



Effect of rice seed treatment with nutrient solution on yield under different soil fertility conditions

Mohammad Khaneh Angha¹ | Jafar Asghari² | Naser Davatgar³ | Mahmoud Shabanpour⁴

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail: mohamadkhanea@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail: jafarasghari7@gmail.com
3. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: n_davatgar@yahoo.com
4. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail: shabanpour@guilan.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: July. 1, 2025

Revised: Sep. 13, 2025

Accepted: Sep. 22, 2025

Published online: Dec. 2025

Keywords:

*Germination,
Paddy field nutrition
management,
Panicle length,
Soil test Yield gap.*

ABSTRACT

The integration of soil-test-based nutrient management with seed treatment using nutrient solution can help reduce yield gaps in rice cultivation. This study was carried out during the 2022–2023 cropping season to investigate the effect of seed treatment on the yield of Hashemi rice in paddy fields of Sanger District, Rasht, using a randomized complete block design. Soil samples were collected from 11,370 hectares with uniform spatial distribution and analyzed for organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and potassium, cation exchange capacity, pH, and electrical conductivity. The results showed considerable variability in soil fertility, with the highest coefficients of variation observed for phosphorus (88.1%), organic carbon (36.7%), available potassium (34.3%), and total nitrogen (33.6%). Based on these findings, nine farms were selected for field experiments. In laboratory tests, three seed treatments including farm-saved seed and certified seed, both with and without nutrient solution were compared for germination performance. Farm-saved seeds had a low germination rate (53.7%), whereas seeds treated with nutrient solution achieved 98% germination, representing significant improvements of 8% and 44% over certified and farm-saved seeds, respectively. Consequently, field trials were conducted on the nine farms using certified seed with and without nutrient treatment. The results demonstrated that seed treatment with nutrient solution, combined with soil-test-based nutrient management, significantly increased paddy yield by 480 kg per hectare. This suggests that such an integrated approach can be recommended as an effective strategy for improving rice production.

Cite this article: Khaneh Angha, M., Asghari, J., Davatgar, N., & Shabanpour, M. (2025). Effect of rice seed treatment with nutrient solution on yield under different soil fertility conditions, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (10), 2639-2654. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.397748.669967>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.397748.669967>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Rice yield gaps can result from soil fertility decline and improper seedling establishment in early growth stages. Germination, the first and most sensitive stage of plant growth, plays a crucial role in successful cultivation. Enhancing seed surroundings using nutrient solutions can strengthen this process. Seed treatment with nutrient solutions is an affordable and effective method to improve early growth and rice yield. Field evidence indicates that in Sanger, a district of Rasht County (Guilan Province), most farmers use self-saved seeds and manage rice field nutrition based on experience and local traditions. Scientific studies show that low germination index seeds and the absence of a proper nutrition plan are major factors in yield reduction. This research aimed to investigate the effect of seed treatment with nutrient solutions on Hashemi rice under different soil fertility conditions in rice fields of the Sanger region.

Methods

In this study, a 11,370-hectare area of paddy fields in the Sanger district was mapped using GIS software, and the locations for soil sampling points were determined. After conducting soil tests in 138 farms, 9 farms with varying fertility levels were selected as experimental fields. A nutrient management plan for these farms was developed and implemented based on the soil test results. Farmers' self-saved seeds were collected from the selected farms and compared with certified seeds and seeds treated with a nutrient solution in terms of germination indices. Based on the results, only certified and treated seeds were selected for field cultivation. The seed treatment involved a liquid fertilizer containing seaweed extract (5%), zinc (15%), potassium (4%), phosphorus (4%), and nitrogen (4%). The experimental design was a randomized complete block design (RCBD), with each farm considered as a replicate. Transplanting was carried out in 3×3-meter plots with a planting distance of 20×20 cm. Final yield was measured from one square meter after removing the border areas. Data were analyzed using SAS software version 9, and treatment means were compared using the LSD test at the 5% significance level.

Results

The results of the soil analysis revealed significant differences in the fertility status of the studied farms. Accordingly, nutrient management was tailored to the specific conditions of each farm. Linear correlation analysis showed that farms with higher levels of organic carbon, total nitrogen, and available phosphorus had higher yields. The evaluation of seed treatment with the nutrient solution demonstrated that this method increased yield in both high- and low-fertility farms. Germination index assessments also indicated a significant advantage of seed treatment with the nutrient solution compared to farmers' self-saved seeds and certified seeds. This finding suggests that farmers primarily use low-quality seeds, which can lead to reduced yields. The analysis of variance for yield and yield components showed that seed treatment with the nutrient solution improved traits such as the number of tillers, panicle length, number of grains per panicle, number of filled grains per panicle, thousand-grain weight, and plant height, playing a significant role in yield enhancement. Overall, the use of seed treatment with a nutrient-rich solution under varying soil fertility conditions resulted in an average paddy yield increase of 480 kg per hectare compared to the control treatment.

Conclusion

This study demonstrated that the combination of soil test-based nutrient management and seed treatment with a nutrient solution has a significant impact on improving growth and increasing the yield of Hashemi rice variety. This synergy can be recommended as an effective strategy for enhancing productivity and reducing the yield gap in paddy fields.

Author Contributions

Conceptualization, Naser Davatgar, Jafar Asghari and Mahmoud Shabanpour; Methodology, Naser Davatgar, Mohammad Khaneh Angha and Jafar Asghari; Software, Naser Davatgar and Mohammad Khaneh Angha; Validation, Naser Davatgar and Mahmoud Shabanpour; Formal analysis, Naser Davatgar and Mohammad Khaneh Angha; Investigation, Jafar Asghari and Mohammad Khaneh Angha ;Writing, Mohammad Khaneh Angha and Jafar Asghari; Original draft preparation, Mohammad Khaneh Angha; Writing, review and editing, Naser Davatgar; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable requests from the authors

Acknowledgements

The authors would like to Appreciate the university of guilan and rice research institute of Iran.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

تأثیر تیمار بذر برنج با محلول عناصر غذایی بر عملکرد در شرایط حاصلخیزی متفاوت خاک

محمدخانه عنقا^۱ | جعفر اصغری^۲ | ناصر دواتگر^۳ | محمود شعبانپور^۴

۱. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: mohamadkhanea@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: jafaraghar7@gmail.com

۳. موسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: n_davatgar@yahoo.com

۴. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: shabanpour@guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۱۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۶/۲۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۳۱	
تاریخ انتشار: دی ۱۴۰۴	
واژه‌های کلیدی: آزمون خاک، جوانه زنی، خلاء عملکرد، طول خوشه، مدیریت تغذیه شالیزار.	تلفیق مدیریت تغذیه گیاه مبتنی بر آزمون خاک و تیمار بذر با محلول غذایی می‌تواند خلاء عملکرد در شالیزار را کاهش دهد. این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ با هدف بررسی تأثیر تیمار بذر بر عملکرد برنج رقم هاشمی با طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شالیزارهای بخش سنگر شهرستان رشت انجام شد. ابتدا در سطح ۱۱،۳۷۰ هکتار با توزیع جغرافیایی یکنواخت، نمونه‌برداری خاک انجام شد. سپس نمونه‌ها از نظر کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدیته و هدایت الکتریکی آنالیز شدند. نتایج نشان‌دهنده تفاوت اراضی از نظر حاصلخیزی بود. بیشترین ضریب تغییرات مربوط به فسفر ۸۸/۱، کربن آلی ۳۶/۷، پتاسیم قابل استفاده ۳۴/۳ و نیتروژن کل ۳۳/۶ درصد بود و بر این اساس، نه مزرعه برای مطالعه مزرعه‌ای انتخاب شدند. برای انتخاب تیمارها در آزمایشگاه سه تیمار بذر خودمصرفی و بذر گواهی شده (با و بدون تیمار محلول غذایی) از نظر شاخص‌های جوانه‌زنی مقایسه شدند. نتایج نشان داد که میانگین درصد جوانه‌زنی بذر خودمصرفی کم (۵۳/۶۷ درصد) بود اما میانگین درصد جوانه‌زنی در تیمار بذر با محلول غذایی، ۹۸ درصد بود که باعث بهبود معنی‌دار این شاخص به مقدار ۸ و ۴۴ درصد در مقایسه با بذر گواهی شده و خودمصرفی شد. بنابراین آزمایش در نه مزرعه با دو تیمار بذر گواهی شده (با و بدون تیمار محلول غذایی) انجام شد. نتایج نشان داد تیمار بذر با محلول غذایی و مدیریت تغذیه مبتنی بر آزمون خاک به‌طور معنی‌داری موجب بهبود عملکرد شلتوک به میزان ۴۸۰ کیلوگرم در هکتار شد که می‌تواند رویکردی قابل توصیه برای زارعین باشد.

