مقاله پژوهشی

تغییرات محتوا و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک گندم تحت تأثیر مصرف پاکلوبوترازول و باکتری‌های محرک رشد در سطوح مختلف آبیاری

رضا رحیمی[۱]، فرزاد پاک نژاد[۱*]، مهدی صادقی شعاع[۲]، محمد نبی ایلکایی[۱] و مهدی رضایی[۱]

[۱]گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، [۲]موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۰۴)

چکیده:

استفاده از باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش رشد رویشی شده و به همراه آن مصرف به موقع و با غلظت مناسب کند کننده رشد می‌تواند در تسهیم مواد پرورده به بخش‌های هوایی و ریشه نقش داشته باشد و در نتیجه باعث بهبود تحمل به کم آبی شود. به این منظور در این پژوهش واکنش گندم تحت شرایط رژیم آبیاری همراه با مصرف باکتری‌های محرک رشد و کاربرد کندکننده رشد پاکلوبوترازول مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه قم و همدان انجام شد. فاکتور اول شامل میزان آبیاری با سه سطح و فاکتور دوم شامل محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در سه سطح (محلول‌پاشی صفر، ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام) و فاکتور سوم شامل باکتری‌های محرک رشد در پنج سطح (عدم مصرف، مایکوباکتریوم، ازتوباکتر و آزوسپریلیوم و تلفیق سه باکتری) بودند. طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی بر صفات عملکرد دانه، پارامترهای فلورسانس کلروفیل، محتوای رطوبت نسبی برگ پرچم، میزان کلروفیل برگ پرچم و فعالیت روبیسکو معنی‌دار شد. نتایج نشان دادند اثر متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول بر عملکرد دانه معنی‌دار شد، به صورتی که در سطح آبیاری سوم، استفاده از پاکلوبوترازول با غلظت ۱۰۰ پی پی ام باعث افزایش عملکرد دانه شد. اثر متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول بر صفت فعالیت روبیسکو معنی‌دار شد بدین ترتیب که در سطح اول رژیم آبیاری اختلاف معنی‌داری بین سطوح پاکلوبوترازول مشاهده نشد، اما در سطح دوم و سوم رژیم آبیاری بیشترین مقدار روبیسکو به فاکتور غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول به ترتیب با ۳۷/۶۳ و ۲۹/۲۷ واحد تعلق داشت و کمترین میزان صفت به فاکتور شاهد بود.

واژه‌های کلیدی: رژیم آبیاری، پاکلوبوترازول، باکتری‌های محرک رشد، پارامترهای فلورسانس کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو

مقدمه:

تنش آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاه و بهره‌وری محصولات کشاورزی از جمله گندم می‌باشد(Wang *et al.*, 2014). تنش آب اثر فیزیولوژیکی و بیولوژیکی متنوعی را در گیاه ایجاد می‌کند و می‌تواند منجر به ممانعت از فرایندهای بیوشیمیایی مهمی از نظیر فتوسنتز، تنفس و اسیمیلاسیون مواد غذایی گیاهی شود. یکی از مهم‌ترین تاثیرات فیزیولوژیک تنش کم آبی، محدودیت در فتوسنتز گیاه می‌باشد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: farzadpaknejad@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

(Si *et al*., 2020). مطابق گزارشات برخی پژوهشگران فعالیت آنزیم‌های مهمی مانند ریبولوز ۱، ۵ بیس‌فسفات کربوکسیلاز، ریبولوز ۵ فسفات کیناز، فسفو ـ پیروات کربوکسیلاز از طریق تنش خشکی کاهش یافتند. طبق نتایج لو و همکاران (Lu *et al*., 2002) شرایط پتانسیل آبی کمتر از ۰/۵ – مگاپاسکال باعث کاهش تولید کلروفیل و همچنین نسبت کلروفیل a به کلروفیلb می‌شود. با تشدید تنش خشکی در تمامی گیاهان تخریب مولکول کلروفیل بیشتر شده و در ذرت به عنوان گیاه C4، تخریب مولکول‌های کلروفیل در سلول‌های مزوفیل، نسبت به سلول‌های غلاف آوندی به مراتب بیشتر می‌باشد (Chiango *et al*., 2021). مطابق نتایج پاک‌نژاد و همکاران (Paknejad *et al*., 2007b) در حضور تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر سه رقم گندم، تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شد، به‌طوری‌که کم‌ترین عملکرد دانه به تیمار تنش خشکی از زمان گلدهی تا پایان دوره رشد تعلق داشت. یکی از پارامترهای مهم در تکنیک سریع فلورسانس کلروفیل، فلورسانس متغیر (Fv) است که به صورت Fm-F0 به دست می‌آید. نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس (Fv/Fm) نشان دهنده پتانسیل یا ماکزیمم عملکرد کوانتوم در فتوسیستم دو می‌باشد و مقدار آن برای گیاهان در معرض شرایط تنش، در دامنه ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ متغیر بوده و چنانچه گیاه تحت شرایط تنش خشکی، گرما و تشعشع زیاد قرار گیرد مقدار آن کاهش خواهد یافت (Sadeghi-Shoae *et al*., 2014a)، همچنین همبستگی نزدیکی میان این نسبت با عملکرد کوانتوم فتوسنتز خالص برگ سالم وجود دارد (Scbreiber and Bilger, 1993). در حضور نور شدید، میزان تراکم جریان فوتون فتوسنتزی (PPFD) بالا رفته و در کاهش نسبت Fv/Fm موثر می‌باشد (Long *et al*.,1994). شیب کاهشی Fv/Fm شاخص خوبی در ارزیابی بازدارندگی نوری گیاه مواجه شده با تنش‌های محیطی مثل خشکی، گرما و میزان تشعشع زیاد می‌باشد (Khayatnezhad and Gholamin, 2021). تعیین مطلوبترین زمان فنولوژی برای اندازه‌گیری فلورسانس هنوز به عنوان یک موضوع قابل بحث می‌باشد. پژوهشگران دریافتند که حداکثر پاسخ آزمایش فلورسانس در گندم، در فاز رویشی بوده و این مرحله زمان مناسبی برای اندازه‌گیری این شاخص می‌باشد. برخی از محققان بیان نمودند که بیشترین میزان شدت تنش در گیاه در مرحله پرشدن دانه اتفاق افتاده و در این مرحله پارامترهای نامطلوب محیط بر میزان فتوسنتز برگ پرچم (مهمترین تأمین کننده مواد فتوسنتزی به دانه) به شدت تأثیر می‌گذارند (Zaefyzadeh, 2009). زمان گلدهی در گندم به عنوان حساس‌ترین مرحله رشد نسبت به تنش خشکی به حساب آمده و هر گونه تنش در این زمان باعث کاهش طول دوره‌ی پرشدن دانه و در نتیجه کاهش وزن دانه می‌شود (Paknejad *et al*., 2007a).

گروهی از باکتری‌های مفید خاکزی که سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند اصطلاحاً تحت عنوان باکتری‌های افزاینده رشد گیاه نامیده می‌شوند و از جمله مهم‌ترین انواع کودهای زیستی محسوب می‌شوند (Qalavand *et al*., 2006). این باکتری‌ها به طور مستقیم با تحریک رشد گیاه و یا به طور غیر مستقیم با افزایش فراهمی زیستی عناصر غذایی و کنترل زیستی آفات و بیمارگرهای گیاهی باعث افزایش رشد گیاهان می‌گردند و در حال حاضر به صورت یکی از مهم‌ترین انواع کودهای زیستی بکار برده می‌شوند. ریزوباکتری های محرک رشد گیاه همچنین با تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین منجر به افزایش رشد منطقه سطحی ریشه می‌شوند و به این ترتیب منجر به افزایش سطح تماس در خاک و تغذیه گیاه می‌شوند (Robin *et al*., 2008). آزوسپیریلوم یکی از میکروارگانیسم‌های تثبیت‌کننده نیتروژن مولکولی است که در همیاری با ریشه غلات و گرامینه‌های دیگر، رشدونمو آن‌ها را تقویت می‌کند. اگر چه همیاری این باکتری با ریشه غلات و برخی دیگر از گرامینه‌ها با پیدایش هیچ ساختار گرهک مانند همراه نیست، ولی پژوهش‌های بسیاری نشان می‌دهند که حضور باکتری در ریزوسفر و اندوریزوسفر گیاهان میزبان آثار معنی‌داری را در بهبود شاخص‌های رشد گیاه و در نتیجه ازدیاد محصول پدید می‌آورد، به گونه‌ای که رابطه متقابل غلات–آزوسپیریلوم را از حیث آثار مفید باکتری بر رشد گیاه، قابل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

قیاس با همزیستی لگوم- ریزوبیوم می‌دانند (Bashan and Holguin, 1997).

مایکوباکتریوم یکی از باکتری‌های ریزوسفری است که در گزارشات متعددی بر تاثیر مثبت این باکتری بر گیاهان مختلف تاکید شده است به صورتی که این باکتری باعث افزایش اندام هوایی، ریشه و کلروفیل می‌گردد(Jalali and Zare, 2019). نارولا و همکاران (Narula *et al.*, 2005) طی یک آزمایش دو ساله بر روی گندم و پنبه، مشاهده نمودند که سویه‌های انتخاب شده باکتری ازتوباکتر کروکوکوم موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و پارامترهای رشد از قبیل وزن خشک بوته و ارتفاع بوته نسبت به شاهد شده‌اند. نتایج تلقیح با ازتوباکتر در گیاه پنبه و گندم منجر به بهترین رشد گیاهی تحت شرایط کشت شد. از مهمترین مزایای باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توان به تولید هورمون‌های محرک رشد، توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذای به ویژه فسفر اشاره کرد (Saeid Nejad and Rezvan Moghadam, 2010).

طبق بررسی‌های پژوهشگران استفاده از کودهای بیولوژیک از موثرترین راه‌های مدیریتی در حفظ کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک محسوب می‌شود (Kokalis-Burelle *et al.*, 2006). باکتری‌ها پتانسیل بالا و خوبی جهت تعدیل و تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه در برابر تنش آبی داشته و به همین خاطر باعث افزایش بقای گیاه تحت شرایط سخت و متنوع محیطی می‌شوند (Marasco *et al.*, 2012; Redman *et al.*, 2011). باکتری‌های محرک رشد با تولید بیوفیلم(biofilm) ، ترشح اگزوپلی ساکاریدها (exopolysacchrides) و نیز تحریک گیاه به تولید حفاظت کننده‌های اسمزی (Osmoprotectors) و پروتئین‌های شوک گرمایی (Heat shock Proteins) اثر مثبتی بر سازگاری و تحمل گیاه به تنش خشکی دارند (Grover *et al.*, 2010). برخی از باکتری‌ها با رهاسازی ترکیبات فرار آلی (Volatile Organic Compounds) (VOC) به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم باعث افزایش بیوماس، بالارفتن تحمل گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی و مقاومت در برابر بیماری‌ها می‌شوند (Liu and Zhang ,2015).

