

تأثیر کاربرد کودهای زیستی و روی بر عملکرد، روند تغییرات عملکرد کوانتومی، هدایت روزنه‌ای و برخی صفات فیزیولوژیک تریتیکاله (*Triticosecale*) در شرایط قطع آبیاری

یونس خیری‌زاده آروق و رئوف سیدشریفی*

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۲۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۷/۱۴)

چکیده

به منظور مطالعه تأثیر کاربرد کودهای زیستی و روی بر عملکرد، روند تغییرات عملکرد کوانتومی، هدایت روزنه‌ای و برخی صفات فیزیولوژیک تریتیکاله در شرایط قطع آبیاری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل قطع آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به عنوان شاهد، محدودیت ملایم آبی یا قطع آبیاری در ۵۰٪ مرحله سنبله‌دهی (Heading stage)، محدودیت شدید آبی یا قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله آبستنی (Booting stage))، کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد سودوموناس پوتیدا استرین ۱۸۶ و ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد) و محلول پاشی با نانوآکسید روی در چهار سطح (عدم مصرف، مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که در شرایط قطع آبیاری کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m)، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب و عملکرد دانه کاهش یافت. در حالی که هدایت الکتریکی و پروتئین دانه افزایش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بالاترین عملکرد، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل در حالت کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز، محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و آبیاری کامل به دست آمد. بیشترین پروتئین دانه در شرایط کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز، محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و آبیاری تا ۵۰٪ مرحله آبستنی به دست آمد. بیش‌ترین عملکرد دانه (۶۶۳/۲۶ گرم در مترمربع) در آبیاری کامل، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریزی و محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کم‌ترین آن (۱۹۸/۴۶ گرم در مترمربع) در آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی به دست آمد. اعمال محدودیت آبی در مراحل ۵۰٪ سنبله‌دهی و آبستنی، عملکرد دانه را به ترتیب ۲۲ و ۴۲ درصد کاهش داد و استفاده توأم کودهای زیستی و نانوآکسید روی به ترتیب ۵۲ و ۵۳ درصد از این کاهش عملکرد را جبران کرد.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، شاخص کلروفیل، میکوریز، هدایت الکتریکی

مقدمه

چاودار حاصل شده است. این گیاه از عملکرد بالایی نسبت به تریتیکاله گیاهی از تیره غلات است که از تلاقی گندم و گندم و از مقاومت بالایی به تنش‌های زیستی و غیر زیستی در

مقایسه با چاودار برخوردار است (Cantale *et al.*, 2016). تنش خشکی یکی از موثرترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و تولید گیاهان است. این تنش موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش فتوسنتز، محتوای کلروفیل، پایداری غشا و عملکرد گیاه می‌گردد (Monakhova and Chernyadev, 2002). واکنش گیاهان به کمبود آب بر اساس ویژگی‌های ژنتیکی، بیوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این راستا هدایت روزنه‌ای، محتوای کلروفیل و کارایی فتوسنتزی به عنوان شاخص‌هایی برای ارزیابی به شرایط محدودیت آبی در بررسی‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Maccaferri *et al.*, 2011). بسیاری از گزارش‌ها نشان داده است که کاهش میزان کلروفیل و هدایت روزنه‌ای در گیاه موجب کاهش فتوسنتز شده که در نهایت به کاهش عملکرد دانه منجر می‌گردد (Liang *et al.*, 2002). مطالعات انجام شده توسط Miyashita و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که فلورسانس کلروفیل، Fv/Fm، سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای با افزایش تنش خشکی در لوبیا کاهش یافت. تنش خشکی باعث تولید گونه‌های اکسیژنی فعال می‌شود که باعث آسیب به پروتئین‌ها، غشاهای لیپیدی و رشته‌های DNA می‌شوند (El-Tayeb, 2006). یکی از عوامل تأثیرگذار تنش خشکی بر فتوسنتز، کاهش میزان کارایی فتوسنتز از طریق افزایش فلورسانس کلروفیل است. اندازه‌گیری مقدار فلورسانس کلروفیل می‌تواند ارزیابی مناسبی از عملکرد کوانتومی و جریان الکترون در فتوسیستم دو را نشان دهد کردند که محدودیت آبی باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد، هدایت روزنه‌ای، سطح برگ و ارتفاع بوته در گیاه تربیتکاله می‌شود.

مصرف کودهای زیستی مانند ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) در شرایط تنش‌های محیطی مانند خشکی نه تنها موجب افزایش مقاومت گیاهان می‌شود بلکه میکروارگانسیم‌های از دست رفته خاک را نیز جبران می‌کنند. برخی از مکانیسم‌های مرتبط با اثر مفید این باکتری‌ها به توانایی آن‌ها در تولید ترکیبات مختلف (مثل فیتوهورمون‌ها، ویتامین‌ها و سیدروفورها)، تثبیت نیتروژن اتمسفری و انحلال فسفات معدنی و آلی را شامل می‌شود. با این حال برخی از مکانیسم‌های ناشناخته نیز ممکن است وجود داشته باشند و یکی از محتمل‌ترین مکانیسم‌های عمل در بهبود رشد گیاه می‌تواند تغییرات در سطوح درونی مواد تنظیم کننده رشد گیاه ناشی از باکتری‌های محرک رشد باشد (Khalid *et al.*, 2006). کمری (۱۳۹۳) گزارش نمود که تلقیح بذور تربیتکاله با باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل شد.

میکوریز یک همزیستی بین گروهی از قارچ‌های خاکی با گیاهان است. قارچ‌های میکوریز ترکیبات کربوهیدراتی مورد نیاز خود را از گیاه میزبان دریافت می‌کنند، در حالی که باعث افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاهان می‌شوند و از این طریق باعث بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی و شوری می‌شوند. قارچ‌های میکوریز هم‌چنین مزایای دیگری مانند تنظیم اسمزی تحت تنش شوری، بهبود تثبیت نیتروژن، افزایش فتوسنتز و افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده را دارند (Khalafallah and Abo-Ghalia, 2008). Davies و همکاران (۱۹۹۳) اظهار داشتند که هدایت روزنه‌ای در شرایط مطلوب آبی و در شرایط تنش رطوبتی تحت تأثیر میکوریز افزایش می‌یابد.

روی از عناصر کم‌مصرف ضروری برای سامانه‌های زیستی است و نقش مهمی در سنتز پروتئین و سایر متابولیسم‌ها ایفا می‌کند. علاوه بر این، به عنوان یک جزء ساختاری مهم در آنزیم‌ها و پروتئین می‌باشد. روی هم‌چنین در فرآیند فتوسنتز، فعال‌سازی سیستم‌های آنزیمی و سنتز پروتئین نقش دارد (Alloway, 2009). Liskay و Roach (۲۰۱۴) گزارش کردند

در میان میکروارگانسیم‌های متعدد در ریزوسفر، برخی از آنها اثرات مثبتی در ارتقاء رشدی گیاهان دارند. این میکروارگانسیم‌ها که کودهای زیستی نامیده می‌شوند ریزوسفر و ریشه‌های بسیاری از گونه‌های گیاهی را کلونیزه می‌کنند و اثرات مفیدی بر رشد و نمو گیاهان دارند (Gusain *et al.*, 2016).

که روی موجب افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیتیم II، فتوسنتز و محتوای کلروفیل می‌شود. به دلیل اهمیت تریتیکاله در استفاده دو منظوره از آن و کاهش رشد این گیاه به واسطه محدودیت آبی در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک کشور و همچنین نقش کودهای زیستی و روی در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی موجب شد اثرات کودهای زیستی و نانو اکسید روی بر پروتئین دانه و روند تغییرات هدایت روزنه‌ای، کارایی فتوشیمیایی فتوسیتیم II، هدایت الکتریکی، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و عملکرد تریتیکاله در شرایط قطع آبیاری مورد مطالعه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. اقلیم محل اجرای آزمایش از نوع نیمه خشک سرد می باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ و مشخصات اقلیمی در طی فصل رشد در جدول ۲ آورده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل‌های آزمایشی شامل قطع آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشد گیاه به عنوان شاهد، آبیاری تا ۵۰٪ مرحله سنبله‌دهی و آبیاری تا ۵۰٪ مرحله آبستنی به ترتیب به عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی)، عامل دوم شامل کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد سودوموناس پوتیدا استرین ۱۸۶ و ازتوباکتر کروکوکوم استرین ۵، کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد) و عامل سوم محلول پاشی با نانو اکسید روی در چهار سطح (عدم مصرف، مصرف ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ گرم در لیتر) بودند. قارچ میکوریز استفاده شده از گونه *mosseae* و باکتری *Azotobacter* و *Pseudomonas putida strain 186*

درج شده است. محلول پاشی با نانو اکسید روی در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مرحله ۶-۴ برگی و مرحله قبل از آبستنی) انجام شد. به دلیل حلال نبودن اکسید روی در آب، ابتدا نانو اکسید روی در آب دی‌یونیزه به صورت معلق در آمده و با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) این مواد پخش شده و محلول گردید (Prasad et al., 2012). برای تلقیح بذرها میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود استفاده گردید. هم‌چنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. تمام بذرها به مدت دو ساعت در مایه تلقیح در شرایط تاریکی قرار گرفتند. تلقیح با قارچ میکوریز به روش استاندارد و توصیه شده Gianinazzi و همکاران (۲۰۰۱) انجام شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم بهاره، دیسک و تسطیح بود. هر واحد آزمایشی حاوی ۵ ردیف کاشت به طول ۲/۵ متر و با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. میزان بذر مصرفی تقریباً ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. زمان کاشت ۲۲ اردیبهشت و زمان برداشت ۲۰ شهریور بود. وجین علف‌های هرز به صورت دستی و در دو مرحله انجام گرفت. کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و در سه مرحله مورد استفاده قرار گرفت. ۱/۳ کود اوره در زمان کاشت، ۱/۳ در مرحله ۳ تا ۴ برگی و ۱/۳ بعدی در مرحله پنجه‌زنی استفاده شد.

