

## تأثیر کاربرد کودهای پتاسیمی بر فلورسانس کلروفیل و رنگیزه‌های فتوستتری گیاه برنج (*Oryza sativa L.*) رقم طارم هاشمی در شرایط کم آبیاری تنظیم شده

سید حسین محسنی<sup>۱</sup>، محمدعلی اسماعیلی<sup>۱</sup>، همت‌اله پیردشتی<sup>۲\*</sup>، رحمت عباسی<sup>۱</sup>، مرتضی نصیری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۲</sup> گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۳</sup> پژوهشگاه مؤسسه تحقیقات برنج، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و کشاورزی، آمل

(تاریخ دریافت: ۱۰/۱۰/۱۳۹۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۰۵/۰۳/۱۳۹۷)

### چکیده

به منظور بررسی اثر کم آبیاری و کارایی انواع کودهای پتاسیمی بر بهبود میزان رنگیزه‌های فتوستتری و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در برنج (رقم طارم هاشمی)، پژوهشی مزروعی در سال ۱۳۹۵ در دو ایستگاه مؤسسه تحقیقات برنج (آمل) و مزرعه الگویی واقع در شهرستان سوادکوه به صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. روش‌های مختلف آبیاری در دو سطح غرقاب کامل و غرقاب نمودن 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 کم آبیاری میزان کلروفیل  $a$ ,  $b$ ,  $a+b$ ، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر، سرعت انتقال الکترون در فتوسیستم II (ETR) و عملکرد شلتوك در مقایسه با تیمار آبیاری غرقاب به طور معنی‌داری در هر دو ایستگاه کاهش یافت. این پژوهش حاکی از اثر مثبت تیمارهای کاربرد کود پتاسیم در شرایط کم آبی از طریق افزایش معنی‌دار محتوی کلروفیل و شاخص خاموشی غیرفوتوسینیایی (NPQ) بود. بیشترین میزان عملکرد شلتوك از برهمکنش تیمارهای آبیاری غرقاب و کاربرد ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت سرک، معادل ۴۹۴۵ و ۴۷۷۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در ایستگاه‌های آمل و سوادکوه به دست آمد. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد شلتوك با صفات محتوی کلروفیل  $a$ ، کلروفیل کل، حداکثر کارایی کوانتمی فتوسیستم II (Fv/Fm) و ETR می‌توان اظهار داشت که تیمار کاربرد ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت سرک بیشترین کارایی را از لحاظ صفات مورد بررسی به‌ویژه در شرایط کم آبی داشت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، رنگیزه‌های فتوستتری، پتاسیم سولفات، کارایی کوانتمی فتوسیستم II، پتاسیم کلرید

زراعی ۱۳۹۳-۹۴ در حدود ۵۳۰ هزار هکتار با میانگین عملکرد ۴۴۳۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴). امروزه مهم‌ترین چالش در رابطه با تولید برنج، افزایش بهره‌وری آب و تولید برنج بیشتر با آب

### 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

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، علاوهً کمبود پتاسیم مشاهده می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط غرقابی و احیابی، ریشه برنج قادر نیست از پتاسیم موجود در خاک استفاده نماید (ملکوتی و افخمی، ۱۳۷۸). به عبارت دیگر، در اراضی غرقابی به علت عدم تهویه مناسب و وجود گاز هیدروژن سولفید که نتیجه تجزیه و تخریب 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 فتوستزی در شرایط کم آبیاری بود. در همین راستا، گزارش گردید کمبود پتاسیم در گیاه موجب کاهش فتوستز 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؛ and Ismail, 2016). در آزمایش‌های دیگری نشان اسدی‌صنم و همکاران، ۱۳۹۳) نتایج پتاسیم تأثیر مثبتی در پرشدن دانه‌ها و افزایش داده شد که کود پتاسیم تأثیر مثبتی در پرشدن دانه‌ها و افزایش میزان عملکرد دانه دارد در حالیکه کمبود آن موجب عقیمی گردها 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). به طوریکه گزارش گردید مصرف کود پتاسیم کلرید به

کمتر است، چرا که این گیاه با مصرف بیش از ۸۰ درصد کل منابع آب در آسیا به عنوان 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، به طوریکه 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 مرتبط شدن 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 به طور دوره‌ای و با فواصل معین، به طوریکه در این روش به جای اینکه مزرعه در طول دوره رشد به طور دائم در حالت غرقاب باشد، به صورت 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، ۱۳۸۴). بیشترین نقش این عنصر در برنج شامل افزایش سطح برگ، افزایش میزان کلروفیل، تأخیر در ریزش برگ‌ها (ملکوتی و کاووسی، ۱۳۸۳)، افزایش مقاومت به تنفس‌های محیطی (Mohd Zain, 2016)، افزایش بهره‌وری آب (کریمی مریدانی، Kong *et al.*, ۲۰۱۴)، افزایش استحکام ساقه و کاهش ورس (Kong *et al.*, ۲۰۱۴) است. اغلب خاک‌ها دارای مقادیر نسبتاً زیادی پتاسیم کل هستند، به طوریکه میزان پتاسیم در خاک حدود شش برابر مقدار نیتروژن و ۱۶ برابر فسفر است (کریمی مریدانی، ۱۳۹۳). با این وجود، تنها بخش بسیار ناچیزی (حدود دو درصد) از

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 آهنگرکلاع شهرستان سوادکوه شمالی با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی به صورت 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 مرطوب شدن متناوب در نظر گرفته شد. تا ۱۴ 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 ۴۰ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر در خاک شالیزار در کرتهای قرار داده شد، به‌ نحویکه 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 نصب شده در داخل زمین اندازه‌گیری و سپس در صورت نیاز و براساس تیمار تعریف شده و با توجه به میزان بارندگی (جدول ۱)، آبیاری به صورت غرقاب (بنج سانتی‌متر بالای سطح خاک) انجام و بلا فاصله شماره کنتور خوانده و

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 ریزجاذبه مفید به همراه مواد نگهدارنده و یا فرآورده‌های متابولیکی آنها است که به منظور تأمین عناصر غذایی گیاهان استفاده می‌شود (Vessy, 2003). ریزجاذباران 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 تشید پدیده کم‌آبی در استان‌های شمالی به عنوان اصلی‌ترین مناطق تولید برنج و همچنین مصرف بالای آب در اراضی شالیزاری (آفاجانی 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



شکل ۱- لوله‌های مشبک کار گذاشتده 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)

حرارت (سانتی‌گراد)	متوجه درجه (درصد)	مجموع بارندگی (میلی‌متر)	متوسط رطوبت نسبی	مجموع ساعت آفتابی	منطقه
۲۴/۶۶	۷۸/۳	۱۱۷/۰		۸۰۹/۲	مؤسسه تحقیقات برنج کشور- آمل
۲۱/۲۲	۸۰/۳	۴۴۰/۶		۵۰۶/۷	شهرستان سوادکوه شمالی

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 ۴۱ درصد) به خود اختصاص داده است (آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴). انتقال و کاشت نشاهای در زمین اصلی (شالیزار) برای ایستگاه مؤسسه تحقیقات برنج، در تاریخ ۲۴ اردیبهشت و برای ایستگاه سوادکوه شمالی، در تاریخ ۱۸ اردیبهشت انجام گرفت. نشاهای در مرحله سه الی چهار برگی، زمانی که ارتفاع نشاهای به ۲۰×۲۰ سانتی‌متر رسید، به صورت تکخال و با فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر به زمین اصلی انتقال داده شدند. علاوه بر این، وجين 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

میزان آبیاری بر حسب لیتر ثبت گردید. با توجه به اهمیت زیاد آب در مرحله گلدهی و به منظور جلوگیری از عقیم شدن سنبلاچه‌ها، یک هفته قبل تا یک هفته بعد از گلدهی مزرعه به صورت غرقاب درآمد (آفاجانی 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*) و سودوموناس ونکوورنسیس (*Pseudomonas koreensis*) و سودوموناس ونکوورنسیس (*Pseudomonas vancouverensis*) بود (به صورت پودر،  $10^7 \text{ CFU ml}^{-1}$ ). جهت تلقیح با باکتری گیاهچه‌های برنج پیش از نشاكاری به مدت پنج ساعت در محلول حاوی کود زیستی قرار گرفتند (Bakhshandeh *et al.*, 2017a) به عنوان سرک در مرحله پنجه‌زنی صورت گرفت. در این پژوهش از رقم طارم هاشمی استفاده شد. این رقم

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

کود زیستی	کود پتاسیم کلرید	کود پتاسیم سولفات	سطح
-	-	-	F1
-	-	% ۱۰۰ به صورت پایه	F2
-	-	% ۵۰ به صورت پایه و % ۵۰ به صورت سرک	F3
-	% ۱۰۰ به صورت پایه	-	F4
-	% ۵۰ به صورت پایه و % ۵۰ به صورت سرک	-	F5
% ۱۰۰	-	-	F6
% ۱۰۰	-	% ۵۰ به صورت پایه	F7
% ۱۰۰	% ۵۰ به صورت پایه	-	F8
-	% ۵۰ به صورت سرک	% ۵۰ به صورت پایه	F9