پاکلوبوترازول یکی از مهم‌ترین و پر کاربردترین ترکیب‌های گروه تریازول می‌باشد که به عنوان یک ممانعت کننده از سنتز جیبرلین، به منظور کاهش رشد رویشی در گیاهان به روش‌های مختلف استفاده می‌شود (Sadeghi-Shoae *et al.*, 2014b). یکی از اثرات سودمند پاکلوبوترازول به‌عنوان بازدارنده رشدی این است که در مراحل متعدد ساخت اسید جیبرلیک و استرول اختلال ایجاد می‌کند (Sara *et al.*, 2015). گیاه تیمار شده با پاکلوبوترازول از غلظت کمتر اسید جیبرلیک برخوردار بوده که نشان دهنده ممانعت این ماده از ساخت اسید جیبرلیک است (Tsegaw, 2006). طبق گزارشات پاکلوبوترازل باعث کاهش اثرات سوء حاصل از تنش‌های مختلف محیطی از جمله خشکی، سرما و اشعه ماوراء بنفش شده است (Orabi *et al.*, 2010).

با توجه به اهمیت عوامل مورد بررسی این آزمایش با هدف بررسی اثرات پاکلوبوترازول و باکتری‌های محرک رشد بر برخی صفات فیزیولوژیک همچون محتوا و فلورسانس کلروفیل و فعالیت روبیسکو و همچنین برهمکنش این دو عامل در شرایط مختف آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها:

این تحقیق به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه قم و همدان (همدان منطقه‌ای سرد و کوهستانی با تابستان معتدل و قم منطقه‌ای خشک و کویری با تابستان گرم و خشک) انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل رژیم آبیاری با سه سطح ۱- آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس گیاه در طول دوره رشد (آبیاری مطلوب)، ۲-آبیاری مطلوب تا مرحله گرده افشانی و آبیاری در ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس گیاه تا پایان دوره رشد، ۳-آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس گیاه تا مرحله گرده افشانی و قطع آبیاری تا پایان دوره رشدی، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام در دو مرحله ساقه‌دهی و سنبله‌دهی) و فاکتور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

سوم شامل پنج سطح باکتری محرک رشد (عدم مصرف، مایکوباکتریوم، ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و تلفیق سه باکتری) بودند. فاکتورهای رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول در کرت‌های اصلی و فاکتور باکتری‌های محرک رشد در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. رقم مورد کشت سوپر گندم SHS 022 بود که این رقم از دورگ‌گیری بین گندم میراکل و ارقام روسی ایجاد شده است. لاین حاصل توسط اشعه گاما موتاسیون شده و سلکسیون صورت گرفت. ساقه‌ها نسبت به ارقام معمولی پرتر بوده و دارای یک سنبله اصلی و ۱۰–۸ سنبله فرعی منشعب از سنبله اصلی بوده و رنگ دانه آن قرمز می‌باشد. این رقم دارای تیپ رشد پاییزه بوده و مناسب مناطق سردسیر است. همچنین از دیگر مشخصات این رقم مقاومت به زنگ زرد و اما حساس بودن نسبت به خوابیدگی می‌باشد.

جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایشی، در ۱۰ نقطه از مزرعه نمونه‌هایی به طور تصادفی توسط اوگر از عمق ۳۰ـ۰ سانتیمتر خاک برداشته شد. سپس نمونه‌ها با هم مخلوط شدند و یک نمونه مرکب به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج آزمایش خاک در جدول ۱ آمده است:

کشت بذور در عمق حدود سه سانتیمتر در مهر ماه ۱۳۹۸ در مناطق مورد مطالعه اعمال شد. کودهای مورد نیاز مطابق با نتایج آزمون خاک مصرف شده و عملیات کاشت بر اساس نقشه آزمایش در قطعه زمینی با بستر از پیش آماده صورت گرفت. فسفر به میزان ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم از منبع سوپر فسفات تریپل به ترتیب در منطقه همدان و قم در مرحله قبل کاشت به خاک مزرعه اضافه شد. کود نیتروژنه از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت قبل از ساقه‌روی و قبل از سنبله‌دهی در هر دو منطقه همدان و قم مصرف شد. هر کرت شامل ۱۶ خط کشت به طول ۶ متر بود که با دستگاه بذر کار خطی با فواصل جوی ۶۰ سانتی‌متری انجام شد. هر جویچه شامل ۴ خط کاشت به فاصله ۱۵ سانتی‌متر بود. بین کرت‌های فرعی ۱۲۰ سانتی‌متر و بین کرت‌های اصلی ۳ متر فاصله بود. روش آبیاری به صورت نشتی بود و برای اندازه‌گیری میزان آب مصرفی از پارشال فلوم استفاده شد. عملیات آماده‌سازی زمین مورد نظر برای اجرای آزمایش در هر منطقه، شامل شخم عمیق، دیسک، لولر و تسطیح لازم در پائیز بود. باکتری‌های محرک رشد مورد استفاده در این تحقیق شامل سه گونه ازتوباکترکروکوکوم، آزوسپریلیوم لیپوفروم و مایکوباکتریوم بودند که به شکل پودری از بخش تحقیقات بیولوژی خاک معاونت آب و خاک کرج تهیه و مصرف شد. به ازای هر کیلوگرم بذر مصرفی مقدار ۱۰ـ۷ میلی‌لیتر محلول ۲۰ درصد شکر به بذرها اضافه شد و در درون کیسه پلاستیکی بخوبی مخلوط شده تا بذور کاملاً مرطوب و چسبناک شدند. سپس بلافاصله حدود ۱۵ـ۱۰ گرم از پودر هر باکتری به بذرها اضافه شده و سپس مخلوط شدند.

بذور به مدت ۱۵ دقیقه در سایه قرار گرفته و پس از خشک شدن، کشت شدند. جهت کنترل علف هرز پهن برگ از سم توفوردی در همدان در تاریخ ۲۰ فروردین و در قم در تاریخ ۲۸ فروردین مصرف شد. با بازدید پی در پی از مزرعه جهت کنترل آفات و بیماری‌های مزارع در هر دو منطقه، بیماری یا آفات قابل توجه برای مبارزه مشهود نبود. میزان رطوبت داخل و بین کرت‌ها با نصب بلوک‌های گچی و بر اساس تخلیه رطوبتی زمین مشخص و زمان آبیاری تعیین شد. بلوک‌های گچی قبلاً مورد آزمایش واسنجی قرار گرفته بودند و از منحنی تخلیه رطوبتی قابل دسترس (Paknejad *et al.*, 2007b) برای گیاه استفاده شد.

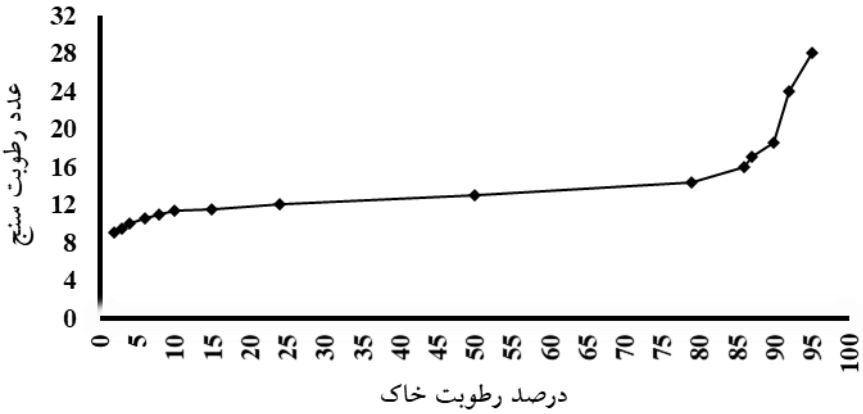
ارزیابی سنجش فعالیت روبیسکو بر اساس روش لیلی و همکاران (Lilley *et al.*, 1974) که توسط شارکی و همکاران (Sharkey *et al.*, 1996) تغییر یافت، اعمال شد. مقدار ۱/۵ گرم برگ تازه در محلول استخراج شامل ۱۰۰ میلی‌مول Bicin-"NaOH" با اسیدیته ۷/۸، ۱۰ میلی‌مول کلرور منیزیوم، ۱۰ میلی‌مول بتامرکاپتواتانول و ۲ درصد پلی‌وینیل پلی‌پیرولیدون هموژن شد. سپس توسط سانتریفیوژ با تنظیم دور ۱۸۰۰۰ به مدت دو دقیقه و جداسازی محلول روئی، شرایط نمونه‌گیری از بخش بالایی برای سنجش فعالیت آنزیم فراهم شد. میزان ۲۵۰ میکرولیتر از این عصاره به یک سی‌سی محلول واکنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

جدول ۱- نتایج آزمون خاک

منطقه	pH	EC	Na	P	O.C.	K	۴NH	۳NO	Clay	Silt	Sand	Soil Texture
	-	$ds.m^{-1}$	$meq.l^{-1}$	$mg.kg^{-}$	%	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	%	%	%	-
همدان	۶/۹۷	۱/۲۳	۶/۱۱	۱۱/۲۴	۰/۹۳	۴۹۸/۱۳	۴/۱۱	۱۲/۳۱	۳۵/۰۱	۴۶/۷۴	۱۸/۲۵	رسی- لومی
قم	۷/۱۵	۳/۷۶	۹/۱۲	۷/۹۱	۰/۳۲	۵۷۲/۳۴	۵/۱۴	۱۰/۶۵	۴۹/۱۴	۳۴/۷۵	۱۶/۱۱	رسی



شکل ۱– کالیبره کردن تغییرات هدایت الکتریکی بلوک‌های گچی (Paknejad *et al.*, 2007b)

Bicin با اسیدیته ۸/۲ شامل ۱۰۰ میلی‌مول، ۲۰ میلی‌مول کلرید منیزیم، ۱۰ میلی‌مول کربنات منوسدیم، ۱۰ میلی‌مول کلروپتاسیم، ۱ میلی‌مول ریبولوز بیس فسفات، ۰/۲ میلی‌مول NADH، ۵ میلی‌مول ATP، ۵ میلی‌مول کراتین فسفات، ۵۲ واحد فسفوکراتین کیناز، ۱۲ واحد فسفوگلیسرات کیناز، ۱۱ واحد گلیسرآلدئید ۳- فسفات دهیدروژناز اضافه شد و به مدت ۶۰ ثانیه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. کاهش جذب نوری در ۳۴۰ نانومتر (مربوط به اکسیداسیون NADH) منهای جذب نوری همان محلول در۴۰۰ نانومتر (مربوط به کربوکسیلاسیون آنزیم روبیسکو) اندازه‌گیری شد. این واکنش یک‌بار دیگر با آنزیم استاندارد مطابق میزان فعالیت نمونه استخراجی بر حسب میکرومول بر ثانیه بر مترمربع ($\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) بیان شد. به منظور کنترل مقدار آب مصرفی و عبور آب مطابق میزان محاسبه شده در هر آبیاری از پارشال فلوم تیپ چهار که در مجرای ورود آب به مزرعه نصب شده بود، استفاده شد و به مقدار لازم آب به کرت‌هایی با انتهای بسته، سرازیر می‌شد. میزان آب بر اساس واحد ستونی از آب مورد نیاز اشباع خاک در بیشترین عمق ریشه، محاسبه و داده‌ها به واحد متر مکعب در هکتار تبدیل شد و مورد تجزیه آماری قرار گرفت. منحنی و معادله مربوط به پارشال فلوم، ارتباط بین ستون آب و میزان آب عبور یافته را به واحد لیتر در ثانیه تعیین نمود. بنابراین با آگاهی از میزان آب مورد نیاز و ثبت ستون آب در پارشال فلوم، زمان دقیق هر آبیاری به دست آمد. به عبارت دیگر میزان آب لازم برای رسیدن به وضعیت ظرفیت زراعی هر کرت آزمایشی، با توجه به عمق نفوذ ریشه در خاک محاسبه شده و انتقال مقدار آب به هر کرت آزمایشی توسط پارشال فلوم کنترل شد. پارامترهای فلورسانس کلروفیل شامل فلورسانس اولیه (Fo)، حداکثر فلورسانس در تاریکی (Fm)، پتانسیل عملکرد کوانتوم (Fv/Fm)، حداکثر فلورسانس در روشنایی (Fm´)، میزان فلورسانس پایدار (Ft) و فلورسانس متغیر (Fv) در مزرعه توسط دستگاه portable fluorescence analyzer (Pam 2000, Waltz, Germany) روز بعد از گل‌دهی در دامنه ساعت ۷ تا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

