Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 3 (51)

Received:
2023-08-15

Accepted:
2023-10-23

Pages: 73-83

Measurement of Water Consumption of Promising Rice Cultivars Using Mini-Cylindrical Lysimeters in Amol City

Saeed Hosseini[1], Ali Bagheri[2*], Reza Asadi[3] and Davod Akbari Nodehi[4]

1) Ph.D. student, Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.
2) Assistant Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.
3) Dept. of Water Science and Engineering, Ghaemshahr Branch, Islamic Azad University, Ghaemshahr, Iran, Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rice Research Institute, Mazandaran, Amol, Iran.
4) Assistant Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.
*Corresponding author email: ali523b@yahoo.com

Abstract

Background and Aim: Rice is one of the most important agricultural products in the world. Rice cultivation in Iran has great economic and social importance. Mazandaran province is one of the most important rice production centers in Iran, accounting for 44% of the Iran's rice production. Due to the high consumption of water in the agricultural sector, the optimal use of water resources in agriculture is necessary.The water required by rice is directly related to evapotranspiration. The most reliable method of calculating evapotranspiration is using a lysimeter. The purpose of this experiment is to calculate the evapotranspiration of different varieties of rice using mini-lysimeters and to introduce the best variety for cultivation.

Method: The experiment was conducted as randomized complete block design with three replications and eleven treatments, at Rice Research Institute of Iran (Amol) during the 2020. The treatments included different rice varieties in 11 levels T1: AR2, T2: AR6, T3: AHS, T4: DAH, T5: 1117, T6: 952, T7: 956, T8: E104, T9: S715, T10: Tarom, and T11: Shiroodi. Mini lysimeters with open bottom and closed bottom had a diameter of 60 cm and a height of 50 cm. Field soil was sampled from 0 to 30 cm depth and studied in the laboratory. The date of transplanting was similar in all rice cultivars The planting density of seedlings was 20×20 cm and 7 seedlings were placed in lysimeter. The lysimeters were placed 6 cm above the ground in the soil. The seeds were planted in a treasury and the seedlings were placed in the lysimeter after 30-35 days (after 3-4 leaves and height 25-20 cm). Water management in lysimeters was in the form of flooding (5 cm). Finally, variance analysis of the obtained data was done using SAS software and the mean of the treatments were compared through the least significant difference (LSD) test at 5% probability level.

Results: The results showed that different varieties and lines of rice was effective on infiltration, evapotranspiration, yield, water consumption and were statistically significant at 1% level of probablity. The highest and lowest evapotranspiration with averages of 4938.7 and 3747 m^3/ha belonged to T9 and T5 treatments, respectively. The highest and lowest yields with averages of 7773.7 and 2938.1 kg/ha belonged to T8 and T6 treatments, respectively. The highest and lowest values of deep percolation were observed with averages of 303.3 and 185.3 mm in T9 and T5 treatments, respectively. The highest and lowest amount of applied water with averages of 9972 and 7600.3 m^3/ha belonged to T9 and T5 treatments, respectively. The highest and lowest water productivity with averages of 0.98 and 0.3 kg/m^3 were related to T8 and T9 treatments, respectively. The results showed that the length of the plant growth period was different in the tested cultivars and lines and it was effective on the amount of water consumption..

Conclusion: Finally, in the normal conditions of the region, line E104 is introduced as the best treatment due to the production of maximum grain yield, while in water shortage conditions, the line 1117 is recommended for planting due to less water consumption.

Keywords: Applied water, Evapotranspiration, Paddy field, Percolation, Water productivity

10.30495/WSRCJ.2023.74737.11399

مقاله پژوهشی

اندازه‌گیری آب مصرفی ارقام امیدبخش برنج با استفاده از مینی‌لایسیمترهای استوانه‌ای در شهرستان آمل

سید سعید حسینی کلاگر[۱]، علی باقری[۲*]، رضا اسدی[۳] و داود اکبری نودهی[۴]

۱) دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.
۲) استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.
۳) استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران، آمل، ایران،گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.
۴) استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: ali523b@yahoo.com

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال سیزدهم
شماره ۳ (۵۱)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۸/۰۱

صفحات: ۸۳-۷۳

چکیده:

زمینه و هدف: برنج یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در جهان است. کشت برنج در ایران از اهمیت اقتصادی و اجتماعی بالایی برخوردار است. استان مازندران یکی از مهم‌ترین مراکز تولید برنج در کشور است که ۴۴ درصد از تولید برنج کشور را به خود اختصاص داده است. با توجه به مصرف زیاد آب در بخش کشاورزی، استفاده بهینه از منابع آبی در کشاورزی ضروری است. آب مورد نیاز برنج رابطه مستقیمی با تبخیر و تعرق دارد. مطمئن‌ترین روش برای محاسبه تبخیر و تعرق، استفاده از لایسیمتر است. هدف از این آزمایش محاسبه تبخیر و تعرق ارقام مختلف برنج با استفاده از مینی‌لایسیمتر و معرفی بهترین رقم برای کشت می‌باشد.

روش پژوهش: این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و یازده تیمار در سال زراعی ۱۳۹۹ در موسسه تحقیقات برنج ایران-آمل انجام شد. تیمارها شامل ارقام مختلف برنج در ۱۱ سطح T1: AR2، T2: AR6، T3: AHS، T4: DAH، T5: 1117، T6: 952، T7: 956، T8: E104، T9: S715، T10: طارم و T11: شیرودی بودند. مینی‌لایسیمترهای ته باز و ته بسته دارای قطر ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بودند. خاک مزرعه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری و در آزمایشگاه بررسی شد. تاریخ کاشت در تمامی ارقام برنج مشابه بود. تراکم کشت نشاءها ۲۰×۲۰ سانتی‌متر بود و ۷ نشاء در لایسیمتر قرار گرفتند. لایسیمترها ۶ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین در خاک قرار گرفتند. بذرها در خزانه کاشته شدند و نشاءها پس از ۳۰-۳۵ روز (پس از ۳-۴ برگی و ارتفاع ۲۵-۲۰ سانتی‌متر) در لایسیمتر قرار گرفتند. مدیریت آب در لایسیمتر به صورت غرقابی (۵ سانتی‌متر) بود. در نهایت، تحلیل واریانس داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و میانگین تیمارها از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ارقام و لاین‌های مختلف برنج بر نفوذ، تبخیر و تعرق، عملکرد و مصرف آب مؤثر بوده و از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. بیشترین و کمترین مقدار تبخیر و تعرق به‌ترتیب با میانگین‌های ۴۹۳۸/۷ و ۳۷۴۷ متر مکعب در هکتار متعلق به تیمارهای T9 و T5 بود. حداکثر و حداقل میزان عملکرد به‌ترتیب با میانگین‌های ۷۷۷۳/۷ و ۲۹۳۸/۱ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمارهای T8 و T6 بود. بیشترین و کمترین مقدار نفوذ عمقی به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۰۳/۳ و ۱۸۵/۳ میلی‌متر در تیمارهای T9 و T5 مشاهده شد. بیشترین و کمترین میزان آب کاربردی به‌ترتیب با میانگین‌های ۹۹۷۲ و ۷۶۰۰/۳ مترمکعب در هکتار متعلق به تیمارهای T9 و T5 بود. بیشترین و کمترین بهره‌وری آب به‌ترتیب با میانگین‌های ۰/۹۸ تا ۰/۳ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به تیمارهای T8 و T9 بود. نتایج نشان داد که طول دوره رشد گیاه در ارقام و لاین‌های مورد آزمایش متفاوت بوده و بر میزان مصرف آب مؤثر است.