استناد: خانه‌عنقا، محمد؛ اصغری، جعفر؛ دواتگر، ناصر و شعبانپور، محمود (۱۴۰۴). تأثیر تیمار بذر برنج با محلول عناصر غذایی بر عملکرد در شرایط حاصلخیزی متفاوت

خاک، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۱۰)، ۲۶۵۴-۲۶۳۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.397748.669967>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.397748.669967>

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) دومین محصول استراتژیک پس از گندم در ایران به‌شمار می‌رود و نقش حیاتی در امنیت غذایی کشور ایفا می‌کند (حیدری کمال آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تقاضای جهانی برای برنج تا سال‌های ۲۰۳۵ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۲۶ و ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (IRRI, 2020).

استان گیلان، به‌عنوان یکی از قطب‌های اصلی تولید برنج کشور، با سطح زیرکشت ۱۷۷,۹۷۳ هکتار و عملکرد متوسط ۳,۷۹۹ کیلوگرم شلتوک در هکتار، هنوز فاصله معنی‌داری با عملکرد مزارع پیشرو با ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار دارد (آمارنامه جهاد کشاورزی- محصولات زراعی، ۱۴۰۳). این خلاء عملکردی، ضرورت بازنگری در شیوه‌های مدیریت زراعی را نمایان می‌سازد. از جمله عوامل اصلی مؤثر بر عملکرد برنج، وضعیت حاصلخیزی خاک و کیفیت بذر مصرفی است (Dogbe et al., 2015).

پیشینه پژوهش

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که کاربرد بهینه کودهای شیمیایی بر اساس نتایج آزمون خاک می‌تواند عملکرد برنج را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (نورقلی‌پور و همکاران، ۱۴۰۱؛ بابازاده جعفری و همکاران، ۱۴۰۱). با این حال، تنها مدیریت تغذیه کافی نیست و عوامل اولیه رشد مانند استقرار مناسب گیاهچه‌ها نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به عملکرد مطلوب دارند (Foolad et al., 2007). در این راستا، کیفیت جوانه‌زنی به‌عنوان نخستین و حساس‌ترین مرحله رشد گیاه، نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت کشت دارد (Donaldson et al., 2001). بهبود کیفیت استقرار گیاهچه‌ها، به‌ویژه در خاک‌های با سطح حاصلخیزی پایین، نیازمند راهکارهای مکمل مانند تیمار بذر با محلول عناصر غذایی است (Farooq et al., 2007). در شرایط فعلی، استفاده از بذرهای خودمصرفی در بسیاری از مناطق برنج‌خیز مانند استان گیلان، رایج است. این بذرهای اغلب تحت تأثیر آسیب‌های مکانیکی ناشی از برداشت مکانیزه و خشک کردن غیراصولی، از درصد قوه‌نامیه پایینی (حدود ۶۰-۵۰ درصد) برخوردارند که نه تنها منجر به تولید گیاهچه‌های ضعیف و ناهمگون می‌شوند بلکه سبب افزایش احتمال آلودگی قارچی در خزانه نیز می‌شوند (Di Girolamo and Barbanti, 2012). در مقابل، بذرهای گواهی‌شده با خلوص بالای ۹۸ درصد و قوه‌نامیه بیش از ۸۰ درصد، به دلیل کاهش بذرهای پوک و عوامل بیماری‌زا، استقرار بهتری در خزانه ایجاد کرده و موجب رشد نشاهای قوی‌تر می‌شوند (ISTA, 2007., Mian and Coffey, 1971). تیمار بذر با محلول‌های حاوی عناصر غذایی می‌تواند سبب تسریع جوانه‌زنی، یکنواختی سبز شدن و استقرار موفق گیاه در زمین اصلی شود (Afzal et al., 2002., Devika et al., 2021., Kaur et al., 2005). اثرات مثبت تیمار بذر بر صفاتی چون تعداد پنجه، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه و عملکرد نهایی نیز به اثبات رسیده است (گنجعلی و همکاران، ۱۳۹۹، Ella et al., 2011). همچنین، کارایی این روش در گیاهان مختلف مانند ذرت، گندم و نخود نیز گزارش شده است (Esper et al., 2020, Reis et al., 2018., Ullah et al., 2019).

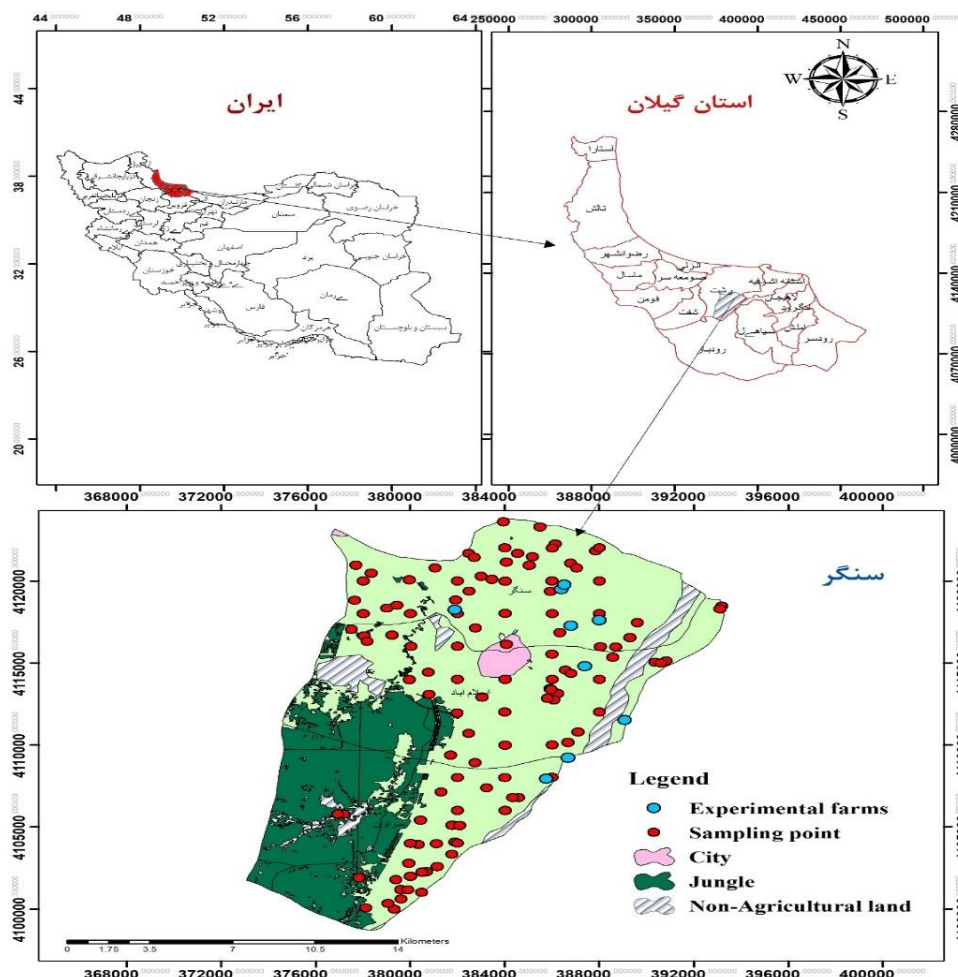
با وجود شواهد موجود، تاکنون بررسی جامع و میدانی درباره وضعیت حاصلخیزی خاک، کیفیت بذر خودمصرفی کشاورزان و همچنین اثر هم‌افزایی تیمار بذر گواهی‌شده با محلول حاوی عناصر غذایی و مدیریت تغذیه مبتنی بر آزمون خاک در شرایط واقعی مزارع شالیزاری بخش سنگر از توابع شهرستان رشت صورت نگرفته است. با توجه به این خلأ پژوهشی، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تلفیق روش‌های استفاده از تیمار بذر گواهی‌شده با محلول عناصر غذایی و مدیریت تغذیه ویژه‌مکان، بر عملکرد برنج رقم هاشمی در خاک‌هایی با وضعیت حاصلخیزی متفاوت، در نه مزرعه منتخب طراحی و اجرا شده است.

