تأثیر کاربرد کودهای پتاسیمی بر فلورسانس کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) رقم طارم هاشمی در شرایط کم‌آبیاری تنظیم‌شده

سید حسین محسنی[۱]، محمدعلی اسماعیلی[۱]، همت‌اله پیردشتی[۲*]، رحمت عباسی[۱]، مرتضی نصیری[۳]

[۱] گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[۲] گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

[۳] پژوهشگاه مؤسسه تحقیقات برنج، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و کشاورزی، آمل

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۵/۳۰)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و کارایی انواع کودهای پتاسیمی بر بهبود میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در برنج (رقم طارم هاشمی)، پژوهشی مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۵ در دو ایستگاه مؤسسه تحقیقات برنج (آمل) و مزرعه الگویی واقع در شهرستان سوادکوه به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. روش‌های مختلف آبیاری در دو سطح (غرقاب کامل و غرقاب‌نمودن پس از کاهش ارتفاع آب به پایین‌تر از ۱۰ سانتی‌متر) و کاربرد کودهای پتاسیمی، شامل پتاسیم سولفات، پتاسیم کلرید و کود زیستی، در نه سطح بودند. براساس یافته‌ها، با اعمال کم‌آبیاری میزان کلروفیل a، b، a+b، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر، سرعت انتقال الکترون در فتوسیستم II (ETR) و عملکرد شلتوک در مقایسه با تیمار آبیاری غرقاب به‌طور معنی‌داری در هر دو ایستگاه کاهش یافت. این پژوهش حاکی از اثر مثبت تیمارهای کاربرد کود پتاسیم در شرایط کم‌آبی از طریق افزایش معنی‌دار محتوی کلروفیل و شاخص خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) بود. بیشترین میزان عملکرد شلتوک از برهمکنش تیمارهای آبیاری غرقاب و کاربرد ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت سرک، معادل ٤٩٤٥ و ٤٧٧٠ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در ایستگاه‌های آمل و سوادکوه به‌دست آمد. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد شلتوک با صفات محتوی کلروفیل a، کلروفیل کل، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) و ETR می‌توان اظهار داشت که تیمار کاربرد ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت سرک بیشترین کارایی را از لحاظ صفات مورد بررسی به‌ویژه در شرایط کم‌آبی داشت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پتاسیم سولفات، کارایی کوانتومی فتوسیستم II، پتاسیم کلرید

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) محصولی است که از نظر اهمیت و سطح زیرکشت بعد از گندم در رتبه دوم جهان قرار دارد (FAO, 2015). در ایران نیز، سطح زیرکشت این محصول در سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ در حدود ۵۳۰ هزار هکتار با میانگین عملکرد ٤٤۳۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، ۱۳۹٤). امروزه مهم‌ترین چالش در رابطه با تولید برنج، افزایش بهره‌وری آب و تولید برنج بیشتر با آب

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: h.pirdashti@sanru.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

کمتر است، چرا که این گیاه با مصرف بیش از ۸۰ درصد کل منابع آب در آسیا به‌عنوان بزرگترین مصرف‌کننده آب بین همه محصولات کشاورزی شناخته شده است (Mohd Zain and Ismail, 2016). از سوی دیگر، راندمان آبیاری در کشت برنج نیز نسبت به دیگر غلات بسیار کمتر است، به‌طوریکه برای تولید یک کیلوگرم برنج بیش از سه برابر گندم آب لازم است (Mahajan, 2008). بر این اساس، استفاده از روش‌های جدید مدیریت آبیاری در جهت افزایش بهره‌وری در مصرف آب و کاهش هزینه پروژه‌های آبیاری امری اجتناب‌ناپذیر است (یوسفیان، ۱۳۸۹). آبیاری به روش خشک و مرطوب‌شدن متناوب (Alternate wetting and drying) روشی است جهت کاهش مصرف آب و نیز جلوگیری از اثرات مضر روش غرقاب دائم (Flooding irrigation) در شالیزار، به معنای رساندن آب به‌طور دوره‌ای و با فواصل معین، به‌طوریکه در ایـن روش به‌جای اینکه مزرعه در طول دوره رشد به طور دائم در حالت غرقاب باشد، به‌صورت متناوب به مزرعه خشکی اعمال می‌شود (عرب‌زاده و آقاجانی، ۱۳۸۱؛ صداقت و همکاران، ۱۳۹۳).

از سوی دیگر، موفقیت در تولید برنج بستگی به فراهم نمودن حاصل‌خیزی مناسب خاک با استفاده متعادل از کودهای شیمیایی و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه دارد (Bakhshandeh *et al.*, 2017b). پتاسیم از عناصر پرمصرف مورد نیاز گیاهان بوده و از نظر میزان جذب در گیاه برنج با نیتروژن برابری می‌کند (میرنیا و محمدیان، ۱۳۸٤). بیشترین نقش این عنصر در برنج شامل افزایش سطح برگ، افزایش میزان کلروفیل، تأخیر در ریزش برگ‌ها (ملکوتی و کاووسی، ۱۳۸۳)، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی (Mohd Zain and Ismail, 2016)، افزایش بهره‌وری آب (کریمی مریدانی، ۱۳۹۳)، افزایش استحکام ساقه و کاهش ورس (Kong *et al.*, 2014) است. اغلب خاک‌ها دارای مقادیر نسبتاً زیادی پتاسیم کل هستند، به‌طوریکه میزان پتاسیم در خاک حدود شش برابر مقدار نیتروژن و ١٦ برابر فسفر است (کریمی مریدانی، ۱۳۹۳). با این وجود، تنها بخش بسیار ناچیزی (حدود دو درصد) از پتاسیم موجود در خاک برای گیاهان قابل استفاده است (Yaghoubi Khanghahi *et al.*, 2017). لذا به منظور تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه، این عنصر بایستی به طریقی از شکل‌های تثبیت‌شده و معدنی به شکل‌های تبادلی و محلول تبدیل شود (دردی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). در همین راستا، مشاهده شده است که حتی در مزارعی که نتیجه تجزیه خاک آنها مقادیر پتاسیم قابل جذب را بسیار بیشتر از حد بحرانی نشان می‌دهد، علائم کمبود پتاسیم مشاهده می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط غرقابی و احیایی، ریشه برنج قادر نیست از پتاسیم موجود در خاک استفاده نماید (ملکوتی و افخمی، ۱۳۷۸). به‌عبارت دیگر، در اراضی غرقابی به‌علت عدم‌تهویه مناسب و وجود گاز هیدروژن سولفید که نتیجه تجزیه و تخمیر ناقص مواد آلی است، جذب پتاسیم به کندی صورت می‌گیرد. همچنین، شستشوی پتاسیم نیز در اینگونه خاک‌ها زیاد بوده و لذا مصرف پتاسیم در این گونه خاک‌ها ضرورت دارد (کریمی مریدانی، ۱۳۹۳).

نتایج پژوهش‌ها روی برنج (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵) و ذرت (کاظمی، ۱۳۹۵) حاکی از تأثیر مثبت کاربرد کود بر بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط کم‌آبیاری بود. در همین راستا، گزارش گردید کمبود پتاسیم در گیاه موجب کاهش فتوسنتز خالص و کاهش چشمگیر عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد (ملکوتی و افخمی، ۱۳۷۸). نتایج پژوهش‌های دیگری حاکی از اثر معنی‌دار کاربرد پتاسیم بر ماده خشک کاه و عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد در برنج بود (Qi-chun *et al.*, 2011; اسدی‌صنم و همکاران، ۱۳۹۳). در آزمایش‌های دیگری نشان داده شد که کود پتاسیم تأثیر مثبتی در پرشدن دانه‌ها و افزایش میزان عملکرد دانه دارد در حالیکه کمبود آن موجب عقیمی گرده‌ها و کاهش تعداد دانه‌های پرشده در برنج می‌گردد (Pirdashti *et al.*, 2004). براساس گزارش‌ها، کودهای پتاسیم سولفات و پتاسیم کلرید از کودهای رایج پتاسیمی هستند که با کارآیی یکسانی در برنج غرقابی، قابل کاربرد هستند (محمدیان، ۱۳۹۵). به‌طوریکه گزارش گردید مصرف کود پتاسیم کلرید به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

دلیل ارزان‌تر بودن و افزایش ۱۰ تا ۱۵ درصدی محصول در مقایسه با پتاسیم سولفات ارجحیت داد (ملکوتی و کاووسی، ۱۳۸۳). اعمال آبیاری تناوبی نیز، ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، از پیدایش شرایط مزبور در خاک جلوگیری کرده و راندمان مصرف پتاسیم را افزایش می‌دهد (Dobermann *et al.*, 1996).

امروزه با توجه به افزایش هزینه‌های نهاده‌های مصرفی و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، استفاده از کودهای زیستی در جهت بهبود تأمین عناصر غذایی برای رسیدن به کشاورزی پایدار امری ضروری است (Park *et al.*, 2010). بنا به تعریف، کود زیستی متشکل از یک یا چند نوع ریزجاندار مفید به همراه مواد نگهدارنده و یا فرآورده‌های متابولیکی آنها است که به‌منظور تأمین عناصر غذایی گیاهان استفاده می‌شود (Vessy, 2003). ریزجانداران مختلف قادرند سیلیکات‌ها را تجزیه کرده و عناصری چون پتاسیم، فسفر، آهن، روی و سیلیسیم را آزاد کنند که در این میان باکتری‌ها از اهمیت بیشتری برخوردارند (Parmar and Sindhu, 2013). از این باکتری‌ها که به باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات معروفند کود زیستی پتاسیم تهیه می‌گردد (Yaghoubi Khanghahi *et al.*, 2017).

براساس آنچه گفته شد و با توجه به تشدید پدیده کم‌آبی در استان‌های شمالی به‌عنوان اصلی‌ترین مناطق تولید برنج و همچنین مصرف بالای آب در اراضی شالیزاری (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵)، لزوم بازنگری در چگونگی ارائه و مدیریت آب در این اراضی، جهت به حداقل رساندن تأثیرات مخرب تنش کم‌آبی بر گیاه برنج و بالابردن تولید محصول آن، بیش از همیشه احساس می‌شود. از سوی دیگر، کاربرد کودهای پتاسیمی در اراضی شالیزاری نسبت به سایر کودهای پرمصرف بسیار ناچیز است (Yaghoubi Khanghahi *et al.*, 2017) و این در حالی است که اثر این کودها در شرایط کم‌آبیاری بر گیاه برنج و خواص کمی و کیفی محصول آن نیز حائز اهمیت است. به‌ویژه اگر همراه با این بررسی، میزان اثربخشی انواع کودهای پتاسیمی مصرفی رایج و شیوه‌های کاربرد آنها نیز بر صفات مورد بررسی گیاه برنج مشخص گردد. بنابراین، در این تحقیق اثر کاربرد انواع کودهای شیمیایی و زیستی پتاسیمی بر فلورسانس، مقدار و محتوی کلروفیل برگ برنج رقم طارم هاشمی در دو منطقه در رژیم‌های مختلف آبیاری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ در دو مکان واقع در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران (آمل) با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و در مزرعه الگویی واقع در روستای آهنگرکلای شهرستان سوادکوه شمالی با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ٥٤ دقیقه شرقی به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در کرت اصلی دو سطح آبیاری شامل غرقاب کامل و آبیاری به روش خشک و مرطوب‌شدن متناوب در نظر گرفته شد. تا ١٤ روز بعد از نشاکاری هر دو روش آبیاری همانند روش معمول (غرقاب کامل) بود. سپس در تیمار آبیاری غرقابی، این شیوه ادامه و در تیمار خشک و مرطوب شدن متناوب، پس از کاهش ارتفاع آب به پایین‌تر از ۱۰ سانتی‌متر از سطح خاک، آبیاری مجدد مزرعه انجام گرفت. بدین‌منظور از روش ابداعی مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج ایری (IRRI, 2005) در اجرای روش آبیاری خشک و تر نمودن متناوب زمین استفاده گردید. در این روش لوله‌های پلاستیکی منفذدار به ارتفاع ٤٠ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر در خاک شالیزار در کرت‌ها قرار داده شد، به‌نحویکه حداقل ۱۰ سانتی‌متر آن در بالای سطح خاک قرار گرفت و سپس تمامی گل و لای موجود در آن تا انتهای عمق لوله در داخل زمین تخلیه گردید (شکل ۱). ارتفاع آب در داخل هر کرت، از طریق لوله‌های نصب‌شده در داخل زمین اندازه‌گیری و سپس در صورت نیاز و براساس تیمار تعریف‌شده و با توجه به میزان بارندگی (جدول ۱)، آبیاری به‌صورت غرقاب (پنج سانتی‌متر بالای سطح خاک) انجام و بلافاصله شماره کنتور خوانده و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]



شکل ۱- لوله‌های مشبک کار گذاشته‌شده در کرت‌ها جهت اعمال تیمار کم‌آبیاری

جدول ۱- آمار هواشناسی در طول دوره رشد برنج (بازه زمانی اول اردیبهشت تا سی و یکم مرداد ۱۳۹۵)

منطقه	مجموع ساعات آفتابی	مجموع بارندگی (میلی‌متر)	متوسط رطوبت نسبی (درصد)	متوسط درجه حرارت (سانتی‌گراد)
مؤسسه تحقیقات برنج کشور- آمل	۸۰۹/۲	۱۱۷/۰	۷۸/۳	۲٤/٦٦
شهرستان سوادکوه شمالی	٥۰٦/۷	٤٤۰/٦	۸۰/۳	۲۱/۲۲

میزان آبیاری برحسب لیتر ثبت گردید. با توجه به اهمیت زیاد آب در مرحله گلدهی و به‌منظور جلوگیری از عقیم‌شدن سنبلچه‌ها، یک هفته قبل تا یک هفته بعد از گلدهی مزرعه به صورت غرقاب درآمد (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵).