نتایج: در نهایت، در شرایط نرمال منطقه، لاین E104 به‌دلیل تولید حداکثر عملکرد دانه به‌عنوان بهترین تیمار معرفی می‌شود، ضمن اینکه در شرایط کم‌آبی، لاین 1117 به‌دلیل مصرف آب کمتر، جهت کاشت توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: آب کاربردی، بهره‌وری آب، تبخیر و تعرق، شالیزار، نفوذ

10.30495/WSRCJ.2023.74737.11399

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی دنیاست (غلامی سفیدکوهی و همکاران، ۱۳۹۹). در ایران سهم بخش کشاورزی از آب تجدیدپذیر طی دوره‌های آماری ۷ و ۵۰ سال به ترتیب ۵۲ و ۷۱ درصد است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). استان مازندران از مهم‌ترین مراکز تولید برنج کشور می‌باشد که ۴۴ درصد از تولید برنج را به خود اختصاص داده است، اما کشت این گیاه به دلیل مسأله کمبود آب با چالش جدی مواجه شده است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۲). اگرچه باور عمومی بر این است که استان‌های شمالی از این امر مستثنی هستند، ولی با کاهش بارندگی در سال‌های اخیر و عدم یکنواختی توزیع آن، مناطق شمالی ایران نیز در معرض خطرات کمبود منابع آب قرار دارند (پوریزدانخواه و همکاران، ۱۳۹۳). کمبود منابع آبی مصرف بالای آب در بخش کشاورزی و افزایش نیاز آبی گیاهان به‌دلیل تغییرات اقلیمی، لزوم اعمال برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه از منابع آب موجود را می‌طلبد (زارعی و همکاران، ۱۳۹۵). سیستم کشت مرسوم برنج در شالیزارهای استان مازندران، مبتنی بر استفاده از ارقام برنج آبی با آبیاری غرقابی می‌باشد. در این شیوه، بهره‌روی آبیاری پایین بوده و سبب مصرف آب بیش از نیاز واقعی گیاه می‌شود (اسدی، ۱۳۹۹). در روش آبیاری غرقابی مداوم، تلفات آب از طریق نشت، نفوذ و تبخیر بسیار بالاست (قمرنیا و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین، اعمال مدیریت صحیح آبیاری برای تولید حداکثر عملکرد محصول ضروری است (Lopez-Urrea et al., 2020). ذبیح‌پور روشن و همکاران (۱۴۰۲) اظهار نمودند که افزایش عملکرد دانه در یک ژنوتیپ خاص تأثیر زیادی بر بهبود بهره‌وری آب دارد. هم‌چنین مطالعات قبلی نشان داد که کاهش مصرف آب می‌تواند نقشی حیاتی در افزایش بهره‌وری آب آبیاری داشته باشد (Maneepitak et al., 2019). بررسی‌های به‌عمل آمده توسط آنینگ[1] و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که ارقامی از برنج با مصرف آب کمتر دارای بهره‌وری آب بالاتری بودند. تبخیر و تعرق یک پارامتر بسیار مهم برای مدیریت دقیق منابع آب و برنامه‌ریزی آبیاری است (Liu and Luo, 2010). مقدار آب مورد نیاز گیاه برنج با تبخیر و تعرق رابطه مستقیم دارد و مقدار تبخیر-تعرق نیز به شرایط جوی، دوره رشد گیاه، بافت خاک و هم‌چنین روش کاشت بستگی دارد (پیرمردیان و همکاران، ۱۳۹۲). برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق روش‌های مختلفی وجود دارد که روش لایسیمتری قابل اعتمادترین روش می‌باشد (غلامی سفیدکوهی و همکاران، ۱۳۹۹). سایر محققان نیز عنوان نمودند که از روش لایسیمتری می‌توان برای تعیین تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی استفاده نمود (Kumari et al., 2022). لایسیمترهای کوچک می‌توانند اطلاعات مناسبی از روند تبخیر و تعرق فراهم نمایند (Bhatt and Kukal, 2017). با توجه به اهمیت زیاد موضوع تبخیر و تعرق در مناطق مختلف، تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت گرفته است. بومن[2] و همکاران (۲۰۰۵) و سیمپسون[3] و همکاران (۱۹۹۲) گزارش کردند که در طول دوره رشد محصول، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد تبخیر و تعرق مربوط به تبخیر است. مجرد و همکاران (۱۳۸۴) طی تحقیقی مقدار نیاز آب مصرفی محصول برنج را در ده ایستگاه مازندران محاسبه کردند، نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری در شرق جلگه مازندران بیشتر از غرب آن بود. زارع ابیانه و همکاران (۱۳۹۰) تبخیر و تعرق گیاه برنج را با کشت دو رقم خزر و طارم به دو روش مستقیم (لایسیمتر) و غیرمستقیم (فائو[4]) در شهرستان آمل طی دو سال ۵۷۶ و ۴۸۱ میلی‌متر گزارش کردند. پیرمرادیان و همکاران (۱۳۹۲) تبخیر و تعرق سه رقم برنج (هاشمی، خزر و بهار) را با استفاده از مینی‌لایسیمتر استوانه‌ای (بر پایه پنج روش پنمن-مانتیث فائو، تابش، بلانی-کریدل، تشت تبخیر و هارگریوز- سامانی جهت برآورد تبخیر- تعرق مرجع) به‌ترتیب ۴۵۹، ۵۲۶ و ۴۹۰ میلی‌متر در روز گزارش نمودند. یان[5] و همکاران (۲۰۱۷) در ژاپن با استفاده از لایسیمتر در دوره ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی، تبخیر و تعرق برنج را به‌ترتیب ۳/۵، ۴/۴، ۷/۴ و ۶/۳ میلی‌متر در روز و ضریب گیاهی را ۰/۷۹، ۱/۱۸، ۱/۱، ۰/۸۶ گزارش کردند. غلامی سفیدکوهی و همکاران (۱۳۹۹) طی تحقیقی تبخیر-تعرق واقعی و ضریب گیاهی دو رقم برنج (هاشمی و شیرودی) را با استفاده از شش عدد لایسیمتر زهکش‌دار اندازه گرفتند. نتایج به‌دست آمده نشان دهنده تفاوت مقادیر نیاز آبی و نفوذ عمقی در دوره رشد در هر دو رقم داشت، به طوری که میزان نیاز آبی این ارقام در طول دوره رشد به‌ترتیب ۳۵۱ و ۳۹۷ میلی‌متر بود. مقدار آب کاربردی نیز برای کشت رقم شیرودی و هاشمی ۴۶۸ و ۳۸۰ میلی‌متر به‌دست آمد که از این مقادیر، حدود ۱۳ درصد برای رقم هاشمی و ۲۰ درصد برای رقم شیرودی در طول فصل رشد بصورت نفوذ عمقی از دسترس گیاه خارج شد. سایر محققان طی مطالعه‌ای در چین، میزان نیاز آبی محصول برنج را ۶۶۷/۱ میلی‌متر گزارش نمودند (Xinchun et al., 2018). در تحقیقی دیگر، نیاز آبی برنج در بنگلادش حدود ۱۲۱۲ میلی‌متر گزارش شد (Hossain et al., 2017). گزارشات ارائه شده توسط مرکز توسعه کشاورزی هندوستان، مقدار نیاز آبی سالانه برنج را ۲۰۷/۲۵ میلی‌متر را برآورد نموده است (Srinivas et al., 2018). به طور کلی، تعیین نیاز آبی برنج علاوه بر کمک به انتخاب رقم مناسب برای کشت، باعث افزایش صرفه‌جویی در مصرف آب نیز می‌شود (قمرنیا و همکاران، ۱۴۰۰). تعیین نیاز آبی خالص هر کدام از ارقام در انتخاب رقم مورد کشت توسط