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

منطقه	بافت خاک	آلی کربن	کل اشبع	اسیدیته	الکتریکی	نیتروژن	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
ایستگاه مؤسسه تحقیقات برج آمل	سیلتی-لومی	۳/۳	۷/۹۷	۱/۹۴	۰/۲۳	۷/۵	۱۴۰	(میلی گرم بر کیلوگرم)
ایستگاه سوادکوه شمالی رسی	سیلتی-لومی-	۲/۸۷	۷/۲۸	۱/۲۴	۰/۱۷	۷/۰	۱۳۹	(میلی گرم بر کیلوگرم)

تهیه و در ۸ میلی لیتر مثانول غوطه‌ور و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای اتاق قرار گرفتند. سپس با دستگاه اسپکتروفوتومتر (Analytic jena - SPEKOL 1300) میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ۶۵۲/۴، ۶۶۵/۲ و ۶۵۲/۴ نانومتر خوانده و ثبت شد. درنهایت میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنتوئید بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر برگ به ترتیب با استفاده از روابط ۱ تا ۴ محاسبه گردید (Porra, 2002).

$$\text{Chl}_a (\mu\text{g/ml}) = 16.72 A_{665.2} - 9.16 A_{652.4} \quad (1)$$

$$\text{Chl}_b (\mu\text{g/ml}) = 34.09 A_{652.4} - 15.28 A_{665.2} \quad (2)$$

$$\text{Chl}_{(a+b)} (\mu\text{g/ml}) = c_a + c_b \quad (3)$$

$$\text{Car} = (1000 A_{470} - 1.8 C_a - 85.02 C_b)/198 \quad (4)$$

در این رابطه‌ها  $C_a$ ،  $C_b$  و  $C_{(a+b)}$  به ترتیب کلروفیل a و کلروفیل کل و  $A_{665.2}$  میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۶۵/۲ و ۶۵۲/۴ نانومتر است. جهت

کشور به صورت یکنواخت در کلیه کرت‌ها مصرف گردید. بر این اساس، ۱۲۵ و ۱۳۵ کیلوگرم کود اوره و ۸۰ و ۱۱۰ کیلوگرم کود فسفات از منبع سوپرفسفات تریپل، به ترتیب در ایستگاه‌های معاونت مؤسسه تحقیقات برج کشور و ایستگاه سوادکوه شمالی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، میزان کودهای پتاسیم سولفات ( $\text{K}_2\text{O}$ ) و پتاسیم کلرید ( $\text{K}_2\text{O}$ ) برای ایستگاه مؤسسه تحقیقات برج، به ترتیب ۱۱۵ و ۱۰۰ کیلوگرم و در ایستگاه سوادکوه شمالی ۱۳۵ و ۱۲۰ کیلوگرم جهت اعمال تیمارهای کاربرد کود شیمیایی پتسه در نظر گرفته شد.

غلهای رنگیزه‌های فتوسترنزی و میزان سبزینگی برگ: برای اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسترنزی یک هفته قبل از گلدهی گیاه شش عدد پانچ از برگ‌های کاملاً توسعه یافته برج

روطوبت ۱۴ درصد محاسبه و بر حسب کیلوگرم بر هکتار گزارش گردید. بر این اساس، مرحله برداشت در ایستگاههای مؤسسه تحقیقات برنج و سوادکوه شمالی، به ترتیب مصادف با ۲۵ و ۲۸ مرداد بود. سپس بهرهوری مصرف آب، از نسبت عملکرد شلتوك بر مجموع میزان آب آبیاری و بارندگی در طول فصل رشد، محاسبه گردید (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵). در MSTAT-C پایان، داده‌ها پس از آزمون نرم‌مالبودن با نرم‌افزار 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 به منظور تعیین یکنواختی و متجانس‌بودن واریانس اشتباہ آزمایش‌های مختلف از آزمون بارتلت استفاده گردید (کاظمی، ۱۳۹۵).

### نتایج

از آنجایی که آزمون همگنی واریانس آزمایش (بارتلت) دلالت بر عدم یکنواختی واریانس آزمایش برای صفات مورد مطالعه در این پژوهش (به غیر از عدد کلروفیل متر و نسبت کلروفیل a/b) در دو منطقه داشت، لذا صفات مورد مطالعه در هر مکان به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۴).

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، F<sub>0</sub>، ETR، عملکرد شلتوك و بهره‌وری مصرف آب در هر دو ایستگاه و بر صفات F<sub>m</sub>، Y(NPQ) و NPQ در ایستگاه سوادکوه اثر معنی‌داری داشت. همچنین، تیمار کم‌آبیاری اثر معنی‌داری بر صفات عدد کلروفیل متر، F<sub>m</sub>، F<sub>v</sub>، Y(NO)، Y(NPQ) و F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> در ایستگاه آمل و بر صفات F<sub>v</sub> و Y(NPQ)، در ایستگاه سوادکوه داشت. تفاوت بین انواع کود پتاسمی نیز از نظر صفات مرتبط با رنگیزه‌های فتوستزی، در هر دو ایستگاه و NPQ، در ایستگاه آمل و Y(NO) در ایستگاه سوادکوه معنی‌دار بود (جدول ۵، ۶، ۷ و ۸).

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

اندازه‌گیری میزان سبزینگی برگ نیز از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502، Minolta, Japan) استفاده گردید. اندازه‌گیری از شش نقطه برگ کاملاً توسعه یافته در مرحله گلدهی انجام و میانگین اعداد به دست آمده به عنوان عدد نهایی در محاسبه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

**فلورسانس کلروفیل:** در زمان یک هفته قبل از گلدهی اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل در آخرین برگ توسعه یافته با دستگاه فلورومتر (PAM 2500, Walz, Germany) و براساس روش Genty و همکاران (۱۹۸۹) صورت گرفت. بدین‌منظور، برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص دستگاه به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵). فلورسانس حداقل (F<sub>0</sub>) با همه مراکز واکنشی باز فتوسیستم II، توسط نور با شدت پایین (۰/۱) میکرومول بر مترمربع در ثانیه) و فلورسانس حداکثر (F<sub>m</sub>) با تابش پالس اشباع نوری (۸۰۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) به مدت یک ثانیه در برگ‌های سازگار به تاریکی تعیین شد. سپس با تابش نور مرئی سفید رنگ ۶۸۵ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) میزان فلورسانس پایدار (F<sub>t</sub>) ثبت و مجددأ پالس اشباع نوری (۸۰۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه) اعمال و میزان فلورسانس حداکثر (F<sub>m</sub>) در برگ‌های سازگار به روشنایی تعیین شد. سپس فلورسانس حداقل در مرحله روشنایی (F<sub>0</sub>) با تابش نور قرمز دور ثبت گردید. با استفاده از پارامترهای تعیین شده در برگ‌های سازگار به تاریکی و روشنایی میزان فلورسانس حداقل (F<sub>0</sub>)، فلورسانس حداکثر (F<sub>m</sub>)، فلورسانس متغیر (F<sub>v</sub>)، حداکثر کارایی کوانتموی فتوسیستم II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)، کارایی کوانتموی غیرفتوصیمیایی تنظیم شده فتوسیستم II (Y(NPQ))، کارایی کوانتموی غیرفتوصیمیایی غیرتنظیم شده فتوسیستم II (Y(NO))، خاموشی غیرفتوصیمیایی (NPQ) و سرعت انتقال الکترون در فتوسیستم (ETR) II (Li et al., 2008) محاسبه گردید.

بوته‌ها در مرحله رسیدگی کامل محصول، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای (دو مترمربع از متن هر کرت) برداشت و خرمن‌کوبی شده و میزان عملکرد نهایی دانه آن براساس

جدول ۴- آزمون همگنی واریانس (آزمون بارتلت) در دو منطقه آمل و سوادکوه شمالی

کای اسکوار بارتلت	صفات	کای اسکوار بارتلت	صفات
۲۲/۸۷ **	حداکثر کارایی کوانتمومی فتوسیستم (Fv/Fm) II	۱۳/۵۷ **	کلروفیل a
۱۱/۷۰ **	کارایی کوانتمومی غیرفتوشیمیایی تنظیم شده فتوسیستم (Y(NPQ)) II	۱۴/۳۰ **	کلروفیل b
۶۴/۰۴ **	کارایی کوانتمومی غیرفتوشیمیایی غیرتنظیم شده فتوسیستم (Y(NO)) II	۱۹/۵۲ **	a+b
۸۸/۰۵ **	خاموشی غیرفتوشیمیایی (NPQ)	۱/۹۴ ns	کلروفیل a/b
۲۲۵/۳۹ **	سرعت انتقال الکترون در فتوسیستم II (ETR)	۳/۵۲ *	کارتنوئید
۱/۷۹ ns	عدد کلروفیل متر (SPAD)	۶۳/۹۳ **	فلورسانس حداقل (Fo)
۲۰۵/۷۵ **	عملکرد شلتوك	۹۳/۱۰ **	فلورسانس حداکثر (Fm)
۲۷۱/۴۶ **	بهره‌وری مصرف آب	۹۰/۷۱ **	فلورسانس متغیر (Fv)

\*\* و \* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد است.