روش‌شناسی پژوهش

شرایط اکولوژیکی منطقه اجرای پروژه

مطالعه حاضر در اراضی شالیزاری بخش سنگر از توابع شهرستان رشت، واقع در استان گیلان، با مساحت تقریبی ۱۱,۳۷۰ هکتار انجام شد. این منطقه در مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه، ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه، ۱۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). اراضی منطقه عمدتاً مسطح بوده و شیب آن‌ها کمتر از ۲ درصد است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دوماترن و آمبرژه، بسیار مرطوب ارزیابی می‌شود. میانگین دمای سالیانه برابر ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه حدود ۱۲۶۳/۳ میلی‌متر گزارش شده است. این شرایط اقلیمی، همراه با رطوبت نسبی بالا، محیطی مناسب برای کشت برنج فراهم کرده است. خاک‌های منطقه از نوع آبرفتی بوده و بر

اساس سیستم طبقه‌بندی جامع خاک ایالات متحده، عمدتاً در رده‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول و الفی‌سول قرار می‌گیرند. بر مبنای نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (بنایی، ۱۳۷۷)، این خاک‌ها دارای رژیم رطوبتی یودیک و رژیم حرارتی مزیک هستند که شرایط نسبتاً مطلوبی برای رشد برنج رقم هاشمی ایجاد می‌کند. بیشتر کشاورزان منطقه، از بذرهای خودمصرفی رقم هاشمی برای کشت استفاده می‌کنند. آبیاری اراضی از طریق شبکه‌های آبیاری تحت پوشش سد سفیدرود انجام می‌پذیرد و منابع آبی در طول دوره رشد محصول نسبتاً پایدار هستند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ۱۳۸ نقطه نمونه‌برداری شده از خاک و مزارع آزمایشی در بخش سندر

تعیین محدوده اراضی شالیزاری و نقاط نمونه‌برداری

به‌منظور ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک در منطقه مورد مطالعه، ابتدا محدوده اراضی شالیزاری بخش سندر با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) ترسیم و تعیین شد. در ادامه، از مجموع اراضی شالیزاری، تعداد ۱۳۸ نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری (منطقه فعال ریشه برنج) و با پراکنش جغرافیایی یکنواخت برداشت شد (شکل ۱). نمونه‌های جمع‌آوری‌شده به آزمایشگاه خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور منتقل و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

انتخاب مکان‌های اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای

تعداد نه مزرعه در نه روستای مختلف با موقعیت‌های جغرافیایی گوناگون، بر اساس تفاوت در وضعیت حاصلخیزی خاک انتخاب شدند. معیار انتخاب این مزارع شامل شاخص‌های کلیدی حاصلخیزی از جمله درصد کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده بر اساس ضریب تغییرات بیشتر آنها در مقایسه با دیگر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بود. جزئیات موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک این مزارع و آمار توصیفی ۱۳۸ مزرعه در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.

نمونه‌های خاک، هوا خشک شده و پس از عبور از الک دو میلی‌متری بافت خاک (شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتر بایکاس، واکنش خاک (pH) در گل اشباع با الکتروود شیشه‌ای، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به روش هدایت سنجی، کربن آلی (OC) به روش اکسیداسیون تر، گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم در pH=7، فسفر قابل استفاده (Pav) به روش اولسن، نیتروژن کل (TN) بر اساس روش کج‌لدال، اندازه‌گیری شدند. شرح کامل مراحل اجرایی و روش اندازه‌گیری هر یک از این ویژگی‌ها مطابق دستورالعمل ارائه‌شده در راهنمای احیایی و بهبهانی‌زاده (۱۹۹۳) انجام گرفت. شایان ذکر است که نتایج کمی مربوط به ۱۳۸ نمونه خاک در این مقاله ارائه نشده است.

انتخاب تیمارهای آزمایشی

در این تحقیق سه نوع بذر (۱) خودمصرفی کشاورزان، (۲) بذر گواهی شده و (۳) تیمار بذر گواهی شده با محلول عناصر غذایی، به‌عنوان تیمارهای اصلی مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور ارزیابی کیفی بذر، شاخص‌هایی نظیر درصد جوانه‌زنی^۵ (GP)، میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی^۶ (MGT)، میانگین جوانه‌زنی روزانه^۷ (MDG) و سرعت جوانه‌زنی روزانه^۸ (GR) در شرایط آزمایشگاهی مورد سنجش قرار گرفتند. بذر خودمصرفی از نه کشاورز منتخب در مزارعی که آزمایش‌های مزرعه‌ای با توجه به وضعیت حاصلخیزی خاک در آن‌ها اجرا شد، جمع‌آوری گردید. بذر گواهی‌شده با حداقل ۸۰ درصد خلوص و قوه‌نامیه از مؤسسه تحقیقات برنج کشور تأمین شد. تیمار بذر با محلول حاوی عناصر غذایی (عصاره جلبک دریایی ۵ درصد، روی ۱۵ درصد، پتاسیم ۴ درصد، فسفر ۴ درصد و نیتروژن ۴ درصد) انجام شد. بر اساس نتایج حاصل از آزمون‌های آزمایشگاهی، تیمارهایی که دارای کیفیت مطلوب جوانه‌زنی بودند، جهت بررسی تأثیر آن‌ها بر عملکرد گیاه در شرایط متفاوت حاصلخیزی خاک انتخاب شدند. پیش از ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی، به منظور سبک و سنگین کردن بذر، بذر هر سه تیمار (بذر خودمصرفی، بذر گواهی‌شده و تیمار بذر گواهی شده با محلول حاوی عناصر غذایی) به صورت جداگانه در محلول آب‌نمک ۱۵ درصد قرار گرفتند. بذرهای پوک، سبک و چروکیده که بر روی آب نمک شناور شدند حذف و بذرهای ته نشین شده با آب شیرین چندین بار شسته شدند. سپس بذر به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده شدند.

در هر تکرار، ۲۵ عدد بذر در هر پتری‌دیش (با قطر ۱۵ سانتی‌متر) با فاصله ۲ سانتی‌متر از یکدیگر بر روی سه لایه کاغذ صافی مرطوب و سترون قرار گرفتند. پتری‌دیش‌ها در دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد در انکوباتور نگهداری شدند. شمارش تعداد جوانه‌ها هر ۲۴ ساعت انجام گرفت و بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها به حداقل ۲ میلی‌متر رسید، به‌عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شدند (IRRI, 2020). بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی بر اساس رابطه ۱ و ۲ (Ellis and Roberts, 1981) رابطه ۳ (Hunter, 1984) رابطه ۴ (Maguire, 1962) انجام شد:

$$GP = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$MTG = \sum \left(\frac{nd}{n} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$MDG = \left(\frac{GP}{D} \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$DGS = \left(\frac{1}{MDG} \right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن‌ها n تعداد بذرهایی است که به تازگی در روز d ام جوانه زدند، N تعداد کل بذر، d تعداد روزها از آغاز تا جوانه‌زدن و D تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نهایی (طول دوره اجرای آزمون) است. پس از محاسبه شاخص‌ها، تیمارهایی که از نظر خصوصیات جوانه‌زنی دارای عملکرد مطلوب‌تری بودند، برای اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای انتخاب شدند.

1 Electrical Conductivity
2 Organic Carbon
3 Cation Exchange Capacity
4 Total Nitrogen
6. Germination Percentage
7. Mean Germination Time
8. Mean Daily Germination
9. Germination Rate



جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نه مزرعه شالیزاری مطالعه شده و آمار توصیفی خاک ۱۳۸ مزرعه

نمونه برداری شده در بخش سنگر

مزرعه	روستا	عرض جغرافیایی (UTM)	طول جغرافیایی (UTM)	بافت خاک	پتانسیم قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم)	فسفر قابل استفاده (میلی گرم در کیلوگرم)	درصد نیتروژن کل (%)	درصد کربن آلی (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول بر ۱۰۰ گرام)	اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
۱	نشرودکل	۲۸۷۹۹۳	۴۱۱۷۵۹۸	رسی سیلتی	۳۲۰	۲۱/۲۰	۰/۲	۱/۹۳	۳۰/۴۷	۶/۸۷	۱/۴۲
۲	ویشکانک	۳۸۶۵۲۲	۴۱۱۹۷۷۴	رسی سیلتی	۳۰۰	۸/۴۰	۰/۱۵	۱/۳۷	۳۰/۷۱	۷/۳۶	۱/۰۵
۳	نشرودکل	۳۸۶۷۹۲	۴۱۱۷۲۵۸	رسی سیلتی	۳۱۰	۶/۸۰	۰/۱۵	۱/۳۳	۳۴/۱۹	۷/۵۱	۱/۱۲
۴	بنکده	۳۸۷۳۷۶	۴۱۱۴۷۹۵	رسی سیلتی	۳۳۰	۱۰/۴۰	۰/۱۷	۱/۶۰	۳۴/۶۱	۷/۲۳	۱/۱۷
۵	قاضیان	۳۸۵۷۴۸	۴۱۰۷۹۳۳	رسی سیلتی	۲۸۰	۶/۸۰	۰/۱	۰/۷۴	۳۰/۴۳	۷/۶۴	۰/۸۴
۶	آینه‌ور	۳۸۷۰۴۳	۴۱۰۹۱۱۹	لومی سیلتی رسی	۲۴۰	۲/۴۰	۰/۱۱	۰/۸۲	۲۲/۸۳	۷/۶۳	۰/۷۴
۷	گیل پرده‌سر	۳۸۱۸۸۱	۴۱۱۸۲۳۸	رسی	۴۰۰	۲۰/۴	۰/۳۶	۴/۶۴	۳۱/۵	۶/۳۹	۲/۶۴
۸	باز قلعه دژ	۳۸۹۰۶۶	۴۱۱۱۵۱۴	رسی	۲۹۰	۸	۰/۱۴	۱/۲۵	۳۱/۵۲	۷/۳۷	۰/۹۸
۹	امشه	۳۸۶۳۷۵	۴۱۱۹۴۷۷	رسی سیلتی	۳۷۰	۴	۰/۱۵	۱/۳۰	۳۱/۱۷	۷/۳۴	۱/۰۹
آمار توصیفی											
بیشترین	-	-	-	-	۴۶۰	۳۹/۲۶	۰/۳۶	۴۶/۶۴	۳۹/۱۳	۸/۲۴	۲/۶۴
کمترین	-	-	-	-	۴۹/۷۹	۰/۹۶	۰/۰۷	۰/۱۰	۱۱/۳۶	۶/۳۹	۰/۴۶
میانگین	-	-	-	-	۲۵۸/۴۲	۱۲/۸۳	۰/۱۵	۱/۶۵	۲۸/۵۶	۷/۲۸	۱/۱۶
میانه	-	-	-	-	۲۹۰	۱۰	۰/۱۴	۱/۶۳	۳۰/۰۲	۷/۳۱	۱/۱۱
cv	-	-	-	-	۳۴/۳	۸۸/۱	۳۳/۶	۳۶/۷	۱۹/۵	۳/۸	۲۵/۹