مدیران در مکان‌های مختلف و کشاورزان در شرایط مختلف آبی و بهره‌وری آن تعیین‌کننده می‌باشد؛ بر این اساس، این تحقیق با هدف تعیین نیاز آبی خالص (تبخیر و تعرق) ارقام و لاین‌های مختلف برنج در کل دوره رشد گیاه با استفاده از مینی-لایسیمترهای استوانه‌ای ته باز و ته بسته و معرفی بهترین رقم، بر اساس مقدار و برنامه زمانی آب در دسترس و نیاز آبی ۱۱ رقم و لاین مختلف برنج انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور (آمل) به وسعت ۵۰۰ متر مربع در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا شد. شهرستان آمل با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۷ دقیقه و ۵۳ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه ۳۴ ثانیه شمالی در ارتفاع ۲۹/۸ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه در شهرستان آمل ۸۰۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۶ درجه سانتی-گراد است. آمار هواشناسی مکان اجرای آزمایش در طول دوره رشد برنج در جدول (۱) ارائه شده است.

آزمایش بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با استفاده از مینی‌لایسیمترهای استوانه‌ای ته باز و ته بسته بر ۱۱ رقم و لاین امیدبخش برنج اندازه‌گیری و مقایسه گردید. تیمارها شامل ارقام مختلف برنج در ۱۱ سطح T1: AR2، T2: AR6، T3: AHS، T4: DAH، T5: 1117، T6: 952، T7: 956، T8: E104، T9: S715، T10: طارم (شاهد) و T11: شیرودی (شاهد) بودند. ارقام و لاین‌های انتخابی آزمایش عمدتاً جزو ارقام در دست معرفی و اصلاح‌شده توسط مؤسسه تحقیقات برنج کشور می‌باشند. دو رقم طارم و شیرودی به‌ترتیب به عنوان رقم محلی و اصلاح‌شده پرمحصول هستند که به عنوان تیمارهای شاهد با سایر ارقام تحقیق مقایسه شدند. تمام شرایط داخل لایسیمترها از نظر خصوصیات خاک به‌ویژه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، وضعیت گیاه که در سطح آن کاشته شده و حرکت آب در خاک با شرایط طبیعی مزرعه مطابقت داشت تا معرف خوبی از شرایط مزرعه باشد و از دقت نتایج کاسته نشود. قطر و ارتفاع لایسیمترهایی که در خاک اراضی شالیزار مدفون شدند، ۶۰ و ۵۰ سانتی‌متر بود. پس از حفاری و نصب لایسیمترها، لایه‌های خاک بر اساس شرایط مزرعه، مجدداً به مخزن برگشت داده شد. لایسیمترهای آزمایش ۶ سانتی‌متر بالاتر از سطح زمین در خاک مزرعه قرار گرفتند. مدیریت آب در لایسیمترهای به‌کار گرفته شده به‌صورت غرقابی (مشابه اراضی اطراف) و به ارتفاع ۵ سانتی‌متر بود که در صورت کاهش ارتفاع آب در لایسیمتر به‌دلیل تبخیر و تعرق و نفوذ، با آبیاری مجدد، جبران می‌شد. لایسیمتر ته بسته، فقط سطح بالایی آن باز بوده و بقیه قسمت‌های آن به جز سوراخ‌های زهکشی که در کف آن قرار دارد، بسته بود. نمایی از لایسیمترهای مورد استفاده دز آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است.

جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از اجرای آزمایش اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری گردید که نتایج آن در جدول (۲) ارائه گردیده است.

جدول ۱. آمار هواشناسی در طول دوره رشد برنج

ماه‌های سال	درجه حرارت ماهانه (سانتی‌گراد)			مجموع بارندگی ماهانه (میلی‌متر)	مجموع ساعات آفتابی (ساعت)
	حداقل	حداکثر	میانگین		
فروردین	۱۰	۱۷/۶	۱۳/۸	۸۷/۷	۱۰۶/۱
اردیبهشت	۱۴/۶	۲۳/۸	۱۹/۲	۲۷/۲	۱۶۲/۳
خرداد	۱۹/۸	۳۰/۹	۲۴/۵	۰/۵	۲۷۱/۲
تیر	۲۱/۳	۳۲/۱	۲۶/۷	۱۹/۱	۲۴۳/۱
مرداد	۲۲/۲	۳۰/۸	۲۶/۵	۳۸/۸	۱۰۹/۴
شهریور	۱۹/۶	۲۹/۹	۲۴/۷	۵۷/۲	۲۲۱/۹

جدول ۲. نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

هدایت الکتریکی	اسیدیته	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	کربن آلی	رس	سیلت	شن	بافت خاک
(dS/m)	(pH)	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	(%)		(٪)		
۰/۶۰۳	۷/۵۷	۱۸۰	۱۰	۱/۳۶	۲۸	۵۲	۲۰	Si-L