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

میانگین مربعات	منبع تغییرات							
کارتنوئید	a/b	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل متر	عدد کلروفیل متر	آزادی	درجه
۰/۰۴۶ ns	۰/۰۶۳ ns	۱/۹۲۸ ns	۰/۰۲۸ ns	۱/۵۴۳ ns	۴/۰۳۶ ns	۲	تکرار	
۲/۹۱۱ *	۰/۱۳۸ ns	۳۶/۷۱۴ *	۱/۹۳۱ **	۲۱/۸۰۶ *	۲۲/۳۳۷ *	۱	آبیاری (A)	
۰/۰۵۰	۰/۱۹۱	۰/۶۸۵	۰/۰۱۴	۰/۶۱۶	۲۰/۷۳۲	۲	خطای A	
۰/۳۳۴ **	۱/۲۹۰ **	۵/۵۹۳ **	۰/۷۰۳ **	۳/۵۰۲ **	۴/۳۲۹ ns	۸	کود پتابیومی (B)	
۰/۲۷۰ **	۰/۱۷۹ *	۳/۶۸۲ **	۰/۲۲۷ **	۲/۲۴۲ **	۱/۱۴۴ ns	۸	B × A	
۰/۶۶۷	۰/۰۳۹	۰/۷۶۰	۰/۱۹۳	۰/۰۹۹	۴/۱۴۵	۳۲	خطای کل	
۴/۵۱	۸/۶۶	۸/۲۴	۷/۳۸	۱۰/۹۰	۱۱/۷۲		ضریب تغییرات	

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار است.

نداشت. سطوح مختلف تیمار کاربرد کود پتابیومی اثر معنی داری بر میزان عدد کلروفیل متر، Fv، Fm، Y(NPQ) و Y(NO) نداشت اما میزان NPQ را در مقایسه با تیمار بدون کاربرد کود به طور معنی داری افزایش داد. بر این اساس، بیشترین میزان NPQ معادل ۱/۵۸ از تیمار F9 حاصل شد (جدول ۶).

مطابق نتایج، بیشترین میزان کلروفیل a و a+b از ترکیب تیماری آبیاری غرقابی و تیمار F8، به ترتیب به میزان ۱۱/۶ و ۱۴/۵ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ، حاصل شد که به طور

کلروفیل متر، Fm و Fv در مقایسه با تیمار آبیاری غرقاب به طور معنی داری کاهش یافت. میزان صفات یادشده در تیمار کم آبیاری با کاهش ارتفاع آب به ۱۰ سانتی‌متری عمق خاک، به ترتیب ۵/۲، ۵ و ۵/۶ درصد کمتر از روش آبیاری غرقاب بود. از سوی دیگر، میزان Y(NPQ)، Y(NO) و NPQ به طور معنی داری افزایش یافت، به طوریکه میزان آنها در تیمار کم آبیاری، به ترتیب ۷/۶، ۹/۱ و ۱۹/۱ درصد بیشتر از تیمار آبیاری غرقاب بود. مطابق نتایج، بین تیمار کم آبیاری و آبیاری غرقاب تفاوت معنی داری از لحاظ میزان Fv/Fm وجود

جدول ۶- میانگین مربعات اثر تیمارهای کم آبیاری و کاربرد کود پتابیسمی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل در برج در ایستگاه آمل

ETR	NPQ	Y(NO)	Y(NPQ)	Fv/Fm	Fv	Fm	Fo	آزادی	درجه	منبع تغییرات
۴/۷۷۸ ns	۰/۲۲۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۳۳۱ ns	۰/۴۳۱ ns	۰/۰۱۶ ns			
۱۱/۹۴۰ *	۰/۵۲۱ *	۰/۰۰۳ *	۰/۰۰۵ *	۰/۰۰۱ ns	۰/۸۶۳ *	۱/۱۳۷ *	۰/۰۱۹ ns	۱	آبیاری (A)	
۰/۲۸۵	۰/۴۷۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۲۴۰	۰/۲۰۴	۰/۰۰۲	۲	خطای A	
۰/۳۸۴ ns	۰/۰۹۱ *	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۸۵ ns	۰/۱۱۴ ns	۰/۰۰۴ ns	۸	کود پتابیسمی (B)	
۱/۲۰۲ *	۰/۲۹۲ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۴۱ ns	۰/۰۴۰ ns	۰/۰۰۹ *	۸	B × A	
۰/۳۵۱	۰/۰۴۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۴۹	۰/۱۵۸	۰/۰۰۲	۳۲	خطای کل	
۹/۳۰	۱۴/۴۷	۹/۵۵	۱۱/۳۵	۲/۳۷	۸/۳۷	۶/۷۳	۳/۴۹		ضریب تغییرات	

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار است.

جدول ۷- میانگین مربعات اثر تیمارهای کم آبیاری و کاربرد کود پتابیسمی بر میزان عدد کلروفیل متر، کلروفیل a، b، کل، a/b و کارتنتوئید در برج در ایستگاه سوادکوه

کارتنتوئید	a/b	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل متر	عدد کلروفیل متر	آزادی	درجه	منبع تغییرات
۰/۱۹۴ ns	۰/۳۵۸ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۲۶ ns	۰/۰۲۱ ns	۴/۶۹۷ ns	۲	تکرار		
۰/۹۷۵ ns	۷/۴۶۶ *	۱۱/۵۴۸ *	۱/۱۱۳ **	۵/۴۹۱ ns	۱۲/۹۰۷ ns	۱	آبیاری (A)		
۰/۱۹۸	۰/۱۳۱	۰/۴۸۲	۰/۰۱۸	۰/۴۰۹	۴/۶۲۷	۲	خطای A		
۰/۳۲۹ **	۲/۹۵۶ **	۲/۵۲۳ **	۰/۲۰۸ **	۱/۹۳۵ **	۱۰/۳۱۲ ns	۸	کود پتابیسمی (B)		
۰/۰۴۸ **	۱/۶۹۴ *	۰/۳۷۸ **	۰/۰۶۸ **	۰/۲۷۲ **	۰/۶۷۰ ns	۸	B × A		
۰/۰۹۳	۰/۳۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱۲	۰/۰۵۰	۵/۲۸۱	۳۲	خطای کل		
۷/۳۷	۹/۶۶	۵/۹۷	۶/۱۱	۷/۰۰	۵/۱۸		ضریب تغییرات		

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار است.

سایر ترکیب‌های تیماری بود. همچنین، تیمار F9 در روش آبیاری غرقاب کامل به طور معنی داری میزان ETR و Fv را در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود افزایش داد. همچنین، این تیمار در روش کم آبیاری اختلاف معنی داری با سایر سطوح تیمار کاربرد کود در روش آبیاری غرقاب نشان نداد که حاکی از اثر مثبت تیمار F9 بر کاهش اثر تنفس کم آبی از طریق افزایش میزان Fv و افزایش ETR است (جدول ۱۰).

مطابق نتایج، بیشترین میزان عملکرد شلتوك معادل ۴۹۴۵ کیلوگرم در هکتار از برهمکنش تیمارهای آبیاری غرقاب کامل و F9 به دست آمد که در مقایسه با تیمار F1 در روش‌های

معنی داری بیشتر از تیمار F1 در آبیاری غرقاب کامل بود. با این وجود، بیشترین میزان کلروفیل a+b در روش غرقاب F1 مربوط به تیمار F7 بود که اختلاف معنی داری با تیمار F1 در همین روش آبیاری داشت. در همین راستا، بیشترین میزان کارتنتوئید و نسبت کلروفیل a/b نیز از تیمار F7 در هر دو روش آبیاری غرقاب کامل (به ترتیب معادل ۲/۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ و ۴/۶) و کم آبیاری (معادل ۲/۷ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ و ۴/۶) به دست آمد. همچنین، حداکثر میزان کلروفیل b به میزان ۳/۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار F4 در آبیاری غرقاب کامل به دست آمد که به طور معنی داری بیشتر از

جدول ۸- میانگین مربعات اثر تیمارهای کم آبیاری و کاربرد کود پتاسیمی بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل در برج در ایستگاه سوادکوه

آزادی	درجه	منبع تغییرات	میانگین مربعات	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Y(NPQ)	Y(NO)	NPQ	ETR
			۰/۰۱۹ ns	۰/۰۴۹ ns	۰/۴۳۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۱۰۶ ns	۰/۲۸۹ ns	۴/۶۸۹ ns
۱	(A)	آبیاری	۰/۰۲۲ ns	۱/۷۷۲ ns	۱/۳۱۲ *	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۶ *	۰/۰۰۴ *	۰/۲۸۳ ns	۰/۰۱۷ *	۱۲/۰۱۷ *
۲	A	خطای	۰/۰۰۲	۰/۲۱۱	۰/۲۴۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۲۰۳	۰/۲۹۶	۰/۰۲۹
۸	(B)	کود پتاسیمی	۰/۰۰۲ **	۰/۲۸۲ ns	۰/۲۲۵ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۵ **	۰/۰۰۲ **	۰/۰۷۳ ns	۰/۰۴۷ ns	۱/۰۴۷ ns
۸	B × A		۰/۰۱۱ *	۰/۰۷۱ *	۰/۰۶۹ ns	۰/۰۰۰ ns	۰/۰۰۸ *	۰/۰۰۰ ns	۰/۱۴۳ *	۱/۱۹۶ *	۱/۱۹۶ *
۳۲	خطای کل		۰/۰۰۳	۰/۱۵۲	۰/۱۴۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۳۹	۰/۳۴۳	۰/۳۴۳
۳/۸۲	ضریب تغییرات		۷/۱۰	۷/۴۵	۱/۷۹	۱۲/۲۳	۸/۰۳	۱۳/۳۳	۱۰/۱۹		

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار است.