کرت فرعی شامل نه سطح کاربرد مقادیر مختلف کودهای پتاسیمی بود (جدول ۲). کودهای پتاسیم سولفات و پتاسیم کلرید از کودهای رایج پتاسیمی هستند که با کارآیی یکسانی در زراعت برنج مورد استفاده قرار می‌گیرند (عرفانی، ۱۳۹۵). کود زیستی پتاسیمی مورد استفاده، تولید شرکت زیست‌فناور سبز و شامل دو جدایه سودوموناس کورینسیس (*Pseudomonas koreensis*) و سودوموناس ونکوورنسیس (*Pseudomonas vancouverensis*) بود (به‌صورت پودر، 10^{6} CFU ml^{-1}). جهت تلقیح با باکتری گیاهچه‌های برنج پیش از نشاکاری به‌مدت پنج ساعت در محلول حاوی کود زیستی قرار گرفتند (Bakhshandeh *et al*., 2017a). همچنین، کاربرد کود پتاسیمی به‌عنوان سرک در مرحله پنجه‌زنی صورت گرفت.

در این پژوهش از رقم طارم هاشمی استفاده شد. این رقم جز ارقام زودرس و پابلند بوده که در رده ارقام کیفی و با عملکرد پایین قرار می‌گیرد و بیشترین سطح زیرکشت برنج را در سطح استان مازندران (حدود ٤۱ درصد) به خود اختصاص داده است (آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، ۱۳۹٤). انتقال و کاشت نشاها در زمین اصلی (شالیزار) برای ایستگاه مؤسسه تحقیقات برنج، در تاریخ ۲٤ اردیبهشت و برای ایستگاه سوادکوه شمالی، در تاریخ ۱۸ اردیبهشت انجام گرفت. نشاها در مرحله سه الی چهار برگی، زمانی که ارتفاع نشاها به ۲۰ سانتی‌متر رسید، به‌صورت تک‌خال و با فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر به زمین اصلی انتقال داده شدند. علاوه بر این، وجین دستی در دو مرحله و مبارزه با آفات و بیماری‌های برنج براساس دستورالعمل فنی مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام پذیرفت. ابعاد کرت‌ها ۳ × ۲ متر بوده و جهت جلوگیری از نفوذ آب بین کرت‌ها، فاصله بین کرت‌های داخلی نیم متر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر تعیین و با پوشش نایلونی کلیه مرزها عایق‌بندی گردید. کودهای نیتروژن و فسفر براساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۳) و توصیه مؤسسه تحقیقات برنج

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

جدول ۲- سطوح مختلف تیمار کاربرد کودهای پتاسیمی به‌کار رفته در پژوهش

سطح	کود پتاسیم سولفات	کود پتاسیم کلرید	کود زیستی
F1	–	–	–
F2	۱۰۰٪ به‌صورت پایه	–	–
F3	۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک	–	–
F4	–	۱۰۰٪ به‌صورت پایه	–
F5	–	۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک	–
F6	–	–	٪۱۰۰
F7	۵۰٪ به‌صورت پایه	–	٪۱۰۰
F8	–	۵۰٪ به‌صورت پایه	٪۱۰۰
F9	۵۰ ٪ به‌صورت پایه	۵۰ ٪ به‌صورت سرک	–

جدول ۳- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دو منطقه آمل و سوادکوه شمالی

منطقه	بافت خاک	کربن آلی (درصد)	اسیدیته کل اشباع	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
						(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	
ایستگاه مؤسسه تحقیقات برنج آمل	سیلتی- لومی	۳/۳	٦/۹۷	۱/۹٤	۰/۲۳	٦/۵	۱٤۰
ایستگاه سوادکوه شمالی	سیلتی- لومی- رسی	۲/۸۷	۷/۲۸	۱/۲٤	۰/۱۷	٦/۰	۱۳۹

کشور به‌صورت یکنواخت در کلیه کرت‌ها مصرف گردید. بر این اساس، ۱۲۵ و ۱۳۵ کیلوگرم کود اوره و ۸۰ و ۱۱۰ کیلوگرم کود فسفاته از منبع سوپرفسفات تریپل، به‌ترتیب در ایستگاه‌های معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور و ایستگاه سوادکوه شمالی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، میزان کودهای پتاسیم سولفات (۵۰٪ K_2O) و پتاسیم کلرید (٦۰٪ K_2O) برای ایستگاه مؤسسه تحقیقات برنج، به‌ترتیب ۱۱۵ و ۱۰۰ کیلوگرم و در ایستگاه سوادکوه شمالی ۱۳۵ و ۱۲۰ کیلوگرم جهت اعمال تیمارهای کاربرد کود شیمیایی پتاسه در نظر گرفته شد.

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان سبزینگی برگ: برای اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی یک هفته قبل از گلدهی گیاه شش عدد پانچ از برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته برنج تهیه و در ۸ میلی‌لیتر متانول غوطه‌ور و به‌مدت ۲٤ ساعت در تاریکی و دمای اتاق قرار گرفتند. سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytic jena - SPEKOL 1300)، میزان نور جذبی محلول در طول‌موج‌های ٦٦۵/۲، ٦۵۲/٤ و ٤۷۰ نانومتر خوانده و ثبت شد. درنهایت میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به‌ترتیب با استفاده از روابط ۱ تا ٤ محاسبه گردید (Porra, 2002).

$$Chl_a\ (\mu g/ml) = 16.72\ A_{665.2} - 9.16\ A_{652.4} \quad (۱)$$

$$Chl_b\ (\mu g/ml) = 34.09\ A_{652.4} - 15.28\ A_{665.2} \quad (۲)$$

$$Chl_{(a+b)}\ (\mu g/ml) = c_a + c_b \quad (۳)$$

$$Car = (1000\ A_{470} - 1.8\ C_a - 85.02\ C_b)/198 \quad (٤)$$

در این رابطه‌ها C_a، C_b و $C_{(a+b)}$ به‌ترتیب کلروفیل a، b و کلروفیل کل و $A_{665.2}$، $A_{652.4}$، A_{470} میزان نور جذبی محلول در طول‌موج‌های ٦٦۵/۲، ٦۵۲/٤ و ٤۷۰ نانومتر است. جهت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

اندازه‌گیری میزان سبزینگی برگ نیز از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502, Minolta, Japan) استفاده گردید. اندازه‌گیری از شش نقطه برگ کاملاً توسعه‌یافته در مرحله گلدهی انجام و میانگین اعداد به‌دست آمده به‌عنوان عدد نهایی در محاسبه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

فلورسانس کلروفیل: در زمان یک هفته قبل از گلدهی اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل در آخرین برگ توسعه‌یافته با دستگاه فلورومتر (PAM 2500, Walz, Germany) و براساس روش Genty و همکاران (۱۹۸۹) صورت گرفت. بدین‌منظور، برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵). فلورسانس حداقل (F_o) با همه مراکز واکنشی باز فتوسیستم II، توسط نور با شدت پایین (۰/۱ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) و فلورسانس حداکثر (F_m) با تابش پالس اشباع نوری (۸۰۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) به‌مدت یک ثانیه در برگ‌های سازگار به تاریکی تعیین شد. سپس با تابش نور مرئی سفید رنگ (٦٨٥ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) میزان فلورسانس پایدار (F_t) ثبت و مجدداً پالس اشباع نوری (۸۰۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) اعمال و میزان فلورسانس حداکثر (F_m) در برگ‌های سازگار به روشنایی تعیین شد. سپس فلورسانس حداقل در مرحله روشنایی (F_o) با تابش نور قرمز دور ثبت گردید. با استفاده از پارامترهای تعیین‌شده در برگ‌های سازگار به تاریکی و روشنایی میزان فلورسانس حداقل (F_o)، فلورسانس حداکثر (F_m)، فلورسانس متغیر (F_v)، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m)، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NPQ))، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NO))، خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ) و سرعت انتقال الکترون در فتوسیستم II (ETR) محاسبه گردید (Li *et al.*, 2008).

بوته‌ها در مرحله رسیدگی کامل محصول، با در نظرگرفتن اثر حاشیه‌ای (دو مترمربع از متن هر کرت) برداشت و خرمن‌کوبی شده و میزان عملکرد نهایی دانه آن براساس رطوبت ١٤ درصد محاسبه و برحسب کیلوگرم بر هکتار گزارش گردید. بر این اساس، مرحله برداشت در ایستگاه‌های مؤسسه تحقیقات برنج و سوادکوه شمالی، به‌ترتیب مصادف با ۲۵ و ۲۸ مرداد بود. سپس بهره‌وری مصرف آب، از نسبت عملکرد شلتوک بر مجموع میزان آب آبیاری و بارندگی در طول فصل رشد، محاسبه گردید (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵). در پایان، داده‌ها پس از آزمون نرمال‌بودن با نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه و تحلیل و میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. پیش از انجام آنالیز میانگین مربعات و به‌منظور تعیین یکنواختی و متجانس‌بودن واریانس اشتباه آزمایش‌های مختلف از آزمون بارتلت استفاده گردید (کاظمی، ۱۳۹۵).

نتایج

از آنجایی‌که آزمون همگنی واریانس آزمایش (بارتلت) دلالت بر عدم‌یکنواختی واریانس آزمایش برای صفات مورد مطالعه در این پژوهش (به غیر از عدد کلروفیل‌متر و نسبت کلروفیل a/b) در دو منطقه داشت، لذا صفات مورد مطالعه در هر مکان به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ٤).

براساس تجزیه و تحلیل میانگین مربعات صفات مورد مطالعه، اثرات متقابل کم‌آبیاری و تیمار کاربرد کود بر میزان صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b، میزان کارتنوئید، Fo، ETR، عملکرد شلتوک و بهره‌وری مصرف آب در هر دو ایستگاه و بر صفات Fm، Y(NPQ) و NPQ، در ایستگاه سوادکوه اثر معنی‌داری داشت. همچنین، تیمار کم‌آبیاری اثر معنی‌داری بر صفات عدد کلروفیل‌متر، Fm، Fv، Y(NPQ)، Y(NO) و NPQ، در ایستگاه آمل و بر صفات Fv و Y(NPQ)، در ایستگاه سوادکوه داشت. تفاوت بین انواع کود پتاسیمی نیز از نظر صفات مرتبط با رنگیزه‌های فتوسنتزی، در هر دو ایستگاه و NPQ، در ایستگاه آمل و Y(NO) در ایستگاه سوادکوه معنی‌دار بود (جدول ٥، ٦، ٧ و ٨).

