مدیریت آب و آبیاری
(نشریه علمی)
دوره ۱۱ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰
صفحه‌های ۴۳۲-۴۲۱
DOI: 10.22059/jwim.2021.319595.864

مقاله پژوهشی:

روشی نوین برای تأمین نیاز آبی برنج براساس پتانسیل ماتریک نزدیک به اشباع خاک

حجت قربانی واقعی[1*]، حسین صبوری[2]، فاختک طلیعی[3]
۱. استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.
۲. دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.
۳. استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۶

چکیده
در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، آب مهم‌ترین عامل محدودکننده کشت برنج است. در این پژوهش، با هدف بررسی کشت برنج به‌روش تأمین رطوبت پیوسته نزدیک به اشباع خاک در کنار برخی ترکیبات القاکننده رشد، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در شش تکرار و با دو تیمار آبیاری (غرقابی و زیرسطحی سفالی) و سه تیمار القاگر (شاهد، سالیسیلیک‌اسید و مایکوریز) در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس اجرا شد. برای تأمین رطوبت پیوسته نزدیک به اشباع خاک از نازل آبیاری زیرسطحی و از تیمارهای سالیسیلیک‌اسید به‌صورت محلول‌پاشی برگی با غلظت ۲ میلی‌مولار و مایکوریز به‌صورت ۵ درصد حجمی مخلوط با خاک استفاده شد. پس از برداشت گیاه برنج، صفات زراعی شامل ارتفاع بوته، طول خوشه اصلی، جرم دانه پر، جرم هزاردانه، جرم خوشه اصلی، جرم کل خوشه‌ها، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، حجم آب مصرفی، شاخص بهره‌وری و کارایی مصرف آب و شاخص برداشت اندازه‌گیری و محاسبه شد. مقدار عملکرد دانه در واحد سطح برای روش آبیاری غرقابی به‌ترتیب برای تیمارهای سالیسیلیک‌اسید، مایکوریز و شاهد به‌ترتیب ۵۱۷۰، ۴۷۱۰ و ۴۲۰۲ کیلوگرم بر هکتار بود. در حالی‌که این مقادیر برای روش آبیاری زیرسطحی به‌ترتیب ۴۹۸۵، ۴۸۰۷ و ۴۰۶۳ به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج نشان داد که اختلاف عملکرد دانه برنج، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت بین روش‌های آبیاری معنی‌دار نبود، اما کارایی مصرف آب و شاخص بهره‌وری آب در سامانه آبیاری زیرسطحی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از آبیاری غرقابی بود. به‌طورکلی، روش تأمین رطوبت نزدیک به اشباع خاک قادر به افزایش کارایی سیستم آبیاری زیر سطحی در مقایسه با روش مرسوم شده بود.

کلیدواژه‌ها: آبیاری زیرسطحی، القاکننده رشد، رطوبت خاک، کپسول رسی.

A new method for providing water requirement of rice culture based on near-saturated soil matric potential

Hojjat Ghorbani Vaghei[1*], Hossein Sabouri[2], Fakhtak Taliei[3]
1. Assistant Professor, Natural Resources Department, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
2. Associate Professor, Plant Production Department, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
3. Assistant Professor, Plant Production Department, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
Received: February 27, 2021 Accepted: August 07, 2021

Abstract
Water is one of the main important environmental factors limiting rice cultivation, in arid and semiarid regions like Iran. In order to evaluate the effect of growth inducers on sub-irrigation technology performance in rice water requirement, this field experiment was conducted as a factorial plot, based on completely randomized design with 6 replications, with two irrigation treatments (flooding and sub-irrigation with porous clay capsules), and two inducers (Mycorrhiza and salicylic acid) in 2016 at the research farm of GKU. Salicylic acid was used as seed treatment along with leaf spray in the concentration of 2 mM, two times in vegetative and reproductive growth. Mycorrhiza was used as root inoculation and was also mixed (20 gr.m-3) with the top 40 cm of soil. In this study, some morphological traits including plant height, the main panicle length, the weight of filled seeds, 1000-grain weight, weight of main panicle, the weight of whole panicles, grain yield, biological yield, water consumption, water productivity, water use efficiency and harvest index were measured, calculated, and assessed after harvesting. Grain yield for flood irrigation method for salicylic acid, mycorrhiza and control treatments were 5170, 4710, and 4202 $kg.ha^{-1}$, respectively. While these values were 4985, 4807 and 4063 $kg.ha^{-1}$ for subsurface irrigation method, respectively. The results showed that rice grain yield, biological yield and harvest index were not significant in two irrigation methods. But the water use efficiency and water productivity index in the subsurface irrigation system were significantly higher than the flood irrigation. Finally, the near-saturated soil matic potential method was able to increase the subsurface irrigation efficiency compared to the flood irrigation method at rice culture.

Keywords: Clay capsule, Growth inducers, Soil moisture content, Subsurface irrigation.

* نویسنده مسئول Email: ghorbani169@yahoo.com

مقدمه

برنج بعد از گندم، دومین گیاه زراعی مهم دنیا بوده و غذای اصلی نیمی از مردم جهان به‌ویژه کشورهای در حال توسعه است. تولید این محصول استراتژیک تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی دستخوش تغییر می‌شود (Mirabolghasemi *et al*., 2016). آب مهم‌ترین عامل محیطی محدودکننده کشت برنج در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است که به‌طور عمده با تنش خشکی همراه است (Rahim *et al*., 2004; Asadi *et al*., 2016; Safaee *et al*., 2017). با عنایت به این‌که برنج بعد از گندم در تأمین کالری و امنیت غذایی مردم ایران نقش به‌سزایی دارد، لزوم استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های نوین کاهش تنش رطوبتی خاک برای افزایش بهره‌وری آب و نیز افزایش عملکرد در واحد سطح کشت برنج احساس می‌شود (Rezaei *et al*., 2010; Ruiz-Snchez *et al*., 2010; Nie *et al*., 2012; Rezaee *et al*., 2015; Sedaghat *et al*., 2016). به‌طورکلی، تنش‌های محیطی ناشی از دما، نور و آب قابل دسترس اثرات منفی بر رشد و نمو گیاهان خواهد گذاشت. خشکی یک تنش چند بعدی است که نمود آن در خاک با افزایش تدریجی پتانسیل ماتریک خاک و در گیاهان با ایجاد اختلال در فرایندهای رشد همراه است (Blum, 2005; Thanh *et al*., 2017). کاهش پتانسیل آب در اثر تنش خشکی سبب کاهش تقسیم سلولی، توقف رشد اندام‌های گیاه، کاهش فتوسنتز خالص، سنتز پروتئین و تغییر توازن هورمونی گیاه می‌شود (Ji *et al*., 2010).