آزمایش‌های مزرعه‌ای

با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی آزمایشگاهی بذور کشاورزان و کیفیت پایین آن‌ها از نظر شاخص‌های جوانه‌زنی، این نوع بذر از اجرای مزرعه‌ای حذف شد. بنابراین، تنها دو تیمار شامل (۱) بذر گواهی‌شده و (۲) تیمار بذر گواهی‌شده با محلول عناصر غذایی، برای بررسی تأثیر آنها بر عملکرد گیاه برنج در شرایط متفاوت حاصلخیزی خاک در نه مزرعه انتخابی، مورد استفاده قرار گرفتند. آزمایش‌های مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد، به‌گونه‌ای که هر یک از مزارع به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد (Dobermann and Fairhurst, 2000). در هر مزرعه دو کرت آزمایشی (هر کدام به ابعاد ۳×۳ متر) متناظر با دو تیمار طراحی شدند و با توجه به وجود نه مزرعه، در مجموع ۱۸ کرت آزمایشی (۲ تیمار × ۹ تکرار) مورد مطالعه قرار گرفت. ورود و خروج آب در هر کرت به‌صورت مستقل تعبیه شد. این کرت‌ها با مرزهای مناسب از سایر بخش‌های مزرعه جدا شدند. مدیریت تغذیه گیاهی در هر مزرعه براساس نتایج آزمون خاک و توصیه‌های کودی متناسب با وضعیت حاصلخیزی صورت گرفت (جدول ۲). کود نیتروژن در سه مرحله شامل مرحله پایه، پنجه‌زنی و آستنی به‌صورت تقسیط مصرف شد. کود فسفر به‌صورت یکجا پیش از نشاکاری و کود پتاسیم در دو نوبت (پایه و پنجه‌زنی) اعمال شد. برنامه زمان‌بندی مصرف کودها در تمامی مزارع یکسان بود. برای اطمینان از یکنواختی نشاها در کلیه مزارع آزمایشی، نشاهای حاصل از تیمار بذر گواهی‌شده با محلول عناصر غذایی و بذر گواهی‌شده بدون تیمار بذر در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) پرورش و زمانی که ارتفاع نشاها به ۱۵ سانتی‌متر رسید، برای انجام کشت به هر نه مزرعه منتقل شدند. نشاهای برنج به صورت ۳ نشاء در هر کپه و به فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در یک تاریخ، نشاکاری شدند. گیاه برنج استفاده شده در این آزمایش رقم هاشمی بود. برای ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد (طول خوشه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خوشه، ارتفاع گیاه، تعداد دانه پوک و پر در خوشه و تعداد پنجه گیاه)، از هر کرت آزمایشی به ابعاد ۱×۱ متر بوته‌ها کف‌بر شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل و عملکرد و اجزای عملکرد شلتوک بر اساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹) انجام شد. جهت بررسی اختلاف بین میانگین تیمارها از آزمون مقایسه میانگین LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد بهره گرفته شد. ترسیم نمودارهای مربوطه نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

یافته‌های پژوهشی

وضعیت عناصر غذایی خاک مزارع آزمایشی

نتایج اندازه‌گیری متغیرهای کلیدی حاصلخیزی در نه مزرعه مطالعه شده (جدول ۱) در مقایسه با حدود بحرانی عناصر غذایی مورد نیاز برنج که در جدول ۳ ارائه شده است (Dobermann and Fairhurst, 2000)، نشان داد که به استثنای پتاسیم قابل استفاده که مقادیر آن در تمامی مزارع بالاتر از حد بحرانی ۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود، سایر متغیرها به‌ویژه نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده، تنوع و پراکندگی قابل توجهی داشتند. در این میان، مزرعه شماره ۷ واقع در روستای گیل‌پرده‌سر بالاترین سطح حاصلخیزی، بیشترین EC (۲/۶۴) دسی زیمنس بر متر) و بیشترین درصد ماده آلی خاک (۴/۶۴) را داشت. بالا بودن EC در برخی خاک‌ها می‌تواند به دلیل بالا بودن مواد آلی باشد که با ایجاد ترکیبات و ماکرومولکول‌های دارای بار الکتریکی، در هدایت الکتریکی نقش دارند. در استان گیلان به علت بارش زیاد سالیانه، احتمال وجود املاح مازاد کم است و مقادیر هدایت الکتریکی می‌تواند متأثر از تجمع ماده آلی در خاک باشد. اما برای علت یابی دقیق، نیاز به مطالعات تکمیلی است (دوات‌گر و همکاران، ۱۳۹۴). در مقابل مزارع شماره ۵ و ۶ به ترتیب در روستاهای قاضیان و آینه‌ور کمترین میزان حاصلخیزی را نشان دادند. در مزارع کم‌حاصلخیز، مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده به‌ترتیب کمتر از ۲ درصد، ۰/۲ درصد و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که پایین‌تر از حدود بحرانی تعریف شده برای رشد بهینه گیاه برنج است. بر این اساس، مدیریت تغذیه‌ی هر مزرعه بر پایه نتایج آزمون خاک و با استفاده از کودهای شیمیایی مطابق جدول ۲ طراحی و اجرا شد تا تفاوت‌های موجود در حاصلخیزی خاک بین مزارع به حداقل برسد و اثر تیمارهای بذر بر عملکرد گیاه به‌صورت مؤثرتری ارزیابی شود.

جدول ۲- مقدار کودهای شیمیایی (کیلوگرم در هکتار) مصرف شده در نه مزرعه شالیزاری بر اساس آزمایش خاک

مزرعه	سولفات پتاسیم (K ₂ O:50%)	سوپرفسفات تریپل (P ₂ O ₅ :46%)	اوره (N:46%)
۱	۰	۳۰	۱۳۰
۲	۰	۱۶۵	۱۶۵
۳	۰	۲۰۰	۱۶۵
۴	۰	۱۳۵	۱۶۵
۵	۳۰	۲۰۰	۲۳۰
۶	۸۰	۸۵	۲۳۰
۷	۰	۲۵	۲۵
۸	۲۵	۲۰۰	۱۹۵
۹	۰	۲۸۵	۱۶۵

جدول ۳- حدود بحرانی ویژگی‌های خاک

ویژگی‌های خاک	کربن آلی (%)	درصد نیتروژن کل ل (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
حدود بحرانی	۲-۳	<۰/۲	۱۲	<۱۲۰

