مقاله پژوهشی

تأثیر کودهای زیستی و محلول‌پاشی با نانواکسید روی و پوترسین بر اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت شرایط تنش شوری

سارا محمدی کله سرلو، رئوف سید شریفی* و محمد صدقی

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی) بر اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک جو تحت تنش شوری، 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 ۱۴۰۱ اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار با نمک کلرید سدیم)، تیمار کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست ۵۰ گرم در هر کیلوگرم خاک، قارچ میکوریز آربوسکولار ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک، تیمار همزمان ورمی‌کمپوست و میکوریزا)، محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین، محلول‌پاشی۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی) بودند. نتایج نشان داد که در مراحل ظهور برگ پرچم و سنبله‌دهی در بالاترین سطح شوری، تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، پوترسین و نانواکسید روی)، شاخص سبزینگی برگ (به‌ترتیب ۳۴/۸ و ۲۹/۵ درصد)، شاخص نیتروژن (به‌ترتیب ۲۸ و۶ /۲۱ درصد)، هدایت روزنه‌ای (به‌ترتیب ۵۸/۹۴ و ۷۷/۹ درصد)، محتوای نسبی آب (به ترتیب ۴۵/۴ و ۴۶/۱ درصد)، عملکرد کوانتومی (به‌ترتیب ۱۶/۳ و ۱۱۰ درصد)، فلورسانس حداکثر (به‌ترتیب ۳۸/۶ و ۴۱/۴ درصد)، فلورسانس متغیر (به‌ترتیب ۶۱/۲ و ۱۹۶/۳ درصد) را، نسبت به عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از شوری افزایش داد. همچنین در بالاترین سطح شوری، تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش، عملکرد دانه را ۳۴/۲ درصد نسبت به عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از سطوح شوری افزایش داد. بر اساس نتایج این بررسی، تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، به‌واسطه بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک نظیر شاخص کلروفیل، عملکرد کوانتومی و هدایت روزنه‌ایی قادر بودند بخشی از کاهش عملکرد جو در شرایط شوری را، جبران نمایند.

واژه‌های کلیدی: شاخص سبزینگی برگ، محتوای نسبی آب، قارچ میکوریز آربوسکولار، ورمی‌کمپوست، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

جو یکی از گیاهان متحمل به تنش‌های غیرزنده، نقش اساسی در تغذیه انسان و دام دارد (شرفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). شوری از تنش‌های غیرزنده مهمی است که نه‌تنها رشد گیاهان

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

زراعی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک مختل می‌کند بلکه موجب کاهش حاصلخیزی خاک و بهره‌وری از آن می‌گردد (Ahmed *et al*., 2019). شوری همچنین با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تثبیت CO_2 در گیاه، ضمن افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تأثیر منفی بر ساختار فتوسیستم نوری II، منجر به اختلال در اجزای فلورسانس کلروفیل (حداقل، متغیر، حداکثر و عملکرد کوانتومی)، کاهش فتوسنتز و عملکرد دانه می‌شود (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲). در شرایط شوری جذب عناصر ریزمغذی مانند روی که از عناصر ضروری برای سنتز پروتئین‌ها، هورمون اکسین، رشد طبیعی و تولید مثل گیاهان زراعی است، به شدت کاهش می‌یابد (Alloway, 2008). در این راستا محلول‌پاشی، یکی از راه‌کارهای مؤثر در رفع سریع نیاز گیاهان به عنصر روی است. محلوجی (۱۴۰۱) اظهار داشت که تغذیه برگی با نانواکسید روی به‌عنوان یک عنصر محرک، موجب تقویت رشد و افزایش عملکرد دانه جو شد. محمدزاده و همکاران (۱۴۰۲) اظهار داشتند محلول‌پاشی نانواکسید روی در شرایط تنش با بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل، عملکرد دانه تریتیکاله را افزایش داد.

امروزه با توجه به مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد و هزینه بالای کودهای شیمیایی و همچنین شوری آب و خاک، استفاده از کودهای زیستی و آلی که شامل مجموعه‌ایی از جوامع میکروبی همراه و همزیست هستند برای بهبود رشد گیاهان توصیه شده است (Liu *et al*., 2019). استفاده از پتانسیل ریزجانداران مفید خاکزی همانند قارچ میکوریز آربوسکولار با برقراری روابط همزیستی بین ریشه گیاه با قارچ، می‌تواند ضمن کمک به افزایش توسعه برگی و عملکرد (Rezvanypour *et al*., 2015) و افزایش مقاومت به شوری گیاه از طریق حفظ مطلوب غلظت Na^+ و K^+، موجب رشد مناسب‌تر گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریز شود (Pollastri *et al*., 2018). این قارچ‌ها با استقرار درون بافت ریشه و تولید آربوسکولار درون سلول‌های پوست داخلی آن، شبکه ظریف ریسه‌های خارج ریشه‌ای تولید می‌کنند و ضمن گسترش بیشتر ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی برای گیاهان، در افزایش جمعیت باکتری‌های مفید خاک، کاهش مصرف کودها و سموم شیمیایی و تعدیل اثرات ناشی از تنش‌های محیطی، مؤثر هستند (حسینی و قدرتی، ۱۳۹۵). نوروزنیا و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که کاربرد میکوریز تحت تنش شوری، عملکرد برنج را ۵۶ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد.

کاربرد ورمی‌کمپوست یکی دیگر از راه‌کارهای مناسب در تعدیل اثرات ناشی از شوری است (Liu *et al*., 2019) که می‌تواند با بهبود وضعیت تخلخل خاک و جذب آب، به افزایش محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی گیاهان تحت شرایط تنش، کمک کند (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳). صورآذر و سیدشریفی (۱۴۰۲) بهبود شاخص سبزینگی و اجزای فلورسانس کلروفیل تریتیکاله را، با کاربرد ورمی‌کمپوست تحت تنش شوری گزارش کردند. Liu و همکاران (۲۰۱۹) اظهار داشتند که در شرایط شوری، کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دلیل سهولت دسترسی گیاه به عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، منجر به بهبود عملکرد گیاه می‌شود.

