نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۵، شماره ۷۴، مهر و آبان ۱۴۰۵ صفحه: ۱۱۹-۱۴۳
https://doi.org/10.22034/jispp.15.74.119

مقاله پژوهشی

تأثیر میکوریزا، سلنیوم و متانول بر روند تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی جو در رژیم‌های مختلف آبیاری

آیلار دارابی، رئوف سیدشریفی* و فاطمه آقایی
گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول بر روند تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی جو در رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح مختلف آبیاری (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل چکمه‌ای شدن (آبستنی) و سنبله‌دهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی معادل کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس BBCH)، کاربرد میکوریزا در دو سطح (با و بدون کاربرد میکوریزا)، محلول‌پاشی با متانول و سلنیوم در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم، محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی وزنی متانول، محلول‌پاشی توأم سلنیوم و متانول) بودند. نتایج نشان داد که در شرایط قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد آبستنی، کاربرد توأم قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم نسبت به شرایط عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول محتوای قندهای محلول و پرولین (به‌ترتیب ۴۲/۷، ۵۶/۴ درصد) حجم ریشه (۲۶/۱ درصد)، وزن خشک ریشه (۲۳/۴ درصد)، و عملکرد دانه را (۳۲/۵ درصد) در همین سطح از سطوح آبیاری افزایش داد. همچنین در ۱۰۲ روز بعد از کاشت در شرایط قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد آبستنی، کاربرد توأم قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم، شاخص کلروفیل (۲۵/۱ درصد)، محتوای نیتروژن برگ پرچم (۱۹/۱ درصد)، محتوای نسبی آب (۲۲/۱ درصد)، عملکرد کوانتومی (۳۲/۴ درصد)، فلورسانس حداکثر (۳۲/۱ درصد)، فلورسانس متغیر (۷۴/۵ درصد)، فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (۱۰۷ درصد) را، در مقایسه با عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم در همین سطح از سطوح آبیاری، افزایش داد. همچنین کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم در شرایط آبیاری کامل، هدایت الکتریکی (۳۲/۹ درصد)، فلورسانس حداقل (۳۰ درصد)، F_0/Fm یا هدررفت گرمایی در فوتوسیستمII (۴۲/۵ درصد) را نسبت به عدم کاربرد میکوریزا، متانول و سلنیوم تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی کاهش داد. نتایج این بررسی نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم می‌تواند در بهبود عملکرد جو در شرایط محدودیت آبی پیشنهاد شود.

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱، بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۸، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول، رایانامه: raouf_ssharifi@yahoo.com

حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. ۱۴۰۳ ©
این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:
Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

واژه‌های کلیدی: سطوح آبیاری، شاخص کلروفیل، مرحله آبستنی، هدایت الکتریکی

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) چهارمین محصول مهم جهان از نظر سطح زیرکشت بعد از گندم، ذرت و برنج است (FAO, 2021). گیاهی است که علاوه بر تغذیه دام به‌عنوان مالت در صنایع غذایی و آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ghazvini *et al*., 2021). گرچه جو در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی قابلیت کشت را دارد ولی در بسیاری از این مناطق، خشکی به‌عنوان یک عامل مهم و بازدارنده در عملکرد این گیاه محسوب می‌شود (FAO, 2021).

خشکی یکی از شایع‌ترین عوامل غیرزیستی است که رشد و بهره‌وری گیاهان زراعی را در مقیاس جهانی محدود کرده (Bouremani *et al*., 2023) و بر فرایندهای فیزیولوژیکی مهمی نظیر فتوسنتز، تنفس و آسیمیلاسیون مواد غذایی تأثیرگذار است (Si *et al*., 2020). در شرایط کمبود آب، بسته‌شدن روزنه‌ها به منظور ممانعت از اتلاف آب، اولین فرآیندی است که انجام می‌شود و به دنبال آن کاهش تثبیت دی‌اکسید کربن، افزایش دمای کانوپی، کاهش در محتوای آب نسبی برگ‌ها و افزایش در میزان نشت الکترولیت‌های غشای سلولی مشاهده می‌شود (Ghalandari *et al*., 2019). همچنین گزارش شده است محدودیت آبی از طریق بهم زدن وضعیت آبی گیاه، تخریب ساختار غشاء، موجب افزایش هدایت الکتریکی و کاهش شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ پرچم تریتیکاله می‌شود (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۲).

برای تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی، راهبردهای متعددی پیشنهاد شده است و در این راستا کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار یک راه کار مناسب برای بهبود رشد گیاهان در محیط‌های مستعد به خشکی است (Oliveira *et al*., 2022). قارچ‌های میکوریزا با ایجاد رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی، ضمن افزایش جذب آب و عناصر غذایی مانند فسفر، روی و مس، و کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی از جمله خشکی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماریزا، موجب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شود (Liao *et al*., 2021). نریمانی و همکاران (۱۴۰۲) بیان کردند که کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط محدودیت آبی، از طریق کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد.

کاربرد متانول یکی دیگر از راه‌کارهای مناسب برای کاهش پیش‌ماده تولید اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها و طولانی شدن دوره فعال فتوسنتزی گیاه (Nourafcan and Pouyanfar, 2017)، کاهش تنفس نوری و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در گیاهان با مسیر فتوسنتزی سه کربنه در شرایط محدودیت آبی است (Galbally and Kirstine, 2002). گیاهان این ماده را به آسانی متابولیزه کرده و از آن در فتوسنتز برای تولید قند و برخی اسیدهای آمینه استفاده می‌کنند (Nadali *et al*., 2010). متانول طی فعالیت بی‌هوازی بسیاری از گونه‌های باکتری، تولید و میزان اندکی از آن وارد جو می‌شود که پس از چند روز با اکسیژن و نور اکسید، و به آب و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود (Nourafcan and Pouyanfar, 2017). باکتری‌های متیلوتروفیک روی برگ گیاهان در ازای دریافت متانول برگ، پیش‌ماده ساخت برخی تنظیم‌کننده‌های رشد نظیر اکسین و سایتوکنین را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Yurimoto, 2025). برخی پژوهشگران نیز افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، عملکرد کوانتومی و عملکرد دانه را در محلول‌پاشی متانول در شرایط محدودیت ملایم و شدید آبی در گندم گزارش کردند (آقایی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین نوریانی (۱٤۰٤) گزارش کرد که محلول‌پاشی ۳۰٪ متانول می‌تواند مکانیسم‌های فیزیولوژیکی گیاه را فعال نموده و پاسخ عملکردی گیاهان به تنش آبی را، بهبود بخشد.

سلنیوم (Se) نیز یک متالوئید کمیاب رایج است که در بین عناصر مفید برای رشد گیاه طبقه بندی می‌شود (Gudkov *et al*., 2020) و با تأثیر بر بسیاری از صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان، نقش مهمی را ایفا می‌کند (Samynathan *et al*., 2023). همچنین این ماده با افزایش تولید متابولیت‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

ثانویه، اثرات ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی را کاهش و موجب افزایش مقاومت به تنش در گیاهان می‌شود (Samynathan *et al*., 2023). همچنین سلنیوم با تأثیر بر فتوسنتز، بهبود عملکرد کلروپلاست، افزایش بازده فتوسنتزی و عملکرد (El-Badri *et al*., 2022)، نقش مهمی را در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه دارد، زیرا جزء حیاتی آنزیم‌هایی مانند گلوتاتیون پراکسیداز و سلنوپروتئین P است که از ساختارهای سلولی در برابر آسیب اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (Lanza and Dos Reis, 2021). سلنیوم همچنین با تنظیم فعالیت هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین‌ها و اکسین‌ها، بر بهبود رشد و سازگاری به تنش در گیاهان کمک می‌کند (Skrypnik *et al*., 2024). علاوه‌براین، جذب و استفاده از مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش می‌دهد (Singhal *et al*., 2023). سازوکارهای محافظتی سلنیوم در گیاهان در برابر تنش‌ها از طریق تنظیم فعالیت آنزیمی گیاهان و افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی است. این سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش را کاهش می‌دهند. علاوه‌براین، سلنیوم می‌تواند فتوسنتز گیاهان را با افزایش کارایی فتوسیستم، افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش تخریب کلروفیل، بهبود بخشد. سلنیوم با ازیاد طول ریشه و تنظیم وضعیت آبی در گیاهان، به افزایش توان جذب آب از ریشه، کاهش از دست دادن آب از بافت‌ها، تحریک رشد گیاه و ارتقای یکپارچگی سیستم غشایی کمک می‌کند (Li *et al*., 2022; Raza *et al*., 2020). در مطالعه‌ای بر روی گندم مشاهده شد که سلنیوم موجب کاهش گونه‌های فعال اکسیژن، بازسازی غشاهای سلولی، بهبود سیستم فتوسنتزی و افزایش ظرفیت جذب آب توسط ریشه شد (Ahmadi and Siosemardeh, 2005).

در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک مواجه‌شدن بخشی از مراحل حساس رشد زایشی جو با محدودیت آبی، امری اجتناب ناپذیر است. در این راستا کاربرد قارچ‌های میکوریزا، سلنیوم و متانول در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی نقش مؤثری دارند. از این‌رو بررسی‌های محدود انجام شده در مورد برهمکنش توأم این عوامل، و پایش شاخص‌های فتوسنتزی، فلورسانس کلروفیل و محتوای نیتروژن برگ در مراحل حساس رشد زایشی جو از مهمترین اهداف اصلی پژوهش حاضر و نوآوری این مطالعه بوده است که تا کنون در پژوهش‌های مشابه، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل چکمه‌ای شدن (آبستنی) و سنبله‌دهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی براساس کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس BBCH)، کاربرد میکوریزا در دو سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد و کاربرد میکوریزا)، محلول‌پاشی با متانول و سلنیوم در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم، محلول‌پاشی ۳۰٪ حجمی وزنی متانول، محلول‌پاشی توأم سلنیوم و متانول) بود. محلول‌پاشی با سلنیوم و متانول نیز در دو مرحله از دوره رشد گیاه (مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. در محلول‌پاشی توأم سلنیوم با متانول فاصله یک هفته‌ایی بین دو محلول‌پاشی در نظر گرفته شد تا ضمن جلوگیری از سمیت احتمالی عناصر غذایی، فرصت کافی برای جذب و استفاده از این عناصر غذایی توسط گیاهان فراهم شود. مقدار میکوریزا مصرفی در این آزمایش از نوع گلوموس موسهآ بود که به میزان ۲۰۰ گرم در هر مترمربع خاک براساس دستورالعمل شرکت زیست‌فناوران توران به کار گرفته شد. پس از تهیه خاک یکدست، ۲۰ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه شده و تمامی گلدان‌ها با قطر ۴۲ سانتی‌متر تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از خاک پر شدند و به این ترتیب حجم یکسانی از خاک درون گلدان‌ها اضافه شد. در این بررسی از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جو رقم "مهتاب" با تراکم ٤٠٠ بذر در مترمربع (معادل ٥٥ عدد بذر در هر گلدان) که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است استفاده شد، که رقمی با تیپ رشد بینابینی، متوسط ارتفاع بوته ٨٨ سانتی‌متر و وزن هزار دانه ٤٤ گرم، دارای مقاومت به خوابیدگی، ریزش دانه و سازگاری وسیع در مناطق سرد کشور است (قزوینی و همکاران، ١٤٠٣). اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی و به استناد سطوح آبیاری انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ٢٠ تا ٣٠ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ١٥-١٦ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی ٧±٦٥ درصد نگهداری شدند.

روند تغییرات صفات فیزیولوژیک (پارامترهای فلورسانس کلروفیل، محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، میزان نیتروژن برگ و هدایت الکتریکی) از ٨٦ روز پس از کاشت (در مرحله پایان گلدهی معادل با کد ٦٩ مقیاس BBCH) شروع و تا ١٠٢ روز پس از کاشت (مرحله اواسط شیری شدن دانه معادل با کد ٧٥ مقیاس BBCH) اندازه‌گیری شد.

پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگارشده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگارشده با تاریکی)، F_v (فلورساس متغیر از برگ سازگارشده با تاریکی) و F_v/F_m (عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگارشده با تاریکی) بود که هر چهار روز یک‌بار توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (Chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 USA) توسط کلیپس‌های مخصوص، اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough *et al*., 2019) و همچنین هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II (F_0/F_m) و فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (F_v/F_0) (Shen, 2015) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502 مینولتای ژاپن)، به فواصل زمانی چهار روز یک بار اندازه‌گیری شد. میزان نیتروژن برگ از همان برگ‌هایی که شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شده بود براساس رابطه زیر محاسبه شد (Scharf *et al*., 2006).

$$N= ۰/۰۱۷۳۳۲ + ۰/۰۰۱٦۳۲۲ \times SPAD$$

برای اندازه‌گیری روند تغییرات درصد محتوای نسبی آب (RWC) برگ پرچم از هر گلدان سه برگ پرچم توسعه‌یافته به طور تصادفی انتخاب و بعد از قراردادن در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از رابطه پیشنهادی Kostopoulou و همکاران (٢٠١٠) مقدار آن محاسبه شد.

$$RWC = (F_W - D_W)/(T_W - D_W) \times 100$$

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، F_W وزن تر، T_W وزن آماس یافته و D_W وزن خشک است.

در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری محتوای نسبی آب، هدایت الکتریکی برگ پرچم در بشرهای محتوی ٢٥ میلی‌لیتر آب‌مقطر به مدت ٢٤ ساعت در دمای اتاق و توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد.

محتوای قندهای محلول به روش Dubios و همکاران (١٩٦٥) و محتوای پرولین از روش Bates و همکاران (١٩٧٣) اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، ریشه‌ها از گلدان‌ها خارج و برای خشک شدن در آون با دمای ٧٠±٥ سیلیسیوس به مدت ٧٢ ساعت قرار داده شد. سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ٠/٠٠١ گرم توزین شد. حجم ریشه‌ها نیز با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی عملکرد پنج بوته برداشت شده، و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش این صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد. تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری، میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول بر شاخص کلروفیل معنی‌داری شد (جدول ١). بررسی روند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر میکوریزا، متانول و سلنیوم بر شاخص کلروفیل و میزان نیتروژن برگ پرچم جو تحت شرایط محدودیت آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه¬برداری شاخص کلروفیل (SPAD) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه¬برداری میزان نیتروژن برگ پرچم (روز پس از کاشت)				
		۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲
تکرار	۲	۱۰۶۵/۴۸**	۱۰۷۲/۶**	۱۰۴۴/۸۱**	۴۶۵/۹۸**	۶۴۱/۲۶**	۰/۰۰۲۸۳**	۰/۰۰۲۸۵**	۰/۰۰۲۷۸**	۰/۰۰۱۲۴**	۰/۰۰۱۷**
I	۲	۳۳۵/۴۵**	۲۷۷/۹۴**	۲۳۶/۹۸**	۸۲/۷۷**	۱۱۳/۳۶**	۰/۰۰۰۸۹**	۰/۰۰۰۷۴**	۰/۰۰۰۶۳**	۰/۰۰۰۲۲**	۰/۰۰۰۳**
B	۱	۳۴۳/۶۵**	۲۳۶/۵۳**	۲۳۴**	۱۴۵/۹۲**	۱۴۹/۹۳**	۰/۰۰۰۹۱**	۰/۰۰۰۶۳**	۰/۰۰۰۶۲**	۰/۰۰۰۳۸**	۰/۰۰۰۳۹**
F	۳	۸۷/۵**	۶۶/۴۲**	۸۲/۲۲**	۹۷/۰۶**	۶۴/۹۶**	۰/۰۰۰۲۳**	۰/۰۰۰۱۷**	۰/۰۰۰۲۱**	۰/۰۰۰۲۵**	۰/۰۰۰۱۷**
I×B	۲	۱۵/۶۸ns	۷/۱۹ns	۱۴/۸۹ns	۱۶/۰۸*	۳/۳۱ns	۰/۰۰۰۰۴ns	۰/۰۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۰۳ns	۰/۰۰۰۰۴*	۰/۰۰۰۰۰۸ns
I×F	۶	۱۸/۶۲*	۱۲/۷۶*	۸/۸۲ns	۱۹/۱۷**	۱۳/۶۵**	۰/۰۰۰۰۴*	۰/۰۰۰۰۳*	۰/۰۰۰۰۲ns	۰/۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۳**
B×F	۳	۵۸/۹۸**	۳۳/۷**	۲۱/۶ns	۱/۸۳ns	۵/۲ns	۰/۰۰۰۱۵**	۰/۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۰۵ns	۰/۰۰۰۰۰۴ns	۰/۰۰۰۰۱ns
I×B×F	۶	۳۵/۴۸**	۲۲/۳۳**	۲۹/۶**	۱۶/۲۱**	۱۱/۰۹*	۰/۰۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۰۰۷**	۰/۰۰۰۰۴**	۰/۰۰۰۰۲*
خطا	۴۶	۷/۵۳	۵/۶۳	۸/۱۹	۴/۴۳	۴/۸۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات		۵/۹	۴/۸	۶/۷	۵	۵/۷	۴/۹	۳/۹	۵/۲	۳/۹	۴/۵

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

(I): آبیاری، (B): میکوریزا، (F): محلول‌پاشی

تغییرات شاخص کلروفیل در سطوح مختلف آبیاری نشان داد که این شاخص در تمامی تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشت، به‌طوری‌که مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بود، ولی با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی و پیرشدن برگ‌ها، روند نزولی داشت (جدول ۲). البته در اثر کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول، روند تغییرات شاخص کلروفیل نوسان کمتری نشان داد. تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، حداکثر شاخص کلروفیل (۳۹/۳) در کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول مشاهده شد که از افزایش ۲۵ درصدی نسبت به عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی در همین سطح از سطوح آبیاری (در ۱۰۲ روز پس از کاشت (معادل BBCH ۷۵) برخوردار بود (جدول ۲). به نظر می‌رسد علت کاهش شاخص کلروفیل در شرایط محدودیت آبی می‌تواند ناشی از افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اتیلن باشد که تحریک کننده آنزیم کلروفیلاز بوده و موجب می‌شود کلروفیل بر اثر این آنزیم تجزیه شود (Yaseen *et al.*, 2020).