شاخص‌های جوانه‌زنی

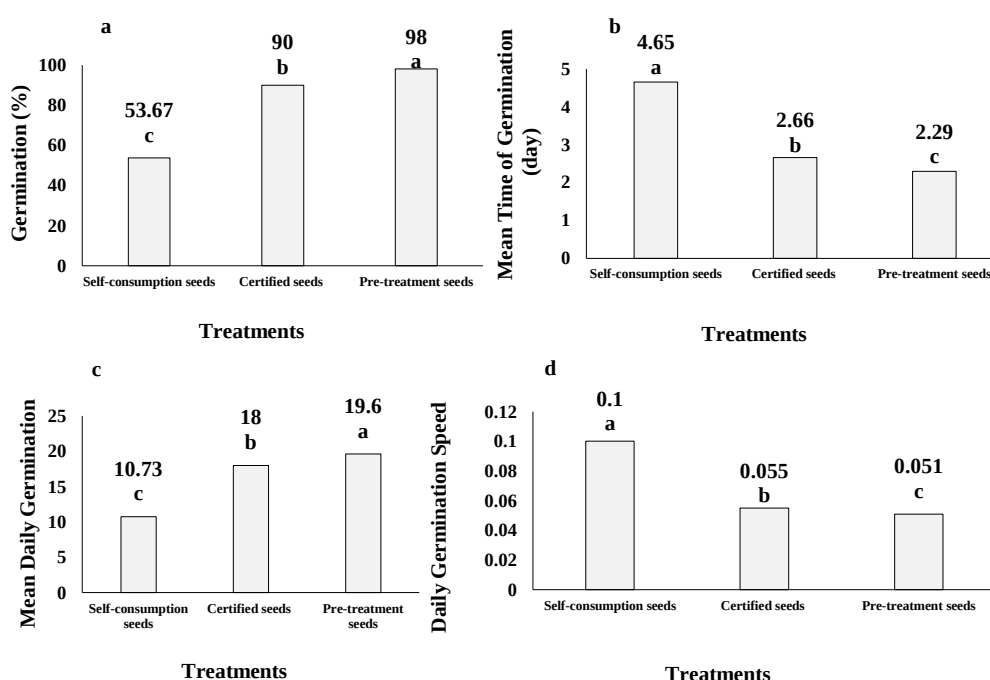
درصد جوانه‌زنی و میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی

نتایج تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های جوانه‌زنی نشان داد که تیمار بذر گواهی شده با محلول حاوی عناصر غذایی، عملکرد به‌مراتب بهتری در مقایسه با سایر تیمارها، به‌ویژه بذرهای گواهی‌شده بدون تیمار و بذرهای خودمصرفی کشاورزان از خود نشان داد. همان‌طور که در شکل ۲ (a) مشاهده می‌شود، درصد جوانه‌زنی در تیمار بذر گواهی شده با محلول عناصر غذایی به ۹۸ درصد رسید، این در حالی است که این شاخص در بذر گواهی‌شده بدون تیمار ۹۰ درصد و در بذر خودمصرفی کشاورزان تنها ۵۳/۶۷ درصد بود. تفاوت‌های مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار بوده و نقش مثبت و قابل توجه تیمار بذر با محلول عناصر غذایی در بهبود فرآیند جوانه‌زنی را تأیید می‌کند. در مقایسه دو تیمار بذر گواهی شده، مشخص شد که استفاده از تیمار بذر گواهی شده با محلول غذایی موجب افزایش حدود ۸ درصدی در

جوانه‌زنی شده است. این بهبود می‌تواند ناشی از تحریک فرآیندهای فیزیولوژیکی بذر، بهبود جذب آب و تنظیم مناسب‌تر متابولیسم بذر باشد. به‌ویژه، فرآیندهایی نظیر آب‌نوشی، فعال‌سازی آنزیم‌ها و سنتز اسیدهای نوکلئیک طی مرحله تیمار بذر با محلول غذایی در افزایش توان جوانه‌زنی بذر نقش دارند (Wang et al, 2003). از سوی دیگر، جوانه‌زنی ضعیف بذرهای خودمصرفی کشاورزان را می‌توان به کیفیت پایین‌تر این بذور نسبت داد که ناشی از شرایط نامناسب تولید و انبارداری، رطوبت بالا، نبود کنترل کیفی و کاهش قوه نامیه است (Mandal et al, 2020). با استفاده از بذر با کیفیت، می‌توان عملکرد محصول را تا ۲۵ درصد افزایش داد (Kshetri, 2010؛ Nadew, 2018). این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از بذرهای غیر استاندارد و فاقد سلامت فیزیولوژیک، می‌تواند عملکرد نهایی محصول را کاهش دهد (Di Girolamo and Barbanti, 2012). مقایسه میانگین زمان لازم برای جوانه‌زنی (MTG) نیز حاکی از برتری تیمار بذر گواهی شده با محلول عناصر غذایی است، به‌طوری که این تیمار دارای کمترین MTG به میزان ۲/۲۹ روز بود، این مقدار به‌طور قابل توجهی کمتر از تیمار بذر خودمصرفی کشاورزان با ۴/۶۵ روز بود (شکل ۲ b). مطالعات پیشین نیز تأیید کرده‌اند که تیمار بذر با محلول غذایی باعث تسریع فرآیندهای فیزیولوژیک نظیر تنفس، سنتز پروتئین، متابولیسم مواد ذخیره‌ای و نهایتاً ظهور سریع‌تر ریشه‌چه از طریق افزایش تقسیم سلولی می‌شود (سعادت و همکاران، ۱۴۰۰). این اثرات به کاهش مدت زمان مورد نیاز برای جوانه‌زنی و یکنواختی بیشتر در رشد اولیه گیاهچه‌ها منجر شده است.

میانگین جوانه‌زنی روزانه و سرعت جوانه‌زنی روزانه

بیشترین میانگین جوانه‌زنی روزانه به‌ترتیب در تیمار بذر گواهی شده با محلول غذایی (۱۹/۶۰ جوانه در روز)، بذر گواهی شده بدون تیمار با محلول غذایی (۱۸ جوانه در روز) و بذر خودمصرفی کشاورزان (۱۰/۷۳ جوانه در روز) اندازه‌گیری شد (شکل ۲ c). کمترین شاخص مدت‌زمان لازم برای جوانه‌زنی روزانه بذر نیز در تیمار بذر گواهی شده با محلول غذایی به مقدار ۰/۰۵ مشاهده شد (شکل ۲ d). تیمار بذر با محلول غذایی با تسریع فرآیندهای جوانه‌زنی، سبب می‌شود که خروج ریشه‌چه در زمان کوتاه‌تری انجام گیرد. پژوهشگران علت تسریع در ظهور ریشه‌چه و ساقه‌چه در بذور تیمار شده را به افزایش بازده جذب آب و فعالیت‌های متابولیکی در مرحله جوانه‌زنی نسبت داده‌اند (Hopper et al, 1979). در مطالعه‌ای پیرامون تأثیر تیمار بذر بر بنیه بذر و گیاهچه دو رقم برنج (خزر و هاشمی)، مشخص شد که تیمار بذر با تأثیرگذاری بر ویژگی هدایت الکتریکی بذر، باعث افزایش سرعت رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و کاهش مدت‌زمان لازم برای دستیابی به این سطح از جوانه‌زنی شد (اخگری و کاویانی، ۱۳۹۸). با توجه به برتری قابل توجه بذر گواهی‌شده و نقش مؤثر تیمار بذر با محلول حاوی عناصر غذایی در بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در مقایسه با بذرهای خودمصرفی، تأثیر این دو نوع بذر در آزمایش‌های مزرعه‌ای بر عملکرد نهایی برنج مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲- مقایسه میانگین ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر خودمصرفی، بذر گواهی شده و تیمار بذر گواهی شده با محلول عناصر غذایی.

آزمایش‌های مزرعه‌ای

همبستگی عملکرد و وضعیت حاصلخیزی خاک

در آزمایش‌های مزرعه‌ای، دو تیمار شامل بذر گواهی‌شده و تیمار بذر گواهی‌نشده با محلول حاوی عناصر غذایی، در نه مزرعه مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. مدیریت تغذیه‌ی هر دو تیمار، بر پایه‌ی وضعیت حاصلخیزی خاک هر مزرعه و مطابق با دستورالعمل دوبرمن و فیروهرست (۲۰۰۰) تنظیم شد. در این مزارع، شاخص‌های حاصلخیزی شامل درصد کربن آلی، درصد نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تحلیل همبستگی خطی بین عملکرد برنج و سطوح متفاوت حاصلخیزی خاک نشان داد که به‌جز پتاسیم قابل استفاده، سایر شاخص‌ها با عملکرد برنج همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند (جدول ۴). به‌ویژه مزارعی که درصد کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل استفاده آن‌ها بالاتر از حد بحرانی بود، عملکرد بالاتری نیز نشان دادند. این یافته‌ها نشان‌دهنده‌ی اهمیت مدیریت دقیق تغذیه در اراضی حاصلخیز هستند. در چنین شرایطی، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی می‌تواند منجر به هدررفت منابع، آلودگی زیست‌محیطی و خسارات اقتصادی شود. بنابراین، توجه به وضعیت خاک و تنظیم مصرف نهاده‌ها بر اساس آن، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در کشاورزی پایدار به شمار می‌آید. نتایج یک بررسی نشان داد که وضعیت حاصلخیزی خاک تأثیر معنی‌داری بر بهره‌وری کشاورزی و تصمیم‌گیری کشاورزان در خصوص تخصیص نهاده‌ها دارد، به‌طوری‌که عملکرد در مناطق حاصلخیز به‌طور چشمگیری بیشتر و میزان استفاده از نهاده‌ها نیز کمتر بود (Rahman and Parkinson, 2007).