پلی‌آمین‌ها از پلی‌کاتیون‌های با وزن مولکولی پایین هستند که در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاهان (Kusano and Suzuki, 2015) و افزایش میزان کلونیزاسیون میکوریزا در سیستم ریشه‌ای نقش داشته (Wu *et al*., 2012) و با جذب بهتر برخی از عناصر مؤثر در فتوسنتز مانند پتاسیم به‌وسیله ریشه، موجب افزایش فتوسنتز و رشد گیاهان می‌شود (Hosseini Farahi and Aboutalebi Jahroomi, 2018). در بین پلی‌آمین‌های مهم، پوترسین بیش‌ترین تأثیر را در این زمینه دارد (Rubinowska *et al*., 2012) و با کمک به بیان ژن‌های تنظیم‌کننده رشد مانند آبسیزیک اسید، موجب افزایش سبزینگی و بهبود عملکرد فلورسانسی گیاه می‌شود (Kusano and Suzuki 2015). محلول‌پاشی پوترسین در شرایط شوری با کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش پایداری غشا، موجب پایداری شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب تریتیکاله تحت تنش شوری شد (نریمانی و همکارن، ۱۴۰۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

اهمیت شوری به عنوان یکی از تنش‌های غیر زیستی مؤثر در کاهش رشد و عملکرد گیاهان و نقش تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، پوترسین و نانواکسید روی) در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از شوری و بررسی‌های محدود انجام‌شده در خصوص برهم‌کنش همزمان این عوامل، موجب شد تا اثر این عوامل بر اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک جو در شرایط شوری مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا شد.

تیمارهای آزمایشی: تیمارهای مورد بررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار با نمک کلرید سدیم)، کاربرد کودهای زیستی و آلی در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، تیمار همزمان ورمی‌کمپوست و میکوریز آربوسکولار)، محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، ابتدا محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین، به فاصله کمی بعد از آن محلول‌پاشی پوترسین، ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی همزمان پوترسین و نانواکسید روی) بودند که در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) اعمال شد.

بذر مصرفی: ۵۰ بذر در گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر کشت شدند. از جو دو ردیفه بهاره رقم "نوبهار" استفاده شد. این رقم با وزن هزار دانه ۵۱ گرم و میانگین ارتفاع بوته ۹۰ سانتی‌متر، دارای سنبله تقریباً بلند و مخروطی شکل، مقاوم به شکنندگی، ورس و بیماری‌های زنگ زرد و تنش‌های محیطی از جمله سرما، شوری و خشکی است. بذر آن از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان اردبیل تهیه و با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع (که تراکم مطلوب و توصیه‌شده برای این رقم است) کشت شد (شرفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج حاصل از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

اعمال شوری: مقدار نمک مورد نیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان در هر یک از سطوح شوری به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، توسط نرم‌افزار Salt calc محاسبه و به هر گلدان اضافه شد (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016). برای حفظ شوری در طول دوره رشد، در زیر هر گلدان، زیر گلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری، دوباره نمک‌های احتمالی واردشده به زیرگلدانی، در آب حل شده و به داخل هرگلدان برگشت داده شود (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲). اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد.

قارچ میکوریز آربوسکولار: قبل از کاشت در عمق سه سانتی‌متری خاک در هر گلدان (حدود دو سانتی‌متر زیر بذر) از قارچ میکوریز آربوسکولار *Glomus moseae* استفاده شد که مخلوطی از اسپور و قطعات جداشده از ریشه‌های آلوده بود که از شرکت زیست‌فناوران توران تهیه و به مقدار ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (پنج گرم به ازای هر گلدان) بر اساس توصیه شرکت مذکور استفاده شد (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳).

ورمی‌کمپوست: ورمی‌کمپوست تهیه‌شده از شرکت گیلدا براساس دستورالعمل ۵۰ گرم در هر کیلوگرم خاک با خاک گلدان‌ها قبل از کاشت مخلوط شد (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳). مشخصات فیزیکوشیمیایی ورمی‌کمپوست در جدول ۲ آورده شده است.

نانواکسید روی: نانواکسید روی با میانگین اندازه ذرات کمتر از ۳۰ نانومتر و سطح ویژه ذرات بیش از ۳۰ مترمربع در هر گرم بود که مقدار ۰/۴ گرم در لیتر در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی به‌ترتیب معادل کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) محلول‌پاشی شد (نریمانی و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌های آزمایشی

pH	بافت	هدایت الکتریکی	عصاره اشباع	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	روی	فسفر	پتاسیم
		دسی‌زیمنس بر متر		درصد					میلی‌گرم بر کیلوگرم		
۷/۸	سیلت شنی	۱/۸	۴۷	۱۹/۵	۴۲	۳۸/۵	۰/۷۲	۰/۰۴	۱/۰۲	۲۷/۳	۲۵۵

جدول ۲- نتایج تجزیه کود ورمی‌کمپوست شرکت گلیدا

مشخصه	Cd	Pb	Zn	Cu	Mn	Fe	EC dSm^{-1}	pH
				(mg/kg)				
مقادیر	۱	۱۹	۱۱۰	۲۰	۲۷۵	۵۰۰۰	۱/۱۲	۷/۶۴
مشخصه	Mg	Ca	K	P	N	OC	C/N	
				(٪)				
مقادیر	۰/۹۵	۲/۷۳	۰/۴	۰/۴	۱/۵۵	۳۲/۹	۲۱/۲۵	

همکاران، ۱۴۰۳).

شرایط گلخانه: در طول دوره رشد کنترل علف‌های هرز به طریق دستی انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای با میانگین دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و طول دوره روشنایی ۱۵-۱۴ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگه‌داری شدند.

روش اندازه‌گیری صفات: روند تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک از جمله اجزای فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزینگی برگ، شاخص نیتروژن، هدایت روزنه‌ایی، هدایت الکتریکی و محتوای نسبی آب، از ۶۰ روز پس از کاشت (مرحله ظهور برگ پرچم یا BBCH ۳۸) تا ۸۴ روز بعد از کاشت یا اوایل مرحله سنبله‌دهی (BBCH ۵۵) هر چهار روز یک بار بر روی برگ پرچم اندازه‌گیری شد. اجزای فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس از برگ سازگارشده با تاریکی)، F_v (فلورساس متغیر از برگ سازگارشده با تاریکی) و F_v/F_m (عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده با تاریکی) بود، که توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (Chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 USA) اندازه‌گیری شدند. از هرگلدان به‌طور تصادفی سه برگ پرچم توسعه‌یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب شد و بعد از قرارگیری کلیپس‌های مخصوص بر روی برگ پرچم به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی، شاخص‌های F_0، F_m، F_v و F_v/F_m اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016). هدایت روزنه‌ای برگ پرچم نیز توسط دستگاه پرومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices ltd., Cambridge, UK) اندازه‌گیری شد.