ایستگاه مؤسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران (آمل): براساس یافته‌ها، با اعمال تیمار کم‌آبیاری میزان عدد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

جدول ٤- آزمون همگنی واریانس (آزمون بارتلت) در دو منطقه آمل و سوادکوه شمالی

صفات	کای اسکوار بارتلت	صفات	کای اسکوار بارتلت
کلروفیل a	۱۳/۵۷ **	حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)	۲۲/۸۷ **
کلروفیل b	۱٤/۳۰ **	کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NPQ))	۱۱/۷۰ **
کلروفیل a+b	۱۹/۵۲ **	کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II (Y(NO))	٦٤/۰٤ **
کلروفیل a/b	۱/۹٤ ns	خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ)	۸۸/۵۵ **
کارتنوئید	۳/۵۲ *	سرعت انتقال الکترون در فتوسیستم II (ETR)	۲۳۵/۳۹ **
فلورسانس حداقل (Fo)	٦۳/۹۳ **	عدد کلروفیل‌متر (SPAD)	۱/۷۹ ns
فلورسانس حداکثر (Fm)	۹۳/۱۰ **	عملکرد شلتوک	۲۰۵/۷۵ **
فلورسانس متغیر (Fv)	۹۰/۷۱ **	بهره‌وری مصرف آب	۲۷۱/٤٦ **

**** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد است.**

جدول ۵- میانگین مربعات اثر تیمارهای کم‌آبیاری و کاربرد کود پتاسیمی بر میزان عدد کلروفیل‌متر، کلروفیل a، b، کل، a/b و کارتنوئید در برنج در ایستگاه مؤسسه تحقیقات برنج

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عدد کلروفیل‌متر	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلروفیل a/b	کارتنوئید
تکرار	۲	٤/۰۳٦ ns	۱/۵٤۳ ns	۰/۰۲۸ ns	۱/۹۲۸ ns	۰/۰٦۳ ns	۰/۰٤٦ ns
آبیاری (A)	۱	۲۲/۳۳۷ *	۲۱/۸۰٦ *	۱/۹۳۱ **	۳٦/۷۱٤ *	۰/۱۳۸ ns	۲/۹۱۱ *
خطای A	۲	۲۰/۷۳۲	۰/٦۱٦	۰/۰۱٤	۰/٦۸۵	۰/۱۹۱	۰/۰۵۰
کود پتاسیمی (B)	۸	٤/۳۲۹ ns	۳/۵۰۳ **	۰/۷۰۳ **	۵/۵۹۳ **	۱/۲۹۰ **	۰/۳۳٤ **
B × A	۸	۱/۱٤٤ ns	۲/۲٤۳ **	۰/۲۲۷ **	۳/٦۸۲ **	۰/۱۷۹ *	۰/۲۷۰ **
خطای کل	۳۲	٤/۱٤۵	۰/۰۹۹	۰/۱۹۳	۰/۷٦۰	۰/۰۳۹	۰/٦٦۷
ضریب تغییرات		۱۱/۷۲	۱۰/۹۰	۷/۳۸	۸/۲٤	۸/٦٦	٤/۵۱

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار است.**

کلروفیل‌متر، Fm و Fv در مقایسه با تیمار آبیاری غرقاب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. میزان صفات یادشده در تیمار کم آبیاری با کاهش ارتفاع آب به ۱۰ سانتی‌متری عمق خاک، به‌ترتیب ۵/۲، ۵ و ۵/٦ درصد کمتر از روش آبیاری غرقاب بود. از سوی دیگر، میزان Y(NPQ)، Y(NO) و NPQ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوریکه میزان آنها در تیمار کم‌آبیاری، به‌ترتیب ٦/٦، ۹/۱ و ۱۹/۱ درصد بیشتر از تیمار آبیاری غرقاب بود. مطابق نتایج، بین تیمار کم‌آبیاری و آبیاری غرقاب تفاوت معنی‌داری از لحاظ میزان Fv/Fm وجود نداشت. سطوح مختلف تیمار کاربرد کود پتاسیمی اثر معنی‌داری بر میزان عدد کلروفیل‌متر، Fm، Fv، Y(NPQ) و Y(NO) نداشت اما میزان NPQ را در مقایسه با تیمار بدون کاربرد کود به‌طور معنی‌داری افزایش داد. بر این اساس، بیشترین میزان NPQ، معادل ۱/۵۸ از تیمار F9 حاصل شد (جدول ۹).

مطابق نتایج، بیشترین میزان کلروفیل a و a+b از ترکیب تیماری آبیاری غرقابی و تیمار F8، به‌ترتیب به میزان ۱۱/٦ و۱٤/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ، حاصل شد که به‌طور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

جدول ٦- میانگین مربعات اثر تیمارهای کم‌آبیاری و کاربرد کود پتاسیمی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل در برنج در ایستگاه آمل

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Y(NPQ)	Y(NO)	NPQ	ETR
		۰/۰۱٦ ns	۰/٤۳۱ ns	۰/۳۳۱ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۲۲٥ ns	٤/۷۳۸ ns
آبیاری (A)	۱	۰/۰۱۹ ns	۱/۱۳۷ *	۰/۸٦۳ *	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰٥ *	۰/۰۰۳ *	۰/٥۲۱ *	۱۱/۹٤۰ *
خطای A	۲	۰/۰۰۲	۰/۲۰٤	۰/۲٤۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/٤۷۷	۰/۲۸٥
کود پتاسیمی (B)	۸	۰/۰۰٤ ns	۰/۱۱٤ ns	۰/۰۸٥ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/٥۹۱ *	۰/۳۸٤ ns
B × A	۸	۰/۰۰۹ *	۰/۰٤۰ ns	۰/۰٤۱ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۲۹۲ ns	۱/۲۰۲ *
خطای کل	۳۲	۰/۰۰۲	۰/۱٥۸	۰/۱٤۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰٤٤	۰/۳٥۱
ضریب تغییرات		۳/٤۹	٦/۷۳	۸/۳۷	۲/۳۷	۱۱/۳٥	۹/٥٥	۱٤/٤۷	۹/۳۰

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار است.**

جدول ۷- میانگین مربعات اثر تیمارهای کم‌آبیاری و کاربرد کود پتاسیمی بر میزان عدد کلروفیل‌متر، کلروفیل a، b، کل، a/b و کارتنوئید در برنج در ایستگاه سوادکوه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عدد کلروفیل‌متر	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلروفیل a/b	کارتنوئید
تکرار	۲	٤/٦۹۷ ns	۰/۰۲۱ ns	۰/۰۲٦ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۳٥۸ ns	۰/۱۹٤ ns
آبیاری (A)	۱	۱۲/۹۰۷ ns	٥/٤۹۱ ns	۱/۱۱۳ **	۱۱/٥٤۸ *	٦/٤٦٦ *	۰/۹۷٥ ns
خطای A	۲	٤/٦۲۷	۰/٤۰۹	۰/۰۱۸	۰/٤۸۲	۰/۱۳۱	۰/۱۹۸
کود پتاسیمی (B)	۸	۱۰/۳۱۲ ns	۱/۹۳٥ **	۰/۲۰۸ **	۲/٥۲۳ **	۲/۹۷٦ **	۰/۳۲۹ **
B × A	۸	۰/٦۷۰ ns	۰/۲۷۲ **	۰/۰٦۸ **	۰/۳۷۸ **	۱/٦۹٤ *	۰/۰٤۸ **
خطای کل	۳۲	٥/۲۸۱	۰/٥۰٦	۰/۰۱۲	۰/٥۰۹	۰/۳۱۲	۰/۰۹۳
ضریب تغییرات		٥/۱۸	۷/۰۰	٦/۱۱	٥/۹۷	۹/٦٦	۷/۳۷

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار است.**

معنی‌داری بیشتر از تیمار F1 در آبیاری غرقاب کامل بود. با این وجود، بیشترین میزان کلروفیل a و a+b در روش غرقاب کامل مربوط به تیمار F7 بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار F1 در همین روش آبیاری داشت. در همین راستا، بیشترین میزان کارتنوئید و نسبت کلرفیل a/b نیز از تیمار F7 در هر دو روش آبیاری غرقاب کامل (به‌ترتیب معادل ۲/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و ٤/٦) و کم‌آبیاری (معادل ۲/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ ٤/٦) به‌دست آمد. همچنین، حداکثر میزان کلروفیل b به میزان ۳/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار F4 در آبیاری غرقاب کامل به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر ترکیب‌های تیماری بود. همچنین، تیمار F9 در روش آبیاری غرقاب کامل به‌طور معنی‌داری میزان Fv و ETR را در مقایسه با تیمار عدم‌کاربرد کود افزایش داد. همچنین، این تیمار در روش کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح تیمار کاربرد کود در روش آبیاری غرقاب نشان نداد که حاکی از اثر مثبت تیمار F9 بر کاهش اثر تنش کم‌آبی از طریق افزایش میزان Fv و افزایش ETR است (جدول ۱۰).

مطابق نتایج، بیشترین میزان عملکرد شلتوک معادل ٤۹٤٥ کیلوگرم در هکتار از برهمکنش تیمارهای آبیاری غرقاب کامل و F9 به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار F1 در روش‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

جدول ۸- میانگین مربعات اثر تیمارهای کم‌آبیاری و کاربرد کود پتاسیمی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل در برنج در ایستگاه سوادکوه

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Y(NPQ)	Y(NO)	NPQ	ETR
		۰/۰۱۹ ns	۰/۵۴۹ ns	۰/۴۳۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۱۰۶ ns	۴/۶۸۹ ns
آبیاری (A)	۱	۰/۰۲۲ ns	۱/۶۷۲ ns	۱/۳۱۲ *	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱۶ *	۰/۰۰۴ *	۰/۲۸۳ ns	۱۲/۰۱۷ *
خطای A	۲	۰/۰۰۲	۰/۲۱۱	۰/۲۴۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۲۰۳	۰/۲۹۶
کود پتاسیمی (B)	۸	۰/۰۲۰ **	۰/۲۸۲ ns	۰/۲۲۵ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۵ **	۰/۰۰۲ **	۰/۰۷۳ ns	۰/۵۴۷ ns
B × A	۸	۰/۰۱۱ *	۰/۰۷۱ *	۰/۰۶۹ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۸ *	۰/۰۰۰ ns	۰/۱۴۳ *	۱/۱۹۶ *
خطای کل	۳۲	۰/۰۰۳	۰/۱۵۲	۰/۱۴۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۳۹	۰/۳۴۳
ضریب تغییرات		۳/۸۲	۶/۱۰	۷/۴۵	۱/۷۹	۱۲/۲۳	۸/۰۳	۱۳/۳۳	۱۰/۱۹

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم‌تفاوت معنی‌دار است.**

جدول ۹- مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری و کاربرد کودهای پتاسیمی بر میزان برخی صفات در برنج در ایستگاه آمل

ترکیب تیماری		عدد کلروفیل‌متر	Fm	Fv	Fv/Fm	Y(NPQ)	Y(NO)	NPQ
آبیاری	+۵	۴۵/۸۰ a	۶/۰۶ a	۴/۷۳ a	۰/۷۴ a	۰/۱۵ b	۰/۱۱ b	۱/۳۵ b
(ارتفاع آب بر حسب cm)	-۱۰	۴۳/۵۱ b	۵/۷۷ b	۴/۴۸ b	۰/۷۳ a	۰/۱۶ a	۰/۱۲ a	۱/۵۴ a
کاربرد کود پتاسیم	F1	۴۳/۸۷ a	۶/۰۰ a	۴/۷۱ a	۰/۷۳ a	۰/۱۶ a	۰/۱۲ a	۱/۲۹ c
	F2	۴۴/۵۰ a	۵/۷۸ a	۴/۴۹ a	۰/۷۳ a	۰/۱۵ a	۰/۱۱ a	۱/۵۵ ab
	F3	۴۵/۲۹ a	۵/۸۷ a	۴/۵۹ a	۰/۷۴ a	۰/۱۴ a	۰/۱۱ a	۱/۳۴ bc
	F4	۴۵/۶۹ a	۵/۸۸ a	۴/۵۹ a	۰/۷۴ a	۰/۱۴ a	۰/۱۲ a	۱/۳۲ bc
	F5	۴۶/۱۴ a	۶/۰۰ a	۴/۶۷ a	۰/۷۴ a	۰/۱۵ a	۰/۱۱ a	۱/۵۵ ab
	F6	۴۵/۸۳ a	۵/۸۷ a	۴/۵۶ a	۰/۷۳ a	۰/۱۵ a	۰/۱۲ a	۱/۴۳ a-c
	F7	۴۶/۱۱ a	۶/۰۵ a	۴/۷۲ a	۰/۷۴ a	۰/۱۴ a	۰/۱۱ a	۱/۵۲ a-c
	F8	۴۴/۷۸ a	۵/۶۶ a	۴/۳۹ a	۰/۷۳ a	۰/۱۵ a	۰/۱۱ a	۱/۴۵ a-c
	F9	۴۴/۱۹ a	۶/۰۹ a	۴/۷۶ a	۰/۷۴ a	۰/۱۴ a	۰/۱۲ a	۱/۵۸ a

در هر ستون و در هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند.