شکل ۱. لایسیمترهای مورد استفاده در آزمایش

لایسیمترهای ته باز در عمق ۴۰ سانتی‌متری تا داخل لایه هاردپن به‌وسیله صفحه‌های فلزی و ضربه‌های چکش‌های آهنی ۲۵ کیلویی کار گذاشته شدند. لایسیمترهای ته بسته با خاکبرداری لایه به لایه و سپس پرکردن لایه به لایه لایسیمترها با خاک برداشت شده در عمق مساوی با لایسیمترهای ته باز نصب شدند. ابتدا بذور را در فضای کوچک-تری به‌نام خزانه کشت نموده و ۳۰ الی ۳۵ روز پس از کاشت (نشاءها بعد از ۳ الی ۴ برگی شدن و ارتفاع ۲۵ الی ۲۰ سانتی-متر) نشاءها در لایسیمتر قرار گرفتند. تراکم کشت نشاءها ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و تعداد ۷ نشاء در هر لایسیمتر کشت شد. شرایط به‌کارگیری لایسیمتر ته باز غیر از باز بودن ته آن، شبیه لایسیمتر ته بسته بود. در مزرعه انتخابی آماده‌سازی زمین شامل شخم اول، دوم و تسطیح انجام شد و کودپاشی نیز انجام گرفت. میزان کود مصرفی برا ارقام محلی، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل در مرحله آماده-سازی زمین (در کل مزرعه) در یک مرحله به صورت پایه، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم از منبع کلرید پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره مصرف شد. کود نیتروژن و پتاسیم در سه مرحله: ۴۰ درصد در مرحله آماده‌سازی زمین، ۳۰ درصد در مرحله پنجه‌زنی (۲۰ روز بعد نشاءکاری) و ۳۰ درصد در مرحله ظهور خوشه (۴۰ روز بعد از نشاءکاری) استفاده شد. برای ارقام پرمحصول، مقادیر کود مصرفی معادل ۲۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره، ۱۵۰ کیلوگرم کود پتاسیم از منبع کلرید پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل بود. زمان کوددهی در ارقام پرمحصول همانند ارقام محلی انجام شد. برای کنترل علف‌های هرز از سم ماچیتی با نام تجاری بوتاکلر به‌میزان ۳-۲/۵ لیتر در هکتار، یک مرتبه وجین دستی نیز انجام شد. مبارزه با آفات و بیماری‌های برنج در طول مرحله داشت بر اساس دستورالعمل فنی مؤسسه تحقیقات برنج کشور (دو مرحله سم دیازینون گرانول ۱۰ درصد به میزان ۲۰-۱۵ کیلوگرم در هکتار برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار نواری و یک مرحله سم وین به میزان ۴۰۰ میلی‌لیتر در هکتار برای مبارزه با بیماری بلاست) انجام شد. حجم آب مصرفی با آبیاری روزانه تا عمق ۵ سانتی‌متر با استفاده از شاخص نوک‌تیز در همه لایسیمترها اندازه‌گیری و ثبت شد. در انتهای دوره رشد، ارقام مورد بررسی در تاریخ‌های متفاوت از هم برداشت شدند که در جدول (۳) ارائه شده است.

از اختلاف بین لایسیمترهای ته بسته و ته باز، مقدار نفوذ عمقی به‌دست آمد. در مرحله رسیدگی، در هر لاین و رقم، ۸ روز قبل از برداشت آبیاری قطع شد و بوته‌ها بصورت کف بر، برداشت شده و کاه و دانه نمونه‌ها، پس از هوا خشک شدن از هم جدا شدند و سپس اندازه‌گیری وزن نمونه دانه و رطوبت موجود در آن‌ها انجام شد. بهره‌وری آب آبیاری از رابطه (۱) محاسبه شد (Lopez et al., 2018):

$$WP_I = \frac{Y}{I} \qquad (۱)$$

WP_I بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و I آب آبیاری (متر مکعب در هکتار) است. در نهایت تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و میانگین تیمارها از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. رسم نمودار و جداول نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

جدول ۳. تاریخ کاشت و برداشت و طول دوره رشد در ارقام مختلف آزمایش

تیمار	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	طول دوره رشد (روز)	رسیدگی
AR2	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۵/۲۹	۸۳	زودرس
AR6	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۵/۰۱	۸۶	زودرس
AHS	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۵/۱۶	۷۰	زودرس
DAH	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۵/۰۵	۸۹	زودرس
1117	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۶/۱۳	۶۷	زودرس
952	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۶/۰۵	۸۹	زودرس
956	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۶/۰۵	۸۹	زودرس
E104	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۵/۱۷	۷۲	زودرس
S715	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۶/۲۱	۱۰۶	دیررس
طارم	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۵/۱۹	۷۳	زودرس
شیرودی	۱۳۹۹/۰۳/۰۸	۱۳۹۹/۰۶/۲۱	۱۰۶	دیررس

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (جدول ۴) نشان داد که مقدار نفوذ در ارقام و لاین‌های مختلف برنج دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد ($P \leqslant ۰/۰۱$). با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵)، دو تیمار T9 و T11 با نفوذ معادل ۳۰۳/۳ و ۳۰۲ میلی‌متر بیشترین مقدار نفوذ را به خود اختصاص داده و در گروه a قرار گرفتند و تیمار T5 با ۱۸۵/۳ میلی‌متر کمترین مقدار نفوذ را به خود اختصاص داده و در گروه c قرار گرفت. در دوره رشد گیاه برنج، طول دوره رشد گیاه می‌تواند بر میزان نفوذ عمقی این محصول موثر باشد. از آن‌جایی که لاین S715 و رقم Shiroodi طولانی‌ترین دوره رشد (۱۰۶ روز) را در بین تیمارهای آزمایش داشتند، از این رو می‌توان بیشتر بودن مقادیر نفوذ در این رقم و لاین را به طول دوره رشد گیاه مربوط دانست. در این راستا، تیمار T5 که کوتاه‌ترین دوره رشد (۶۷ روز) را داشت و زودرس بود، پایین‌ترین مقدار نفوذ را به خود اختصاص داده بود. در مقایسه با دو تیمار شاهد (محلی و پرمحصول)، نفوذ در تیمارهای انتخابی (به جز لاین S715) کمتر از رقم پرمحصول بود؛ اما میزان نفوذ در رقم طارم (محلی) با لاین‌های T3، T5 و T8 تفاوت ناچیزی داشت و در پایین‌ترین گروه قرار گرفت. نتایج حاصل شده در این تحقیق با پژوهش غلامی سفیدکوهی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. مدبری و همکاران (۱۳۹۳) طی مطالعه‌ای، نفوذ عمقی در لایسیمتر را در دو رقم هاشمی و خزر به ترتیب ۲۰۱ و ۲۱۰ میلی‌متر گزارش کردند. یوسفی مقدم (۱۳۸۷) گزارش کرد که بسته به شرایط فیزیکی خاک، نشت و نفوذ می‌تواند تغییر کند.