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

ترکیب تیماری	عدد کلروفیل متر	Fm	Fv	Fv/Fm	Y(NPQ)	Y(NO)	NPQ
آبیاری	۴۵/۸۰ a	۷/۰۶ a	۴/۷۳ a	۰/۷۴ a	۰/۱۱ b	۰/۱۵ b	۱/۳۵ b
(ارتفاع آب بر حسب cm)	۴۳/۵۱ b	۵/۷۷ b	۴/۴۸ b	۰/۱۶ a	۰/۱۲ a	۰/۱۵ a	۱/۵۴ a
F1	۴۳/۸۷ a	۷/۰۰ a	۴/۷۱ a	۰/۷۳ a	۰/۱۲ a	۰/۱۶ a	۱/۲۹ c
F2	۴۴/۵۰ a	۵/۷۸ a	۴/۴۹ a	۰/۷۳ a	۰/۱۱ a	۰/۱۵ a	۱/۵۰ ab
F3	۴۵/۲۹ a	۵/۸۷ a	۴/۵۹ a	۰/۷۴ a	۰/۱۱ a	۰/۱۴ a	۱/۳۴ bc
F4	۴۵/۶۹ a	۵/۸۸ a	۴/۵۹ a	۰/۷۴ a	۰/۱۲ a	۰/۱۴ a	۱/۳۲ bc
F5	۴۶/۱۴ a	۷/۰۰ a	۴/۶۷ a	۰/۷۴ a	۰/۱۱ a	۰/۱۵ a	۱/۵۵ ab
F6	۴۵/۸۳ a	۵/۸۷ a	۴/۵۶ a	۰/۷۳ a	۰/۱۲ a	۰/۱۵ a	۱/۴۳ a-c
F7	۴۶/۱۱ a	۷/۰۵ a	۴/۷۲ a	۰/۷۴ a	۰/۱۱ a	۰/۱۴ a	۱/۵۲ a-c
F8	۴۴/۷۸ a	۵/۶۶ a	۴/۳۹ a	۰/۷۳ a	۰/۱۱ a	۰/۱۵ a	۱/۴۵ a-c
F9	۴۴/۱۹ a	۷/۰۹ a	۴/۷۶ a	۰/۷۴ a	۰/۱۲ a	۰/۱۴ a	۱/۵۸ a

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

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

متراکمکعب به دست آمد که به طور معنی داری بیشتر از سایر سطوح کاربرد کود در روش آبیاری غرقاب کامل بود. همچنین، کمترین میزان بهره‌وری آب، معادل ۰/۳۸ کیلوگرم بر متراکمکعب

آبیاری غرقاب کامل و کم آبیاری، به ترتیب ۲۲/۸ و ۲۷/۷ درصد بیشتر بوده است. از سوی دیگر، بیشترین میزان بهره‌وری آب نیز از تیمار F9 در روش کم آبیاری، معادل ۰/۶۶ کیلوگرم بر

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

ترکیب تیماری	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلروفیل a/b	کارتونوئید	Fo	ETR	شلتوك	عملکرد آب	بهرهوری آب
ارتفاع آب (سانتی متر)	کود	پتاسیم		میلی گرم بر گرم وزن تر برگ		-	-	کیلوگرم بر هکتار	کیلوگرم بر متر مکعب	
F1	۷/۸۹۴ <sup>e</sup>	۱/۸۰۱ <sup>gh</sup>	۹/۷۴۵ <sup>g-i</sup>	۴/۳۱۰ <sup>ab</sup>	۲/۴۹۱ <sup>ab</sup>	۱/۲۹۹ <sup>b-e</sup>	۶/۲۶۲ <sup>b-e</sup>	۴۰۰۲۵ <sup>gh</sup>	۰/۳۸۰ <sup>h</sup>	۰/۳۸۰ <sup>h</sup>
F2	۹/۲۸۴ <sup>b-d</sup>	۲/۲۴۴ <sup>ef</sup>	۱۱/۵۳۰ <sup>ef</sup>	۴/۱۵۷ <sup>ab</sup>	۲/۶۷۹ <sup>ab</sup>	۱/۲۹۶ <sup>b-e</sup>	۶/۸۰۶ <sup>a-c</sup>	۴۵۰۶ <sup>b-f</sup>	۰/۴۲۵ <sup>e-g</sup>	۰/۴۲۵ <sup>e-g</sup>
F3	۱۰/۴۹۰ <sup>ab</sup>	۲/۶۹۰ <sup>b-d</sup>	۱۳/۱۸۱ <sup>a-c</sup>	۳/۹۲۹ <sup>bc</sup>	۱۳/۱۸۱ <sup>a-c</sup>	۱/۳۱۱ <sup>a-e</sup>	۶/۶۴۱ <sup>a-d</sup>	۴۷۷۸ <sup>a-c</sup>	۰/۴۵۱ <sup>ef</sup>	۰/۴۵۱ <sup>ef</sup>
F4	۹/۶۵۰ <sup>bc</sup>	۳/۲۵۴ <sup>a</sup>	۱۲/۹۰۰ <sup>b-e</sup>	۲/۹۸۲ <sup>e</sup>	۲/۴۷۷ <sup>e</sup>	۱/۳۱۹ <sup>a-d</sup>	۷/۰۶۵ <sup>ab</sup>	۴۸۴۵ <sup>ab</sup>	۰/۴۵۷ <sup>ef</sup>	۰/۴۴۶ <sup>e-g</sup>
F5	۱۰/۳۵۰ <sup>ab</sup>	۲/۶۶۷ <sup>b-d</sup>	۱۳/۰۱۰ <sup>b-d</sup>	۳/۸۷۳ <sup>b-d</sup>	۲/۸۶۶ <sup>b-d</sup>	۱/۳۴۲ <sup>a-c</sup>	۶/۸۶۹ <sup>a-c</sup>	۴۷۷۷ <sup>a-d</sup>	۰/۳۹۶ <sup>gh</sup>	۰/۴۴۶ <sup>e-g</sup>
F6	۱۰/۳۲۰ <sup>ab</sup>	۲/۴۵۱ <sup>d-f</sup>	۱۲/۷۷۲ <sup>b-e</sup>	۴/۲۱۰ <sup>ab</sup>	۱۲/۷۷۲ <sup>b-e</sup>	۱/۳۲۰ <sup>a-d</sup>	۶/۷۷۸ <sup>a-c</sup>	۴۲۰۰ <sup>f-h</sup>	۰/۳۹۶ <sup>gh</sup>	۰/۴۰۷ <sup>f-h</sup>
F7	۱۰/۴۷۱ <sup>ab</sup>	۲/۲۴۳ <sup>ef</sup>	۱۲/۷۱۲ <sup>b-e</sup>	۴/۶۶۷ <sup>a</sup>	۲/۸۵۵ <sup>a</sup>	۱/۳۴۸ <sup>ab</sup>	۶/۳۲۳ <sup>b-e</sup>	۴۳۱۲ <sup>e-g</sup>	۰/۴۳۵ <sup>e-g</sup>	۰/۴۳۵ <sup>e-g</sup>
F8	۱۱/۶۰۰ <sup>a</sup>	۲/۹۴۷ <sup>ab</sup>	۱۲/۹۴۷ <sup>ab</sup>	۳/۹۳۵ <sup>bc</sup>	۳/۴۰۳ <sup>bc</sup>	۱/۲۹۲ <sup>b-e</sup>	۶/۷۷۷ <sup>a-c</sup>	۴۶۰۸ <sup>a-e</sup>	۰/۴۶۷ <sup>e</sup>	۰/۴۳۵ <sup>e-g</sup>
F9	۱۰/۵۳۲ <sup>ab</sup>	۲/۸۲۰ <sup>bc</sup>	۱۳/۳۵۴ <sup>ab</sup>	۳/۷۴۷ <sup>b-d</sup>	۲/۷۴۷ <sup>b-d</sup>	۱/۳۸۰ <sup>a</sup>	۷/۸۴۹ <sup>a</sup>	۴۹۴۵ <sup>a</sup>	۰/۴۶۷ <sup>e</sup>	۰/۴۶۷ <sup>e</sup>
F1	۶/۵۲۲ <sup>f</sup>	۱/۷۵۳ <sup>h</sup>	۹/۳۳۸ <sup>i</sup>	۴/۳۹۴ <sup>ab</sup>	۲/۰۲۸ <sup>ab</sup>	۱/۲۷۳ <sup>c-e</sup>	۵/۰۶۱ <sup>e</sup>	۳۷۱۱ <sup>h</sup>	۰/۵۵۸ <sup>d</sup>	۰/۵۵۸ <sup>d</sup>
F2	۸/۷۸۷ <sup>c-e</sup>	۲/۱۵۷ <sup>fg</sup>	۱۰/۹۴۲ <sup>f-h</sup>	۴/۰۷۷ <sup>a-c</sup>	۲/۴۸۱ <sup>ab</sup>	۱/۲۸۴ <sup>b-e</sup>	۶/۱۹۲ <sup>b-e</sup>	۴۱۰۹ <sup>f-h</sup>	۰/۶۰۰ <sup>b-d</sup>	۰/۶۰۰ <sup>b-d</sup>
F3	۸/۱۹۹ <sup>de</sup>	۱/۷۵۸ <sup>h</sup>	۱/۷۵۸ <sup>h</sup>	۹/۹۵۸ <sup>g-i</sup>	۴/۷۸۸ <sup>a</sup>	۲/۱۸۸ <sup>bc</sup>	۵/۰۵۰ <sup>e</sup>	۴۴۶۹ <sup>b-f</sup>	۰/۶۴۴ <sup>ab</sup>	۰/۶۴۴ <sup>ab</sup>
F4	۸/۸۹۵ <sup>c-e</sup>	۲/۸۳۳ <sup>bc</sup>	۱۱/۷۳۲ <sup>d-f</sup>	۳/۱۵۱ <sup>de</sup>	۲/۳۵۲ <sup>e</sup>	۱/۲۶۵ <sup>de</sup>	۵/۰۶۰۸ <sup>e</sup>	۴۴۲۱ <sup>c-f</sup>	۰/۶۳۸ <sup>ab</sup>	۰/۶۳۸ <sup>ab</sup>
F5	۸/۶۲۶ <sup>c-e</sup>	۲/۵۶۳ <sup>c-e</sup>	۱۱/۱۹۰ <sup>fg</sup>	۳/۳۸۱ <sup>c-e</sup>	۲/۷۸۸ <sup>b-d</sup>	۱/۲۲۲ <sup>a-d</sup>	۶/۲۲۸ <sup>b-e</sup>	۴۳۴۵ <sup>d-g</sup>	۰/۶۲۷ <sup>a-c</sup>	۰/۶۲۷ <sup>a-c</sup>
F6	۹/۵۱۲ <sup>b-d</sup>	۲/۲۹۸ <sup>ef</sup>	۱۱/۸۱۱ <sup>c-f</sup>	۴/۱۴۵ <sup>ab</sup>	۲/۶۸۲ <sup>ab</sup>	۱/۳۲۰ <sup>a-d</sup>	۷/۰۴۱ <sup>c-e</sup>	۴۰۰۵ <sup>gh</sup>	۰/۵۷۹ <sup>cd</sup>	۰/۵۷۹ <sup>cd</sup>
F7	۱۰/۴۱۱ <sup>ab</sup>	۲/۲۲۵ <sup>f</sup>	۱۲/۷۶۰ <sup>b-e</sup>	۴/۶۷۷ <sup>a</sup>	۲/۷۶۵ <sup>a</sup>	۱/۳۰۲ <sup>b-e</sup>	۵/۹۱۷ <sup>c-e</sup>	۴۱۸۲ <sup>f-g</sup>	۰/۶۰۳ <sup>b-d</sup>	۰/۶۰۳ <sup>b-d</sup>
F8	۷/۶۵۴ <sup>e</sup>	۱/۸۹۴ <sup>gh</sup>	۹/۵۴۸ <sup>hi</sup>	۴/۰۵۱ <sup>a-c</sup>	۲/۱۱۶ <sup>bc</sup>	۱/۲۴۲ <sup>e</sup>	۵/۷۲۶ <sup>de</sup>	۴۴۰۸ <sup>c-f</sup>	۰/۶۳۶ <sup>ab</sup>	۰/۶۳۶ <sup>ab</sup>
F9	۹/۴۷۴ <sup>b-d</sup>	۲/۲۸۲ <sup>ef</sup>	۱۱/۷۶۰ <sup>c-f</sup>	۴/۱۵۸ <sup>ab</sup>	۲/۶۹۹ <sup>b-d</sup>	۱/۲۹۲ <sup>b-e</sup>	۶/۳۰۲ <sup>b-e</sup>	۴۶۳۰ <sup>a-e</sup>	۰/۶۶۸ <sup>a</sup>	۰/۶۶۸ <sup>a</sup>