F1: شاهد، F2: ۱۰۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه، F3: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم سولفات، F4: ۱۰۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه، F5: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم کلرید، F6: کود زیستی، F7: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F8: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F9: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت سرک

آبیاری غرقاب کامل و کم‌آبیاری، به‌ترتیب ۲۲/۸ و ۲۷/۷ درصد بیشتر بوده است. از سوی دیگر، بیشترین میزان بهره‌وری آب نیز از تیمار F9 در روش کم‌آبیاری، معادل ۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر سطوح کاربرد کود در روش آبیاری غرقاب کامل بود. همچنین، کمترین میزان بهره‌وری آب، معادل ۰/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

جدول ۱۰- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای آبیاری و کاربرد کودهای پتاسیمی بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد شلتوک و بهره‌وری مصرف آب برنج در ایستگاه آمل

ترکیب تیماری		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلروفیل a/b	کارتنوئید	Fo	ETR	عملکرد شلتوک	بهره‌وری مصرف آب
ارتفاع آب (سانتی متر)	کاربرد کود پتاسیم	میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ					-	-	کیلوگرم بر هکتار	کیلوگرم بر متر مکعب
+۵	F1	۷/۸۹٤ ^{e}	۱/۸۵۱ ^{gh}	۹/۷٤۵ $^{g-i}$	٤/۳۱۰ ^{ab}	۲/٤۹۱ ^{ab}	۱/۲۹۹ $^{b-e}$	٦/۲٦۲ $^{b-e}$	٤۰۲۵ ^{gh}	۰/۳۸۰ ^{h}
	F2	۹/۲۸٤ $^{b-d}$	۲/۲٤٤ ^{ef}	۱۱/۵۳۰ ^{ef}	٤/۱۵۷ ^{ab}	۲/٦۳۹ ^{ab}	۱/۲۹٦ $^{b-e}$	٦/۸۵٦ $^{a-c}$	٤۵۰٦ $^{b-f}$	۰/٤۲۵ $^{e-g}$
	F3	۱۰/٤۹۰ ^{ab}	۲/٦۹۰ $^{b-d}$	۱۳/۱۸۱ $^{a-c}$	۳/۹۲۹ ^{bc}	۳/۱۵۹ ^{bc}	۱/۳۱۱ $^{a-e}$	٦/٦٤۱ $^{a-d}$	٤۷۷۸ $^{a-c}$	۰/٤۵۱ ^{ef}
	F4	۹/٦۵۰ ^{bc}	۳/۲۵٤ ^{a}	۱۲/۹۰۰ $^{b-e}$	۲/۹۸۲ ^{e}	۲/٤۷۷ ^{e}	۱/۳۱۹ $^{a-d}$	۷/۰٦۵ ^{ab}	٤۸٤۵ ^{ab}	۰/٤۵۷ ^{ef}
	F5	۱۰/۳۵۰ ^{ab}	۲/٦٦۷ $^{b-d}$	۱۳/۰۱۰ $^{b-d}$	۳/۸۷۳ $^{b-d}$	۲/۸٦٦ $^{b-d}$	۱/۳٤۲ $^{a-c}$	٦/۸٦۹ $^{a-c}$	٤۷۲۷ $^{a-d}$	۰/٤٤٦ $^{e-g}$
	F6	۱۰/۳۲۰ ^{ab}	۲/٤۵۱ $^{d-f}$	۱۲/۷۷۲ $^{b-e}$	٤/۲۱۰ ^{ab}	۳/۲۵۵ ^{ab}	۱/۳۲۰ $^{a-d}$	٦/۷۸۱ $^{a-c}$	٤۲۰۰ $^{f-h}$	۰/۳۹٦ ^{gh}
	F7	۱۰/٤۷۱ ^{ab}	۲/۲٤۳ ^{ef}	۱۲/۷۱۲ $^{b-e}$	٤/٦٦۷ ^{a}	۲/۸۵۵ ^{a}	۱/۳٤۸ ^{ab}	٦/۳۲۳ $^{b-e}$	٤۳۱۲ $^{e-g}$	۰/٤۰۷ $^{f-h}$
	F8	۱۱/٦۰۰ ^{a}	۲/۹٤۷ ^{ab}	۱٤/۵۵۱ ^{a}	۳/۹۳۵ ^{bc}	۳/٤۰۳ ^{bc}	۱/۲۹۲ $^{b-e}$	٦/۷۳۷ $^{a-c}$	٤٦۰۸ $^{a-e}$	۰/٤۳۵ $^{e-g}$
	F9	۱۰/۵۳۲ ^{ab}	۲/۸۲۰ ^{bc}	۱۳/۳۵٤ ^{ab}	۳/۷٤۷ $^{b-d}$	۳/۱۳٦ $^{b-d}$	۱/۳۸۰ ^{a}	۷/۸٤۹ ^{a}	٤۹٤۵ ^{a}	۰/٤٦۷ ^{e}
−۱۰	F1	٦/۵۲۲ ^{f}	۱/۷۵۳ ^{h}	۹/۳۳۸ ^{i}	٤/۳۹٤ ^{ab}	۲/۰۲۸ ^{ab}	۱/۲۷۳ $^{c-e}$	۵/۵٦۱ ^{e}	۳۷۱۱ ^{h}	۰/۵۵۸ ^{d}
	F2	۸/۷۸۷ $^{c-e}$	۲/۱۵۷ ^{fg}	۱۰/۹٤۲ $^{f-h}$	٤/۰۷۷ $^{a-c}$	۲/٤۸۱ ^{ab}	۱/۲۸٤ $^{b-e}$	٦/۱۹۲ $^{b-e}$	٤۱۵۹ $^{f-h}$	۰/٦۰۰ $^{b-d}$
	F3	۸/۱۹۹ ^{de}	۱/۷۵۸ ^{h}	۹/۹۵۸ $^{g-i}$	٤/٦۸۸ ^{a}	۲/۱۸۸ ^{bc}	۱/۲۷۱ $^{c-e}$	۵/۵۰۰ ^{e}	٤٤٦۹ $^{b-f}$	۰/٦٤٤ ^{ab}
	F4	۸/۸۹۵ $^{c-e}$	۲/۸۳۳ ^{bc}	۱۱/۷۳۲ $^{d-f}$	۳/۱۵۱ ^{de}	۲/۳۵۲ ^{e}	۱/۲٦۵ ^{de}	۵/٦۰۸ ^{e}	٤٤۲۱ $^{c-f}$	۰/٦۳۸ ^{ab}
	F5	۸/٦۲٦ $^{c-e}$	۲/۵٦۳ $^{c-e}$	۱۱/۱۹۰ ^{fg}	۳/۳۸۱ $^{c-e}$	۲/۷۸۸ $^{b-d}$	۱/۳۲۲ $^{a-d}$	٦/۲۲۸ $^{b-e}$	٤۳٤۵ $^{d-g}$	۰/٦۲۷ $^{a-c}$
	F6	۹/۵۱۲ $^{b-d}$	۲/۲۹۸ ^{ef}	۱۱/۸۱۱ $^{c-f}$	٤/۱٤۵ ^{ab}	۲/٦۸۳ ^{ab}	۱/۳۲۰ $^{a-d}$	٦/۰٤۱ $^{c-e}$	٤۰۰۵ ^{gh}	۰/۵۷۹ ^{cd}
	F7	۱۰/٤۱۱ ^{ab}	۲/۲۲۵ ^{f}	۱۲/٦٤۰ $^{b-e}$	٤/٦۷۷ ^{a}	۲/۷٦۵ ^{a}	۱/۳۰۲ $^{b-e}$	۵/۹۱۷ $^{c-e}$	٤۱۸۲ $^{f-g}$	۰/٦۰۳ $^{b-d}$
	F8	۷/٦۵٤ ^{e}	۱/۸۹٤ ^{gh}	۹/۵٤۸ ^{hi}	٤/۰۵۱ $^{a-c}$	۲/۱۱٦ ^{bc}	۱/۲٤۲ ^{e}	۵/۷۲٦ ^{de}	٤٤۰۸ $^{c-f}$	۰/٦۳٦ ^{ab}
	F9	۹/٤۷٤ $^{b-d}$	۲/۲۸۲ ^{ef}	۱۱/۷٦۰ $^{c-f}$	٤/۱۵۸ ^{ab}	۲/٦۹۹ $^{b-d}$	۱/۲۹۲ $^{b-e}$	٦/۳۰۲ $^{b-e}$	٤٦۳۰ $^{a-e}$	۰/٦٦۸ ^{a}

در هر ستون و در هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند.

F1: شاهد، F2: ۱۰۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه، F3: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم سولفات، F4: ۱۰۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه، F5: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم کلرید، F6: کود زیستی، F7: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F8: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F9: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت سرک

از تیمار F1 در روش غرقاب کامل به‌دست آمد (جدول ۱۰).

براساس یافته‌ها، میزان اثربخشی کود زیستی مورد استفاده بر صفات مورد مطالعه، به‌ویژه عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب، به‌طور قابل توجهی کمتر از سطوح کاربرد کودهای شیمیایی پتاسه بود. به‌طوریکه میزان عملکرد شلتوک در برهمکنش کاربرد تیمار F6 و سطوح آبیاری غرقاب کامل و کم‌آبیاری در ایستگاه آمل، به‌ترتیب ٤۲۰۰ و ٤۰۰۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که ٤/۳ و ۷/۹ درصد، بیشتر از سطح شاهد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

جدول ۱۱- مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری و کاربرد کودهای پتاسیمی بر میزان برخی صفات در برنج در ایستگاه سوادکوه

ترکیب تیماری		عدد کلروفیل‌متر	Fv	Fv/Fm	Y(NO)
آبیاری	۵+	٤٤/۸٦ a	۵/۲۱ a	۰/۷۹ a	۰/۱۵ b
(ارتفاع آب بر حسب سانتی‌متر)	۱۰-	٤۳/۸۹ a	٤/۹۰ b	۰/۷۸ a	۰/۱۷ a
کاربرد کود پتاسیم	F1	٤۳/۲۰ b	٤/۸۲ a	۰/۷۸ a	۰/۱٦ a
	F2	٤۲/۹۰ b	٤/۵۳ a	۰/۷۹ a	۰/۱۵ a
	F3	٤٦/٤۸ a	٤/۵۹ a	۰/۷۹ a	۰/۱٤ a
	F4	٤٦/٤۲ a	٤/۷۱ a	۰/۷۹ a	۰/۱۵ a
	F5	٤٤/۷۳ ab	٤/۵۷ a	۰/۷۸ a	۰/۱٦ a
	F6	٤٤/٤۷ ab	٤/٦٦ a	۰/۷۷ a	۰/۱۷ a
	F7	٤۳/۸۲ ab	٤/٤۹ a	۰/۷۸ a	۰/۱٦ a
	F8	٤۳/٤۰ b	٤/٤۵ a	۰/۷۹ a	۰/۱۷ a
	F9	٤۳/۹۵ ab	٤/۷٦ a	۰/۸۰ a	۰/۱٤ a

در هر ستون و در هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند.

F1: شاهد، F2: ۱۰۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه، F3: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم سولفات، F4: ۱۰۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه، F5: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم کلرید، F6: کود زیستی، F7: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F8: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F9: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت سرک

و ۱۷/۷ و ۱۵/٦ درصد کمتر از سطح F9 بود (جدول ۱۰).

ایستگاه مزرعه الگویی سوادکوه: براساس نتایج، میزان Fv با اعمال تیمار کم‌آبیاری در مقایسه با تیمار آبیاری غرقاب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. میزان این صفت در تیمار کم‌آبیاری ٦/۳ درصد کمتر از روش آبیاری غرقاب بود. از سوی دیگر، میزان Y(NO) در تیمار کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوریکه میزان آن ۱۳/۳ درصد بیشتر از تیمار آبیاری غرقاب بود. همچنین، از لحاظ میزان صفات عدد کلروفیل‌متر و میزان Fv/Fm، بین تیمار کم‌آبیاری و آبیاری غرقاب تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. سطوح مختلف تیمار کاربرد کود پتاسیمی بر میزان صفات Fv، Fv/Fm و Y(NO) اثر معنی‌داری نداشت. اما میزان عدد کلروفیل‌متر در تیمارهای F4 و F3 به‌ترتیب معادل ٤٦/٤۲ و ٤٦/٤۸ بوده که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار F1 بوده است (جدول ۱۱).