جدول ۴- همبستگی خطی عملکرد و وضعیت حاصلخیزی خاک از نظر درصد نیتروژن، فسفر، پتاسیم و درصد کربن آلی

عملکرد (گرم در متر مربع)	پتاسیم قابل استفاده (میلی گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل استفاده (میلی گرم بر کیلوگرم)	درصد نیتروژن کل (%)	درصد کربن آلی (%)
درصد کربن آلی	-	-	-	-
درصد نیتروژن کل	-	-	-	۰/۹۹**
فسفر قابل استفاده	-	-	۰/۸۰	۰/۷۹
پتاسیم قابل استفاده	-	۰/۵۱	۰/۸۶*	۰/۸۷*
عملکرد	۰/۷۷	۰/۸۹*	۰/۹۷*	۰/۹۷*

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

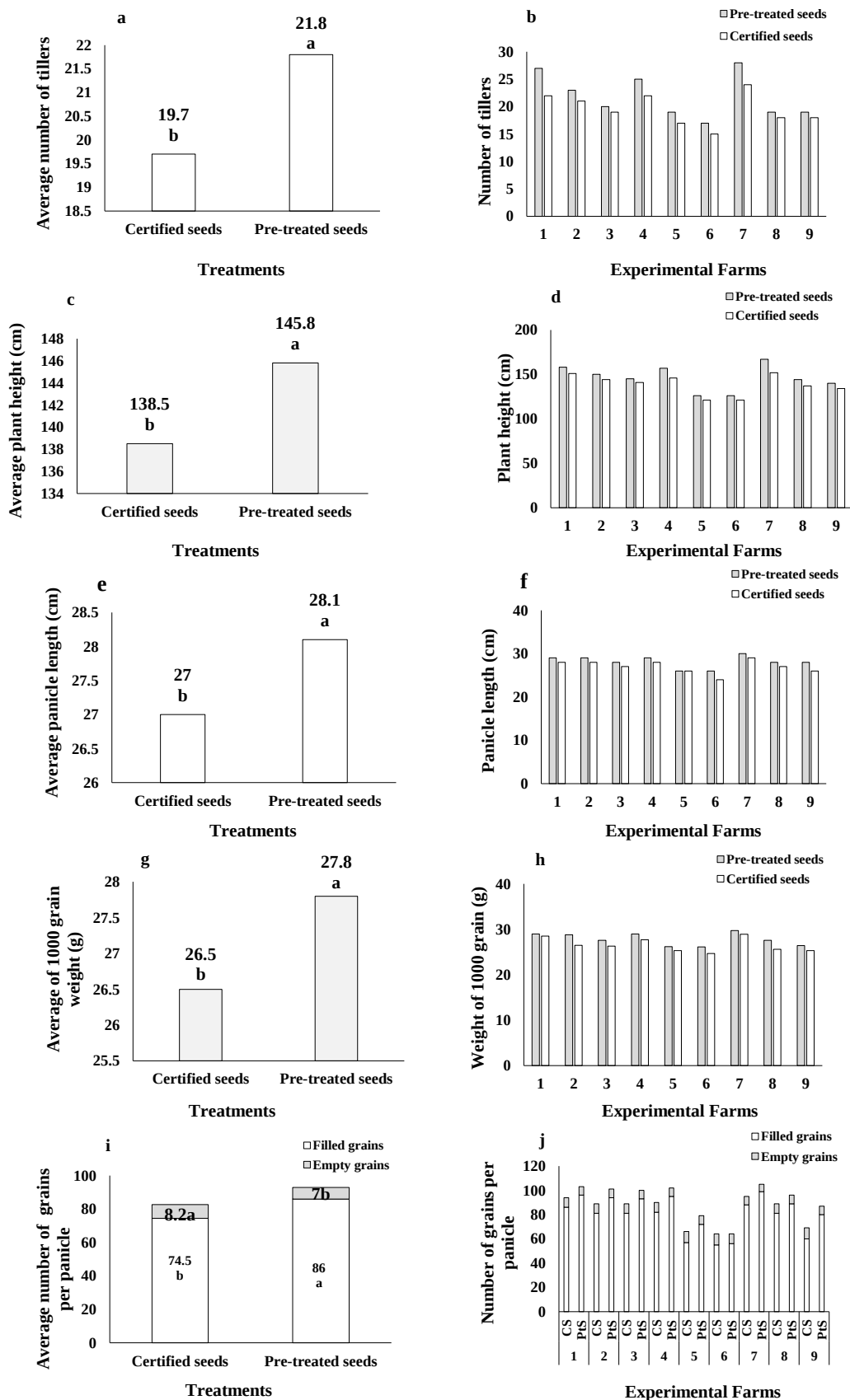
تأثیر تیمار بذر با محلول عناصر غذایی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج

نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که تیمارهای مورد بررسی از نظر صفات مرتبط با عملکرد از جمله وزن هزار دانه، طول خوشه، تعداد پنجه، تعداد دانه در خوشه، تعداد دانه‌های پر و پوک در خوشه و ارتفاع گیاه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ($P < 0.05$) بر اساس آزمون LSD داشتند (جدول ۵). در واقع تیمار بذر گواهی‌شده با محلول عناصر غذایی باعث بهبود صفات مرتبط با عملکرد در مقایسه با بذر گواهی‌نشده بدون تیمار با محلول غذایی در اراضی با سطوح متفاوت حاصلخیزی خاک شد (شکل ۳).

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد تیمار بذر گواهی‌شده با محلول غذایی در مقایسه با بذر گواهی‌نشده بدون تیمار با محلول غذایی

منابع تغییرات درجه آزادی		میانگین مربعات						
عملکرد دانه	طول خوشه	وزن هزار دانه	تعداد دانه در خوشه	ارتفاع گیاه	تعداد دانه پوک در خوشه	تعداد دانه پر در خوشه	تعداد پنجه	
تیمار	۱۰۰۸۶/۷۳*	۵/۵۵*	۷/۴۷*	۴۸۰/۵*	۲۴۲*	۶/۷۲*	۸۵۹/۳*	۲۰/۰۵*
بلوک	۷۲۳۷/۱۷*	۳/۹۳*	۳/۹۸*	۳۳۰/۵*	۳۲۲/۵*	۰/۵۹*	۳۶۱/۳*	۲۲/۱۲*
خطای آزمایشی	۲۴/۰۷	۰/۱۸	۰/۱۶	۱۰/۷۵	۶/۱۲	۰/۰۹	۱۳/۳	۱/۴۳
کل	۱۷							
ضریب تغییرات	۱/۱۵	۱/۵۴	۱/۴۸	۳/۷۲	۱/۷۴	۴/۰۹	۴/۵۵	۵/۷۴

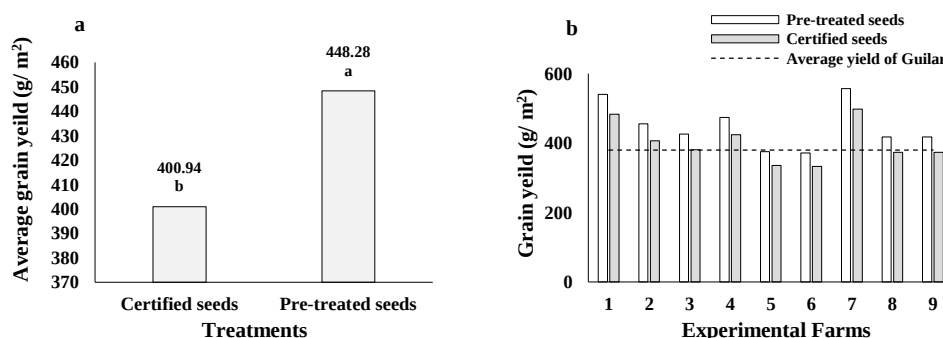
* در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.



شکل ۳- مقایسه صفات موثر بر عملکرد گیاه حاصل از بذر گواهی شده بدون تیمار با محلول غذایی (CS) و تیمار بذر گواهی شده با محلول عناصر غذایی (PtS) (a) میانگین تعداد پنجه ۹ مزرعه، (b) تعداد پنجه به تفکیک هر مزرعه، (c) میانگین ارتفاع گیاه ۹ مزرعه (سانتی متر)، (d) ارتفاع گیاه به تفکیک هر مزرعه، (e) میانگین طول خوشه ۹ مزرعه (سانتی متر)، (f) طول خوشه به تفکیک هر مزرعه، (g) میانگین وزن هزار دانه ۹ مزرعه (گرم)، (h) وزن هزار دانه به تفکیک هر مزرعه، (i) میانگین تعداد دانه (پر و پوک) در خوشه ۹ مزرعه و (j) تعداد دانه (پر و پوک) در خوشه به تفکیک هر مزرعه. ستون‌هایی که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند در آزمون LSD ($P \leq 5\%$) با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند.

