Investigation of the Effect of Deficit Irrigation Methods on Water Productivity Indices and Some Agronomic Traits of Rice Plant, Binam Variety

Reza Firozpour [1], Ali Shahnazari [2*], Mostafa Yousefian [3] Ali Akbarzadeh [4]

1 M.Sc. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (Refirozpour@gmail.com)
2 Professor, Water Engineering Department, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari. Iran(aliponh@yahoo.com). (* Corresponding Author)
3 Deputy Expert of the National Rice Research Institute (mostafa_uosefian@yahoo.com)
4 Ph.D. student of Irrigation and Drainage Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (Alipirans23@Gmail.com)

10.22125/IWE.2023.173249

Received:
September 29, 2021
Accepted:
March 11, 2022
Available online:
June 25, 2023

Keywords:
Partial root zone drying, Physical water productivity, Root dry weight, Tape Irrigation, Tensiometer

Abstract

One of the most important goals of irrigation planning and management methods, considering the water crisis in recent years, is to increase water productivity for various plants, including rice. To investigate the effects of deficit irrigation methods on water productivity of rice (Binam Variety), an experiment was carried out with eight treatments and three replications in Babolsar city of Mazandaran province in 2020. The treatments were regulated deficit irrigation and partial root zone drying in soil drought stresses of 10, 30 and 60 kPa (RDI_{10}, RDI_{30}, RDI_{60}, PRD_{10}, PRD_{30} and PRD_{60}) and full irrigation with drip tape and flood irrigation systems (control). Soil water deficit was measured by a tensiometer. In this experiment, traits including yield, water consumption, and plant shoot dry weight, root weight density, root length, physical water productivity, net profit efficiency per unit volume of water, irrigation and rainfall water efficiency and evapotranspiration efficiency were investigated. According to the results, the highest and lowest physical water productivity was corresponded for PRD_{60} and flood irrigation treatments, respectively (1.39 and 0.59 kg / m^3). PRD treatments at similar stresses compared to RDI treatments had higher rough rice yield and higher physical and economic productivity despite of lower water consumption. PRD_{60} treatment increased the physical productivity of water by 135.6% and decreased the water consumption by 76.3%.

1. Introduction

Due to the increasing population and, consequently, increasing the need for food supply, management and planning for the optimal use of available water, especially in the agricultural sector, as a major consumer of water resources, seems necessary (Ilkaee et al., 2016). Improving water productivity is one of the important factors for the development of water resources and increasing the amount of agricultural production and, consequently, improving the level of human well-being (Baghitabar

* **Corresponding Author:** Ali Shahnazari
Address: Professor, Water Engineering Department, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
Email: aliponh@yahoo.com
Tel: 09113329455

Firuzjaii et al., 2018). Water shortage in the country and low irrigation efficiency have led us to use methods for irrigation of rice that have higher irrigation efficiency. (Sedaghat et al., 2013). Deficit irrigation is an optimal method for agricultural production in times of water shortage crisis. (Ilkaee et al., 2016). The importance of rice production as a strategic and vital product in the world and Iran and the high amount of irrigation water consumption of this plant has caused researchers and farmers around the world, including Iran, to use different irrigation management methods for optimal use of water resources and Improves water productivity. Therefore, the purpose of this study is to investigate the methods of regulated deficit irrigation and partial root zone drying to improve water productivity and some agronomic traits of rice plants under the influence of soil drought stress.

2. Materials and Methods

In order to investigate the effects of deficit irrigation methods on water productivity of rice plant (Binam Variety), an experiment was carried out in a field with dimensions of 11 × 17 m in Mazandaran province and Babolsar city in 2020 and in the form of randomized complete blocks with eight treatments and three replications. Treatments include regulated deficit irrigation and partial root zone drying at soil water deficit of 10, 30 and 60 kPa (RDI10, RDI30, RDI60, PRD10, PRD30 and PRD60) and full irrigation with drip tape and flood irrigation (control treatment). Tensiometer was used to measure drought stress and determine irrigation time. Planting intervals were 15*30 cm. In this study, shoot dry weight, root length and root weight density (RWD) at flowering stage (August 4), rough rice yield, water consumption, physical water productivity (crop per drop, CPD), Net profit efficiency per unit volume of water (net benefit per drop, NBPD), irrigation and rainfall water efficiency and evapotranspiration efficiency were measured and investigated after harvest.

3. Results

Flood irrigation (FI) treatment with a grain yield of 6442 kg/ha had the highest yield while it was placed in a different class from other treatments. The lowest yield was obtained for the RDI60 treatment with a value of 2998 kg/ha, and it was significantly different from other treatments, and compared to flood irrigation, there was a 53.46% decrease in yield in this treatment. Deficit irrigation had a significant effect on the amount of water consumed by rice plants. The flood irrigation treatment with 10886 cubic meters per hectare was the most consuming treatment, which is within the normal range of water consumption in the region and had a significant difference with other treatments. The lowest amount of water consumption was obtained for the PRD60 treatment (2556 cubic meters per hectare), which saved 76.33% of water consumption and was placed in the same class as the RDI60 treatment. The highest water productivity was related to the PRD60 treatment (1.39 kg/m3) and it was significantly different from other treatments. FID, RDI10, and PRD10 treatments were statistically placed in the same class. The lowest water productivity was observed for the FI treatment (0.59 kg/m3), which was in the same class as the FID treatment and caused a 57.5% decrease in productivity compared to the PRD60 treatment.

4. Discussion and Conclusion

According to the results, drought stress has caused a significant difference in these research parameters. RDI60 treatment had the lowest rough rice yield (2998 kg / ha) and was significantly different from other treatments and compared to flood irrigation, 53.46% reduction in paddy yield was observed in this treatment. The highest water saving was achieved in PRD60 treatment (2556 m3/ha) which resulted in 76.33% water saving. The highest and lowest water productivity based on yield were corresponded to PRD60 and FI treatments (1.39 and 0.59 kg / m3), respectively. According to the results, by applying deficit irrigation management, water productivity was increased.

5. Six important references

1) Ilkaee, M. N., P. Forozesh, D. Habibi, D. Taleghani and A. Rajabi. 2016. Response of different sugar beet genotypes to water deficit stress. Journal of Sugar Beet, 32(2): 135-146. (In Persian)

2) Baghitabar Firuzjaii, S., Abbasi, R., & Mousavi Toghani, S. Y. (2019). Comparison of irrigation regimes and seedling age effects on yield components of rice(Oryza sativa L. var. tarom hashemi). Journal Agricultural Science and Sustainable Production, 29(2), 67-78. (In Persian)

3) Sedaghat, N., H. Pirdashti, r. Asadi and s. y. Mousavi Taghani. 2014. Effect of Different Irrigation Methods on Rice Water Productivity. Journal of Water in Agriculture, 28(1): 1-9. (In Persian)

4) Sadranasab, Z., A. Shahnazari, M. Ziatabar Ahmadi and F. karandish. 2014. Investigating Maize Root Growth Pattern Under Partial Root Zone Dring (PRD) and Regulated Deficit Irrigation. Journal of Wate Research in Agriculture, 28(2): 409-418. (In Persian)

5) Thakur, A. K., K.G. Mandal, R. K. Mohanty and S. K. Ambast. 2018. Rice root growth, photosynthesis, yield and water productivity improvements through modifying cultivation practices and water management. Agricultural Water Management, 206: 67-77

6) Yousefian, M., A. Shahnazari, M. Ziatabar Ahmadi, M. Raeni Sirjaz and B. Arabzade. 2018. Effects of Regulated Deficit Irrigation and Partial Root Drying on Yield, Yield Components and Water Productivity of Rice in Furrow and Basin Methods, Journal of Wate Research in Agriculture, 32(3): 341-351. (In Persian)

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه و دو . تابستان ۱۴۰۲

بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری بر شاخص بهره‌وری آب و برخی صفات زراعی گیاه برنج (رقم بینام)

رضا فیروزپور بندپی[۱]، علی شاهنظری[۲*]، مصطفی یوسفیان[۳]، علی اکبرزاده[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۰/۰۷/۰۷
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۲/۲۰