شاخص سبزینگی برگ پرچم با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502 مینولتای ژاپن)، به فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار (بر روی سه ناحیه انتها، وسط و بالای برگ پرچم) از هر تیمار به‌طور تصادفی بر روی دو برگ پرچم انتخابی، اندازه‌گیری شد (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲). میانگین اعداد به‌دست آمده از این سه ناحیه به‌عنوان شاخص سبزینگی برگ پرچم در آن مرحله رشدی در نظر گرفته شد. میزان نیتروژن برگ از همان برگ‌هایی که شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شده بود بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (Scharf *et al.*, 2006).

رابطه ۱

$$N = ۰/۰۱۷۳۳۲ + ۰/۰۰۱۶۳۲۲ \times SPAD$$

برای بررسی روند تغییرات محتوای نسبی آب، از هر گلدان سه برگ پرچم توسعه‌یافته به‌طور تصادفی انتخاب و بعد از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

قرار دادن 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 (۲۰۱۰) مقدار آن اندازه‌گیری شد.

رابطه ۲

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

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

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته و سپس توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲).

برای تعیین عملکرد دانه تک بوته، در زمان رسیدگی تعداد هشت بوته به ظاهر مشابه در هر گلدان برداشت، و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش این صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳). تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص سبزینگی برگ پرچم: تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر شاخص سبزینگی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بود، ولی با نزدیک‌شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین پیرشدن برگ‌ها، روند نزولی داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد تحت شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار در ۸۴ روز پس از کاشت، حداکثر شاخص سبزینگی (۳۷/۳) در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی) مشاهده شد (جدول ۴)، که افزایش ۲۹/۵ درصدی نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوذرات در همین سطح از سطوح شوری داشت (جدول ۴).

کاهش شاخص سبزینگی برگ در شرایط شوری را می‌توان به اختلال در اجزای فلورسانس کلروفیل (جدول‌های ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰) و کاهش جذب برخی عناصر دخیل در سنتز کلروفیل مانند آهن و منیزیوم و همچنین افزایش غلظت برخی تنظیم‌کننده‌های رشدی مانند آبسیزیک اسید و اتیلن نسبت داد که موجب تحریک فعالیت آنزیم کلروفیلاز می‌شود (Neocleous and Vasilakakis, 2007). از سوی دیگر به‌نظر می‌رسد در شرایط شوری، یون‌های سدیم و کلر به مقدار زیادی وارد سیستم آوندی شده و افزایش محتوای یون سدیم تحت چنین شرایطی ضمن کاهش جذب عناصر غذایی از جمله کلسیم و منیزیم و ممانعت از جذب یون پتاسیم، منجر به کاهش میزان پتاسیم و کاهش انتقال نیترات می‌شود (Hosseini Farahi and Aboutalebi Jahroomi, 2018)، از آنجایی‌که محتوای کلروفیل تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای گیاه به‌ویژه نیتروژن است، در نتیجه کمبود نیتروژن می‌تواند مانع تشکیل کلروفیل شده و میزان آن را در برگ کاهش دهد، ولی وجود مقادیر بالایی از عناصر غذایی ضروری و مؤثر در سنتز کلروفیل نظیر آهن، منیزیم و نیتروژن در ورمی‌کمپوست (جدول ۲)، موجب افزایش شاخص سبزینگی برگ می‌گردد. در این راستا صورآذر و سیدشریفی (۱۴۰۲) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط تنش، به‌دلیل بهبود جذب آب و افزایش فراهمی عناصر غذایی، ضمن تعدیل اثرات ناشی از تنش، موجب افزایش شاخص کلروفیل شد. برخی محققان افزایش شاخص سبزینگی برگ در شرایط شوری با کاربرد قارچ میکوریز آربوسکولار را، به بهبود وضعیت ریشه‌ای و عملکرد کوانتومی (جدول ۱۴) و جذب بهتر مواد غذایی، نسبت دادند (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳).

به نظر می‌رسد محلول‌پاشی عنصر روی نیز از طریق تحریک بیوسنتز پروتئین و افزایش فعالیت آنزیم کربونیک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر شاخص سبزینگی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
تکرار	۲	۵۳۶۳/۵**	۴۸۰۳/۸**	۴۱۳۸/۲**	۵۸۸۳/۶**	۲۹۸۴/۲**	۲۶۵۰/۹**	۲۲۳۲/۷**
تنش شوری(S)	۲	۴۰۰/۵**	۳۰۴/۲**	۳۷۷/۸**	۲۶۷/۹**	۳۲۲/۷**	۳۵۴/۹**	۳۰۶/۳**
کودهای زیستی (B)	۳	۴۳۰/۷**	۳۹۱/۶**	۵۸۳/۷**	۳۵۵/۴**	۸۸/۲**	۱۸۴/۱**	۱۷۰/۵**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۱۶۴/۲**	۲۰۰/۸**	۲۸۳/۳**	۱۵۷/۸**	۱۰۶/۶**	۴۴/۸**	۲۶/۶**
S×B	۶	۵۸/۶**	۴۴/۲**	۵۵/۷**	۲۸/۵**	۲۹/۸**	۱۷/۳**	۶/۸**
S×F	۶	۴۳/۱**	۳۱/۲**	۳۸/۷**	۳۰/۲**	۸/۶**	۶/۷ns	۳/۴ns
B×F	۹	۴۳/۳**	۵۶/۳**	۴۲/۶**	۲۷/۴**	۲۴/۹**	۱۸/۸**	۱۱/۴**
S×B×F	۱۸	۳۱/۴**	۴۲/۳**	۳۹/۹**	۱۷/۷**	۲۲/۸**	۹/۵۸**	۹/۶**
خطا	۹۴	۱۲/۲	۶/۴۳	۴/۰۴	۸/۲۶	۳/۸۵	۳/۰۱	۲/۰۳
ضریب تغییرات	-	۶/۵	۵/۵	۴/۳	۶/۴	۴/۹	۴/۶	۴/۷

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

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر شاخص سبزینگی برگ **پرچم جو تحت تنش شوری**