عملکرد دانه (شلتوک)

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمار بذر گواهی شده با محلول حاوی عناصر غذایی، تأثیر معنی داری در افزایش عملکرد محصول در سطوح مختلف حاصلخیزی خاک دارد. مقایسه میانگین عملکرد نشان داد که تیمار بذر گواهی شده با محلول غذایی با میانگین عملکرد $448/28$ گرم در مترمربع نسبت به تیمار بذر گواهی شده بدون استفاده از محلول غذایی با میانگین $400/94$ گرم در مترمربع، به طور معنی داری برتری آماری داشت (شکل ۴ a)، این روند افزایشی در کلیه مزارع مورد مطالعه مشاهده شد (شکل ۴ b). در مزارعی که وضعیت حاصلخیزی خاک مطلوب تر بود (مانند مزارع شماره ۱، ۴ و ۷، مطابق جدول ۱)، عملکرد نیز بیشتر بود. به عنوان مثال، در مزرعه شماره ۷، عملکرد شلتوک در تیمار بذر گواهی شده با محلول غذایی به $555/6$ گرم در مترمربع رسید، در حالی که این مقدار در تیمار بذر گواهی شده بدون محلول غذایی $497/7$ گرم در مترمربع بود. در مزارعی با حاصلخیزی ضعیف خاک (مانند مزارع شماره ۵ و ۶)، استفاده از بذر گواهی شده و کوددهی بر اساس آزمون خاک نتوانست عملکرد را به سطح میانگین استانی (3799 کیلوگرم در هکتار) برساند (آمارنامه جهاد کشاورزی - محصولات زراعی، ۱۴۰۳). اما در این مزارع تلفیق استفاده از تیمار بذر گواهی شده با محلول غذایی و مدیریت تغذیه بر مبنای آزمون خاک، باعث افزایش عملکرد و نزدیک شدن آن به میانگین عملکرد استان گیلان شد (شکل ۴ b). با در نظر گرفتن تراکم ۲۵ بوته در مترمربع، عملکرد شلتوک در هکتار برای تیمار بذر گواهی شده با محلول غذایی برابر با 4480 کیلوگرم و برای تیمار بذر گواهی شده بدون محلول غذایی برابر با 4000 کیلوگرم برآورد شد، این مقادیر در مقایسه با میانگین عملکرد زارعین استان گیلان (3799 کیلوگرم در هکتار) به طور قابل توجهی بیشتر بودند. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین نیز هم‌راستا هستند. به طوری که (Mahajan et al, 2011) گزارش کردند که پیش تیمار بذر می‌تواند عملکرد دانه را تا ۱۱ درصد افزایش دهد.



شکل ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه (گرم در متر مربع) حاصل از بذر گواهی شده بدون تیمار محلول غذایی و تیمار بذر گواهی شده با محلول غذایی (a) در ۹ مزرعه و (b) به تفکیک هر مزرعه. ستون‌هایی که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند در آزمون LSD ($P \leq 5\%$) با یکدیگر تفاوت معنی داری دارند.

نتیجه‌گیری

بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک اراضی شالیزاری منطقه سنگر نشان داد که این اراضی از نظر میزان عناصر غذایی به‌ویژه درصد نیتروژن کل، فسفر قابل استفاده و درصد ماده آلی تفاوت قابل توجهی دارند، که این تفاوت‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم بر عملکرد برنج اثرگذار باشد. بر این اساس، انجام آزمایش خاک و مدیریت تغذیه بر مبنای نتایج آن، به عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش عملکرد برنج در این منطقه توصیه می‌شود. نتایج مطالعه بر روی توده‌های بذری جمع‌آوری شده از مزارع کشاورزان حاکی از آن است که بذور خودمصرفی کیفیت جوانه‌زنی مناسبی نداشته و درصد جوانه‌زنی پایینی از خود نشان می‌دهند. این امر نه تنها منجر به مصرف بیش از حد بذر در خزانه می‌شود، بلکه موجب تولید نشاهای ضعیف و در نهایت کاهش معنی‌دار عملکرد برنج خواهد شد. استفاده از بذر گواهی شده بهبود قابل توجهی در شاخص‌های جوانه‌زنی در مقایسه با بذور خودمصرفی کشاورزان نشان داد. همچنین، تیمار بذر با محلول حاوی عناصر غذایی، کیفیت بذر گواهی شده را از نظر شاخص‌های جوانه‌زنی افزایش داد. تیمار بذر گواهی شده با محلول غذایی به ترتیب موجب افزایش $44/33$ درصدی در مقایسه با بذور خودمصرفی و ۸ درصدی در بذور گواهی شده بدون تیمار با محلول غذایی از نظر درصد جوانه‌زنی شد. با توجه به اختلاف معنی‌دار کیفیت جوانه‌زنی میان بذره‌های خودمصرفی و گواهی شده، و همچنین اثر مثبت تیمار بذر با محلول غذایی در بذور گواهی شده، توصیه می‌شود که کشاورزان به منظور بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر مصرفی برای کشت، از بذر گواهی شده با تیمار محلول عناصر غذایی استفاده کنند. از سوی دیگر، با توجه به بهبود عملکرد ناشی از مصرف بهینه کودهای شیمیایی بر اساس نتایج آزمون خاک، ضروری



است انجام آزمایش خاک به عنوان بخشی از برنامه مدیریت زراعی در دستور کار زارعین قرار گیرد. در نهایت، نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیب دو روش تیمار بذر گواهی شده با محلول عناصر غذایی و مدیریت تغذیه‌ی مبتنی بر آزمون خاک، منجر به افزایش عملکرد برنج به میزان ۴۸۰ کیلوگرم در هکتار شد. بنابراین، در کنار بهبود وضعیت حاصلخیزی مزارع با مصرف کودهای شیمیایی از طریق آزمون خاک، بهره‌گیری از فناوری کارآمد تیمار بذر گواهی شده با محلول عناصر غذایی می‌تواند به‌طور معنی‌داری عملکرد برنج را در واحد سطح افزایش داده و در مقیاس کلان، سهم مؤثری در ارتقای تولید ملی برنج ایفا نماید.

منابع

- علی اخیایی، مریم و بهبهانی‌زاده، علی اصغر. (۱۳۷۲). توصیف روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران. شماره ۱۰۲۴.
- اخگری، حسن و کاویانی، بهزاد. (۱۳۹۸). تأثیر پرایمینگ بر بنیه بذر و گیاهچه دو رقم برنج (*Oryza sativa L*). مجله علوم و فناوری بذر ایران، ۱۷-۱، ۱۷-۱۸.
- بابازاده جعفری، شهریار؛ فیضیان، محمد؛ و دواتگر، ناصر. (۱۴۰۱). ارزیابی اثر مدیریت‌های مختلف تغذیه‌ای بر عملکرد و سود اقتصادی گیاه برنج (*Oryza sativa L*). مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۲)، ۳۳۵-۳۲۱.
- بنایی، محمد حسن. (۱۳۷۷). نقشه اصلاح شده رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک‌های ایران. تهران: مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران.
- گنجعلی، علی؛ موسوی کوهی، سید موسی؛ بیک خورمیزی، عبدالله؛ و حسینی، سید وجیه الله. (۱۳۹۹). تأثیر پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی و صفات مورفوفیزیولوژیکی نشاءهای برنج (*Oryza sativa L*). رقم هاشمی تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی. مجله علوم و تحقیقات بذر ایران، ۷ (۴)، ۴۴۵-۴۳۳.
- حیدری کمال آبادی، رضا؛ نبی‌زاده، مجتبی؛ مجاوریان، سید مجتبی؛ خانکشی‌پور، غلامرضا؛ و دزیانی، سعید. (۱۳۹۶). عوامل مؤثر بر میزان مصرف برنج در خانوارهای شهرستان رشت. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۴ (۹۶)، ۱۲۶-۱۰۹.
- دوات‌گر، ناصر؛ زارع، احمد؛ شکوری، مریم؛ رضایی، لیلا؛ کاووسی، مسعود؛ شیخ الاسلام، هادی؛ شاه‌نظری، مجتبی؛ کهنه، احسان؛ شیرین‌فکر، احمد؛ بنیادی، ایرج؛ ادیبی، شایگان؛ مشیرطالش، اسماعیل؛ خدائش‌ناس، علی؛ شکری‌واحد، حسن؛ دریغ‌گفتار، فرحناز؛ رحیمی‌مقدم، سید اکبر؛ و آجیلی، علی. (۱۳۹۴). بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزار استان گیلان. مدیریت اراضی، ۳ (۱)، ۱۳-۱.
- نورقلی‌پور، فریدون؛ توحیدلو، ساناز؛ جعفرنژادی، علیرضا؛ محمدنژاد، یونس؛ میرزاشاهی، کامران؛ قادری، جلال؛ ارزانش، محمد حسین؛ پسندیده، محمد؛ بایبوردی، احمد؛ و منتجبی، نصرت الله؛ زلفی، مختار؛ کشاورز، پیمان؛ سلسیپور، محسن؛ اسدی جلودار، انور؛ ایزدی، پروین؛ صدیقی، شادی؛ دواتگر، ناصر؛ مهاجر، علیرضا؛ دادپور، مسعود؛ و حسینی، ماشالله. (۱۴۰۱). مقایسه کوددهی کلزا در مزارع زارعین با کوددهی تلفیقی در برخی از مناطق کشور ایران. مجله مدیریت اراضی، ۱۰ (۲)، ۲۲۰-۲۰۹.
- سعادت، طیبه؛ علی‌دوست، حمیده؛ و صادقی، محمد. (۱۴۰۰). تأثیر پرایمینگ بر جوانه‌زنی بذرهای برنج با بنیه متفاوت. مجله تحقیقات بذر، ۱۰ (۴)، ۷۳-۶۵.
- آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی. (۱۴۰۳). محصولات زراعی.