جدول۲- پارامترهای بیوفیزیکی اندازه‌گیری شده فلورسانس کلروفیل و معادلات آنها (Klughammer and Schreiber, 2008)

پارامتر		شناسه	معادله
فلورسانس کمینه	minimum fluorescence	Fo	-
فلورسانس بیشینه	maximum fluorescence	Fm	-
فلورسانس متغیر	Variable fluorescence	Fv	Fm-Fo
حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستمII	Maximum photochemical quantum yield of photosystem II	Fv/Fm	(Fm-Fo)/Fm
کارایی کوانتومی فتوشیمیایی موثر فتوسیستم II	Effective photochemical quantum yield of photosystem II	Y(II)	(Fm-Ft)/ Fm´
کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم شده فتوسیستم II	Quantum yield of regulated energy dissipation	Y(NPQ)	(Ft/ Fm´)-(Ft/Fm)
کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم نشده فتوسیستم II	Quantum yield of non-regulated energy dissipation	Y(NO)	Ft/Fm
خاموشی غیر فتوشیمیایی	Non-photochemical quenching	NPQ	(Fm- Fm´)/ Fm´

۱۰ صبح اندازه‌گیری و محاسبه شد.

در نهایت داده‌های جمع‌آوری شده توسط توسط نرم افزار SAS 9.2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین پارامترها با استفاده از روش چند دامنه‌ای دانکن اعمال شد. همچنین برای فراهم بودن شرایط تجزیه مرکب از آزمون بارتلت انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

نتایج:

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) مبین این مطلب بود که بین مناطق مورد بررسی در این آزمایش اختلاف معنی‌داری از منظر عملکرد دانه وجود داشت به‌طوری‌که میانگین عملکرد دانه در همدان با ۸/۹۵ تن در هکتار بیشتر از قم با ۸/۰۹ تن در هکتار بود (جدول ۴). در این مطالعه بررسی‌ها نشان دادند که اثر سطوح رژیم آبیاری بر روی میزان عملکرد دانه در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رژیم آبیاری اول بیشترین عملکرد دانه را با ۱۱/۱۸ تن در هکتار و سطح سوم رژیم آبیاری با ۵/۷۸ تن در هکتار کم ترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها، بین سطوح مختلف فاکتور استفاده از پاکلوبوترازول بر روی صفت عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت (جدول ۳). بدین ترتیب که استفاده از پاکلوبوترازول با غلظت ۱۰۰ پی پی ام میزان عملکرد بیشتری را با ۹/۷۲ تن در هکتار داشت اما سطوح شاهد و ۵۰ پی پی ام پاکلوبوترازول به ترتیب با ۷/۴۸ و ۸/۳۵ تن در هکتار عملکرد دانه کمتری داشتند و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفتند(جدول ۴). در بررسی اثر باکتری بر روی عملکرد دانه مشاهده گردید که بیشترین عملکرد دانه در زمان استفاده از تلفیق سه باکتری (۱۰/۰۹ تن در هکتار) و کم‌ترین میزان آن (۶/۷۰ تن در هکتار) در شاهد بدون باکتری حاصل گردید (جدول۴)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول برای عملکرد دانه معنی‌دار شد به طوری‌که در سطح اول رژیم آبیاری تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف پاکلوبوترازول برای عملکرد دانه مشهود نبود اما در سطح دوم آبیاری و همچنین سطح سوم آبیاری بیشترین عملکرد را استفاده از پاکلوبوترازول با غلظت ۱۰۰ پی پی ام حصول نمود و شاهد بدون پاکلوبوترازول کم‌ترین میزان عملکرد دانه را داشت (شکل ۲). جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل بین رژیم آبیاری و باکتری بر روی عملکرد دانه معنی‌دار است (جدول ۳). به‌طوری‌که در سطح اول رژیم آبیاری آزوسپریلیوم در گروه بندی بالاتری نسبت به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

جدول۳- تجزیه واریانس صفات کلروفیل و پارامترهای فلورسانس کلروفیل

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	کلروفیل برگ پرچم	RWC	F۰	Fm	Fm´	Ft
منطقه (place)	۱	۵۰/۴۱**	۳۱/۰۴^{ns}	۹۳۰/۴۴**	۲۷۲۰/۱۸^{ns}	۱۸۹۴۷۱۸*	۷۳۲۱/۶۱^{ns}	۵۱۵/۲۹^{ns}
بلوک (منطقه)	۴	۰/۹۱	۱۶/۰۲	۲۸/۸۶	۲۴۰۸/۲	۱۵۵۷۰۱	۱۸۳۴۷/۴	۶۴۲۳/۲۸
رژیم آبیاری(a)	۲	۶۵۷/۱۴**	۱۸۵۵/۰۶**	۱۰۳۸۵/۶۲**	۵۱۲۴۰/۱۸*	۷۷۷۵۸۹۴*	۱۵۲۶۳/۲۴^{ns}	۲۲۵۲/۴۷^{ns}
پاکلوبوترازول(b)	۲	۱۱۴/۶۶*	۱۶۸/۱۴^{ns}	۲۴۷۷/۲۱**	۱۶۱۱۰/۹۴^{ns}	۵۰۰۲۳۱*	۲۳۸۵۴/۴۴^{ns}	۱۴۲۹۷/۴۷^{ns}
a*b	۴	۲۶/۶۸**	۱۵۰/۰۹*	۵۷۲/۱۱**	۱۰۱۷۵/۴^{ns}	۸۷۰۹۸۵^{ns}	۳۲۲۷۹/۰۲^{ns}	۴۳۷۴/۰۹^{ns}
place*a	۲	۰/۱۵^{ns}	۴/۴۸^{ns}	۶۷/۶۷^{ns}	۱۵۸۸/۸۹^{ns}	۸۳۳۵۵^{ns}	۱۷۹۸۱/۷۹^{ns}	۱۱۱۵۷/۵۱^{ns}
place*b	۲	۲/۵۶^{ns}	۱۰۵/۶۳^{ns}	۲۳/۵۶^{ns}	۱۸۷۲/۰۵^{ns}	۳۳۳۲۶^{ns}	۷۰۹۵۳/۶۱^{ns}	۵۶۸۴/۸۹^{ns}
place*a*b	۴	۰/۳۶^{ns}	۹/۵۶^{ns}	۲۸/۵۶^{ns}	۳۴۰۷/۸^{ns}	۲۶۷۸۹۶^{ns}	۳۹۹۲۱/۱۵^{ns}	۴۱۴۱/۳۹^{ns}
block(place*a*b)	۳۲	۰/۳۱	۳۹/۴۸	۳۴/۷۹	۷۸۲۶/۷۴	۸۱۰۰۳	۲۷۱۶۶/۰۱	۷۱۱۶/۴۳
باکتری (c)	۴	۸۸/۷۷**	۱۰۴/۹۷*	۱۵۹۶/۴۵**	۴۱۱۴/۶۶^{ns}	۱۸۶۹۶۶۳**	۴۶۹۲۱/۰۱^{ns}	۱۴۸۳/۲^{ns}
place*c	۴	۱/۹۲^{ns}	۲۴/۷۵^{ns}	۲۷/۵۸^{ns}	۹۸۷۰/۹۱^{ns}	۵۸۲۰۹^{ns}	۴۴۱۷۹/۹۸^{ns}	۹۲۳۶/۸۷^{ns}
a*c	۸	۳/۴۲**	۴۴/۵۳^{ns}	۴۸/۱۹^{ns}	۱۱۴۶۲/۳۸^{ns}	۷۳۵۹۰^{ns}	۵۰۶۷۵/۸۳^{ns}	۶۷۸۱/۵۲^{ns}
place*a*c	۸	۰/۱۱^{ns}	۲۷/۷۹^{ns}	۳۲/۲۴^{ns}	۷۵۸۴/۲۴^{ns}	۱۵۵۲۸۴^{ns}	۳۶۳۸۵/۶۹^{ns}	۳۲۵۵/۶۸^{ns}
b*c	۸	۰/۳۵*	۴۴/۹۱^{ns}	۲۹/۸۵^{ns}	۵۲۶۷/۹۱^{ns}	۴۶۳۲۴^{ns}	۱۱۳۰۶۵/۷۳^{ns}	۱۹۳۸۷/۴۹^{ns}
place*b*c	۸	۰/۰۹^{ns}	۱۸/۹۳^{ns}	۳۳/۳۱^{ns}	۷۵۸۸/۶۲^{ns}	۱۰۱۹۸۴^{ns}	۲۵۷۵۴/۸۱^{ns}	۳۲۷۳/۴۲^{ns}
a*b*c	۱۶	۱/۲۴^{ns}	۴۵/۹۸^{ns}	۴۴/۱۸^{ns}	۴۳۷۸/۲۷^{ns}	۱۱۹۶۱۷^{ns}	۳۹۶۲۲/۶۷^{ns}	۶۵۳۵/۰۱^{ns}
place*a*b*c	۱۶	۰/۳۰۸^{ns}	۲۶/۰۱^{ns}	۳۹/۴۱^{ns}	۱۲۳۳۹/۸۴^{ns}	۱۵۵۸۸۰^{ns}	۳۵۱۱۹/۳^{ns}	۷۷۵۱/۷۵^{ns}
خطای کل	۱۴۴	۰/۳۸	۳۶/۹۵	۲۴/۸۳	۵۵۱۰/۲۱	۹۳۳۴۸	۳۶۸۰۵/۷۵	۵۳۸۹/۱۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۷/۲۷	۳۸/۳۲	۸/۶۰	۱۷/۸۶	۱۶/۹۷	۲۳/۸۱	۱۷/۳۳

ns، * و ** به ترتیب: غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد (فلورسانس اولیه (Fo)، حداکثر فلورسانس در تاریکی (Fm)، پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_v/F_m)، حداکثر فلورسانس در روشنایی (Fm´)، میزان فلورسانس پایدار (Ft) و فلورسانس متغیر (Fv)، کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم شده فتوسیستم۲ Y(NPQ)، کارایی کوانتومی فتوشیمیایی موثر فتوسیستم ۲ Y(II)، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم نشده فتوسیستم ۲ Y(NO)، خاموشی غیر فتوشیمیایی NPQ)، محتوای رطوبت نسبی RWC

مایکوباکتریوم قرار گرفت و عملکرد دانه بالاتری را تولید نمود اما در سطح دوم و سوم آبیاری اینطور نبود و مایکوباکتریوم دارای عملکرد بالاتری نسبت به آزوسپریلیوم بود (شکل ۳). همچنین بررسی‌ها نشان دادند اثر متقابل بین پاکلوبوترازول و باکتری نیز بر روی عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت، بدین ترتیب که در سطح شاهد بدون پاکلوبوترازول، مایکوباکتریوم در گروه بالاتری نسبت به آزوسپریلیوم از نظر عملکرد دانه تولیدی قرار گرفت اما در سطح ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام استفاده از پاکلوبوترازول، هر دو باکتری مایکوباکتریوم و آزوسپریلیوم در یک گروه آماری قرار گرفتند(شکل ۴).

مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) اثر متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول بر میزان کلروفیل برگ پرچم معنی‌دار شد. بر اساس شکل ۵، در سطح رژیم آبیاری مطلوب بیشترین میزان صفت در غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول حاصل شد (۱۵/۵۲ واحد) و دو سطح شاهد و غلظت ۵۰ پی پی ام پاکلوبوترازول (به ترتیب ۸/۷۵ و ۹/۵۲ واحد) در سطح پایین‌تری قرار گرفته که در یک گروه آماری قرار گرفتند، اما در سطح دوم رژیم آبیاری، غلظت ۵۰ پی پی ام پاکلوبوترازول با بیش‌ترین مقدار کلروفیل همراه بود (۱۶/۹۳ واحد) و تیمار بدون مصرف پاکلوبوترازول از کم‌ترین مقدار صفت برخوردار بود. در سطح سوم رژیم آبیاری اختلاف معنی‌داری میان سطوح مختلف از لحاظ میزان کلروفیل برگ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

ادامه جدول ۳-

منابع تغییر	درجه آزادی	Fv	Fv/Fm	Y(II)	Y(NPQ)	Y(NO)	NPQ	فعالیت روبیسکو
منطقه (place)	۱	۲۰۴۱۹۰۰*	۰/۰۵*	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۱۰۳*	۰/۰۴۱*	۵/۷۵**	۷۷۶/۹**
بلوک (منطقه)	۴	۱۵۱۳۹۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۲۱	۷/۷۴
رژیم آبیاری(a)	۲	۸۸۵۵۹۰۳**	۰/۲۵*	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۲۶*	۰/۱۸۵*	۱۸/۷۸*	۶۸۲۲/۱۴**
پاکلوبوترازول(b)	۲	۶۸۷۸۶۶*	۰/۰۵*	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۵۴*	۱/۸۴^{ns}	۹۵۸/۷۳*
a*b	۴	۸۴۰۱۱۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۳۵^{ns}	۳/۱۱^{ns}	۲۶۰/۷۶**
place*a	۲	۶۵۸۰۷^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۸۴^{ns}	۱۷/۵۶^{ns}
place*b	۲	۴۹۳۲۴^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۵۴^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۹۵^{ns}	۳۱/۱۸^{ns}
place*a*b	۴	۲۵۷۶۷۸^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۳۸^{ns}	۰/۰۱۹^{ns}	۱/۸۵^{ns}	۵/۶۲^{ns}
block(place*a*b)	۳۲	۷۸۱۷۳	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۷۲	۱۶/۲۸
باکتری (c)	۴	۱۹۱۵۳۰۵**	۰/۰۳*	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۹۱*	۰/۰۴۱*	۷/۶۲**	۸۹۷/۵۷**
place*c	۴	۲۳۹۸۳^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۲۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۳۲/۸۷^{ns}
a*c	۸	۹۴۱۲۶^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱/۲۲^{ns}	۷۲/۹۵*
place*a*c	۸	۱۵۸۴۰۶۹^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۰۲۲^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۷^{ns}	۱۳/۵۸^{ns}
b*c	۸	۴۳۵۰۵^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۱/۲۷^{ns}	۳۳/۷۹^{ns}
place*b*c	۸	۹۲۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۵۳^{ns}	۲۷/۱۷^{ns}
a*b*c	۱۶	۹۷۳۳۴^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۸۸^{ns}	۲۳/۲۲^{ns}
place*a*b*c	۱۶	۱۱۶۹۵۲^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۱۰/۴۷^{ns}
خطای کل	۱۴۴	۸۸۵۸۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۶۷	۱۹/۰۰
ضریب تغییرات (٪)		۲۱/۵۰	۷/۳۷	۲۳/۷	۴۰/۵۸	۲۱/۹۴	۵۸/۵۲	۱۳/۳۱

ns، * و ** به ترتیب: غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد (فلورسانس اولیه (Fo)، حداکثر فلورسانس در تاریکی (Fm)، پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_v/F_m)، حداکثر فلورسانس در روشنایی (Fm´)، میزان فلورسانس پایدار (Ft) و فلورسانس متغیر (Fv)، کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم شده فتوسیستم۲ (Y(NPQ)، کارایی کوانتومی فتوشیمیایی موثر فتوسیستم ۲ (Y(II)، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم نشده فتوسیستم ۲ (Y(NO)، خاموشی غیر فتوشیمیایی (NPQ)، محتوای رطوبت نسبی RWC

پرچم، مشاهده نشد.

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، اثرات متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول بر درصد رطوبت نسبی برگ پرچم اختلاف معنی‌داری نداشت، که بر اساس شکل ۶، گروه بندی صفات در سطح اول رژیم آبیاری اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف پاکلوبوترازول بر صفت وجود نداشت، اما در سطح دوم رژیم آبیاری بیشترین درصد رطوبت نسبی برگ پرچم در فاکتور غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام پاکلوبوترازول حاصل شد مقدار صفت در دو سطح شاهد و ۵۰ پی‌پی‌ام، در یک گروه آماری و پایین‌تر قرار گرفتند. همچنین در سطح سوم رژیم آبیاری بیشترین میزان صفت در غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام پاکلوبوترازول و کم‌ترین میزان صفت در فاکتور بدون مصرف پاکلوبوترازول حاصل شد.

مطابق جدول ۳ اثر متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

جدول۴- مقایسه میانگین کلروفیل و پارامترهای فلورسانس کلروفیل

صفات	عملکرد دانه (تن در هکتار)	کلروفیل برگ پرچم	درصد رطوبت نسبی برگ	F۰	Fm	Fm´	Ft
منطقه							
قم	۸/۰۹^{b}	۱۶/۲۰^{a}	۵۶/۰۵^{b}	۴۱۸/۶۲^{a}	۱۷۱۶/۰۱^{b}	۸۱۰/۷۲^{a}	۴۲۲/۰۰^{a}
همدان	۸/۹۵^{a}	۱۵/۵۲^{a}	۵۹/۷۶^{a}	۴۱۲/۲۷^{a}	۱۸۸۳/۵۵^{a}	۸۰۰/۳۰^{a}	۴۲۴/۷۶^{a}
رژیم آبیاری							
۱	۱۱/۱۸^{a}	۱۱/۲۶^{c}	۶۸/۲۸^{a}	۳۸۷/۹۰^{b}	۲۰۷۹/۶۶^{a}	۷۹۲/۴۲^{a}	۴۲۰/۳۴^{a}
۲	۸/۶۰^{b}	۱۵/۹۸^{b}	۵۸/۶۰^{b}	۴۲۹/۶۲^{a}	۱۸۲۶/۱۲^{b}	۸۱۸/۴۷^{a}	۴۲۹/۱۶^{a}
۳	۵/۷۸^{c}	۲۰/۳۴^{a}	۴۶/۸۳^{c}	۴۲۸/۸۲^{a}	۱۴۹۳/۵۶^{c}	۸۰۵/۶۴^{a}	۴۲۰/۶۴^{a}
پاکلوبوترازول							
شاهد	۷/۴۸^{b}	۱۴/۶۱^{a}	۵۲/۹۱^{c}	۴۲۵/۰۶^{a}	۱۷۲۸/۴۰^{b}	۸۱۲/۱۸^{a}	۴۳۱/۲۶^{a}
۵۰ پی پی ام	۸/۳۵^{b}	۱۵/۶۵^{a}	۵۷/۴۳^{b}	۴۲۱/۱۲^{a}	۱۷۹۳/۷۹^{ab}	۸۱۷/۴۰^{a}	۴۳۰/۰۴^{a}
۱۰۰ پی پی ام	۹/۷۲^{a}	۱۷/۳۲^{a}	۶۳/۳۷^{a}	۴۰۰/۱۷^{a}	۱۸۷۷/۱۴^{a}	۷۸۶/۹۶^{a}	۴۰۸/۸۴^{a}
باکتری							
عدم مصرف	۶/۷۰^{d}	۱۴/۷۴^{b}	۴۹/۸۹^{c}	۴۰۶/۴۸^{a}	۱۵۹۹/۲۴^{c}	۸۳۵/۲۰^{a}	۴۲۹/۳۱^{a}
مایکوباکتریوم	۸/۳۵^{c}	۱۵/۶۱^{ab}	۵۷/۲۰^{b}	۴۲۸/۱۳^{a}	۱۶۹۵/۲۴^{c}	۸۲۹/۲۸^{a}	۴۲۶/۶۳^{a}
ازتوباکتر	۹/۳۰^{b}	۱۶/۲۱^{ab}	۶۲/۱۱^{a}	۴۱۰/۶۹^{a}	۱۹۲۵/۵۶^{b}	۷۸۴/.۶۱^{a}	۴۲۰/۱۵^{a}
آزوسپریلیوم	۸/۱۴^{c}	۱۴/۶۶^{b}	۵۶/۵۶^{b}	۴۲۰/۴۶^{a}	۱۷۲۲/۹۱^{c}	۸۱۲/۲۸^{a}	۴۲۴/۶۵^{a}
تلفیق سه باکتری	۱۰/۰۹^{a}	۱۸/۰۷^{a}	۶۳/۷۴^{a}	۴۱۱/۴۸^{a}	۲۰۵۵/۹۴^{a}	۷۶۶/۱۹^{a}	۴۱۶/۱۷^{a}

میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی دار ندارند (فلورسانس اولیه (Fo)، حداکثر فلورسانس در تاریکی (Fm)، پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_v/F_m)، حداکثر فلورسانس در روشنایی (Fm´)، میزان فلورسانس پایدار (Ft) و فلورسانس متغیر (Fv)، کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم شده فتوسیستم۲ Y(NPQ)، کارایی کوانتومی فتوشیمیایی موثر فتوسیستم ۲ Y(II)، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم نشده فتوسیستم ۲ Y(NO)، خاموشی غیر فتوشیمیایی NPQ)،

صفت فعالیت روبیسکو معنی‌دار شد. در سطح اول رژیم آبیاری اختلاف معنی‌داری بین سطوح پاکلوبوترازول بر صفت مشاهده نشد، اما در سطح دوم و سوم رژیم آبیاری بیش‌ترین مقدار روبیسکو به فاکتور غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول تعلق داشت و کم‌ترین میزان صفت به فاکتور شاهد تعلق داشت (شکل ۷). اثرات متقابل رژیم آبیاری در باکتری بر فعالیت روبیسکو معنی‌دار شد، بدین ترتیب که در سطح اول رژیم آبیاری تلفیق سه باکتری با بیش‌ترین فعالیت آنزیم روبیسکو همراه بوده و فاکتور بدون مصرف باکتری با کم‌ترین مقدار صفت همراه بود. اما در سطح دوم رژیم آبیاری به همراه تلفیق سه باکتری با بیش‌ترین فعالیت آنزیم روبیسکو همراه بوده و تیمار بدون مصرف باکتری و مصرف باکتری آزوسپریلیوم با کم‌ترین مقدار صفت در یک گروه آماری قرار گرفتند. در سطح سوم رژیم آبیاری بیش‌ترین مقدار صفت در تیمار تلفیق سه باکتری حاصل شد و کم‌ترین مقدار صفت به سه تیمار عدم مصرف باکتری، مایکوباکتریوم و آزوسپریلیوم تعلق داشته به شکلی که هر سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۸).

