, L. Zhao, P. Liao, W. Wang, K. Xu, Q. Dai and Z. Huo. 2022. Excessive nitrogen application leads to lower rice yield and grain quality by inhibiting the grain filling of inferior grains. *Agriculture* 12: 962.
63. Zhao, T., J. Wang, R. Li, P. Zhang, X. Guo, Y. Qi, Y. Li, S. Cheng, J. Ji, A. He and Z. Ai. 2025. Effects of nitrogen fertilizer types and planting density on the yield and nitrogen use efficiency of salt-tolerant rice under salt stress conditions. *Plants* 14: 501.
64. Zhou, C., Y. Huang, B. Jia, Y. Wang, Y. Wang, Q. Xu, R. Li, S. Wang and F. Dou. 2018. Effects of cultivar, nitrogen rate, and planting density on rice-grain quality. *Agronomy* 8: 246.
65. Zhu, H., X. Lu, K. Zhang, Z. Xing, H. Wei, Q. Hu and H. Zhang. 2023. Optimum basic seedling density and yield and quality characteristics of unmanned aerial seeding rice. *Agronomy* 13: 1980.
66. Zsigmond, T., P. Braun, J. Mészáros, I. Waltner and Á. Horel. 2022. Investigating plant response to soil characteristics and slope positions in a small catchment. *Land* 11(6): 774.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.3.37454]