روند تغییرات محتوای نسبی آب بافت برگ پرچم بعد از ظهور برگ پرچم در فواصل زمانی هر ۴ روز یک بار با استفاده از روش Chelah و همکاران (۲۰۱۱) اندازه‌گیری گردید. Seyed Sharifi و همکاران (۲۰۱۶) نیز از این رابطه در بررسی

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایش

مشخصه	بافت	pH	عصاره اشباع	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	روی
مقادیر						(درصد)				میلی گرم در کیلوگرم		
لومی	۷/۸	۷/۸	۴۹	۱۴/۴	۲۳	۴۲	۳۵	۰/۶۲	۰/۰۶	۸/۲۹	۲۱۲	۲۸

جدول ۲- میانگین دما و میزان بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش طی فصل رشد در سال ۱۳۹۳

ماه‌های سال	میانگین حداکثر دما (سانتی گراد)	میانگین حداقل دما (سانتی گراد)	میانگین دمای روزانه (سانتی گراد)	بارندگی ماهانه (میلی متر)
اردیبهشت	۲۲/۴	۸/۱	۱۵/۳	۳۵/۴
خرداد	۲۵	۱۰/۵	۱۷/۸	۲۴/۵
تیر	۲۵/۵	۱۳/۳	۱۹/۴	۱۲/۲
مرداد	۲۶/۴	۱۳/۲	۱۹/۸	۰/۴
شهریور	۲۵/۸	۱۱/۸	۱۸/۸	۰/۶

جدول ۳- مشخصات نانو اکسید روی مورد استفاده

وزن	خلوص	میانگین اندازه ذرات	سطح ویژه ذرات	رنگ
۱۰۰ g	۹۹ %	< ۳۰ nm	> ۳۰ m ² .g ⁻¹	پودری سفید

محتوای نسبی آب بافت گندم استفاده نموده اند. بدین صورت که نمونه‌های برگ پرچم بلافاصله بعد از نمونه برداری توزین و وزن تر آن‌ها یادداشت گردید و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، وزن آماس یافته اندازه‌گیری و وزن خشک نیز از توزین نمونه‌ها بعد از قرار دادن نمونه‌های آماس یافته در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، حاصل شد محتوای نسبی آب بافت از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$\text{RWC} = (F_w - D_w) / (T_w - D_w) \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، F_w وزن تر، T_w وزن آماس یافته و D_w وزن خشک است.

برای اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در مزرعه، از ۵۰ روز بعد از سبز شدن هر چهار روز یک بار توسط دستگاه پرومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices Ltd.,) (Cambridge, UK) از هر تیمار به طور تصادفی ۴ برگ پرچم توسعه یافته انتخاب و اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ پرچم در مزرعه، از ۵۰ روز بعد از سبز شدن هر چهار روز یک بار توسط دستگاه (chlorophyll fluorometer; Optic Science-) (OS-30 USA) از هر تیمار به طور تصادفی ۴ برگ پرچم توسعه یافته (در فاصله زمانی ساعت ۸-۱۰ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص‌های F_0 ، F_m و F_v/F_m اندازه‌گیری شدند (Seyed Sharifi et al., 2016).

برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ پرچم در مزرعه، از ۵۰ روز بعد از سبز شدن هر چهار روز یک بار توسط دستگاه (SPAD-502; Konica Minolta Sensing, Inc.,) (Japan) از هر تیمار به طور تصادفی ۴ برگ پرچم و از ۳ قسمت هر برگ پرچم اندازه‌گیری شد و میانگین داده‌های حاصل به عنوان شاخص کلروفیل یادداشت گردید.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم، ۵۰ روز بعد از سبز شدن هر چهار روز یک بار نمونه‌های برگ

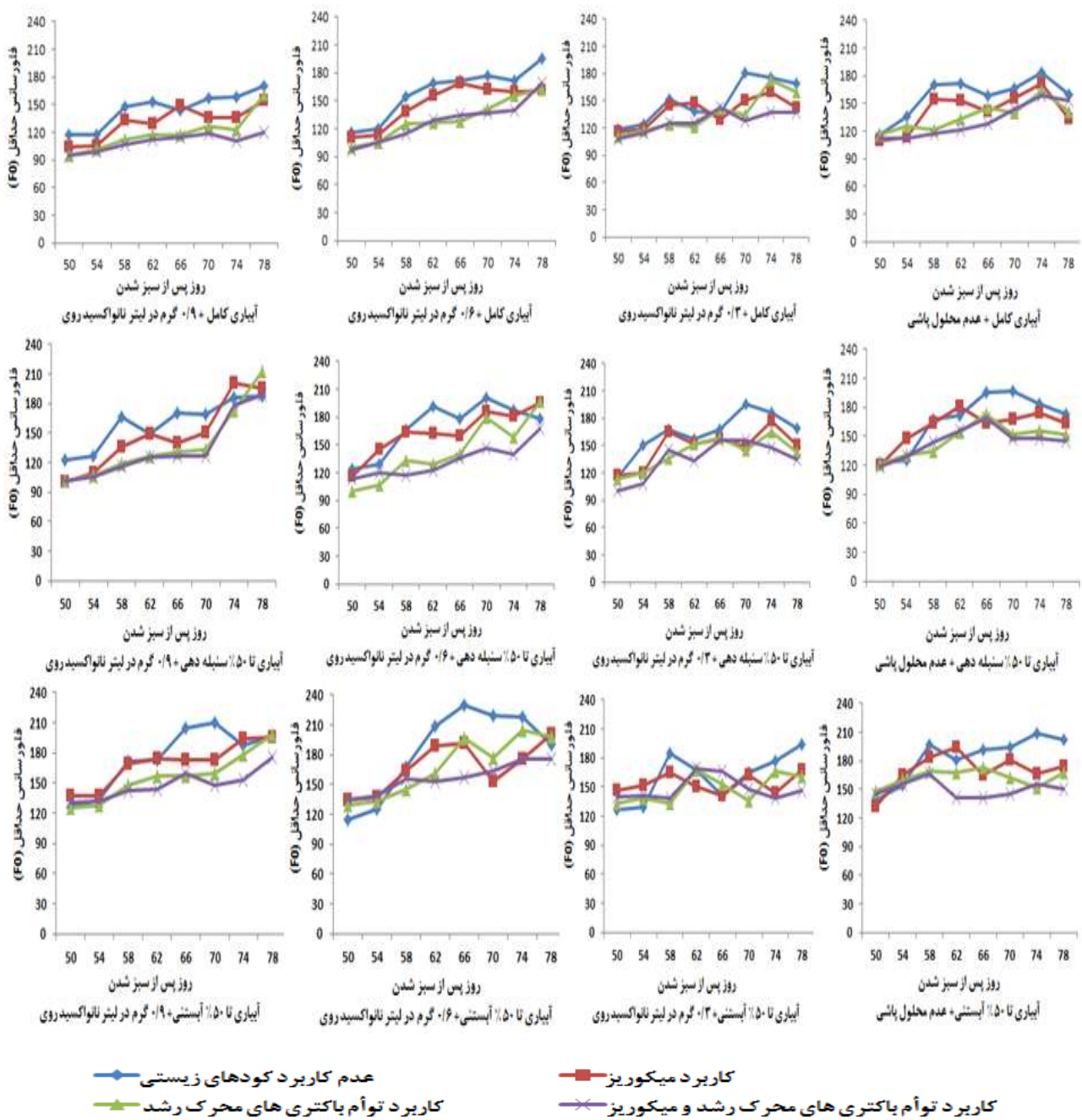
دست آمد (شکل ۱). از آنجایی که تیمار محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز نسبت به سایر تیمارها دارای محتوای آب نسبی بیشتری است (شکل ۲)، به نظر می‌رسد استفاده از این ترکیب تیماری توانسته است به نحو مناسب‌تری از رطوبت خاک استفاده کند. شاید اهمیت رطوبت نسبی از این نظر باشد که بین این ویژگی‌ها و تعداد زیادی از ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه از جمله سرعت تبادل کربن و میزان هدایت روزنه‌ای ارتباط مستقیمی وجود دارد، در نتیجه شرایط فتوسنتزی بهتری داشته و مانع از افزایش بیش از حد فلورسانس حداقل شده است (Prakash and Ramachandran, 2000). به نظر می‌رسد کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد به دلیل افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای و دسترسی بهتر گیاه به آب و عناصر غذایی موجب افزایش هدایت روزنه‌ای (شکل ۳) شده است. همچنین احتمال داده می‌شود باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریز دارای اثرات هم‌افزایی با یکدیگر هستند که در نهایت منجر به بهبود پارامترهای فلورسانس تریپتیکاله در شرایط محدودیت آبی شده است.