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: ۱۰٪ کود پتاسیم سولفات به صورت پایه، F3: ۵۰٪ به صورت پایه و ۵۰٪ به صورت سرک از کود پتاسیم سولفات، F4: ۱۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت پایه، F5: ۵۰٪ به صورت پایه و ۵۰٪ به صورت سرک از کود پتاسیم کلرید، F6: کود زیستی، F7: کود زیستی، F8: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت پایه به همراه کود زیستی، F9: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت پایه به همراه کود زیستی، F10: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت سرک

شیمیایی پتسه بود. به طوریکه میزان عملکرد شلتوك در برهمکنش کاربرد تیمار F6 و سطوح آبیاری غرقاب کامل و کم آبیاری در ایستگاه آمل، به ترتیب ۴۲۰۰ و ۴۰۰۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که ۴/۳ و ۷/۹ درصد، بیشتر از سطح شاهد

از تیمار F1 در روش غرقاب کامل به دست آمد (جدول ۱۰). براساس یافته‌ها، میزان اثربخشی کرد زیستی مورد استفاده بر صفات مورد مطالعه، به ویژه عملکرد شلتوك و بهرهوری آب، به طور قابل توجهی کمتر از سطوح کاربرد کودهای

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

ترکیب تیماری	عدد کلروفیل متر	Fv	Fv/Fm	Y(NO)
آبیاری (ارتفاع آب بر حسب سانتی متر)	۴۴/۸۶ <sup>a</sup>	۵/۲۱ <sup>a</sup>	۰/۷۹ <sup>a</sup>	۰/۱۵ <sup>b</sup>
	۴۳/۸۹ <sup>a</sup>	۴/۹۰ <sup>b</sup>	۰/۷۸ <sup>a</sup>	۰/۱۷ <sup>a</sup>
F1	۴۳/۲۰ <sup>b</sup>	۴/۸۲ <sup>a</sup>	۰/۷۸ <sup>a</sup>	۰/۱۶ <sup>a</sup>
F2	۴۲/۹۰ <sup>b</sup>	۴/۵۳ <sup>a</sup>	۰/۷۹ <sup>a</sup>	۰/۱۵ <sup>a</sup>
F3	۴۶/۴۸ <sup>a</sup>	۴/۰۹ <sup>a</sup>	۰/۷۹ <sup>a</sup>	۰/۱۴ <sup>a</sup>
F4	۴۶/۴۲ <sup>a</sup>	۴/۷۱ <sup>a</sup>	۰/۷۹ <sup>a</sup>	۰/۱۵ <sup>a</sup>
کاربرد کود پتاسیم	۴۴/۷۳ <sup>ab</sup>	۴/۵۷ <sup>a</sup>	۰/۷۸ <sup>a</sup>	۰/۱۶ <sup>a</sup>
	۴۴/۴۷ <sup>ab</sup>	۴/۶۶ <sup>a</sup>	۰/۷۷ <sup>a</sup>	۰/۱۷ <sup>a</sup>
	۴۳/۸۲ <sup>ab</sup>	۴/۴۹ <sup>a</sup>	۰/۷۸ <sup>a</sup>	۰/۱۶ <sup>a</sup>
	۴۳/۴۰ <sup>b</sup>	۴/۴۵ <sup>a</sup>	۰/۷۹ <sup>a</sup>	۰/۱۷ <sup>a</sup>
	۴۳/۹۵ <sup>ab</sup>	۴/۷۶ <sup>a</sup>	۰/۸۰ <sup>a</sup>	۰/۱۴ <sup>a</sup>
F9				

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 به صورت پایه، F3: ۵۰٪ به صورت پایه و ۵۰٪ به صورت سرک از کود پتاسیم سولفات، F4: ۱۰۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت پایه، F5: ۵۰٪ به صورت پایه و ۵۰٪ به صورت سرک از کود پتاسیم کلرید، F6: کود زیستی، F7: کود زیستی، F8: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به همراه کود زیستی، F9: ۵۰٪ کود پتاسیم سولفات به صورت پایه به همراه کود زیستی، F10: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت سرک

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، به ترتیب به میزان ۲/۱ و ۱۳/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ حاصل شد که به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار F1 در آبیاری غرقاب و کلیه سطوح کاربرد کود پتاسیمی در روش کم آبیاری بود. بر همین راستا، بیشترین میزان کلروفیل b و کلروفیل کل در روش کم آبیاری، 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 کارتئونید مربوط به تیمار F3، به ترتیب در روش کم آبیاری و روش غرقاب کامل بود که معادل ۷/۲۳ و ۳/۴۴ میلی‌گرم بر

و ۱۷/۷ و ۱۵/۶ درصد کمتر از سطح F9 بود (جدول ۱۰).  
ایستگاه مزرعه الگویی سوادکوه: براساس نتایج، میزان Fv با اعمال تیمار کم آبیاری در مقایسه با تیمار آبیاری غرقاب به طور معنی‌داری کاهش یافت. میزان این صفت در تیمار کم آبیاری ۶۳ درصد کمتر از روش آبیاری غرقاب بود. از سوی دیگر، میزان Y(NO) در تیمار کم آبیاری به طور معنی‌داری افزایش یافت، به طوریکه میزان آن ۱۳/۳ درصد بیشتر از تیمار آبیاری غرقاب بود. همچنین، از لحاظ میزان صفات عدد کلروفیل متر و میزان Fv/Fm، بین تیمار کم آبیاری و آبیاری غرقاب تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. سطوح مختلف تیمار کاربرد کود پتاسیمی بر میزان صفات Fv/Fm و Y(NO) اثر معنی‌داری نداشت. اما میزان عدد کلروفیل متر در تیمارهای F4 و F3 به ترتیب معادل ۴۶/۴۲ و ۴۶/۴۸ بوده که به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار F1 بوده است (جدول ۱۱).