براساس یافته‌ها، برهمکنش تیمار آبیاری غرقاب کامل و F4، بیشترین تأثیر را بر میزان کلروفیل a نشان داد و موجب افزایش ۲۲/۵ درصدی آن در مقایسه با تیمار F1 در آبیاری غرقاب کامل گردید. همچنین، بیشترین میزان کلروفیل b و کلروفیل کل از برهمکنش تیمارهای آبیاری غرقابی و F9، به‌ترتیب به میزان ۲/۱ و ۱۳/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ حاصل شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار F1 در آبیاری غرقاب و کلیه سطوح کاربرد کود پتاسیمی در روش کم‌آبیاری بود. بر همین راستا، بیشترین میزان کلروفیل b و کلروفیل کل در روش کم‌آبیاری، مربوط به همین سطح کاربرد کود پتاسیمی بود که برتری معنی‌داری نسبت به تیمار F1 در آبیاری غرقاب کامل داشت. از سوی دیگر، بیشترین میزان نسبت کلروفیل a/b و کارتنوئید مربوط به تیمار F3، به‌ترتیب در روش کم‌آبیاری و روش غرقاب کامل بود که معادل ۷/۲۳ و ۳/٤٤ میلی‌گرم بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

جدول ۱۲- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای آبیاری و کاربرد کودهای پتاسیمی بر برخی صفات فیزیولوژیک، عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب برنج در ایستگاه سوادکوه

ترکیب تیماری		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلروفیل a/b	کارتنوئید	Fo
ارتفاع آب (سانتی‌متر)	کاربرد کود پتاسیم	میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ					-
+۵	F1	۹/٤۷۲ ef	۱/٦۰۱ f	۱۱/۰۷۱ d-f	۵/۹۳۲ b-e	۲/۸۵۱ b-e	۱/۳۷۸ a-c
	F2	۱۰/۱۳۰ b-f	۱/۸۳۰ c	۱۱/۹٦۳ b-e	۵/۵۳۲ c-f	۲/۸۵۱ b-e	۱/۳۳٦ a-d
	F3	۱۰/۷٦۲ a-d	۱/۹٤۵ a-c	۱۲/۰۸۰ b-d	۵/۹۷۵ b-e	۳/٤٤۰ a	۱/۲٦۹ d-f
	F4	۱۱/٦۱۱ a	۲/۰۳۹ ab	۱۲/۸۰۰ ab	۵/۲۷۹ ef	۳/۰۷٦ a-e	۱/۲۸۹ c-f
	F5	۱۰/۲٤۱ b-f	۱/۸۹۰ bc	۱۲/۱٤٤ b-d	۵/٤٤۰ d-f	۲/۹۱۷ b-e	۱/۳۵۰ a-d
	F6	۱۰/۷۳۳ a-d	۲/۰۳۸ ab	۱۲/۷۷۲ ab	۵/۳۳۰ ef	۳/۲۸٤ a-c	۱/۳۸۰ ab
	F7	۱۰/٤۸۰ a-e	۲/۰٦۱ ab	۱۲/۵٤۱ a-c	۵/۰۸۷ ef	۳/۱۸۳ a-d	۱/۳۸۵ ab
	F8	۱۰/۸٤۲ a-c	۱/۹٤۳ a-c	۱۲/۷۸۱ ab	۵/٦۰۰ c-f	۳/۱٤۵ a-d	۱/۲٦۲ d-f
	F9	۱۰/۰۰۰ b-f	۲/۰۸۳ a	۱۳/۵٦۰ a	٤/۸۰۳ f	۲/۹۲۲ b-e	۱/٤۰۲ a
-۱۰	F1	۹/۱۵٤ f	۱/٤۸۸ f	۱۰/۸۵۱ ef	٦/۲۸۷ b-d	۲/۵۸۸ ef	۱/۲٤۱ ef
	F2	۹/٦٤۷ d-f	۱/٤۲۳ f	۱۰/۷٤۰ f	٦/۸۳۱ b	۲/۸۰٤ c-f	۱/۳۰۰ a-f
	F3	۹/۸۲۳ c-f	۱/٦٤۰ d-f	۱۱/٤۷۱ c-f	۷/۲۳۱ a	۳/۳۳٤ ab	۱/۳۱۳ a-e
	F4	۱۱/۱۵۵ ab	۱/۸۰۳ c-e	۱۱/٦۳٤ b-f	۵/٤٤۱ d-f	۳/۰۱۸ a-e	۱/۲۳۵ ef
	F5	۹/۳۵۸ ef	۱/۸۰۸ cd	۱۰/۹٦۱ d-f	۵/۰۹۲ ef	۲/٦۳۷ ef	۱/۲٦۲ d-f
	F6	۹/۹۱۳ c-f	۱/۵٤۵ f	۱۱/٤٦۹ c-f	٦/٤٤۰ bc	۲/۹۹۲ a-e	۱/۳۸۰ ab
	F7	۱۰/۳۸۱ b-e	۱/۸۷۰ bc	۱۲/۳۵۲ bc	۵/۲۷۰ ef	۲/۷۸۹ c-f	۱/۳٦۲ abc
	F8	۹/۵۲۸ ef	۱/٦۲۳ ef	۱۱/۱۵۰ d-f	۵/۹۲٤ b-e	۲/۷۵۵ d-f	۱/۲۱۲ f
	F9	۹/۵۸۹ d-f	۱/۸۸۲ bc	۱۲/۷۹۳ ab	۵/۰۹۱ ef	۲/۳۳۳ f	۱/۳۸۲ ab

در هر ستون و در هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند.

F1: شاهد، F2: ۱۰۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه، F3: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم سولفات، F4: ۱۰۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه، F5: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم کلرید، F6: کود زیستی، F7: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F8: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F9: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت سرک

گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (جدول ۱۲). بیشترین میزان Fo، Fm و ETR از ترکیب تیماری F9 و روش غرقاب کامل به‌دست آمد. در همین راستا، بیشترین میزان صفات یادشده در کم‌آبیاری نیز از همین سطح کاربرد کود پتاسیمی حاصل شده که به‌ترتیب ۱۱/۳، ۵/۳ و ۱۹/۲ درصد بیشتر از تیمار F1 در روش کم‌آبیاری بود. براساس نتایج، میزان Y(NPQ) و میزان NPQ در تیمار کم‌آبیاری در مقایسه با روش غرقاب کامل افزایش یافت، به‌طوریکه بیشترین میزان صفات یادشده به‌ترتیب معادل ۰/۳ و ۱/۸۳ از برهمکنش تیمارهای F1 و روش کم‌آبیاری و تیمارهای F9 در آبیاری کاهش‌یافته حاصل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

ادامه جدول ۱۲-

ترکیب تیماری		Fm	Y(NPQ)	NPQ	ETR	عملکرد شلتوک	بهره‌وری مصرف آب
ارتفاع آب (سانتی‌متر)	کاربرد کود پتاسیم	–	–	–	–	کیلوگرم بر هکتار	کیلوگرم بر مترمکعب
+۵	F1	٦/٧١٥ a-c	۰/۱۸٤ c-e	۱/٤٧٨ b-d	٦/۰٥٧ a-d	۳۸۱۳gh	۰/٤۸۰ i
	F2	٦/٧٣٢ a-c	۰/۱۸٤ c-e	۱/۳۳٦ cd	٦/٤۰۰ a-c	٤۳۰۲ c-f	۰/٥٤۱ f-g
	F3	٦/٦۱٤ a-d	۰/۱۹۰ c-e	۱/۲۸٦ cd	٥/۹۸۷ a-e	٤٦۰۲ a-c	۰/٥۷۹ ef
	F4	٦/۲٤۸ b-e	۰/۱۸۱ c-e	۱/٥٦٦ a-c	٦/٥۲٥ ab	٤٦۸۹ab	۰/٥۹۰ ef
	F5	٦/٧٦٤ ab	۰/۲۰٤ b-d	۱/۳۹٦ b-d	٦/۳۲۹ a-c	٤٥۰۹ a-d	۰/٥٦۷ e-g
	F6	٦/۳٥٦ b-e	۰/۱۸۱ c-e	۱/۲۳۱ d	٦/۱٤۳ a-d	۳۹۸۲ f-h	۰/٥۰۲ hi
	F7	٦/٤۷٦a-e	۰/۱۹۹ b-d	۱/٤۰٥ b-d	٥/٦۳٥ b-f	٤۱٦٤ d-g	۰/٥۲٤ g-i
	F8	٦/۰٤۹ de	۰/۱٥٦ de	۱/٥٥۱ a-d	٦/۰٤۹ a-d	٤٤٦۰ a-e	۰/٥٦۱ e-g
	F9	۷/۰۳۷ a	۰/۱٤٥ e	۱/٤۱٥ b-d	٦/۸۱۳ a	٤۷۷۰a	۰/٦۰۱ e
-۱۰	F1	٦/۱۰٥ c-e	۰/۳۰٥ a	۱/۳۰٥ cd	٤/۸٤۱ e	۳٦٥۹h	۰/۷۰٤ d
	F2	٦/۲۸۸ b-e	۰/۲۲۳ bc	۱/٤٦۷ b-d	٥/٥۳۸ c-f	۳۹۷۳ f-h	۰/۷٦٤ bc
	F3	٦/۲۷۰ b-e	۰/۲٥۰ b	۱/٤۳۰ b-d	٤/۸٤٦ f	٤۳۱۳ b-f	۰/۸۲۹ a
	F4	٦/۲٥۱ b-e	۰/۲۱٥ bc	۱/٤٥٦ b-d	٥/۰٦۸ ef	٤۲۲۳ c-f	۰/۸۱۲ ab
	F5	٦/۳۳۰ b-e	۰/۲۱٤ bc	۱/٦۸٥ ab	٥/۷٦۲ b-f	٤۱۲۷ e-g	۰/۷۹٤ ab
	F6	٦/۰۸۷ c-e	۰/۲۱۹ ab	۱/٦۷۹ ab	٥/۳٥۳ d-f	۳۷۸۷ gh	۰/۷۲۸ cd
	F7	٦/۱۷۸ b-e	۰/۲۰۲ b-d	۱/٥۹٤ a-c	٥/۲۲۹ d-f	٤۰۳٤ f-h	۰/۷۷٦ bc
	F8	٥/۸۸۳ e	۰/۱٥۳ de	۱/٥۱۸ a-d	٥/۰۳۸ ef	٤۲۳۳ c-f	۰/۸۱٥ ab
	F9	٦/٤۳۰ a-e	۰/۱٥۷ de	۱/۸۳۲ a	٥/۷۷۲ b-f	٤۳۲۲b-f	۰/۸۳۱ a

در هر ستون و در هر تیمار، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) ندارند.

F1: شاهد، F2: ۱۰۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه، F3: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم سولفات، F4: ۱۰۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه، F5: ۵۰٪ به‌صورت پایه و ۵۰٪ به‌صورت سرک از کود پتاسیم کلرید، F6: کود زیستی، F7: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F8: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت پایه به‌همراه کود زیستی، F9: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به‌صورت سرک

شد (جدول ۱۲).

براساس یافته‌ها، بیشترین میزان عملکرد شلتوک معادل ٤۷۷۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به ترکیب تیماری آبیاری غرقاب کامل و F9 به‌دست آمد که در مقایسه با تیمار F1 در روش‌های آبیاری غرقاب کامل و کم‌آبیاری به‌ترتیب ۲۵/۱ و ۳۰/۳ درصد بیشتر بوده است. از سوی دیگر، بیشترین میزان بهره‌وری آب نیز از برهمکنش تیمارهای F9 در روش کم‌آبیاری، معادل ۰/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب، به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر سطوح کاربرد کود در آبیاری غرقاب کامل بود. همچنین، کمترین میزان بهره‌وری آب معادل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

جدول ۱۳- همبستگی عملکرد شلتوک با صفات بهره‌وری آب، کلروفیل a و کل، کارایی کوانتومی فتوسیستم II و سرعت انتقال الکترون در فتوسیستم II در پاسخ به تیمارهای آبیاری و کاربرد کودهای پتاسیمی در ایستگاه‌های آمل و سوادکوه (n=۱۸)

		بهره‌وری آب	کلروفیل a	کلروفیل کل	Fv/Fm	ETR
عملکرد شلتوک	ایستگاه آمل	-۰/۱٦۹ ns	۰/٤۹٦ *	۰/۵۳۸ *	۰/٤٦۷ *	۰/٦۰۰ **
	ایستگاه سوادکوه	-۰/۱۷۱ ns	۰/۵۰۹ *	۰/۵۸۰ *	۰/٦۱۳ **	۰/۵۲۳ *

و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و **ns**، غیر معنی‌دار

۰/٤۸ کیلوگرم بر مترمکعب، از تیمار F1 در روش غرقاب کامل حاصل شد (جدول ۱۲).