فلورسانس حداکثر (F_m): کارایی افت غیر فتوشیمیایی فلورسانس نیز به عوامل بیرونی و درونی زیادی وابسته بوده و در تغییر F_m با فلورسانس حداکثر منعکس می‌گردد (Maxwell and Johnson, 2000). نتایج اندازه‌گیری فلورسانس حداکثر (F_m) نشان می‌دهد که در شرایط قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی کاهش قابل توجهی در فلورسانس حداکثر و در تخریب فتوشیمیایی مشاهده نشد، در حالیکه در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، اثرات تنش آب بر سیستم فتوشیمیایی با کاهش قابل توجهی در فلورسانس حداکثر همراه با افزایش در سطوح فلورسانس حداقل مشاهده شد. علت این تغییرات را به اختلال در فتوسیستم II می‌توان نسبت داد (Osmond, 1994). نتایج نشان داد ۷۸ روز پس از سبز شدن بیش‌ترین میزان فلورسانس حداکثر (۴۲۹) مربوط به محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط آبیاری کامل بود

پرچم در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب تقطیر شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت و سپس میزان هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برای تعیین محتوای پروتئین دانه از روش سه مرحله‌ای کجلدال (هضم، تقطیر، تیتراسیون) استفاده شد. با ضرب درصد نیتروژن دانه در عدد ۶/۲۵ درصد پروتئین دانه به دست آمد (کمری، ۱۳۹۳). عملکرد دانه از سطحی معادل یک متر مربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد گردید. برای تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SAS و Excel استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

فلورسانس حداقل (F_0): بررسی روند تغییرات فلورسانس حداقل (F_0) در پاسخ به محلول پاشی نانوآکسید روی و کاربرد باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در طول فصل رشد نشان داد قطع آبیاری در مرحله آبستنی و سنبله‌دهی باعث افزایش F_0 شده است. به علاوه میزان فلورسانس حداقل (F_0) همواره در شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی کمتر از شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی بود. افزایش در F_0 نشان دهنده افزایش فلورسانس و از بین رفتن یا خرابی مراکز واکنش فتوسیستم II یا اختلال در انتقال انرژی الکترون جهت برانگیختگی مراکز واکنش می‌باشد. اغلب در منابع دیده می‌شود که از این تکنیک به همراه روش‌های دیگری مثل محتوای کلروفیل، محتوای رطوبت نسبی و پایداری غشا استفاده می‌شود که ممکن است مقاومت به خشکی را نشان دهند (Lu et al., 2002). به طوری که ۷۸ روز پس از سبز شدن بیش‌ترین فلورسانس حداقل (۲۰۲) از ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوآکسید روی و عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و کم‌ترین آن (۱۲۰) از محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط آبیاری کامل به



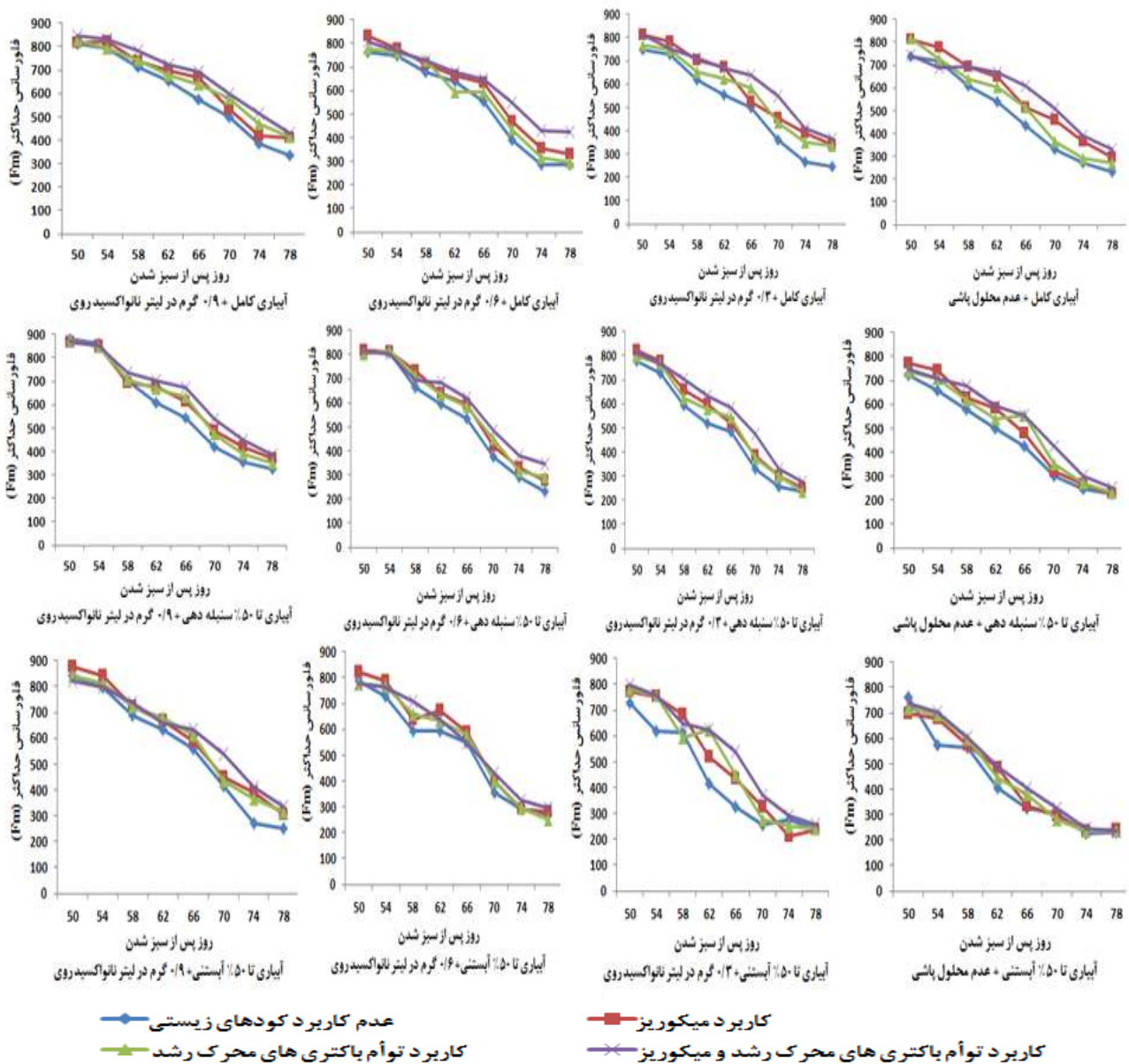
شکل ۱- تأثیر قطع آبیاری، کودهای زیستی و نانوآکسید روی بر روند فلورسانس حداقل برگ پرچم تریتیکاله

جریان بهتر الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I می‌گردد (Prakash and Ramachandran, 2000).

عملکرد کواتومی: روند تغییرات کارایی فتوشیمیایی

فتوسیستم II (Fv/Fm) در پاسخ به کاربرد کودهای زیستی و محلول‌پاشی با نانوآکسید روی در شرایط محدودیت آبی و آبیاری کامل از الگوی نسبتاً یکسانی برای تمام تیمارها تبعیت کرد (شکل ۵). به نظر می‌رسد استفاده از نانوآکسید روی و

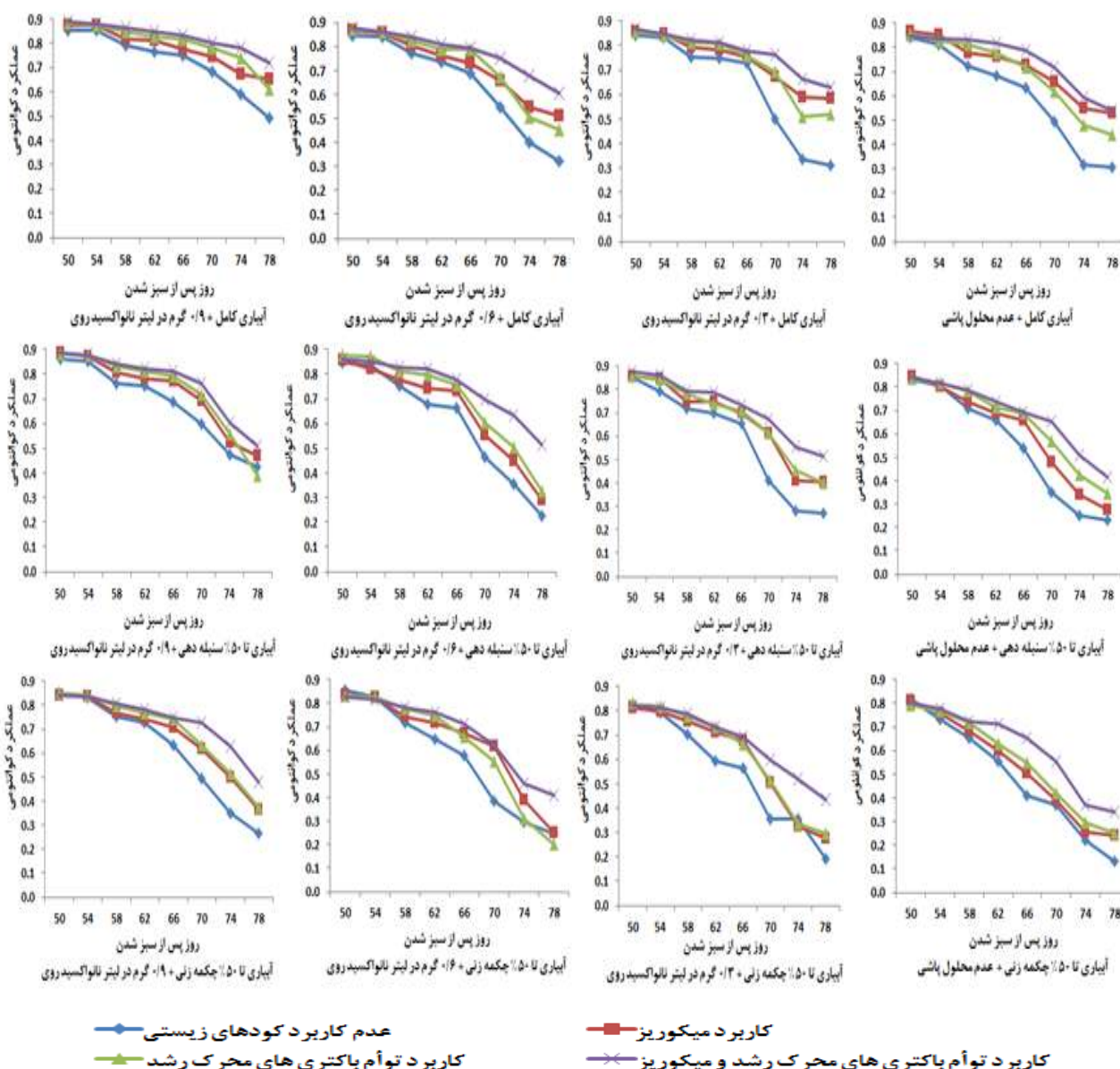
و کم‌ترین میزان آن (۲۳۳) مربوط به عدم محلول‌پاشی نانوآکسید روی و عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی بود (شکل ۴). همانطور که قبلاً گفته شد تیمار محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز به دلیل محتوای آب نسبی بالاتر (شکل ۲) نسبت به سایر تیمارها استفاده بهتری از رطوبت داشته و در دستگاه فتوستتری موجب