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری شاخص سبزینگی برگ (روز پس از کاشت)						
	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
S1×B1×F1	۵۰m-o	۴۸l-n	۴۵/۴۵n	۴۱/۵۹j-o	۳۹h-k	۳۶/۵n	۳۰/۶u-x
S1×B2×F1	۴۸pq	۲۴/۲۸m-o	۴۶/۴l-n	۴۴/۳h-l	۳۷/۵۴l-o	۳۷l-n	۳۶/۳hi
S1×B3×F1	۵۰m-o	۴۵/۶۲o-q	۴۰/۸s-u	۴۱/۵۸j-o	۳۹/۳g-j	۳۸/۹۹g-j	۳۵/۷ij
S1×B4×F1	۵۰cd	۵۶/۱۳a-c	۵۴/۶a-d	۴۹/۶۶a-e	۴۳/۸d	۴۳bc	۳۸/۰۹bc
S1×B1×F2	۵۳i-k	۵۱ij	۴۴/۹۱no	۴۳/۱i-n	۴۱/۳ef	۳۸j-l	۳۲/۶p-r
S1×B2×F2	۵۵gh	۵۲g-i	۴۸/۷۹kj	۴۵/۹۸d-i	۴۱/۳ef	۳۸/۸۹h-j	۳۵/۷ij
S1×B3×F2	۵۲/۳۵j-l	۴۸/۵lm	۴۳/۳o-q	۴۰/۶۶k-p	۳۶/۹n-p	۳۹g-j	۳۷/۵b-f
S1×B4×F2	۵۷ef	۵۳/۴۲e-g	۵۲/۵e-h	۴۸/۴۸a-g	۴۰/۴۲fg	۳۹/۴g-i	۳۷/۸۹b-d
S1×B1×F3	۵۱lm	۴۴/۶۶q-s	۴۱/۶q-u	۳۹/۹۸l-q	۳۷/۳m-p	۳۶/۸	۳۳/۶m-p
S1×B2×F3	۴۹op	۴۸l-n	۴۲/۸p-r	۴۰/۵۳k-p	۳۹/۴۱g-i	۳۹/۰۱g-j	۳۷/۴c-f
S1×B3×F3	۵۶fg	۵۷/۸۸a	۵۱/۸gh	۴۶/۵۹c-i	۴۰/۳fg	۳۹/۹۹f-h	۳۶/۶e-i
S1×B4×F3	۶۰/۵b	۵۷/۸۲ab	۵۴/۸a-c	۵۰/۶۶ab	۴۴/۳cd	۴۴ab	۳۹/۷a
S1×B1×F4	۵۵/۶f-h	۵۲g-i	۴۶/۳l-n	۴۴/۱۴h-k	۴۱/۳ef	۳۸/۷j-l	۳۴/۲k-n
S1×B2×F4	۵۸/۸۸cd	۵۶/۶۶a-c	۵۴/۴b-e	۴۹/۷۸a-d	۴۱/۴۲ef	۳۹g-j	۳۷/۶b-e
S1×B3×F4	۶۱/۵ab	۵۸/۱۹a	۵۶ab	۵۱/۱۴ab	۴۵/۱۶bc	۴۱/۴de	۳۹/۷a
S1×B4×F4	۶۲/۴۵a	۵۸/۰۱a	۵۶/۵a	۵۲/۰۷a	۴۸/۱۳a	۴۵a	۴۰/۲۸a
S2×B1×F1	۴۹/۹m-o	۴۸/۱۸l-n	۴۱/۱۴r-u	۳۹/۸۵l-q	۳۶/۶op	۳۳/۱۹r-u	۳۳o-r
S2×B2×F1	۴۷/۱۸qr	۴۴q-u	۴۲/۸p-r	۴۰/۵۲k-p	۳۶/۷op	۳۷l-n	۳۱/۴t-v