بخشی از آثار مفید کاربرد میکوریزا بر افزایش شاخص کلروفیل را می‌توان به سهولت دسترسی به نیتروژن و دیگر عناصر غذایی قابل دسترس در گیاه نسبت داد که ضمن تأمین فسفر و نیتروژن برای گیاهان میزبان و افزایش منطقه تخلیه عناصر غذایی به وسیله ریسه‌های میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی، با کمک به جذب آب، موجب بهبود جذب نیتروژن و منیزیم می‌شوند که از عناصر ضروری در ساختار کلروفیل محسوب می‌شوند (Smth and Read, 2008). بخش دیگر از افزایش کلروفیل در شرایط محدودیت آبی به‌واسطه کاربرد قارچ میکوریزا را، می‌توان به افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۰) و عملکرد کوانتومی برگ پرچم (جدول ۶) نسبت داد. در این راستا نریمانی و همکاران (۱۴۰۲) بیان کردند که کاربرد قارچ میکوریزا به‌دلیل افزایش پایداری غشاء، محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی برگ، با جلوگیری از پیری زودرس برگ‌ها، موجب افزایش شاخص کلروفیل برگ تریتیکاله شد. کاربرد سلنیوم و متانول نیز به بهبود محتوای کلروفیل حتی در شرایط محدودیت شدید آبی منجر شد (جدول ۲). افزایش غلظت متانول در بافت‌های گیاهی بر راندمان تبدیل کربن اثر گذاشته و با تحریک ژن پکتین متیلاستراز، سبب دسترسی بیشتر گیاه به کلسیم و افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز می‌گردد (Mousavi *et al.*, 2021). به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش شاخص کلروفیل را می‌توان به اثرات میکوریز، سلنیوم و متانول بر افزایش محتوای پرولین (جدول

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم بر شاخص کلروفیل و میزان نیتروژن برگ پرچم جو تحت شرایط محدودیت آبی

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری شاخص کلروفیل (SPAD) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه‌برداری میزان نیتروژن برگ پرچم (روز پس از کاشت)				
	۸٦	۹۰	۹٤	۹۸	۱۰۲	۸٦	۹۰	۹٤	۹۸	۱۰۲
$I_1\times B_1\times F_1$	٤۹/۱٦$^{f-h}$	٤٦/۸$^{f-h}$	٤۳/٦$^{g-l}$	۳۹/٦۳$^{g-j}$	۳٥/۸$^{g-j}$	۰/۰۹۷$^{f-h}$	۰/۰۹۳$^{f-h}$	۰/۰۸۸$^{g-l}$	۰/۰۸۲$^{g-j}$	۰/۰۷٥$^{g-j}$
$I_1\times B_1\times F_2$	٥۸/۱۳^{ab}	٥٤/٤٦$^{a-c}$	٤٥/۷۳$^{e-j}$	۳۷/۸$^{i-k}$	۳٦/٤٦$^{g-i}$	۰/۱۱۲^{ab}	۰/۱۰٦$^{a-c}$	۰/۰۹۱$^{e-j}$	۰/۰۷۹$^{i-k}$	۰/۰۷٦$^{g-i}$
$I_1\times B_1\times F_3$	٤۷/٤۳$^{h-j}$	٤٦/٥۳$^{g-i}$	٤۸/٦٦$^{a-e}$	٤۳/۸۳$^{b-e}$	٤۰/۳$^{a-e}$	۰/۰۹٤$^{h-j}$	۰/۰۹۳$^{g-i}$	۰/۰۹٦$^{a-e}$	۰/۰۸۸$^{b-e}$	۰/۰۸۳$^{a-e}$
$I_1\times B_1\times F_4$	٥۹/۸٦^{a}	٥٦/۲^{a}	٥۲/۸^{ab}	٤٦/٥۳^{ab}	٤۲/۹^{ab}	۰/۱۱٥^{a}	۰/۱۰۹^{a}	۰/۱۰۳^{ab}	۰/۰۹۳^{ab}	۰/۰۸۷^{ab}
$I_1\times B_2\times F_1$	٥٥/٥۳$^{a-d}$	٥۱/۹$^{b-e}$	٤۸/۰۳$^{c-g}$	٤٤/٥$^{b-d}$	٤۱$^{a-d}$	۰/۱۰۷$^{a-d}$	۰/۱۰۲$^{b-e}$	۰/۰۹٥$^{c-g}$	۰/۰۸۹$^{b-d}$	۰/۰۸٤$^{a-d}$
$I_1\times B_2\times F_2$	٥۷/٦$^{a-c}$	٥۳/۹٦$^{a-d}$	٥۲/٥۳$^{a-c}$	٤٥/۲$^{a-d}$	٤۰/۳۳$^{a-e}$	۰/۱۱۱$^{a-c}$	۰/۱۰٥$^{a-d}$	۰/۱۰۳$^{a-c}$	۰/۰۹۱$^{a-d}$	۰/۰۸۳$^{a-e}$
$I_1\times B_2\times F_3$	٥۹/۰۳^{a}	٥٥/٤٦^{ab}	٥۲/۳$^{a-d}$	٤٦/۸۳^{ab}	٤۲/۸۳^{ab}	۰/۱۱۳^{a}	۰/۱۰۷^{ab}	۰/۱۰۲$^{a-d}$	۰/۰۹۳^{ab}	۰/۰۸۷^{ab}
$I_1\times B_2\times F_4$	٥۹/۹۳^{a}	٥٦/٤۳^{a}	٥۳/۳^{a}	٤۸/٦^{a}	٤۳/٥^{a}	۰/۱۱٥^{a}	۰/۱۰۹^{a}	۰/۱۰٤^{a}	۰/۰۹٦^{a}	۰/۰۸۸^{a}
$I_2\times B_1\times F_1$	٤٤/۲٦^{ij}	٤۲/۷٦^{ij}	٤۰/۰۳^{kl}	۳٦/٦۳^{jk}	۳۲/٦٦^{jk}	۰/۰۸۹^{ij}	۰/۰۸۷^{ij}	۰/۰۸۲^{kl}	۰/۰۷۷^{jk}	۰/۰۷^{jk}
$I_2\times B_1\times F_2$	٤۹/۷$^{e-h}$	٤۷/۱٦$^{f-h}$	٤٤/۷٦$^{E-j}$	٤۰$^{f-j}$	۳٤/۸٦$^{h-k}$	۰/۰۹۸$^{e-h}$	۰/۰۹٤$^{f-h}$	۰/۰۹$^{e-j}$	۰/۰۸۲$^{f-j}$	۰/۰۷٤$^{h-k}$
$I_2\times B_1\times F_3$	٥۰/٤$^{e-h}$	٤۷/۸٦$^{f-h}$	٤٥/٥٦$^{e-j}$	۳۹$^{h-k}$	۳٦/٤٦$^{g-i}$	۰/۰۹۹$^{e-h}$	۰/۰۹٥$^{f-h}$	۰/۰۹۱$^{e-j}$	۰/۰۸$^{h-k}$	۰/۰۷٦$^{g-i}$
$I_2\times B_1\times F_4$	٤۹$^{f-h}$	٤٦/٦٦$^{g-i}$	٤۳/۸۳$^{f-k}$	٤۳/۸۳$^{b-e}$	۳۸/۲٦$^{c-h}$	۰/۰۹۷$^{f-h}$	۰/۰۹۳$^{g-i}$	۰/۰۸۸$^{f-k}$	۰/۰۸۸$^{b-e}$	۰/۰۷۹$^{c-h}$
$I_2\times B_2\times F_1$	٥۳/۹۳$^{b-e}$	٥۰/۲٦$^{d-g}$	٤۸/٤٦$^{b-f}$	۳۹/٥$^{g-j}$	۳٦/٦$^{f-i}$	۰/۱۰٥$^{b-e}$	۰/۰۹۹$^{d-g}$	۰/۰۹٦$^{b-f}$	۰/۰۸۱$^{g-j}$	۰/۰۷۷$^{f-i}$
$I_2\times B_2\times F_2$	٥۲/٤۳$^{d-g}$	٤۹/٥٦$^{e-g}$	٤٥/۸٦$^{e-i}$	٤۲/۸٦$^{c-g}$	۳۹/۱٦$^{c-g}$	۰/۱۰۲$^{d-g}$	۰/۰۹۸$^{e-g}$	۰/۰۹۲$^{e-i}$	۰/۰۸۷$^{c-g}$	۰/۰۸۱$^{c-g}$
$I_2\times B_2\times F_3$	٥۳/٤٦$^{c-f}$	٥۰/۰٦$^{d-g}$	٤۸/۸$^{a-e}$	٤۳/٤۳$^{b-f}$	۳۹/۰۳$^{c-g}$	۰/۱۰٤$^{c-f}$	۰/۰۹۹$^{d-g}$	۰/۰۹٦$^{a-e}$	۰/۰۸۸$^{b-f}$	۰/۰۸۱$^{c-g}$
$I_2\times B_2\times F_4$	٥۷/٤٦$^{a-c}$	٥۳/۷٦$^{a-d}$	٥۱/۲٦$^{a-d}$	٤٦/۱۳$^{a-c}$	٤۱/٦$^{a-c}$	۰/۱۱۱$^{a-c}$	۰/۱۰٥$^{a-d}$	۰/۱۰۱$^{a-d}$	۰/۰۹۲$^{a-c}$	۰/۰۸٥$^{a-c}$
$I_3\times B_1\times F_1$	٤۳/۲^{j}	٤۱/۸۳^{j}	۳۸/۹^{l}	۳٥/٦۳^{k}	۳۱/٤^{k}	۰/۰۸۷^{j}	۰/۰۸٥^{j}	۰/۰۸^{l}	۰/۰۷٥^{k}	۰/۰٦۸^{k}
$I_3\times B_1\times F_2$	٥۲/۳٦$^{d-g}$	٤۸/٦٦$^{e-h}$	٤۷/٦٦$^{d-h}$	٤٤/۸۳$^{b-d}$	٤۰/۱$^{a-e}$	۰/۱۰۲$^{d-g}$	۰/۰۹٦$^{e-h}$	۰/۰۹٥$^{d-h}$	۰/۰۹$^{b-d}$	۰/۰۸۲$^{a-f}$
$I_3\times B_1\times F_3$	٤۸/۷٦$^{g-i}$	٤٦/۳٦$^{g-i}$	٤۳/۲$^{h-l}$	٤۱$^{E-i}$	۳٥/۱$^{h-j}$	۰/۰۹٦$^{g-i}$	۰/۰۹۳$^{g-i}$	۰/۰۸۷$^{h-l}$	۰/۰۸٤$^{e-i}$	۰/۰۷٤$^{h-j}$
$I_3\times B_1\times F_4$	٤۳/۸۳^{j}	٤۱/۸^{j}	۳۹/۸^{kl}	۳۸/٥٦$^{h-k}$	۳٤$^{i-k}$	۰/۰۸۸^{j}	۰/۰۸٥^{j}	۰/۰۸۲^{kl}	۰/۰۸$^{h-k}$	۰/۰۷۲$^{i-k}$
$I_3\times B_2\times F_1$	٤۷/۳$^{h-j}$	٤٥$^{h-j}$	٤۱/۰٦$^{j-l}$	۳۸/۱$^{i-k}$	۳٤/۹۳$^{i-k}$	۰/۰۹٤$^{h-j}$	۰/۰۹$^{h-j}$	۰/۰۸٤^{jl}	۰/۰۷۹$^{i-k}$	۰/۰۷٤$^{h-k}$
$I_3\times B_2\times F_2$	٤۷/۱۳$^{h-j}$	٤٥/٥۳$^{h-j}$	٤۲/۱۳$^{i-l}$	٤۰/٤٦$^{e-i}$	۳٦/۸۳$^{e-i}$	۰/۰۹٤$^{h-j}$	۰/۰۹۱$^{h-j}$	۰/۰۸٦$^{i-l}$	۰/۰۸۳$^{e-i}$	۰/۰۷۷$^{e-i}$
$I_3\times B_2\times F_3$	٥۰/٦٦$^{e-h}$	٤۸/۰۳$^{e-h}$	٤٥/۳$^{e-j}$	٤۱/۹٦$^{d-h}$	۳۷/۸۳$^{d-h}$	۰/۱$^{e-h}$	۰/۰۹٥$^{e-h}$	۰/۰۹۱$^{e-j}$	۰/۰۸٥$^{d-h}$	۰/۰۷۹$^{d-h}$
$I_3\times B_2\times F_4$	٥٤/۰٦$^{b-e}$	٥۰/٦۳$^{c-f}$	٤۸/۷٦$^{a-e}$	٤۳/۸٦$^{b-e}$	۳۹/۳$^{b-g}$	۰/۱۰٥$^{b-e}$	۰/۰۹۹$^{c-f}$	۰/۰۹٦$^{a-e}$	۰/۰۸۸$^{b-e}$	۰/۰۸۱$^{b-g}$
LSD	٤/٥	۳/۹	٤/۷	۳/٤	۳/٦	۰/۰۰۷	۰/۰۰٦	۰/۰۰۷	۰/۰۰٥	۰/۰۰٥

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B_1، B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی متانول، محلول‌پاشی سلنیوم و محلول‌پاشی توأم متانول و سلنیوم. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

۱۲) نسبت داد زیرا پرولین علاوه بر نقش فیزیولوژیک مهمی که از نظر جذب رادیکال‌های آزاد و مهار گونه‌های فعال اکسیژن دارد (Abdelaal *et al.*, 2024)، می‌تواند موجب کاهش پتانسیل اسمزی سلول شده و از طریق تنظیم اسمزی، به بالاتر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

نگه‌داشتن محتوای نسبی آب (جدول ۱۰)، تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی و بهبود شاخص کلروفیل کمک نماید. در این راستا محققان اظهار داشتند که محلول‌پاشی سلنیوم از طریق افزایش محتوای نسبی آب و بهبود عملکرد کوانتومی، موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ می‌شود (Semida *et al*., 2023).

میزان نیتروژن برگ: تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری، میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول بر میزان نیتروژن برگ پرچم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که تغییرات محتوای نیتروژن برگ پرچم در تمامی تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشت (جدول ۲)، به‌طوری‌که مقدار آن در مراحل اول نمونه‌برداری بالا بوده و سپس تا انتهای فصل رشد به‌دلیل نزدیک‌شدن به مرحله رسیدگی، کاهش کلروفیل و پیرشدن برگ‌ها روند نزولی داشت (جدول ۲). در ۱۰۲ روز پس از کاشت، کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، موجب افزایش ۱۹/۱ درصدی میزان نیتروژن برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول در همین سطح از سطوح آبیاری شد (جدول ۲). Sotiropoulos و همکاران (۲۰۰۶) کاهش تجمع نیتروژن در گیاهان تحت تنش‌های محیطی را، به کاهش متابولیسم نیتروژن در اثر کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز برگ و کاهش مصرف آب به دلیل کاهش جذب آب توسط گیاه نسبت دادند. در رابطه با تأثیر تیمارهای قارچی به نظر می‌رسد این قارچ‌ها تأثیر عمیقی بر فیزیولوژی ریشه گیاه گذاشته و موجب فعال ساختن گلوتأمین سنتتاز، آرژیناز و اوره‌آز شده و از این طریق غلظت نیتروژن را در گیاهان میزبان افزایش می‌دهند (Bago *et al*., 2001). آرژیناز و اوره‌آز، از آنزیم‌های کلیدی در انتقال نیتروژن از میسلیوم به داخل ریشه گیاه میزبان طی فرایند همزیستی هستند. نیتروژن توسط میسلیوم‌های خارجی به فرم نیترات یا آمونیوم جذب و به‌وسیله گلوتامین سنتتاز به ترکیبات آلی تبدیل می‌شود (Bago *et al*., 2001). همچنین به‌نظر می‌رسد کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی اندام‌های هوایی گیاه با متانول و سلنیوم از طریق کاهش اثرات مخرب ناشی از تنش بر کلروپلاست (Pan *et al*., 2020)، موجب افزایش شاخص نیتروژن (جدول ۲) و شاخص کلروفیل (جدول ۲) برگ جو شده است. از آنجایی که محققان اظهار داشته‌اند محلول‌پاشی متانول می‌تواند موجب افزایش ۵۰ درصدی فعالیت نیترات ردوکتاز شود (Ivanova *et al*., 2001). از این‌رو بخشی از افزایش میزان نیتروژن برگ با محلول‌پاشی متانول را، می‌توان به افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز و آسیمیلاسیون نیتروژن نسبت داد (Ivanova *et al*., 2001). همچنین سلنیوم به‌دلیل نقشی که در متابولیسم نیتروژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیسم نیتروژن مانند نیترات ردوکتاز در گیاه دارد، از این‌رو کاربرد سلنیوم می‌تواند به افزایش سنتز پروتئین و میزان نیتروژن گیاه منجر شود (Ardebili *et al*., 2015). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش محتوای نیتروژن در اندام‌های هوایی گیاهان با کاربرد سلنیوم توسط دیگر محققان گزارش شده است (Zheng *et al*., 2022).

مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداقل، حداکثر، متغیر و عملکرد کوانتومی): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری، میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول بر عملکرد کوانتومی، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداقل در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳ و ٤). محدودیت آبی موجب کاهش عملکرد کوانتومی، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و افزایش فلورسانس حداقل شد. درحالی‌که کاربرد توأم قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول به بهبود پارامترهای فلورسانس در شرایط تنش خشکی منجر شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد ۱۰۲ روز پس از کاشت (BBCH ۷۵)، بیش‌ترین عملکرد کوانتومی (۰/۷۵۵)، فلورسانس حداکثر (٦٥٩/٦٧) و فلورسانس متغیر (٤٩٨/٦٧) و همچنین کم‌ترین میزان فلورسانس حداقل (١٦١) در شرایط آبیاری کامل از کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی توأم سلنیوم و متانول حاصل شد (جدول ۵ و ٦). در واقع کاربرد میکوریزا و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم بر فلورسانس حداکثر و حداقل برگ پرچم جو تحت شرایط محدودیت آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه¬برداری فلورسانس حداکثر (Fm) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه¬برداری فلورسانس حداقل (F0) (روز پس از کاشت)				
		۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲
تکرار	۲	۷۶۴۵/۰۱**	۶۹۷۶/۵۴**	۳۶۱۰۸/۸۴**	۴۴۳۱۵/۷۲**	۱۹۶۴۴/۴۳**	۳۵۲۲/۶۸**	۲۴۲۳/۴۳**	۱۸۲۰/۰۹**	۱۹۸۹/۵۴**	۱۷۹۴/۱۸**
I	۲	۱۰۸۸۸۳/۸۴**	۸۱۶۶۵/۲۹**	۳۹۹۹۶/۰۵**	۳۴۳۹۶/۶۸**	۲۵۲۳۰/۰۱**	۱۳۷۳/۳۴**	۱۱۳۵/۱۸**	۱۲۴۷/۷۲**	۱۴۸۶/۲۹**	۱۳۸۹/۰۱**
B	۱	۸۴۵۲۹/۰۱**	۹۲۴۵۰**	۱۰۹۰۴۴/۵**	۵۶۰۰۰/۸۸**	۵۵۶۱۱/۱۲**	۱۶۰۵/۵۵**	۲۴۵۰**	۳۵۰۰/۰۵**	۲۲۲۲/۲۲**	۲۸۱۲/۵**
F	۳	۳۸۰۸۴/۰۵**	۳۵۳۷۰/۱۶**	۳۲۶۹۶/۰۳**	۲۸۸۶۴/۸۳**	۱۹۳۸۶/۴۵**	۱۲۴۳/۴۶**	۹۵۱/۳۱**	۹۵۴/۳۸**	۹۸۰/۳۸**	۱۰۵۰/۸۱**
I×B	۲	۵۸۲/۹۳^{ns}	۱۹۹۹/۱۲^{ns}	۵۸۶۹/۵*	۴۰۹۶/۲۶^{ns}	۱۷۰۸/۸۷^{ns}	۵/۵۹^{ns}	۵۶/۶۲^{ns}	۱۵۱/۰۵^{ns}	۲۰۹/۶۸*	۷۹/۶۲^{ns}
I×F	۶	۳۱۰۸/۱^{ns}	۲۰۳۳/۱۸^{ns}	۴۱۷۶/۱۴*	۱۴۲۳/۶۸^{ns}	۲۰۵۳/۴۵^{ns}	۱۰۲/۹۷^{ns}	۸۳/۹۹^{ns}	۱۳۳/۹۴*	۸۷/۹^{ns}	۱۰۱/۷۱^{ns}
B×F	۳	۱۹۵۵/۷۵^{ns}	۲۹۵۲/۴۸^{ns}	۲۷۸۸/۱۶^{ns}	۱۵۷۲/۷^{ns}	۳۴۵۸/۳۱*	۸۸/۰۷^{ns}	۱۰۳/۹۲^{ns}	۱۱۶/۶۱^{ns}	۱۵۱/۱۴^{ns}	۱۷۲/۵^{ns}
I×B×F	۶	۴۴۹۹/۷۸*	۹۸۹۷/۶**	۱۲۲۸۰/۷۷**	۹۱۱۵/۹۶**	۶۴۴۱/۵**	۲۰۰/۶۷*	۲۱۲/۳۲*	۳۳۴/۶۱**	۲۷۵/۶۶**	۳۳۳/۴**
خطا	۴۶	۱۶۷۰/۵	۱۲۴۷/۱۹	۱۷۴۹/۹۳	۱۵۲۶/۸۶	۱۲۹۱/۵۷	۸۵/۸۹	۷۹/۰۲	۵۳/۴۴	۶۱/۳۵	۶۷/۳۲
ضریب تغییرات		۶/۴	۵/۷	۷/۳	۶/۶	۶/۴	۵/۴	۵/۱	۴/۶	۴/۳	۴/۴

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

(I): آبیاری، (B): میکوریزا، (F): محلول‌پاشی

محلول‌پاشی سلنیوم و متانول موجب افزایش به‌ترتیب۴۳/۲، ۴۸/۳ و ۱۱۱ درصدی عملکرد کوانتومی، فلورسانس حداکثر و فلورسانس متغیر و کاهش ۳۰ درصدی فلورسانس حداقل نسبت به عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول در شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۵ و ۶). به نظر می‌رسد کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی منجر به بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه شده است. فتوسیستم II به تنش‌های محیطی بسیار حساس بوده و تنش خشکی موجب آسیب به این مرکز می‌شود. به‌عبارتی کاهش مقادیر F_v/F_m آسیب جدی به PSII و تغییرات احتمالی در فتوسنتز گیاهان در معرض تنش را نشان می‌دهد (Seyed Hajizadeh *et al*., 2023). فلورسانس اولیه نشان‌دهنده سطحی از فلورسانس است که پذیرنده کوئینونآ (QA) در بالاترین شرایط اکسیداسیونی قرار دارد (مرکز فتوسیستم II باز است). در حقیقت هر چه مقدار F_0 کمتر باشد، نشان از مطلوبیت جریان فعالیت فتوسنتزی است و در این شرایط تثبیت کربن با انتقال الکترون با سرعت بیشتری در جریان است. درحالی‌که مقادیر F_0 بالاتر، بیانگر 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 است (Sadeghi-Shoae *et al*., 2014). بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (F_v/F_m، F_m و F_v) به‌واسطه کاربرد قارچ میکوریزا را می‌توان به کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۱۰)، افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۰) و محتوای کلروفیل برگ (جدول ۲) نسبت داد. نتایج این بررسی با گزارش‌های نریمانی و همکاران (۱۴۰۲) مبنی بر اینکه کاربرد میکوریزا در شرایط محدودیت آبی از طریق افزایش دسترسی به عناصر غذایی، بهبود شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی، موجب افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ تریتیکاله شد، همخوانی دارد. همچنین نریمانی و همکاران (۱۴۰۳) بیان کردند که کاربرد قارچ میکوریزا به دلیل بهبود جذب نیتروژن، موجب افزایش محتوای قندهای محلول و پرولین می‌شود که از طریق تنظیم پتانسیل اسمزی و افزایش محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی برگ را افزایش می‌دهد. محلول‌پاشی متانول نیز موجب بهبود عملکرد کوانتومی و اجزای فلورسانس کلروفیل شد که نشان‌دهنده تأثیر متانول در افزایش مقاومت گیاه جو به خشکی است. به نظر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ٤- مقایسه میانگین تأثیر میکوریزا، متانول و سلنیوم بر فلورسانس حداکثر و حداقل برگ پرچم جو تحت شرایط محدودیت آبی

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری فلورسانس حداکثر برگ پرچم (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه‌برداری فلورسانس حداقل برگ پرچم (روز پس از کاشت)				
	۸٦	۹۰	۹٤	۹۸	۱۰۲	۸٦	۹۰	۹٤	۹۸	۱۰۲
$I_1\times B_1\times F_1$	٥٦٨/٦$^{h-k}$	٥٤٠/٦$^{i-l}$	٥١٤$^{f-i}$	٥٢٧$^{i-k}$	٤٩٥/٦^{gh}	١٨١$^{a-c}$	١٨٥/٣$^{a-d}$	١٨٨/٦^{bc}	١٩٣/٦$^{a-d}$	١٩٨$^{a-c}$
$I_1\times B_1\times F_2$	٦٦٣/٦$^{c-f}$	٥٩٧$^{g-i}$	٥٣٥/٦$^{e-i}$	٦٠٨$^{c-h}$	٥٢٢/٣$^{e-g}$	١٧٢/٦$^{c-f}$	١٧٥/٣$^{c-i}$	١٨٥/٣$^{b-d}$	١٧٨/٦$^{e-j}$	١٩١/٣$^{b-e}$
$I_1\times B_1\times F_3$	٧٣٦^{ab}	٧١٤/٦$^{a-c}$	٦٢٥/٦$^{b-d}$	٥٥٩/٦$^{g-j}$	٥٩٥/٦^{bc}	١٥٤/٦^{gh}	١٦٩/٦$^{e-j}$	١٦٩$^{e-g}$	١٨٣/٦$^{c-h}$	١٧٦$^{f-h}$
$I_1\times B_1\times F_4$	٦٦٨/٣$^{b-d}$	٦٥٩/٦$^{c-f}$	٦٢٨/٦$^{b-d}$	٦٢٣/٦$^{b-g}$	٥٧٩$^{b-e}$	١٦٥/٣$^{d-g}$	١٦٦/٦$^{f-k}$	١٧٠/٣$^{e-g}$	١٧٤$^{f-k}$	١٧٧/٦$^{f-h}$
$I_1\times B_2\times F_1$	٧١٧/٦$^{a-c}$	٦٩٥/٦$^{a-e}$	٦٦٠^{bc}	٦٢٣/٦$^{b-g}$	٦٠٧$^{a-c}$	١٥٧$^{f-h}$	١٦٠^{jk}	١٦٣/٦$^{f-h}$	١٦٩/٣$^{i-l}$	١٧٣$^{g-i}$
$I_1\times B_2\times F_2$	٧٤٠/٣^{ab}	٧٢٦/٣^{ab}	٦٦٧^{bc}	٦٦٣$^{a-c}$	٥٩٥/٦^{bc}	١٦٨$^{c-g}$	١٦٤/٣$^{h-k}$	١٦٣/٦$^{f-h}$	١٦٤/٦^{kl}	١٧٥/٣^{gh}
$I_1\times B_2\times F_3$	٧١٩/٦$^{a-c}$	٧٠٢$^{a-d}$	٦٧٩^{ab}	٦٧٦^{ab}	٦١٩/٦$^{a-c}$	١٥٧$^{f-h}$	١٥٩/٦^{jk}	١٦١^{gh}	١٦٦/٣$^{j-l}$	١٧٠$^{g-i}$
$I_1\times B_2\times F_4$	٧٦٩/٦^{a}	٧٥٣/٦^{a}	٧٣٧/٣^{a}	٦٩٠/٦^{a}	٦٥٩/٦^{a}	١٤٩^{h}	١٥٢/٣^{k}	١٥٣^{h}	١٥٨^{l}	١٦١^{i}
$I_2\times B_1\times F_1$	٥١٩/٣$^{j-l}$	٥١٠/٣٣^{lm}	٤٨٧^{hi}	٤٩٦/٦٧$^{j-l}$	٤٧٥^{gh}	١٨٩^{ab}	١٩١^{ab}	١٩٤^{ab}	١٩٨/٦^{ab}	٢٠٣/٣^{ab}
$I_2\times B_1\times F_2$	٦١٠/٣$^{e-h}$	٦٤٦/٣$^{d-g}$	٦٢٧$^{b-d}$	٦٢٤$^{b-f}$	٥٧٦/٣$^{b-e}$	١٧٢/٦$^{c-e}$	١٧٤/٦$^{d-i}$	١٧٠/٣$^{e-g}$	١٧٣/٦$^{f-k}$	١٧٩/٦$^{e-h}$
$I_2\times B_1\times F_3$	٥٧٩$^{g-j}$	٥٥٩/٦$^{h-l}$	٥٤٧$^{e-h}$	٥٤٩$^{h-k}$	٥٢٢/٣$^{e-g}$	١٧٩/٦$^{a-d}$	١٨١$^{b-f}$	١٨٢/٦$^{b-d}$	١٨٦$^{b-f}$	١٩١/٦$^{b-e}$
$I_2\times B_1\times F_4$	٦٧٧/٦$^{b-d}$	٦٧١$^{b-e}$	٦٥٠/٣^{bc}	٦٤٥$^{a-d}$	٥٩٤/٦^{bc}	١٦٣/٣$^{e-h}$	١٦٤/٣$^{h-k}$	١٦٦^{fg}	١٧١$^{h-k}$	١٧٥^{gh}
$I_2\times B_2\times F_1$	٦٣٩$^{d-g}$	٦٤١$^{e-g}$	٥٩٩/٣$^{c-e}$	٥٧٥/٦$^{e-i}$	٥٦٣/٣$^{c-f}$	١٧٣$^{c-e}$	١٦٩/٣$^{e-j}$	١٧٤/٣$^{d-f}$	١٨٠/٦$^{e-i}$	١٨٣/٣$^{d-g}$
$I_2\times B_2\times F_2$	٦٣٢$^{d-h}$	٥٧٣/٦$^{h-k}$	٥٦٣/٣$^{d-g}$	٥٦٩$^{f-i}$	٥٣٢/٦$^{d-g}$	١٧٩/٣$^{a-d}$	١٧٩/٣$^{b-g}$	١٨٠/٣$^{c-e}$	١٨٤/٣$^{c-g}$	١٨٩/٣$^{c-f}$
$I_2\times B_2\times F_3$	٦٦٨$^{c-d}$	٦٧٦/٦$^{b-e}$	٦٤٩^{bc}	٦٤٧$^{a-d}$	٥٩٩^{bc}	١٦٣/٦$^{e-h}$	١٦٣/٦$^{i-k}$	١٦٦^{fg}	١٧١$^{h-k}$	١٧٥^{gh}
$I_2\times B_2\times F_4$	٧٢٦/٦$^{a-c}$	٧١٧/٦$^{a-c}$	٦٨٩^{ab}	٦٥١$^{a-d}$	٦٢٧/٦^{ab}	١٥٥/٣$^{f-h}$	١٥٧^{jk}	١٥٩^{gh}	١٦٤/٣^{kl}	١٦٧/٣^{hi}
$I_3\times B_1\times F_1$	٤٨٧/٦^{l}	٤٨٦/٦^{m}	٤٧١/٣^{i}	٤٥٥/٦^{l}	٤٤٤/٦^{h}	١٩٤^{a}	١٩٦/٦^{a}	٢٠١^{a}	٢٠٤/٦^{a}	٢٠٩/٣^{a}
$I_3\times B_1\times F_2$	٥٢٧/٣$^{i-l}$	٥١٧/٣$^{k-m}$	٤٩٢/٦^{hi}	٤٩٥^{kl}	٤٧٥^{gh}	١٨٨/٣^{ab}	١٨٩/٣$^{a-c}$	١٩٤^{ab}	١٩٨/٦^{ab}	٢٠٣/٦^{ab}
$I_3\times B_1\times F_3$	٥٠٩/٦^{kl}	٥٢٤$^{j-m}$	٥٦٨$^{d-f}$	٦١٧/٣$^{b-g}$	٥٦١/٣$^{c-f}$	١٧٤/٣$^{b-e}$	١٧١/٣$^{d-j}$	١٧٩/٣$^{c-e}$	١٧٣$^{g-k}$	١٨٣/٣$^{d-g}$
$I_3\times B_1\times F_4$	٦١٢/٣$^{d-h}$	٥٦٥/٦$^{h-l}$	٥١٦/٣$^{f-i}$	٥١٦$^{i-l}$	٤٨٨/٦^{gh}	١٧٤/٣$^{b-e}$	١٨٣$^{a-e}$	١٩٠/٦$^{a-c}$	١٩٦$^{a-c}$	٢٠٠/٦$^{a-c}$
$I_3\times B_2\times F_1$	٥١٣$^{j-l}$	٥١٣/٣^{lm}	٤٩٨/٦$^{g-i}$	٥١٢$^{i-l}$	٤٨٧/٣^{gh}	١٩٠^{a}	١٩٠/٣^{ab}	١٩١$^{a-c}$	١٩٥/٦$^{a-c}$	٢٠٠/٣$^{a-c}$
$I_3\times B_2\times F_2$	٥٩٩/٦$^{f-h}$	٦٠٦/٣$^{f-h}$	٦٨٩^{ab}	٥٩٨/٦$^{d-h}$	٦٠٤$^{a-c}$	١٦٧/٣$^{c-g}$	١٦٧/٦$^{f-j}$	١٥٩^{gh}	١٨١/٦$^{d-i}$	١٧٤$^{g-i}$
$I_3\times B_2\times F_3$	٥٩٠/٦$^{g-i}$	٥٨١/٦$^{h-j}$	٥٣٥/٣$^{e-i}$	٥٤٥/٣$^{h-k}$	٥١٤^{fg}	١٧٠$^{c-f}$	١٧٨/٦$^{b-h}$	١٨٤/٣$^{b-d}$	١٨٨/٦$^{b-e}$	١٩٤$^{b-d}$
$I_3\times B_2\times F_4$	٦٦٦$^{c-f}$	٦٦٥$^{c-e}$	٦٣٠/٦$^{b-d}$	٦٣٤/٣$^{a-e}$	٥٨٧/٦$^{b-d}$	١٦٤$^{e-h}$	١٦٦/٦$^{g-k}$	١٦٨/٦$^{e-g}$	١٧٣/٦$^{f-k}$	١٧٧$^{f-h}$
LSD	٦٧/١	٥٨/٠٤	٦٨/٧٥	٦٤/٢٢	٥٩/٠٦	١٥/٢٣	١٤/٦١	١٢/٠١	١٢/٨٧	١٣/٤٨

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B_1، B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی متانول، محلول‌پاشی سلنیوم و محلول‌پاشی توأم متانول و سلنیوم. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

می‌رسد بخشی از افزایش عملکرد کوانتومی می‌تواند به نقش متانول مصرفی در افزایش حفاظت نوری گیاه نسبت داده شود. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Hossinzadeh *et al*., 2014). دراثر محلول‌پاشی متانول، فلورسانس کلروفیل می‌تواند به‌طور مثبت تحت تأثیر افزایش فتوسنتز و در نتیجه تحریک فتوسیستم II قرار گیرد و تحت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم بر فلورسانس متغیر و عملکرد کوانتومی برگ پرچم جو تحت شرایط محدودیت آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه¬برداری فلورسانس متغیر (Fv) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه¬برداری عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) (روز پس از کاشت)				
		۸٦	۹۰	۹٤	۹۸	۱۰۲	۸٦	۹۰	۹٤	۹۸	۱۰۲
تکرار	۲	۲۱۲٦۲/۷٦**	۱٤۷۹۰/۵۱**	٤۷۷٦٤/۱۲**	۵۰۷۵۱/۳٤**	۲۰۷٦۱/۲۹**	۰/۰۱۷۱**	۰/۰۱۱۷**	۰/۰۲۲**	۰/۰۲۲۲**	۰/۰۱۲۹**
I	۲	۱۳٤٤۸۱/۳٤**	۱۰۲۰۵٦/۷٦**	۵۵۳٦٤/٦٦**	۵۰۱۰۸/۸٤**	۳۸٤۵۸/۵**	۰/۰٤۱٤**	۰/۰۳۵۹**	۰/۰۲۹٤**	۰/۰۲۷۷**	۰/۰۲۹۳**
B	۱	۱۰۹٤۳٤/۰۱**	۱۲۵۰۰۰**	۱۵۱٦۱٦/۸۸**	۸۰۵۳٤/۲۲**	۸۳٤۳٦/۱۲**	۰/۰۳۹۹**	۰/۰۵۰۹**	۰/۰۷۳۳**	۰/۰٤۹۱**	۰/۰٦۲۳**
F	۳	۵۲۲٤۸/۱۲**	٤۷۸٤۰/٤۸**	٤٤۷۸۸/٦۱**	٤۰٤۵۳/۵۱**	۲۹٤٦۲/٤۵**	۰/۰۲۲۵**	۰/۰۲۰۲**	۰/۰۲۳٦**	۰/۰۲۳۹**	۰/۰۲۲٤**
I×B	۲	۵۸۵/۲٦^{ns}	۲٦۳۹/٦۲^{ns}	۷۸۱۲/۰۵*	٦۰۷۳/۰۹^{ns}	۲۵۲۳/۵^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰٤^{ns}	۰/۰۰۳۲^{ns}	۰/۰۰۲٤^{ns}	۰/۰۰۱۵^{ns}
I×F	٦	۳۷۹۱/۸٤^{ns}	۲۳۹٦/۲٤^{ns}	۵۷۸٦/٦٦*	۲۲۱۰/۲۵^{ns}	۳۰٦٤/۰۵^{ns}	۰/۰۰۱۸*	۰/۰۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۲۳^{ns}	۰/۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۰۲۲^{ns}
B×F	۳	۲۸۱٦/۸۲^{ns}	٤۱۰۸/۵۵^{ns}	٤۰۳۸/۲۵^{ns}	۲٦۱۹/۹٦^{ns}	۵۱۷۵/۳۱*	۰/۰۰۱٤^{ns}	۰/۰۰۲۳*	۰/۰۰۲۵^{ns}	۰/۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۰٤۳*
I×B×F	٦	٦۲۱۱/۹۱**	۱۲۱۰۹/۲۹**	۱٦٦٦۲/٤۲**	۱۲۵۲۰/۷۲**	۹۷۰۰/٦۸**	۰/۰۰۲۵**	۰/۰۰٤٤**	۰/۰۰۷۹**	۰/۰۰۷۲**	۰/۰۰۷**
خطا	٤٦	۱۹۵٤/۰۵	۱۷۰٤/۸	۲۳۸٦/۲۹	۲۱۰۸/۲۸	۱۹۳۵/۸۵	۰/۰۰۰٦	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۲
ضریب تغییرات		۹/٦	۹/۲	۱۱/٦	۱۱/۲	۱۱/۸	۳/۵	۳/۷	٤/٦	٤/۹	۵/٤

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

(I): آبیاری، (B): میکوریزا، (F): محلول‌پاشی

چنین شرایطی به‌علت تغییرات در محیط سلولی ناشی از متانول، حداکثر بازده کوانتومی مراکز واکنش فتوسیستم II افزایش خواهد یافت (Mousavi *et al*., 2021). بخشی از بهبود عملکرد کوانتومی و اجزای فلورسانس در گیاهان تحت تنش آبی احتمالاً می‌تواند بـه علـت بهبـود مـدیریت آب گیاهان در تیمار با سلنیوم باشد. به بیانی دیگر به دلیل نقش سلنیوم در توانایی تنظیم وضعیت آب گیاه در شرایط تنش خشکی از جمله افزایش محتوای نسبی آب، موجب می‌شود تا اثرات ناشی از تنش آبی به‌واسطه سلنیوم بهبود یابد (چراغ و همکاران، ۱۳۹۳).

هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II (F_0/F_m): این صفت تحت تأثیر سطوح آبیاری، کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم و همچنین برهم‌کنش توأم این عوامل در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تمامی ترکیبات تیماری با گذشت زمان، میزان هدررفت گرمایی گیرنده‌های فوتوسیستم II افزایش یافت و بیشترین این افزایش در شرایط محدودیت شدید آبی و عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش به‌دست آمد (جدول ۸). بخشی از افزایش میزان هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II در شرایط قطع آبیاری می‌تواند ناشی از اثر این نوع تنش در افزایش فلورسانس حداقل (جدول ۵) و کاهش فلورسانس حداکثر (جدول ۵) باشد درحالی‌که کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش (اعم از میکوریزا، محلول‌پاشی متانول و سلنیوم) به‌صورت انفرادی و توأم به‌دلیل تعدیل بخشی از اثرات ناشی از تنش آبی، منجر به کاهش فلورسانس حداقل (جدول ۵) و افزایش فلورسانس حداکثر (جدول ۵) شده و تحت چنین شرایطی میزان هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II به نحو قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. به عنوان مثال در مراحل انتهایی نمونه‌برداری یا ۱۰۲ روز پس از کاشت (۷۵ BBCH)، عدم کاربرد قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، موجب افزایش ٤۲/۵ درصدی میزان هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II نسبت به کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول در همین سطح از سطوح آبیاری شد (جدول ۸). محققان دیگر نیز اظهار داشتند که تنش‌های محیطی از طریق آسیب به فتوسیستم II و سایر اجزای زنجیره انتقال الکترون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ٦- مقایسه میانگین تأثیر میکوریزا، متانول و سلنیوم برعملکرد کوانتومی و فلورسانس متغیر برگ پرچم جو تحت شرایط محدودیت آبی

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری فلورسانس متغیر (Fv) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه‌برداری عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) (روز پس از کاشت)				
	۸٦	۹۰	۹٤	۹۸	۱۰۲	۸٦	۹۰	۹٤	۹۸	۱۰۲
$I_1\times B_1\times F_1$	۳۸۷/٦$^{h-j}$	۳۵۵/۳$^{h-l}$	۳۲۵/۳$^{f-i}$	۳۳۳/۳$^{i-k}$	۲۹۷/٦^{gh}	۰/٦۷۹$^{h-j}$	۰/٦۵۷$^{h-k}$	۰/٦۲۹$^{f-h}$	۰/٦۳$^{g-i}$	۰/٦^{gh}
$I_1\times B_1\times F_2$	٤۹۳/۳$^{d-f}$	٤۲۱/٦$^{f-h}$	۳۵۰/۳$^{e-i}$	٤۲۹/۳$^{c-h}$	۳۳۱$^{e-g}$	۰/۷٤۱$^{c-g}$	۰/۷۰٤$^{e-g}$	۰/٦۵۱$^{f-h}$	۰/۷۰۵$^{b-f}$	۰/٦۲٦$^{f-h}$
$I_1\times B_1\times F_3$	۵۸۱/۳^{ab}	۵٤۵$^{a-c}$	٤۵٦/٦$^{b-d}$	۳۷٦$^{g-j}$	٤۱۹/٦^{bc}	۰/۷۸۸^{ab}	۰/۷٦۲$^{a-d}$	۰/۷۲۲$^{b-d}$	۰/۷۱۹$^{f-i}$	۰/۷۰۱$^{a-d}$
$I_1\times B_1\times F_4$	۵۰۳$^{c-f}$	٤۹۳$^{c-e}$	٤۵۸/۳$^{b-d}$	٤٤۹/٦$^{b-g}$	٤۰۱/۳$^{b-e}$	۰/۷٤۷$^{b-g}$	۰/۷٤۱$^{b-e}$	۰/۷۲۷$^{b-d}$	۰/۷۱۷$^{a-e}$	۰/٦۸۸$^{b-e}$
$I_1\times B_2\times F_1$	۵٦۰/٦$^{a-d}$	۵۳۵/٦$^{a-d}$	٤۹٦/۳^{bc}	٤۵٤/۳$^{b-f}$	٤۳٤$^{a-c}$	۰/۷۷۸$^{a-c}$	۰/۷٦۹$^{a-c}$	۰/۷٤۵$^{a-c}$	۰/۷۲۲$^{a-e}$	۰/۷۱۳$^{a-c}$
$I_1\times B_2\times F_2$	۵۷۲/۳$^{a-c}$	۵٦۲^{ab}	۵۰۳/۳^{bc}	٤۹۸/۳$^{a-c}$	٤۲۰/۳^{bc}	۰/۷۷۲$^{a-c}$	۰/۷۷$^{a-c}$	۰/۷۵۳^{ab}	۰/۷۵۱$^{a-c}$	۰/۷۰۱$^{a-d}$
$I_1\times B_2\times F_3$	۵٦۲/٦$^{a-d}$	۵٤۲/۳$^{a-c}$	۵۱۸^{ab}	۵۰۹/٦^{ab}	٤٤۹/٦$^{a-c}$	۰/۷۸$^{a-c}$	۰/۷٦۲^{ab}	۰/۷۷۱$^{a-c}$	۰/۷۵۳^{ab}	۰/۷۲٤$^{a-c}$
$I_1\times B_2\times F_4$	٦۲۰/٦^{a}	٦۰۱/۳^{a}	۵۸٤/۳^{a}	۵۳۲/٦^{a}	٤۹۸/٦^{a}	۰/۸۰۵^{a}	۰/۷۹۷^{a}	۰/۷۹۱^{a}	۰/۷۷^{a}	۰/۷۵۵^{a}
$I_2\times B_1\times F_1$	۳۳۰/۳$^{i-k}$	۳۱۹/۳^{kl}	۲۹۳^{hi}	۲۹۸^{kl}	۲۷۱/٦^{gh}	۰/٦۳۵^{kl}	۰/٦۲۵^{kl}	۰/٦^{hi}	۰/۵۹٦^{ij}	۰/۵۷۱^{hi}
$I_2\times B_1\times F_2$	٤۳۷/٦$^{f-h}$	٤۷۱/٦$^{d-f}$	٤۵٦/٦$^{b-d}$	٤۵۰/۳$^{b-g}$	۳۹٦/٦$^{b-e}$	۰/۷۱٦$^{d-h}$	۰/۷۲۸$^{c-f}$	۰/۷۲۸$^{b-d}$	۰/۷۲$^{a-e}$	۰/٦۸٦$^{b-e}$
$I_2\times B_1\times F_3$	۳۹۹/۳$^{g-i}$	۳۷۸/٦$^{g-k}$	۳٦٤/۳$^{e-h}$	۳٦۳$^{h-k}$	۳۳۰/٦$^{e-g}$	۰/٦۸۵^{hi}	۰/٦۷٦$^{g-i}$	۰/٦٦٦$^{e-g}$	۰/٦۵٦$^{f-h}$	۰/٦۳۱$^{e-g}$
$I_2\times B_1\times F_4$	۵۱٤/۳$^{b-e}$	۵۰٦/٦$^{b-d}$	٤۸٤/۳^{bc}	٤۷٤$^{a-d}$	٤۱۹/٦^{bc}	۰/۷۵۸$^{b-d}$	۰/۷۵٤$^{a-d}$	۰/۷٤٤$^{a-c}$	۰/۷۳۳$^{a-d}$	۰/۷۰٤$^{a-c}$
$I_2\times B_2\times F_1$	٤٦٦$^{e-g}$	٤۷۱/٦$^{d-f}$	٤۲۵$^{c-e}$	۳۹۵$^{e-i}$	۳۸۰$^{c-f}$	۰/۷۲۸$^{d-g}$	۰/۷۳۵$^{c-e}$	۰/٦۹۹$^{c-e}$	۰/٦۸۲$^{d-g}$	۰/٦۷۱$^{c-f}$
$I_2\times B_2\times F_2$	٤۵۲/٦$^{e-h}$	۳۹٤/۳$^{g-j}$	۳۸۳$^{d-g}$	۳۸٤/٦$^{f-j}$	۳٤۳/۳$^{d-g}$	۰/۷۱۱$^{f-h}$	۰/٦۸۷$^{f-h}$	۰/٦۷۸$^{d-f}$	۰/٦۷۵$^{e-g}$	۰/٦٤۳$^{d-g}$
$I_2\times B_2\times F_3$	۵۰٤/۳$^{c-f}$	۵۱۳$^{b-d}$	٤۲٤^{bc}	٤۷٦$^{a-d}$	٤۶۰/۳^{ab}	۰/۷۵٤$^{b-e}$	۰/۷۵۸$^{a-d}$	۰/۷٤۲$^{a-c}$	۰/۷۳۳$^{a-d}$	۰/۷۰۷$^{a-c}$
$I_2\times B_2\times F_4$	۵٦۲/۳$^{a-c}$	۵٦۰/٦$^{a-c}$	۵۳۰^{ab}	٤۸٦/٦$^{a-d}$	٤٦۰/۳^{ab}	۰/۷۸۵^{ab}	۰/۷۸^{ab}	۰/۷٦۸^{ab}	۰/۷٤٤$^{a-c}$	۰/۷۳۳^{ab}
$I_3\times B_1\times F_1$	۲۹۳/٦^{k}	۲۹۰^{l}	۲۷۰/۳^{i}	۲۵۱^{l}	۲۳۵/۳^{h}	۰/٦۰۱^{l}	۰/۵۹۵^{l}	۰/۵۷۲^{i}	۰/۵٤۸^{j}	۰/۵۲۷^{i}
$I_3\times B_1\times F_2$	۳۳۹$^{i-k}$	۳۲۸$^{j-l}$	۲۹۸/٦^{hi}	۲۹٦/۳^{kl}	۲۷۱/۳^{gh}	۰/٦٤۲$^{j-l}$	۰/٦۳۳$^{i-l}$	۰/٦۰۳^{hi}	۰/۵۹۷^{hi}	۰/۵۷^{hi}
$I_3\times B_1\times F_3$	۳۳۵/۳$^{i-k}$	۳۵۲/٦$^{i-l}$	۳۸۸/٦$^{d-f}$	٤٤٤/۳$^{b-g}$	۳۷۸$^{c-f}$	۰/٦۵٦$^{i-k}$	۰/٦۷۳$^{g-j}$	۰/٦۷۸$^{d-f}$	۰/۷۱۹$^{a-e}$	۰/٦٦۸$^{c-f}$
$I_3\times B_1\times F_4$	٤۳۸$^{f-h}$	۳۸۲/٦$^{g-k}$	۳۲۵/٦$^{f-i}$	۳۲۰$^{i-l}$	۲۸۸^{gh}	۰/۷۱٤$^{e-h}$	۰/٦۷$^{g-j}$	۰/٦۱۸$^{g-i}$	۰/٦۱٦^{hi}	۰/۵۸٤$^{g-i}$
$I_3\times B_2\times F_1$	۳۲۳^{jk}	۳۲۳^{kl}	۳۰۷/٦$^{g-i}$	۳۱٦/۳$^{j-l}$	۲۸۷^{gh}	۰/٦۲۹^{kl}	۰/٦۲۹$^{j-l}$	۰/٦۱٦$^{g-i}$	۰/٦۱٤^{hi}	۰/۵۸۷^{gh}
$I_3\times B_2\times F_2$	٤۳۲/۳$^{f-h}$	٤۳۸/٦$^{e-g}$	۵۳۰^{ab}	٤۱۷$^{d-h}$	٤۳۰$^{a-c}$	۰/۷۲$^{d-h}$	۰/۷۲۲$^{d-f}$	۰/۷٦۷^{ab}	۰/٦۹۵$^{c-f}$	۰/۷۱$^{a-c}$
$I_3\times B_2\times F_3$	٤۲۰/٦^{gh}	٤۰۳$^{g-i}$	۳۵۱$^{e-h}$	۳۵٦/٦$^{h-k}$	۳۲۰^{fg}	۰/۷۱^{gh}	۰/٦۸۹$^{f-h}$	۰/٦۵۳$^{e-h}$	۰/٦۵۲$^{f-i}$	۰/٦۲۱$^{f-h}$
$I_3\times B_2\times F_4$	۵۰۲$^{c-f}$	٤۹۹$^{b-e}$	٤٦۲$^{b-d}$	٤٦۰/٦$^{a-e}$	٤۱۰/٦$^{b-d}$	۰/۷۵۳$^{b-f}$	۰/۷٤۹$^{b-d}$	۰/۷۳۱$^{b-d}$	۰/۷۲۵$^{a-e}$	۰/٦۹۸$^{a-d}$
LSD	۷۲/٦۵	٦۷/۸٦	۸۰/۲۸	۷۵/٤٦	۷۲/۳۱	۰/۰٤۲	۰/۰٤٤	۰/۰۵٤	۰/۰۵٦	۰/۰۵۸

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B_1، B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی متانول، محلول‌پاشی سلنیوم و محلول‌پاشی توأم متانول و سلنیوم. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

سبب بازدارندگی یا کاهش شدید انتقال الکترون فتوسنتزی شده و در این حالت سهم بیش‌تری از انرژی نورانی جذب شده، به صورت گرما و فلورسانس هدر خواهد رفت و همین موارد موجب می‌شود تا سهم هدررفت گرمایی در گیرنده‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم بر هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستمII (F_0/F_m) و فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (F_v/F_0) برگ پرچم جو تحت شرایط محدودیت آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه‌برداری بر هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II (F_0/F_m) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه‌برداری بر فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (F_v/F_0) (روز پس از کاشت)				
		۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲
تکرار	۲	۰/۰۱۷۱**	۰/۰۱۱۷**	۰/۰۲۲**	۰/۰۲۲۲**	۰/۰۱۲۹**	۳/۴۰۹**	۱/۹۹۷**	۳/۲۹۳**	۲/۶۳۶**	۱/۱۲**
I	۲	۰/۰۴۱۴**	۰/۰۳۵۹**	۰/۰۲۹۴**	۰/۰۲۷۷**	۰/۰۲۹۳**	۷/۹۹۵**	۵/۶۶۴**	۳/۲۵۸**	۳/۰۸۳**	۲/۲۲۸**
B	۱	۰/۰۳۹۹**	۰/۰۵۰۹**	۰/۰۷۳۳**	۰/۰۴۹۱**	۰/۰۶۲۳**	۶/۷۴۶**	۷/۹۲۴**	۹/۶۰۶**	۴/۶۸**	۴/۴۸۲**
F	۳	۰/۰۲۲۵**	۰/۰۲۰۲**	۰/۰۲۳۶**	۰/۰۲۳۹**	۰/۰۲۲۴**	۳/۴۵**	۳/۰۰۵**	۲/۵۱۶**	۲/۱۷۳**	۱/۶۶۶**
I×B	۲	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۳۲^{ns}	۰/۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۱۵^{ns}	۰/۰۷۸^{ns}	۰/۲۵۷^{ns}	۰/۵۱*	۰/۴۹*	۰/۱۷۹^{ns}
I×F	۶	۰/۰۰۱۸*	۰/۰۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۲۳^{ns}	۰/۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۰۲۲^{ns}	۰/۲۰۵^{ns}	۰/۱۲۵^{ns}	۰/۴۲*	۰/۱۱۹^{ns}	۰/۱۷^{ns}
B×F	۳	۰/۰۰۱۴^{ns}	۰/۰۰۲۳*	۰/۰۰۲۵^{ns}	۰/۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۰۴۳*	۰/۱۹۲^{ns}	۰/۲۱۴^{ns}	۰/۲۷۲^{ns}	۰/۱۹۳^{ns}	۰/۲۶۴^{ns}
I×B×F	۶	۰/۰۰۲۵**	۰/۰۰۴۴**	۰/۰۰۷۹**	۰/۰۰۷۲**	۰/۰۰۷**	۰/۴۴**	۰/۶۴۶**	۱/۰۱**	۰/۶۳۴**	۰/۵۱۸**
خطا	۴۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۳۶	۰/۱۴۴	۰/۱۵۹	۰/۱۲۹	۰/۱۱۸
ضریب تغییرات		۹/۲	۹/۳	۱۰/۸	۱۰/۱	۱۱	۱۳/۳	۱۴/۲	۱۶/۵	۱۵/۷	۱۶/۷

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

(I): آبیاری، (B): میکوریزا، (F): محلول‌پاشی

فتوسیستم II به‌واسطه تنش‌های محیطی افزایش یابد (Shevela *et al*., 2018). به بیانی دیگر، الکترون‌ها در شرایط تنش شدید به دلیل عدم انتقال آن‌ها، در زنجیره انتقال الکترون تجمع پیدا کرده و در ادامه، در فتوسیستم I از طریق واکنش مهلر با اکسیژن ترکیب شده و رادیکال‌های آزادی مانند سوپراکسید و پراکسید هیدروژن تولید می‌کنند و در صورتی‌که این رادیکال‌ها مهار نشوند سبب تنش اکسیداتیو شده و ضمن آسیب به دستگاه فتوسنتزی (Miyake, 2010; Aganchich *et al*., 2009) موجب می‌شوند تا عملکرد کوانتومی (جدول ٦) کاهش یابد.

فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (F_v/F_0): فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب تحت تأثیر اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد و اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری، کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). در تمامی ترکیبات تیماری با گذشت زمان، مقدار این صفت کاهش یافت (جدول ۸). به بیانی دیگر روند تغییرات این صفت با گذشت زمان مشابه روند تغییرات فلورسانس متغیر بود (جدول ٦). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در تمامی ترکیبات تیماری با افزایش محدودیت آبی، فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (F_v/F_0) کاهش و با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش (میکوریز، محلول‌پاشی با متانول و سلنیوم) مقادیر آن افزایش یافت. به نظر می‌رسد بخشی از کاهش مقادیر این صفت در شرایط محدودیت آبی می‌تواند ناشی از اثرات تنش آبی در کاهش فلورسانس متغیر (جدول ٦) و افزایش فلورسانس حداقل (جدول ۵) باشد. ولی کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنشی اعم از میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم به دلیل تأثیری که بر افزایش فلورسانس متغیر (جدول ٦) و کاهش فلورسانس حداقل (جدول ۵) دارند موجب شد تا میزان فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب در شرایط تنش شدید آبی به‌شرط کاربرد هر یک از عوامل تعدیل‌کننده تنشی به صورت انفرادی و یا توأم، از افت کمتری در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در این سطح از سطوح تنش آبی برخوردار باشد (جدول ۸). به‌عنوان مثال در مراحل انتهایی نمونه‌برداری یا ۱۰۲ روز پس از کاشت (BBCH ۷۵)، کاربرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم بر هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II (F_0/F_m) و فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (F_v/F_0) برگ پرچم جو تحت شرایط محدودیت آبی

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری بر هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II (F_0/F_m) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه‌برداری بر فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (F_v/F_0) (روز پس از کاشت)				
	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲
$I_1\times B_1\times F_1$	۰/۳۲$^{c-e}$	۰/۳۴۲$^{b-e}$	۰/۳۷$^{b-d}$	۰/۳۶۹$^{b-d}$	۰/۳۹۹^{bc}	۲/۱۷$^{g-i}$	۱/۹۲$^{j-l}$	۱/۷۳$^{h-j}$	۱/۷۳$^{g-k}$	۱/۵^{hi}
$I_1\times B_1\times F_2$	۰/۲۵۸$^{f-j}$	۰/۲۹۵$^{f-h}$	۰/۳۴۸$^{b-e}$	۰/۲۹۴$^{e-i}$	۰/۳۷۳$^{b-d}$	۲/۸۹^{ef}	۲/۴۲$^{f-j}$	۱/۸۹$^{g-j}$	۲/۴$^{c-f}$	۱/۷۷$^{e-h}$
$I_1\times B_1\times F_3$	۰/۲۱۱^{kl}	۰/۲۳۷$^{i-l}$	۰/۲۷۷$^{f-h}$	۰/۳۴۸$^{b-e}$	۰/۲۹۸$^{f-i}$	۳/۷۸^{ab}	۳/۲۳$^{b-e}$	۲/۷۷$^{b-f}$	۲/۱۵$^{e-i}$	۲/۳۹$^{b-d}$
$I_1\times B_1\times F_4$	۰/۲۲۵۲$^{f-k}$	۰/۲۵۸$^{h-k}$	۰/۲۷۲$^{f-h}$	۰/۲۸۲$^{f-j}$	۰/۳۱۱$^{e-h}$	۳/۱۱$^{c-f}$	۳/۰۳$^{b-f}$	۲/۶۹$^{c-f}$	۲/۵۹$^{b-e}$	۲/۳۱$^{b-e}$
$I_1\times B_2\times F_1$	۰/۲۲۱$^{j-l}$	۰/۲۳$^{j-l}$	۰/۲۵۴$^{g-i}$	۰/۲۷۸$^{f-j}$	۰/۲۸۶$^{g-i}$	۳/۶۲$^{a-d}$	۳/۳۴$^{a-d}$	۳/۱۱$^{b-e}$	۲/۷۵$^{b-d}$	۲/۵۱$^{b-d}$
$I_1\times B_2\times F_2$	۰/۲۲۷$^{j-l}$	۰/۲۲۹$^{j-l}$	۰/۲۴۶^{hi}	۰/۲۴۸$^{h-j}$	۰/۲۹۹$^{f-i}$	۳/۵$^{b-d}$	۳/۵^{ab}	۳/۰۷$^{b-e}$	۳/۰۲^{ab}	۲/۴۴$^{b-d}$
$I_1\times B_2\times F_3$	۰/۲۱۹$^{j-l}$	۰/۲۲۸$^{j-l}$	۰/۲۳۷^{hi}	۰/۲۴۶^{ij}	۰/۲۷۵$^{g-i}$	۳/۶۱$^{a-d}$	۳/۴۱$^{a-c}$	۳/۲۲$^{a-d}$	۳/۰۷^{ab}	۲/۶۵$^{a-c}$
$I_1\times B_2\times F_4$	۰/۹۴^{l}	۰/۲۰۲^{l}	۰/۲۰۸^{i}	۰/۲۲۹^{j}	۰/۲۴۴^{i}	۴/۱۹^{a}	۳/۹۶^{a}	۳/۸۳^{a}	۳/۳۸^{a}	۳/۱^{a}
$I_2\times B_1\times F_1$	۰/۳۶۴^{ab}	۰/۳۷۴^{ab}	۰/۳۹۹^{ab}	۰/۴۰۳^{ab}	۰/۴۲۸^{ab}	۱/۷۶^{ij}	۱/۶۷^{kl}	۱/۵۱^{ij}	۱/۵^{jk}	۱/۳۴^{hi}
$I_2\times B_1\times F_2$	۰/۲۸۳$^{e-i}$	۰/۲۷۱$^{g-j}$	۰/۲۷۱$^{f-h}$	۰/۲۷۹$^{f-j}$	۰/۳۱۳$^{e-h}$	۲/۵۴$^{f-h}$	۲/۷۲$^{d-h}$	۲/۶۸$^{d-f}$	۲/۶$^{b-e}$	۲/۲۲$^{b-f}$
$I_2\times B_1\times F_3$	۰/۳۱۴^{de}	۰/۳۲۳$^{d-f}$	۰/۳۳۳$^{c-e}$	۰/۳۴۳$^{c-e}$	۰/۳۶۸$^{c-e}$	۲/۲۷$^{g-i}$	۲/۰۹$^{i-l}$	۱/۹۹$^{g-j}$	۱/۹۶$^{f-j}$	۱/۷۳$^{f-h}$
$I_2\times B_1\times F_4$	۰/۲۴۲$^{i-k}$	۰/۲۴۵$^{i-l}$	۰/۲۵۵$^{g-i}$	۰/۲۶۶$^{g-j}$	۰/۲۹۵$^{g-i}$	۳/۱۸$^{b-e}$	۳/۱$^{b-e}$	۲/۹۱$^{b-e}$	۲/۷۸$^{b-d}$	۲/۴۱$^{b-d}$
$I_2\times B_2\times F_1$	۰/۲۷۱$^{f-i}$	۰/۲۶۴$^{h-j}$	۰/۳$^{e-g}$	۰/۳۱۷$^{d-g}$	۰/۳۲۸$^{d-g}$	۲/۶۸$^{e-g}$	۲/۸$^{c-g}$	۲/۵۲$^{e-g}$	۲/۲۲$^{d-h}$	۲/۰۷$^{d-g}$
$I_2\times B_2\times F_2$	۰/۲۸۸$^{e-g}$	۰/۳۱۲$^{e-g}$	۰/۳۲۱$^{d-f}$	۰/۳۲۴$^{d-f}$	۰/۳۵۶$^{c-f}$	۲/۵۵^{fg}	۲/۹۸$^{g-k}$	۲/۱۲$^{f-i}$	۲/۰۸$^{e-j}$	۱/۸۲$^{e-h}$
$I_2\times B_2\times F_3$	۰/۲۴۵$^{h-k}$	۰/۲۴۱$^{i-l}$	۰/۲۵۷$^{g-i}$	۰/۲۶۶$^{g-j}$	۰/۲۹۲$^{g-i}$	۳/۰۸$^{d-f}$	۳/۱۳$^{b-e}$	۲/۹۳$^{b-e}$	۲/۸$^{a-d}$	۲/۴۲$^{b-d}$
$I_2\times B_2\times F_4$	۰/۲۱۴^{kl}	۰/۲۱۹^{kl}	۰/۲۳۱^{hi}	۰/۲۵۵$^{h-j}$	۰/۲۶۶^{hi}	۳/۶۹$^{a-c}$	۳/۵۸^{ab}	۳/۳۵$^{a-c}$	۲/۹۸$^{a-c}$	۲/۷۵^{ab}
$I_3\times B_1\times F_1$	۰/۳۹۸^{a}	۰/۴۰۴^{a}	۰/۴۲۷^{a}	۰/۴۵۱^{a}	۰/۴۷۲^{a}	۱/۵۲^{j}	۱/۴۸^{l}	۱/۳۴^{j}	۱/۲۲^{k}	۱/۱۲^{i}
$I_3\times B_1\times F_2$	۰/۳۵۷$^{a-c}$	۰/۳۶۶$^{a-d}$	۰/۳۹۶^{ab}	۰/۴۰۲^{ab}	۰/۴۲۹^{ab}	۱/۸^{ij}	۱/۷۴^{kl}	۱/۵۴$^{h-j}$	۱/۴۹^{jk}	۱/۳۳^{hi}
$I_3\times B_1\times F_3$	۰/۳۴۳$^{b-d}$	۰/۳۲۷$^{c-f}$	۰/۳۲۱$^{d-f}$	۰/۲۸$^{f-j}$	۰/۳۳۱$^{d-g}$	۱/۹۴$^{h-j}$	۲/۰۷$^{i-l}$	۲/۲$^{f-h}$	۲/۵۷$^{b-e}$	۲/۰۹$^{c-g}$
$I_3\times B_1\times F_4$	۰/۲۸۵$^{e-h}$	۰/۳۲۹$^{c-f}$	۰/۳۸۱$^{a-c}$	۰/۳۸۳^{bc}	۰/۴۱۵$^{a-c}$	۲/۵۲$^{f-h}$	۲/۱۴$^{h-k}$	۱/۷۵$^{h-j}$	۱/۶۶$^{h-k}$	۱/۴۳^{hi}
$I_3\times B_2\times F_1$	۰/۳۷^{ab}	۰/۳۷$^{a-c}$	۰/۳۸۳$^{a-c}$	۰/۳۸۵^{bc}	۰/۴۱۲^{bc}	۱/۷^{ij}	۱/۶۹^{kl}	۱/۶۱$^{h-j}$	۱/۶۱$^{i-k}$	۱/۴۴^{hi}
$I_3\times B_2\times F_2$	۰/۲۷۹$^{e-i}$	۰/۲۷۷$^{g-i}$	۰/۲۳۳^{hi}	۰/۳۰۴$^{e-h}$	۰/۲۸۹$^{g-i}$	۲/۶$^{e-g}$	۲/۶۳$^{e-i}$	۳/۳۷^{ab}	۲/۳$^{d-g}$	۲/۴۷$^{b-d}$
$I_3\times B_2\times F_3$	۰/۳۱۴^{ef}	۰/۳۱$^{e-g}$	۰/۳۴۶$^{b-e}$	۰/۳۴۷$^{b-e}$	۰/۳۷۸$^{b-d}$	۲/۵۲$^{f-h}$	۲/۲۹$^{g-k}$	۱/۹۱$^{g-j}$	۱/۸۹$^{f-j}$	۱/۶۵$^{g-i}$
$I_3\times B_2\times F_4$	۰/۲۴۶$^{g-k}$	۰/۲۵$^{i-k}$	۰/۲۶۸$^{f-h}$	۰/۲۷۴$^{f-j}$	۰/۳۰۱$^{f-i}$	۳/۰۶$^{d-f}$	۳/۰۲$^{b-f}$	۲/۷۵$^{b-f}$	۲/۶۵$^{b-e}$	۲/۳۲$^{b-e}$
LSD	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۵۴	۰/۰۵۶	۰/۰۵۸	۰/۶۰۷	۰/۶۲۵	۰/۶۵۵	۰/۵۹۲	۰/۵۶۵

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B_1، B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی متانول، محلول‌پاشی سلنیوم و محلول‌پاشی توأم متانول و سلنیوم. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

توأم قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، از افزایش ۱۰۷ درصدی فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب نسبت به عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول در همین سطح از سطوح آبیاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۹- تجزیه واریانس تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم بر محتوای نسبی آب، هدایت الکتریکی (EC) و عملکرد دانه جو تحت شرایط محدودیت آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه‌برداری بر هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II (F_0/F_m) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه‌برداری بر فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (F_v/F_0) (روز پس از کاشت)				
		۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲
تکرار	۲	۲۶۹/۶۱**	۲۲۱/۰۵**	۱۳۶/۹۲**	۱۰۵/۸**	۱۳۸/۵**	۳۱۳٤/٦۳**	۲۹٦۸/۰۵**	۹۸۲/۸۷**	۱۲۰۲/٤۸**	۱۱٦۹/۲۷**
I	۲	۸۸/۲۲**	۱۳۹/٦٦**	۸٦/۱۸**	۱۰٦/۰۹**	۱۸۹/۵٦**	۱۲۱٤/٦۵**	۱۳۷۹/۲۸**	۱۰۸۲/۹۲**	۱۳۲۲/۰۳**	۷۹۰/٤۵**
B	۱	۱۰٦/۷۷**	۹۳/۸٦**	۱۲۳/۳۵**	۱۷٦/۳**	۱٤۷/٦۷**	۱۱۹۱/۵۳**	۱۲۷۰/۰۸**	۱۱۷۱/۲۸**	۱۷٦٦/۱٦**	۲۳٤۳/۸٤**
F	۳	۱٦۰/۱۱**	۹۷/٦۳**	۸٦/۸٤**	۱۵۵/۱۹**	۸۳/۵٤**	٦۳٦/۵۳**	۳۳۵/۹۳**	۵٦۲/۱۳**	٦٦٦/۰۱**	٤۸۱/٦۵**
I×B	۲	۹/٦۳^{ns}	۱٦/۷۹^{ns}	۵۸/۸۷**	۸/٤۷^{ns}	۲۳/٦٦*	۲۱/٦٤^{ns}	۲۷/٤^{ns}	۷۵/۹۸^{ns}	۸۵/۱۸^{ns}	۲۸۵/٦۱**
I×F	٦	۵۸/۲۲**	۱۲/۱۳^{ns}	۱۰/٦۷^{ns}	۱۲/۳۱*	۹/۷۹^{ns}	۳۰/۰۲^{ns}	٤٤/۵^{ns}	۳٦/۲۷^{ns}	۷٤/٦۵^{ns}	۲٤٤/۷۸**
B×F	۳	۱۱/۸۹^{ns}	۱۸/۳۳^{ns}	۵/۹۷^{ns}	۷/۸^{ns}	۳/۷۹^{ns}	۱۵/۲۹^{ns}	۹۵/۳۷**	۵۵/۸۵^{ns}	۷۷/۹۷^{ns}	۵۲/۹٦^{ns}
I×B×F	٦	۲۳/۵۸*	۲۰/٤۷*	۱۹/۸۸*	۱۹/٤۳**	۲۱/۹۸**	۱۰۱/۲٦**	۷۵/۰٦**	۷۷/۵٦*	۱٦۹/۵**	۸۰/۰۲*
خطا	٤٦	۹/۷۵	۷/۸۱	۸/۹۸	۵/۳۹	٦/٤۸	۱۸/۸۸	۲۰/۸۲	۳۰/۹٤	۳٦/٦٦	۳٤/٦۰
ضریب تغییرات		٤/۸	٤/٦	۵/٤	٤/۳	۵	۵/۲	٤/۸	٤/۸	۵/۱	٤/۳

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

(I): آبیاری، (B): میکوریزا، (F): محلول‌پاشی

برخوردار بود (جدول ۷). نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر اینکه تنش‌های محیطی فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب را کاهش می‌دهند توسط دیگر محققان گزارش شده است (Apostolova *et al*., 2006).