مشابه نتایج به‌دست آمده در ایستگاه آمل، کود زیستی مورد استفاده در ایستگاه سوادکوه اثر معنی‌داری بر صفاتی نظیر عملکرد شلتوک و بهره‌وری مصرف آب در مقایسه با سطح F1 نداشت. میزان عملکرد شلتوک حاصل از برهمکنش کاربرد تیمار کود زیستی و سطوح آبیاری غرقاب کامل و کم‌آبیاری در ایستگاه آمل به‌ترتیب ۳۹۸۲ و ۳۷۸۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که ٤/٤ و ۳/۵ درصد بیشتر از سطح F1 و ۱۹/۷ و ۱٤/۱ درصد کمتر از سطح F9 بود (جدول ۱۲).

نتایج همبستگی صفات حاکی از ارتباط مثبت و معنی‌دار عملکرد شتوک و صفات محتوی کلروفیل a، کلروفیل کل، Fv/Fm و ETR در هر دو ایستگاه بود. با این وجود، همبستگی عملکرد شلتوک و بهره‌وری مصرف آب منفی و غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱۳).

بحث

براساس یافته‌ها، میزان عدد کلروفیل‌متر در ایستگاه آمل تحت تأثیر تیمار کم‌آبی کاهش یافت. همچنین نتایج برهمکنش تیمارها، حاکی از کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش نسبت کلروفیل a/b در همه سطوح تیمار کاربرد کود در روش کم‌آبیاری در مقایسه با سطوح مشابه کاربرد کود در آبیاری غرقاب کامل بود اگرچه این کاهش برای بعضی سطوح کودی غیرمعنی‌دار بود. کاهش غیرمعنی‌دار عدد کلروفیل‌متر در ایستگاه سوادکوه را شاید بتوان به کمتربودن میانگین درجه حرارت و مجموع ساعات آفتابی مرتبط دانست (جدول ۱) که موجب تعرق کمتر گیاه، کاهش تبخیر از سطح خاک (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹) و حفظ فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شد. در همین راستا، میزان کاهش محتوی کلروفیل a، b، a+b و کارتنوئید در ایستگاه سوادکوه در مقایسه با ایستگاه آمل در پاسخ به تیمار کم‌آبیاری، کمتر بود. بر همین اساس، میزان کلروفیل a در تیمار عدم‌کاربرد کود در روش کم‌آبیاری در ایستگاه سوادکوه کاهش غیرمعنی‌داری (معادل ۳/٤ درصد) در مقایسه با تیمار عدم‌کاربرد کود در روش غرقاب کامل داشت، اما این کاهش در ایستگاه آمل معنی‌دار و معادل ۲۱ درصد بود.

نتایج سایر پژوهشگران نیز حاکی از کاهش میزان عدد کلروفیل‌متر، رنگیزه‌های کلروفیل و کارتنوئید تحت تیمار کم‌آبیاری است (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵؛ کاظمی، ۱۳۹۵). آنها گزارش کردند که کاهش عدد کلروفیل‌متر و کاهش سبزینگی گیاه ممکن است به‌علت تخریب کلروفیل در اثر تنش باشد که منجر به کاهش میزان کلروفیل وکاهش فتوسنتز خالص می‌شود (Johnson *et al.*, 2002). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل، تخریب آنها توسط گونه‌های فعال اکسیژن است. بر این اساس، کاهش فعالیت فتوسیتم II، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و مهار سنتز ATP، موجب تشکیل گونه‌های اکسیژن آزاد در کلروپلاست‌ها می‌گردند (Lawlor and Cornic, 2002). با این وجود، پژوهشگران اظهار داشتند که محتوای نسبی کلروفیل به تنهایی نمی‌تواند برآورد درستی از عملکرد گیاه را نشان دهد، بلکه توان فتوسنتزی برگ پرچم قبل از گرده‌افشانی، همچنین توان ذخیره‌سازی مواد پرورده و قابلیت انتقال مجدد آنها به مخازن فیزیولوزیک نیز حائز اهمیت است (نیک‌نژاد و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

امام، ۱۳۹۰). به‌طور کلی می‌توان عنوان نمود که حفظ غلظت کلروفیل در شرایط دشوار محیطی، به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک کرده و سبب کاهش خسارت‌های وارده به گیاه در تنش‌های محیطی می‌گردد. از سوی دیگر، گزارش گردیده است که کارتنوئیدها نقش مهمی در دفاع آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کنند، به‌گونه‌ای که گیاهان دارای محتوی کارتنوئید بالاتر، دفاع مؤثرتری در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش آب، خواهند داشت (نعمت‌اللهی و همکاران، ۱۳۹۲). این نتایج با نتایج پژوهش حاضر در هر دو ایستگاه مطابقت ندارد که ممکن است نشان از عدم‌وقوع تنش شدید خشکی در هر دو ایستگاه باشد. همچنین، پژوهشگران افزایش نسبت کلروفیل a/b در شرایط تنش خشکی را گزارش کردند (کاظمی، ۱۳۹۵) که با نتایج این پژوهش در هر دو ایستگاه مطابقت دارد. آنها علت این افزایش را کاهش بیشتر غلظت کلروفیل b در مقایسه با کلروفیل a دانستند که چنین رابطه‌ای در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد.

همچنین، نتایج این پژوهش حاکی از اثر مثبت کاربرد کود پتاسیمی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در هر دو ایستگاه و عدد کلروفیل‌متر در ایستگاه سوادکوه بود. افزایش محتوی کلروفیل در گیاه برنج تحت تأثیر کاربرد کود پتاسیمی پیش‌تر نیز گزارش شده بود (Liu *et al.*, 2013). نتایج پژوهش عباسی‌مقدم و شبان (۱۳۹۳) نیز نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش و کاربرد کود پتاسیمی سبب افزایش میزان کلروفیل در همه مراحل رشد گلرنگ گردید. از آنجایی‌که میزان کلروفیل با فراهمی کودها در ارتباط است (ملکوتی و همایی، ۱۳۸۳)، به‌نظر می‌رسد که در تیمارهای مصرف کود پتاسیم، مواد لازم جهت ساخت کلروفیل بیشتر در اختیار گیاه بوده و میزان کلروفیل در آنها بیشتر از تیمارهای عدم‌مصرف این کودها است (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین گزارش گردید که پتاسیم با بهبود هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش و ممانعت از تجزیه کلروفیل توسط تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش محتوی کلروفیل در شرایط تنش داشته باشد (علوی‌متین و همکاران، ۱۳۹٤).

کاهش میزان Fm و Fv، در ایستگاه آمل و کاهش Fv، در ایستگاه سوادکوه تحت تنش کم‌آبیاری پیش‌تر برای برنج (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵) و گندم (Zlatev *et al.*, 2009) گزارش شده بود. با کاهش Fm تحت شرایط محدودیت آبی، اختلاف بین Fo و Fm، یعنی Fv، کاهش پیدا می‌کند. کاهش Fv نشان‌دهنده عملکرد نامناسب سازوکار فلورسانس کلروفیل در شرایط تنش و کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی است (Baker and Roosenqvist, 2004). از سوی دیگر، گیاه پس از قرارگیری در شرایط تنش و به‌منظور حفظ کارایی کوانتومی در فتوسیستم II (Zlatev and Yardanov, 2004)، میزان Fo خود را کاهش داد. کاهش میزان Fo بدین معناست که تثبیت کربن یا به عبارتی انتقال الکترون سریع‌تر آغاز شده است (Andrews *et al.*, 1995).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری و کاربرد کودهای پتاسیمی، تغییری در نسبت Fv/Fm مشاهده نشد. به‌عبارتی، قابلیت فتوسیستم II برای انجام فرآیندهای اولیه فتوشیمیایی تحت تأثیر تنش آبی حاصل از کم‌آبیاری قرار نگرفت. این نتایج با یافته‌های Shangguan و همکاران (۲۰۰۰) همخوانی دارد که با بررسی گندم زمستانه تحت تنش، تغییری در نسبت Fv/Fm مشاهده نکردند. در همین راستا، پژوهشگران گزارش کردند که نسبت Fv/Fm به میزان ۰/۸۵ در شرایط بدون تنش به‌دست می‌آید و مقادیر کمتر از ۰/۸۵ حاکی از وجود انواع تنش‌های زنده و غیرزنده روی گیاهان است (Kalaji and Guo, 2008). از آنجا که در پژوهش حاضر در هر دو ایستگاه، نسبت Fv/Fm حتی در گیاهان شاهد که در وضعیت آبی مناسبی بودند، کمتر از ۰/۸۵ به‌دست آمد، بنابراین می‌توان تأثیر برخی شرایط نامناسب کشت نظیر بالا بودن اسیدیته اشباع خاک در هر دو ایستگاه و هدایت الکتریکی خاک در ایستگاه آمل (جدول ۲)، بر گیاه را محتمل دانست. در همین راستا، اسیدیته اشباع خاک مناسب جهت کشت برنج به‌ویژه در خزانه، پنج تا شش گزارش شده است (عرفانی، ۱۳۹۵). همچنین، گزارش شد که با افزایش میزان هدایت الکتریکی به دو دسی‌زیمنس بر متر، میزان عملکرد گیاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

برنج ۲۳ تا ٤١ درصد کاهش می‌یابد (Motamed *et al.*, 2008). شاید تفاوت در میزان هدایت الکتریکی خاک در دو ایستگاه (جدول ۲)، یکی از دلایل پایین‌تر بودن نسبت Fv/Fm در ایستگاه آمل در مقایسه با ایستگاه سوادکوه باشد.

گزارش شده است که هر چه اثر تخریبی تنش محیطی بر گیاه بیشتر باشد، از مقدار نسبت F_v/F_m به میزان بیشتری نسبت به شرایط مساعد فتوسنتزی کاسته می‌شود (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ١٣٩٤). کاهش در این نسبت ممکن است به‌دلیل توسعه آهسته فرایندهای خاموشی فتوشیمیایی و آسیب نوری به مراکز واکنش باشد که هر دوی آنها منجر به کاهش کارایی کوانتومی فتوشیمیایی فتوسیستم II می‌گردند (Baker and Roosenqvist, 2004). با این وجود، Gale و همکاران (۲۰۰۲) نتایج متفاوتی ارایه نمودند که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. آنها با اعمال تنش خشکی در کشت گلدانی گیاه گندم مشاهده کردند که تغییری در نسبت Fv/Fm برگ‌های سازگارشده به تاریکی ایجاد نشد و نتیجه گرفتند که در طی تنش، Fv/Fm کاهش نمی‌یابد. به‌نظر می‌رسد در این پژوهش، با وجود اینکه تیمار کم‌آبیاری تأثیر کاهشی بر میزانFm و Fv داشته، اما گیاهچه‌ها توانسته‌اند کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را حتی در شرایط عدم‌کاربرد کود پتاسیمی، حفظ و به‌خوبی فعالیت‌های فتوسنتزی خود را انجام دهند. شاید یکی از دلایل آن، افزایش میزان NPQ تحت شرایط کم‌آبی و اعمال تیمارهای کاربرد کود پتاسیمی باشد. این شاخص در واقع شاخص مربوط به هدررفت گرمایی است و گستره معمول آن برای گیاه بین ۰/۵ تا ۳/۵ است (Chaves *et al.*, 2003) که در پژوهش حاضر از ۱/۲۳ تا ۱/۸۳ متغیر بود. افزایش در مقدار این شاخص نشان‌دهنده ظرفیت بالای چرخه گزانتوفیل و توانایی گیاه در دفع تنش از طریق هدردادن انرژی به‌صورت گرما است (Yaghoubian *et al.*, 2016). افزایش این شاخص تحت تنش در ذرت (کاظمی، ۱۳۹۵) و گندم (Abdeshahian *et al.*, 2010) پیش‌تر گزارش شده بود.