مقاله پژوهشی

چکیده

از مهم‌ترین اهداف برنامه‌ریزی و روش‌های مدیریتی آبیاری، با توجه به بروز بحران آب در سال‌های گذشته، افزایش بهره‌وری آب برای گیاهان مختلف از جمله برنج می‌باشد. لذا برای بررسی اثرات روش‌های کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب برای برنج (رقم بینام)، آزمایشی در هشت تیمار و سه تکرار در شهرستان بابلسر استان مازندران در سال زراعی ۱۳۹۹ انجام گرفت. تیمارهای این آزمایش را کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری بخشی ریشه در تنش‌های خشکی خاک ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوپاسکال (RDI_{10}، RDI_{30}، RDI_{60}، PRD_{10}، PRD_{30} و PRD_{60}) و آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و آبیاری غرقابی (شاهد) تشکیل می‌دهند. سیستم آبیاری تیمارها غیر از تیمار غرقابی، نوار تیپ بوده است. ابزار تعیین تنش خشکی خاک، تانسیومتر بود. در این آزمایش، صفات مختلفی از جمله میزان عملکرد شلتوک، آب مصرفی، وزن خشک اندام هوایی گیاه، تراکم وزن خشک ریشه، طول ریشه، بهره‌وری فیزیکی آب، بهره‌وری سود خالص به ازای واحد حجم آب، بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی و بهره‌وری تبخیر- تعرق بررسی شدند. بر اساس نتایج، بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب، بترتیب برای تیمارهای PRD_{60} و آبیاری غرقابی (۱/۳۹ و ۰/۵۹ کیلوگرم بر مترمکعب آب) بود. بیشترین و کمترین بهره‌وری سود خالص به ازای واحد حجم آب، بترتیب برای تیمارهای PRD_{60} و RDI_{60} (۷۱۲۶۷ و ۳۹۵۷۶ ریال بر مترمکعب آب) بدست آمد. تیمارهای PRD در تنش‌های مشابه در مقایسه با تیمارهای RDI علی‌رغم مصرف آب کمتر، عملکرد شلتوک بیشتر و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی بیشتری داشتند. تیمار PRD_{60}، موجب افزایش ۱۳۵/۶ درصدی در بهره‌وری فیزیکی آب و کاهش ۷۶/۳ درصدی در مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری نوار تیپ، بهره‌وری فیزیکی آب، تانسیومتر، کم‌آبیاری ناقص ریشه، وزن خشک ریشه

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران Email: Refirozpour@gmail.com
[۲] استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران (نویسنده مسئول) :Email aliponh@yahoo.com
[۳] کارشناس، معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور، آمل، ایران Email: mostafa_uosefian@yahoo.com
[۴] دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران :Email Alipirans23@Gmail.com

مقدمه

کمبود منابع آبی، یکی از عوامل محدودکننده جهت تولید محصولات زراعی در جهان و ایران می‌باشد. کشور ایران، در اقلیم خشک و نیمه‌خشک کره زمین جای گرفته است. مقدار تبخیر در کشور، در مقایسه با میانگین بارندگی، زیاد می‌باشد. بطوری که ۷۱ درصد از ۴۱۳ میلیارد مترمکعب آبی که از بارندگی حاصل می‌شود، تبخیر شده و در مصارف کشاورزی نقشی ندارد. بر اساس گزارشات منتشر شده، برای تولید محصولات کشاورزی و مصارف بهداشتی و صنعتی، مقدار ۱۳۲ میلیارد متر مکعب آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی قابل استحصال می‌باشد (ایلکایی و همکاران، ۱۳۹۵). لذا با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و به‌تبع، افزایش نیاز به تأمین مواد غذایی، مدیریت و برنامه‌ریزی جهت استفاده بهینه از آب در دسترس، بخصوص در بخش کشاورزی، به‌عنوان عمده مصرف‌کننده منابع آبی، ضروری به نظر می‌رسد (ایلکایی و همکاران، ۱۳۹۵). بحران کمبود آب، طی سال‌های گذشته به یک معضل جدی تبدیل شده که کشت و تولید محصول برنج را با چالش مواجه ساخته است. لذا تنها راهکار عبور از این بحران، افزایش میزان بهره‌وری و استفاده درست و بهینه از منابع آب شیرین می‌باشد. ارتقاء بهره‌وری آب، از عوامل مهم برای توسعه منابع آبی و افزایش مقدار تولید محصولات کشاورزی و در پی آن، بهبود سطح رفاه انسان‌ها به شمار می‌آید (باغی‌تبار فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹۸).

برنج یکی از قدیمی‌ترین محصول زراعی در جهان به شمار می‌آید و سهم بسزایی در تغذیه انسان‌ها در دنیا و ایران دارد. تقریباً ۹۳ درصد آب شیرین ایران، برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود که نیمی از آن، برای کشت گیاه برنج مورد استفاده قرار می‌گیرد (صداقت و همکاران، ۱۳۹۳). کمبود آب در سطح کشور و بازده آبیاری پایین، موجب شده که از روش‌هایی برای آبیاری برنج استفاده کنیم که بازده آبیاری بالاتری داشته باشد (صداقت و همکاران، ۱۳۹۳). روش‌های مرسوم کشت برنج که یک ماده غذایی اصلی برای میلیاردها نفر است، به مقداری زیادی آب نیاز دارد. در حال حاضر، سیستم رایج برای آبیاری گیاه برنج در جهان، نگه‌داشتن ارتفاع معینی از آب بر روی سطح خاک در طول دوره‌های رشد گیاه و سپس تخلیه آب تنها یک تا دو هفته قبل از برداشت محصول می‌باشد. اجرای این سیستم کشت، در سال‌های آینده در بسیاری از مناطق جهان که با مشکل بحران آب مواجه هستند، به دلیل تلفات زیاد این روش از طریق تبخیر، رواناب و نفوذ عمقی امکان‌پذیر نخواهد بود (Amod K. Thakur et al., 2018).

در ایران، روش کشت رایج در اراضی شالیزاری کشور، کشت نشایی می‌باشد. در این روش پس از عملیات نشاءکاری، آبیاری غرقابی برای گیاه برنج انجام می‌شود که موجب هدررفت درصد قابل توجهی از آب آبیاری و کاهش بهره‌وری آب می‌شود. طبق نتایج تحقیقات، آبیاری غرقابی، روشی برای کنترل آفت، کاهش رشد علف‌های هرز و جلوگیری از وارد آمدن تنش خشکی خاک به گیاه می‌باشد ولی به‌عنوان یک روش الزامی برای رشد گیاه برنج محسوب نمی‌شود (عرب‌زاده و توکلی، ۱۳۸۴). برنج در مقایسه با سایر گیاهان زراعی، بیش‌ترین سطح زیرکشت را دارد و در عین حال، نسبت به بقیه گیاهان، بازده آبیاری پایینی دارد. به‌گونه‌ای که تولید یک کیلوگرم برنج در روش مرسوم آبیاری (غرقابی)، ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ لیتر آب مصرف می‌کند که تقریباً سه برابر بیشتر از آب مصرفی گندم می‌باشد (صداقت و همکاران، ۱۳۹۳). از طرفی، گیاه برنج، برای رشد و نمو در طی دوره رشد، به ۷۵۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر آب و به‌طور میانگین ۱۲۰۰ میلی‌متر آب آبیاری نیاز دارد. با بکارگیری روش‌های مختلف مدیریت آبیاری، می‌توان این میزان را به ۷۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر کاهش داد (باغی‌تبار فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹۸).

روش کم‌آبیاری، یک شیوه بهینه جهت تولید گیاهان کشاورزی در شرایط بحران کمبود منابع آب، محسوب می‌گردد. اعمال کم‌آبیاری موجب تغییر در میزان عملکرد محصول نهایی می‌گردد. میزان کاهش محصول، بسته به این دارد که گیاه در کدام دوره رشد تحت کم‌آبیاری قرار می‌گیرد. کم‌آبیاری، جدا از بحث صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری، دارای مزایایی مانند کاهش آفات و بیماری‌های گیاه و بهبود تهویه خاک می‌باشد (ایلکایی و همکاران، ۱۳۹۵). هدف اصلی از اعمال مدیریت کم‌آبیاری، افزایش راندمان و

کارآیی مصرف آب آبیاری می‌باشد. این امر از طریق کاهش حجم آب آبیاری یا حذف آبیاری‌های دارای بازده پایین و یا آبیاری‌هایی که در افزایش سود خالص تأثیری ندارد، اجرایی خواهد شد. در صورتی که با کمبود منابع آبی مواجه باشیم و یا هزینه‌های مربوط به تامین آب زیاد باشد، از دیدگاه اقتصادی، دستیابی به حداکثر تولید محصول، لزوماً به معنای رسیدن به حداکثر سود خالص نمی‌باشد (عرب‌زاده و توکلی، ۱۳۸۵). با تغییر شیوه آبیاری، از غرقاب دائمی به آبیاری غیرغرقاب، میزان بهره‌وری آب افزایش می‌یابد. چون کاهش عملکرد محصول با کاهش آب آبیاری همراه می‌باشد ولی با هر واحد کاهش در مقدار آب آبیاری، عملکرد محصول تقریباً ۰/۳ واحد کاسته می‌شود. پارامتر بهره‌وری آب برای محصولات زراعی، مقدار تولید دانه در ازای مصرف هر واحد آب آبیاری می‌باشد (میرابوالقاسمی و همکاران، ۱۳۹۶). در تحقیقی که توسط Zwart & Bastiaanssen., (2004) انجام شد، میانگین بهره‌وری آب برای گیاه برنج، بر اساس مقدار تبخیر- تعرق، ۱/۰۹ کیلوگرم دانه بر مترمکعب تبخیر- تعرق است که دامنه تغییرات آن برای برنج، ۱/۶- ۰/۶ کیلوگرم دانه بر مترمکعب تبخیر- تعرق می‌باشد. همچنین دلایل این تغییرات را اقلیم و نحوه مدیریت کود و آبیاری بیان کردند. طبق پژوهشی که برای بررسی مدیریت‌های مختلف آبیاری برای برنج (رقم هاشمی) در استان گیلان انجام شد، بهره‌وری آب ۰/۹۲-۰/۲۹ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب گزارش شده است (امیری و همکاران، ۱۳۹۰).