شکل ۲- تأثیر قطع آبیاری، کودهای زیستی و نانو اکسید روی بر روند فلورسانس حداکثر برگ پرچم تربتیگاله

(۰/۷۲۰) در ترکیب تیماری محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط آبیاری کامل و حداقل آن (۰/۱۳۳) در ترکیب تیماری عدم محلول پاشی و عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به دست آمد (شکل ۵). اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل یک روش گسترده مورد استفاده برای مطالعه عملکرد دستگاه فتوسنتزی و یک ابزار قدرتمند برای مطالعه پاسخ گیاه به استرس‌های محیطی است. Ma و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند که کارایی فتوشیمیایی

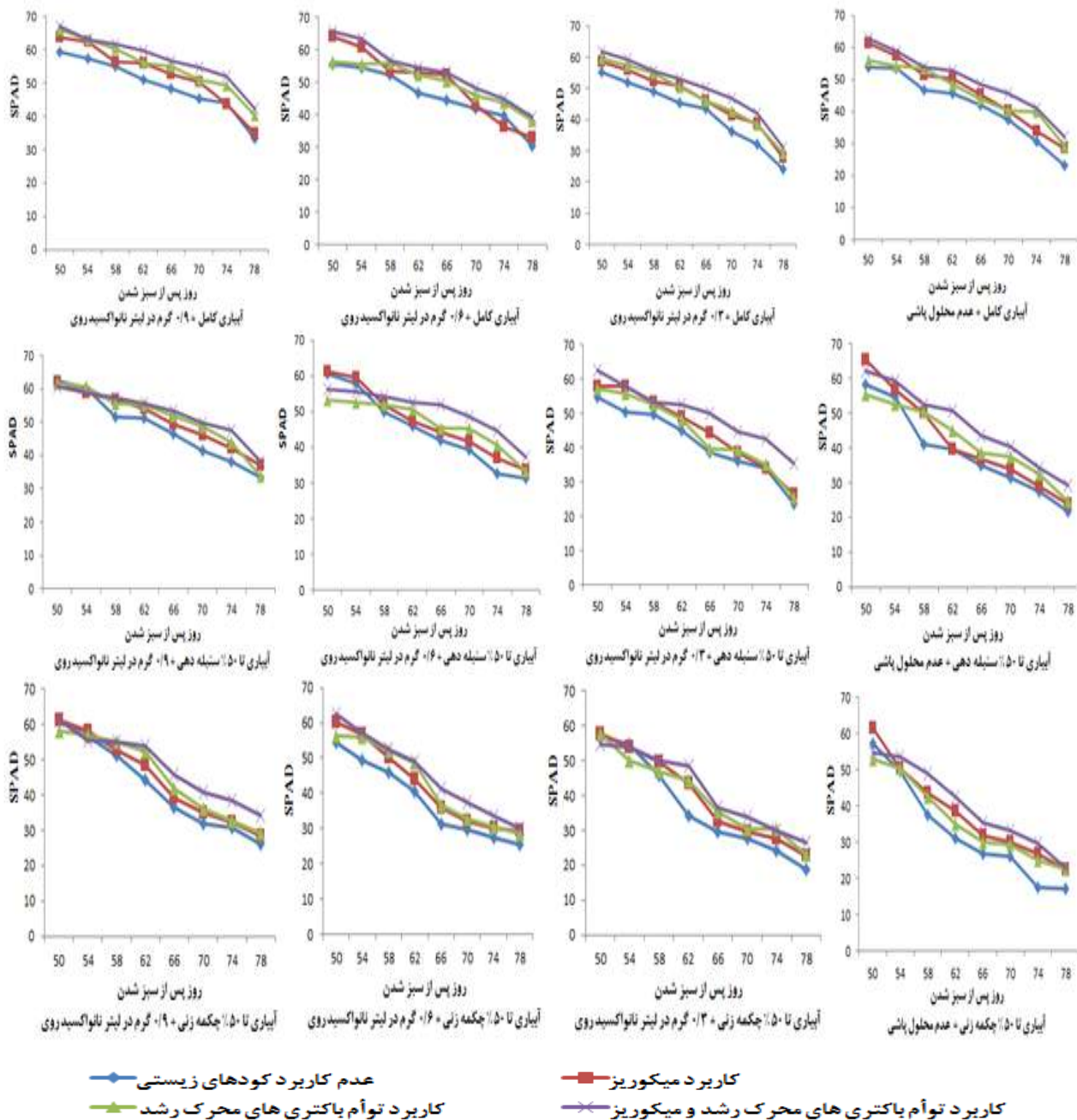
باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط محدودیت و آبیاری کامل باعث بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه شده است. در واقع این تیمارها توانسته‌اند حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II را ثابت نگه دارند. ولی تفاوت بین تنش قطع آبیاری در مرحله آبستنی و آبیاری کامل به خصوص در سه مرحله آخر اندازه‌گیری بسیار معنی‌دار بود. کارایی فتوسنتزی (Fv/Fm) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شدت روند کاهشی داشت، به طوری که در تمامی تیمارهای مورد آزمایش (۷۸ روز پس از سبز شدن) حداکثر میزان Fv/Fm برگ پرچم



شکل ۳- تأثیر قطع آبیاری، کودهای زیستی و نانو اکسید روی بر روند عملکرد کوانتومی برگ پرچم تربتیگاله

است، دستگاه فتوسنتزی در آن‌ها به خشکی حساس‌تر است و به نظر می‌رسد محدودیت آبی با اختلال در انتقال الکترون در واکنش مربوط به تجزیه آب در فتوسیستم II (واکنش هیل) به بروز این پدیده کمک کرده و کارایی کوانتومی فتوستتر خالص، کاهش یافته است (Scotnica *et al.*, 2000). Sayar و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند عملکرد کوانتومی فتوسیستم II توسط قارچ‌های میکوریز افزایش می‌یابد. قارچ‌های میکوریز نقش مهمی را در بهبود Fv/Fm به واسطه بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاهان ایفا می‌کنند. باکتری‌های محرک رشد می‌توانند رشد

فتوسیستم II نقش مهمی در تحمل به خشکی در گیاهان دارد. گزارش‌ها در مورد اثر محدودیت آبی بر عملکرد PSII متناقض هستند و مکان دقیق و مکانیسم‌هایی برای تخریب PSII هنوز روشن نشده است (Sperdoui and Moustakas, 2012). Shahbazi و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی پارامترهای فلورسانس گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل گزارش دادند که پارامتر Fv/Fm رابطه مثبتی با تحمل به تنش خشکی دارد و از آن به عنوان یک معیار مکمل در انتخاب برای تحمل به محدودیت آبی نام بردند. در تیمارهایی که Fv/Fm کمتر