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

S2×B3×F1	۵۲kl	۵۱ij	۴۷/۵k-m	۴۵/۹۴d-i	۴۵cd	۳۵op	۳۲/۴r-t
S2×B4×F1	۵۸de	۵۳/۹ef	۵۱/۹۳f-h	۴۹/۵۱a-e	۴۵/۳bc	۳۸/۹h-j	۳۶/۹d-h
S2×B1×F2	۵۳i-k	۴۸l-n	۴۴/۶n-p	۴۲/۶۲i-n	۳۹/۳g-j	۴۳/۳p-r	۲۹/۷a-z
S2×B2×F2	۴۵/۵r-t	۴۱/۹uv	۳۷/۸wx	۳۷/۱۴p-r	۳۶/۳pq	۳۴/۹o-q	۳۴/۵k-n
S2×B3×F2	۴۸/۱۱pq	۴۴/۴۵q-s	۴۱/۸q-t	۴۰/۶k-p	۳۸/۶i-l	۳۸j-l	۳۴/۸۲jk
S2×B4×F2	۵۶/۱۷fg	۵۲g-i	۴۷/۸kl	۴۴/۴۴g-k	۴۲e	۴۱/۱۲ef	۳۸/۵b
S2×B1×F3	۵۱/۹kl	۴۵p-r	۳۹/۸uv	۳۸/۶۶n-r	۳۵/۱q-s	۳۳/۸q-s	۳۱u-w
S2×B2×F3	۵۴h-j	۵۱/۵h-j	۴۷/۸kl	۴۶d-i	۴۱/۳ef	۳۷/۷k-m	۳۳/۵n-q
S2×B3×F3	۵۹cd	۵۴/۴d-f	۵۱/۸gh	۵۰/۰۶a-c	۴۳/۸d	۴۰/۱۱fg	۳۶/۵f-i
S2×B4×F3	۶۰bc	۵۵c-e	۵۳/۸c-f	۴۹/۴۸a-e	۳۵rs	۳۳/۳۴r-t	۳۲/۳۷r-t
S2×B1×F4	۵۰/۸l-n	۴۷/۸l-n	۵۰/۸hi	۴۴/۵۶g-k	۳۸/۲j-m	۳۳/۷rs	۳۰/۴v-x
S2×B2×F4	۴۹op	۴۸/۱۲l-n	۴۲q-s	۴۳/۴۴i-l	۴۴/۴۵cd	۳۷/۹r-s	۳۳/۷l-o
S2×B3×F4	۵۹cd	۵۷/۸۱ab	۵۳/۳۴d-g	۴۸/۹۳a-f	۴۴/۷cd	۴۱ef	۳۶/۵f-i
S2×B4×F4	۶۰/۹bc	۵۷/۳ab	۵۴/۱b-e	۴۹/۹a-d	۴۶/۳b	۴۴ab	۳۹/۷a
S3×B1×F1	۴۳u	۳۹/۹۹w	۳۶/۱x	۳۵/۵۱r	۳۳/۳u	۳۲v	۲۸/۸a-z
S3×B2×F1	۴۵st	۴۳stu	۳۶/۸x	۳۶/۸۶qr	۳۸k-n	۳۳s-v	۲۹/۱۷a-z
S3×B3×F1	۴۶/۳rs	۴۴/۳q-t	۳۸/۸vw	۳۷/۶p-s	۳۴/۶st	۳۲/۱v	۱۲/۳۰w-z
S3×B4×F1	۵۲/۱kl	۴۹/۰۸kl	۴۴/۸no	۴۲/۸۸i-m	۴۰/۳fg	۳۸/۲jk	۳۴/۶k-m
S3×B1×F2	۴۴/۴۵tu	۴۲/۷t-v	۳۹/۸u-v	۳۷/۲۷p-r	۳۳/۷tu	۳۲/۲t-v	۲۹/۲۳a-z
S3×B2×F2	۴۹/۳n-p	۴۶/۶n-p	۴۲/۸p-r	۴۰/۸k-p	۳۴/۰۱s-u	۳۳/۳r-t	۳۱/۵s-u
S3×B3×F2	۵۳i-k	۵۳/۱۲f-h	۴۰/۴۴s-v	۳۹/۸۷l-q	۳۳/۴tu	۳۳/۳۳r-t	۳۲/۷p-r
S3×B4×F2	۵۴/۵۵g-i	۵۰/۲۳kl	۴۸/۸kj	۴۵/۶۸e-i	۳۷/۳m-p	۳۶/۷۷l-m	۳۰/۵u-x
S3×B1×F3	۴۴/۶tu	۴۱vw	۳۶/۹wx	۳۶/۳r	۳۶/۲p-r	۳۰/۷w	۳۰/۰۱w-z
S3×B2×F3	۵۴h-j	۵۳f-h	۴۸/۸ij	۴۴/۱۸h-k	۳۸/۷i-l	۳۴/۹o-q	۳۰/۳w-y
S3×B3×F3	۴۵/۱st	۴۱vw	۳۹/۹۱t-v	۳۸/۲۸o-r	۳۶/۳pq	۳۴/۱p-s	۳۰/۸u-w
S3×B4×F3	۵۶/۱g-i	۵۴ef	۵۲/۸d-g	۴۸/۴۸a-f	۳۷/۶l-o	۳۶/۹۹l-n	۳۶/۴g-i
S3×B1×F4	۴۶r-t	۴۳/۸r-t	۴۰/۸s-u	۳۹/۰۶m-r	۳۷/۱m-p	۳۲/۱uv	۳۲/۵q-s
S3×B2×F4	۵۲/۱۲kl	۵۱ij	۴۹/۸ij	۴۶/۴۴c-i	۳۶/۳pq	۳۶no	۲۹/۱۲a
S3×B3×F4	۵۷ef	۵۵c-e	۴۵/۸mn	۴۵/۳۲f-i	۴۰gh	۳۶no	۳۴/۷j-l
S3×B4×F4	۵۸de	۵۶/۱۲b-d	۵۴/۸a-c	۴۷/۶b-h	۳۹h-k	۴۲/۵cd	۳۷/۳c-g
LSD	۱/۶۹	۱/۷۲	۱/۹۱	۴/۰۴	۱/۲	۱/۱۵	۱/۰۸

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیرکودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر شاخص نیتروژن برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
تکرار	۲	۰/۰۱۴۳**	۰/۰۱۲۸**	۰/۰۱۱**	۰/۰۱۵۶**	۰/۰۰۷۹**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۵۹**
تنش شوری (S)	۲	۰/۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۸۶**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۷۹**	۰/۰۰۰۸۸**	۰/۰۰۱۱۳**	۰/۰۰۰۹۶**
کودهای زیستی (B)	۳	۰/۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۱۵**	۰/۰۰۰۸۷**	۰/۰۰۰۲۲**	۰/۰۰۰۳۹**	۰/۰۰۰۳۷**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۰/۰۰۰۴**	۰/۰۰۰۵۱**	۰/۰۰۰۷۲**	۰/۰۰۰۳۹**	۰/۰۰۰۲۲**	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۰۵*
S×B	۶	۰/۰۰۰۱۷**	۰/۰۰۰۱۳**	۰/۰۰۰۱۵**	۰/۰۰۰۰۹*	۰/۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۰۸*	۰/۰۰۰۰۲^{ns}
S×F	۶	۰/۰۰۰۱۲*	۰/۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۹*	۰/۰۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۲^{ns}
B×F	۹	۰/۰۰۰۱۳**	۰/۰۰۰۱۶**	۰/۰۰۰۱۲**	۰/۰۰۰۰۸*	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۸*	۰/۰۰۰۰۵*
S×B×F	۱۸	۰/۰۰۰۰۹*	۰/۰۰۰۱۲**	۰/۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۶*	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۴*	۰/۰۰۰۰۳*
خطا	۹۴	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۲
ضریب تغییرات		۶/۴	۵/۲	۴/۷	۶/۵	۴/۶	۷/۸	۶/۸

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

آنهیدراز، دخالت در تنظیم غلظت‌های سیتوپلاسمی آهن و منیزیم و افزایش جذب نیتروژن و فسفر (محمودسلطانی و همکاران، ۱۳۹۹)، منجر به افزایش محتوای کلروفیل و به تبع از آن منجر به افزایش شاخص کلروفیل شده است. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش شاخص کلروفیل با کاربرد نانوذرات روی توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (آقایی و همکاران، ۱۴۰۱). بخشی از بهبود شاخص سبزینگی برگ با کاربرد پوترسین می‌تواند ناشی از تأثیر این ماده در تنظیم یون‌هایی مانند پتاسیم و جذب آب در داخل و خارج سلول، بهبود وضعیت جذب و تجمع نیتروژن باشد (Mohammadi *et al*., 2024).