بر اساس تحقیقی که در اروگوئه انجام شده، برای آبیاری برنج به روش سنتی به طور متوسط ده هزار مترمکعب در هکتار (هفت تا پانزده هزار مترمکعب بر هکتار) آب استفاده می‌شود. میزان کل آب ورودی با احتساب آب باران و آب آبیاری، به‌طور متوسط برابر با ۱۶۷۰۰متر مکعب در هکتار (۱۲۶۰۰ تا ۲۱۴۰۰ مترمکعب بر هکتار) می‌باشد. در این تحقیق، با اعمال روش کم‌آبیاری تناوب رطوبت و خشکی (AWD[1]) روی گیاه برنج به این نتیجه رسیدند که می‌توان میزان مصرف آب را در دوران غیر بحرانی برنج کاهش داد، بدون اینکه به طور معنی‌داری عملکرد برنج کاهش یابد و یا تأثیر منفی بر کیفیت دانه‌های برنج داشته باشد. همچنین موجب صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در آب آبیاری (حدود ۲۵۰۰ مترمکعب بر هکتار) و افزایش ۲۳ درصدی میزان بهره‌وری آب از ۱/۰۹ به ۱/۳۴ کیلوگرم در هر مترمکعب آب شود. با این صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب در اروگوئه، می‌توان ۳۲۰۰۰ هکتار اراضی زیر کشت برنج را گسترش داد (Carracelas et al., 2019).

پژوهشی در سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵، بر روی روش‌های کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI[2]) و کم‌آبیاری بخشی ریشه (PRD[3]) و در سه سطح کم‌آبی ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوپاسکال برای گیاه برنج (طارم هاشمی) در موسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران توسط یوسفیان و همکاران (۱۳۹۷) انجام گرفت. طبق نتایج، اعمال روش کم‌آبیاری بخشی ریشه باعث کاهش معنی‌دار در مصرف آب آبیاری و افزایش بهره‌وری آب شد و تیمار PRD_{10} باعث ۳۲ درصد کاهش در مصرف آب آبیاری شد. بیش‌ترین بهره‌وری آب (CPD[4]) برای تیمار PRD_{30} بدست آمد که برای دو سال بترتیب ۰/۷۵۴ و ۰/۷۸۴ کیلوگرم شلتوک بر مترمکعب آب بوده است که در هر دو سال از لحاظ آماری در کلاسی متفاوت نسبت به سایر تیمارها قرار گرفتند. کمترین میزان بهره‌وری آب، مربوط به تیمار RDI_{60} (۰/۵۶۹ و ۰/۵۷۹ کیلوگرم شلتوک بر مترمکعب آب) بود و تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت.

با توجه به پژوهشی که صداقت و همکاران (۱۳۹۳) برای بررسی تأثیر چهار سطح آبیاری شامل کشت نیمه خشک (SDC[5])، تناوب رطوبت و خشکی (AWD)، ترکیب آب کم عمق با تناوب رطوبت و خشکی (SWD[6]) و آبیاری غرقابی (TI) روی دو رقم برنج طارم محلی و فجر در سال زراعی ۱۳۹۰ و در مزرعه تحقیقاتی معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور (آمل) انجام شد. تیمار کشت نیمه خشک (SDC)، کمترین میزان مصرف آب آبیاری (۴۰۴۲/۵

[1] Alternate Wet and Drying
[2] Regulated Deficit Irrigation
[3] Partial Root zone Drying
[4] Crop Per Drop
[5] Semi-Dry Cultivation
[6] combining Shallow water depth with Wetting and Drying

مترمکعب بر هکتار) را به خود اختصاص داد و موجب ۵۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب شد. بیشترین بهره‌وری آب آبیاری (WP_i) (۱/۶۸کیلوگرم بر هکتار) و بیشترین بهروری آب + بارش (WP_{i+w}) (۱/۳۸کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به این تیمار بود و کارآیی بهتری نسبت به سایر تیمارها داشت.

بر اساس مطالعات محققان، کم‌آبیاری بخشی ریشه، باعث افزایش جرم خشک ریشه گیاه می‌گردد (صدرانسب و همکاران، ۱۳۹۳). میزان آب آبیاری، جزو عوامل موثر بر سیستم رشد و توزیع ریشه گیاه می‌باشد. زمانی که رطوبت خاک در حد مطلوب باشد، ریشه رشد گسترده‌ای می‌یابد تا زمینه را برای جذب آب و مواد غذایی مورد نیاز از خاک فراهم آورد. در شرایط کمبود آب، ایجاد شرایط مناسب برای رشد ریشه دچار مشکل خواهد شد (صدرانسب و همکاران، ۱۳۹۳).

Zhang et al., (2021) در تحقیقات خود گزارش کردند که بکارگیری روش کم‌آبیاری بخشی ریشه (PRD) روی گیاه یونجه، باعث افزایش زیست توده ریشه، به‌دلیل افزایش در تعداد ریشه‌های جانبی و تراکم ریشه می‌گردد.

اهمیت و ضرورت تولید برنج به‌عنوان یک محصول استراتژیک و حیاتی در جهان و ایران از یک سو و میزان زیاد مصرف آب آبیاری این گیاه، در شرایط خشکسالی کنونی از سوی دیگر، محققان و کشاورزان در سطح جهان و از جمله کشور ایران را مجاب به بکارگیری روش‌های مختلف مدیریت آبیاری، به‌منظور صرفه‌جویی و مصرف بهینه از منابع آب و ارتقاء بهره‌وری آب می‌کند. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی روش‌های کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری بخشی ریشه بر بهبود بهره‌وری آب و برخی از صفات زراعی گیاه برنج تحت تأثیر تنش خشکی خاک می‌باشد.

مواد و روش

به منظور بررسی اثرات روش‌های کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب گیاه برنج (رقم بینام)، آزمایشی در مزرعه با ابعاد ۱۴×۳۰ متر، در استان مازندران و شهرستان بابلسر، با مشخصات طول جغرافیایی ۵۲/۴۰ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶/۳۹ درجه شمالی و ارتفاع ۲۰- متر از سطح دریا و در سال زراعی ۱۳۹۹ انجام گرفت. این آزمایش، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در هشت تیمار و سه تکرار می‌باشد که تیمارها عبارتند از:

RDI_{10}: آبیاری تمام نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۱۰ کیلوپاسکال (اشباع دائم خاک در ناحیه ریشه)

RDI_{30}: آبیاری تمام نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۳۰ کیلوپاسکال (ظرفیت زراعی)

RDI_{60}: آبیاری تمام نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۶۰ کیلوپاسکال (تنش خشکی شدید خاک)

PRD_{10} : آبیاری یک درمیان نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۱۰ کیلوپاسکال (اشباع دائم خاک در ناحیه ریشه)

PRD_{30}: آبیاری یک درمیان نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۳۰ کیلوپاسکال (ظرفیت زراعی)

PRD_{60}: آبیاری یک درمیان نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۶۰ کیلوپاسکال (تنش خشکی شدید خاک)

FID[1]: آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی برنج با سیستم آبیاری نوار تیپ به عنوان تیمار شاهد میزان آبیاری

FI[2]: آبیاری غرقابی برنج به‌عنوان تیمار شاهد آبیاری که روش مرسوم منطقه برای کشت برنج است و به‌صورت پادل درآمده است.

آبیاری این مزرعه تحقیقاتی، با استفاده از سیستم آبیاری نوار تیپ انجام گرفت و از آب چاهی با اسیدیته (PH) ۷/۲۸ و شوری ۱/۹۸ دسی‌زیمنس بر متر تغذیه شد. جهت کنترل حجم آب آبیاری، از کنتور حجمی با سایز یک اینچ استفاده گردید. در جدول ۱، آمار هواشناسی مربوط به محل مزرعه آمده است. دور آبیاری، به‌وسیله تانسیومترهای نصب شده در عمق ۲۰ سانتی‌متری زمین، تعیین شد. هنگامی که عدد تانسیومترها به ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوپاسکال (با توجه به میزان تنش تیمار مورد نظر) می‌رسیدند، آبیاری برای تیمارهای مختلف انجام می‌گرفت. برای تعیین حجم آب

[1] Full Irrigation Drip

[2] Flood irrigation

آبیاری برای تیمارهای مختلف در هر دور آبیاری، رطوبت حجمی خاک در تنش‌های مختلف، پس از نمونه‌برداری از خاک مزرعه و خشک کردن توسط آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و مدت ۴۸ ساعت و سپس توزین با ترازو دیجیتالی بدست آمد. در تنش‌های صفر، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوپاسکال، رطوبت حجمی بترتیب برابر ۴۹، ۴۱/۵، ۳۹/۰۳ و ۲۵/۱۷ درصد بود.