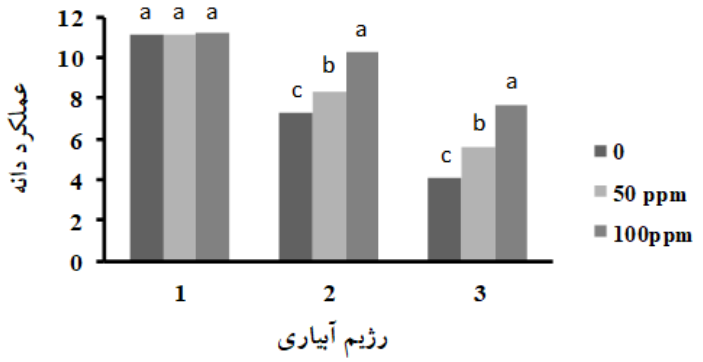
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

ادامه جدول ۴ –

صفات تیمار	Fv	Fv/Fm	Y(II)	Y(NPQ)	Y(NO)	NPQ	فعالیت روبیسکو
منطقه							
قم	۱۲۹۷/۳۷^{b}	۰/۷۴^{b}	۰/۴۶^{a}	۰/۲۷^{b}	۰/۲۶^{a}	۱/۲۵^{b}	۳۱/۰۵^{b}
همدان	۱۴۷۱/۳۰^{a}	۰/۷۶^{a}	۰/۴۴^{a}	۰/۳۱^{a}	۰/۲۳^{a}	۱/۵۴^{a}	۳۴/۴۴^{a}
رژیم آبیاری							
۱	۱۶۹۱/۷۷^{a}	۰/۸۰^{a}	۰/۴۴^{a}	۰/۳۴^{a}	۰/۲۰^{b}	۱/۸۶^{a}	۴۱/۸۴^{a}
۲	۱۳۹۶/۴۷^{b}	۰/۷۵^{ab}	۰/۴۵^{a}	۰/۲۹^{ab}	۰/۲۴^{b}	۱/۳۸^{ab}	۳۱/۸۹^{b}
۳	۱۰۶۴/۷۵^{c}	۰/۷۰^{b}	۰/۴۶^{a}	۰/۲۳^{b}	۰/۲۹^{a}	۰/۹۵^{b}	۲۴/۴۹^{c}
پاکلوبوترازول							
شاهد	۱۳۰۳/۳۱^{b}	۰/۷۳^{b}	۰/۴۴^{a}	۰/۲۷^{a}	۰/۲۷^{a}	۱/۳۱^{a}	۲۹/۹۱^{b}
۵۰ پی پی ام	۱۳۷۲/۶۹^{ab}	۰/۷۵^{ab}	۰/۴۵^{a}	۰/۲۸^{a}	۰/۲۵^{ab}	۱/۳۲^{a}	۳۲/۰۱^{b}
۱۰۰ پی پی ام	۱۴۷۶/۹۹^{a}	۰/۷۷^{a}	۰/۴۶^{a}	۰/۳۱^{a}	۰/۲۲^{b}	۱/۵۶^{a}	۳۶/۳۱^{a}
باکتری							
عدم مصرف	۱۱۹۲/۷۸^{d}	۰/۷۳^{b}	۰/۴۶^{a}	۰/۲۴^{b}	۰/۲۸^{a}	۱/۰۰^{d}	۲۷/۱۴^{d}
مایکوباکتریوم	۱۲۶۷/۱۰^{cd}	۰/۷۳^{b}	۰/۷^{a}	۰/۲۶^{b}	۰/۲۶^{ab}	۱/۱۴^{cd}	۳۲/۲۰^{bc}
ازتوباکتر	۱۵۱۴/۸۸^{b}	۰/۷۷^{a}	۰/۴۴^{a}	۰/۳۲^{ab}	۰/۲۳^{bc}	۱/۶۵^{b}	۳۴/۹۱^{b}
آزوسپریلیوم	۱۳۰۲/۴۱^{c}	۰/۷۴^{b}	۰/۴۵^{a}	۰/۲۸^{ab}	۰/۲۵^{ab}	۱/۲۹^{c}	۳۱/۴۰^{c}
تلفیق سه باکتری	۱۶۴۴/۴۹^{a}	۰/۷۸^{a}	۰/۴۳^{a}	۰/۳۴^{a}	۰/۲۱^{c}	۱/۹۱^{a}	۳۸/۰۶^{a}

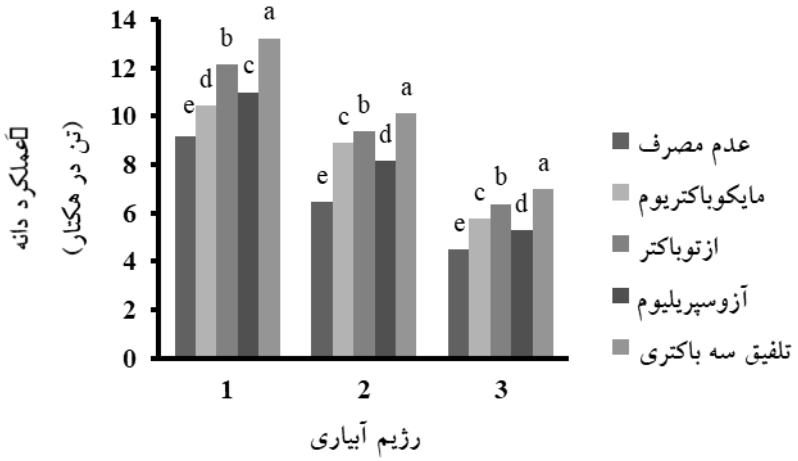
میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند (فلورسانس اولیه (Fo)، حداکثر فلورسانس در تاریکی (Fm)، پتانسیل عملکرد کوانتوم (F_v/F_m)، حداکثر فلورسانس در روشنایی (Fm´)، میزان فلورسانس پایدار (Ft) و فلورسانس متغیر (Fv)، کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم شده فتوسیستم۲ Y(NPQ)، کارایی کوانتومی فتوشیمیایی موثر فتوسیستم ۲ Y(II)، کارایی کوانتومی غیرفتوشیمیایی تنظیم نشده فتوسیستم ۲ Y(NO)، خاموشی غیر فتوشیمیایی NPQ)



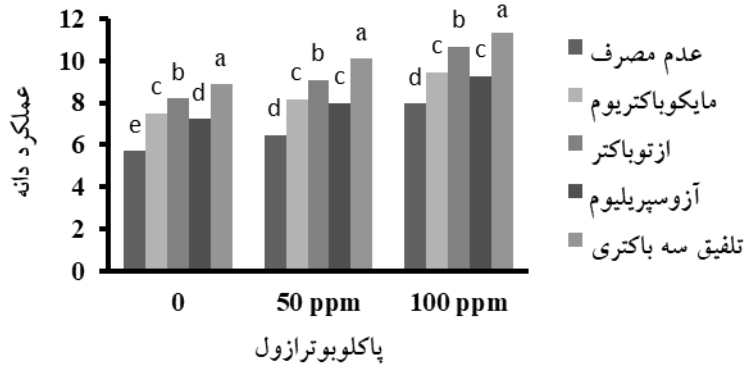
شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول بر عملکرد دانه. حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری اثر تیمارها در هر سطح آبیاری بر میانگین عملکرد دانه با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

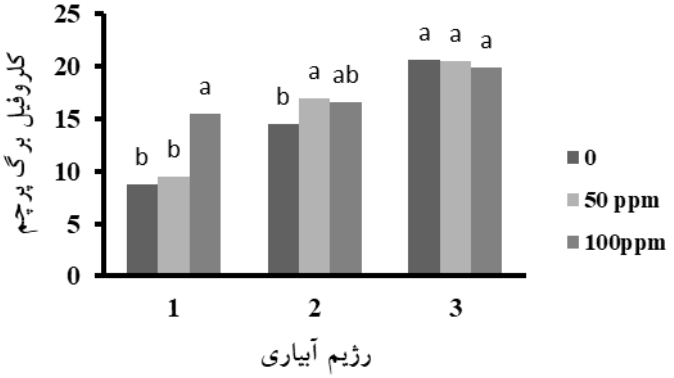
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و باکتری بر عملکرد دانه. حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری اثر تیمارها در هر سطح آبیاری برمیانگین عملکرد دانه با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.



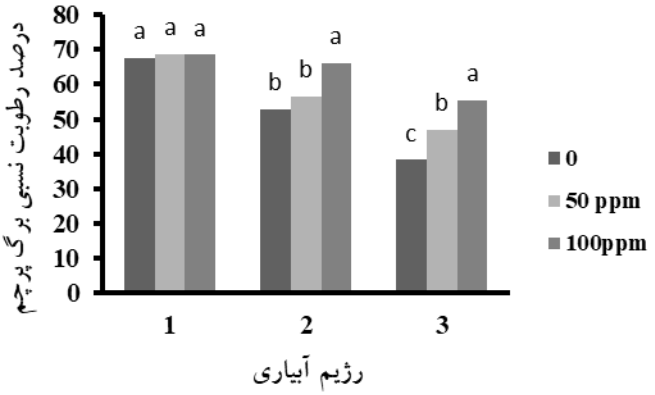
شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل پاکلوبوترازول و باکتری بر عملکرد دانه. حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری اثر تیمارها در هر سطح پاکلوبوترازول بر میانگین عملکرد دانه با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.