جدول ۴. تجزیه واریانس مربوط به صفات اندازه‌گیری شده (میانگین مربعات) در ۱۱ رقم و لاین برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	نفوذ	تبخیر و تعرق	آب کاربردی	عملکرد	بهره‌وری آب آبیاری
بلوک	۲	۲۲۱^{ns}	۲۳۲۸^{ns}	۳۶۷۱۴^{ns}	۳۸۵۴۳۱^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}
تیمار	۱۰	۴۸۸۵**	۵۶۶۶۴**	۲۰۸۷۹۶۴**	۱۱۰۷۱۲۲۳**	۰/۲۱**
خطا	۳۲	۸۰/۷	۲۶۰۸	۱۴۸۰۹	۱۸۴۴۹۳	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳/۷۵	۱/۱۷	۱/۴	۹/۰۹	۹/۴۵

ns و **: به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

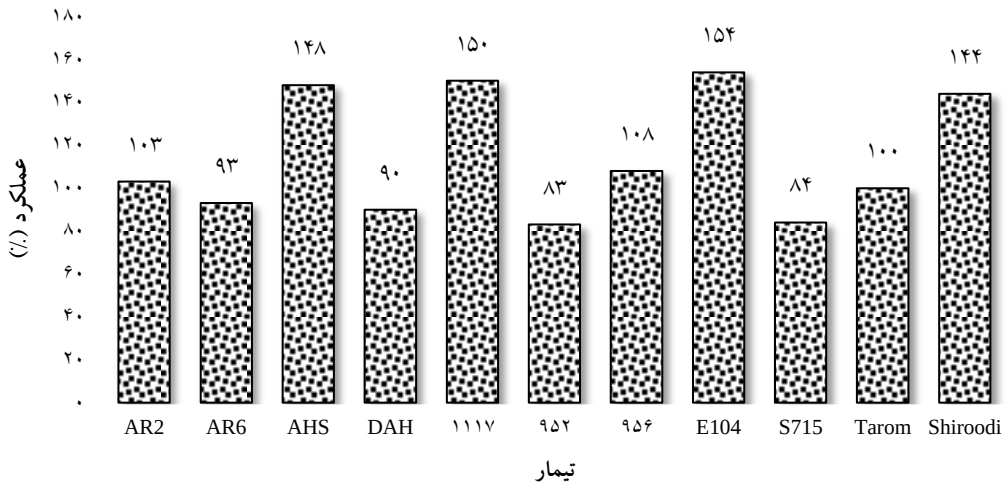
جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ۱۱ رقم و لاین برنج

تیمار	نفوذ (mm)	تبخیر و تعرق ($m^3.ha^{-1}$)	آب کاربردی ($m^3.ha^{-1}$)	بهره‌وری آب آبیاری ($kg.m^{-3}$)	عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)
T1 (AR2)	۲۳۳/۷b	۴۴۱۶/۷c	۸۷۵۳/۳c	۰/۴۲cd	۳۶۹۹/۰c
T2 (AR6)	۲۴۲/۷b	۴۴۴۸c	۸۸۷۴/۷bc	۰/۳۷cd	۳۳۱۳/۲c
T3 (AHS)	۱۹۵c	۳۸۳۹de	۷۷۸۹de	۰/۹۰a	۶۹۷۳/۳ab
T4 (DAH)	۲۵۶b	۴۶۰۴b	۹۱۶۴b	۰/۳۵cd	۳۲۰۱/۷c
T5 (1117)	۱۸۵/۳c	۳۷۴۷e	۷۶۰۰/۳e	۰/۹۵a	۷۲۰۳/۹ab
T6 (952)	۲۵۲/۳b	۴۶۰۲b	۹۱۲۵/۷b	۰/۳۲cd	۲۹۳۸/۱c
T7 (956)	۲۵۵b	۳۹۰۸/۳d	۹۲۵۲/۵b	۰/۴۳cd	۳۸۹۵/۵c
T8 (E104)	۲۰۱/۷c	۳۹۰۸/۷d	۷۹۲۵b	۰/۹۸a	۷۷۷۳/۷a
T9 (S715)	۳۰۳/۳a	۴۹۳۸/۷a	۹۹۷۲a	۰/۳۰d	۲۹۸۴/۷c
T10 (طارم)	۲۰۴/۳c	۳۹۳۴d	۷۹۷۷/۳d	۰/۴۵c	۳۵۷۵/۸c
T11 (شیرودی)	۳۰۲a	۴۹۳۵/۷a	۹۹۵۵/۷a	۰/۶۴b	۶۴۰۱/۴b