جدول(۱): داده هواشناسی سال ۱۳۹۹ محل انجام پژوهش (اداره کل هواشناسی استان مازندران)

	متوسط دما(درجه سانتی‌گراد)	بارندگی (میلی‌متر)	متوسط رطوبت نسبی(درصد)	تبخیر(میلی‌متر)
اردیبهشت	۱۹/۱	۱۲/۶	۷۶	۱۰۱/۲
خرداد	۲۵	۱/۱	۷۱	۱۶۱/۸
تیر	۲۷/۲	۲۷/۱	۷۲	۱۶۶/۳
مرداد	۲۷/۳	۵۲/۵	۷۴	۱۴۱

عملیات آبیاری تیمارها زمانی به اتمام می‌رسید که خاک در حالت اشباع قرار گرفته و تنش به صفر کیلوپاسکال برسد. بنابراین میزان حجم آبی که می‌بایست به تیمارها داده شود، با استفاده از معادله (۱) بدست آمد. در این معادله زیر،MAD[1]، ضریب تخلیه مجاز رطوبتی خاک که برای برنج برابر ۰/۲ و D، عمق توسعه ریشه گیاه برنج که ۰/۵ متر و θ درصد رطوبت حجمی خاک می‌باشد(FAO- 56).

$$\text{ارتفاع آب آبیاری} = (\text{MAD})(D_{rz})\left(\theta_{\text{تنش صفر}} - \theta_{\text{تنش‌های مختلف}}/100\right) \quad \text{معادله(۱)}$$

جهت انجام عملیات زراعی، ابتدا همزمان با تسطیح و شخم زمین اصلی با استفاده از کولتیواتور (فروردین ماه ۱۳۹۹)، کرتی به ابعاد ۶×۳ متر، برای رشد و نگهداری گیاهچه‌های برنج مهیا گردید. با توجه به نتایجی که از آزمایش خاک در آزمایشگاه معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران حاصل شد، خاک مزرعه برای کشت برنج مناسب بوده است (جدول۲).

پس از اقدامات اولیه برای آماده‌سازی زمین و مهیا کردن شرایط کاشت گیاه و قطعه‌بندی زمین اصلی به ابعاد ۳×۴ متر برای تیمارهای مختلف انجام شد. سیستم آبیاری نوار تیپ به گونه‌ای اجرا شد که نوار تیپ‌ها با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از لوله اصلی منشعب شده و در وسط ردیف‌های برنج قرار گرفتند. برای اجرای روش آبیاری بخشی ریشه، در ابتدای همه‌ی نوار تیپ‌ها، شیر نصب شد. گیاهچه‌های برنج با گذشت سی روز، چهار برگی شدند که با رسیدن به این مرحله، عملیات نشاءکاری در اول خرداد با فواصل کاشت ۳۰×۱۵ سانتی‌متر با دست و به‌صورت تک بوته در زمین اصلی صورت گرفت.

بر اساس توصیه کارشناسان و بررسی آزمایش خاک مزرعه، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم که نیمی از آن همزمان با آماده‌سازی زمین بصورت پایه (بیست و پنجم فروردین) و نیمی در زمان ظهور سنبله جوان (بیست و چهارم تیر) به زمین داده شد. کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار که ۸۰ کیلوگرم آن، بصورت پایه و قبل از عملیات بذرپاشی (بیست و پنجم فروردین) و ۶۰ کیلو گرم در اواسط دوره پنجه‌زنی برنج (دوازدهم خرداد) و در نهایت، ۶۰ کیلوگرم هنگام ظهور سنبله‌های جوان (بیست و چهارم تیر) در مزرعه پخش شد. کود سولفات روی (گرانوله ۳۴ درصد) به میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار، قبل از انجام بذرپاشی (بیست و پنجم فروردین) به خاک مزرعه اضافه شد.

در برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری، در دوره‌هایی از رشد گیاه برنج که به تنش خشکی خاک، حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهد، بایستی آبیاری به‌صورت کامل انجام شود. بنابراین، برای ۲۵ روز ابتدایی دوره رشد گیاه که مربوط به استقرار کامل گیاه بوده (اول تا بیست و پنجم خرداد) همه تیمارها روزانه با حجم ۷۰ مترمکعب در هکتار آبیاری شدند. لذا تنش‌های مختلف کم‌آبیاری پس از گذشت ۲۵ روز پس

[1] Managemaent Allowed Depletion

از کاشت گیاه، اعمال شد. همچنین، در دوره گلدهی برنج (۵۵ تا ۶۵ روز بعد نشاء) همه تیمارها به غیر از تیمارها با تنش ۶۰ کیلوپاسکال، همه روزه به مقدار ۷۰ مترمکعب در هکتار آبیاری شدند. مدیریت تیمار FID، به این صورت بود که در دوران ابتدایی و تا قبل از استقرار کامل گیاه، برای همه روز آبیاری انجام شد. کما این‌که در روزهای گرم که دما بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود، برای شادابی و استقرار بهتر گیاه، دو نوبت آبیاری در طول یک شبانه‌روز انجام گرفت و حجم آب آبیاری برای این تیمار در هر نوبت، ۷۰ مترمکعب در هکتار بود. جهت مدیریت کم‌آبیاری برای تیمارها با تنش‌های ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوپاسکال به این شکل انجام شد که با توجه به قرائت تانسیومتر، تیمارها با تنش ۱۰ کیلوپاسکال، آبیاری همه روزه با حجم آب آبیاری ۷۷ مترمکعب در هکتار برای هر تیمار در هر نوبت آبیاری انجام شد. تیمارها با تنش ۳۰ کیلوپاسکال، تقریباً هر ۳ روز و هر نوبت، ۱۰۲ مترمکعب در هکتار آبیاری صورت گرفت. در تیمارها با تنش ۶۰ کیلوپاسکال، در مرحله گلدهی گیاه، سه آبیاری با فواصل ۳ روز و حجم آب ۷۰ مترمکعب در هکتار در هر آبیاری انجام گرفت. برای اعمال کم‌آبیاری در تیمارهای تنش ۶۰ کیلوپاسکال، دور آبیاری تقریباً ۱۰ روز بود که از دلایل زیاد بودن دور آبیاری، طبق آزمایش خاک، به بافت سنگین خاک مزرعه و مقاومت در برابر از دست دادن آب، می‌باشد. لذا برای این تیمار در دوران کم‌آبیاری، سه نوبت آبیاری با حجم آب ۲۴۰ مترمکعب در هکتار در هر نوبت صورت گرفت.

جدول(۲): آزمایش خاک مزرعه محل پژوهش

بافت خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم برکیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم برکیلوگرم)	نیتروژن کل (درصد)	آهک معادل (T.N.V.) (درصد)	ماده آلی (درصد)	کربن آلی (OC) (درصد)	PH	EC (ds/m)
Clay	۱۷	۲۸	۵۵	۳۵۱	۴۲/۷	۰/۳	۱۳/۵	۵/۱۹	۳/۰۱	۷/۴۸	۱/۶۶

در این پژوهش، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه و تراکم وزن خشک ریشه (RWD[1]) در مرحله گلدهی (چهارم مرداد)، میزان عملکرد شلتوک، آب مصرفی، بهره‌وری فیزیکی آب (CPD)، بهره‌وری سود خالص به ازای واحد حجم آب (NBPD[2])، بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی، بهره‌وری تبخیر- تعرق، پس از برداشت محصول اندازه‌گیری و محاسبه شدند.

برای تعیین وزن خشک اندام هوایی، گیاه را از سطح زمین برش داده و به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون گذاشته و سپس با استفاده از ترازو دیجیتال توزین شد. طول ریشه، با نمونه‌برداری از ریشه و شستشو با آب جهت جداسازی ذرات خاک و با استفاده از متر، بدست آمد. جهت محاسبه پارامتر تراکم وزن خشک ریشه، در ابتدا توسط آگر (oger) مخصوص به ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و عمق ۴۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری ریشه صورت گرفت و با آب شسته شد تا خاک از ریشه جدا گردد. سپس ۴۸ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون قرار گرفت. در آخر، با تقسیم جرم خشک ریشه گیاه به حجم خاک نمونه‌برداری شده، این پارامتر محاسبه گردید.

میزان عملکرد شلتوک در رطوبت استاندارد ۱۴ درصد، توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای بدست آوردن شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD)، از معادله (۲) استفاده شد:

$$CPD\left(^{kg}/_{m^3}\right) = \frac{Y\left(^{kg}/_{ha}\right)}{WU\left(^{m^3}/_{ha}\right)} \qquad \text{معادله(۲)}$$

در این معادله، Y عملکرد شلتوک بر اساس کیلوگرم در هکتار و WU حجم آب مصرفی بر حسب مترمکعب در هکتار می‌باشد. جهت محاسبه شاخص بهره‌وری سود خالص

[1] Root Weight Density

[2] Net Benefit Per Drop

به ازای واحد حجم آب (NBPD)، از معادله (۳) بهره گرفته شد:

$$\mathrm{NBPD}\left(\text{ریال}/m^3\right)=\frac{\mathrm{NB}\left(\text{ریال}\right)}{\mathrm{WU}(m^3)} \qquad \text{معادله (۳)}$$

که NB، مقدار سود خالص بر حسب ریال و WU حجم آب مصرفی برنج بر حسب مترمکعب در هکتار است. هزینه‌های این پژوهش در جدول۳ آمده است.