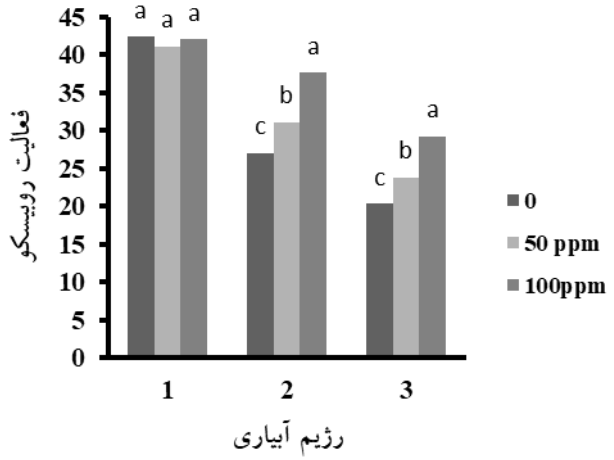
شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول بر کلروفیل برگ پرچم. حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری اثر تیمارها در هر سطح آبیاری برمیانگین کلروفیل برگ پرچم با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

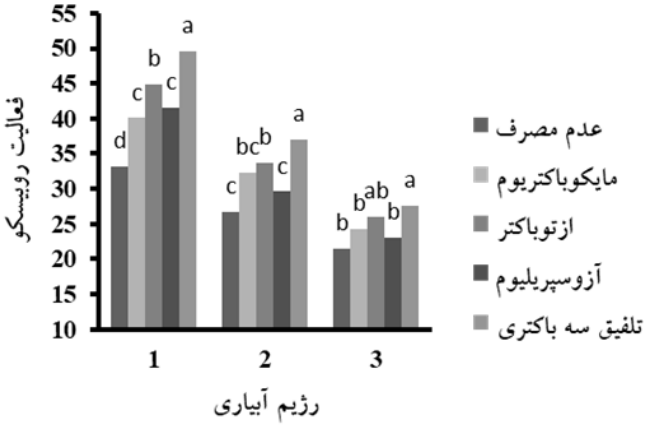
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری در پاکلوبوترازول بر درصد رطوبت نسبی برگ پرچم. حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری اثر تیمارها در هر سطح آبیاری بر میانگین درصد رطوبت نسبی برگ پرچم با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول بر فعالیت روبیسکو. حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری اثر تیمارها در هر سطح آبیاری بر میانگین فعالیت روبیسکو با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل رژیم آبیاری در باکتری بر فعالیت روبیسکو. حروف مشابه بیانگر عدم معنی‌داری اثر تیمارها در هر سطح آبیاری بر میانگین فعالیت روبیسکو با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) بین سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌دارمعنی‌داری برای فلورسانس اولیه وجود داشت. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان آن را سطح رژیم آبیاری دوم و سوم به ترتیب با میزان ۴۲۹/۶۲ و ۴۲۸/۸۲ داشتند که در یک گروه آماری قرار گرفتند و سطح اول آبیاری کم‌ترین میزان این صفت را با میزان ۳۸۷/۹۰ داشت (جدول ۴).

حداکثر فلورسانس در تاریکی در بین مناطق متفاوت بوده به طوری که در منطقه همدان (۱۸۸۳/۵۵) بیشتر از منطقه قم (۱۷۱۶/۰۱) بود (جدول۴). تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان دهنده وجود تفاوت معنی‌داری سطوح مختلف آبیاری بر پارامتر حداکثر فلورسانس تاریکی می‌باشد. در صورت استفاده از رژیم آبیاری سوم حداکثر فلورسانس تاریکی با کم‌ترین میزان (۱۴۹۳/۵۶) و در رژیم آبیاری اول با بالاترین میزان (۲۰۷۹/۶۶) همراه بود(جدول ۴).

همچنین مطابق جدول۴ حداکثر فلورسانس تاریکی تحت تاثیر پاکلوبوترازول قرار گرفت، به طوری که بین سطوح مختلف این کندکننده رشد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین میزان صفت در تیمار غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول حاصل شد و کم‌ترین میزان صفت در تیمار بدون مصرف این ماده حاصل شد. اثرات سطوح مختلف باکتری بر میزان حداکثر فلورسانس تاریکی معنی‌دار بود، به‌طوری‌که استفاده از تلفیق باکتری‌ها با بالاترین میزان صفت برخوردار بود (جدول ۴). بر اساس جدول ۳ در مورد صفت حداکثر فلورسانس در روشنایی بین سطوح مختلف فاکتورهای باکتری اختلافی معنی‌دار مشاهده نشد. همچنین بین سطوح فاکتورهای باکتری تفاوت معنی‌داری بر صفت مشاهده نشد. در میان مناطق مورد ارزیابی صفت فلورسانس متغیر تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به شکلی که در منطقه همدان (۱۴۷۱/۳۰) بیشتر از قم (۱۲۹۷/۳۷) بود (جدول۴). در سطوح مختلف رژیم آبیاری تفاوت معنی‌داری بر صفت فلورسانس متغییر مشاهده شد (جدول۳). مطابق جدول۴ سطح اول رژیم آبیاری با بیش‌ترین مقدار صفت و سطح سوم رژیم آبیاری با کم‌ترین میزان صفت همراه شد. مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) اثرات سطوح مختلف پاکلوبوترازول بر صفت فلورسانس متغیر معنی‌داری شد. تیمار ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول با بیش‌ترین فلورسانس متغیر (۱۴۷۶/۹۹) و تیمار بدون مصرف پاکلوبوترازول با کم‌ترین میزان صفت (۱۳۰۳/۳۱) همراه بود (جدول ۴). مطابق نتایج جدول ۳ حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف باکتری بر صفت فلورسانس متغییر بود. بدین ترتیب که تیمار تلفیق سه باکتری با بیش‌ترین میزان فلورسانس متغیر (۱۶۴۴/۴۹) و تیمار عدم مصرف باکتری با کم‌ترین میزان صفت (۱۱۹۲/۷۸) همراه شد (جدول ۴).

مطابق نتایج آنالیز داده‌ها (جدول۳) بین مناطق مختلف مورد ارزیابی از لحاظ پتانسیل عملکرد کوانتوم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد. منطقه همدان با پتانسیل عملکرد کوانتوم ۰/۷۶ نسبت به منطقه قم (۰/۷۴) برتر بود (جدول۴). همچنین بین سطوح مختلف رژیم آبیاری از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری مشهود بود (جدول۳) بدین صورت که سطح اول رژیم آبیاری با میزان ۰/۸۰ بیش‌ترین و سطح سوم رژیم آبیاری با مقدار ۰/۷۰ از کم‌ترین میزان صفت برخوردار بود. میزان پتانسیل عملکرد کوانتوم بین سطوح مختلف فاکتور پاکلوبوترازول با تفاوت معنی‌دار همراه بود. بالانرین میزان پتانسیل عملکرد کوانتوم در تیمار غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول و کمترین میزان صفت (۰/۷۳) در تیمار بدون مصرف حاصل شد (جدول۴). اثرات باکتری بر پتانسیل عملکرد کوانتوم معنی‌دار شد. مطابق جدول مقایسه میانگین داده‌ها دو سطح باکتری ازتوباکتر و تلفیق سه باکتری با بیشترین میزان پتانسیل عملکرد کوانتوم همراه بوده به طوری که به ترتیب با مقادیر ۰/۷۷ و ۰/۷۸ در یک گروه آماری قرار گرفتند.

در این تحقیق اثرات تمامی فاکتور های مورد آزمایش بر صفت کارایی کوانتومی فتوشیمیایی موثر بر فتوسیستم II معنی‌دار نشد (جدول ۳). مطابق نتایج تجزیه واریانس (جدول۳) بین مناطق مورد بررسی در آزمایش اختلاف معنی‌داری از لحاظ صفت کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

تنظیم شده در فتوسیستم II وجود داشت، به طوری که میانگین صفت در همدان (۰/۳۱) بیشتر از قم (۰/۲۷) بود (جدول ۴). اثر سطوح رژیم آبیاری بر میزان کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم شده در فتوسیستم II در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد. مطابق جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) صفت کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم شده در فتوسیستم II در سطح اول رژیم آبیاری با بیش‌ترین میزان صفت (۰/۳۴) و سطح سوم رژیم آبیاری (۰/۲۳) با کم‌ترین میزان صفت همراه شد. بر اساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳)، اثرات سطوح مختلف پاکلوبوترازول بر صفت کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم شده در فتوسیستم II معنی‌دار شد. مطابق ارزیابی نتایج (جدول ۴) تیمار تلفیق سه باکتری (۰/۳۴) با بیش‌ترین میزان و تیمار عدم استفاده از باکتری و مایکوباکتریوم به ترتیب با مقادیر ۰/۲۴ و ۰/۲۶ با کم‌ترین میزان صفت در یک سطح آماری قرار گرفتند. اثرات منطقه در این تحقیق، بر صفت کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم نشده در فتوسیستم II معنی‌دار نشد (جدول ۳). اثرات رژیم آبیاری، پاکلوبوترازول و باکتری هر یک به تنهایی بر صفت میزان کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم نشده در فتوسیستم II معنی‌دار شد. سطح سوم رژیم آبیاری با مقدار ۰/۲۹ با بالاترین میزان کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم نشده در فتوسیستم II و سطوح اول و دوم رژیم آبیاری با پایین‌ترین میزان صفت همراه شدند (جدول ۴). بررسی تاثیر سطوح پاکلوبوترازول بر صفت کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم نشده در فتوسیستم II نشان داد که کم‌ترین میزان صفت در تیمار غلظت ۱۰۰ پی پی ام پاکلوبوترازول (۰/۲۲) و بالاترین میزان صفت به تیمار بدون پاکلوبوترازول (۰/۲۷) تعلق گرفت. اثرات فاکتور باکتری بر صفت کارایی کوانتومی غیر فتوشیمیایی تنظیم نشده در فتوسیستم II معنی‌دار شد (جدول ۳). تیمار بدون مصرف باکتری با میزان ۰/۲۸ از بالاترین میزان و تیمار تلفیقی سه باکتری با مقدار ۰/۲۱ از کم-ترین میزان صفت برخوردار بودند (جدول ۴). مطابق نتایج جدول ۳، اثرات منطقه بر صفت خاموشی غیر فتوشیمیایی معنی‌دار شد، به طوری که میزان صفت در منطقه همدان با ۱/۵۴ بیشتر از منطقه قم (۱/۲۵) بود. همچنین اثرات رژیم آبیاری بر صفت خاموشی غیرفتوشیمیایی معنی‌دار بود. مقدار خاموشی غیرفتوشیمیایی سطح اول رژیم آبیاری (۱/۸۶) بالاتر از سطح سوم رژیم آبیاری (۰/۹۵) بود (جدول ۴).

اثرات باکتری بر میزان خاموشی غیر فتوشیمیایی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها تیمار تلفیق سه باکتری با میزان ۱/۹۱ صفت خاموشی غیر شیمیایی برتر از تیمار بدون مصرف باکتری به میزان ۱ بودند (جدول ۴).

بحث:

اکثر گیاهان یکساله‌ای با قابلیت تولید بذر در مراحل اولیه گلدهی نسبت به خشکی حساس می‌باشند، چنانچه غلات در مراحل اولیه رشد زایشی تحت تنش قرار گیرند، عملکرد دانه آنها به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. ذرت در مرحله گل دهی حساسیت زیادی به خشکی دارد علت اصلی این حساسیت به تاخیر افتادن ظهور اندام‌های ماده است که باعث می‌شود در هنگام رسیدن دانه‌های گرده، مادگی آمادگی پذیرش آنها را نداشته باشد، گندم نیز درست قبل از گرده‌افشانی نسبت به خشکی حساس است. احتمالاً در این حالت تقسیم میوز دچار اختلال شده و تولید گرده‌های سالم کاهش می‌یابد و در نهایت عملکرد دانه تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Si *et al.*, 2020).