محتوای نسبی آب (RWC): نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی سطوح آبیاری، قارچ میکوریزا، محلول‌پاشی متانول و سلنیوم و اثر ترکیب تیماری این عوامل بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). با افزایش شدت تنش آبی، محتوای نسبی آب کاهش بیشتری را نشان داد (جدول ۱۰) ولی کاربرد توأم قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، منجر به افزایش ۲۲/۱ درصدی محتوای نسبی آب برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم در همین سطح از سطوح آبیاری در ۱۰۲ روز پس از کاشت شد (جدول ۱۰). در شرایط خشکی، افزایش میزان تعرق در مقایسه با جذب آب توسط گیاه، به‌دلیل برهم خوردن تعادل آبی گیاه، منجر کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط محدودیت آبی می‌شود (Saydi *et al*., 2022). همچنین در شرایط محدودیت آبی، کاهش پایداری غشاء سلولی از طریق ایجاد اختلال در کارآیی فتوسیستم II و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن، از دیگر مواردی است که می‌تواند منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ شود (نریمانی و همکاران، ۱٤۰۲). به‌نظر می‌رسد افزایش وزن و حجم ریشه‌های برخوردار از قارچ‌های میکوریزی (جدول ۱۲)، سطح جذب بیشتری را برای گیاهان میزبان فراهم کرده و با کمک به نگهداری آب در اطراف گیاه، موجب افزایش محتوای نسبی آب گیاهان تلقیح شده می‌شود (Izadi *et al*., 2021; Kuznetsov *et al*., 2003). مقایسه میزان محتوای نسبی آب برگ در سطوح مختلف تنش نشان داد که با افزایش شدت تنش، گر چه از محتوای نسبی آب برگ کاسته می‌شود (جدول ۱۰) ولی کاربرد قارچ میکوریزا، موجب تعدیل اثرات تنش و بهبود محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش شد، که با یافته‌های نریمانی و همکاران (۱٤۰۲) مطابقت دارد. به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش محتوای نسبی آب برگ پرچم به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر میکوریزا، متانول و سلنیوم بر محتوای نسبی آب و هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم جو تحت شرایط محدودیت آبی

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری بر هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II (F_0/F_m) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه‌برداری بر فعالیت کمپلکس تجزیه‌کننده آب (F_v/F_0) (روز پس از کاشت)				
	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲	۸۶	۹۰	۹۴	۹۸	۱۰۲
$I_1\times B_1\times F_1$	۶۱/۰۳$^{f-j}$	۵۸/۱۳$^{f-j}$	۵۵/۶۶$^{d-i}$	۵۰/۵۳$^{g-i}$	۴۷/۷۶$^{f-j}$	۹۲/۵$^{a-c}$	۱۰۰/۸$^{b-d}$	۱۲۲/۱۳$^{b-e}$	۱۳۲/۲$^{a-c}$	۱۴۵/۴$^{a-e}$
$I_1\times B_1\times F_2$	۶۳$^{e-i}$	۶۰/۱$^{d-h}$	۵۵/۶۳$^{d-i}$	۵۹/۳۶^{ab}	۴۹/۵۶$^{d-j}$	۸۲/۶۶$^{e-g}$	۹۳/۱۶$^{e-g}$	۱۲۱/۷$^{b-e}$	۱۲۸/۷۶$^{b-e}$	۱۴۹/۶۳^{ab}
$I_1\times B_1\times F_3$	۶۱/۲۳$^{f-j}$	۶۱/۳$^{c-f}$	۶۰/۳۶$^{a-d}$	۴۹/۹$^{g-j}$	۵۲/۳۳$^{b-g}$	۷۱/۹۶$^{i-k}$	۸۰/۸۶$^{j-l}$	۱۰۲/۷^{hi}	۱۰۷/۸۶^{hi}	۱۳۵/۲۶$^{f-j}$
$I_1\times B_1\times F_4$	۷۰/۴۳$^{a-c}$	۶۶/۴۶^{ab}	۵۸$^{c-g}$	۵۱/۷۳$^{f-h}$	۵۶/۴۳^{ab}	۷۴/۷$^{h-j}$	۹۳/۷۳$^{d-g}$	۱۱۱/۱۳$^{f-h}$	۱۱۵/۲۳$^{f-h}$	۱۳۳/۳۶$^{g-j}$
$I_1\times B_2\times F_1$	۶۷/۲۳$^{b-e}$	۶۲/۰۳$^{b-f}$	۵۹/۵$^{b-f}$	۵۶/۲۳$^{b-e}$	۵۴/۱$^{a-d}$	۷۸/۷$^{g-i}$	۷۹/۷۶^{kl}	۱۰۴/۸۳^{hi}	۱۱۱/۵^{gh}	۱۱۸/۵۶^{lm}
$I_1\times B_2\times F_2$	۶۱$^{f-j}$	۶۴/۸$^{a-d}$	۶۴/۱۶^{ab}	۵۷/۲$^{a-e}$	۵۵/۳۳$^{a-c}$	۶۶/۶۳^{k}	۸۴/۸۳$^{h-k}$	۱۰۲/۶۶^{hi}	۱۰۶/۴۶^{hi}	۱۲۸/۶۶$^{h-k}$
$I_1\times B_2\times F_3$	۷۰/۸۳^{ab}	۶۳/۳$^{a-e}$	۶۳/۶۶^{ab}	۵۸/۹۶$^{a-c}$	۵۶/۴^{ab}	۷۲/۱$^{i-k}$	۸۳/۶$^{h-l}$	۱۰۴/۸۳^{hi}	۱۰۸/۶۶^{hi}	۱۲۲/۸۳$^{k-m}$
$I_1\times B_2\times F_4$	۷۲/۸۶^{a}	۶۷/۵۳^{a}	۶۴/۸۳^{a}	۶۰/۸۶^{a}	۵۷/۷۶^{a}	۶۶/۱^{k}	۷۷/۱^{l}	۹۸/۹۳^{i}	۱۰۱/۳۳^{i}	۱۱۶/۱۳^{m}
$I_2\times B_1\times F_1$	۵۷/۳۳^{j}	۵۴/۴^{jk}	۵۲/۴۶^{hi}	۴۶/۶^{jk}	۴۵^{k}	۹۵/۵^{ab}	۱۰۶/۷^{ab}	۱۲۸/۶$^{a-c}$	۱۳۵/۸^{ab}	۱۵۰/۷^{ab}
$I_2\times B_1\times F_2$	۶۴/۳$^{d-h}$	۶۰$^{e-h}$	۵۷/۰۳$^{d-h}$	۵۳/۶۳$^{c-g}$	۴۹/۲$^{e-j}$	۷۹/۸$^{f-h}$	۹۵/۳۳$^{c-g}$	۱۱۶/۸۶$^{e-g}$	۱۱۶/۲۳$^{f-h}$	۱۳۵/۴۳$^{f-j}$
$I_2\times B_1\times F_3$	۶۸/۶۳$^{a-d}$	۵۸/۱$^{f-j}$	۵۷/۱۶$^{d-h}$	۵۰/۱$^{g-j}$	۵۰/۲۶$^{d-i}$	۸۹/۶۳$^{b-e}$	۹۸/۰۶$^{c-e}$	۱۲۱/۴۶$^{b-e}$	۱۲۶/۹۳$^{b-e}$	۱۳۸/۲$^{d-h}$
$I_2\times B_1\times F_4$	۶۶/۰۶$^{b-f}$	۶۰/۲$^{d-g}$	۵۶/۴$^{d-h}$	۵۵/۵$^{c-f}$	۴۹/۵۶$^{d-j}$	۷۶/۵۶$^{g-j}$	۸۸/۹۶$^{f-i}$	۱۱۰^{gh}	۱۱۳/۰۳^{gh}	۱۲۸/۲۳$^{i-l}$
$I_2\times B_2\times F_1$	۶۰/۹۶$^{g-j}$	۶۰/۱$^{d-h}$	۵۹/۹$^{a-e}$	۵۰/۳۳$^{g-j}$	۵۱/۲$^{c-h}$	۸۲/۷۳$^{e-g}$	۹۲/۴۶$^{e-g}$	۱۱۴/۵۶$^{e-g}$	۱۲۰/۲۳$^{d-g}$	۱۳۷/۴۳$^{e-i}$
$I_2\times B_2\times F_2$	۶۵/۴۳$^{c-g}$	۶۱/۱$^{c-f}$	۵۸$^{c-g}$	۵۴/۵$^{d-f}$	۵۳/۹۳$^{a-d}$	۸۶/۴$^{c-f}$	۹۵/۴$^{c-g}$	۱۱۶/۰۶$^{e-g}$	۱۲۵/۱$^{c-f}$	۱۳۷/۲۳$^{e-i}$
$I_2\times B_2\times F_3$	۶۵/۵۳$^{c-g}$	۶۳/۷$^{a-e}$	۶۰/۵$^{a-d}$	۵۵$^{d-f}$	۵۳$^{b-e}$	۷۷/۷۶$^{g-j}$	۸۸/۰۶$^{g-j}$	۱۰۹/۹۳^{gh}	۱۱۳/۱۶^{gh}	۱۲۷/۹۶$^{i-l}$
$I_2\times B_2\times F_4$	۷۰/۰۶$^{a-c}$	۶۵/۳۶$^{a-c}$	۶۲/۹۳^{ab}	۵۸/۱۶$^{a-d}$	۵۵/۰۳$^{a-c}$	۷۰/۶۶^{jk}	۸۲/۱۳$^{i-l}$	۱۰۳/۹^{hi}	۱۰۶/۹۶^{hi}	۱۲۱/۱۶$^{k-m}$
$I_3\times B_1\times F_1$	۵۷/۳۳^{j}	۵۲/۶۶^{k}	۵۰/۶۶^{i}	۴۵/۲^{k}	۴۲/۹^{k}	۹۸/۵^{a}	۱۱۰/۲۳^{a}	۱۳۱/۹۶^{a}	۱۳۹/۶۶^{a}	۱۵۴/۳۶^{a}
$I_3\times B_1\times F_2$	۶۵/۶۶$^{c-g}$	۶۲/۱$^{b-f}$	۶۰/۱$^{a-e}$	۴۹/۴۳$^{h-j}$	۵۲/۹۶$^{b-e}$	۹۴/۵^{ab}	۱۰۶/۵^{ab}	۱۲۷/۴$^{a-d}$	۱۲۹/۶$^{b-d}$	۱۳۹/۹$^{c-g}$
$I_3\times B_1\times F_3$	۵۸/۸^{ij}	۵۹/۵۶$^{e-i}$	۵۵/۰۳$^{e-i}$	۴۷/۹$^{i-k}$	۴۶/۹۳$^{h-k}$	۹۴/۳۳^{ab}	۱۰۲/۸$^{a-c}$	۱۱۹/۴۳$^{d-f}$	۱۳۰/۸۳$^{a-c}$	۱۴۳/۱$^{b-f}$
$I_3\times B_1\times F_4$	۵۹/۵$^{h-j}$	۵۴/۹۶$^{i-k}$	۵۹/۹$^{a-e}$	۵۵/۱۳$^{d-f}$	۴۶/۱۶$^{i-k}$	۸۹/۹۳$^{b-d}$	۱۰۱/۴^{bc}	۱۱۸/۳۶$^{d-g}$	۱۳۲/۹$^{a-c}$	۱۴۷/۸$^{a-d}$
$I_3\times B_2\times F_1$	۵۹/۳$^{h-j}$	۵۶/۳۳$^{g-k}$	۵۳/۲$^{g-i}$	۴۸/۵$^{h-k}$	۴۶/۰۶$^{i-k}$	۹۴/۲۶^{ab}	۱۰۵/۹۶^{ab}	۱۲۹^{ab}	۱۳۳/۵۶$^{a-c}$	۱۴۹/۵۶$^{a-c}$
$I_3\times B_2\times F_2$	۶۷/۳۳$^{b-e}$	۵۵/۴۳$^{h-k}$	۵۴/۷$^{f-i}$	۵۶/۱۳$^{b-e}$	۴۷/۷۳$^{g-j}$	۸۳/۶۶$^{d-g}$	۹۵/۹۳$^{c-f}$	۱۱۹/۷$^{c-f}$	۱۱۹/۲۳$^{e-g}$	۱۲۶/۰۶$^{j-l}$
$I_3\times B_2\times F_3$	۶۴/۰۶$^{d-h}$	۶۱/۶۳$^{c-f}$	۵۷/۵۳$^{d-h}$	۵۳/۵$^{e-g}$	۴۹/۵۶$^{d-j}$	۸۶/۷۳$^{c-f}$	۱۰۱/۱$^{b-d}$	۱۱۹/۴۶$^{c-f}$	۱۲۸/۶۳$^{b-e}$	۱۴۵/۳$^{a-e}$
$I_3\times B_2\times F_4$	۶۶/۶۶$^{b-e}$	۶۲/۴۳$^{b-f}$	۶۰/۵$^{a-d}$	۵۵/۷۳$^{b-e}$	۵۲/۴$^{b-f}$	۷۷/۲$^{g-j}$	۹۰/۹$^{e-h}$	۱۱۱/۰۶$^{f-h}$	۱۱۵/۳۳$^{f-h}$	۱۳۳/۰۳$^{g-j}$
LSD	۵/۰۹	۴/۷۲	۵/۱۹	۳/۸۱	۴/۶۴	۷/۱۴	۷/۴۹	۹/۱۴	۹/۹۵	۹/۶۶

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B_1، B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی متانول، محلول‌پاشی سلنیوم و محلول‌پاشی توأم متانول و سلنیوم. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

واسطه قارچ میکوریزا را می‌توان به افزایش محتوای قندهای محلول و پرولین برگ پرچم (جدول ۱۲) نسبت داد که از طریق کاهش پتانسیل اسمزی سلول و کمک به جذب آب، موجب بالاتر نگه‌داشتن محتوای نسبی آب در گیاهان می‌شود. Han-Wens و همکاران (۲۰۱۰) اظهار داشتند که سلنیوم در غلظت‌های پایین، تقسیم سلولی را در سلول‌های نوک ریشه بهبود بخشیده و متعاقب آن موجب افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه گیاه می‌گردند، و همین امر می‌تواند موجب جذب بیشتر آب توسط گیاهان تحت تیمار با این عنصر شده و در نهایت با افزایش در میزان آب بافت‌های گیاهی، محتوای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

نسبی آب برگ را افزایش دهد. بخشی از افزایش محتوای نسبی آب در محلول‌پاشی با متانول می‌تواند ناشی از تأثیر این ماده به‌عنوان یک تعدیل‌کننده تنش در تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی باشد. به بیانی دیگر متانول می‌تواند به گیاهان کمک کند تا در شرایط کم‌آبی، آب بیشتری را در بافت‌های خود حفظ کنند و از آسیب‌های ناشی از خشکی جلوگیری کنند که با نتایج آقایی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد.

هدایت الکتریکی: تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری، میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول بر هدایت الکتریکی در مراحل مختلف نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). نتایج نشان داد در ۱۰۲ روز پس از کاشت (BBCH ۷۵)، عدم کاربرد قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، موجب افزایش ۱٦ درصدی هدایت الکتریکی نسبت به کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول در همین سطح از سطوح آبیاری شد (جدول ۱۰). حفظ ثبات غشای سلولی در شرایط خشکی یکی از اجزای اصلی مقاومت گیاهان تحت شرایط تنش است. در تنش آبی، آسیب وارده بر غشای سلولی موجب افزایش نفوذپذیری غشا و کاهش توانایی سلول در کنترل ورود و خروج مواد از غشا می‌شود (Eliaspour *et al*., 2020). همچنین محدودیت آبی با ایجاد تنش اکسیداتیو در سطح سلولی و افزایش پراکسیداسیون لیپیدی، موجب کاهش ثبات غشا و افزایش نشت الکترولیت از سلول‌ها می‌شود (El-hady *et al*., 2018). ولی گیاهان برخوردار از قارچ میکوریزا به دلیل افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۰) و کاهش اثرات اکسیداتیو ناشی از محدودیت آبی، به حفظ نفوذپذیری غشاء سلول تحت تنش کمک می‌کنند (نریمانی و همکاران، ۱٤۰۲). گزارش شده است که تحت شرایط محدودیت آبی، کاربرد قارچ میکوریزا از طریق افزایش فراهمی عناصر غذایی، بهبود وضعیت آبی گیاه و عملکرد کوانتومی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، موجب کاهش هدایت الکتریکی برگ تریتیکاله شد (نریمانی و همکاران، ۱٤۰۲). بخش دیگری از کاهش هدایت الکتریکی به‌واسطه کاربرد قارچ میکوریزا را می‌توان به بهبود محتوای پرولین و قندهای محلول (جدول ۱۲) نسبت داد که با کاهش تنش اکسیداتیو ایجادشده توسط محدودیت آبی، موجب کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم شد. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر بهبود هدایت الکتریکی برگ پرچم با کاربرد میکوریزا در تریتیکاله گزارش شده است (نریمانی و همکاران ۱٤۰۳). همچنین به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی متانول و سلنیوم نیز با بهبود محتوای نسبی آب (جدول ۱۰) وپرولین (جدول ۱۲) و تعدیل اثرات مخرب تنش خشکی بر غشای سیتوپلاسمی، موجب کاهش هدایت الکتریکی برگ (جدول ۱۰) شده است. در این راستا آقایی و همکاران (۱۳۹۹) افزایش پایداری غشا را به‌واسطه کاربرد متانول در شرایط تنش خشکی، به بهبود محتوای نسبی آب و شاخص کلروفیل نسبت دادند. شمسایی و همکاران (۱۳۹۹) نیز کاهش نشت الکترولیت با کاربرد سلنیوم تحت شرایط تنش خشکی را گزارش کردند. در واقع سلنیوم در سلول‌های گیاهی با افزایش میزان جذب پتاسیم موجب افزایش پایداری غشا سلولی می‌گردد (Kuznetsov *et al*., 2003).

قندهای محلول و پرولین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری، میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول بر محتوای پرولین و قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۱). با افزایش شدت تنش آبی، محتوای قندهای محلول و پرولین نیز افزایش یافت. روند مشابهی نیز در افزایش این صفات با کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول در تمامی سطوح آبیاری مشاهده شد. کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی موجب افزایش به‌ترتیب ٤۲/۷ و ٥٦/٤ درصدی محتوای قندهای محلول و پرولین نسبت به عدم میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم و متانول تحت شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۱۲). در شرایط تنش پرولین و قندهای محلول به‌عنوان محافظ‌های اسمزی نقش اساسی در محافظت از رنگدانه‌های کلروفیل در برابر تخریب ایفا می‌کنند. پرولین علاوه بر نقش اسمولیت، از طریق جذب رادیکال‌های آزاد و افزایش مقاومت گیاه به تنش (Tawfk *et al*., 2021)، نقش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۱۱- تجزیه واریانس تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم بر اسمولیت‌های سازگار، حجم و وزن ریشه و عملکرد دانه جو تحت شرایط محدودیت آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		پرولین	قند محلول	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	عملکرد دانه
تکرار	۲	۲/۶۰۱**	۸۰۰/۱۶۲**	۰/۱۲۰۳**	۰/۰۰۹**	۰/۳۶۶۲**
I	۲	۱۰/۰۷۶**	۸۲۷/۲۵۲**	۰/۴۷۴۵**	۰/۰۰۸۷**	۰/۴۷۸۱**
B	۱	۰/۲۱^{ns}	۸۹/۴۳*	۰/۸۸۴**	۰/۰۱۴۵**	۰/۴۵۹۲**
F	۳	۰/۲^{ns}	۴۹/۱۰۳^{ns}	۰/۱۳۷۷**	۰/۰۰۲۸**	۰/۱۱۸۷**
I×B	۲	۰/۵۲۶**	۶۶/۲۰۵*	۰/۰۳۷۳*	۰/۰۰۱۳**	۰/۰۳۹۶*
I×F	۶	۲/۸۶۶**	۱۷۵/۲۴۲*	۰/۰۶۹**	۰/۰۰۱۶**	۰/۰۲۸۸*
B×F	۳	۰/۲۷۷*	۹۳/۲۳۸**	۰/۰۴۸**	۰/۰۰۰۹**	۰/۱۹۵۱**
I×B×F	۶	۳/۰۴۱**	۳۹۵/۸۲**	۰/۰۹۱۳**	۰/۰۰۱۲**	۰/۰۳۵۶**
خطا	۴۶	۰/۰۹۹	۱۹/۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۱	۰/۱۰۸
ضریب تغییرات	-	۴/۷	۴/۹	۸/۴	۴/۹	۶/۳

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

(I): آبیاری، (B): میکوریزا، (F): محلول‌پاشی

اصلی را در مهار گونه‌های فعال اکسیژن و تامین انرژی ایفا می‌کند (Abdelaal *et al*., 2024). انباشت قندهای محلول و پرولین در شرایط محدودیت آبی، علاوه بر نقش فیزیولوژیک مهمی که از نظر تأمین انرژی ایفا می‌کند، می‌تواند از طریق کاهش پتانسیل اسمزی سلول و تنظیم اسمزی، موجب بالاتر نگه‌داشتن محتوای آب نسبی در گیاهان شود و به این ترتیب در سازوکار تحمل به محدودیت آبی، نقش مهمی داشته باشد (برزگر و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش محتوای اسمولیت‌های سازگار در شرایط تنش در گندم با محلول‌پاشی سلنیوم توسط دیگر محققان گزارش شده است (Soliman *et al*., 2023).