پارامتر بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی، از معادله (۴) بدست آمد:

$$\mathrm{WP_{I+P}}(kg/m^3)=\frac{\mathrm{Y}(\mathrm{kg}/\mathrm{ha})}{\mathrm{I}+\mathrm{p}(\mathrm{m}^3/\mathrm{ha})} \qquad \text{معادله (۴)}$$

و در این معادله Y عملکرد شلتوک بر حسب کیلوگرم در هکتار، I و P بترتیب میزان حجم آب آبیاری و حجم بارندگی در طول دوره رشد گیاه بر حسب مترمکعب در هکتار می‌باشد. برای تعیین میزان بهره‌وری تبخیر- تعرق، معادله (۵) بکار گرفته شد:

$$\mathrm{WP_{ET}}(kg/m^3)=\frac{\mathrm{Y}(\mathrm{kg}/\mathrm{ha})}{\mathrm{ET}(\mathrm{m}^3/\mathrm{ha})} \qquad \text{معادله (۵)}$$

در معادله فوق، Yعملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار) و ET میزان تبخیر- تعرق در طول دوره رشد گیاه (اول خرداد تا بیست و ششم مرداد) می‌باشد. برای محاسبه این پارامتر در این بازه زمانی، بر اساس داده‌های هواشناسی، مجموع تبخیر- تعرق گیاه مرجع برابر ۴۵۳۱ مترمکعب بر هکتار بوده است و در ضریب گیاهی برنج (رقم بینام) که برابر ۱/۰۹ (پوریزدان‌خواه و همکاران، ۱۳۹۳) می‌باشد، ضرب شده و تبخیر- تعرق برنج بدست آمد. بررسی آماری داده‌های مربوط به آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها، از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده گردید.

جدول(۳): هزینه‌های اجرای طرح در اراضی شالیزاری

کارگر تیمارهای خشکه‌کاری (ریال در هکتار)	کارگر تیمار آبیاری غرقابی (ریال در هکتار)	تجهیزات و نصب سیستم آبیاری نوار تیپ برای تیمارهای خشکه‌کاری (ریال در هکتار)	سیستم آبیاری برای تیمار غرقابی (پمپ) (ریال در هکتار)	کود و سم (ریال در هکتار)	هر مترمکعب آب کشاورزی (ریال) (شرکت آب منطقه‌ای)	هرکیلو وات ساعت (ریال) (اداره برق)	قیمت هر کیلوگرم شلتوک فروخته شده (ریال)
۵۰/۰۰۰/۰۰۰	۲۴/۰۰۰/۰۰۰	۱۷۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۸/۰۰۰/۰۰۰	۲۵/۰۰۰/۰۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۱۲۰/۰۰۰

نتایج و بحث

نتایجی که از تجزیه واریانس (جدول۴) و مقایسه میانگین داده‌ها (جدول۵) بدست آمد، اثرات دو روش کم‌آبیاری بر شاخص‌های بهره‌وری آب و برخی صفات زراعی گیاه برنج را نمایان می‌کند. همچنین نشان دهنده ایجاد تفاوت معنی‌دار در این پارامترها تحت تأثیر اعمال تنش خشکی می‌باشد.

جدول(۴): تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب گیاه برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		عملکرد (kg/ha)	آب مصرفی (m^3/ha)	وزن خشک اندام هوایی (gr)	تراکم وزن خشک ریشه (gr/cm^3)	طول ریشه (kg/m^3)	CPD (kg/m^3)	NBPD (ریال/m^3)	WP_{I+P} (kg/m^3)	WP_{ET} (kg/m^3)
بلوک	۲	۲۹۰۳۹/۳	۹۷۰۰۱/۶	۳/۴۶	۲۴×۱۰^{-۱۲}	۰/۳۴	۰/۰۰۴	۴۵۳۲۱۳۲۸/۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
تیمار	۷	۳۷۰۰۱۲۷/۸**	۲۵۵۰۴۰۷۰**	۷۴۸/۳۵**	۱۲×۱۰^{-۷}**	۵۹/۵**	۰/۳۸**	۲۱۶۸۸۲۷۱۳۵**	۰/۱۸**	۰/۱۵**
خطا	۱۴	۵۲۴۷۱/۵	۱۴۲۲۳۸/۰۰۵	۶/۸۸	۷۱×۱۰^{-۱۱}	۲/۵۵	۰/۰۰۸	۲۶۳۷۲۷۱۶۳/۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
C.V%	---	۵/۱۳	۶/۵۳	۵/۸۸	۳/۲۳	۶/۸۸	۸/۲۵	۰/۰۸۱	۷/۷۸	۴/۹۵

*، ** و ns بترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌دار بودن

جدول(۵): مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب گیاه برنج

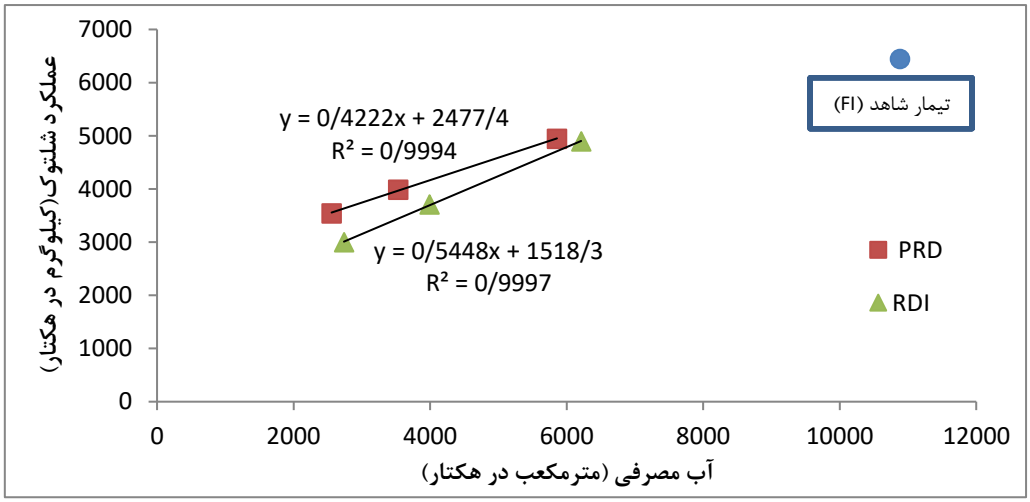
تیمار	عملکرد شلتوک (kg/ha)	آب مصرفی (m^3/ha)	وزن خشک اندام هوایی (gr)	تراکم وزن خشک ریشه (gr/cm^3)	طول ریشه (cm)	CPD (kg/m^3)	NBPD (ریال/m^3)	WP_{I+P} (kg/m^3)	WP_{ET} (kg/m^3)
FI	۶۴۴۲^{a}	۱۰۸۸۶^{a}	۷۰/۵۲^{a}	۰/۰۰۲۱۴^{a}	۳۰/۶^{a}	۰/۵۹^{e}	۶۲۷۸۵^{b}	۰/۵۶۲^{f}	۱/۳۰۴^{a}
FID	۵۱۸۳^{b}	۷۱۲۲^{b}	۵۷/۸۵^{b}	۰/۰۰۱۳۴^{b}	۲۶/۸۸^{b}	۰/۷۳^{de}	۵۰۲۴۳^{cd}	۰/۶۷۲^{ef}	۱/۰۴۹^{b}
RDI_{10}	۴۸۹۶^{b}	۶۲۱۲^{c}	۴۷/۶۲^{cd}	۰/۰۰۰۷۳۸^{c}	۲۳/۸۵^{cd}	۰/۷۹^{d}	۵۳۰۱۷^{cd}	۰/۷۱۸^{de}	۰/۹۹۱^{b}
PRD_{10}	۴۹۴۵^{b}	۵۸۵۷^{c}	۴۹/۴۷^{c}	۰/۰۰۰۷۸۳^{c}	۲۶/۲۴^{bc}	۰/۸۵^{cd}	۵۷۳۰۶^{bc}	۰/۷۶۶^{de}	۱/۰۰۱^{b}
RDI_{30}	۳۷۱۲^{cd}	۳۹۹۲^{d}	۳۶/۷۴^{e}	۰/۰۰۰۴۲۷^{e}	۲۰/۰۸^{ef}	۰/۹۳^{c}	۴۷۷۵۲^{d}	۰/۸۰۹^{cd}	۰/۷۵۲^{cd}
PRD_{30}	۳۹۸۸^{c}	۳۵۳۱^{d}	۴۳/۹۵^{d}	۰/۰۰۰۵۳۸^{d}	۲۱/۱۷^{de}	۱/۱۳^{b}	۶۳۹۳۰^{ab}	۰/۹۶۳^{b}	۰/۸۰۷^{c}
RDI_{60}	۲۹۹۸^{e}	۲۷۳۸^{e}	۲۰/۳۶^{g}	۰/۰۰۰۲۷۲^{g}	۱۷/۳۳^{f}	۱/۱۰^{b}	۳۹۵۷۶^{e}	۰/۸۹۹^{bc}	۰/۶۰۷^{e}
PRD_{60}	۳۵۴۳^{d}	۲۵۵۷^{e}	۲۹/۹^{f}	۰/۰۰۰۳۵۵^{f}	۱۹/۶۵^{ef}	۱/۳۹^{a}	۷۱۲۶۷^{a}	۱/۱۱۹^{a}	۰/۷۱۷^{d}