از سوی دیگر، میزان Fv/Fm تحت تأثیر کاربرد کود پتاسیمی، به‌ویژه تیمار کاربرد توأم کودهای پتاسیم سولفات (به‌صورت پایه) و پتاسیم کلرید (به‌صورت سرک)، در مقایسه با تیمار عدم‌کاربرد کود به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. پژوهشگرانی نظیر Mohd Zain و Ismail (٢٠١٦) با اشاره به اینکه تا پیش از آنها پژوهشی روی اثرات کاربرد کودهای پتاسیم سولفات و پتاسیم کلرید بر تنش کم‌آبی در برنج صورت نگرفته، گزارش نمودند که کاربرد این کودها می‌تواند اثرات منفی تیمارهای کم‌آبیاری در برنج را کاهش دهد. در همین راستا، گزارش گردید فراهمی پتاسیم می‌تواند سبب افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن در سامانه فتوسنتزی و افزایش تولید ترکیبات کربوهیدراتی و درنهایت مانع افزایش آسیب اکسیداتیو نوری در کلروپلاست شود (Liu *et al.*, 2013). همچنین در پژوهشی مشابه، نقش محافظتی پتاسیم در گیاهان تحت تنش، حفظ pH بالا در استرومای کلروپلاست و ممانعت از آسیب‌های اکسیداتیو نوری در کلروپلاست گزارش گردید (Cakmak, 1997).

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که میزان Y(NPQ) با اعمال تیمار کم‌آبی افزایش می‌یابد که با یافته‌های کاظمی (۱۳۹۵) در گیاه ذرت و لی و همکاران (Li *et al.*, 2008) در گیاه خیار نیز همخوانی دارد. با این وجود، کاربرد تیمارهای کود پتاسیمی در ایستگاه سوادکوه مانع از افزایش معنی‌دار این شاخص در روش کم‌آبیاری در مقایسه با روش غرقاب کامل شد. شاخص Y(NO) نیز تحت تنش کم‌آبی افزایش یافت. وقوع بازدارندگی نوری سبب افزایش میزان این شاخص می‌گردد (Yaghoubian *et al.*, 2016). از سوی دیگر، کاهش میزان ETR در تیمار کم‌آبیاری مشاهده شد. در همین راستا، Baker و Roosenqvist (٢٠٠٤) گزارش کردند که بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز در شرایط تنش، منجر به کاهش کارآیی کربوکسیلاسیون، کاهش سرعت بازسازی آنزیم روبیسکو، کاهش فراهمی دی‌اکسید کربن از روزنه‌ها و یا کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به خارج از سلول مزوفیل شده و درنتیجه باعث کاهش سرعت مصرف ATP و NADPH در چرخه کالوین می‌شود. این موضوع درنهایت باعث کاهش ETR، کاهش Fm و کاهش Fv می‌شود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

مطابق نتایج، میزان عملکرد شلتوک با کاهش میزان آبیاری در هر دو ایستگاه، کاهش یافت. این نتایج توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده بود (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵؛ Pirdashti *et al.*, 2004). در همین راستا، فرخی‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و درنتیجه بسته‌شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و اثر بر فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه از طریق کاهش اجزای عملکرد می‌شود. از سوی دیگر، کاهش تنش سرمایی در شب به‌دلیل تثبیت دمای خاک توسط آب سطحی و همچنین، افزایش راندمان مصرف کود و جذب بهتر آن توسط گیاه را می‌توان از دیگر عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد در حالت غرقاب کامل دانست (یوسفیان، ۱۳۸۹). همچنین، Rad و همکاران (۲۰۱۲) نیز کاهش عملکرد دانه تحت رژیم کم‌آبیاری را به افزایش درصد پوکی شلتوک در خوشه مربوط دانستند. از سوی دیگر، کاهش بیشتر عملکرد شلتوک از حدود ٤/۲ درصد در ایستگاه سوادکوه به ۸/٤ درصد در ایستگاه آمل در تیمار شاهد (عدم کاربرد کود پتاسیمی) در روش کم‌آبیاری در مقایسه با روش غرقاب کامل را می‌توان به تفاوت‌های اقلیمی مانند کاهش حدود سه و نیم برابری میزان بارندگی و افزایش ۱٦/۲ درصدی متوسط درجه حرارت در طول فصل رشد برنج در ایستگاه آمل (جدول ۱) دانست که منجر به افزایش میزان تبخیر آب و درنهایت کاهش بیشتر عملکرد شد. با این وجود، میزان عملکرد شلتوک در آمل بیشتر از ایستگاه سوادکوه بود. به‌نظر می‌رسد کم‌بودن مجموع ساعات آفتابی در طول فصل رشد در ایستگاه سوادکوه (جدول ۱) مانعی جهت دستیابی به عملکرد بهینه در این پژوهش، با وجود کارایی بالاتر سامانه فتوشیمیایی فتوسیستم II در مقایسه با ایستگاه آمل بود.

افزایش عملکرد شلتوک با کاربرد کود پتاسیمی در برنج پیش‌تر گزارش شده بود (Zaman *et al.*, 2015) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. همچنین، Pervez و همکاران (۲۰۰٤) این افزایش را در شرایط تنش کم‌آبی نیز گزارش کردند. پژوهشگران دلایل افزایش عملکرد در پاسخ به کاربرد کود پتاسیم را شامل افزایش تعداد خوشه‌چه، کاهش درصد دانه‌های پوک در خوشه (Marschner, 1995)، افزایش سطح برگ (Mohd Zain and Ismail, 2016) دانستند. از لحاظ فیزیولوژیکی نیز، دلایلی نظیر کنترل تعادل یونی، افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند ADP-گلوکز سینتاز، تأثیر بر افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه (Reddya *et al.*, 2004)، بهبود هدایت روزنه‌ای (Umar, 2006)، تنظیم اسمزی (Mohd Zain and Ismail, 2016)، افزایش میزان کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت‌های فتوسنتزی و درنهایت انتقال ترکیبات حاصل از فتوسنتز دانستند (Marchiol *et al.*, 1996).

یافته‌های پژوهش حاضر در خصوص افزایش بهره‌وری مصرف آب با کاهش میزان آبیاری، با نتایج آقاجانی دلاور (۱۳۹۵) مطابقت دارد. با این وجود، Abbasi and Sepaskhah (۲۰۱۱) گزارش نمودند که بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای غرقاب کامل برای ارقام مختلف برنج در استان فارس بود. ریائی و همکاران (۱۳۹۲) نیز بهترین تیمار آبیاری برنج را تیمار غرقاب کامل با پنج سانتی‌متر ارتفاع آب از سطح خاک دانستند. همچنین مطابق نتایج، کاربرد تیمارهای کود پتاسیمی نیز موجب افزایش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب گردید. افزایش بهره‌وری مصرف آب با کاربرد کود پتاسیم پیش‌تر هم گزارش شده بود (Rehm and Schmitt, 2002) که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. در همین راستا، کریمی و همکاران (۱۳۸۵) افزایش بهره‌وری مصرف آب را مرتبط با مصرف بهینه کود دانستند. پتاسیم از طریق افزایش بهره‌وری مصرف آب، موجب القای مقاومت در گیاهان تحت شرایط کم‌آبی نیز می‌شود. این اثر مثبت پتاسیم به‌دلیل تأثیر آن بر رشد ریشه (Bhiah *et al.*, 2010) همراه با افزایش جذب عناصر غذایی و آب به‌وسیله گیاه است (Mohd Zain and Ismail, 2016).

براساس یافته‌ها، کود زیستی اثر معنی‌داری بر صفاتی نظیر کارایی کوانتومی فتوسیستم II، عدد کلروفیل‌متر، عملکرد شلتوک و بهره‌وری مصرف آب نداشت. یکی از دلایل عدم تأثیرگذاری کودهای زیستی تجاری، ممکن است عدم‌سازگاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

و تطابق باکتری‌های غیربومی آنها با شرایط محیطی، خاک و نوع کشت در مناطق دیگر باشد (Bakhshandeh *et al.*, 2017b). در همین راستا، پیش‌تر نیز گزارش شده بود که ریزجانداران جداسازی‌شده از منطقه ریزوسفر گیاه میزبان ممکن است نسبت به ریزجانداران جداسازی‌شده از دیگر مناطق، سازگاری بهتری با گیاه میزبان داشته باشند (Gopalakrishnan *et al.*, 2011).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، کاهش میزان کلروفیل، افزایش کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم‌شده فتوسیستم II و کارایی کوانتومی غیر-فتوشیمیایی غیرتنظیم‌شده فتوسیستم II در هر دو ایستگاه نشان‌دهنده بروز تنش مختصر در گیاه در روش کم‌آبیاری است. اگرچه، میزان بهره‌وری مصرف آب در روش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش آبیاری غرقاب کامل بود اما عملکرد شلتوک در هر دو منطقه کاهش معنی‌داری داشت. از سوی دیگر، با توجه به پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه به کاربرد کود پتاسیمی، به‌ویژه تیمار کاربرد نیمی از کود پتاسیم سولفات به‌صورت پایه و نیمی از کود پتاسیم کلرید در مرحله سرک در هر دو منطقه، به‌نظر می‌رسد پتاسیم سبب حفظ فتوسنتز در شرایط تنش کم‌آبی شده و از این طریق سبب کاهش آثار نامطلوب کم‌آبی بر عملکرد شلتوک گیاه برنج شود.

منابع

آقاجانی دلاور، ع. (۱۳۹۵) بررسی نقش قارچ شبه‌میکوریز *Piriformospora indica* بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد دو رقم برنج در شرایط کم‌آبیاری. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.

آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی (۱۳۹٤) آمارنامه کشاورزی، محصولات زراعی، جلد اول. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

اسدی‌صنم، س.، زواره، م. شکری واحد، ح. و شاهین رخسار، پ. (۱۳۹۳) اثر محلول‌پاشی کود نیتروژن و پتاسیم مکمل بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج دورگ دیلم. مجله به‌زراعی کشاورزی ۱٦: ۷۰٤-٦۹۳.

دردی‌پور، ا.، فرشادی‌راد، ا. و ارزانش، م. ح. (۱۳۸۹) تأثیر *Azospirillum lipoferum* و *Azotobacter chrococoum* بر آزادسازی پتاسیم خاک در کشت گلدانی سویا. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۲: ۵۹۹-۵۹۳.

ریائی، ف.، حسام، م.، هزارجریبی، ا. و عبدالحسینی، م. (۱۳۹۲) بررسی میزان کارایی مصرف آب در برنج طارم. اولین همایش ملی بهینه‌سازی مصرف آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

شمسی‌پور، م.، فتوت، ر. و جباری، ف. (۱۳۸۹) ارتباط بین شاخص محتوی کلروفیل و عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش خشکی. فصلنامه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی ۲: ۱٦-۸.

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

عباسی‌مقدم، ا. و شبان، م. (۱۳۹۳) اثر کود پتاسیم و روی بر میزان کلروفیل برگ گلرنگ در شرایط تنش خشکی. اولین طرح تعاملی صنعت با دانشگاه. همایش سالانه پژوهش‌های کاربردی در علوم مهندسی و پایه، تهران، مرکز تحقیق و توسعه آلویام، تهران، ایران.

عرب‌زاده، ب. و آقاجانی، س. (۱۳۸۱) برنج (رشد و نمو گیاهی، نیاز آبی، آفات و بیماری‌ها و مدیریت علف‌های هرز). معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور، آمل.

عرفانی، ع. (۱۳۹۵) دستورالعمل تولید برنج سالم در شرایط کشاورزی پایدار. انتشارات معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور-

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

معاونت مازندران.

علوی‌متین، س. م.، راهنما، ا. و مسکرباشی، م. (۱۳۹٤) اثر نوع و مقادیر مختلف کود پتاسیم بر صفات زراعی و فیزیولوژیک دو رقم گندم دوروم تحت شرایط تنش شوری. تحقیقات غلات ۵: ۱۸۷-۱۷۷.

فرخی‌نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان اسلام، ب. و ساسان دوست، ر. (۱۳۹۰) بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ بهاره تحت تنش کمبود آب. مجله علوم گیاهان زراعی ایران ٤: ۵۵۳-۵٤۵.

قدمی فیروزآبادی، ع.، شاه‌نظری، ع.، رائینی سرجاز، م، و زارع ابیانه، ح. (۱۳۹٤) اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد، فلورسانس کلروفیل و پارامترهای رشد آفتابگردان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی ۲۹: ۱٦۹-۱۵۸.