شاخص نیتروژن برگ پرچم: تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر شاخص نیتروژن برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

روند تغییرات این شاخص مشابه تغییرات شاخص سبزینگی برگ بود. به‌طوری‌که مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بود، ولی با نزدیک‌شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین پیرشدن برگ‌ها، همانند شاخص سبزینگی برگ (جدول ۴) از روند نزولی برخوردار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد در بالاترین سطح شوری در ۸۴ روز پس از کاشت، حداکثر این شاخص (۰/۰۷۸۲) در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی) مشاهده شد (جدول ۶) که در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی در همین سطح از سطوح شوری، از افزایش ۲۱/۶ درصدی برخوردار بود (جدول ۶). از آنجایی‌که ۷۰ درصد از نیتروژن برگ در کلروپلاست ذخیره شده و از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده رنگیزه‌های کلروفیلی در کلروپلاست برگ است، از این‌رو در شرایط تنش‌های محیطی، کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز موجب کاهش متابولیسم نیتروژن و در نتیجه کاهش تجمع نیتروژن و به تبع از آن منجر به کاهش شاخص نیتروژن می‌شود (معینی‌راد و همکاران، ۱۴۰۰). در چنین شرایطی کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دلیل برخورداری از مقادیر بالایی از نیتروژن و فسفر (جدول ۲)،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر شاخص نیتروژن برگ پرچم جو تحت تنش شوری

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری شاخص نیتروژن (روز پس از کاشت)						
	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
S1×B1×F1	۰/۰۹۸۹m-o	۰/۰۹۵۷l-n	۰/۰۹۱۵n	۰/۰۸۵۲j-o	۰/۰۸۱h-k	۰/۰۷۶۹n	۰/۰۶۷۳u-x
S1×B2×F1	۰/۰۹۵۷pq	۰/۰۹۴۵m-o	۰/۰۹۳۱	۰/۰۸۹۶j-k	۰/۰۷۸۶l-o	۰/۰۷۷۷l-n	۰/۰۷۶۶hi
S1×B3×F1	۰/۰۹۸۹m-o	۰/۰۹۱۸o-q	۰/۰۸۳۹s-u	۰/۰۸۵۲j-o	۰/۰۸۱۵g-j	۰/۰۸۱۰g-h	۰/۰۷۵۶ij
S1×B4×F1	۰/۱۱۳۶cd	۰/۱۰۸۹b-d	۰/۱۰۶۵a-d	۰/۰۹۸۴a-e	۰/۰۸۸۸d	۰/۰۸۷۵bc	۰/۰۷۹۵bc
S1×B1×F2	۰/۱۰۳۸i-k	۰/۱۰۰۶ij	۰/۰۹۰۶no	۰/۰۸۷۷i-m	۰/۰۸۴۷ef	۰/۰۷۹۴j-l	۰/۰۷۰۵p-r
S1×B2×F2	۰/۱۰۷۱gh	۰/۱۰۲۲g-i	۰/۰۹۷jk	۰/۰۹۲۴d-i	۰/۰۸۴۷ef	۰/۸۰۸h-j	۰/۰۷۵۶ij
S1×B3×F2	۰/۱۰۲۸j-l	۰/۰۹۶۵k-m	۰/۰۸۸p-q	۰/۰۸۳۷k-p	۰/۰۷۷۶n-p	۰/۸۱g-j	۰/۰۷۸۵b-f
S1×B4×F2	۰/۱۱۰۴ef	۰/۱۰۴۵e-g	۰/۱۰۳e-h	۰/۰۹۶۵a-g	۰/۰۸۳۳fg	۰/۰۸۱۶g-i	۰/۰۷۹۲b-d
S1×B1×F3	۰/۱۰۰۶lm	۰/۰۹۰۲q-s	۰/۰۸۵q-u	۰/۰۸۲۶l-q	۰/۰۷۸۲m-p	۰/۰۷۷۴	۰/۰۷۲۲m-p
S1×B2×F3	۰/۰۹۷۳op	۰/۰۹۵۷l-m	۰/۰۸۷۲p-r	۰/۰۸۳۵k-p	۰/۰۸۱۷g-i	۰/۰۸۱g-j	۰/۰۷۸۴c-f
S1×B3×F3	۰/۱۰۸۷fg	۰/۱۱۱۸a	۰/۱۰۱۹gh	۰/۰۹۳۴c-i	۰/۰۸۳۱fg	۰/۰۸۲۶f-h	۰/۰۷۷۱e-i
S1×B4×F3	۰/۱۱۶۱bc	۰/۱۱۱۷ab	۰/۱۰۶۸a-c	۰/۱ab	۰/۰۸۹۶cd	۰/۰۸۹۱ab	۰/۰۸۲۱a
S1×B1×F4	۰/۱۰۸۱f-h	۰/۱۰۲۲g-i	۰/۰۹۲۹mn	۰/۰۸۹۴h-k	۰/۰۸۴۷ef	۰/۰۸۰۵i-k	۰/۰۷۳۲k-n
S1×B2×F4	۰/۱۱۳۴cd	۰/۱۰۹۸a-c	۰/۱۰۶b-d	۰/۰۹۸۶a-d	۰/۰۸۴۹ef	۰/۰۸۱g-j	۰/۰۷۸۷b-e
S1×B3×F4	۰/۱۱۷۷ab	۰/۱۱۲۳۰a	۰/۱۰۸۷ab	۰/۱۰۰۸ab	۰/۰۹۱bc	۰/۰۸۴۹de	۰/۰۸۲۱a
S1×B4×F4	۰/۱۱۹۳a	۰/۱۱۲۳a	۰/۱۰۹۶a	۰/۱۰۲۳a	۰/۰۹۵۹a	۰/۰۹۰۸a	۰/۰۸۳۱a
S2×B1×F1	۰/۰۹۸۸m-o	۰/۰۹۶۰l-n	۰/۰۸۴۵	۰/۰۸۲۴r-u	۰/۰۷۷۱l-q	۰/۰۷۱۵r-u	۰/۰۷۱۲o-r
S2×B2×F1	۰/۰۹۴۳qr	۰/۰۸۹۱q-t	۰/۰۸۷p-q	۰/۰۸۳۵k-p	۰/۰۷۷۲op	۰/۰۷۷۷l-n	۰/۰۶۸۶t-v
S2×B3×F1	۰/۱۰۲۲kl	۰/۱۰۰۶ij	۰/۰۹۴۹l-n	۰/۰۹۲۳d-i	۰/۰۹۰۸c	۰/۰۷۴۵op	۰/۰۷۰۲r-t
S2×B4×F1	۰/۱۱۲۰de	۰/۱۰۵۳ef	۰/۱۰۲۱f-h	۰/۰۹۸۱a-e	۰/۰۹۱۳bc	۰/۰۸۰۸h-j	۰/۰۷۷۶d-h
S2×B1×F2	۰/۱۰۳۸i-k	۰/۰۹۵۷l-m	۰/۰۹۰n-p	۰/۰۸۶۹i-n	۰/۰۸۱۵g-j	۰/۰۷۳۳p-r	۰/۰۶۵۸x-z
S2×B2×F2	۰/۰۹۱۶r-t	۰/۰۸۵۷uv	۰/۰۷۹۰wx	۰/۰۷۸۰p-r	۰/۰۷۶۶pq	۰/۰۷۴۳o-q	۰/۰۷۳۶k-n
S2×B3×F2	۰/۰۹۵۹pq	۰/۰۸۹۹q-s	۰/۰۸۵۶q-s	۰/۰۸۳۶k-p	۰/۰۸۰۳i-l	۰/۰۷۹۴j-l	۰/۰۷۴۲jk
S2×B4×F2	۰/۱۰۹fg	۰/۱۰۲۲g-i	۰/۰۹۵۴kl	۰/۰۸۹۹g-k	۰/۰۸۵۹e	۰/۰۸۴۴ef	۰/۰۸۰۲b
S2×B1×F3	۰/۱۰۲kl	۰/۰۹۰۸	۰/۰۸۲۳uv	۰/۰۸۰۴n-q	۰/۰۷۴۶q-s	۰/۰۷۲۵q-s	۰/۰۶۷۹u-w
S2×B2×F3	۰/۱۰۵۵h-j	۰/۱۰۱۴h-j	۰/۰۹۵۴kl	۰/۰۹۲۴c-i	۰/۰۸۴۷ef	۰/۰۷۸۹k-m	۰/۰۷۲n-q
S2×B3×F3	۰/۱۱۳۶cd	۰/۱۰۶۱d-f	۰/۱۰۱۹gh	۰/۰۹۹a-c	۰/۰۸۸۸d	۰/۰۸۲۸fg	۰/۰۷۶۹f-i
S2×B4×F3	۰/۱۱۵۳bc	۰/۱۰۷۱c-e	۰/۱۰۵۱c-f	۰/۰۹۸۱a-e	۰/۰۷۴۵rs	۰/۰۷۱۷r-t	۰/۰۷۰۲r-t
S2×B1×F4	۰/۱۰۰۲l-n	۰/۰۹۵۴l-n	۰/۱۰۰۲hi	۰/۰۹۰۱g-k	۰/۰۷۹۷j-m	۰/۰۷۲۳rs	۰/۰۶۷۷v-x
S2×B2×F4	۰/۰۹۷۳op	۰/۰۹۵۹l-n	۰/۰۸۵۹q-s	۰/۰۸۸۲i-l	۰/۰۸۹۹cd	۰/۰۷۹۲j-m	۰/۰۷۲۳l-o
S2×B3×F4	۰/۱۱۳۶cd	۰/۱۱۱۷ab	۰/۱۰۴۴c-g	۰/۰۹۷۲a-f	۰/۰۹۰۳cd	۰/۰۸۴۳ef	۰/۰۷۶۹f-i
S2×B4×F4	۰/۱۱۶۷ab	۰/۱۱۰۹ab	۰/۱۰۶b-d	۰/۰۹۸۸a-d	۰/۰۹۲۹b	۰/۰۸۹۱ab	۰/۰۸۲۱a
S3×B1×F1	۰/۰۸۷۵u	۰/۰۸۲۶w	۰/۰۷۶۳x	۰/۰۷۵۳r	۰/۰۷۱۷u	۰/۰۶۷۴w	۰/۰۶۴۳z