اعدادی که در هر ستون دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

عملکرد شلتوک: با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها (جدول۵)، تیمار آبیاری غرقابی (FI) با عملکرد شلتوک ۶۴۴۲ کیلوگرم در هکتار، بیشترین میزان این پارامتر را در حالی به خود اختصاص داد که در کلاسی متفاوت با سایر تیمارها قرار گرفت. کمترین میزان عملکرد شلتوک، برای تیمار RDI_{60} با مقدار ۲۹۹۸ کیلوگرم در هکتار بدست آمد و تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت و در مقایسه با آبیاری غرقابی، ۵۳/۴۶ درصد کاهش در عملکرد شلتوک در این تیمار ایجاد شد. تیمارهای RDI_{30} و PRD_{60} از لحاظ آماری در یک کلاس مشترک قرار گرفتند. طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های طرح (جدول۴)، دریافتیم که در سطح احتمال ۱ درصد، تیمارهای مختلف کم‌آبیاری موجب ایجاد تفاوت معنی‌داری در پارامتر عملکرد شلتوک شدند و با افزایش تنش کم‌آبی، عملکرد شلتوک کاهش می‌یابد که با نتایج کاتوزی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت داشت. از طرفی، با مقایسه دو روش کم‌آبیاری درمی‌یابیم که در یک تنش یکسان، کم‌آبیاری بخشی ریشه عملکرد شلتوک بیشتری نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده دارد. از دلایل برتری این روش، آبیاری یک‌طرف ریشه و ترشح

هورمون‌هایی مانند آبسیزیک اسید(ABA[1]) می‌باشد و از طرفی سیستم ریشه متفاوتی نسبت به سایر روش‌های آبیاری ایجاد می‌کند (یوسفیان و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین، یکی از دلایل کاهش عملکرد، می‌تواند جذب کمتر کود در کم‌آبیاری و کشت غیرپادل در مقایسه با آبیاری غرقابی در زمین گلخراب باشد. در این رابطه پیشنهاد می‌شود که در کشت غیرپادل، مقداری بیشتر از توصیه کارشناسان نسبت به آبیاری غرقابی، کود به زمین اضافه گردد. لذا لازم است در این زمینه هم تحقیقات بیشتری انجام شود.

آب مصرفی: بر اساس نتایج تحلیل آماری (جدول۴)، کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری در میزان آب مصرفی گیاه برنج داشت. تیمار آبیاری غرقابی با ۱۰۸۸۶ مترمکعب در هکتار، پرمصرف‌ترین تیمار بوده که در محدوده متعارف مصرف آب در منطقه می‌باشد و تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. کمترین میزان آب مصرفی، برای تیمار PRD_{60} (۲۵۵۶ مترمکعب در هکتار) بدست آمد که باعث ۷۶/۳۳ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب شده است و در کلاسی مشترک با تیمار RDI_{60} قرار گرفت و این تیمار، ۷۴/۸۵ درصد صرفه‌جویی در آب آبیاری ایجاد کرد. یوسفیان و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که تیمار آبیاری غرقابی، بیشترین آب مصرفی با ۸۱۶۰ مترمکعب در هکتار و تیمار PRD_{60}، کمترین آب مصرفی با ۴۶۴۶/۷ مترمکعب در هکتار را به خود اختصاص داد. طبق نتایج حاصل شده، تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه، به علت آبیاری یک طرف ریشه در هر دور آبیاری و اثری که بر روی ترشح هورمون آبسزیک اسید و بسته شدن روزنه‌ها دارد (یوسفیان و همکاران، ۱۳۹۷)، آب کمتری در مقایسه با کم‌آبیاری تنظیم شده، در تنش‌های مشابه مصرف نمودند. در شکل۱، ضریب همبستگی زیاد، گویای این مطلب می‌باشد که عملکرد شلتوک تا حد زیادی به میزان آب مصرفی گیاه برنج بستگی دارد. از طرفی، شیب کاهش عملکرد شلتوک به ازای مصرف کمتر آب، در کم‌آبیاری بخشی ریشه کمتر از کم‌آبیاری تنظیم شده است. به طوری که به ازای هر واحد کاهش در آب مصرفی، عملکرد شلتوک در کم‌آبیاری بخشی ریشه، حدوداً ۰/۴۲ کیلوگرم در هکتار و در کم‌آبیاری تنظیم شده، حدوداً ۰/۵۴ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد.



شکل(۱): مقایسه تأثیر میزان مصرف آب بر عملکرد شلتوک در دو روش کم‌آبیاری

وزن خشک اندام هوایی: با توجه به نتایج طرح، بیشترین وزن خشک اندام هوایی، در تیمار آبیاری غرقابی (۷۰/۵۲ گرم) به‌وجود آمد که در کلاسی جداگانه نسبت به سایر تیمارها قرار گرفته است و تفاوت تیمارها در سطح ۱ درصد معنی‌دار بدست آمد. کمترین میزان این پارامتر، مربوط به تیمار RDI_{60} (۲۰/۳۶ گرم) بود که موجب کاهش ۷۱/۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد در وزن خشک اندام هوایی شد و در کلاسی متفاوت با بقیه تیمارها جای گرفت.

[1] Abscisic Acid

در پژوهشی که توسط حسینی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که بیشترین وزن خشک بخش هوایی گیاهچه‌های چهار هفته‌ای برنج برای تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۳۳ میلی‌گرم) و کمترین مقدار این پارامتر برای تیمار آبیاری ۲۰ درصد ظرفیت زراعی (۵/۳۰ میلی‌گرم) بدست آمد و با نتایج این پژوهش مبنی بر کاهش وزن خشک اندام هوایی در اثر افزایش تنش خشکی، مطابقت دارد. تیمارهای RDI_{10} و PRD_{30} تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. با تجزیه و تحلیل داده‌ها درمی‌یابیم که با افزایش تنش خشکی، وزن خشک اندام هوایی برنج به‌دلیل تغییرات ایجاد شده در بافت گیاه در اثر وارد آمدن تنش خشکی، کاهش یافته که کاهش در عملکرد شلتوک را در پی دارد.

تراکم وزن خشک ریشه (RWD): با نگاهی به جدول۴، تفاوت اثرات اعمال کم‌آبیاری بر تراکم وزن خشک ریشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. بیشترین تراکم وزن ریشه، برای تیمار آبیاری غرقابی (۰/۰۰۲۱۴ گرم در سانتی‌متر مکعب) و پس از آن مربوط به تیمار آبیاری FID (۰/۰۰۱۳۴ گرم در سانتی‌متر مکعب) بود. نتایج نشان داد که تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه، تراکم وزن خشک ریشه بیشتری نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده داشتند. طبق نتایج پژوهش‌های قبل، از دلایل آن می‌توان به تغییر در ساختار فیزیولوژیک گیاه در اثر تناوب خشکی و رشد ریشه‌های ثانویه و تمایل ریشه گیاه به رشد و توسعه عمودی در لایه‌های پایینی خاک و افزایش تراکم در هر لایه خاک اشاره نمود (صدرانسب و همکاران، ۱۳۹۳). از طرفی تغییرات تراکم وزن خشک ریشه در تناسب با میزان عملکرد شلتوک بوده و با افزایش تنش خشکی، تراکم وزن خشک ریشه کاهش و به‌تبع عملکرد شلتوک کاهش می‌یابد. کمترین میزان این پارامتر، برای تیمار RDI_{60} (۰/۰۰۰۲۷۲ گرم در سانتی‌متر مکعب) بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت.

طول ریشه: همان طور که در جدول۴ آمده، تفاوت طول ریشه‌های تیمارهای مختلف، در مقابل سطوح مختلف کم‌آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بدست آمد. تیمار شاهد (آبیاری غرقابی) بلندترین ریشه با طول ۳۰/۶ سانتی‌متر را داشت که دارای تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بود. از جمله عوامل تأثیرگذار در افزایش طول ریشه در تیمار شاهد، آماده‌سازی زمین به صورت پادلینگ در این تیمار می‌باشد، در صورتی که برای بقیه تیمارها، مزرعه پادل نشده که این امر موجب شد که بستر رشد ریشه نسبت به سایر تیمارها متفاوت باشد. کوتاه‌ترین ریشه در تیمار RDI_{60} با طول ۱۷/۳۳ سانتی‌متر بود که با تیمارهای RDI_{30} و PRD_{60} در یک کلاس مشترک قرار گرفت که باعث کاهش ۴۳/۳۶ درصدی در طول ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. بنابراین، چنانچه خاک دارای رطوبت مطلوب باشد، سیستم ریشه رشد گسترده‌ای کرده که موجب جذب بیشتر مواد غذایی و آب از خاک می‌گردد و با کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش خشکی خاک، طول ریشه گیاه کاهش می‌یابد که با نتایج صدرانسب و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. تغییرات طول ریشه متناسب با تراکم وزن خشک ریشه می‌باشد که طبق نتایج طرح، اثرات کاهش طول و تراکم ریشه در اثر تنش کم‌آبی بر کاهش عملکرد شلتوک مشهود است.