افزایش مقاومت به تنش خشکی در گیاهان از راه‌های مختلفی شامل به‌نژادی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد عملی است. روش‌های به‌نژادی اغلب بلندمدت و هزینه‌بر هستند، لذا استفاده از روش‌های ساده‌تری هم‌چون به‌کارگیری تنظیم‌کننده‌های رشد برای مقابله با تنش خشکی توصیه شده است (Gue *et al*., 2007; Horvath *et al*., 2007; Hussein *et al*., 2007; Belkhadi *et al*., 2010; Hayat *et al*., 2010; Khalvati *et al*., 2010). سالیسیلیک‌اسید یک تنظیم‌کننده درونی رشد گیاه است که بر واکنش‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاه مؤثر است و نقش مهمی در مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی ایفا می‌کند (Hussein *et al*., 2007; Belkhadi *et al*., 2010; Hayat *et al*., 2010). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تیمار سالیسیلیک‌اسید سبب افزایش تعداد دانه در کشت گندم (Khaydan & Yagmur, 2006) و جو (Mashi *et al*., 2008) شده است. هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر تیمار سالیسیلیک‌اسید در گندم (Horvath *et al*., 2007)، جو (Khalvati *et al*., 2010) و برنج (Gue *et al*., 2007) در شرایط وقوع تنش‌های مختلف محیطی گزارش شده است.

ویژگی‌های سیستم ریشه نیز در افزایش مقاومت به تنش خشکی تأثیرگذار است (Khaydan & Yagmur, 2006). هیف‌های قارچ میکوریز می‌تواند بخش مهمی از سیستم ریشه‌ای گیاه شود و به کمک افزایش جذب آب و مواد غذایی به کاهش تنش‌های محیطی مثل شوری و خشکی کمک کند (Khalvati *et al*., 2010; Ruiz-Snchez *et al*., 2010). هیف‌های خارجی میکوریز به‌خوبی قادر به تأمین پتاسیم و فسفر موردنیاز گیاه هم‌زیست می‌باشد (Khalvati *et al*., 2010; Ruiz-Snchez *et al*., 2010; Wu *et al*., 2009). وجود فسفر قابل جذب در محیط خاک بر تراکم و پراکنش ریشه در خاک کمک خواهد کرد (Haji boland *et al*., 2007). از مهم‌ترین راه‌کارهای کاهش مصرف آب در کشت مستقیم برنج، استفاده از شیوه آبیاری تناوبی است (Sedaghat *et al*., 2014; Katozi *et al*., 2016). بررسی کاهش آب مصرفی در کشت برنج در دو رقم طارم محلی و فجر به

روش تناوب خشکی و غرقابی نشان داد که این تناوب علاوه بر کاهش ٤٨ درصدی در مصرف آب با کاهش معنی‌دار عملکرد نسبت به‌روش غرقاب همراه نبود (Rezaee *et al*., 2016). به‌نظر می‌رسد استفاده از ارقام برنج مقاوم به خشکی هم‌زمان با راه‌کارهای نوین تأمین رطوبت گیاه برنج هم‌چون روش تأمین رطوبت نزدیک به اشباع خاک، بتواند امکان افزایش تولید این محصول استراتژیک را به‌ازای افزایش واحد سطح در ایران فراهم کند (Shamsali *et al*., 2018; Sabouri *et al*., 2019). روش تأمین رطوبت خاک با قطعات سفالی از دیرباز در اراضی خشک و نیمه‌خشک سرزمین ایران مرسوم بوده است. این روش قادر است برحسب تغییر فشار هیدروستاتیکی، رطوبتی در حد ظرفیت زراعی و نزدیک به اشباع در خاک ایجاد کند (Shamsali *et al*., 2018; Bahrami *et al*., 2010; Ghorbani *et al*., 2015; Ghorbani *et al*., 2016). تکنیک آبیاری زیرسطحی با کپسول‌های رسی متخلخل از دسته روش‌های کم‌آبیاری با قطعات سفالی است که به‌دلیل مدیریت حجم و مدت زمان آبیاری، قادر به افزایش بهره‌وری مصرف آب در کشت گیاهان در اراضی کوچک مقیاس به‌ویژه اراضی مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Siyal & Skaggs, 2009 : Bahrami *et al*., 2010). میزان تراوایی آب از چنین سیستمی به گونه‌ای‌ست که در شرایط بدون محدودیت آبیاری می‌تواند رطوبتی نزدیک به اشباع خاک با فشار مکش ۱۰-۵ کیلوپاسکال در خاک ایجاد کند (Shamsali *et al*., 2018). در مطالعاتی که به روش رطوبت نزدیک به ظرفیت زراعی به‌کمک کپسول‌های رسی متخلخل در کشت برنج انجام شده است عملکرد دانه از نظر عددی کم‌تر از حالت شاهد بود، اما این اختلاف در سطح آماری معنی‌دار گزارش نشده است (Shamsali *et al*., 2018). در مطالعه دیگری اثر تأمین رطوبت نزدیک به اشباع خاک با استفاده از کپسول‌های رسی متخلخل در کشت ۲۸ لاین و رقم مقاوم به خشکی برنج موردبررسی قرار گرفت (Sabouri *et al*., 2019). مطالعه آن‌ها نشان داد که پنج لاین از عملکرد دانه خوبی نسبت به بقیه لاین‌های برنج برخوردار بودند.

تا به امروز شبیه‌سازی توزیع رطوبت خاک با انواع نازل‌های سفالی در بافت‌های مختلف خاک و نیز استفاده از این تکنیک برای تأمین رطوبت گیاهان زراعی در شرایط غیراشباع خاک در حد ظرفیت زراعی انجام شده است (Bainbridge, 2001: Bainbridge, 2002: Abu-Zreig & Atoum, 2004: Abu-Zreig *et al*., 2006). اما تاکنون پژوهشی در داخل و خارج از کشور در زمینه استفاده از این تکنیک در راستای تأمین رطوبت نزدیک به اشباع خاک به روش آبیاری زیرسطحی سفالی با کپسول‌های رسی متخلخل هم‌زمان با به‌کارگیری سایر فناوری‌های نوین مانند القاکننده رشد در کشت برنج صورت نگرفته است. این پژوهش به‌دنبال بررسی اثر تأمین رطوبت نزدیک به اشباع خاک بر عملکرد محصول برنج به روش آبیاری زیرسطحی با به‌کارگیری القاکننده‌های رشد برای کشت برنج در مناطق نیمه‌خشک کشور است و چنان‌چه نتایج این پژوهش مثبت باشد امکان بررسی کشت برنج در اراضی کوچک‌مقیاس در سطح بیش‌تر و در نهایت گسترش این روش در مناطق نیمه‌خشک فراهم خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس در سال ۱۳۹۵ در زمینی به مساحت ۳۵۰ مترمربع با طول جغرافیایی '۱۲ °۵۵ شرقی و عرض جغرافیایی '۱٦ °۳۷ شمالی با ارتفاع ٤٥ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی ٤٥٠ میلی‌متر در سال و تبخیر ۲۳۸۰ میلی‌متر در سال،

انجام شد. اطلاعات هواشناسی در چهار ماه سال ۱۳۹۵ (ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور) مربوط به فصل زراعی کشت برنج در جدول (۱) و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی در جدول (۲) آمده است.