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

S3×B2×F1	۰/۰۹۰۸st	۰/۰۸۷۵s-u	۰/۰۷۷۴x	۰/۰۷۷۵p-r	۰/۰۷۹۴k-n	۰/۰۷۱۲s-u	۰/۰۶۴۹
$S_3×B_3×F_1$	۰/۰۹۲۹rs	۰/۰۸۹۶q-t	۰/۰۸۰۷vw	۰/۰۷۸۷o-r	۰/۰۷۳۸st	۰/۰۶۹۶v	۰/۰۶۶۵w-y
$S_3×B_4×F_1$	۰/۱۰۲۴kl	۰/۰۹۷۴kl	۰/۰۹۰۵no	۰/۰۸۷۳i-m	۰/۰۸۳۱fg	۰/۰۷۹۷jk	۰/۰۷۳۸k-m
$S_3×B_1×F_2$	۰/۰۸۹۹tu	۰/۰۸۷۰t-v	۰/۰۸۲۳uv	۰/۰۷۸۲p-r	۰/۰۷۲۳tu	۰/۰۶۹۹t-v	۰/۶۵۰yz
$S_3×B_2×F_2$	۰/۰۹۷۸n-p	۰/۰۹۳۴n-p	۰/۰۸۷۲p-r	۰/۰۸۴k-p	۰/۰۷۲۸s-u	۰/۰۷۱۷r-t	۰/۰۶۸۷s-u
$S_3×B_3×F_2$	۰/۱۰۳۸i-k	۰/۱۰۴۰f-h	۰/۰۸۳۳s-v	۰/۰۸۲۴	۰/۰۷۱۸u	۰/۰۷۱۷r-t	۰/۰۷۰۷o-r
$S_3×B_4×F_2$	۰/۱۰۶۴g-i	۰/۰۹۹۳jk	۰/۰۹۷jk	۰/۰۹۱۹e-h	۰/۰۷۸۲m-p	۰/۰۷۷۳mn	۰/۰۶۷۱u-x
$S_3×B_1×F_3$	۰/۰۹۰۱tu	۰/۰۸۴۳vw	۰/۰۷۷۶wx	۰/۰۷۶۶qr	۰/۰۷۶۴p-r	۰/۰۶۹۶v	۰/۰۶۶۳w-y
$S_3×B_2×F_3$	۰/۱۰۵۵h-j	۰/۱۰۳۸f-h	۰/۰۹۷۰jk	۰/۰۸۹۴h-k	۰/۰۸۰۵i-l	۰/۰۷۴۳o-q	۰/۰۶۶۸wx
$S_3×B_3×F_3$	۰/۰۹۰۹st	۰/۰۸۴۳vw	۰/۰۸۲۵t-v	۰/۰۷۹۸o-r	۰/۰۷۶۶pq	۰/۰۷۳۰p-s	۰/۰۶۷۶u-w
$S_3×B_4×F_3$	۰/۱۰۸۹fg	۰/۱۰۵۵ef	۰/۱۰۳d-g	۰/۰۹۶۵a-g	۰/۰۷۸۷l-o	۰/۰۷۷۷l-n	۰/۰۷۶۷g-i
$S_3×B_1×F_4$	۰/۰۹۲۴r-t	۰/۰۸۸۸r-t	۰/۰۸۳۹s-u	۰/۰۸۱m-r	۰/۰۷۹۹m-p	۰/۰۶۹۷uv	۰/۰۷۰۴q-s
$S_3×B_2×F_4$	۰/۱۰۲۴kl	۰/۱۰۰۶j	۰/۰۹۸۶ij	۰/۰۹۳۱c-i	۰/۰۷۶۶pq	۰/۰۷۶۱no	۰/۰۶۴۹z
$S_3×B_3×F_4$	۰/۱۱۰۴ef	۰/۱۰۷۱c-e	۰/۰۹۲۱mn	۰/۰۹۱۳f-j	۰/۰۸۲۶gh	۰/۰۷۶۱no	۰/۰۷۴۰j-l
$S_3×B_4×F_4$	۰/۱۱۲۰de	۰/۱۰۸۹b-d	۰/۱۰۶۸a-c	۰/۰۹۵۰b-g	۰/۰۸۱h-k	۰/۰۸۶۷cd	۰/۰۷۸۲c-g
LSD	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۸