بهره‌وری فیزیکی آب (CPD): همان‌طور که در نتایج تجزیه واریانس (جدول۴) مشاهده می‌شود، تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری با هم داشتند. بیشترین میزان بهره‌وری آب مربوط به تیمار PRD_{60} (۱/۳۹کیلوگرم بر مترمکعب) بود و تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت. تیمارهای FID، RDI_{10} و PRD_{10} از لحاظ آماری در یک کلاس مشترک قرار گرفتند. کمترین میزان بهره‌وری آب، برای تیمار FI (۰/۵۹کیلوگرم بر مترمکعب) بدست آمد که در کلاسی مشترک با تیمار FID جای گرفت و موجب ۵۷/۵ درصد کاهش بهره‌وری نسبت به تیمار PRD_{60} شد. اسدی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که بیشترین بهره‌وری آب در تیمار آبیاری ۷۰ درصد تبخیر از تشتک (۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) و کمترین بهره‌وری آب در تیمار آبیاری غرقابی (۰/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب) رخ داده است که از این لحاظ با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. بر اساس نتایج، بهره‌وری فیزیکی آب در کم‌آبیاری بخشی ریشه در تنش‌های یکسان، بیشتر از تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری غرقابی می‌باشد. بنابراین درمی‌یابیم که کم‌آبیاری بخشی ریشه علی‌رغم کاهش معنی‌دار در

مصرف آب آبیاری، در حفظ عملکرد شلتوک روشی مناسب بوده است.

بهره‌وری سود خالص به ازای واحد حجم آب (NBPD): با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول۵)، بیشترین مقدار شاخص NBPD مربوط به تیمار PRD_{60} (۷۱۲۶۷ ریال بر مترمکعب) بود و با تیمارهای PRD_{30} تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار شاخص NBPD برای تیمار RDI_{60} (۳۹۵۷۶ ریال بر مترمکعب) بدست آمد که نتایج یوسفیان و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد و باعث۴۶/۴۷ درصد کاهش نسبت به تیمار PRD_{60} و ۳۶/۹۶ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد شد و تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارهای کم‌آبیاری داشت. همان طور که در تجزیه واریانس (جدول۴) نشان داده شده، تفاوت تیمارها در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. نتایج پژوهش بیانگر بالاتر بودن میزان NBPD در کم‌آبیاری بخشی ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده می‌باشد که از دلایل آن می‌توان به عملکرد شلتوک بیشتر در پی آن، درآمد بالاتر و از طرفی دیگر، مصرف آب کمتر و هزینه پایین‌تر در روش کم‌آبیاری بخشی ریشه در مقایسه با کم‌آبیاری تنظیم شده اشاره نمود. از طرفی در آبیاری غرقابی، علی‌رغم مصرف بیشتر آب آبیاری نسبت به سایر تیمارها اما به دلیل مقدار عملکرد شلتوک بالا و در پی آن درآمد بیشتر، میزان شاخص NBPD بیشتری نسبت به تیمارهای FID، RDI_{10}، PRD_{10}، RDI_{30} وRDI_{60} داشته است.

بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی (WP_{I+P}): با توجه به داده‌های هواشناسی مجموع بارندگی در طول دوره رشد (اول خرداد تا بیست و شش مرداد) برابر ۶۱ میلی‌متر بوده است. طبق تجزیه واریانس (جدول۴)، اثر تنش‌های مختلف خشکی خاک بر شاخص بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌داری بود. بیشترین مقدار شاخص WP_{I+P} مربوط به تیمارPRD_{60} (۱/۱۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد و پس از آن متعلق به تیمار PRD_{30} (۰/۹۶۳کیلوگرم بر مترمکعب) بوده است. کمترین مقدار شاخصWP_{I+P} برای تیمار FI (۰/۵۶۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بدست آمد و موجب کاهش ۴۹/۷۸ درصدی نسبت به تیمار PRD_{60} در بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی شد و در کلاسی مشترکی با تیمار FID قرار گرفت. تیمارهای RDI_{10}، PRD_{10} و RDI_{30} از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. در پژوهشی که توسط رضایی استخرویبه و همکاران (۱۳۹۵) در معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران بر روی پنج تیمار که شامل آبیاری کامل در کل دوره رشد، آبیاری ۱، ۳ و ۵ روز پس از ناپدید شدن آب در سطح زمین و اشباع دائم خاک در تمامی رشد بوده و بر روی گیاه برنج (رقم شیرودی) انجام شد. بیشترین میزان بهره‌وری آب و بارندگی مربوط به تیمار اشباع دائم خاک بود و کمترین بهره‌وری آب و بارندگی برای تیمار آبیاری ۵ روز پس از ناپدید شدن آب، بدست آمد. از دلایل تفاوت نتایج این طرح، می‌توان به تفاوت در بافت خاک (لوم سیلتی) و روش آبیاری و اعمال کم‌آبیاری اشاره نمود.

بهره‌وری تبخیر-تعرق (WP_{ET}): بیشترین مقدار شاخص WP_{ET} به تیمار FI (۱/۳۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب) اختصاص یافت که تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت. تیمارهای FID، RDI_{10} و PRD_{10} تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری نداشتند و از طرفی، تیمارهای RDI_{30} و PRD_{60} در کلاسی مشترک قرار گرفتند. کمترین مقدار شاخص WP_{ET} مربوط به تیمار RDI_{60} (۰/۶۰۷کیلوگرم بر مترمکعب) بود که کاهش ۵۳/۴۵ درصدی نسبت به تیمار FI بوجود آمد و در کلاسی جداگانه نسبت به سایر تیمارها جای گرفت. طبق جدول تجزیه واریانس (جدول۴)، کم‌آبیاری در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری در تیمارها ایجاد کرد. در این راستا پژوهشی توسط امیری و همکاران (۱۳۹۰) برای بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری که شامل تیمارهای آبیاری غرقاب دائم، آبیاری با ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تبخیر از سطح تشت تبخیر بر روی گیاه برنج (رقم هاشمی) با فواصل کاشت۲۰×۲۰ سانتی‌متر و در موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت انجام شد. پارامتر بهره‌وری تبخیر-تعرق برای این تیمارها، در سال زراعی۱۳۸۰، بترتیب ۰/۶۴، ۰/۵۶، ۰/۶۳ و ۰/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در سال زراعی ۱۳۸۱، بترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۵، ۰/۷۱ و ۰/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است و گویای این مطلب است

که با افزایش تنش کم‌آبی، بهره‌وری تبخیر- تعرق کاهش می‌یابد و با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

آب از جمله منابع مهم در تولید گیاهان کشاورزی می‌باشد و اگر مدیریت درستی در استفاده منابع آبی نشود، با مشکلات جدی در شرب و کشاورزی مواجه خواهیم شد. بکارگیری آبیاری غرقابی در اراضی شالیزاری موجب مصرف بیش از اندازه نیاز واقعی آب به دلیل بازده آبیاری پایین می‌شود. علی‌رغم نقش مهم مدیریت آب، در مصرف بهینه از منابع آب و افزایش راندمان تولید محصول، تاکنون توجه کافی به این امر نشده است. با توجه به این که مصرف بیش از حد آب آبیاری، نقشی در افزایش عملکرد محصول ندارد، صرفه‌جویی آب ناشی از بکار گرفتن روش کم‌آبیاری می‌تواند در شرایط بحران کمبود آب راه‌گشای مشکلات گردد (بخشی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). برای برنج از یک طرف به دلیل قرار گرفتن در گروه محصولات راهبردی و از طرف دیگر وابستگی اقتصادی بخش وسیعی از ساکنان نقاط شمالی به این محصول، لازم است که تعاریفی جدیدی در بحث چگونگی آبیاری مطرح گردد (صدرالدینی و سلحشور دلیوند، ۱۳۹۱). نتایج حاصل از پژوهشات در نقاط مختلف جهان و ایران، مناسب بودن اثرات استفاده از روش آبیاری غیرغرقابی بر عملکرد محصول و افزایش بهره‌وری آب گیاه برنج به اثبات رسیده است (Tuong et al., 2005). لذا جهت غلبه بر مشکلات پیش‌رو، مختصصان آب در جهان، بایستی با توجه به شرایط ویژه‌ای که در هر نقطه از جهان حاکم است، به دنبال مدیریت بهینه منابع آب در آن منطقه باشند (اسدی و همکاران، ۱۳۹۵). طبق نتایج پژوهش، کم‌آبیاری بخشی ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده، علی‌رغم صرفه‌جویی بیشتر در مصرف آب، به دلیل تغییراتی که در سازوکار و سیستم ریشه گیاه رخ می‌دهد، کارکرد بهتری در جلوگیری از کاهش محصول داشته است و به لحاظ شاخص‌های بهره‌وری و اقتصادی وضعیت مناسب‌تری دارد و قابل توصیه برای منطقه می‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود که پژوهشات بیشتری در رابطه با روش‌های دیگر مدیریت آبیاری با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب و تأثیر آن بر صفات زراعی برنج، رشد علف‌های هرز و جذب کود، انجام شود.