در این پژوهش، از کرت‌های دایره‌ای به قطر ۱ متر با فاصله یک و نیم متر بین کرت‌ها و فاصله بین ردیف دو متر استفاده شد. برای آماده‌سازی تیمارهای آبیاری زیرسطحی، خاک هر کرت تا عمق ۵۰ سانتی‌متر گودبرداری (شکل B-۱) و کپسول‌های رسی متخلخل (شکل A-۱) در عمق ۴۰ سانتی‌متری کارگذاری شد (شکل ۱). روی قطعات توسط ماسه بادی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و در ادامه روی ماسه نیز با خاک منطقه پوشانده شد. در ابتدا خزانه نشا (رقم معصوم) آماده و بعد از یک ماه با حدود ۱۵ سانتی‌متر رشد طولی به زمین اصلی انتقال یافت و با آرایش ۲۰×۲۰ سانتی‌متر نشا شد (شکل ۱- ج). این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور، تنظیم‌کننده رشد (در سه سطح سالیسیلیک‌اسید، مایکوریز و شاهد) و روش آبیاری (در دو سطح غرقابی و زیرسطحی) با شش تکرار انجام شد. سالیسیلیک‌اسید به میزان ۲ میلی‌مولار (۰/۲۷۶ گرم از پودر جامد سالیسیلیک‌اسید در یک لیتر آب) به‌صورت بذرمال و محلول‌پاشی برگی در دو مرحله رشد رویشی و اوایل دوره زایشی مورداستفاده قرار گرفت. اسپری تا زمان جاری‌شدن قطرات آب از روی برگ‌ها انجام شد. مایکوریز استفاده‌شده در این پژوهشی ترکیبی از دو گونه گلوموس اینترادیس[1] و گلوموس موسه[2] بود که از شرکت زیست‌فناوران توران دریافت شد. در تیمار کاربرد مایکوریز، ریشه نشا قبل از انتقال به زمین اصلی به‌مدت ۲۴ ساعت به مایکوریز آغشته شد. علاوه بر آغشته‌سازی ریشه نشا، مایکوریز به میزان ۵ درصد حجم خاک تا عمق ۴۰ سانتی‌متری به بستر کشت نیز اضافه شد. عملیات آبیاری از زمان کاشت نشا (۵ خردادماه) تا ۱۰ روز بعد از پنجه‌زنی (۲۵ خردادماه) به‌صورت متداول یعنی غرقابی با ارتفاع آب ۱۰-۸ سانتی‌متر از کف بستر کشت انجام شد و بعد از آن تیمار آبیاری زیرسطحی سفالی در تاریخ ۲۶ خردادماه اعمال شد و این عمل تا پایان مرحله رسیدگی فیزیولوژیک برنج (۱۴ مردادماه) ادامه پیدا کرد.

Table 1. Some of metrological properties of form May to September in 2016 based on Gonbad Kavous synoptic Station data

Month	Rain (mm)	ET (mm)	Relative humidity (%)	Max-temperature (°c)	Min- temperature (°c)	Solar Time (Hrs)
(May-June)	42.8	193	98	43.2	14.3	281
(June-July)	6.4	240.1	95	45.9	20	288.5
(July-August)	22.5	246.8	96	44.1	20.3	293.7
(August-September)	13.6	198.4	96	39.9	15.4	275.9
Total	85.3	878.3				

Table 2. Some of physical and chemical properties of soil

Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture	K ppm	P ppm	N (%)	O.M (%)	T.V.V (%)	pH	EC ($ds.m^{-1}$)
13	55	32	Si.Cl.L	414	12.3	0.11	1.6	10.2	7.6	1.1

Table 3. The morphological and hydraulic properties of porous clay capsule (GB2)

Outer diameter (cm)	Inner Diameter (cm)	Thickness (cm)	Length	Discharge ($L.hr^{-1}$)			
				25 kPa	50 kPa	80 kPa	100 kPa
3.5	1.5	1.0	30.0	3.9	6.8	12.0	15.1

Figure 1. Implementation of subsurface irrigation for rice cultivation. A) Schematic design and insertion layout of porous clay capsule at 50 cm depth of soil. B) Addition of mycorrhizal inoculated soil to the plot. C) Transplanting stage and 50% spoke appearing.

کپسول‌های رسی متخلخل به‌کاررفته در این پژوهش از نوع جی‌بی‌تو ساخت شرکت اندیشاب است که قطر خارجی آن ۳/۵ سانتی‌متر و طول آن ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۱–A). نحوه کارگذاری قطعات به‌صورت افقی و خوابیده در داخل خاک بود. شکل (۱–A) نمایش برش مقطع عرضی پالانه بتنی است که در آن نحوه چیدمان کپسول رسی متخلخل نمایش داده شده است. این قطعات در قسمت پلاستیکی خود مجهز به سرشیلنگی نمره ۱۶ هستند و به‌کمک شیلنگ آبیاری ۱۶ از جنس پلی‌اتیلن به‌هم متصل شدند و هر پالانه از لوله لاترال از جنس پلی‌اتیلن تأمین آب می‌شد. تراوایی کپسول رسی مخلخل (قطعه) در فشار هیدروستاتیکی ۲۵ کیلوپاسکال ۳/۹ لیتر بر ساعت و در فشار هیدروستاتیکی ۱۰۰ کیلوپاسکال در حدود ۱۵ لیتر بر ساعت است. در هر مترمربع هشت قطعه در داخل زمین کار گذاشته شد. ویژگی‌های ریخت‌شناسی و هیدرولیکی این نازل در جدول (۳) آمده است. میزان مکش ماتریک خاک و فشار هیدروستاتیکی آب در تیمار آبیاری زیرسطحی به‌ترتیب در ۱۵–۱۰ و ۲۵ کیلوپاسکال تنظیم شد (برای اعمال فشار هیدروستاتیکی از پمپ آب و برای کنترل میزان پتانسیل ماتریک و تداوم زمان آبیاری از دستگاه تانسیومتر خاک آنالوگ مدل آب بانک استفاده شد).