تنش خشکی در تخریب مولکول کلروفیل موثر می‌باشد. در گیاه C4 ذرت تخریب مولکول کلروفیل در سلول‌های مزوفیل نسبت به سلول‌های غلاف آوندی بیشتر می‌باشد (Chiango *et al.*, 2021). تخریب کلروفیلa وb درون کلروپلاست و از تخریب لاملاهای گیرنده نوری، تحت تاثیر تنش خشکی در گیاه صورت می‌گیرد. احمدی و بیکر (Ahmadi and Baker, 2000) علت کاهش کلروفیل را در شرایط تنش خشکی به واسطه فعال‌سازی فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز دانسته‌اند. در تحقیقات انجام شده بر چغندرقند تحت تنش خشکی افزایش مقدار کلروفیل به علت کوچک شدن اندازه سلول‌های گیاهی و در نتیجه تجمع بیشتر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

کلروفیل در واحد حجم سلول می‌باشد (Mohammadian *et al.*, 2003; Vazan *et al.*, 2002). وجود اختلاف زیاد میان گونه‌های گیاهی باعث شده تا اثرات تنش خشکی بر کلروفیل را به سختی بتوان بر اساس یک روند عمومیت داد (Gholamin and Khayatnezhad, 2020).

یکی از مهم‌ترین تغییرات حاصل از تنش خشکی در گیاه کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ می‌باشد. شاخص رطوبت نسبی برگ توانایی گیاه را در تحمل به تنش خشکی نشان دهد. سی و همکاران (Si *et al.*, 2020) گزارش دادند افزایش پسابیدگی با کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ (RWC) بالاتر از ۷۰ درصد باعث کاهش میزان فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه‌ها می‌شود که به سرعت قابل برگشت است. رسیدن مقدار رطوبت نسبی برگ به کمتر از ۷۰ درصد تا میزان ۳۵ درصد، در کاهش ظرفیت فتوسنتزی موثر بوده و تنها با آبگیری مجدد به شکل تدریجی بهبود خواهد یافت. در این شرایط علت اصلی ممکن است ممانعت نوری باشد، تحت این شرایط کربوکسیلاسیون، چرخه ی کالوین و تنفس نوری کاهش یافته و انتقال الکترون ظاهراً به عنوان عامل محدود کننده‌تر می‌باشد. در صورت کاهش مقدار رطوبت نسبی برگ به کمتر از ۳۰ درصد، کاهش ظرفیت فتوسنتزی با آسیب غشائی در کلروپلاست منجربه مرگ سلولی می‌شود(Si et al., 2020).

فلورسانس اولیه نشان دهنده سطحی از فلورسانس است که پذیرنده کوئینونآ (QA) در بالاترین شرایط اکسیداسیونی قرار دارد (مرکز فتوسیستم II باز است). در حقیقت هرچه مقدار F0 کمتر باشد، نشان از مطلوبیت جریان فعالیت فتوسنتزی است و در این شرایط تثبیت کربن یا انتقال الکترون با سرعت بیشتری در جریان است. در حالی که مقدارF0 بالاتر، نشان از آسیب وارد شده به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II بر اثر کاهش ظرفیت QA و عدم اکسیداسیون کامل آن به دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II دارد (Sadeghi-Shoae *et al.*, 2014a; Paknejad *et al.*, 2007a; Zlatev and Yordanov, 2004). در این تحقیق رژیم آبیاری مطلوب با فعالیت فتوسنتزی مطلوب‌تری همراه بوده و تثبیت کربن با انتقال الکترون سریع‌تر آغاز شده است.

گیاهان تیمار شده با محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با برگ‌های سبز تیره‌تر همراه بوده که نشان از افزایش غلظت کلروفیل در سلول گیاه می‌باشد (Sebastian *et al.*, 2002). مطابق نتایج کامران و همکاران (Kamran *et al.*,2018) افزایش میزان کلروپلاست در واحد برگ با کاربرد پاکلوبوترازول صورت می‌گیرد. افزایش محتوای کلروفیل سلول در کلروپلاست ممکن است با افزایش میزان سیتوکنین به واسطه ممانعت در سنتز اسید جیبرلیک ارتباط داشته باشد (Berova and Zlatev, 2000). سوفر و همکاران (Sopher *et al.*,1999) بیان کردند که پاکلوبوترازول میزان کلروفیل را در برگ افزایش می‌دهد. برگ‌های تیمار شده با پاکلوبوترازول با دوام سبزینگی و جلوگیری از پیری همراه می‌باشند که نشان از افزایش مسیر تولید هورمون سایتوکنین نسبت به اسید جیبرلیک دارد (Tesfahon and Menzir, 2018).

پاکلوبوترازول با تغییر در کانوپی، افزایش کلروفیل و آهسته شدن روند پیری برگ‌ها و بهبود بهره‌وری نور باعث افزایش تجمع ماده خشک در ساقه و ریشه و در نهایت افزایش عملکرد همزمان با وجود کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Pan *et al.*, 2013). مطابق نتایج حاصله در این پژوهش کاربرد پاکلوبوترازول مطابق پژوهش‌های بالا در شرایط بدون تنش باعث افزایش میزان کلروفیل برگ شد اما با توجه به اینکه طبق آزمایشات محمدیان و همکارن (Mohammadian *et al.*, 2003) و وزان و همکاران (Vazan *et al.*, 2002) تنش آبی باعث افزایش میزان کلروفیل به دلیل کوچک‌تر شدن سلول‌ها می‌گردد در شرایط تنش شدیدتر پاکلوبوترازول قادر به تاثیر بر روی میزان کلروفیل برگ پرچم نشد.

پاکلوبوترازول میزان بقای گیاهان را در شرایط خشکی از طریق تعدادی پاسخ فیزیولوژیکی نظیر کاهش میزان تعرق (به دلیل کاهش میزان سطح برگ)، تسکین کاهش پتانسیل آب، افزایش نسبی رطوبت برگ‌ها، افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی و غیره افزایش می‌دهد (Zhu *et al.*, 2004).

فلورسانس متغیر (Fv) نشانگر احیای کامل پذیرنده‌های الکترون (QA) می‌باشد. زمانی که پذیرنده‌های الکترون در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

حالت احیای کامل باشند، فلورسانس کلروفیل زیاد است، بنابراین Fv نیز زیاد است، اما وقتی پذیرنده‌های الکترون در حالت اکسید شدن هستند، مقدار فلورسانس حداقل است و مقدار Fv نیز کاهش می‌یابد، بنابراین میزان پتانسیل عملکرد کوانتوم از تقسیم مقدار فلورسانس متغیر بر حداکثر فلورسانس تاریکی حاصل می‌شود. طبق نتایج چیانگو و همکاران (Chiango *et al.*, 2021) کاهش Fv/Fm در ذرت تحت شرایط تنش خشکی اتفاق افتاد. همچنین کاهش نسبت Fv/Fm و Fm تحت تاثیر تنش خشکی در گیاه لوبیا ممکن است به علت آسیب حاصل از چرخه تنظیم آب و یا انتقال الکترون‌ها در فتوسیستم II باشد. در این پژوهش روند کاهشیFv/Fm نشانه افزایش میزان حفاظت نوری بوده و همچنین دلیلی بر آن است که مصرف پاکلوبوترازول باعث محافظت گیاه در برابر شرایط تخریب فتوسیستم‌ها تحت تنش خشکی می‌شود.

برهمکنش گیاه با میکروارگانیسم‌های خاک شرایط خوبی را برای گیاه در برابر تنش کم آبی فراهم می‌سازد (Verma *et al.*, 2016). توانایی‌های باکتری‌های محرک رشد در بالا بردن و بهبود رشد گیاه و نقش آن‌ها در افزایش تحمل به تنش آبی گزارش شده است (Yang *et al.*, 2009). در تحقیقی به‌منظور کنترل تنش خشکی در گندم با استفاده از باکتری‌های محرک رشد دریافتند که تلقیح باکتریایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای میزان آسیب حاصل از تنش خشکی را در گیاه گندم از طریق سازوکارهای متعدی چه به صورت مستقیم و غیرمستقیم مانند افزایش میزان کلروفیل برگ، افزایش آب نسبی برگ‌ها کاهش داده و با کاهش اثرات منفی ناشی از تنش کم آبی، باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش خشکی شدند (Kasim *et al.*, 2013).

نتیجه گیری کلی:

نتایج نشان دادند درصد رطوبت نسبی برگ پرچم در شرایط رژیم کم آبیاری توانست تحت تاثیر پاکلوبوترازول قرار گیرد و استفاده از پاکلوبوترازول باعث کاهش کم‌تر درصد رطوبت نسبی در این شرایط شد. همچنین میزان فعالیت آنزیم روبیسکو تحت تاثیر استفاده از باکتری‌های محرک رشد قرار گرفت و تیمار تلفیق سه باکتری باعث افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو شد. اثرات اصلی تمام فاکتورهای رژیم آبیاری، باکتری و پاکلوبوترازول بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل معنی‌دار شد. تلفیق تیمارهای باکتری‌های محرک رشد در جلوگیری از اثرات کاهنده عملکرد کوانتومی فتوسنتز مؤثر بود.

منابع

Ahmadi, A. and Baker D. A. (2000) Stomatal and non-stomatal factors limiting photosynthesis in wheat under drought stress conditions. Iranian Journal of Agricultural Sciences. Volume 1. Number 34. 825-813. [In Persian with English Summary].

Bashan, Y. and Holguin, G. (1997) Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). Can. J. Microbiol. 43: 103-121.

Berova, M. and Zlater Z. (2000) Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants. Plant Growth Regulation 30: 117-123.

Chiango, H., A. Figueiredo, L. Sousa, T. Sinclair and Silva, J. M. (2021) Assessing drought tolerance of traditional maize genocholorophyll fluorescence parameters. South African Journal of Botany. Volume 138, May 2021, Pages 311-317.

Gholamin, R. and Khayatnezhad, M. (2020) Study of Bread Wheat Genotype Physiological and Biochemical Responses to Drought Stress. Helix. 10 (05): 87-92.

Grover, M., Ali, S. Z. Sandhya, V., Rasul, A. and Venkateswarlu, B. (2010) Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stress. World Journal of Microbiology and Biotechnology 27: 1231-1240.

Jalali, M. and Zare, A. A. (2019) Effect of plant growth promoting rhizobacteria on quantitative and qualitative yield of Lemon verbena. 16th Iranian Soil Science Congress. University of Zanjan, August 27-29. [In Persian with English Summary].

Kamran, M., Wennan, S., Ahmad, I., Xiangping, M., Wenwen, C., Xudong, Z. and Tiening L. (2018) Application of paclobutrazol affect maize grain yield by regulating root morphological and physiological characteristics under a semi-arid region. Scientifi. Reports. doi:10.1038/s41598-018-23166-z.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

Kasim, W. A., Osman, M. E., Omar, M. N., Abd El-Daim, I. A., Abd El-Daim, I. A., Bejai, S. and Meijer, J. (2013) Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth- Promoting Bacteria. Journal of Plant Growth Regulation 32: 122–130.