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

Fo	کارتنتوئید	a/b	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل a/b	ترکیب تیماری
میلی گرم بر گرم وزن تر برگ							ارتفاع آب کاربرد کود (سانتی متر)
-							
۱/۳۷۸ <sup>a-c</sup>	۲/۸۵۱ <sup>b-e</sup>	۵/۹۳۲ <sup>b-e</sup>	۱۱/۰۷۱ <sup>d-f</sup>	۱/۶۰۱ <sup>f</sup>	۹/۴۷۲ <sup>ef</sup>	F1	
۱/۳۳۶ <sup>a-d</sup>	۲/۸۵۱ <sup>b-e</sup>	۵/۵۳۲ <sup>c-f</sup>	۱۱/۹۶۲ <sup>b-e</sup>	۱/۸۳۰ <sup>c</sup>	۱۰/۱۳۰ <sup>b-f</sup>	F2	
۱/۲۶۹ <sup>d-f</sup>	۳/۴۴۰ <sup>a</sup>	۵/۹۷۵ <sup>b-e</sup>	۱۲/۰۸۰ <sup>b-d</sup>	۱/۹۴۰ <sup>a-c</sup>	۱۰/۷۶۲ <sup>a-d</sup>	F3	
۱/۲۸۹ <sup>c-f</sup>	۳/۰۷۷ <sup>a-e</sup>	۵/۲۷۹ <sup>ef</sup>	۱۲/۸۰۰ <sup>ab</sup>	۲/۰۳۹ <sup>ab</sup>	۱۱/۶۱۱ <sup>a</sup>	F4	
۱/۳۵۰ <sup>a-d</sup>	۲/۹۱۷ <sup>b-e</sup>	۵/۴۴۰ <sup>d-f</sup>	۱۲/۱۴۴ <sup>b-d</sup>	۱/۸۹۰ <sup>bc</sup>	۱۰/۲۴۱ <sup>b-f</sup>	F5	+۵
۱/۳۸۰ <sup>ab</sup>	۳/۲۸۴ <sup>a-c</sup>	۵/۳۳۰ <sup>ef</sup>	۱۲/۷۷۲ <sup>ab</sup>	۲/۰۳۸ <sup>ab</sup>	۱۰/۷۳۳ <sup>a-d</sup>	F6	
۱/۳۸۵ <sup>ab</sup>	۳/۱۸۳ <sup>a-d</sup>	۵/۰۸۷ <sup>ef</sup>	۱۲/۵۴۱ <sup>a-c</sup>	۲/۰۶۱ <sup>ab</sup>	۱۰/۴۸۰ <sup>a-e</sup>	F7	
۱/۲۶۲ <sup>d-f</sup>	۳/۱۴۵ <sup>a-d</sup>	۵/۶۰۰ <sup>c-f</sup>	۱۲/۷۸۱ <sup>ab</sup>	۱/۹۴۲ <sup>a-c</sup>	۱۰/۸۴۲ <sup>a-c</sup>	F8	
۱/۴۰۲ <sup>a</sup>	۲/۹۲۲ <sup>b-e</sup>	۴/۸۰۳ <sup>f</sup>	۱۳/۵۶۰ <sup>a</sup>	۲/۰۸۳ <sup>a</sup>	۱۰/۰۰۰ <sup>b-f</sup>	F9	
۱/۲۴۱ <sup>ef</sup>	۲/۵۸۸ <sup>ef</sup>	۷/۲۸۷ <sup>b-d</sup>	۱۰/۸۵۱ <sup>ef</sup>	۱/۴۸۸ <sup>f</sup>	۹/۱۵۴ <sup>f</sup>	F1	
۱/۳۰۰ <sup>a-f</sup>	۲/۸۰۴ <sup>c-f</sup>	۶/۸۳۱ <sup>b</sup>	۱۰/۷۴۰ <sup>f</sup>	۱/۴۲۳ <sup>f</sup>	۹/۶۴۷ <sup>d-f</sup>	F2	
۱/۳۱۳ <sup>a-e</sup>	۳/۳۳۴ <sup>ab</sup>	۷/۲۳۱ <sup>a</sup>	۱۱/۴۷۱ <sup>c-f</sup>	۱/۶۴۰ <sup>d-f</sup>	۹/۸۲۳ <sup>c-f</sup>	F3	
۱/۲۳۵ <sup>ef</sup>	۳/۰۱۸ <sup>a-e</sup>	۵/۴۴۱ <sup>d-f</sup>	۱۱/۶۳۴ <sup>b-f</sup>	۱/۸۰۳ <sup>c-e</sup>	۱۱/۱۵۰ <sup>ab</sup>	F4	
۱/۲۶۲ <sup>d-f</sup>	۲/۶۳۷ <sup>ef</sup>	۵/۰۹۲ <sup>ef</sup>	۱۰/۹۶۱ <sup>d-f</sup>	۱/۸۰۸ <sup>cd</sup>	۹/۳۵۸ <sup>ef</sup>	F5	-۱۰
۱/۳۸۰ <sup>ab</sup>	۲/۹۹۲ <sup>a-e</sup>	۶/۴۴۰ <sup>bc</sup>	۱۱/۴۶۹ <sup>c-f</sup>	۱/۵۴۵ <sup>f</sup>	۹/۹۱۳ <sup>c-f</sup>	F6	
۱/۳۶۲ <sup>abc</sup>	۲/۷۸۹ <sup>c-f</sup>	۵/۲۷۰ <sup>ef</sup>	۱۲/۳۵۲ <sup>bc</sup>	۱/۸۷۰ <sup>bc</sup>	۱۰/۷۸۱ <sup>b-e</sup>	F7	
۱/۲۱۲ <sup>f</sup>	۲/۷۵۵ <sup>d-f</sup>	۵/۹۲۴ <sup>b-e</sup>	۱۱/۱۵۰ <sup>d-f</sup>	۱/۶۲۳ <sup>ef</sup>	۹/۵۲۸ <sup>ef</sup>	F8	
۱/۳۸۲ <sup>ab</sup>	۲/۳۳۳ <sup>f</sup>	۵/۰۹۱ <sup>ef</sup>	۱۲/۷۹۳ <sup>ab</sup>	۱/۸۸۲ <sup>bc</sup>	۹/۵۸۹ <sup>d-f</sup>	F9	

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 به صورت پایه، F3: ۵۰٪ به صورت پایه و ۵۰٪ به صورت سرک از کود پتاسیم سولفات، F4: ۱۰۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت پایه، F5: ۵۰٪ به صورت پایه و ۵۰٪ به صورت سرک از کود پتاسیم کلرید، F6: کود زیستی، F7: کود زیستی، F8: کود پتاسیم سولفات به صورت پایه به همراه کود زیستی، F9: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت پایه به همراه کود زیستی، F9: کود پتاسیم سولفات به صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت سرک

روش کم آبیاری بود. براساس نتایج، میزان Y(NPQ) و میزان NPQ در تیمار کم آبیاری در مقایسه با روش غرقاب کامل افزایش یافت، به طوریکه بیشترین میزان صفات یادشده به ترتیب معادل ۰/۳ و ۱/۸۳ از برهمکنش تیمارهای F1 و روشن کم آبیاری و تیمارهای F9 در آبیاری کاهش یافته حاصل

گرم وزن تر برگ به دست آمد (جدول ۱۲). بیشترین میزان Fo ETR از ترکیب تیماری F9 و روش غرقاب کامل به دست آمد. در همین راستا، بیشترین میزان صفات یادشده در کم آبیاری نیز از همین سطح کاربرد کود پتاسیمی حاصل شده که به ترتیب ۱۱/۳، ۵/۳ و ۱۹/۲ درصد بیشتر از تیمار F1 در