به‌منظور بررسی صفات، از هرکرت پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و کف‌بر و به آزمایشگاه انتقال داده شد. صفات ارتفاع بوته، طول خوشه، وزن هزاردانه، وزن خوشه اصلی، وزن کل خوشه‌ها و وزن دانه پر، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، حجم آب مصرفی، میزان بهره‌وری آب و کارایی مصرف آب اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری آب مصرفی در هر روش آبیاری از کنتور ساخت شرکت آبفر با دقت ۰/۰۰۱ مترمکعب بر ساعت (یک لیتر بر ساعت) استفاده شد. برای اندازه گیری میزان بهره‌وری آب و کارایی مصرف آب به‌ترتیب عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه هریک بر حجم آب مصرفی تقسیم شد (Kazemi *et al.*, 2017). شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیکی به‌دست آمد (Ghamarnia *et al.*, 2015). تمامی داده‌های به‌دست‌آمده به‌وسیله نرم‌افزار SAS نسخه ۲–٤–٤ تجزیه و مورد تحلیل قرار گرفت. برای مقایسه میانگین از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال (P>۰/۰۱ درصد) استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول (٤) نتایج تجزیه واریانس صفات زراعی برنج رقم معصوم را تحت تأثیر دو تیمار روش آبیاری و نوع القاگر نشان می‌دهد نتایج نشان داد که اثر روش آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود. در حالی‌که نوع آبیاری تأثیر

معنی‌داری بر تعداد پنجه در بوته (P<۰/۰۱)، تعداد پنجه بارور (P<۰/۰۵) و تعداد خوشه فرعی (P<۰/۰۱) داشت. هم‌چنین اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار آبیاری از نظر سایر صفات موردبررسی از جمله وزن هزاردانه مشاهده نشد. براساس مقایسه میانگین اثرات ساده، بین ارتفاع بوته زراعی برنج در دو روش آبیاری اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. این بدان معنی است که روش آبیاری زیرسطحی محدودیتی در تأمین نیاز آبی گیاه برنج در مرحله رشد رویشی به همراه نداشته است. نتایج مشابهی توسط Shamsali *et al.* (2018) گزارش شده است. پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که چنان‌چه تأمین رطوبت گیاه برنج در مراحل رشد رویشی به هرعلتی مختل شود، کاهش ارتفاع بوته از نظر آماری معنی‌دار و محسوس خواهد بود (Safaee *et al*., 2008; Katoozi *et al*., 2016; Jini & Joseph, 2017; Thanh *et al*., 2017). از طرفی مرحله خوشه‌دهی و پرشدن دانه به‌شدت به آب وابسته است و تنش آبی به‌دلیل ضعف سیستم آبیاری در تأمین این نیاز می‌تواند با افت عملکرد همراه باشد (Jini & Joseph, 2017: Thanh *et al*., 2017: Shamsali *et al*., 2018). در حالی‌که براساس نتایج این پژوهش، عدم وجود تفاوت معنی‌دار در میزان عملکرد دانه در آبیاری زیرسطحی نسبت به غرقابی نشان می‌دهد که آب موردنیاز در روش زیرسطحی به مقدار کافی برای گیاه برنج تأمین شده است و لذا گواهی بر صحت عملکرد آبیاری زیرسطحی است (جدول ٤).

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ٤)، کاربرد تیمارهای القاگر رشد، تأثیر معنی‌داری بر تعداد خوشه فرعی (P<۰/۰۵) و نیز سایر صفات موردبررسی (P<۰/۰۱)، به‌جز ارتفاع بوته و طول و عرض برگ پرچم داشت. هم‌چنین اثر متقابل کاربرد و یا عدم کاربرد القاگرهای رشد تحت دو نوع تیمار آبیاری تنها برای دو صفت تعداد پنجه در بوته (P<۰/۰۱) و طول خوشه اصلی (P<۰/۰۵) معنی‌دار بود. ارتفاع بوته تحت تأثیر کاربرد سالیسیلیک‌اسید و مایکوریز نسبت به شاهد حدود ٤ درصد افزایش داشت، اگرچه این افزایش در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نبود. نتایج ضد و نقیضی درباره تأثیر قارچ مایکوریزا بر ارتفاع بوته برنج گزارش شده است (Yeasmin & Zamani, 2007).

شکل (۲) نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده دو روش آبیاری زیرسطحی و غرقابی را بر صفات تعداد پنجه در بوته، تعداد پنجه بارور و تعداد خوشه فرعی نشان می‌دهد. براساس این نتایج، تعداد پنجه در بوته، تعداد پنجه بارور تحت تأثیر سیستم آبیاری زیر سطحی به‌ترتیب ۱۹ و ۲٦ درصد افزایش نشان داد. در حالی‌که مطالعات سایر پژوهش‌گران نشان می‌دهد که در صورت بروز تنش رطوبتی در گیاه برنج، تعداد پنجه در بوته و نرخ باروری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Danesh Gilevaei *et al*., 2018). لذا با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان مجدد نتیجه گرفت که تأمین آب موردنیاز گیاه برنج در محدوده پتانسل ماتریک نزدیک به اشباع خاک به‌روش سیستم آبیاری زیرسطحی موفق عمل کرده است.

بررسی اثرات ساده کاربرد القاگرهای رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (جدول ۵) نشان داد که تقریباً اغلب صفات موردبررسی به‌جز ارتفاع بوته و طول و عرض برگ پرچم و عملکرد تحت تأثیر این تیمار قرار گرفت. براساس این نتایج، کاربرد مایکوریز و سالیسیلیک‌اسید تعداد پنجه در بوته را به‌ترتیب ۳۷ و ۳۹ درصد افزایش داد (P<۰/۰۱). هم‌چنین کم‌ترین میزان وزن کل خوشه و وزن خوشه اصلی در تیمار شاهد مشاهده شد، اما بین دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیش‌ترین وزن هزاردانه و عملکرد دانه (به‌ترتیب ۲٦/۵۱ گرم و ۵۰۸ گرم بر مترمربع) در تیمار کاربرد سالیسیلیک‌اسید مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) با کاربرد مایکوریز (به‌ترتیب ۲٤/۵۷ گرم و ٤۷٦ گرم بر مترمربع) نداشت.

Table 4. Mean square for morphological characteristics and yield and yield components under tow irrigation treatments (Flooding and subirrigation) and inducers (Mycorrhiza , Salicylic Acid and control).

Source of variation	df	Plant height (cm)	Tillers per plant	Fertile tiller	Flag leaf length (cm)	Flag leaf width (cm)	Total panicle weight (g)	Main panicle weight (g)	Main panicle length (cm)	Secondary panicle	Peduncle Length (cm)
Irrigation type (Ir)	1	9.82^{ns}	225.50**	252.81*	12.25^{ns}	0.0001^{ns}	14.09^{ns}	0.058^{ns}	8.60 ^{ns}	5.60**	0.003 ^{ns}
Inducer (In)	2	63.11^{ns}	248.69**	347.63**	27.59^{ns}	0.006^{ns}	899.15**	9.25**	196.33**	2.008 *	19.66**
(Ir) × (In)	2	3.37^{ns}	137.22**	29.64 ^{ns}	10.64^{ns}	0.001^{ns}	50.15^{ns}	0.275 ^{ns}	12.53*	1.241 ^{ns}	0.46 ^{ns}
Error	30	36.83	24.32	45.99	8.77	0.007	48.65	0.56	2.89	0.45	1.71
CV		6.35	17.25	29.63	11.69	6.60	18.17	26.68	5.94	7.11	6.07

Continued table 4. Mean square for morphological characteristics and yield and yield components under tow irrigation treatments (Flooding and subirrigation) and inducers (Mycorrhiza , Salicylic Acid and control).