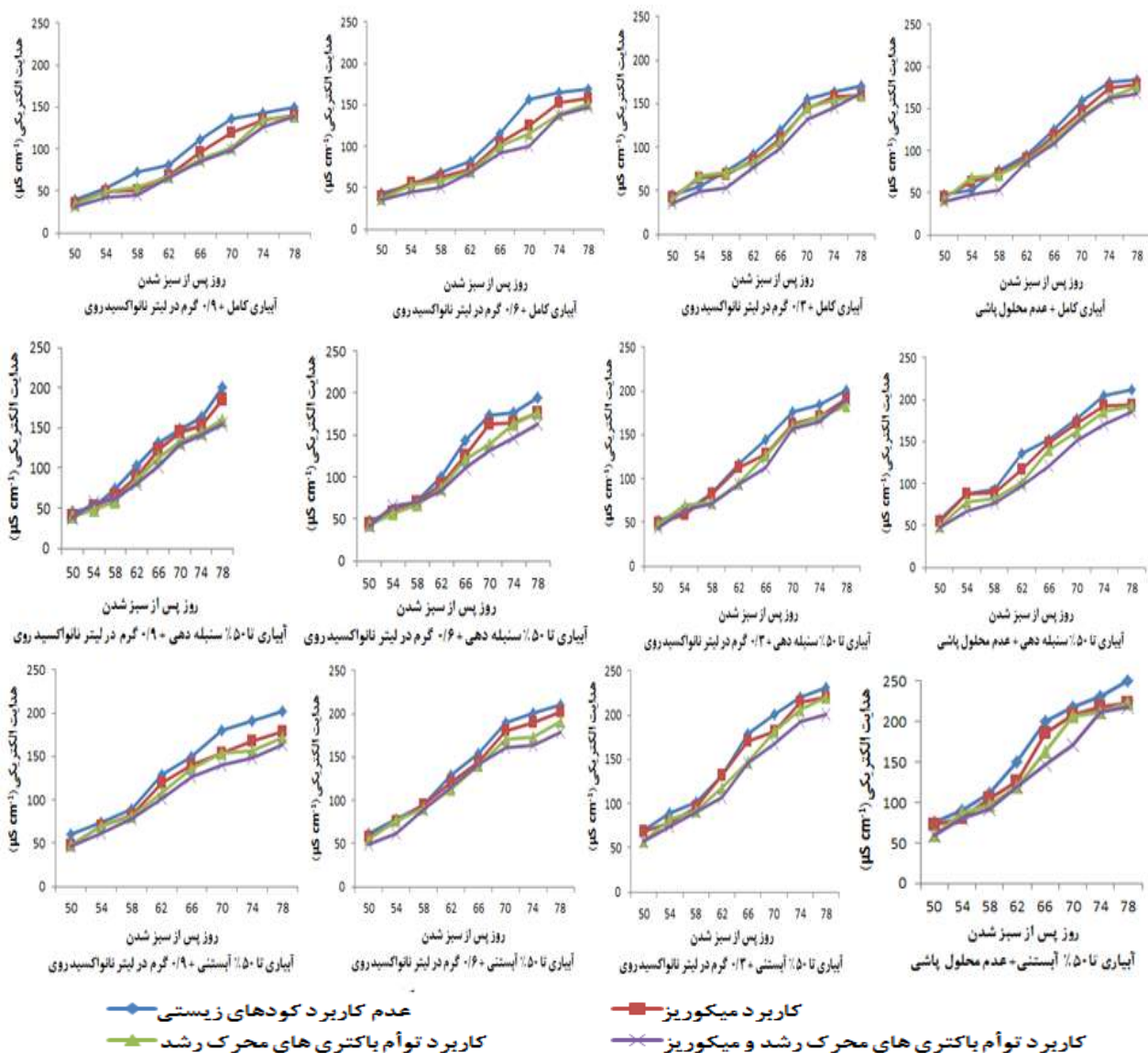


شکل ۴- تأثیر قطع آبیاری، کودهای زیستی و نانو اکسید روی بر روند شاخص کلروفیل برگ پرچم تربیتکاله

عملکرد کوانتومی فتوسیستم II می‌شود.

شاخص کلروفیل: نتایج بررسی روند تغییرات شاخص کلروفیل برگ پرچم در شکل ۶ نشان می‌دهد که این تغییرات در تمامی تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشت، به طوری که شاخص کلروفیل در مراحل اول نمونه برداری بالا بوده است و سپس تا انتهای فصل رشد به دلیل نزدیک شدن به

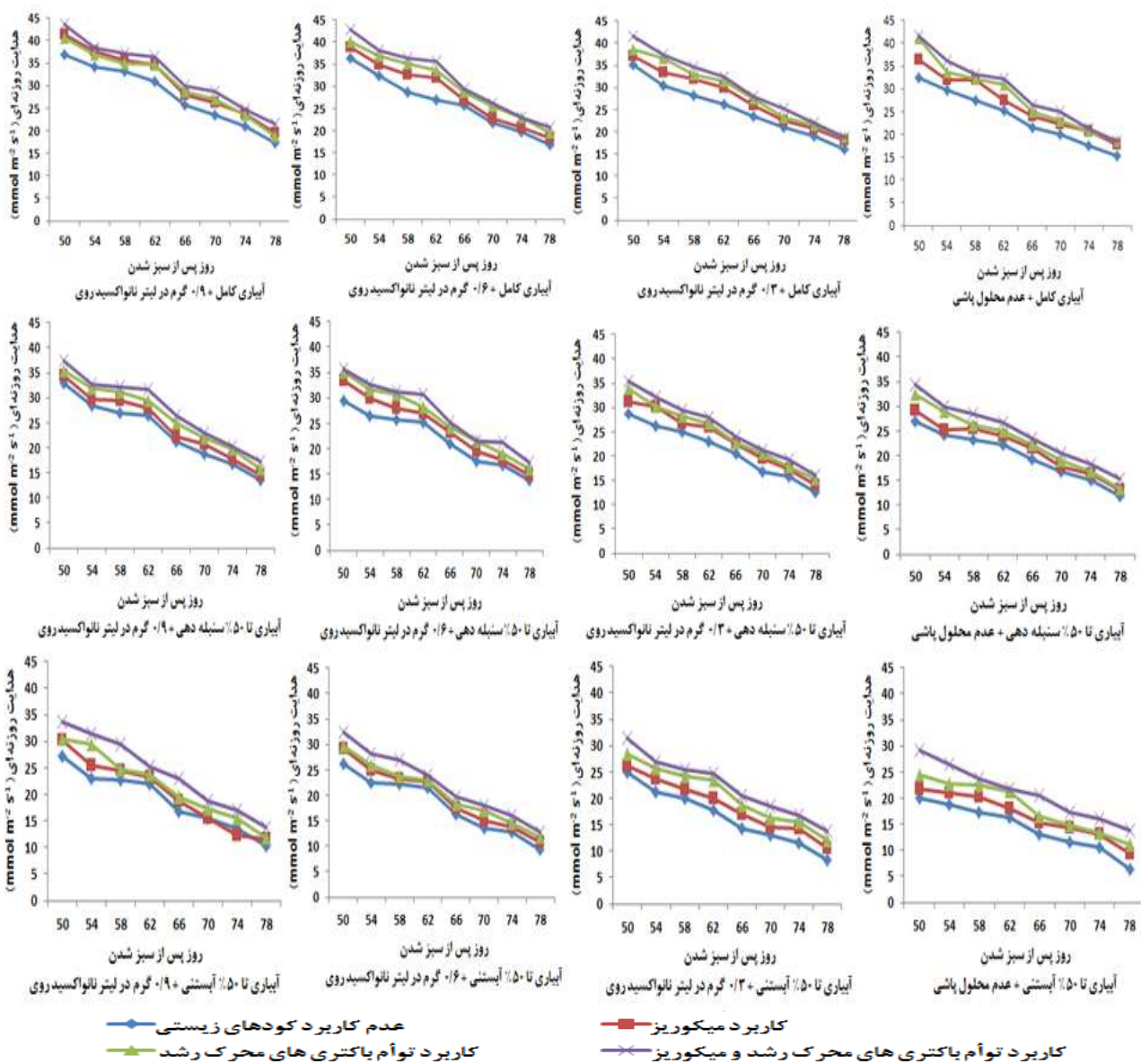
گیاه را با از بین بردن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، حل فسفات نامحلول و تولید تنظیم کننده‌های رشد گیاهی بهبود بخشند. بنابراین، Fv/Fm را به وسیله بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه، به ویژه فسفر که عنصر مهمی برای بهبود فتوسنتز است افزایش می‌دهند (Kloepper *et al.*, 1989). Balakrishnan و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که کمبود روی باعث کاهش



شکل ۵- تأثیر قطع آبیاری، کودهای زیستی و نانوآکسید روی بر روند هدایت الکتریکی برگ پرچم تریتیکاله

و کم‌ترین میزان فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) نیز در همین تیمارها به دست آمد (شکل ۵). در این بررسی به نظر می‌رسد علت کاهش Fv/Fm ناشی از وقوع آشفته‌گی در کلروپلاست باشد. کاهش عدد کلروفیل در زمان تنش نیز موید همین موضوع است. زیرا فلورسانس کلروفیل به طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در مرکز واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط داشته و می‌توان از آن به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کارایی فتوستنز استفاده نمود (Maxwell and Johnson, 2000). کاهش در میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها

مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و هم‌چنین پیر شدن برگ‌ها روند نزولی داشت. نتایج نشان داد در اثر محلول‌پاشی نانوآکسید روی و کاربرد میکوریز و باکتری‌های محرک رشد، روند تغییرات عدد کلروفیل متر نوسان کمتری نشان داد. به طوری‌که حداکثر شاخص کلروفیل برگ پرچم (۴۲/۲) در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط آبیاری کامل و حداقل آن (۱۷/۳) در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی و عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به دست آمد (شکل ۶). این در حالی است که بیشترین