بخشی از افزایش محتوای قندهای محلول و پرولین برگ پرچم به‌واسطه کاربرد قارچ میکوریزا را، می‌توان به افزایش جذب و بهبود محتوای نیتروژن برگ پرچم (جدول ۲) نسبت داد. به نظر می‌رسد قارچ میکوریزا از طریق گسترش هیف و جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، آهن و روی موجب افزایش کلروفیل (جدول ۲)، تولید قند و بهبود جذب آب شد. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر پژوهشگران مبنی بر افزایش محتوای پرولین با کاربرد میکوریزا تحت شرایط خشکی گزارش شده است (Abdelaal *et al*., 2024).

کاربرد سلنیوم نیز منجر به افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول شد (جدول ۱۲). سلنیوم در شرایط محدودیت آبی از طریق تجمع اسمولیت‌ها (قندهای محلول و پرولین) و تنظیم اسمزی، موجب افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنشی می‌شود. از اثرات مثبت اسمولیت‌ها در شرایط تنش، می‌توان به نقش مثبت اسمولیت‌ها در پایداری غشا و جلوگیری از خشکی فیزیولوژیکی سلول‌های گیاهی نسبت داد (Su *et al*., 2024). سلنیوم در شرایط تنش با افزایش قند محلول و پرولین به تنظیم اسمزی کمک کرده و می‌تواند به‌عنوان القاکننده تنظیم و حفاظت اسمزی در شرایط خشکی عمل کند (Su *et al*., 2024). در این بررسی گیاهان تیمارشده با متانول نیز موجب افزایش تجمع پرولین و محتوای قندهای محلول در برگ‌های پرچم شد. از آن جایی‌که متانول محلول‌پاشی شده بر روی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

جدول ۱۲- مقایسه میانگین تأثیر میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم بر اسمولیت‌های سازگار، حجم و وزن ریشه و عملکرد دانه جو تحت شرایط محدودیت آبی

ترکیب تیماری	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر برگ)	قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	عملکرد دانه (گرم در بوته)
$I_1\times B_1\times F_1$	۵/۲۱^{o}	۷۳/۳۱^{k}	۲/۲۵$^{j-m}$	۰/۳۰۵$^{k-n}$	۱/۶۶۸$^{h-l}$
$I_1\times B_1\times F_2$	۵/۶$^{m-o}$	۷۶/۹۶^{jk}	۲/۲۲$^{j-m}$	۰/۳۰۵$^{j-n}$	۲/۰۴۲$^{a-c}$
$I_1\times B_1\times F_3$	۶/۴۶^{hi}	۹۸/۱۴$^{a-d}$	۲/۳۶$^{g-k}$	۰/۳۲$^{g-l}$	۲/۰۱۳$^{a-d}$
$I_1\times B_1\times F_4$	۶/۲۷$^{h-k}$	۷۶/۲۳^{jk}	۲/۶۷$^{a-c}$	۰/۳۶۷$^{a-c}$	۱/۸۹۵$^{b-e}$
$I_1\times B_2\times F_1$	۷/۰۸$^{e-g}$	۹۲/۱۶$^{d-g}$	۲/۴۹$^{d-g}$	۰/۳۳۸$^{d-g}$	۲$^{a-d}$
$I_1\times B_2\times F_2$	۵/۴۸^{no}	۷۷/۷۳^{jk}	۲/۷۱^{ab}	۰/۳۷۴^{ab}	۱/۷۰۴$^{f-k}$
$I_1\times B_2\times F_3$	۶/۶^{gh}	۸۹/۰۱$^{f-h}$	۲/۶۳$^{a-d}$	۰/۳۵۹$^{b-d}$	۲/۰۴۸^{ab}
$I_1\times B_2\times F_4$	۶/۱۸$^{h-l}$	۸۸/۱۲$^{g-i}$	۲/۷۶^{a}	۰/۳۸۴^{a}	۲/۱۳۳^{a}
$I_2\times B_1\times F_1$	۷/۴۷$^{c-f}$	۹۵/۶$^{c-f}$	۲/۰۴^{no}	۰/۲۸۲$^{o-q}$	۱/۴۹۱^{lm}
$I_2\times B_1\times F_2$	۶/۰۶$^{i-m}$	۸۲/۷۵$^{h-j}$	۲/۲۲$^{k-m}$	۰/۳۰۱$^{l-o}$	۱/۶۶$^{i-l}$
$I_2\times B_1\times F_3$	۷/۲۵$^{d-f}$	۷۹/۶۸^{jk}	۲/۳۴$^{g-k}$	۰/۳۱۶$^{g-l}$	۱/۸۴۷$^{d-g}$
$I_2\times B_1\times F_4$	۵/۸۲$^{j-n}$	۹۳/۰۵$^{d-g}$	۲/۱۴$^{l-n}$	۰/۲۹۳$^{m-p}$	۱/۷۵۳$^{e-h}$
$I_2\times B_2\times F_1$	۷/۵۴$^{b-e}$	۷۸/۳۸^{jk}	۲/۵۲$^{c-f}$	۰/۳۴۳$^{d-f}$	۱/۷۸۸$^{e-i}$
$I_2\times B_2\times F_2$	۶/۹۹^{fg}	۹۶/۴۴$^{b-e}$	۲/۳۱$^{h-k}$	۰/۳۱۲$^{i-m}$	۱/۸۶۵$^{c-f}$
$I_2\times B_2\times F_3$	۵/۷۱$^{l-o}$	۹۰/۸۹$^{d-g}$	۲/۲۸$^{e-i}$	۰/۳۲۷$^{e-j}$	۱/۸۴$^{d-h}$
$I_2\times B_2\times F_4$	۵/۹۴$^{j-n}$	۸۱/۲^{ij}	۲/۵۶$^{b-e}$	۰/۳۴۸$^{c-e}$	۲/۰۳$^{a-c}$
$I_3\times B_1\times F_1$	۷/۹$^{a-c}$	۱۰۳/۱۴^{ab}	۱/۹۵^{o}	۰/۲۶۹^{q}	۱/۴۱۵^{m}
$I_3\times B_1\times F_2$	۷/۳۷$^{d-f}$	۹۴/۵۱$^{c-g}$	۲/۴$^{e-j}$	۰/۳۳۴$^{e-h}$	۱/۵۳$^{k-m}$
$I_3\times B_1\times F_3$	۶/۲۹$^{h-j}$	۸۲/۷$^{h-j}$	۲/۳۷$^{f-k}$	۰/۳۲۷$^{e-i}$	۱/۶۵۳$^{i-l}$
$I_3\times B_1\times F_4$	۸/۰۵^{ab}	۹۶/۸۳$^{b-d}$	۱/۹۷^{o}	۰/۲۷۸^{pq}	۱/۵۸۹$^{j-m}$
$I_3\times B_2\times F_1$	۵/۷۶$^{k-n}$	۸۹/۲۱$^{e-h}$	۲/۱$^{m-o}$	۰/۲۹$^{n-q}$	۱/۹۸۱$^{a-d}$
$I_3\times B_2\times F_2$	۷/۹۸$^{a-c}$	۹۱/۲۵$^{d-g}$	۲/۳۹$^{f-j}$	۰/۳۲۳$^{f-k}$	۱/۵۳۷$^{k-m}$
$I_3\times B_2\times F_3$	۷/۶۴$^{a-d}$	۱۰۰/۶۲$^{a-c}$	۲/۲۸$^{i-l}$	۰/۳۰۹$^{i-n}$	۱/۶۷$^{g-k}$
$I_3\times B_2\times F_4$	۸/۱۵^{a}	۱۰۴/۶۴^{a}	۲/۴۶$^{e-h}$	۰/۳۳۲$^{e-h}$	۱/۸۷۵$^{b-f}$
LSD	۰/۵۱۹	۷/۲۷	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۱۷

I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B_1، B_2 به‌ترتیب عدم کاربرد میکوریزا و کاربرد میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی متانول، محلول‌پاشی سلنیوم و محلول‌پاشی توأم متانول و سلنیوم. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

برگ توسط آنزیم متانول اکسیداز و با از دست دادن H^{2+} تبدیل به فرمات (متانوئیک اسید) می‌شود. فرمات در مرحله بعد توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز تبدیل به دی‌اکسید کربن و H^{+} می‌شود، از طرف دیگر گزارش شده آنزیم پیرولین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

۵-کربوسیلات سنتتاز (P5CS) در شرایط اسیدی بیشترین فعالیت را دارد. به نظر می‌رسد متانول با کاهش اسیدیته در گیاه منجر به افزایش فعالیت آنزیم پیرولین ۵-کربوکسیلات سنتتاز و در نهایت تجمع پرولین در برگ‌ها می‌شود (Yordanov *et al*., 2003). برخی محققان اظهار داشتند که کاربرد برگی متانول موجب تولید دو مولکول سرین در گیاهان تیمار شده می‌شود که این امر موجب افزایش گلوکز، فروکتوز و دو برابرشدن مقدار ساکارز می‌شود که در نتیجه آن عملکرد کل و نیز میزان قند افزایش پیدا می‌کند (Ramirez *et al*., 2006).

حجم و وزن خشک ریشه: تأثیر سطوح آبیاری، قارچ میکوریزا، محلول‌پاشی سلنیوم و متانول و برهمکنش توأم این عوامل بر حجم و وزن ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش شدت تنش آبی، حجم و وزن خشک ریشه کاهش یافت (جدول ۱۲)، به‌طوری‌که کم‌ترین حجم و وزن خشک ریشه (۱/۹۵ سانتی‌متر مکعب در بوته و ۰/۲۶۹ گرم در بوته) تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، در عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش مشاهده شد، که در مقایسه با کاربرد توأم تعدیل‌کننده‌های تنش (میکوریزا، سلنیوم و متانول) در همین سطح از سطوح آبیاری، از افزایش به ترتیب ۲۶/۱ و ۲۳/۴ درصدی حجم و وزن خشک ریشه برخوردار بود (جدول ۱۲). به نظر می‌رسد در شرایط خشکی چون خاک به دلیل عدم آبیاری سفت و سخت می‌شود بنابراین امکان رشد و نفوذ ریشه‌ها و در نتیجه جذب عناصر غذایی محلول در خاک کاهش پیدا می‌کند. از طرفی در شرایط تنش آبی، روزنه‌های هوایی بسته‌تر شده، میزان فتوسنتز کاهش یافته و در نهایت رشد ریشه کاهش یافته و بدین طریق ظرفیت جذب و انتقال از آب و عناصر غذایی از خاک به طرف اندام هوایی کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی کاربرد میکوریزا می‌تواند با افزایش وزن و حجم ریشه و از طریق ایجاد هیف و گسترش این سیستم در طول ریشه و اثر بر جذب عناصر و رشد، با کمک به جذب رطوبت و عناصر غذایی، منجر به مقاومت بیشتر گیاه به شرایط نامساعد محیطی شود (Turk *et al*., 2006). به بیانی دیگر قارچ میکوریزا می‌تواند با تأثیر روی ریشه، حجم زیادتری از خاک را کاوش نموده و موجب افزایش دسترسی به عناصر غذایی موجود در ناحیه ریزوسفر و در نتیجه افزایش وزن و حجم ریشه شود (Sadat Seyedmohammadi *et al*., 2019). به نظر می‌رسد بخشی از افزایش وزن و حجم ریشه در محلول‌پاشی با سلنیوم در شرایط محدودیت آبی می‌تواند ناشی از تأثیر این عنصر بر تقسیم سلولی و تحریک سلول‌های مریستمی نوک ریشه ناشی شود (Rostami *et al*., 2022). در این راستا Han-Wen و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند سلنیوم می‌تواند تقسیم میتوزی سلول‌های نوک ریشه را افزایش داده و از این طریق موجب افزایش رشد ریشه شود. در تحقیقی بر روی سویا کاربرد ۲۱ درصد حجمی متانول سبب افزایش ۳۸ درصدی عملکرد ریشه نسبت به سطح شاهد (بدون محلول‌پاشی متانول) شد، احتمالاً متانول با افزایش میزان تثبیت CO_2 منجر به بهبود فتوسنتز شده و با انتقال بخشی از مواد فتوسنتزی اندام‌های هوایی به ریشه، باعث افزایش عملکرد ریشه می‌شود (Mirakhori *et al*., 2010). در تحقیقی که بر روی نخود صورت گرفت، مشاهده شد محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول بیشترین میزان وزن خشک ریشه را داشت (Ehyaei *et al*., 2010).

عملکرد دانه تک‌بوته: سطوح آبیاری، کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم و همچنین برهم‌کنش توأم این عوامل اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک و پنج درصد داشت (جدول ۱۱). در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم از افزایش ۳۲/۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم در همین سطح از سطوح آبیاری برخوردار بود (جدول ۱۰). بخشی از کاهش عملکرد در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی می‌تواند ناشی از کاهش محتوای نسبی آب (جدول ۱۰) و افزایش هدایت الکتریکی (جدول ۱۰) در اثر محدودیت شدید آبی باشد که موجب آسیب به بافت‌های گیاه و کاهش کلروفیل (جدول ۲) و فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد دانه شده است. به‌نظر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

می‌رسد کاربرد قارچ میکوریزا از طریق کاهش نشت الکترولیت (جدول ۱۰)، بهبود محتوای کلروفیل (جدول ۲) و محتوای قندهای محلول و پرولین (جدول ۱۲) موجب افزایش عملکرد دانه شده است. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان گزارش شده است (Mehmood *et al*., 2022). در این راستا نریمانی و همکاران (۱٤۰۲) گزارش کردند که محدودیت آبی از طریق کاهش پتانسیل آب برگ‌ها، کاهش شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی برگ موجب اختلال در فرآیندهای فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه تریتیکاله می‌شود. ضمن آنکه افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول (جدول ۱۲)، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کوانتومی (جدول ۲، ۱۰ و٦) و کاهش میزان هدایت الکتریکی (جدول ۱۰) و فلورسانس حداقل (جدول ۵) از دیگر دلایل افزایش عملکرد دانه جو درگیاهان تیمار شده با میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم در شرایط محدودیت آبی می‌تواند باشد. در گیاهان با مسیر فتوسنتزی C_3 تنفس نوری عامل اساسی در از بین رفتن بخشی از CO_2 دریافتی در گیاه است که گیاه برای دریافت دی‌اکسید کربن از دست رفته مجبور است بخشی از آب را از دست دهد و این امر در شرایط محدودیت آبی و عدم دسترسی به آب، موجب کاهش امکان دسترسی به CO_2 دریافتی و به تبع از آن کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود. درحالی‌که به نظر می‌رسد کاربرد متانول با افزایش غلظت دی اکسیدکربن حاصل از اکسیداسیون سریع متانول در بافت‌های فتوسنتزکننده، موجب افزایش فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو، کاهش تنفس نوری، افزایش سرعت و میزان فتوسنتز (Gout *et al*., 2000)، و به تبع از آن منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود. نتایج مشابهی مبنی بر اینکه متانول با کاهش تنفس نوری منجر به افزایش فتوسنتز و به‌تبع از آن افزایش عملکرد دانه شده است توسط دیگر محققان گزارش شده است (Narimani and Seyed Sharifi, 2023). همچنین گزارش شده است کاربرد سلنیوم به‌دلیل ایجاد شرایط مساعد برای جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم، بور، روی و سلنیوم توسط گیاه، موجب افزایش محتوای کلروفیل و بهبود رشد و عملکرد دانه گیاه شد (Adhikary *et al*., 2022).

نتیجه‌گیری

خشکی بر تمام صفات فیزیولوژیکی از جمله شاخص کلروفیل، اجزای فلورسانس کلروفیل، محتوای نسبی آب و هدایت الکتریکی، اسمولیت‌های سازگار، وزن و حجم ریشه و عملکرد جو در مقایسه با گیاهانی که از محدودیت آبی برخوردار نبودند، تأثیرگذار بود. کاربرد توأم قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم تا حد زیادی اثرات منفی ناشی از کمبود آب را کاهش داد. به‌طوری‌که در شرایط کمبود آب، کاربرد قارچ میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم نسبت به عدم کاربرد آنها منجر به کاهش هدایت الکتریکی و فلورسانس حداقل، و افزایش شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی، فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر، افزایش محتوای قندهای محلول و پرولین برگ پرچم، حجم و وزن خشک ریشه شد. به‌طوری‌که در شرایط محدودیت شدید آبی (شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی)، کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی متانول و سلنیوم از افزایش ۳۲/۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد میکوریزا و محلول‌پاشی سلنیوم در همین سطح از سطوح آبیاری برخوردار بود. از این‌رو به استناد این یافته‌ها می‌توان پیشنهاد نمود که برای تعدیل اثرات ناشی از خشکی، محلول‌پاشی متانول و سلنیوم و کاربرد قارچ میکوریزا را می‌توان توصیه نمود.

منابع

آقایی، فاطمه، سیدشریفی، رئوف، خماری، سعید، و نریمانی، حامد (۱۳۹۹). تأثیر متانول بر عملکرد دانه، شاخص‌های فلورسانس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

کلروفیل و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گندم در شرایط قطع آبیاری. *نشریه تولید گیاهان زراعی*، ٤(۱۳)، ۱۵۱-۱۷۲. https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18631.2382

برزگر، زهرا، قاسمیان، علیرضا، رئیسی ساداتی، سیده یلدا، و اسدی، اسداله (۱۳۹۹). بررسی اثرات نانوکلات پتاسیم بر میزان قند محلول، پرولین، پروتئین کل و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش کم‌آبی. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۹(۳٦)، ٤۹-٦۲. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.36.11.4

چراغ، علی‌مرتضی، ساجدی، نور علی، و گماریان، مسعود (۱۳۹۳). اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و سلنیوم بر ویژگی‌های زراعی، فیزیولوژیکی و کیفی نخود در شرایط دیم. *نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران*، ٤۲(۵)، ۲-۳۱. https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i2.30414

شمسایی، امین‌اله، آران، مهدی، و فاخری، براتعلی (۱۳۹۹). تأثیر محلول‌پاشی سلنیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رزماری تحت تنش خشکی. *تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک*، ۲(۲)، ۱۲۷-۱٤۰. https://doiorg/10.22034/csrar.2021.257878.1069

قزوینی، حبیب‌اله، کوچکی، احمدرضا، سرخی لله لو، بهزاد، یوسفی، احمد، رضوی، سیدعلیرضا، محمدی، سلیمان، امین‌زاده، غلامرضا، شریف الحسینی، محمد، عزت‌احمدی، مسعود، بابائی، تقی، تات، محمدحسین، جاسمی، سیدشهریار، پات‌پوی، مهران، اقنوم، رضا، صفوی، صفرعلی، هاشمی، حسین، سنجری، امیرقلی، دالوند، محمد، عطائی، منوچهر، محلوجی، مهرداد، دهقان، محمدعلی، کیا، شهریار، عطاحسینی، سیدمحمود، و چائی‌چی، مهرداد (۱٤۰۳). مهتاب، رقم جدید جو آبی با عملکرد بالای دانه و خصیل و سازگاری مناسب در مناطق سرد کشور. *نشریه علمی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی*، ۱(۱۳)، ۵۸-٤۱. https://doi.org/10.22092/rafhc.2024.366436.1345

نریمانی، حامد، سیدشریفی، رئوف، و صدقی، محمد (۱٤۰۲). تأثیر پوترسین، ورمی‌کمپوست و میکوریزا برعملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و روند تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک تریتیکاله در رژیم‌های مختلف آبیاری. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۱۳(۳)، ٤۹-۷۸. http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.13.3.258510

نریمانی، حامد، سیدشریفی، رئوف، و صدقی، محمد (۱٤۰۳). تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر عملکرد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و برخی صفات فیزیولوژیک تریتیکاله تحت شرایط محدودیت آبی. *پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)*، ٤(۳۷)، ۳۷۲-۳۸۸.