Khayatnezhad, M. and Gholamin R. (2021) The Effect of Drought Stress on the Superoxide Dismutase and Chlorophyll Content in Durum Wheat Genotypes. International Quarterly Journal of Biological Sciences. 8(2): 119-123.

Klughammer, C. and Schreiber, U. (2008) Complementary PS II quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method, PAM application notes 1 (2):201-247.

Kokalis-Burelle, N., Kloepper, J.W. and Reddy, M.S. (2006) Plant growth – promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. Applied Soil Ecology 31: 91-100.

Lilley, F.E.M.,Woods. D.V and.Sloane, M. N. (1974) Electrical conductivity profiles and implications for the absence or presence of partial melting beneath central and southeast Australia. Physics of the Earth and Planetary Interiors. 25(4): 1981, 419-428.

Liu, X.M. and Zhang, H. (2015) The effects of bacterial volatile emissions on plant abiotic stress tolerance. Frontiers Plant Science 6: 1-6, 774.

Lu, Q., Lu , C., Zhang, J. and Kuang, T. (2002) Photosynthesis and chlorophyll fluorescence during flag leaf senescence of field grown wheat plants. J. Plant Physiol 159:1173-1178.

Marasco, R., Rolli, E., Ettoumi, B., Vigani, G., Mapelli, F., Borin, S., Abou-Hadid, A.F., El-Behairy, U. A., Sorlini, C. and Cherif, A. (2012) A drought resistance promoting microbiome is selected by root system under desert farming. Journal of Plos One. 7: 1-14.

Mohammadian, R., H. Rahimian, H. Moghaddam and Sadeghian, M. (2003) The effects of stress drought on chlorophyll fluorescence and content of chlorophyll. S.Y. Pakistan Journal of Biological Sciences 6(20):1763-1769.

Narula, N., Kumar, V., Singh, B., Bhatia, R. and Lakshminarayana, K. (2005) Impact of biofertilizers on grain yield in spring wheat under varying fertility conditions and wheat-cotton rotation. Archives of agronomy and soil science. 51(1): 79-89.

Orabi, S. A., Salman, S. R. and Shalaby, M. A. (2010) Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (CucumissativusL.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. World Journal Agricultural Sciences 6(3): 252–259.

Paknejad, F., M. Nasri, H. R. Tohidimoghadam, H. Zahedi and Jami-Alahmadi, M. (2007a) Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence parameter, chlorophyll contect and grain yield of wheat cultivars. Journal of Biological Sciences 7(6): 841-847.

Paknejad, F., Majidi, A., Nourmohammadi, Gh., Sayyidat, A. and Vazan, S., (2007b) Evaluation of the effect of drought stress on the traits affecting the accumulation of grain material in different wheat cultivars. Journal of Agricultural Sciences. 13(1), 137-148. [In Persian with English Summary].

Pan, S., Rasul, F., Li, W., Tian, H., Mo, Z., Duan, M., and Tang, X. (2013) Roles of plant growth regulators on yield, grainqualities and antioxidant enzyme activities in super hybrid rice (Oryza sativa L.). Rice 6, 9. doi:10.1186/1939-8433-6-9.

Qalavand, A., Hamidi A., Dehghan shoar, M., Malakouti, J., Asgharzadeh, A. and Choghan, R. (2006) Application of biological fertilizers, an ecological strategy for sustainable management of crop ecosystems. Key papers of the 9th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. Abu Rihan Campus, University of Tehran. [In Persian with English Summary].

Redman, R. S., Kim, Y. O., Woodward, C. J. D. A., Greer, C. and Espino, L. (2011) Increased fitness of rice plants to abiotic stress via habitat adapted symbiosis: A strategy for mitigating impacts of climate change. http://dx.doi.org/10.1371/.

Robin, A., Vansuyt, G., Hinsinger, P., Meyer, J. M., Briat, J. F. and Lemanceau, P. (2008) Iron dynamics in the rhizosphere: consequences for plant health and nutrition. Advances in Agronomy, 99: 183-225.

Sadeghi-Shoae, M., D. Habibi, D. Taleghani, F. Paknejad and Kashani, A. (2014b) Evaluation the effect of paclobutrazol on bolting, qualitative and quantitative performance in autumn sown-sugar beet genotypes in Moghan region. International Journal of Biosciences. 5(1): 345-354.

Sadeghi-Shoae, M., F. Paknejad, B. Shahbazpanahi and Tookalloo M. R. (2014a) Florescence parameters, chlorophyll content and relative water content (RWC) of wheat varieties as affected by different regimes of irrigation. International Journal of Biosciences 4 (5): 135.

Saeid Nejad, A.H. and Rezvan Moghadam, P. (2010) Evaluation of the effect of biological and chemical fertilizers on morphological characteristics, yield, yield components and percentage of cumin essential oil. Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries) 24 (1): 44-38.

Sara, R.T, Deborah, G.M. and Bert, M. C. (2015) Effects of paclobutrazol and fertilizer on the physiology, growth and biomass allocation of three Fraxinus species. Urban Forestry and Urban Greening 14: 590-598.

Scbreiber, U. and Bilger, W. (1993) Progress in chlorophyll fluores¬cence research: major developments during the past years in retrospect. In: Behnke, H.D., U. Luttge, K. Esser, J.W. Kadereit and M. Runge (eds.), Progress is

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

Botany, Vol. 54. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 151-173.
Sebastian, B., Alberto, G., Emilio, A.C., Jose, A.F. and Juan, A. F. (2002) Growth, development and colour response of potted Dianthus caryophyllus cv. Mondriaan to paclobutrazol treatment. Sciences Horticulture. 1767: 1-7.
Sharkey, T. D. (1996) Emission of low molecular mass hydrocarbons from plants. Trends in Plant Science. 1(3): 78-82.
Si, Zh., M. Zain, F. Mehmood, G. Wang, Y. Gao and Duan, A. (2020) Effect of nitrogen application rate and irrigation regime on growth, yield, and water-nitrogen use efficiency of drip-irrigated winter wheat in the North China Plain. Journal of Agricultural Water Management. Volume 231, 106002.
Sopher, C.R., Krol, M., Huner, N.P.A., Moore, A.E. and Fletcher, R. S. (1999) Chloroplastic changes associated with paclobutrazol-induced stress protection in maize seedling. Canadian Journal of Botany. 77(2): 279-290.
Tesfahun, W. and Menzir A. (2018) Effect of rates and time of paclobutrazol application on growth, lodging, yield and yield components of Tef [*Eragrostis Tef* (Zucc.) Trotter] in Ada district, East Shewa, Ethiopia. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare 8(3): 104–117.
Tsegaw, T. (2006) Response of potato to paclobutrazol and manipulation of reproductive growth under tropical conditions. Thesis of doctora degree. University of Pretoria etd. 203p.
Vazan, S., Ranji, Z. A., Hoshdar Tehrani, M. H. Ghalavand, A. and Sanei Shariat Panahi, M. (2002) Effect of drought stress on abscisic acid accumulation and stomatal conductance of beet leaf. Iranian Journal of Crop Sciences, 4(3):182-176. [In Persian with English Summary].
Verma, P., Saxena, R. and Tomar, R. S. (2016) Rhizobacteria: A Promising Tool for Drought Tolerance in Crop Plants. Proceeding of International Conference on Recent Advances in Biotechnology (Int-BIONANO-2016).
Wang, C., Wen, D., Sun, A., Han, X., Zhang, J., Wang, Z. and Yin, Y. (2014) Changes in antioxidant enzyme activity and gene expression in response to high temperature stress in wheat seedlings. Journal of Cereal Sciences 60: 653-659.
Yang, J., Kloepper, J. W. and Ryu, C. M. (2009) Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends Plant Science 14: 1–4.
Zaefyzadeh, M. (2009) The effect of the interaction between genotypes and drought stress on the superoxide dismutase and chlorophyll content in durum wheat landraces. Turkish Journal of biology, 33 (1): 1-7.
Zhu, L., Welander, M., Peppel, A. and Li, X. (2004) Changes of leaf water potential and endogenous cytokinins in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought conditions. Scientia Horticulturae 99: 133–141.
Zlatev, Z. S. and Yordanov, I. T. (2004) Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology: 30 (3- 4):3-18.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]

Changes in chlorophyll content and fluorescence indices and some physiological traits of wheat under the influence of paclobutrazol and growth-promoting bacteria at different levels of irrigation

Reza Rahimi[1], Farzad Paknejad[1*], Mehdi Sadeghi-Shoae[2], Mohammad Nabi Ilkaee[1] and Mehdi Rezaee[1]

[1]Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
[2]Sugar Beet Seed Institute (SBSI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Received: 17/08/2021, Accepted: 26/10/2021)

Abstract

The use of growth-promoting bacteria increases vegetative growth, and concomitant with that, timely consumption with appropriate concentrations of growth retardant can play a role in the distribution of nutrients to the shoots and roots, and thus improve dehydration tolerance. For this purpose, in this study, the reaction of the new super wheat cultivar SHS022 under the conditions of irrigation regime with the use of growth-promoting bacteria and the application of growth retardant paclobutrazol were investigated. This research was conducted as a factorial split plot in the form of a randomized complete block design with three replications in Qom and Hamedan in 2018-19 crop year. The first factor included the amount of irrigation with three levels (irrigation at 40% of available moisture discharge throughout the growing season (control), normal irrigation up to pollination stage and irrigation at 60% available moisture discharge until seed maturity, irrigation at 40% moisture release available up to pollination stage and cessation of irrigation until the end of the growing season) and the second factor included foliar application of paclobutrazol at three levels (0, 50 and 100 ppm) and the third factor included growth-promoting bacteria at five levels (control, Mycobacterium, Azotobacter and Azospirillium and combination). According to the results of analysis of variance, the main effects on chlorophyll fluorescence parameters, flag leaf relative moisture content, flag leaf chlorophyll content and Rubisco activity were significant. According to the results of comparing the mean in the first level of irrigation regime, there was no significant difference between paclobutrazol levels, whereas in the second level of irrigation regime, the highest percentage of relative leaf moisture was obtained at a concentration of 100 ppm paclobutrazol (66.23%), so that two levels Control and 50 ppm were in a lower statistical group (52.95 and 56.63%, respectively), but in the third level of irrigation regime, the highest trait was obtained at a concentration of 100 ppm paclobutrazol with 55.36% and The lowest was evident at the control level with 38.24%. The interaction effect of irrigation regime on paclobutrazol on Rubisco activity was significant so that in the first level of irrigation regime there was no significant difference between levels of paclobutrazol, but in the second and third levels of irrigation regime the highest amount of rubisco was 100 ppm paclobutrazol. They belonged to 37.63 and 29.27 units, respectively, and the lowest amount of trait was in the control factor.

Keywords: Wheat, Irrigation regimes, Paclobutrazole, Growth-promoting bacteria, Chlorophyll fluorescence parameters, Rubisco enzyme activity

Corresponding author, Email: farzadpaknejad@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.47.18.7]