Source of variation	df	Unfilled grains (%)	Filled grain/ spike	1000-grain weight (g)	Yield (g/m^2)	Biological. yield (Kg.ha^{-1})	Water onsumption (M^3.ha^{-1})	Water roductivity (Kg.M^{-3})	Water Use efficiency (Kg.M^{-3})	Harvest index (%)
Irrigation type (Ir)	1	0.04^{ns}	35595.11^{ns}	0.005^{ns}	553.03^{ns}	614.21^{ns}	293905306. 8**	0.799**	0.157**	7.1^{ns}
Inducer (In)	2	0.26**	347994.11**	216.23**	27901.02^{ns}	12839695.24^{ns}	1284994.7**	0.11*	0.025*	0.19^{ns}
(Ir) × (In)	2	0.01^{ns}	7380.11^{ns}	13.183^{ns}	696.58^{ns}	563945.41^{ns}	668135.2**	0.016^{ns}	0.004^{ns}	1.86^{ns}
Error	30	0.01	21960.04	17.03	10106.89	4490002.94	53492.2	0.027	0.006	4.47
CV		38.26	17.28	17.82	11.34	20.9	20.5	22.11	22.89	4.58

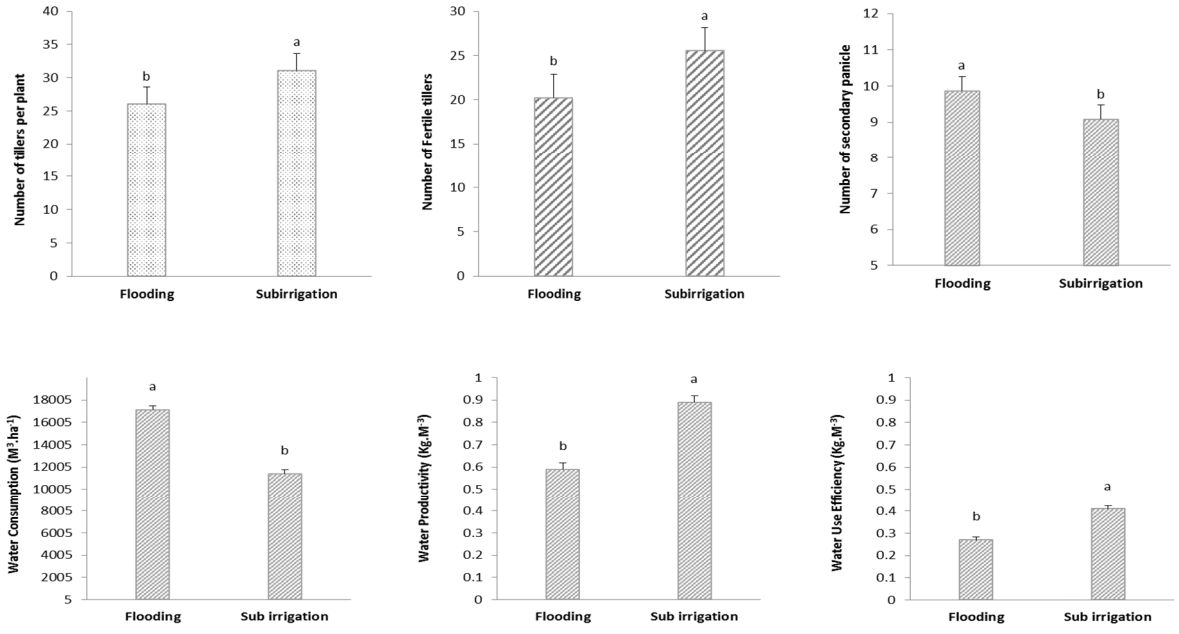

Figure 2. Mean comparison of simple effect of irrigation methods (flooding and sub-irrigation) on (A) Number of tillers per plant (LSD=4.32), (B) Number of fertile tillers (LSD=4.56), (C) Number of secondary panicles (LSD=0.43), (D) Water consumption (LSD=157.45), (E) Water productivity (LSD=0.11) and (F) Water use efficiency (LSD=0.053), in rice CV. Masum. means followed by similar letter are not significant at 5% probability level using least significant difference test (LSD) multiple range.

Table 5. Means comparison for simple effect of Mycorrhiza and Salicylic acid on yield component of rice

Treatment	Tillers per plant	Fertile tiller	Total panicle weight (g)	Main panicle weight (g)	Main panicle length (cm)	Num. of spiklet/spike	Peduncle length(cm)
Control	23.517 b	16.80 b	28.423 b	1.78 b	24.158 c	9 b	20.817 b
Mycorrhiza	32.325 a	27.017 a	42.608 a	3.21 a	29.617 b	9.72 a	20.833 b
Salicylic Acid	32.917 a	24.833 a	44.111 a	3.38 a	32.058 a	9.7 a	23.042 a
LSD (P<0.05)	4.11	5.65	5.82	0.62	1.42	0.56	1.1

Continued table 5. Means comparison for simple effect of Mycorrhiza and Salicylic acid on yield component of rice

Treatment	Unfilled grains (%)	Filled grain /spike	1000-grain weight (g)	Water consumption (M3.ha-1)	Water productivity (Kg.M-3)	Water Use efficiency (Kg.M-3)
Control	0.46 a	772 b	18.385 b	14648.83 a	0.63 b	0.29 b
Mycorrhiza	0. 22 b	1047.50 a	24.572 a	14065.58 b	0.77 a	0.36 a
Salicylic acid	0.19 b	1083.17 a	26.513 a	14100.08 b	0.81 a	0.38 a
LSD (P<0.05)	0.09	139.41	3.44	192.83	0.14	0.065

Means in each column and for each factor followed by similar letter are not significant at 5% probability level using least significant difference test (LSD) multiple range.