کاظمی، ش. (۱۳۹۵) ارزیابی کارایی قارچ‌های *Glomus mosseae* و *Piriformospora indica* در بهبود عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت (سینگل کراس ۷۰٤) در سطوح متفاوت فسفر و آبیاری. پایان‌نامه دکتری زراعت. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

کریمی مریدانی، م. (۱۳۹۳) اهمیت پتاسیم در حاصلخیزی خاک شالیزار. فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲: ۳۹-۳۳.

کریمی، ا.، همایی، م.، معز اردلان، م.، لیاقت، ع. م. و رییسی، ف. (۱۳۸۵) اثر کود آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب در ذرت به روش آبیاری قطره‌ای- خطی. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی ۱۲: ۵۷۵-۵٦۱.

محمدیان، م. (۱۳۹۵) مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه برنج در شرایط تولید پایدار. دستورالعمل تولید برنج سالم در شرایط کشاورزی پایدار. انتشارات معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران ٤۲-۲٤.

ملکوتی، م. ج. و افخمی، م. (۱۳۷۸) ضرورت جلوگیری از تخلیه پتاسیم خاک‌های اراضی شالیزاری شمال کشور. نشر آموزش کشاورزی. معاونت تات وزارت جهاد کشاورزی. کرج. ایران. نشریه فنی شماره ٦۲.

ملکوتی، م. ج. و کاووسی، م. (۱۳۸۳) تغذیه متعادل برنج. وزارت جهاد کشاورزی- معاونت زراعت.

ملکوتی، م. ج. و همایی، م. (۱۳۸۳) حاصلخیزی مناطق خشک (مشکلات و راه‌حل‌ها). چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.

مؤمنی، ف.، قبادی، م.، جلالی‌هنرمند، س. و شکاری، پ. (۱۳۹۳) واکنش خصوصات فیزیولوژیک نخود به کودهای روی و پتاسیم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. فرآیند و کارکرد گیاهی ۳: ۸۳-۷۱.

میرنیا، س.، محمدیان، م. (۱۳۸٤) برنج، اختلالات عناصر غذایی، مدیریت عناصر غذایی (ترجمه). انتشارات دانشگاه مازندران.

نعمت‌اللهی، ا.، جعفری، ع. و باقری، ع. (۱۳۹۲) اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید روی رنگدانه‌های فتوسنتزی و جذب عناصر غذایی ارقام زراعی آفتابگردان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۵: ۵۱-۳۷.

نیک‌نژاد، و. و امام، ی. (۱۳۹۰) مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز.

یوسفیان، م. (۱۳۸۹) مطالعه بهره‌وری مصرف آب در کشت نشایی برنج (ارقام طارم و شیرودی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

Abbasi, M. R. and Sepaskhah, A. R. (2011) Response of different rice cultivars (*oryza sativa* L.) to watersaving irrigation in greenhouse conditions. International Journal of Plant Production 5: 37-47.

Abdeshahian, M., Nabipour, M. and Meskarbashee, M. (2010) Chlorophyll fluorescence as criterion for the diagnosis salt stress in wheat (*Triticum aestivum*) plants. International Journal of Biomedical Engineering and Technology 3: 184-186.

Andrews, J. R., Fryer, M. J. and Baker, N. R. (1995) Characterization of chilling effects on photosynthetic performance of maize crops during early season growth using chlorophyll fluorescence. Journal of Experimental Botany 46: 1195-1203.

Baker, N. R. and Roosenqvist, E. (2004) Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany 55: 1607-1621.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

Bakhshandeh, E., Pirdashti, H. and Shahsavarpour Lendeh, K. (2017a) Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. Ecological Engineering 103: 164-169.

Bakhshandeh, E., Pirdashti, H. and Gilani, Z. (2017b) Application of mathematical models to describe rice growth and nutrients uptake in the presence of plant growth promoting microorganisms. Appled Soil Ecology 124: 171-184.

Bhiah, K. M., Guppy, P., Lockwood, P. and Jessop, R. (2010) Effect of potassium on rice lodging under high nitrogen nutrition. 19 th World Congress of Soil Science, Soil Solutions and Changing World, Brisbane, Australia.

Cakmak, I. (1997) Role of potassium in protecting higher plants againstphoto-oxidative damage. In: Food Security in the WANA Region, the Essential Need for Balanced Fertilization (ed. Johnston, A. E.) Pp. 345-352. International PotashInstitute, Basel, Switzerland.

Chaves, M. M., Maroco, J. P. and Pereira, J. S. (2003) Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. Functional Plant Biology 30: 239-264.

Dobermann, A., Cassman, K. G., StaCruz, P. C., Adviento, M. A. A. and Pampolino, M. F. (1996) Fertilizer inputs, nutrient balance and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems. Effective soil K-supplying capacity. Nutrient Cycling in Agroecosystems 46: 11-21.

FAO. (2015) Rice Production, available online from http://www.faostat.org.

Gale, A., Csiszar, J., Tari, I. and Erdei, L. (2002) Changes in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. In: Proceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiology, Szeged, Hungar.

Genty, B., Briantais, J. M. and Baker, N. R. (1989) The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochimica et Biophysica Acta 990: 87-92.

Gopalakrishnan, S., Humayun, P., Kiran, B. K., Kannan, I. G. K., Vidya, M. S., Deepthi, K. and Rupela, O. (2011) Evaluation of bacteria isolated from rice rhizosphere for biological control of charcoal rot of sorghum caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. World Journal of Microbiology and Biotechnology 27: 1313-1321.

IRRI, PhilRice. (2005) Aerobic rice: A water-saving technology in development. Available online at: http:// www.irri.com.

Johnson, R., Frey, N. M. and Dale, N. (2002) Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. Crop Science 5: 728-731.

Kalaji, H. M. and Guo, P. (2008) Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. Photochemistry Research Progress 24: 439-463.

Kong, L., Sun, M., Wang, F., Liu, J., Feng, B., Si, J., Zhang, B., Li, S. and Li, H. (2014) Effects of high $NH4^+$ on K^+ uptake, culm mechanical strength and grain filling in wheat. Frontiers in Plant Science 5: 1-10.

Lawlor, D. W. and Cornic, G. (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants affected by N fertilization. Agronomy Journal 73: 583-587.

Li, G. M., Liu, B. B., Wu, Y. and Zou, Z. R. (2008) Interactive effects of drought stresses and elevated CO_2 concentration on photochemistry efficiency of cucumber seedlings. Journal of Integrative Plant Biology 50: 1307-1317.

Liu, C. H., Chao, Y. Y. and Kao, C. H. (2013) Effect of potassium deficiency on antioxidant status and cadmium toxicity in rice seedlings. Botanical Studies 54: 1-10.

Mahajan, G. (2008) Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab, india. Agricultural water management 96: 525-532.

Marchiol, L., Letia, L., Marti, M., Pperssotti, A. and Zerbi, G. (1996) Physiological responses of two soybean cultivarsto cadmium. Journal of Environmental Quality 25: 562-566.

Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd Ed. Academic Press, California,.

Mohd Zain, N. A and Ismail, M. R. (2016) Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange andbiochemical changes in rice (*Oryza sativa*) planted under cyclic waterstress. Agricultural Water Management 164: 83-90.

Motamed, M., Asadi, R., Rezaei, M. and Amiri, E. (2008) Response of high yielding rice varieties to NaCl salinity in greenhouse circumstances. African Joirnal of Biotechnology 7: 3866-3873.

Park, J., Bolan, N., Megharaj, M. and Naidu, R. (2010) Isolation of phosphate-solubilizing bacteria and characterization of their effects on lead immobilization. Pedologist 53: 67-75.

Parmar, P. and Sindhu, S. S. (2013) Potassium solubilizing by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environment conditions. Journal of Microbiology Research 3: 25-31.

Pervez, H., Ashraf, M. and Makhdum, M. I. (2004) Influence of potassium nutrition ongas exchange characteristics and water relations in cotton (*Gossypiumhirsutum* L.). Photosynthetica 42: 251-255.

Pirdashti, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Nematzadeh, G. and Ismail, A. (2004) Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. In: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

Porra, R J. (2002) The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research 73: 149-156.

Qi-chun, Z., Guang-huo, W., Yu-ke, F., Peiyuan, Q. and Schoenau, J. J. (2011) Effect of potassium fertilization on soil potassium pools and rice response in an intensive cropping system in China. Journal of Plant Nutrition 174: 73-80.

Rad, H. E., Aref, F. and Rezaei, M. (2012) Rice growth and yield components respond to changes in water salinity stress. World Applied Sciences Journal 20: 997-1007.

Reddya, A., Chaitanya, K. and Vivekanandanb, M. (2004) Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.

Rehm, G. and Schmitt, M. (2002) Potassium for crop production. University of Minnesota.

Shangguan, F. J., Shao, M. and Dyckmans, J. (2000) Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. Journal of Plant Physiology 156: 45-51.

Umar, S. (2006) Alleviating adverse effects of water stress on yield of sorghum, mustard and groundnut by potassium application. Pakistan Journal of Botany 38: 1373-1380.

Vessy, K. (2003) Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizars. Plant and Soil 255: 571-586.

Yaghoubian, Y., Siadat, S. A., Moradi Telavat, M. R. and Pirdashti, H. (2016) Quantify the response of purslane plant growth, photosynthesis pigments and photosystem II photochemistry to cadmium concentration gradients in the soil. Russian Journal of Plant Physiology 63: 77-84.

Yaghoubi Khanghahi, M., Pirdashti, H., Rahimian, H., Nematzadeh, Gh. and Ghajar Sepanlou, M. (2017) Potassium solubilising bacteria (KSB) isolated from rice paddy soil: from isolation, identification to K use efficiency. Symbiosis 77:1-11.

Zaman, U., Ahmad, Z., Farooq, M., Saeed, S., Ahmad, M. and Wakeel, A. (2015) Potassium fertilization may improve stem strength and yield of Basmati rice grown on nitrogen fertilized soils. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 52: 1-7.

Zlatev, Z. (2009) Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. Biotechnology and Biotechnological Equipment 23: 438-441.

Zlatev, Z. and Yardanov, I. T. (2004) Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology 30: 3-18.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]

Effect of foliar application of iron nanoparticles on improvement of some physiological and morphological traits of purslane (*Portulaca oleracea*) under cadmium stress

Seyed Hossein Mohseni [1], Mohammad Ali Esmaeli [1], Hemmatollah Pirdashti*[2], Rahmat Abasi[1] and Morteza Nasiri [3]

[1] Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
[2] Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran
[3] Of the Rice Research Institute of Iran, Mazandaran branch, Agricultural research, Extension Organization (AREEO), Amol, Iran
(Received: 08/01/2018, Accepted: 21/08/2018)

Abstract

In order to investigate the effects of foliar spraying of iron nanoparticles on improvement of some physiological and morphological traits of purslane (*Portulaca oleracea*) under cadmium stress, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The experiment was conduted under greenhouse conditions at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University during 2017. The experimental factors included cadmium chloride in six levels (0, 25, 50, 75,100 and 125 mg/kg soil) and foliar spring of iron nanoparticles in five levels (0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1 g/l). The results showed that the interction effects of iron nanoparticles and cadmium were significant on leaf area, root dry weight and proline content at 5% as well as leaf dry weight and chlorophyl contents at 1% probablity level. The leaf area responded a linear decrease trend with increasing cadmium levels at levels of 0, 0.5, 0.75 and 1 g/l of foliar spraying of iron nanoparticles. By contrast, as a segmented model at concentration of 0.25 g/l. Foliar spraying of iron nanoparticles at all four levels increased root dry weight to 25 mg/kg of cadmium, but at levels above 25, the root dry weight decreased at higher level of Cd. Meanwhile, the concentration of 0.5 g/l of foliar spraying of iron nanoparticles had the most effect on root dry weight by 34.80% increase as compared to the control. SPAD value increased in both levels of 0.5 and 0.75 to 25 mg/kg of soil cadmium, 11.19 and 28.99% respectively, as compared to the control. In general, our results, indicated that foliar application of iron nanoparticles was effective to improve cadmium tolerance in purslane plant in low cadmium concentrations. However, more research is needed to investigate the mechanism of iron nanoparticles.

Keywords: Stress, Phytoremediation, Heavy metals, Nanoparticles.

Corresponding author, Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.35.1.2]