نوریانی، حسن (۱٤۰٤). اثر محلول‌پاشی متانول بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاه لوبیا تحت تنش خشکی. *تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک*، ۲(۷)، ٤۲۵-٤۱۱. https://doi.org/10.22034/csrar.2025.503631.1468

Abdelaal, K., Alaskar, A., & Hafez, Y. (2024). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on physiological, bio-chemical and yield characters of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) under drought stress conditions. *BMC Plant Biology*, *24*, 1119. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05824-9

Adhikary, S., Biswas, B., Chakraborty, D., Timsina, J., Pal, S., Tarafdar, J. C., Banerjee, S., Hossain, A., & Roy, S. (2022). Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Scientific Reports*, *12*, 7103. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11307-4

Aganchich, B., Wahbi, S., Loreto, F., & Centritto, M. (2009). Partial root-zone drying: Regulation of photosynthetic limitations and antioxidant enzymatic activities in young olive (*Olea europaea*) saplings. *Tree Physiology*, *29*, 685-696. https://doi.org/10.1093/treephys/tpp012

Ahmadi, A, & Siosemardeh, A. (2005). Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: Leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and non-stomatal limitations. *International Journal of Agriculture and Biology*, *7*(5), 807-811.

Apostolova, E. L., Dobricova, A. G., Ivanova, P. I., Petkanchin, I. B., & Taneva S. G. (2006). Relationship between the organization of the supercomplex and the function of the photosynthetic apparatus. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, *83*, 114-122. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2005.12.012

Ardebili, Z. O., Ardebili, N. O., Jalili, S., & Safiallah, S. (2015). The modified qualities of basil plants by selenium and/or ascorbic acid. *Turkish Journal of Botany*, *39*(3), 401-407. https://doi.org/10.3906/bot-1404-20

Bago, B., Pfeffer, P., & Shachar-Hill, Y. (2001). Could the urea cycle be translocating nitrogen in the arbuscular mycorrhizal symbiosis? *New Phytology*, *149*, 4-8. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00016.x

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

Bates, L. S., Walderen, R. D., & Taere, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207.

Bouremani, N., Cherif-Silini, H., Silini, A., Bouket, A. C., Luptakova, L., Alenezi, F. N., Baranov, O., & Belbahri, L. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): A rampart against the adverse effects of drought stress. *Water*, *15*, 1-35. http://dx.doi.org/10.3390/w15030418

Dubios, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Annals of Chemistry*, *28*, 350-356. https://doi.org/10.1021/ ac60111a017

El-Badri, A. M., Batool, M., Mohamed, I. A., Wang, Z., Wang, C., Tabl, K. M., Khatab, A., Kuai, J., Wang, J., Wang, B., et al. (2023). Mitigation of the salinity stress in rapeseed (*Brassica napus* L.) productivity by exogenous applications of bio-selenium nanoparticles during the early seedling stage. *Enviromental Pollution*, *310*, 119815. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119815

El-hady, A., Fergani, M. A., El-temsah, M. E., & Abdelkader, M. A. (2018). Physiological response of some wheat cultivars to antitranspirant under different irrigation treatments. *Middle East Journal*, *7*(1), 100-109.

Eliaspour, S., Seyed Sharifi, R., Shirkhani, A., & Farzaneh, S. (2020). Effects of biofertilizers and oxide iron nano on maize yield and physiological properties under optimal irrigation and drought stress conditions. *Food Science and Nutrition*, *8*(11), 5985-5998. https://doi.org/10.1002/fsn3.1884

FAO. (2021). FAOSTAT-Production/Crops. Retrieved March 3, from: http://www.fao.org/faostat/en/ data/QC

Galbally, I. E, & Kirstine, W. (2002). The production of methanol by flowering plants and the global cycle of methanol. *Journal of Atmospheric Chemistry*, *43*(3), 195-229.

Ghazvini, H., Bagherikia, S., Pour -Aboughadareh, A., Sharifalhossaini, M., Razavi, S. A., Mohammadi, S., Ghasemikalkhoran, M., Fathihafshejania, A., & Khakizadeh, G. (2021). GGE biplot analysis of promising barley lines in the cold regions of Iran. *Journal of Crop Improvement*, *36*(4), 461-472. https://doi.org /10. 1080/ 15427528 2021.1977448

Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A. R., Benson, A., & Douce, R. (2000). Metabolism of methanol in plant cells. Carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology*, *123*, 287-296. https://doi.org/10.1104/pp.123.1.287

Gudkov, S. V., Shafeev, G. A., Glinushkin, A. P., Shkirin, A. V., Barmina, E. V., Rakov, I. I., Simakin, A. V., Kislov, A. V., Astashev, M. E., Vodeneev, V. A., & Kalinitchenko, V. P. (2020). Production and use of selenium nanoparticles as fertilizers. *ACS Omega*, *28*, 17767-17774. https://doi.org/10.1021/acsomega .0c0 2448

Han-Wens, S., Jing, H., Shu-Xuan, L., & Wei-Jun, K. (2010). Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *419*(10), 11951204. http:// dx.doi.org/10.1080/00103621003721395

Hossinzadeh, S. R., Salimi, A., Ganjeali, A., & Ahmadpour, R. (2014). Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *5*(18), 115-132. DOI: 20.1001. 1.20088264.1392.5.18.9.1

Ivanova, E. G., Dornina, N. V., & Trotsenko, Y. A. (2001). Aerobic methylobacteria are capable of synthesizing auxins. *Microbiology Journal*, *70*, 392-397.

Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., & Basile, N. (2010). Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil*, *330*, 65-71. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0176-x

Kuznetsov, V. V., Kholodova, V. P., & Yagodin, B. A. (2003). Selenium regulates the water status of plants exposed todrought. *Doklady Biolological Science*, *390*, 266-268. https://doi.org/ 10.1023 /a: 1024 426 104894

Lanza, M. G. D. B, & Dos Reis, A. R. (2021). Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochem*istry, *164*, 27-43. https://doi.org/101016/j. plaphy.2021.04.026

Li, Q., Chen, M., Li, X., Wang, Y., Zhu, Q., Gao, S., Wang, J., Wang, Y., Yu, F., Wang, X., Huo, K., & Zhang, L. (2022). Effects of foliar spraying of selenite at different time points on selenium concentration in wheat grains during grain filling period. *Grassland Science*, *68*(4), 354-361. https://doi.org/10.1111/grs. 12376

Liao, X., Chen, J., Guan, R., Liu, J., & Sun, Q. (2021). Two arbuscular mycorrhizal fungi alleviate drought stress and improves plant growth in *Cinnamomum migao* seedlings. *Mycobiology*, *49*(4), 396-405. https://doi.org/10.1080/12298093.2021.1938803

Mehmood, H., Ali, M. A., Hussain, S., Baig, K. S., Sultan, H., Hasan Naqvi, S. A., Shahid, M. N., Ali, S., Alhomaidi, E. A., & Datta, R. (2022). Sole and combined effect of foliarzinc and Arbuscular mycorrhizae inoculation on basmati rice growth, productivity and grains nutrient. *Plos One, 17*(4), e0266248. https://doi org/10.1371/journal.pone.0273484

Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Nazeri, P., & Nasri, M. (2010). Effects of foliar application of methanol on *Glycine max* L. *Journal of Agroecology*, *2*, 236-244.

Miyake, C. (2010). Alternative electron flows (water-water cycle and cyclic electron flow\ around PSI) in photosynthesis Molecular mechanisms and physiological functions. *Plant Cell Physiology*, *51*, 1951-1963. DOI:

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

10.1093/pcp/pcq173
Nourafcan, H, & Pouyanfar, M. (2017). Savory morpho-physiological traits affected by methanol and ethanol foliar application. *Agroecology Journal*, *13*(1), 9-17.
Oliveira, T. C., Cabral, J. S. R., Santana, L. R., Tavares, G. G., Santos, L. D. S., Paim, T. P., Muller, C., Silva, F. G., Costa, A. C., Souchie, E. L., & Mendes, G. C. (2022). The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus* improves physiological tolerance to drought stress in soybean plants. *Scientific Reports*, *12*(1), 1-15. https://doi.org/10.1038/s41598-022-13059-7
Pan, J., Peng, F., Tedeschi, A., Xue, X., Wang, T., Liao, J., Zhang, W., & Huang, C. (2020). Do halophytes and glycophytes differ in their interactions with arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress? A meta-analysis. *Botanical Studies*, *61*, 1-13. DOI: 10.1186/s40529- 020-00290-6
Ramirez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jimenez, E., Mercado, A., & Pen a Cortes, H. (2006). Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of Arabidopsis, tobacco and tomato plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, *25*, 30-44. http://dx.doi.org/10.1007/s00344-005-0027-9
Raza, M. A. S., Zaheer, M. S., Saleem, M. F., Khan, I. H., Ahmad, S., Aslam, M. U., & Iqbal, R. (2020). Drought ameliorating effect of exogenous applied cytokinin in wheat. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *57*(3), 725-733. DOI: 10.21162/PAKJAS/20.8183
Sadeghi-Shoae, M., Paknejad, F., Shahbazpanahi, B., & Tookalloo, M. R. (2014). 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.
Samynathan, R., Venkidasamy, B., Ramya, K., Muthuramalingam, P., Shin, H., Kumari, P. S., Thangavel, S., & Sivanesan, I. (2023). A recent update on the impact of nano-selenium on plant growth, metabolism, and stress tolerance. *Plants*, *12*, 853. https://doi.org/10.3390/ plants12040853
Saydi, Z., Abbasi, N., Zarea, M. J., & Zarei, B. (2022). Effects of nitroxin biofertilizer on morpho-physiological characteristics of blackseed (*Nigella sativa* L.) ecotypes under drought stress. *Journal of Agroecology*, *14*(3), 485-507. https://doi.org/10.22067/agry.2021.20298.0
Scharf, P. C., Brouder, S. M., & Hoeft, R. G. (2006). Chlorophyll meter reading can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. *Agronomy Journal*, *98*(3), 655-665. https://doi. org/ 10.2134/agronj2005.0070
Semida, W. M., Abd El-Mageed, T. A., Gyushi, M. A. H., Abd El-Mageed, S. A., Rady, M. M., Abdelkhalik, A., Merah, O., Sabagh, A. E., El-Metwally, I. M., & Sadak, M. S. (2023). Exogenous selenium improves physio-biochemical and performance of drought-stressed *Phaseolus vulgaris* seeded in saline soil. *Soil Systems*, *7*, 67. https://doi.org/ 10.3390/soilsystems7030067
Seyed Hajizadeh, H., Azizi, S., Rasouli, F., & Kaya, O. (2023). Evaluation of nano-silicon efciency on compatible solutes and nutrient status of Damask rose afected by in vitro simulated drought stress. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *10*, 1-19. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00397-5
Shen, J. R. (2015). The structure of photosystem II and the mechanism of water oxidation in photosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, *66*, 23-48. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050312-120129
Shevela, D., Bjorn, L., & Govindjee, O. (2018). Principles of photosynthesis. *World Scientific Publishing*, *ISBN*, 978-1-78634-366-3. DOI: 10.1142/10433
Si, Zh., Zain, M., Mehmood, F., Wang, G., Gao, Y., & 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*, *231*, 106002.
Singhal, R. K., Fahad, S., Kumar, P., Choyal, P., Javed, T., Jinger, D., Singh, P., Saha, D., Md, P., Bose, B., Hidangmayum, A., Gupta, N., Sodani, R., Dev, D., Suuthar, D. L., Liu, K., Harrison, M. T., Shah, A. N., & Nawaz, T. (2023). Beneficial elements: New players in improving nutrient use efficiency and abiotic stress tolerance. *Plant Growth Reguationl*, *100*, 237-265. http://dx.doi.org/10.1007/s10725-022-00843-8
Skrypnik, L., Feduraev, P., Golubkina, N., Maslennikov, P., Antipina, M., Katserov, D., Murariu, O. C., Tallarita, A. V., & Caruso, G. (2024). Foliar spraying of selenium in inorganic and organic forms stimulates plant growth and secondary metabolism of sage (*Salvia officinalis* L.) through alterations in photosynthesis and primary metabolism. *Scientia Horticulturae*, *338*, 113633.
Smth, S. E, & Read, D. J. (2008). Mycorrhzal Symboss. 3rd Ed. London Academc Press.
Soliman, M. H., Alnusairi, G. S. H., Khan, A. A., Alnusaire, T. S., Fakhr, M., Abdulmajeed, A. M., Aldesuquy, H. S., Yahya, M., & Najeeb, U. (2023). Biochar and selenium nanoparticles induce water transporter genes for sustaining carbon assimilation and grain production in salt-stressed wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*, 1522-1543. DOI:10.1007/s00344-022-10636-y
Sotiropoulos, T. E., Therios, I. N., Almaliotis, D., Papadakis, I., & Dimass, K. N. (2006). Response of cherry rootstocks to boron and salinity. *Journal of Experimental Botany*, *29*, 1691-1698.
Su, Y., Fu, F., Ou, X., Gong, L., Liu, H., & Sun, Y. (2024). Response of selenium pools to drought stress by regulating

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

physio-biochemical attributes and anatomical changes in *Gentiana macrophylla*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *280*, 116591. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116591

Tawfk, M., Magda, M., Mohamed, H., Sadak Alice, Sh., & Thalooth, T. (2021). Iron oxide nanoparticles efect on growth, physiological traits and nutritional contents of *Moringa oleifera* grown in saline environment. *Bulletin of the National Research Centre*, *45*, 177. https://doi.org/10.1186/s42269-021-00624-9

Turk, M. A., Assaf, T. A., Hameed, K. M., & Al-Tawaha, A. M. (2006). Effect of soil amendment with olive mill by products under soil solarization on growth and productivity of faba bean and their symbiosis with mycorrhizal. *World Journal Agricultural Science*, *2*(1), 1817-3047.

Yaseen, R., Aziz, O., Saleem, M. H., Riaz, M., Zafar-ul-Hye, M., Rehman, M., Ali, S., Rizwan, M., Alyemeni, M. N., El-Serehy, H. A., Al-Misned, F. A., & Ahmad, P. (2020). Ameliorating the drought stress for wheat growth through application of ACC-Deaminase containing rhizobacteria along with biogas slurry. *Sustainability*, *12*, 1-19.

Yordanov, Velikova, V., & Tsonev, T. (2003). Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgharestan Journal of Plant Physiology, 2*, 187-206.

Yurimoto, H. (2025). Phyllosphere C1-microorganisms: Their interaction with plants and contribution to the global carbon cycle. *Plant Biotechnology*, *42*, 193-201. DOI: 10.5511/plantbiotechnology.25.0122b

Zheng, L., Qinquan, Li., Yanni, T., Huan, Z., Chuang Han, Xu., Wang, X., & Guangyu, S. (2022). Selenium enhanced nitrogen accumulation in legumes in soil with rhizobia bacteria. *Journal of Cleaner Production*, *380*(1), 450-458.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]

Effects of mycorrhiza, selenium, and methanol on the trend of changes of chlorophyll fluorescence components and some physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in different irrigation regimes

Ailar Darabi, Raouf Seyed Sharifi*, Fatemeh Aghaei

Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

In order to study the effects of mycorrhiza application and foliar application of selenium and methanol on the trend of changes of chlorophyll fluorescence components and some physiological characteristics of barley in different irrigation regimes, an experiment as a factorial was conducted based on a randomized complete block design with three replications in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, during 2024. The experimental factors included different levels of irrigation (full irrigation as control, irrigation withholding at 50% of booting and heading stages as severe and moderate water limitation, respectively (equivalent to BBCH 43 and 55 scale, respectively), application of mycorrhiza at two levels (with and without mycorrhiza), and foliar application of selenium and methanol at four levels (foliar application with water as control, foliar application of 30% w/v methanol, foliar application of 3 $mg.L^{-1}$ selenium and combined foliar application of selenium and methanol. The results showed that under irrigation withholding at the 50% booting stage, both the application of mycorrhiza and selenium and methanol foliar application increased soluble sugars and proline content (42.7 and 56.4%, respectively), root volume (26.1%), root dry weight (23.4%), and grain yield (32.5%) in comparison with no application of mycorrhiza and selenium and methanol foliar at the same level from irrigation levels. So, at 102 days after planting under irrigation withholding at 50% of the booting stage, application of mycorrhiza, selenium, and methanol foliar application increased chlorophyll index (25.1%), nitrogen content of the flag leaf (19.1%), relative water content (22.1%), quantum yield (32.4%), maximum fluorescence (32.1%), variable fluorescence (74.5%), F_v/F_0 or the activity of the water splitting complex (107%) compared to no application of mycorrhiza, selenium, and methanol at the same level from irrigation levels. Also, the application of mycorrhiza and foliar application of selenium and methanol at full irrigation conditions decreased electrical conductivity (32.9%), minimum fluorescence (30%), and F_0/F_m (42.5%) compared to no application of mycorrhiza, selenium, and methanol under irrigation withholding at the booting stage. The results of this study showed that the application of mycorrhiza, selenium, and methanol can be suggested to improve the yield of barley under water limitation conditions.

Keywords: Booting stage, Chlorophyll index, Electrical conductivity, Irrigation levels

Received: Jul. 22, 2025; Revised: Feb. 27, 2026; Accepted: Apr. 28, 2026; Published Online: Oct. 30, 2026
*Corresponding Author: raouf_ssharifi@yahoo.com

Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.22034/jispp.15.74.119]