در این پژوهش، بررسی اثر تیمارهای القاکننده نشان داد که در هر دو روش آبیاری کاربرد سالیسیلیک‌اسید و مایکوریز در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش عملکرد شد. اگرچه اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) بین اثرات متقابل تیمارها بر میزان عملکرد مشاهده نشد. به‌طورکلی، بیش‌ترین مقدار عملکرد در تیمار آبیاری غرقابی با کاربرد سالیسیلیک‌اسید به‌دست آمد و تیمار آبیاری زیرسطحی همراه با سالیسیلیک و مایکوریز در رتبه دوم بیش‌ترین مقدار عملکرد را نسبت به سایر تیمارها داشتند. مقدار عملکرد در واحد سطح برای روش آبیاری غرقابی برای تیمارهای سالیسیلیک‌اسید، مایکوریز و شاهد به‌ترتیب ۵۱۷۰، ٤٧١٠ و ٤٢٠٢ کیلوگرم بر هکتار بود. در حالی‌که این مقادیر برای روش آبیاری زیرسطحی به‌ترتیب ٤٩٨٥، ٤٨٠٧ و ٤٠٦٣ به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان می‌دهد که اثر القاکننده‌ها در تیمار آبیاری زیرسطحی مشهودتر از تیمار آبیاری غرقابی بوده است. به‌طوری‌که عملکرد محصول در تیمار آبیاری غرقابی با سالیسیلیک‌اسید و مایکوریز به‌ترتیب ۲۳ درصد و ۱۲ درصد بیش‌تر از شاهد در این نوع روش آبیاری بود. و این مقدار برای آبیاری زیرسطحی با کاربرد سالیسیلیک‌اسید و مایکوریز، به‌ترتیب ۲۳ و ۱۷ درصد نسبت به تیمار شاهد در همین نوع آبیاری بود. شاید بتوان این بهبود رشد و عملکرد در تأثیر سالیسیلک‌اسید بر هر دو تیمار آبیاری را به انتقال مواد فتوسنتزی و افزایش در فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز و کربنیک‌آن‌هیدراز مربوط دانست (Fariduddin *et al*., 2003; Hussein *et al*., 2007; Ebrahimzadeh *et al*., 2009).

در این پژوهش، استفاده از تیمار مایکوریز در آبیاری غرقابی نسبت به شاهد (آبیاری غرقابی بدون مایکوریز) موجب افزایش ۱۲ درصدی در عملکرد محصول شد. در حالی‌که کاربرد مایکوریز در شرایط آبیاری زیرسطحی سبب افزایش ۱۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار مشابه در حالت غرقاب بود. یافته‌های سایر پژوهش‌گران نیز نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریزا و شبه‌میکوریزا از طریق هم‌زیستی با ریشه گیاهان به علت بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش جذب آب موجب افزایش معنی‌دار رشد و عملکرد آن‌ها شده است (Lupway *et al*., 2000; Nagarathna, 2007).

براساس یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که اثر القاکننده‌ها در تیمار آبیاری زیرسطحی بیش‌تر از تیمار آبیاری غرقابی بوده است. به‌عبارت دیگر، اثر تلقیح این القاکننده‌ها بر افزایش کارایی سیستم آبیاری زیرسطحی که رطوبتی در حد رطوبت نزدیک به اشباع خاک ایجاد می‌کند

مثبت بود. هم‌چنین بررسی نتایج اثرات متقابل (شکل ۳) نشان داد که بیش‌ترین تعداد پنجه در بوته در تیمار کاربرد مایکوریز و در آبیاری زیرسطحی مشاهده شد. نتایج مشابهی در مورد تأثیر کم‌آبیاری بر افزایش هم‌زیستی ریشه گیاه با قارچ‌های مایکوریز در گیاه ذرت خوشه‌ای (Hamzeie & Sadeghi Meyabadi, 2014) و سویا (Bethenfalway *et al*., 1998) گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد در شرایط کم‌آبیاری، توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و در نتیجه افزایش سطح جذب ریشه‌ها به‌علت نفوذ هیف‌های قارچ در خاک موجب افزایش کارایی جذب آب و عناصر غذایی آلی در ریشه هم‌زیست فراهم می‌آورد (Hamzeie & Sadeghi Meyabadi, 2014).

پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که استفاده از کپسول‌های رسی متخلخل در آبیاری زیرسطحی قادر است با مدیریت حجم و مدت زمان آبیاری، بهره‌وری مصرف آب را افزایش دهد (Siyal & Skaggs, 2009;Bahrami *et al*., 2010). مطابق نتایج جدول (٤) رفتار شاخص‌های بهره‌وری آب تحت تأثیر حجم آب مصرفی و مقدار عملکرد گیاه در تیمار آبیاری و القاگر رشد قرار گرفته است. نتایج نشان داد که حجم آب مصرفی نه تنها تحت تأثیر اثرات ساده نوع آبیاری و کاربرد القاگرها قرار گرفت، بلکه اثرات متقابل آن‌ها نیز تأثیر معنی‌داری بر حجم آب مصرفی داشت (شکل C-۳). به‌طوری‌که در تیمار آبیاری زیرسطحی با سالیسیلیک‌اسید بیش‌ترین کاهش مصرف آب مشاهده شد و انتظار می‌رفت که شاخص‌های بهره‌وری آب در این تیمار بیش‌تر از سایر تیمارها باشد. نتایج جدول (٤) و شکل (۲) مؤید این مطلب است به‌طوری که این اختلاف معنی‌دار در شاخص کارایی مصرف آب (WUE) و شاخص بهره‌وری آب (WP) ملموس است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، عملکرد دانه برنج در روش آبیاری زیرسطحی با القاگر سالیسیلیک‌اسید تنها چهار درصد کم‌تر از عملکرد برنج به همان القاگر در تیمار آبیاری غرقابی بود. درحالی‌که در میزان آب مصرفی به‌روش زیرسطحی در القاگر سالیسیلیک‌اسید نسبت به تیمار آبیاری غرقابی با همان القاگر ۳٤ درصد صرفه‌جویی شده بود.

براساس نتایج این پژوهش، با توجه به کاهش ۳٤ درصدی مصرف آب در کشت برنج به‌روش زیرسطحی، شاخص برداشت کم‌تر از روش آبیاری غرقابی بود، اما این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود و نیز با توجه به این‌که اختلاف عملکرد دانه برنج بین روش‌های آبیاری معنی‌دار نبود. به‌نظر می‌رسد گیاه برنجی که به‌روش زیرسطحی آبیاری شده است به‌علت کاهش مصرف آب برای جبران عملکرد بر تعداد پنجه و پنجه بارور خود افزوده است. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای القاگر رشد به‌ویژه سالیسیلیک‌اسید توانسته میزان تولید را در واحد سطح افزایش دهد هر چند که اختلاف آماری بین آن‌ها با تیمار کنترل مشاهده نشد.