REFERENCES

- Afzal, I., Ahmad, N., Basra, S. M. A., Ahmad, R. & Iqbal, A. (2002). Effect of different seed vigour enhancement techniques on hybrid maize (*Zea mays L.*). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 39(2). 109-112.
- Ahyayi, M. & Behbahani-Zadeh, A. (1993). Description of soil chemical analysis methods. *Soil and Water Research Institute of Iran*. (In Persian)
- Akhgari, H. & Kaviani, B. (2019). Effect of priming on seed and plantlet vigor of two cultivars of rice (*Oryza sativa L.*). *Seed Science and Technology*, 8(1), 1-17. (In Persian)
- Babazadeh Jafari, S., Feizian, M. & Davatgar, N. (2022). Evaluation of the effect of different nutritional managements on yield and economic benefit of rice plant (*Oryza sativa L.*). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(11), 2923-2934. (In Persian)
- Banai, M. (1998). Revised map of thermal and moisture regimes of soils. Tehran: *Soil and Water Research Institute of Iran*. (In Persian)
- Davatgar, N., Zare, A., Shakouri, M., Rezaee, L., Kavooosi, M., Sheikholeslam, H. ... & Ajililahiji, A. (2015). Fertility status of paddy soils in guilan province. *Land Management Journal*, 3(1), 1-13. (In Persian)
- Dogbe, W. et al. (2015). Influence of seed quality and soil fertility management on the productivity of rice (*Oryza sativa L.*) in the guinea savanna of Ghana. *UDS International Journal of Development*, 2(2), 15-

25.

- Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J. & Rakshit, A. (2021). Seed priming: A potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, Article 654001.
- Di Girolamo, G. & Barbanti, L. (2012). Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Italian Journal of Agronomy*, 7(2), e25. 178-188.
- Dobermann, A., & Fairhurst, T. (2000). Rice nutrient disorders and nutrient management. *International Rice Research Institute*.
- Donaldson, E., Schillinger, W. F. & Dofing, S. M. (2001). Straw production and grain yield relationships in winter wheat. *Crop Science*, 41(1), 100–106.
- Ella, E. S., Dionisio-Sese, M. L. & Ismail, A. M. (2011). Seed pre-treatment in rice reduces damage, enhances carbohydrate mobilization, and improves emergence and seedling establishment under flooded conditions. *AoB Plants*, 2011, plr007. 1-11
- Ellis, R. H. & Roberts, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9(2).
- Esper Neto, M., Britt, D. W., Lara, L. M., Cartwright, A., dos Santos, R. F., Inoue, T. T. & Batista, M. A. (2020). Initial development of corn seedlings after seed priming with nanoscale synthetic zinc oxide. *Agronomy*, 10(2), 307.
- Foolad, M. R., Subbiah, P. & Zhang, L. (2007). Common QTL affect the rate of tomato seed germination under different stress and nonstress conditions. *International Journal of Plant Genomics*, 2007, Article 97386.1-10
- Farooq, M., Basra, S.M.A. and Ahmad, N. (2007) 'Improving the performance of transplanted rice by seed priming', *Plant Growth Regulation*, 51, 129–137.
- Ganjeali, A., Mousavi Kouhi, S. M., Beyk Khormizi, A. & Hossaini, S. V. (2020). Effect of seed priming on germination and morphophysiological traits of rice transplants (*Oryza sativa* L. cv. Hashemi) under different moisture regimes. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 7(4), 433–445. (In Persian)
- Heidari, R., Nabizadeh, M., Mojaverian, S. M., Khankeshipoor, G. & Dezyani, S. (2017). Effective factors on the measure of rice consumption in the households of Rasht County. *Agricultural Economics and Development*, 24(96), 109–126. (In Persian)
- Hopper, N. W., Overholt, J. R. & Martin, J. R. (1979). Effect of cultivar, temperature and seed size on the germination and emergence of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). *Annals of Botany*, 44(3), 301–308.
- Hunter, E. A., Glasbey, C. A. & Naylor, R. E. L. (1984). The analysis of data from germination tests. *The Journal of Agricultural Science*, 102(1), 207–213.
- International Rice Research Institute. (2020). International Rice Research Institute. <https://www.irri.org>
- International Seed Testing Association (ISTA). (2007). *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland: ISTA
- Kaur, S., Gupta, A. K. & Kaur, N. (2005). Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(2), 81–87.
- Kshetri, B. T. (2010). On-farm management and quality assessment of farmers' saved wheat seed in the western Terai, Nepal. *Agronomy Journal of Nepal*, 1, 50-60.
- Ministry of Agriculture Jihad. (2024). Yearbook of the Ministry of Agriculture Jihad: Crop Products. (In Persian)
- Mahajan, G., Sarlach, R. S., Japinder, S. & Gill, M. S. (2011). Seed priming effects on germination, growth and yield of dry direct-seeded rice. *Journal of Crop Improvement*, 25(4), 409–417.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination aids in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176–177.
- Mian, A. L. & Coffey, L. C. (1971). Testing seed vigour in rice.
- Ministry of Agriculture Jihad. (2022). *Statistical yearbook of agricultural products* (Annual report). (In Persian)
- Mandal, P., Priya, M. N. A., Chowdhury, A. P., Foysal, M. R. A. & Hoque, M. (2020). Quality status of farmers' saved rice (*Oryza sativa*) seed in Bangladesh. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 24(02), 2039-2046.
- Nourgholipour, F., Tohidlu, S., Jafarnejadi, A., Mohammad Nejad, Y., Mirzashahi, K., Ghaderi, J., Arzanesh, M. H., Passandideh, M., Bybordi, A., Montajabi, N., Zolfi Bavariani, M., Keshavarz, P., Seilsepour, M., Asadi, A., Izadi, P., Sedighi, S., davatgar, N., mohajer, A., dadivar, M. & hoseini, M. (2022). Comparison of farmer-specific fertilization method and the recommended combined fertilization in parts of Iran. *Land*



Management Journal, 10(2), 209–220. (In Persian)

- Nadew, B. B. (2018). Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed: A Review on Selected Factors. *Advances in Crop Science and Technology*, 6(2), 356.
- Rahman, S. & Parkinson, R. J. (2007). Productivity and soil fertility relationships in rice production systems, Bangladesh. *Agricultural Systems*, 92(1–3), 318–333.
- Reis, S., Pavia, I., Carvalho, A., Moutinho-Pereira, J., Correia, C. & Lima-Brito, J. (2018). Seed priming with iron and zinc in bread wheat: Effects in germination, mitosis and grain yield. *Protoplasma*, 255, 1179–1194.
- Saadat, T., Alidoost, H. & Sedghi, M. (2021). Effect of priming on the germination of rice seeds of different vigor. *Journal of Seed Research*, 10(4), 65–73. (In Persian)
- Ullah, A., Farooq, M., Hussain, M., Ahmad, R. & Wakeel, A. (2019). Zinc seed priming improves stand establishment, tissue zinc concentration and early seedling growth of chickpea. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 29(4), 1046–1053.
- Wang, H. Y., Chen, C. L. & Sung, J. M. (2003). Both warm waters soaking and matricconditioning treatments enhance anti-oxidation of bitter gourd seeds germinated at sub sub-optimal temperature. *Seed Science and Technology*, 31(1), 47–56.