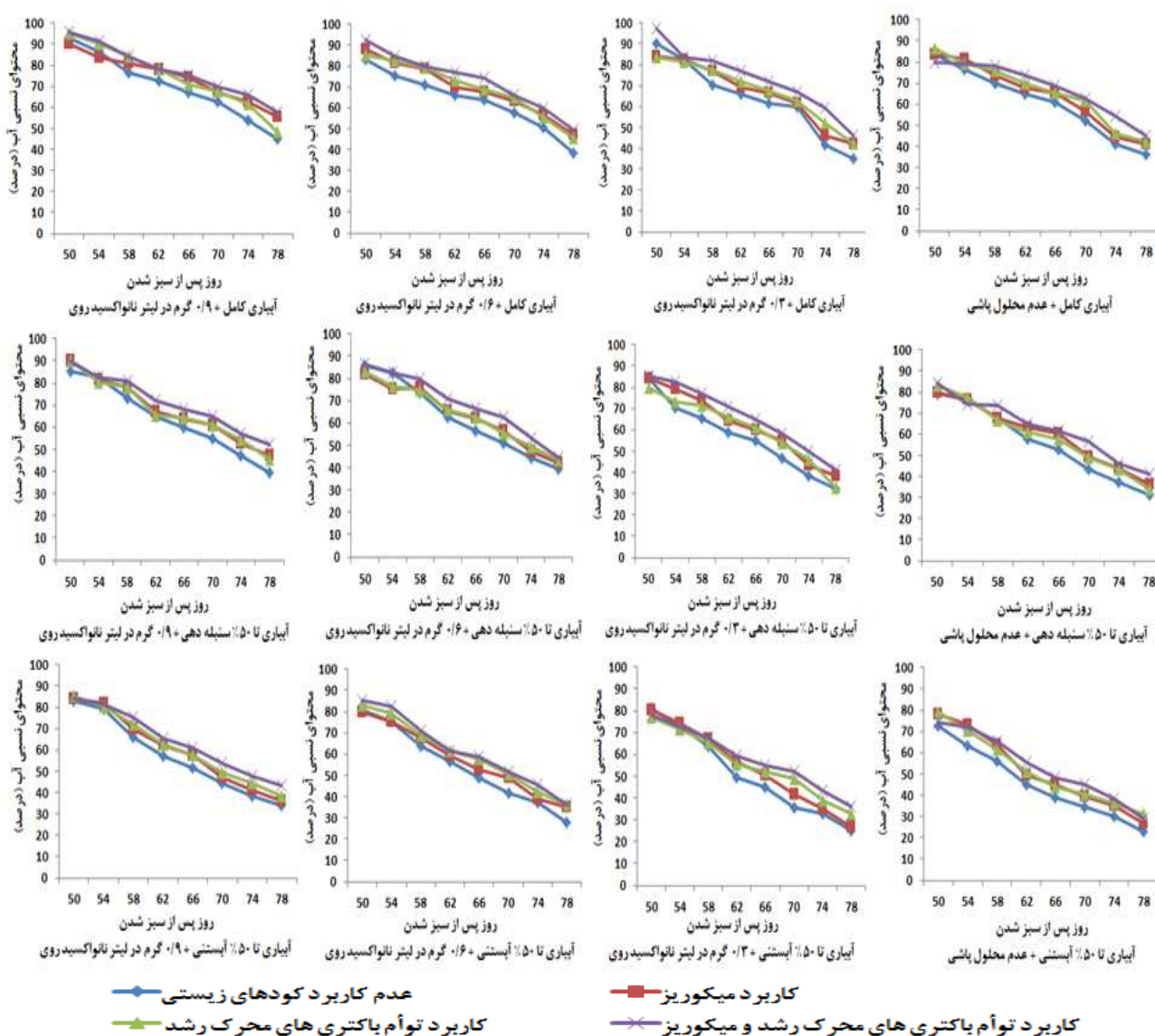


شکل ۶- تأثیر قطع آبیاری، کودهای زیستی و نانوآکسید روی بر روند هدایت روزانه‌ای برگ پرچم تربتی‌کاله

کردند تحت شرایط تنش خشکی در مزرعه، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد میزان کلروفیل را افزایش داد. Sannazzaro و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریز گونه *Glomus intraradices* میزان کلروفیل بالاتری نسبت به گیاهان بدون تلقیح داشتند. Sharma و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند کاربرد روی باعث افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی در برگ‌های کلم شد.

هدایت الکتریکی (EC): بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی در پاسخ به محدودیت آبی در طول فصل رشد نشان

موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگدانه‌ها می‌شوند (Schutz and Fangmier, 2001). اثرات مفید تلقیح باکتری بر افزایش شاخص کلروفیل را می‌توان به در دسترس بودن بالاتر نیتروژن به واسطه تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های محرک رشد نسبت داد. همچنین افزایش سطوح اتیلن توسط تنش شوری و خشکی می‌تواند منجر به پیری برگ گردد، ولی در حضور باکتری‌های محرک رشد حاوی ACC دی آمیناز، ساخت اتیلن به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، بنابراین تجزیه کلروفیل کاهش می‌یابد. Heidari و همکاران (۲۰۱۱) گزارش



شکل ۷- تأثیر قطع آبیاری، کودهای زیستی و نانو اکسید روی بر روند محتوای نسبی آب برگ پرچم تریتیکاله

Quan و همکاران (۲۰۰۴) در ذرت گزارش کردند هدایت الکتریکی در شرایط محدودیت آبی به دلیل تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو بیشتر از شرایط طبیعی بود. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌گردند که در نتیجه آن غشای سلولی پاره شده و باعث افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (Mohammadkhani and Heidari, 2007). Naghashzadeh (۲۰۱۴) بیان داشت کاربرد قارچ میکوریز با افزایش جذب مواد غذایی، توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود وضعیت آبی گیاهان

داد که هدایت الکتریکی برگ پرچم در اثر محلول پاشی نانو اکسید روی و کاربرد میکوریز و باکتری‌های محرک رشد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۷). طوری که ۷۸ روز پس از سبز شدن، بیش‌ترین هدایت الکتریکی (۲۴۹/۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) مربوط به تیمار عدم محلول پاشی با نانو اکسید روی و عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و کم‌ترین آن (۱۳۸/۶ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) از تیمار محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانو اکسید روی و کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد در شرایط آبیاری کامل به دست آمد (شکل ۷).

محتوای نسبی آب برگ پرچم در طول فصل رشد از الگوی نسبتاً یکسانی برای تمامی تیمارها تبعیت کرد. با قطع آبیاری در مرحله آبستنی میزان این کاهش نسبت به قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبیاری کامل بسیار بارزتر بود (شکل ۲). بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ پرچم (۵۷/۶ درصد) در ۷۸ روز پس از سبز شدن در تیمار محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریز در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین آن (۲۲/۹۴ درصد) در تیمار عدم محلول‌پاشی و عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به‌دست آمد (شکل ۲). Silva و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که محتوای نسبی آب در اکثر گیاهان در شرایط محدودیت آبی کاهش می‌یابد. گزارش‌ها نشان داده‌اند که گیاهان کلونیزه شده با میکوریز همواره محتوای نسبی آب بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی دارند. Guo و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که ریشه‌های کلونیزه شده به قارچ میکوریز می‌توانند در حجم وسیعی از خاک پراکنده شوند و این قارچ‌ها به کمک هیف‌های خود باعث بهبود جذب آب و مواد غذایی از خاک می‌شوند. بنابراین وضعیت آبی مناسب گیاه در حالت کاربرد میکوریز می‌تواند در نتیجه فعالیت ریشه‌های کلونیزه شده با میکوریز باشد. Shaharouna و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که تلقیح با باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش ۱۶-۵ درصدی محتوای نسبی آب در شرایط عدم تنش و ۲۹-۲۲ درصدی در شرایط محدودیت آبی نسبت به شاهد شد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر قطع آبیاری، کودهای زیستی، نانوآکسید روی و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر عملکرد دانه و پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴).

عملکرد دانه: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه در آبیاری کامل، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریزی و محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کم‌ترین آن در آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی به دست آمد

موجب ثبات غشای سلولی در گیاه ذرت شد. تلقیح با باکتری‌های محرک رشد موجب کاهش نشت الکترولیت در مقایسه با عدم تلقیح تحت تنش خشکی گردید (Sandhya et al., 2010).

هدایت روزنه‌ای: بررسی روند تغییرات هدایت روزنه‌ای در بین تیمارهای آزمایش نشان داد که هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در طول دوره رشد گیاه با گذشت زمان از روند کاهشی برخوردار بود (شکل ۳). به طوری‌که ۷۸ روز پس از سبز شدن، بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای (۲۱/۶ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کاربرد توأم میکوریز و باکتری‌های محرک رشد در شرایط آبیاری کامل و کم‌ترین آن (۶/۴ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) از تیمار عدم محلول‌پاشی با نانوآکسید روی و عدم کاربرد کودهای زیستی در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی به دست آمد (شکل ۳). نتایج ما با اطلاعات به دست آمده از Angadi و Entz (۲۰۰۲) در مورد کاهش هدایت روزنه‌ای در گیاهانی که در معرض تنش خشکی بودند مطابقت داشت. تحت شرایط محدودیت آبی، بسیاری از گیاهان روزنه‌های خود را می‌بندند تا با کاهش میزان تعرق، موجب محدود کردن آب از دست رفته به محیط شوند. این فرایند به واسطه اسید آبسزیک تولید شده در ریشه انجام می‌شود (Monneveux et al., 2006). Ruiz و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که محدودیت آبی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در تربیتکاله می‌شود. پیش تیمار بذر با باکتری موجب گسترش ریشه و دسترسی بهتر به منابع آبی شده و از این طریق موجب کاهش آبسزیک اسید و افزایش هدایت روزنه‌ای شده است. کاهش هدایت روزنه‌ای، بیان‌کننده تغییر در موقعیت اسمزی ریشه است که به سرعت روابط آبی را در اندام‌های هوایی تحت تاثیر قرار می‌دهد (Rodriguez et al., 2005). Wang و جین (۲۰۰۵) گزارش کردند کمبود روی از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای موجب کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود. روی با نقشی که در حفظ پتاسیم در سلول‌های نگهبان روزنه دارد باعث کنترل هدایت روزنه‌ای می‌شود.