ترکیب تیماری	ارتفاع آب (سانتی متر)	پتاسیم	کاربرد کود	ارتفاع آب (سانتی متر)	Fm	Y(NPQ)	NPQ	ETR	عملکرد شلتوك	بهره‌وری مصرف آب
									کیلوگرم بر هکتار	کیلوگرم بر مترمکعب
F1	+۵		-	-	-	-	-	-		
F2										
F3										
F4										
F5										
F6										
F7										
F8										
F9										
F1	-۱۰									
F2										
F3										
F4										
F5										
F6										
F7										
F8										
F9										

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 به صورت پایه، F3: ۵۰٪ به صورت پایه و ۵۰٪ به صورت سرک از کود پتاسیم سولفات، F4: کود پتاسیم کلرید به صورت پایه، F5: ۵۰٪ به صورت پایه و ۵۰٪ به صورت سرک از کود پتاسیم کلرید، F6: کود زیستی، F7: کود پتاسیم سولفات به صورت پایه به همراه کود زیستی، F8: ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت پایه به همراه کود زیستی، F9: کود پتاسیم سولفات به صورت پایه و ۵۰٪ کود پتاسیم کلرید به صورت سرک

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، به دست آمد که به طور معنی‌داری بیشتر از سایر سطوح کاربرد کود در آبیاری غرقاب کامل بود. همچنین، کمترین میزان بهره‌وری آب معادل

شد (جدول ۱۲). براساس یافته‌ها، بیشترین میزان عملکرد شلتوك معادل ۴۷۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به ترکیب تیماری آبیاری غرقاب کامل و F9 به دست آمد که در مقایسه با تیمار F1 در روش‌های آبیاری غرقاب کامل و کم‌آبیاری به ترتیب ۲۵/۱ و

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

عملکرد	ایستگاه آمل	بهرهوری آب	کلروفیل a	کلروفیل کل	Fv/Fm	ETR
شلتوك	ایستگاه سوادکوه	-۰/۱۷۱ ns	-۰/۱۶۹ ns	-۰/۴۹۶*	۰/۵۲۸*	۰/۶۰۰**
					۰/۶۱۳**	۰/۵۲۳*

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns، غیر معنی دار

موجب تعرق کمتر گیاه، کاهش تبخیر از سطح خاک (شمیپور و همکاران، ۱۳۸۹) و حفظ فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش شد. در همین راستا، میزان کاهش محتوی کلروفیل a، b و کارتونئید در ایستگاه سوادکوه در مقایسه با ایستگاه آمل در پاسخ به تیمار کم آبیاری، کمتر بود. بر همین اساس، میزان کلروفیل a در تیمار عدم کاربرد کود در روش کم آبیاری در ایستگاه سوادکوه کاهش غیرمعنی داری (معادل ۳/۴ درصد) در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود در روش غرقاب کامل داشت، اما این کاهش در ایستگاه آمل معنی دار و معادل ۲۱ درصد بود.

نتایج سایر پژوهشگران نیز حاکی از کاهش میزان عدد کلروفیل متر، رنگیزه‌های کلروفیل و کارتونئید تحت تیمار کم آبیاری است (آقاجانی دلاور، ۱۳۹۵؛ کاظمی، ۱۳۹۵) آنها گزارش کردند که کاهش عدد کلروفیل متر و کاهش سبزینگی گیاه ممکن است به علت تخریب کلروفیل در اثر تنش باشد که منجر به کاهش میزان کلروفیل و کاهش فتوسنتز خالص می‌شود منجر به کاهش میزان کلروفیل و کاهش 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 فتوسیستم II، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و مهار سنتز ATP، موجب تشکیل گونه‌های اکسیژن آزاد در کلروپلاست‌ها می‌گردد (Lawlor and Cornic, 2002). با این وجود، پژوهشگران اظهار داشتند که محتوای نسبی کلروفیل به تنها ی 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 فیزیولوژیک نیز حائز اهمیت است (نیکنژاد و

۰/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب، از تیمار F1 در روش غرقاب کامل حاصل شد (جدول ۱۲).

مشابه نتایج به دست آمده در ایستگاه آمل، کود زیستی مورد استفاده در ایستگاه سوادکوه اثر معنی داری بر صفاتی نظری عملکرد شلتوك و بهرهوری مصرف آب در مقایسه با سطح F1 نداشت. میزان عملکرد شلتوك حاصل از برهمکنش کاربرد تیمار کود زیستی و سطوح آبیاری غرقاب کامل و کم آبیاری در ایستگاه آمل به ترتیب ۳۹۸۲ و ۳۷۸۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که ۴/۴ و ۳/۵ درصد بیشتر از سطح F1 و ۱۹/۷ و ۱۴/۱ درصد کمتر از سطح F9 بود (جدول ۱۲).

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

## بحث

بر اساس یافته‌ها، میزان عدد کلروفیل متر در ایستگاه آمل تحت تأثیر تیمار کم آبی 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 کم آبیاری در مقایسه با سطوح مشابه کاربرد کود در آبیاری غرقاب کامل بود اگرچه این کاهش برای بعضی سطوح کودی غیرمعنی دار بود. کاهش غیرمعنی دار عدد کلروفیل متر در ایستگاه سوادکوه را شاید بتوان به کمترین میانگین درجه حرارت و مجموع ساعت‌های آفتابی مرتبط دانست (جدول ۱) که

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

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری و کاربرد کودهای پتاسیمی، تغییری در نسبت  $Fv/Fm$  مشاهده نشد. به عبارتی، قابلیت فتوسیستم II برای انجام فرآیندهای اولیه فتوشیمیابی 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 ۸۵/۰ در شرایط بدون تنش به‌دست می‌آید و مقادیر کمتر از ۸۵/۰ 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 ۸۵/۰ 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 برج 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

اما، ۱۳۹۰). به‌طور کلی می‌توان عنوان نمود که حفظ غاظت کلروفیل در شرایط دشوار محیطی، به ثبات فتوستز در این شرایط کمک کرده و سبب کاهش خسارت‌های واردہ 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 محتوى 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 عدم وقوع 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 فتوستزی در هر دو ایستگاه و عدد کلروفیل متر در ایستگاه سوادکوه بود. افزایش محتوى کلروفیل در گیاه برج 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 گلنگ گردید. از آنجایی که 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 عدم‌صرف این کودها است (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین گزارش گردید که پتاسیم با بهبود هدایت روزنیه‌ای در شرایط تنش و ممانعت از تجزیه کلروفیل توسط تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش محتوى کلروفیل در شرایط تنش داشته باشد (علوی‌متین و همکاران، ۱۳۹۴).

(به صورت پایه) و پتاسیم کلرید (به صورت سرک)، در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود به طور معنی داری افزایش یافت. پژوهشنگرانی نظیر Ismail Mohd Zain (۲۰۱۶) با اشاره به اینکه تا پیش از آنها پژوهشی روی اثرات کاربرد کودهای پتاسیم سولفات و پتاسیم کلرید بر تنش کم آبی در برنج صورت نگرفته، گزارش نمودند که کاربرد این کودها می‌تواند اثرات منفی تیمارهای کم آبیاری در برنج را کاهش دهد. در همین راستا، گزارش گردید فراهمی پتاسیم می‌تواند سبب افزایش تثبیت دی‌اکسید کربن در سامانه فتوستزی 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 در گیاه ذرت و لی و همکاران (Li *et al.*, 2008) در ۱۳۹۵ (Gholami et al., 2016) 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، Roosenqvist و Baker (۲۰۰۴) گزارش کردند که بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش فتوستتر در شرایط تنش، منجر به کاهش کارآبی کربوکسیلاسیون، کاهش سرعت بازسازی آنزیم رویسکو، 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

برنج ۲۳ تا ۴۱ 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 فتوستتیزی کاسته می‌شود (قدمی فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۹۴). کاهش در این نسبت ممکن است به دلیل 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 Gale, 2004). با این وجود، Roosenqvist (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  $F_v/F_m$  برگ‌های سازگارشده به تاریکی ایجاد نشد و نتیجه گرفتند که در طی تنش، کاهش نمی‌یابد. به نظر می‌رسد در این پژوهش، با وجود اینکه تیمار کم‌آبیاری تأثیر کاهشی بر میزان  $F_v$  داشته، اما گیاهچه‌ها توانسته‌اند کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را حتی در شرایط عدم کاربرد کود پتابیمی، حفظ و به خوبی فعالیت‌های فتوستتی خود را انجام دهند. شاید یکی از دلایل آن، افزایش میزان NPQ تحت شرایط کم‌آبی و اعمال تیمارهای کاربرد کود پتابیمی 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 گزانتروفیل و توانایی گیاه در دفع تنش از طریق هدردادن انرژی به صورت گرمای 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 پیتاسیمی، بهویشه تیمار کاربرد توأم کودهای پیتاسیم سولفات

پتاسیم را شامل افزایش تعداد خوش‌چه، کاهش درصد دانه‌های پوک در خوش (Marschner, 1995)، افزایش سطح برگ (Mohd Zain and Ismail, 2016) دانستند. از لحاظ فیزیولوژیکی نیز، دلایلی نظیر کترل تعادل یونی، افزایش فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند ADP-گلوکز سیتاتاز، تأثیر بر افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه (Reddy et al., 2004) بهبود هدایت روزنای (Umar, 2006)، تنظیم اسمزی (Mohd 2016) (Zain and Ismail, 2016) افزایش میزان کلروفیل و رنگیزه‌های فتوستزی، فعالیت‌های فتوستزی و درنهایت انتقال ترکیبات حاصل از فتوستزی دانستند (Marchiol et al., 1996).