قدردانی

شایسته است که از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران نهایت تشکر و سپاس‌گزاری برای همکاری در اجرای طرح را داشته باشیم.

منابع

اسدی، ر.، ا. علیزاده، ح. انصاری، م. کاوسی و ا. امیری. ۱۳۹۵. تأثیر مقادیر آب و نیتروژن مصرفی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد۳۰، شماره ۲، ص ۱۵۷- ۱۴۵

امیری، ا.، ت. رضوی پور و م. بنایان. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد و بهره وری آب در برنج تحت شرایط مدیریت مختلف آبیاری و فاصله کاشت با استفاده از مدل ORYZA2000. فصلنامه تولید گیاهان زراعی، دوره ۴، شماره ۳، ص ۱۹-۱

ایلکایی، م.، پ. فروزش، د. حبیبی، د. طالقانی و ا. رجبی. ۱۳۹۵. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند به تنش کم‌آبیاری. نشریه چغندر قند (موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند)، جلد ۳۲، شماره ۲، ص۱۴۶- ۱۳۵

باغی تبار فیروزجایی، ث.، ر. عباسی و س. ی. موسوی طغانی. ۱۳۹۸. مقایسه تأثیر شیوه‌های آبیاری و سن بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (Oryza sativa L.) رقم طارم هاشمی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۹، شماره ۲، ص ۷۸-۶۷

بخشی‌پور، س.، ج. کامبوزیا، ک. خوشبخت، ع. مهدوی دامغانی و م. حسینی. ۱۳۹۶. شناسایی صفات مورفولوژیکی موثر بر عملکرد ارقام برنج تحت تنش رطوبتی با استفاده از روشهای آماری چند متغیره، فصلنامه علوم محیطی، دوره ۱۵، شماره ۲، ص ۱۸۰-۱۶۳

پوریزدان‌خواه، ه.، ت. رضوی‌پور، م. خالدیان و م. رضایی. ۱۳۹۳. تعیین ضریب گیاهی برنج، رقم‌های بینام و خزر با استفاده از لایسیمتر و کرت‌های کنترل شده در منطقه رشت. نشریه بوم شناسی کشاورزی، جلد ۶، شماره ۲، ص۲۴۹-۲۳۸

حسینی، س و.، ع. گنجعلی، م. لاهوتی و ع. بیک خورمیزی. ۱۳۹۳. بررسی واکنش جوانه زنی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برنج رقم هاشمی، تحت تأثیر تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی (پژوهش و سازندگی)، دوره ۲۷، شماره ۱۰۵، ص ۱۸۸-۱۸۲

رضایی استخرویبه، ع.، م. صداقت، ب. عرب‌زاده و ن. سیاری. ۱۳۹۵. تأثیر روش‌های نوین آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج (رقم شیرودی). مجله مدیریت آب و آبیاری، دوره ۶، شماره ۲، ص۲۰۴-۱۹۳

صداقت، ن.، ه. پیردشتی، ر. اسدی و س ی. موسوی طغانی. ۱۳۹۳. اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب در برنج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۱، ص ۹-۱

صدرالدینی، ع. و ف. سلحشور دلیوند. ۱۳۹۱. اثر تنش شوری و رژیم آبیاری بر عملکرد برنج و کارایی مصرف آب در خاک‌های ترک‌دار شالیزاری. فصلنامه تحقیقات غلات، سال دوم، شماره ۳، ص ۲۰۸- ۱۹۳

صدرانسب، ز.، ع. شاهنظری، م. ضیاتبار احمدی و ف. کاراندیش. ۱۳۹۳. بررسی روند رشد ریشه گیاه ذرت در دو روش کم آبیاری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۲، ص ۴۱۸-۴۰۹

عرب‌زاده، ب. و ع. توکلی. ۱۳۸۴. به‌گزینی مدیریت کم‌آبیاری تنظیم شده در کشت نشایی برنج. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره چهارم، ص ۲۰-۱۱

عرب‌زاده، ب. و ع. توکلی. ۱۳۸۵. تحلیل اقتصادی مدیریت کم‌آبیاری در کشت خشکه‌کاری برنج. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد۷، شماره ۲۶، ص ۱۱۰-۹۹

قدمی فیروزآبادی، ع.، ع. شاهنظری، م. رائینی سرجاز و ح. زارع ابیانه. ۱۳۹۴. اثر کم‌آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد، فلورسانس کلروفیل و پارامترهای رشد آفتابگردان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۹، شماره ۲، ص ۱۶۷-۱۵۷

کاتوزی، م.، ف. رحیم زاده خوئی، م. رضایی، م. یارنیا و ح. صبوری. ۱۳۹۵. تعیین مناسب‌ترین رقم برنج در تنش حاصل از مدیریت‌های مختلف آبیاری. نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی، دوره ۳، شماره ۱، ص ۴۴-۳۱

میرابوالقاسمی، س. م.، م. قبادی نیا، ا. قاسمی و م. نوری امامزاده‌ای. ۱۳۹۶. تأثیر آبیاری زیرزمینی و مدیریت آبیاری بر مشخصه‌های رشد و اجزای عملکرد برنج در منطقه خشک و نیمه خشک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۱، شماره ۲، ص ۴۲۱-۴۱۱

یوسفیان، م.، ع. شاهنظری، م. ضیاتبار احمدی، م. رائینی سرجاز و ب. عرب‌زاده. ۱۳۹۷. اثر کم‌آبیاری تنظیم شده و خشکی بخشی ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج در روش جوی و پشته و کرتی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۲، شماره ۳، ص ۳۵۱-۳۴۱

Carracelas, G., J. Hornbuckle, J. Rosas and A. Roel. 2019. Irrigation management strategies to increase water productivity in Oryza sativa (rice) in Uruguay, Agricultural Water Management, 222: 161-172

Tuong, T.P., B. A. M. Bouman and M. Mortimer. 2005. More rice, less water–integrated approaches for increasing water productivity in irrigated ricebased systems in asia. Plant production Science, 8, 229 - 239

Thakur, A. K., K.G. Mandal, R. K. Mohanty and S. K. Ambast. 2018. Rice root growth, photosynthesis, yield and water productivity improvements through modifying cultivation practices and water management. Agricultural Water Management, 206: 67-77

Zhang, J., Q. Wang, X. P. Pang, H. P. Xu, J. Wang, W. N. Zhang and Z. G. Guo. 2021. Effect of partial root-zone drying irrigation (PRDI) on the biomass, water productivity and carbon, nitrogen and phosphorus allocations in different organs of alfalfa. Agricultural Water management, 243: 106525

Zwart, S.J. and W.G.M. Bastiaanssen. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management, 69: 115-133

Investigation of the Effect of Deficit Irrigation Methods on Water Productivity Indices and Some Agronomic Traits of Rice Plant (Binam Variety)

Reza Firozpour[1], Ali Shahnazari[2]*, Mostafa Yousefian[3] and Ali Akbarzadeh[4]

Abstract

One of the most important goals of irrigation planning and management methods, considering the water crisis in recent years, is to increase water productivity for various plants, including rice. To investigate the effects of deficit irrigation methods on water productivity of rice (Binam Variety), an experiment was carried out with eight treatments and three replications in Babolsar city of Mazandaran province in 2020. The treatments were regulated deficit irrigation and partial root zone drying in soil drought stresses of 10, 30 and 60 kPa (RDI_{10}, RDI_{30}, RDI_{60}, PRD_{10}, PRD_{30} and PRD_{60}) and full irrigation with drip tape and flood irrigation systems (control). Soil water deficit was measured by a tensiometer. In this experiment, traits including yield, water consumption, and plant shoot dry weight, root weight density, root length, physical water productivity, net profit efficiency per unit volume of water, irrigation and rainfall water efficiency and evapotranspiration efficiency were investigated. According to the results, the highest and lowest physical water productivity was corresponded for PRD_{60} and flood irrigation treatments, respectively (1.39 and 0.59 kg / m3). PRD treatments at similar stresses compared to RDI treatments had higher rough rice yield and higher physical and economic productivity despite of lower water consumption. PRD_{60} treatment increased the physical productivity of water by 135.6% and decreased the water consumption by 76.3%.

.

Keywords: Partial root zone drying, Physical water productivity, Root dry weight, Tape Irrigation, Tensiometer

[1] M.Sc. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (Refirozpour@gmail.com)
[2]Professor, Water Engineering Department, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University (aliponh@yahoo.com). (* Corresponding Author)
3 Deputy Expert of the National Rice Research Institute (mostafa_uosefian@yahoo.com)
4 Ph.D. student of Irrigation and Drainage Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (Alipirans23@Gmail.com)