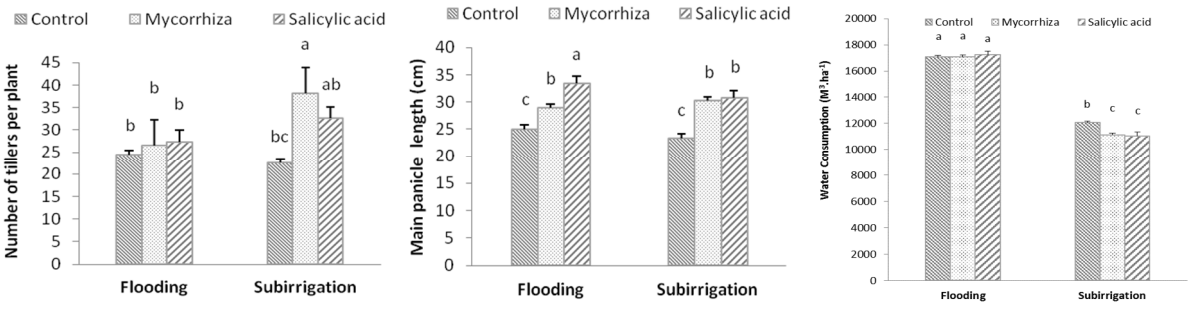

Figure 3. Mean comparison of interaction effect of irrigation methods and growth inducers on (A) Main panicle length, (B) Number of tillers per plant and (C) Water consumption in rice CV. Masum. means followed by similar letter are not significant at 5% probability level using least significant difference test (LSD) multiple range.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش بررسی اثر روش تأمین رطوبت پیوسته نزدیک به اشباع خاک در تلفیق با سایر فناورهای نوین هم‌چون تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج بود. نتایج این پژوهش نشان داد میزان صرفه‌جویی آب در کشت برنج به‌روش سامانه آبیاری زیرسطحی سفالی در مقایسه با روش آبیاری مرسوم، به‌طور متوسط ۳٤ درصد بود. به‌کارگیری القاکننده‌های رشد به‌عنوان تیمار مکمل توانسته بود کارایی این سیستم را در مقایسه با روش مرسوم افزایش دهد. به‌طوری‌که عملکرد محصول در تیمار آبیاری زیرسطحی با سالیسیلیک‌اسید و مایکوریز به‌ترتیب ۲۳ درصد و ۱۷ درصد بیش‌تر از شاهد در این نوع روش آبیاری بود. امروزه کشت برنج در بسیاری از اراضی دشت گرگان و گنبد کاووس به‌دلیل افت سطح ایستابی ناشی از برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی و هم‌چنین بالابودن مصرف آب ممنوع اعلام شده است. با توجه به نتایج این پژوهش روش آبیاری زیرسطحی با نازل سفالی قادر است مصرف آب برای کشت این محصول استراتژیک را به مقدار قابل‌توجه کاهش دهد و لذا در صورت گسترش این تکنیک می‌تواند زمینه کشت برنج را در اراضی کوچک در دشت حاصل‌خیز گنبد کاووس فراهم آورد. از طرفی عمده خرده‌کشاورزان توانایی مالی برای پیاده‌سازی این سیستم آبیاری را در زمینی به متراژ ۲۰۰۰ مترمربع دارند. این مقدار زمین قادر است با تولید ٤۰۰–۳۰۰ کیلوگرم برنج آذوقه یک خانوار پنج نفره را برای یک سال تأمین نماید. ازآنجایی‌که حدود ۹۰ درصد کشاورزان دارای مساحتی کم‌تر از ۵ هکتار هستند و حالت خرده کشاورزی دارند، استفاده از چنین سامانه‌ای در مقیاس کوچک کمک شایانی به تأمین آذوقه برنج سالیانه آن‌ها و ایجاد خودکفایی خانوار در مناطق نیمه‌خشک کشور خواهد داشت. نکته جالب‌تر آن‌که به‌نظر می‌رسد امکان کشت انواع سبزی و صیفی بعد از کشت برنج در زمین مجهز به سامانه آبیاری زیرسطحی با هدف افزایش بهره‌وری مصرف آب وجود دارد. مطالعات در این زمینه بسیار کم است و لزوم پژوهش‌های گسترده‌تر از این حیث احساس می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. Glomus intraradices
2. Glomus mosae
3, GB2
4. LSD (Least significant difference)

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

Abu-Zreig, M.M., Abe, Y., & Isoda, H. (2006). The auto-regulative capability of pitcher irrigation system, *Agricultural Water Management,* 85, 272-278.

Abu-Zreig, M.M., & Atoum, M.F. (2004). Hydraulic Characteristics and Seepage Modeling of Clay Pitchers Produced in Jordan, vol. *Canadian Biosystems Engineering*. 46 (1), 15-20.

Asadi, R., Alizadeh, A., Ansari, H., Kavousi, M., & Amiri, A. (2016). The effect of water and nitrogen intake on yield, yield components and water productivity in two Rice cultivation method. *Water Research in Agriculture,* 30(2), 145-157. (In Persian).

Bahrami, H.A., Ghorbani Vaghei, H., Alizadeh, P., Nasiri, F., & Mahallati, Z. (2010). Fuzzy Modeling of Soil Water Distribution Using Buried Porous Clay Capsule Irrigation from a Subsurface Point Source. *Sensor Letters,* 8(1), 75-80. (In Persian).

Bainbridge, D. A. (2001). Buried clay pot irrigation a little known but a very efficient traditional method of irrigation. *Agricultural Water Management,* 48, 79-88.

Bainbridge, D. A. (2002). Alternative Irrigation Systems for Arid Land Restoration, *Ecological Restoration*, 20 (1), 23-30.

Belder, P., Bouman, B.A.M., Cabangon, R., Guoan, L., Quilang, E.J.P, Yuan Hua, L., Spiertz, J.H.J., & Tuong, T.P. (2004). Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use water in typical lowland conditions in Asia. *Agricultural Water Management,* 65(3), 193-210.

Bethenfalway, G.J., Brown, M.S., Ames, R.R., & Thomas, N.S. (1988). Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhiza soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Plant Physiology,* 72, 565-571.

Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research,* 56, 1159-1168.

Danesh Gilevaei1, M., Samizadeh, H., & Rabiei, B. (2018). Evaluation of Path Analysis for Yield and Yield Components in Rice (*Oryza sativa* L.) Under Normal and Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Breeding* 9(24), 30-39. (In Persian).

Ebrahimzadeh, L., Farahbakhsh, H., & Arvin, S.M.J. (2009). Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) growth and development to exogenous application of plant growth regulators. *Plant Ecophysiology,* 2, 57-61.

Fariduddin, Q., Hayat, S., & Ahmad, A. (2003). Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reducutase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica,* 41(2), 281-284.

Ghamarnia, H. Khosravei, H. Jalili, Z., & Bahramenejad, S. (2015). Investigation of different irrigation systems and water management on yield and water use efficiency of Black cumin. *Water and Irrigation Management*, 5(1), 55-67. (In Persian).

Ghorbani Vaghei, H., Bahrami, H.A., & Nasiri, F. (2016). Dimensional analysis of the soaking pattern of porous clay capsules. *Iranian Water Research Journal* 10 (1), 77-85. (In Persian).

Ghorbani Vaghei, H., Bahrami, H.A., Mazhari, R., & Heshmatpour, A. (2015). The effect of subsurface irrigation with porous clay capsules on quantitative and qualitative characteristics of grape plant. *Soil and Water,* 29(1), 58-66. (In Persian).

Ghorbani vaghei, H., Bahrami, H.A., Alizade, P., & Nasiri saleh, F. (2011). Hydraulic Properties of porous clay capsules and its effect on soil moisture distribution. *Iranian Water Research Journal,* 5(9), 1-10. (In Persian).

Gue, B., Liang, Y.C., Zhu, Y.G., & Zhao, F.J. (2007). Role of salicylic acid in alleviating oxidative damage in rice roots (Oryza sativa) subjected to cadmium stress. *Environmental Pollution,* 147, 743-749.