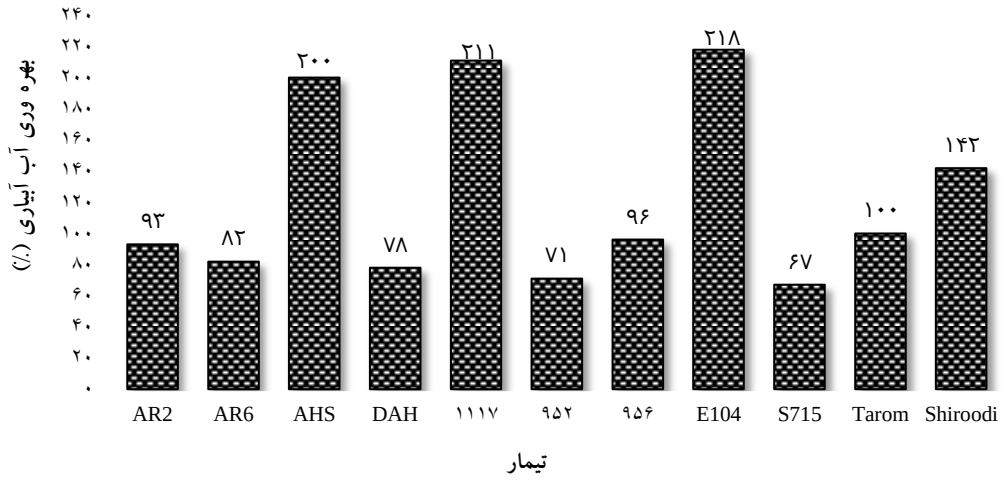
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (جدول ۴)، نشان داد که مقدار تبخیر و تعرق در ارقام و لاین‌های مختلف برنج دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد (P ⩽ ۰/۰۱). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) دو تیمار T9 و T11 به‌ترتیب با تبخیر و تعرق معادل ۴۹۳۸/۷ و ۴۹۳۵/۷ مترمکعب در هکتار در بالاترین گروه یعنی a قرار گرفتند. تیمار T9 (لاین S715) بیشترین تبخیر و تعرق را به خود اختصاص داد و تفاوت ناچیزی با تیمار T11 (رقم شیرودی) داشت. تیمار T5 (لاین 1117) با ۳۷۴۷ مترمکعب در هکتار کمترین مقدار تبخیر و تعرق را به خود اختصاص داد و در کلاس e قرار گرفت. تفاوت در تبخیر و تعرق ارقام و لاین‌های مختلف را این گونه می‌توان توجیه کرد که طول دوره رشد هر یک از ارقام و لاین‌ها، نقش اساسی در برآورد تبخیر و تعرق داشته است. غلامی سفیدکوهی و همکاران (۱۳۹۹) بیان کردند که باتوجه به طولانی بودن دوره رشد رقم شیرودی، تبخیر و تعرق در این رقم بیشتر از رقم هاشمی بود که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد. مطالعات انجام شده در منطقه گیلان، تبخیر و تعرق کل دوره برنج را برابر ۵۲۸۸ مترمکعب در هکتار گزارش نمود که بیشتر از تبخیر و تعرق تمامی ارقام و لاین‌های برنج مورد آزمایش در این تحقیق می‌باشد (Herve, 1996). اسدی (۱۳۸۸) مقدار متوسط تبخیر و تعرق برنج با استفاده از لایسیمتر ته بسته و لایسیمتر ته باز را به‌ترتیب ۳۴۷ و ۵۲۶ میلی‌متر گزارش نمودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (جدول ۴)، نشان داد که مقدار آب کاربردی در ارقام و لاین‌های مختلف برنج دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد (P ⩽ ۰/۰۱)، که با نتایج یوسفیان و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد. با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) تیمار T9 و T11 به‌ترتیب با آب کاربردی معادل ۹۹۷۲ و ۹۹۵۵/۷ مترمکعب بر هکتار بیشترین آب کاربردی را به خود اختصاص داده و در گروه a قرار گرفتند و تیمار T5 با آب کاربردی معادل ۷۶۰۰/۳ مترمکعب در هکتار کمترین آب کاربردی را به خود اختصاص داده و در گروه e قرار گرفت. در این تحقیق، با توجه به یکسان بودن شرایط محیطی، نوع خاک، درجه حرارت، عمق آب زیرزمینی میزان نفوذ پذیری و غیره، طول دوره رشد ارقام مورد کشت بر مقدار آب کاربردی را موثر دانست. طول دوره رشد ارقام و لاین‌ها با آب کاربردی رابطه مستقیم داشت، یعنی با افزایش طول دوره رشد، مقادیر آب کاربردی افزایش داشته است. بر اساس جدول (۳) دو تیمار T9 و T11 (لاین S715 و رقم شیرودی) که بالاترین طول دوره رشد را داشتند (مدت زمانی که گیاه در زمین اصلی قرار داشت، بیشتر از سایر تیمارها بود)، بیشترین آب کاربردی را به خود اختصاص داده بودند. در مقایسه با دو تیمار شاهد (محلی و پرمحصول)، آب کاربردی در رقم شیرودی (پرمحصول) ۷-۲۴ درصد در سایر تیمارها (به جز تیمار T9) کاهش داشت؛ اما رقم طارم (محلی) از نظر مقدار آب کاربردی در گروه‌های پایین (d) قرار گرفته بود و از تیمارهای T1، T2، T4، T6، T7 و T9 مقدار کمتری داشت. سایر محققان گزارش دادند که مقدار آب کاربردی برای رقم پرمحصول شیرودی به طور معنی‌داری بیشتر از رقم محلی طارم بود (Zabihpour Roushan et al., 2023)، که در راستای نتایج حاصل از مطالعه حاضر می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (جدول ۴)، نشان داد که عملکرد در ارقام و لاین‌های مختلف برنج دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد (P ⩽ ۰/۰۱). تیمارهای T8 و T6 به‌ترتیب با عملکرد معادل ۷۷۷۳/۷ و ۲۹۳۸/۱ کیلوگرم در هکتار، بیشترین و کمترین عملکرد را به خود اختصاص دادند و در گروه a و c قرار گرفتند. یافته‌ها تفاوت عملکرد در ارقام و لاین‌های مختلف برنج مشاهده می‌شود. مقدار عملکرد در لاین‌های T3 (AHS)، T5 (1117) و T8 (E104) در مقایسه با سایر ارقام و لاین‌ها، دارای بیشترین عملکرد بوده و در مقایسه با رقم شیرودی که یک رقم اصلاح شده پرمحصول است از نظر عملکردی دارای مطلوبیت بیشتری است (جدول ۵). شکل (۲) نشان داد که در مقایسه با درصد عملکرد در رقم شیرودی، تیمارهای T1، T2، T4، T6، T7، T9 و T10 به‌ترتیب ۴۲، ۴۸، ۵۰، ۵۴، ۳۹، ۵۳ و ۴۴ درصد کاهش و تیمارهای T3، T5 و T8 به‌ترتیب ۹، ۱۳ و ۲۱ درصد افزایش عملکرد داشتند. درصد عملکرد در این تیمارها نسبت به رقم طارم نیز، به‌ترتیب ۹، ۱۳ و ۲۱ درصد بیشتر بود. یوسفیان و همکاران (۱۳۹۳) طی تحقیقی بر روی دو رقم برنج، عملکرد ارقام طارم و شیرودی را (تحت آبیاری غرقاب دائم) به‌ترتیب ۴۲۱۰/۳ و ۶۷۹۹/۷ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه (جدول ۴)، نشان داد که مقدار بهره‌وری آب آبیاری در ارقام و لاین‌های مختلف برنج دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد (P ⩽ ۰/۰۱). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) تیمار T8 با بهره‌وری آب آبیاری معادل ۰/۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب، بیشترین بهره‌وری آب آبیاری را به خود اختصاص داد و در کلاس a قرار گرفت. تیمارهای T5، T3 نیز به‌ترتیب با ۰/۹۵ و ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب در کلاس a قرار گرفتند. تیمار T9 با بهره‌وری آب آبیاری معادل ۰/۳ کیلوگرم بر مترمکعب، کمترین بهره‌وری آب آبیاری را به خود اختصاص داد و در کلاس d قرار گرفت. در شکل (۳) مشاهده می‌شود که در مقایسه با رقم طارم (محلی)، از نظر بهره‌وری آب آبیاری،

تیمارهای T1، T2، T4، T6، T7 و T9 به‌ترتیب ۷، ۱۸، ۲۲، ۲۹، ۴ و ۳۳ درصد کاهش داشتند. تیمارهای T3، T5، T8 و T11 در مقایسه با رقم طارم به‌ترتیب ۱۰۰، ۱۱۱، ۱۱۸ و ۴۲ درصد افزایش بهره‌وری آب آبیاری داشتند. درصد بهره‌وری آب آبیاری در سه تیمار T3، T5 و T8 (لاین‌های AHS، 1117 و E104) حتی نسبت به رقم شیرودی (پرمحصول) نیز به‌ترتیب ۵۸، ۶۹ و ۷۶ درصد بیشتر بود. در واقع نتایج نشان‌دهنده آن بود که واریته‌هایی با مقادیر کمتر آب کاربردی، درصدهای بالاتری از بهره‌وری آب آبیاری را نشان دادند. در نتایجی مشابه با مطالعه حاضر، آنینگ و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که واریته‌ای که کمترین میزان آب کاربردی را ثبت نموده بود دارای بیشترین میزان بهره‌وری آب آبیاری در مقایسه با سایر واریته‌ها بود. گروه دیگری از پژوهشگران با بررسی ارقام مختلف برنج بیان نمودند که رقم طلوع با کمترین میزان آب کاربردی، بیشترین بهره‌وری آب آبیاری را به خود اختصاص داد (Zabihpour Roushan et al., 2023). به‌طور کلی آب کاربردی و عملکرد که تعیین‌کننده بهره‌وری آب هستند، در ارقام مختلف متفاوت بود، به‌طوری که در برخی ارقام، عملکرد پایین و بالا بودن میزان آب کاربردی، موجب کاهش بهره‌وری آب آبیاری گردید. بر اساس نتایج این تحقیق، لاین E104 که دارای بیشترین عملکرد بود، بالاترین بهره‌وری آب آبیاری را نیز به خود اختصاص داد؛ بنابراین می‌توان گفت اصلاح همزمان این صفات با تغییر رقم کشت شده قابل انجام است. نتایج مربوط به بهره‌وری اقتصادی برنج (جدول ۶) نشان داد که با توجه به اهمیت بالای آب، بیشترین بهره‌وری اقتصادی آب مربوط به تیمار T5 (۱۱۱۷) با ۱۷۱۱۷۴ ریال (معادل ۱۷۱۱۷/۴ تومان) به ازای متر مکعب آب مصرفی می‌باشد که به همراه تیمارهای T3 (AHS) و T8 (E104) در گروه اول آماری قرار گرفتند.