محتوای نسبی آب: تأثیر قطع آبیاری بر روند تغییرات

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر نانو اکسید روی، کودهای زیستی و قطع آبیاری بر عملکرد و پروتئین دانه تریتیکاله

میانگین مربعات		منابع تغییرات	
پروتئین دانه	عملکرد دانه	درجه آزادی	میانگین مربعات
۸/۱ **	۲۸۰۱/۸۳ **	۲	تکرار
۳۴۷/۰۶ **	۴۵۷۱۵۴/۰۶ **	۲	قطع آبیاری
۱۶/۶ **	۱۰۱۵۹۶/۵۹ **	۳	کودهای زیستی
۳۴/۲۶ **	۱۰۹۲۳۸/۶۷ **	۳	نانو اکسید روی
۰/۹۳ **	۶۶۲۲/۰۱ **	۶	قطع آبیاری × کودهای زیستی
۱/۲۳ **	۲۰۱۲/۸۱ **	۶	قطع آبیاری × نانو اکسید روی
۰/۵۱ **	۱۸۱۲/۲۶ **	۹	نانو اکسید روی × کودهای زیستی
۰/۴۱ **	۷۶۷/۶۶ **	۱۸	قطع آبیاری × نانو اکسید روی × کودهای زیستی
۰/۰۹۸	۱۴۲۸/۸۴	۹۴	اشتباه آزمایشی
۲/۳	۱۰/۳۲	-	ضریب تغییرات (%)

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری نانو اکسید روی، کودهای زیستی و قطع آبیاری بر عملکرد و پروتئین دانه تریتیکاله

عملکرد دانه (گرم در مترمربع)				درصد پروتئین دانه				کود زیستی	قطع آبیاری
سطوح روی		سطوح روی		سطوح روی		سطوح روی			
Zn ₃	Zn ₂	Zn ₁	Zn ₀	Zn ₃	Zn ₂	Zn ₁	Zn ₀		
۱۱/۳۴±۰/۴۲	۱۰/۹۶±۰/۵۶	۱۰/۳۱±۰/۳۲	۹/۲۷±۰/۵۶	۴۶۲±۵/۷	۴۰۷/۷±۷	۳۲۶/۱±۷	۳۱۷/۶±۶	F ₀	
۱۱/۷۲±۰/۵۸	۱۱/۱۵±۰/۳۲	۱۰/۶۸±۰/۵۶	۹/۶۵±۰/۳۲	۵۷۰/۸±۷/۶	۴۹۲/۷±۷/۸	۴۸۸/۱±۸	۴۱۰/۴±۷/۱	F ₁	I ₁
۱۱/۵۳±۰/۷۴	۱۱/۲۵±۰/۵۶	۱۱/۰۶±۰/۳۲	۱۰/۳±۰/۱۶	۵۱۲/۳±۸/۵	۴۱۹/۲±۵/۳	۳۹۸/۴±۷/۷	۳۸۸/۵±۶/۱	F ₂	
۱۲/۵۶±۰/۳۲	۱۱/۵۳±۰/۲۸	۱۰/۵۹±۰/۴۳	۱۰/۸۷±۰/۵۸	۶۶۳/۲±۶/۵	۵۷۶/۴±۷/۵	۵۵۸/۶±۸/۴	۴۵۰/۶±۶/۹	F ₃	
۱۳/۲۲±۰/۵۶	۱۳/۱۳±۰/۳۲	۱۲/۲۸±۰/۳۲	۱۱/۴۳±۰/۴۲	۳۷۱/۱±۷/۹	۳۳۴/۶±۸/۸	۲۹۶/۵±۶/۳	۲۵۵±۷/۸	F ₀	
۱۵/۵۷±۰/۵۶	۱۳/۶۹±۰/۳۲	۱۳/۱۳±۰/۳۲	۱۲±۰/۱۶	۴۱۸/۹±۸	۳۸۳/۹±۷/۷	۳۶۳/۲±۷/۱	۳۱۱/۵±۶/۹	F ₁	I ₂
۱۵/۹۵±۰/۵۸	۱۴/۲±۰/۳۲	۱۳/۵±۰/۷۴	۱۲/۰۹±۰/۷۴	۴۱۸/۲±۷/۲	۳۸۰/۶±۷/۸	۳۱۲/۱±۹/۷	۲۹۲±۸/۳	F ₂	
۱۶/۴۲±۰/۱۶	۱۴/۵۴±۰/۳۲	۱۳/۷۹±۰/۵۶	۱۳/۹۷±۰/۳۲	۴۸۷/۱±۸/۴	۴۵۰/۶±۷/۶	۳۹۹/۸±۶/۸	۳۴۴/۵±۷/۶	F ₃	
۱۶/۵۱±۰/۵۸	۱۶/۰۴±۰/۷۴	۱۵/۳۸±۰/۳۲	۱۳/۸۸±۰/۸۶	۲۸۰±۱۰/۳	۲۴۲/۹±۷/۳	۲۱۹±۷/۹	۱۹۸/۴±۶/۲	F ₀	
۱۶/۴۲±۰/۹	۱۶/۵۱±۰/۳۲	۱۶/۰۴±۰/۵۶	۱۵/۰۱±۰/۷	۳۶۳/۷±۷/۱	۲۶۴/۲±۷/۵	۲۵۸±۸/۹	۲۱۹/۱±۸	F ₁	I ₃
۱۷/۵۴±۰/۶۵	۱۷/۰۸±۰/۳۲	۱۶/۴۲±۰/۶۴	۱۵/۰۱±۰/۳۲	۲۹۲±۸/۸	۲۵۸/۱±۷/۶	۲۴۱/۶±۸/۵	۲۱۰±۷/۲	F ₂	
۱۸/۳±۰/۴۹	۱۷/۶۴±۰/۵۸	۱۷/۰۸±۰/۷	۱۵/۹۵±۰/۳۲	۳۷۲±۸	۳۴۱/۳±۸/۴	۳۲۰/۷±۷/۴	۲۳۹/۴±۹/۱	F ₃	
۳/۷				۱۷/۴				LSD _{0.05}	

مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. ± نشان دهنده انحراف معیار می‌باشد

جدول ۵). بخش از افزایش عملکرد در شرایط آبیاری کامل و کاربرد باکتری‌های محرک رشد و میکوریز را می‌توان به برهم کنش مثبتی که میان آن‌ها وجود دارد نسبت داد. در این راستا

Roesty و همکاران (۲۰۰۶) معتقدند کودهای زیستی از طریق ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آن‌ها، افزایش حفظ سلامتی ریشه در طول دوره رشد در رقابت با پاتوژن‌های

جدول ۵). بخش از افزایش عملکرد در شرایط آبیاری کامل و کاربرد باکتری‌های محرک رشد و میکوریز را می‌توان به برهم کنش مثبتی که میان آن‌ها وجود دارد نسبت داد. در این راستا

خشکی باعث افزایش محتوای پروتئین دانه گندم می‌شود. با تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد میزان پروتئین دانه افزایش یافت. Nieto و Frankenberger (۱۹۹۱) علت این افزایش را به توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، تولید اسیدهای آمینه ضروری در سنتز پروتئین و افزایش سطح سبز مزرعه نسبت دادند. Gillick و همکاران (۲۰۰۱) بهبود درصد پروتئین دانه را در حالت تلقیح بذر با باکتری‌ها به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و فراهمی آن در زمان پر شدن نسبت دادند. ساجدی و رجالی (۱۳۹۰) بیان داشتند که کاربرد قارچ میکوریز و روی باعث افزایش مقدار پروتئین دانه ذرت شد

نتیجه‌گیری

با افزایش محدودیت آبی عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای، عملکرد کوانتومی، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب کاهش و هدایت الکتریکی و پروتئین دانه افزایش یافت. کاربرد کودهای زیستی (میکوریز و باکتری‌های محرک رشد) و محلول پاشی با نانوآکسید روی در مقایسه با عدم کاربرد و عدم محلول پاشی منجر به بهبود عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای، عملکرد کوانتومی، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، هدایت الکتریکی و پروتئین دانه گردید. نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبیاری به ترتیب باعث کاهش ۲۲ و ۴۲ درصدی عملکرد شده و استفاده توأم از کودهای زیستی و نانوآکسید روی به ترتیب ۵۲ و ۵۳ درصد از این کاهش عملکرد را جبران کرده‌اند. به نظر می‌رسد کاربرد توأم میکوریز با باکتری‌های محرک رشد و محلول پاشی با نانوآکسید روی با تعدیل اثرات محدودیت آبی می‌تواند در بهبود عملکرد دانه موثر واقع شوند.

ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی موجب رشد گیاه شده و از این طریق به افزایش عملکرد کمک می‌کنند. Okuyama (۱۹۹۰) بیان داشت که تنش رطوبتی عملکرد تریبتیکاله را ۱۳ درصد کاهش داد. Wright و همکاران (۱۹۹۸) اظهار داشتند که کربن اضافی تثبیت شده توسط گیاهان میکوریزی شده به قارچ‌های میکوریز تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها، موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد کمک می‌کنند. Kaya و همکاران (۲۰۰۲) بهبود عملکرد و اجزای عملکرد را به واسطه تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد به نقش موثر این باکتری‌ها در تثبیت نیتروژن و رهاسازی آن در مراحل حساس رشدی نظیر ساقه‌دهی و خوشه‌دهی نسبت دادند. Cakmak (۲۰۰۰) گزارش کرد که محلول پاشی روی باعث افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه می‌شود. Blum (۲۰۱۴) گزارش کرد که کمبود روی باعث کاهش رشد و عملکرد تریبتیکاله می‌شود.

درصد پروتئین: بیش‌ترین درصد پروتئین در آبیاری تا ۵۰ درصد مرحله آبستنی، کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و میکوریزی و محلول پاشی ۰/۹ گرم در لیتر نانوآکسید روی و کم‌ترین درصد پروتئین در آبیاری کامل، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی به دست آمد (جدول ۵). در شرایط خشکی جذب و تثبیت CO₂ بر اثر بسته شدن نسبی روزنه‌ها و یا کاهش درجه گشودگی آن‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین میزان کل مواد پرورده برای پر شدن دانه کاهش می‌یابد، ولی تنش خشکی انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه را کاهش نمی‌دهد و این امر سبب افزایش پروتئین دانه می‌شود (جوادل‌اسلامی و همکاران، ۱۳۸۴). Pierre و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که تنش

منابع

جوادل‌اسلامی، م.، کافی، م.، مجیدی هروان، ا.، نورمحمدی، ق.، درویش، ف. و قاضی‌زاده، ع. (۱۳۸۴) اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر میزان فندهای محلول، درجه لوله شدن و میزان آب نسبی برگ برخی ژنوتیپ‌های ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.). مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۳(۲): ۲۳۰-۲۱۹.