Haji-boland, R., Ali Asgharzade, N., & Barzegar, R. (2007). The effect of inoculation of rice with two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, phosphorus and potassium uptake and pH change of rhizospher. *Soil and Water Science,* 21(1), 111-120. (In Persian).

Hamzeie, J., & Sadeghi Meyabadi, F. (2014). Effect of irrigation interval and arbuscular mycorrhizal fungi on chlorophyll index, yield and yield components of seed sorghum. *Production and processing of agricultural and horticultural products,* 4(12), 211-220.

Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment, A review. *Environmental and Experimental Botany,* 68, 14-25.

Horvath, E., Pal, M., Szalai, G., Paldi, E., & Janda, T. (2007). Exogenous 4- hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. *Biology Plantarum,* 53, 480-486.

Hussein, M.M., Balbaa, L.K., & Gaballah, M.S. (2007). Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. *Research Journal of Agricultural Biological Science* 3, 321-328.

Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D.C., Jenkins, C.L.D., Condon, A.G., Richards, R.A., & Dolferus, R. (2010). Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant Cell and Environment,* 33, 926-942.

Jini, D., & Joseph, B. (2017). Physiological Mechanism of Salicylic Acid for Alleviation of Salt Stress in Rice. *Rice Science*, 24(2), 97-108.

Katoozi, M., Rahimzade Khoei, F., Rezaei, M., Yarnia, M., & Sabouri, H. (2016). Determine the most suitable rice variety in the tensions of irrigation management. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*, 3(1), 31-44. (In Persian).

Kaydan, D., & Yagmur, M. (2006). Effects of different salicylic acid doses and Treatments on wheat (*Triticum aestivum* L.) and lentil (Lens culinaris Medik.) yield and yieldcomponents. *Agronomy College. Ankara University*, 12, 285-293.

Kazemi, S., Farahmand, E., Pirdashti, H., & Mahmoudi, M. (2017). The effect of coexisting of mycorrhiza-like and mycorrhiza fungi on water use efficiency of corn under different irrigation regimes and phosphorus in different climatic conditions of Mazandaran province. *Journal of Crops Improvement,* 19(2), 371-386. (In Persian).

Khalvati, M., Bartha, B., Arthur Dupigny, A., & Schröder, P. (2010). Arbuscular mycorrhizal association is beneficial for growth and detoxification of xenobiotics of barley under drought stress. *Soils and Sediments*, 10 (1), 54-64.

Kohansal vajargah, F., Amiri, A., Paknejad, F., Vazan, S., Kohansal Vajargah, S., & Moetamedi, M. (2010). Determination of suitable drought resistance indices in rice cultivars. *Plant Improvement Research*, 2(4), 299-313.

Lupway, N.Z., Girma, M., & Haque, I. (2000). Plant nutrient content of cattle manure from small- scale farms and experimental stations in the Ethiopian highlands. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 78, 57-63.

Mashi, A., Galeshi, S., Zeinali, E., & Noorinia, A. (2008). Salinity effect on seed yield and yield components in four Hull-les barley. *Agriculture Science and Naturul Resources*, 14, 1-10. (In Persian).

Mirabolghasemi, M., Ghobadinia, M., Ghasemi, A., & Noori emamzadei, M.R. (2016). The effect of underground irrigation and irrigation management on growth characteristics and yield components of rice in arid and semiarid region. *Soil and Water*, 31(2), 411-421. (In Persian).

Miri, H., Nikan, V., & Bagheri, A. (2011). Effect of intermittent irrigation on yield, yield components and water productivity in direct rice cultivation in kazeroon area. *Production and processing of agricultural and horticultural products,* 2(5), 13-26. (In Persian).

Nagarathna, T.K., Prasad, T.G., Bagyaraj, D.J., & Shadakshar, Y.G.I. (2007). Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in sunflower at different soil moisture stress. *Agricultural Technology*, 3(2), 221-229.

Nie, L., Peng, S., Chen, M., Shah, F., Huang, J., Cui, K., & Xiang, J. (2012). Aerobic rice for water saving agriculture, a review. *Agronomy for Sustainable Developmen*, 32(2), 411-418.

Rezaee Estakhroye, A., Sedaghat, M., Arabzadeh, B., & Sayari, N. (2016). The effect of irrigation methods on yield and yield components of rice plant (Shiroodi cultivar). *Journal of Water and Irrigation Management*, 6(2), 193-204. (In Persian).

Rezaei, M., Motamed, M.K., Yousefi, A., & Amiri, A. (2010). Evaluation of different irrigation managements on rice yield. *Water and Soil*, 24, 565-573. (In Persian).

Ruiz-Sanchez, M., Aroca, R., Muñoz, Y., Polón, R., and Ruiz-Lozano, J.M. (2010). The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Plant Physiology*, 167 (11), 862-869.

Sabouri, H., Ghorbani Vaghei, H., Jafarzade Razmi, M., Rezaei, M., Katozi, M., & Sanchouli, S. (2019). Variation of Agronomic Traits and Chlorophyll Fluorescence of Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes Using Subirrigation. *Journal of Crop Ecophysiology*, 13(50(2)), 251-268. (In Persian).

Safaee, S., Samie zade, H., Isfahani, M., & Rabiei, B. (2008). Correlation of agronomic traits under optimum irrigation conditions and moisture stress in rice. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 13(48), 91-105. (In Persian).

Sedaghat, N., Pirdashti, H.A., Asadi, R., & Mosavi Taghani, Y. (2014). The Effect of Irrigation Methods on Water Productivity in Rice. *Water Research in Agriculture,* 28(1), 1-9. (In Persian).

Shamsali, L., Biabani, B., Ghorbani Vaghei, H., & Taliei, F. (2018). Investigating the effects of cultivation dates and irrigation systems on some agronomic properties of rice in Gonbad Kavous. *Journal of Water and Irrigation Management*, 8(1), 27-38. (In Persian).

Siyal, A.A., & Skaggs, T.H. (2009). Measured and Simulated Soil Wetting Patterns under Porous Clay Pipe Sub-Surface Irrigation. *Agricultural Water Management,* 96(6), 893-904.

Souroush, H. R., Mesbah, M., & Hossein zade, A. (2004). Studying the Relationship between Yield and Yield Components in Rice. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(4), 983-993. (In Persian).

Thanh, T.L., Thumanu, K., Wongkaew, S., Boonkerd, N., Teaumroong, N., Phansak, P., & Buensanteai, N. (2017). Salicylic acid-induced accumulation of biochemical components associated with resistance against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in rice. *Journal of Plant Interactions*, 12(1),108-120.

Wu, Q., & Zou, Y. (2009). Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought stressed citrus. *Plant Soil and Environment*, 55 (10), 436-442.

Yeasmin, T., & Zamani, P. (2007). Arbuscular mycorrhizal fungus inoculum production in rice plants. *African Journal of Agricultural Research*, 2(9), 463-467.