شکل ۲. مقایسه درصد عملکرد رقم طارم با سایر ارقام آزمایش



شکل ۳. مقایسه درصد بهره‌وری آب آبیاری رقم طارم با سایر ارقام آزمایش

جدول ۶. بهره‌وری اقتصادی برنج

تیمار	قیمت واحد شلتوک به ریال	هزینه تقریبی تمام شده به ریال در هکتار	درآمد به ریال	درآمد ناخالص به ریال	درآمد ناخالص به ازای متر مکعب آب مصرفی
T1 (AR2)	۲۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۷۳۹۸۰۰۰۰۰	۲۳۹۸۰۰۰۰۰f	۲۷۳۹۵i
T2 (AR6)	۲۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۶۶۲۶۴۰۰۰۰	۱۶۲۶۴۰۰۰۰g	۱۸۳۲۶j
T3 (AHS)	۲۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۷۴۳۳۲۵۰۰۰	۱۲۴۳۳۲۵۰۰۰ab	۱۵۹۶۲۵ab
T4 (DAH)	۲۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۸۰۰۴۲۵۰۰۰	۳۰۰۴۲۵۰۰۰e	۳۲۷۸۳h
T5 (1117)	۲۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۸۰۰۹۷۵۰۰۰	۱۳۰۰۹۷۵۰۰۰a	۱۷۱۱۷۴a
T6 (952)	۲۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۷۳۴۵۲۵۰۰۰	۲۳۴۵۲۵۰۰۰f	۲۵۷۳۶i
T7 (956)	۲۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۹۷۳۸۷۵۰۰۰	۴۷۳۸۷۵۰۰۰de	۵۱۲۱۵f
T8 (E104)	۲۲۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۷۱۰۲۱۴۰۰۰	۱۲۱۰۲۱۴۰۰۰ab	۱۵۲۷۰۸ab
T9 (S715)	۲۲۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۶۵۶۶۳۴۰۰۰	۱۵۶۶۳۴۰۰۰g	۱۵۷۰۷j
T10 (طارم)	۳۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۷۲۷۴۰۰۰۰	۵۷۲۷۴۰۰۰۰d	۷۱۷۹۵e
T11 (شیرودی)	۲۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۶۰۰۳۵۰۰۰۰	۱۱۰۰۳۵۰۰۰۰c	۱۱۰۵۲۴c

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق در مجموع نشان‌دهنده تاثیر نوع رقم و لاین و طول دوره رشد آن‌ها بر روی صفات نفوذ، تبخیر و تعرق، عملکرد، آب مصرفی و بهروری آب مصرفی است. در این تحقیق تبخیر و تعرق گیاه برنج از زمان کاشت نشاء تا برداشت محصول برای ارقام و لاین‌های AR6، AHS، DAH، 1117، 952، 956، E104، S715، طارم و شیرودی به‌ترتیب برابر با ۴۴۱۶/۷، ۴۴۴۸، ۳۸۳۹، ۴۶۰۴، ۳۷۴۷، ۴۶۰۲، ۳۹۰۸/۳، ۴۹۰۸/۷، ۴۹۳۸/۷، ۳۹۳۴ و ۴۹۳۵/۷ مترمکعب در هکتار بود که بیشترین تبخیر و تعرق متعلق به لاین S715 و رقم شیرودی بود. بیشترین عملکرد با میانگین ۷۷۳/۷ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار T8 (لاین E104) بود. تیمار T5 (لاین 1117) کمترین آب کاربردی (۷۶۰۰/۳ مترمکعب در هکتار) را در بین تیمارهای آزمایش به خود اختصاص داد و از نظر بهره وری آب در گروه a قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر، در شرایط نرمال منطقه، با اولویت قرار دادن میزان عملکرد، لاین E104 به عنوان بهترین تیمار معرفی می شود، ضمن اینکه در شرایط کم‌آبی منطقه که صرفه‌جویی در مصرف آب اولویت است، لاین 1117 توصیه می‌گردد. هم‌چنین با توجه به نداشتن استراتژی مناسب در مصرف آب و قیمت پایین آب، اولویت کشاورز در بالا بودن درآمد ناخالص در هکتار است که در این صورت، تیمارهای مطلوب به‌ترتیب تیمارهای T5، T3 و T8 از نظر درآمد و بهره‌وری اقتصادی برنج می‌باشد.

Reference:

Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghani, J., Abbasi, N. and Akbari, M. 2015. Improvement of Water Consumption prouctivity. Agriculture Engineering Research Institute. 68 p. [in Persian]

Anning, D.K., Ofori, J. and Narh, S. 2018. Effect of irrigation management methods on growth, grain yield and water Productivity of three lowland rice (*Oryza sativa* L.) varieties. West African Journal of Applied Ecology**,** 26(2): 93-104.

Asadi, A. 2013. Investigating the drought stress of aerobic cultivars in direct cultivation using the drying method and comparing it with the transplant method. Final report of the project. Publications of Iran's Rice Research Institute-Amol. 30 p. [in Persian]

Asadi Oskouei, E., Kouzegaran, S., Yazdani, M.R. and Rahmani., A. 2021. The Effect of Different Probability Levels in Estimating the Net Water Requirement of Rice in the Northern Provinces of Iran. Journal of Water and Soil, 35(5): 659-671. [in Persian]

Asadi, R. 2010. Determining the water consumption of rice line 7328 by lysimetry method and controlled plots and comparing it with experimental models. Final report of the project. Publications of Iran's Rice Research Institute-Amol. 14 p. [in Persian]

Beikzadeh, H., Alavi Siney, S.M., Baya, M. and Ezady, A.A. 2015. Estimation of Genetic Parameters of Effective Agronomical Traits on Yield in some of Iranian Rice Cultivar. Applied Field Crops Reaserch, 28(106): 73-78. [in Persian]

Bhatt, R. and Kukal, S.S. 2017. Soil evaporation studies using mini-lysimeters under differently established rice-wheat cropping sequence in Punjab, India. Journal of Applied and Natural Science, 9(1): 222-229.