ساجدی، ن. ع. و رجالی، ف. (۱۳۹۰) تأثیر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح میکوریز بر جذب عناصر کم مصرف در ذرت. مجله

پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۵(۲): ۸۳-۹۲.

کمری، ح. (۱۳۹۳) تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشدی و نانوآکسیدروی بر عملکرد، دوره پر شدن دانه و برخی صفات

مورفوفیزیولوژیک تربیتکاله. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۳۹ صفحه.

Alloway, B. J. (2009) Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health* 31(5): 537-548.

Angadi, S. V. and Entz, M. H. (2002) Water relations of standard height and dwarf sunflower cultivars. *Crop Science* 42: 152-159.

Balakrishnan, K., Rajendran, C. and Kulandaivelu, G. (2000) Differential responses of iron, magnesium, and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content, and photosynthetic activity in tropical fruit crops. *Photosynthetica* 38: 477-479.

Blum, A. (2014) The abiotic stress response and adaptation of triticale – A Review. *Cereal Research Communications* 42(3): 359-375.

Cakmak, I. (2000) Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist* 146: 185-205.

Cantale, C., Petrazzuolo, F., Correnti, A., Farneti, A., Felici, F., Latini, A. and Galeffi, P. (2016) *Triticale* for Bioenergy Production. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 8: 609-616.

Chelah, M. K. B., Nordin, M. N. B., Musliania, M. I., Khanif, Y. M. and Jahan, M. S. (2011) Composting increases BRIS soil health and sustains rice production on BRIS soil. *Scienceasia* 37: 291-295.

Davies, F. T., Potter, J. R. and Linderman, R. G. (1993) Drought resistance of mycorrhizal pepper plants independent of leaf P-concentration response in gas exchange and water relations. *Physiologia Plantarum* 87: 45-53.

El-Tayeb, M. A. (2006) Differential response of two *Vicia faba* cultivars to drought: growth, pigments, lipid peroxidation, organic solutes, catalase and peroxidase activity. *Acta Agronomica Hungarica* 54(1): 25-37.

Gianinazzi, S., Schuepp, H., Barea, J. M. and Haselwandter, K. (2001) Mycorrhizal technology in agriculture: from genes to bioproducts. Birkhauser, Basel. ISBN: 376436858. Also in: *Mycorrhiza* 13: 53-54. Lovato, P. Book review.

Gilick, B. E., Penrose, D. and Wenbo, M. (2001) Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advances* 19: 135-138.

Guo, Y., Ni, Y. and Huang, J. (2010) Effects of rhizobium, arbuscular mycorrhiza and lime on nodulation, growth and nutrient uptake of lucerne in acid purplish soil in China. *Tropical Grasslands* 44: 109-114.

Gusain, Y. S., Singh, U. S. and Sharma, A. K. (2015) Bacterial mediated amelioration of drought stress in drought tolerant and susceptible cultivars of rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Biotechnology* 14(9): 764-773.

Heidari, M., Mousavinik, S. M. and Golpayegani, A. (2011) Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) effect on physiological parameters and mineral uptake in basil (*Ocimum basilicum* L.) under water stress. *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science* 6: 6-11.

Kaya, Y. K., Arisoy, R. Z. and Gocmen, A. (2002) Variation in grain yield and quality traits of bread wheat genotypes by zinc fertilization. *Pakistan Journal of Botany* 1: 142-144.

Khalafallah, A. A. and Abo-Ghaliya, H. H. (2008) Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. *Journal of Applied Sciences Research* 4(5): 559-569.

Khalid, A., Arshad, M. and Zahir, Z. A. (2006) Phytohormones: Microbial production and applications, pp. 207-220. In N. Uphoff (ed.), *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. Taylor and Francis/ CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Kloepper, J. W., Lifshitz, R. and Zablutowicz, R. M. (1989) Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology* 7: 39-44.

Liang, Z., Zhang, F., Shao, M. and Zhang, J. (2002) The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 43: 187-192.

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

Ma, B. L., Morison, M. J. and Videng, H. D. (1995) Leaf greenness and photosynthetic rates in Soybean. *Crop Science* 35: 1411-1414.

Maccafferri, M., Sanguineti, M. C., Demontis, A., El-Ahmed, A., Garcia Del Moral, L., Maalouf, F., Nachit, M., Nserallah, N., Ouabbou, H., Rhouma, S., Royo, C., Villegas, D. and Tuberosa, R. (2011) Association mapping in durum wheat grown across a broad range of water regimes. *Journal of Experimental Botany* 62: 409-438.

- Maxwell, K. and Johnson, G. N. (2000) Chlorophyll fluorescence as a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.
- Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T. and Kimura, K. (2005) Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 53: 205-214.
- Mohammadkhani, N. and Heidari, R. (2007) Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Science* 10(21): 3835-3840.
- Monakhova, O. F. and Chernyadev, I. I. (2002) Protective role of karolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. *Applied Biochemistry and Microbiology* 38(4): 373-380.
- Monneveux, P., Rekika, D., Acevedo, E. and Merah, O. (2006) Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. *Plant Science* 170: 867-872.
- Naghashzadeh, M. R. (2014) Response of relative water content and cell membrane stability to mycorrhizal biofertilizer in Maize. *Electronic Journal of Biology* 10(3): 68-72.
- Nieto, K. F. and Frankenberger, W. T. (1991) Influence of adenine, isopentyl alcohol and *Azotobacter chroococcum* on the vegetative growth of *Zea mays*. *Plant and Soil* 135: 213-221.
- Okuyama, L. A. (1990) Grain yield and yield components of triticale and wheat as a function of water stress. *Informe – de – pesquisa Instituto Agronomico – de –Parana* 14: 53-56.
- Osmond, C. B. (1994) What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In: Baker, N. R. and Bowyer, J. R. (Eds.). *Photoinhibition of photosynthesis from molecular mechanisms to the field*. Scientific Publishers, Lancaster, pp. 1-24.
- Pierre, C. S., Peterson, J., Rossa, A., Ohma, J., Verhoevena, M., Larson, M. and Hoefera, B. (2008) White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. *Journal of Agronomy* 100: 414-420.
- Prakash, M. and Ramachandran, K. (2000) Effects of moisture stress and anti transpirantsion leaf chlorophyll, soluble protein and photosynthetic rate in brinjal plants. *Journal of Agronomy* 184: 153-156.
- Prasad, T. N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T. S. and Sajanlal, P. R. (2012) Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition* 35: 905-927.
- Quan, R., Shang, M., Zhang, H., Zhao, Y. and Zhang J. (2004) Engineering of enhanced glycine betaine synthesis improves drought tolerance in maize. *Plant Biotechnology Journal* 2: 477-486.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. and Vivekanandan, M. (2004) Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
- Roach, T. and Liszkay, A. K. (2014) Regulation of photosynthetic electron transport and photoinhibition. *Current Protein and Peptide Science* 15(4): 351-362.
- Rodriguez, P., Torrecillas, A., Morales, M. A., Ortuno, M. F. and Blanco, M. J. (2005) Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscus maritimus* plants. *Environmental and Experimental Botany* 53: 113-123.
- Roesty, D., Gaur, R. and Johri, B. N. (2006) Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1111-1120.
- Ruiz, M. A., Golberg, A. and Molas, M. L. (2014) Water stress response of Tricepiro and its progenitors Triticale and Trigopiro. *FYTON* 83: 263-274.
- Sandhya, V., Ali, S. K. Z., Grover, M., Reddy, G. and Venkateswaralu, B. (2010) Effect of plant growth promoting *Pseudomonas spp.* on compatible solutes antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation* 62(1): 21-30.
- Sannazzaro, A. I., Alberto, E., Ruiz, O. A. and Menendez, B. (2005) Influence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on the saline stress physiology of Lotus glaber. *Lotus Newsletter* 35: 29-30.
- Sayar, R., Khemira, H., Kameli, A. and Mosbahi, M. (2008) Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Agronomy Research* 6(1): 79-90.
- Schutz, H. and Fangmier, E. (2001) Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution* 114: 187-194.
- Scotnica, J., Matouskova, M., Naus, J., Lazar, D. and Dvorak, L. (2000) Thermo luminescence of fluorescence study of changes in photosystem II: a 100- to 200- ns component between 4.2 and 300 K, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 77: 5889-5893.
- Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R. and Jalilian, J. (2016) Effects of biofertilizers and cycocel on some physiological and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Archives of Agronomy and Soil Science* 4: 1-11.

- Shaharoon, B., Arshad, M., and Zahir, Z. A. (2006) Effect of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase on maize (*Zea mays* L.) growth under axenic conditions and on nodulation in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Letters in Applied Microbiology*, 42(2): 155-159.
- Shahbazi, H., Bihamta, M. R., Taeb, M. and Darvish, F. (2009) Chlorophyll fluorescence attribute inheritance and correlation with terminal drought stress in wheat. *Journal of Agriculture Sciences* 3(10): 53-65.
- Sharma, P. N., Kumar, N. and Bisht, S. S. (1994) Effect of zinc deficiency on chlorophyll content, photosynthesis and water relations of cauliflower plants. *Photosynthetica* 30: 353-359.
- Silva, E. C., Silva, M. F. A., Nogueira, R. J. M. C. and Albuquerque, M. B. (2010) Growth evaluation and water relations of *Erythrina velutina* seedlings in response to drought stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 22(4): 225-233.
- Sperdoui, I. and Moustakas, M. (2012) Spatio-temporal heterogeneity in *Arabidopsis thaliana* leaves under drought stress. *Plant Biology* 14: 118-128.
- Wang, H. and Jin, J. Y. (2005) Photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence parameters and lipid peroxidation of maize leaves as affected by zinc deficiency. *Photosynthetica* 43: 591-596.
- Wright, D. P., Scholes, J. D. and Read, D. J. (1998) Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Trifolium repense* L. *Plant, Cell and Environment* 21: 209-216.