یافته‌های پژوهش حاضر در خصوص افزایش بهره‌وری مصرف آب با کاهش میزان آبیاری، با نتایج آقاجانی دلاور (Abbasi and Sepaskhah ۲۰۹۵) مطابقت دارد. با این وجود، (۲۰۱۱) گزارش نمودند که بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای کم‌آبیاری به طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای غرقاب کامل برای ارقام مختلف برنج در استان فارس بود. ریائی و همکاران (۲۰۹۲) 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 (۲۰۸۵) 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 کوانتمی فتوسیستم II، عدد کلروفیل‌متر، عملکرد شلتوك و بهره‌وری مصرف آب نداشت. یکی از دلایل عدم تأثیرگذاری کودهای زیستی تجاری، ممکن است عدم سازگاری

مطابق نتایج، میزان عملکرد شلتوك 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، فرخنیا و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که تنفس خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و درنتیجه بسته شدن روزندها و افت فتوستز 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 تنفس سرمایی در شب به‌دلیل تثیت 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 سودکوه به ۸/۴ 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 ۱۶/۲ 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 شلتوك در آمل بیشتر از ایستگاه سودکوه بود. به‌نظر می‌رسد کمبودن مجموع ساعت‌آفتابی در طول فصل رشد در ایستگاه سودکوه (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 شلتوك 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 (۲۰۰۴) این افزایش را در شرایط تنفس کم‌آبی نیز گزارش کردند. پژوهشگران دلایل افزایش عملکرد در پاسخ به کاربرد کود

نشان دهنده بروز تنش مختصر در گیاه در روش کم آبیاری است. اگرچه، میزان بهرهوری مصرف آب در روش کم آبیاری به طور معنی داری بیشتر از روش آبیاری غرقاب کامل بود اما عملکرد شلتوك در هر دو منطقه کاهش معنی داری داشت. از سوی دیگر، با توجه به پاسخ های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه به کاربرد کود پتابسیمی، بهویژه تیمار کاربرد نیمی از کود پتابسیم سولفات به صورت پایه و نیمی از کود پتابسیم کلرید در مرحله سرک در هر دو منطقه، به نظر می رسد پتابسیم سبب حفظ فتوسترز در شرایط تنش کم آبی شده و از این طریق سبب کاهش آثار نامطلوب کم آبی بر عملکرد شلتوك گیاه برنج شود.

و تطابق باکتری های 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 ریز جانداران جداسازی شده از منطقه ریزوسفر گیاه میزان ممکن است نسبت به ریز جانداران جداسازی شده از دیگر مناطق، سازگاری بهتری با گیاه میزان داشته باشدند (Gopalakrishnan *et al.*, 2011).

### نتیجه گیری

به طور کلی، کاهش میزان کلروفیل، افزایش کارایی کوانتمی غیر فتوشیمیایی تنظیم شده فتوسیستم II و کارایی کوانتمی غیر فتوشیمیایی غیر تنظیم شده فتوسیستم II در هر دو ایستگاه

### منابع

- آقاجانی دلاور، ع. (۱۳۹۵) بررسی نقش قارچ شبه میکوریز *Piriformospora indica* بر خصوصیات مورفو لولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد دو رقم برنج در شرایط کم آبیاری. پایان نامه دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.
- آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی (۱۳۹۴) آمارنامه کشاورزی، محصولات زراعی، جلد اول. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.
- اسدی صنم، س.، زواره، م. شکری واحد، ح. و شاهین رخسار، پ. (۱۳۹۳) اثر محلول پاشی کود نیتروژن و پتابسیم مکمل بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج دورگ دیلم. مجله به زراعی کشاورزی ۱۶: ۷۰۴-۶۹۳.
- دردی پور، ا.، فرشادی راد، ا. و ارزانش، م. ح. (۱۳۸۹) تأثیر *Azotobacter chrococoum* و *Azospirillum lipoferum* بر آزادسازی پتابسیم خاک در کشت گلدنی سویا. نشریه بوم شناسی کشاورزی ۲: ۵۹۹-۵۹۳.
- ریائی، ف.، حسام، م.، هزارجرibi، ا. و عبدالحسینی، م. (۱۳۹۲) بررسی میزان کارایی مصرف آب در برنج طارم. اولین همایش ملی بهینه سازی مصرف آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- شمسمی پور، 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: ۱۶-۸.
- صادقت، ن.، پیردشتی، ه.، اسدی، ر. و موسوی طغاني، س. ی. (۱۳۹۳) اثر روش های آبیاری بر بهرهوری آب در برنج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی ۲۸: ۹-۱.
- عباسی مقدم، ا. و شبان، م. (۱۳۹۳) اثر کود پتابسیم و روی بر میزان کلروفیل برگ گلنگ در شرایط تنش خشکی. اولین طرح تعاملی صنعت با دانشگاه. همایش سالانه پژوهش های 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 بیماری ها و مدیریت علف های هرز). معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور، آمل.
- عرفانی، ع. (۱۳۹۵) دستور العمل تولید برنج سالم در شرایط کشاورزی پایدار. انتشارات معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور-

معاونت مازندران.

علوی متین، س. م.، راهنمای، ا. و مسکر باشی، م. (۱۳۹۴) اثر نوع و مقادیر مختلف کود پتاسیم بر صفات زراعی و فیزیولوژیک دو رقم گندم دوروم تحت شرایط تنفس شوری. *تحقیقات غلات* ۵: ۱۸۷-۱۷۷.

فرخی نیا، م.، رشدی، م.، پاسبان اسلام، ب. و سasan دوست، ر. (۱۳۹۰) بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیولوژیک و عملکرد گلنگ بهاره تحت تنفس کمبود آب. *مجله علوم گیاهان زراعی ایران* ۴: ۵۵۳-۵۴۵.

قدمی فیروزآبادی، ع.، شاه نظری، ع.، رائینی سرجاز، م. و زارع ابیانه، ح. (۱۳۹۴) اثر کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری ناقص ریشه بر عملکرد، فلورسانس کلروفیل و پارامترهای رشد آفتابگردان. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی* ۲۹: ۱۶۹-۱۵۸.

کاظمی، ش. (۱۳۹۵) ارزیابی کارایی قارچ‌های *Piriformospora indica* و *Glomus mosseae* در بهبود عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیکی ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) 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 ریسمی، ف. (۱۳۸۵) اثر کود آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت به روش آبیاری قطره‌ای - خطی. *مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی* ۱۲: ۵۷۵-۵۶۱.

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 ۴۲-۲۴.

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 ۶۲.

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 راه حل‌ها). چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. مؤمنی، ف.، قبادی، م.، جلالی هنرمند، س. و شکاری، پ. (۱۳۹۳) واکنش خصوصیات فیزیولوژیک نخود به کودهای روی و پتاسیم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. *فرآیند و کارکرد گیاهی* ۳: ۸۳-۷۱.

میرنیا، س.، محمدیان، م. (۱۳۸۴) برنج، اختلالات عناصر غذایی، مدیریت عناصر غذایی (ترجمه). انتشارات دانشگاه مازندران. نعمت‌اللهی، ا.، جعفری، ع. و باقری، ع. (۱۳۹۲) اثر تنفس خشکی و سالیسیلیک اسید روی رنگدانه‌های فتوسترنزی 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 شیروودی). *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.

- 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. *Applied 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<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions and Changing World, Brisbane, Australia.
- Cakmak, I. (1997) Role of potassium in protecting higher plants against photo-oxidative damage. In: Food Security in the WANA Region, the Essential Need for Balanced Fertilization (ed. Johnston, A. E.) Pp. 345-352. International Potash Institute, 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 7<sup>th</sup> 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 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> on K<sup>+</sup> 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<sub>2</sub> 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., Ppersotti, A. and Zerbi, G. (1996) Physiological responses of two soybean cultivars to cadmium. *Journal of Environmental Quality* 25: 562-566.
- Marschner, H. (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants, 2<sup>nd</sup> Ed. Academic Press, California,.
- Mohd Zain, N. A and Ismail, M. R. (2016) Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical 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 Journal 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 on gas exchange characteristics and water relations in cotton (*Gossypium hirsutum* 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 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress, Brisbane, Australia.

- 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.
- Reddy, A., Chaitanya, K. and Vivekanandab, 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 biofertilizers. *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 Yordanov, I. T. (2004) Effect of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 30: 3-18.

## 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<sup>1</sup>, Mohammad Ali Esmaeli<sup>1</sup>, Hemmatollah Pirdashti<sup>\*2</sup>, Rahmat Abasi<sup>1</sup> and Morteza Nasiri<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

<sup>2</sup> Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

<sup>3</sup> 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 conducted 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 spray of iron nanoparticles in five levels (0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1 g/l). The results showed that the interaction 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 chlorophyll contents at 1% probability 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.