Bouman, B.A.M. Peng, S. Castañeda A.R. and Visperas, R.M. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. Agricultural Water Management, 74(2): 87-105.

Ghamarnia, H., Barati, Z. and Jalili, Z. 2021. Estimation of rice water requirement and crop coefficients using lysimeter under non-flooding and semi-arid climate conditions of Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *15*(5): 1131-1140. [in Persian]

Gholami sefidkouhi, M.A., Bagheri Khalili, Z. and Ghalenovi, A. 2021. Investigation of Rice Actual Evapotranspiration and Crop Coefficients for Shiroudi and Hashemi Cultivars in Sari. Journal of Water Research in Agriculture, 34(4): 505-515. [in Persian]

Hamidizad, H., Sadeghi, M. and Habibi, F. 2021. Effects of irrigation interval and nitrogen fertilizer on quality characteristics related to viscosity in Gilaneh rice cultivar. Journal of Agroecology, 12(2): 281-298. [in Persian]

Herve, P. 1996. Guilan, a successful irrigation project in Iran. Irrigation and Drainage Systems, 10(2): 97-105.

Hossain, M.B., Yesmin, S., Maniruzzaman, M. and Biswas, J.C. 2017. Irrigation Scheduling of Rice (*Oryza sativa* L.) Using CROPWAT Model in the western region of Bangladesh. The Agriculturists, 15(1): 19-27.

Kumari, A., Upadhyaya, A., Jeet, P., Al-Ansari, N., Rajput, J., Sundaram, P.K., Saurabh, K., Prakash, V., Singh, A.K., Raman, R.K., Gaddikeri, V. and Kuriqi, A. 2022. Estimation of actual evapotranspiration and crop coefficient of transplanted puddled rice using a modified non-weighing paddy lysimeter. Agronomy, 12: 2850.

Liu, Y. and Luo, Y. 2010. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. Agriculture Water Management, **97**: 31-40.

López-López, R. Jiménez-Chong, J.A. Hernández-Aragón, L. and Inzunza Ibarra, M.A. 2018. Water productivity of rice genotypes with irrigation and drainage. Irrigation and Drainage, 67(4): 508-515.

Lopez-Urrea, R., Sanchez, J.M., de la Cruz, F., Gonzalez-Piqueras, J. and Chavez, J.L. 2020. Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements for sprinkler-irrigated canola. Agricultural Water Management, 239: 106260.

Mahdavi, F. 2004 .Study of physiological indicators and morphological growth in new and old varieties of rice. Master of Science (MSc) degree in Agronomy. university of Mazandaran. 131 p. [in Persian]

Maneepitak, S., Ullah, H., Paothong, K., Kachenchart, B., Datta, A. and Shrestha, R.P. 2019 Effect of water and rice straw management practices on yield and water productivity of irrigated lowland rice in the Central Plain of Thailand. Agricultural Water Management**,** 211: 89-97.

Modabberi, H., Mirlatifi, M. and Gholami, M.A. 2014. Determination of Evapotranspiration and Crop Coefficient of Two Rice Cultivars in Mordab Plain (Guilan Province). Water and Soil science (Journal of science and technology of agriculture and natural resources), 18(67): 95-106. [in Persian]

Mojarad, F., Ghamarnia, H. and Nasiri, S.H. 2007. Estimation of effective rainfall and irrigation Requirement for rice cultivation in the Mazandaran plan. Geographical Research Quarterly, 37(54): 59-76. [in Persian]

Panahi, M. 2000. Assessment of Computational methods of estimation of potential evapotranspiration. Seventh National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction. Kerman. [in Persian]

Pirmoradian, N., Fatemeh Zekri, F., Rezaei, M. and Abdollahi, V. 2013. Derivation of crop coefficients of three rice varieties based on ETo estimation method in Rasht region. Cereal Research, 3(2): 95-196. [in Persian]

Pouryazdankhah, H., Razavipour, T., Khaledian, M.R. and Rezaei, M. 2014. Determining crop coefficient of Binam and Khazar cultivars of rice by lysimeter and controlled basins in Rasht region. Journal of Agroecology, 6(2): 238-249. [in Persian]

Rezaei, M. and Asadi, R. 2013. The effect of using salt water in the conditions of drought stress on rice yield. Final report of the project. Publications of Iran's Rice Research Institute-Amol. 40 p. [in Persian]

Satter, T.L., Conocono, E.A., Egdane, J.A. and Kropff, M.J. 1995. Possibility of increasing yield otential of rice by reducing panicle height in the canopy.I. Effects of panicle on light intereception and canopy photosynthesis. Australian Journal of Plant physiology, 22: 441-451.

Simpson, H., Herczeg, A. and Meyer, W. 1992. Stable Isotope Ratios in Irrigation Water Can Estimate Rice Crop Evaporation. Geophysical Research Letters, 19: 377-380.

Srinivas, B. and Tiwari, K.N. 2018. Determination of crop water requirement and crop coefficient at different growth stages of green gram crop by using non-weighing lysimeter. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7(9): 2580-2589.

Usefian, M., Arabzade, B., Soodaee Mashaee, S. and Mohammadi Nesheli, Y. 2014. Evaluation of different levels of Irrigation on yield and qualitative properties of two rice varieties (Tarom and Shiroodi). Applied Field Crops Research, 27(104): 69-75. [in Persian]

Xinchun, C., Mengyang, W., Rui, S., La, Z., Dan, C., Guangcheng, S. and Shuhai, T. 2018. Water footprint assessment for crop production based on field measurements: a case study of irrigated paddy rice in East China. Science of the Total Environment, 610: 84-93.

Yan, H.F., Zhang, C., Oue, H., Peng, G.J. and Darko, R.O. 2017. Determination of crop and soil evaporation coefficients for estimating evapotranspiration in a paddy field. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 10(4): 130-139.

Yang, J. and Zhang, J. 2010. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. Journal of Experimental Botany, 61(12): 3177-3189.

Yousefi moghadam, S., Mousavi, F., Mostafazadehfard, B. Yazdani, M.R. and Hemat, A. 2008. Effect of different puddling levels on moisture variations and bulk density of three dominant soil Textures in paddy fields of Guilan province. Journal of Water and Soil (Agriculture Sciences and Technology), 22(2): 382-393. [in Persian]

Zabihpour Roushan, M., Bagheri, A., Asadi, R., Akbari Nodehi, D. and Shirdel Shahmiri, F. 2023. Growth, grain yield, and water productivity of different rice varieties in response to irrigation management techniques. Water Supply, 23(3): 1208-1219.

Zare Abyaneh, H., Noori, H., Liaghat, A., Noori, H. and Karimi, V. 2012. Comparaison of Penman-Monteith FAO Method and a class pan evaporation with lysimeter measurements in estimation of rice evapotranspiration in Amol region. Journal of Physical Geography Reaserch, 43(76): 71-83. [in Persian]

یادداشت‌ها

[1] *Anning*
[2] *Bouman*
[3] *Simpson*
[4] *FAO: Food and Agriculture Organization*
[5] *Yan*