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

موجب افزایش شاخص نیتروژن برگ شد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش شاخص نیتروژن تریتیکاله با کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط شوری، توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (صورآذر و سیدشریفی، ۱۴۰۲). بخشی از افزایش شاخص نیتروژن در کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از خاصیت اسید هیومیکی این ماده باشد که با کمک به بهبود جذب نیتروژن در طول دوره رشد، موجب افزایش نیتروژن برگ‌ها می‌شود (Liu *et al.*, 2019). روی نیز یک عنصر ضروری برای بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاه از جمله جذب و متابولسیم نیتروژن است، از این‌رو کاربرد نانواکسید روی به دلیل تأثیر غیرمستقیم روی در افزایش جذب نیتروژن (Alloway, 2008)، و محلول‌پاشی پوترسین به دلیل تأثیر این ماده در افزایش جذب و تجمع نیتروژن در گیاهان (Hosseini Farahi and Aboutalebi Jahroomi, 2018)، می‌تواند از دلایل اصلی افزایش شاخص نیتروژن به‌واسطه کاربرد این مواد باشد.

هدایت الکتریکی برگ پرچم: تیمار توأم تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر هدایت الکتریکی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). در تمامی سطوح شوری، هدایت الکتریکی برگ پرچم با گذشت زمان از روند صعودی برخوردار بود (جدول ۸). در ۸۴ روز بعد از کاشت تحت شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار، تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، موجب کاهش ۲۹/۸ درصدی هدایت الکتریکی نسبت به شرایط عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر هدایت الکتریکی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
تکرار	۲	۱۰۶۱۸/۱**	۱۰۸۲۶/۲**	۱۳۳۵۸/۷**	۱۴۱۱۱/۹**	۱۵۱۷۵/۵**	۱۷۴۲۷/۵**	۲۰۲۸۶/۱**
تنش شوری (S)	۲	۵۳۲۵/۹**	۴۲۱۲/۷**	۴۳۴۸/۲**	۳۹۹۸/۹**	۳۹۹۰/۱**	۴۲۲۲/۲**	۴۲۲۹/۵**
کودهای زیستی (B)	۳	۲۴۳۹/۵**	۲۰۵۴/۳**	۱۷۹۸/۸**	۱۷۳۷/۸**	۱۶۶۸/۵**	۱۹۱۸/۹**	۱۹۱۱/۵**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۷۲۳/۷**	۵۶۲/۸**	۵۹۴/۶**	۵۹۵/۱**	۶۱۸/۴**	۵۵۶/۵**	۳۹۲/۹**
S×B	۶	۶۹/۹**	۶۰/۳**	۵۶/۶**	۲۶/۸**	۲۷/۴**	۶۳/۳**	۴۵/۷**
S×F	۶	۴۱/۲**	۵۵/۱**	۲۲/۶**	۱۸/۳**	۱۹/۸**	۲۶/۶**	۱۱/۷^{ns}
B×F	۹	۳۱/۷**	۱۹/۸**	۲۵/۴**	۳۴/۶**	۳۹/۶**	۲۲/۴**	۲۲/۵**
S×B×F	۱۸	۱۰/۴*	۱۴/۷**	۲۷/۲**	۱۰/۷**	۹/۲**	۸/۶**	۹/۸**
خطا	۹۴	۶/۶	۸/۱	۴/۸	۴/۴	۴/۳	۴/۷۵	۴/۵۶
ضریب تغییرات		۱۳	۳/۸	۶/۲	۴/۴	۷/۳	۸/۲	۷

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

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر هدایت الکتریکی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری هدایت الکتریکی (روز پس از کاشت)						
	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
S1×B1×F1	۷۸/۶۸k-n	۷۷/۷۲j-m	۸۵/۸۶m-o	۸۹/۱l-n	۹۲/۱۱j-m	۹۹/۹۵i-k	۱۰۵/۲۹k-n
S1×B2×F1	۶۷/۸۵t-v	۶۴/۸t-w	۷۸/۹۵st	۷۹/۴۳u-y	۸۴/۱۲r-t	/۸۵pq۸۹	۹۸/۲۳q-s
S1×B3×F1	۶۵/۶۹v-x	۶۷/۷۳r-t	۷۶/۲t-v	۸۱/۴۵s-w	۸۲/۸۱s-u	۸۷/۷۷q-s	۹۳/۸۹t-v
S1×B4×F1	۵۸/۷۱a-z	۶۱/۱۵x-z	۶۷/۷۵a-d	۷۱/۹۵b-e	۷۵/۱۲a-z	۸۱/۳۲u-x	۹۰/۴۸v-y
S1×B1×F2	۷۶/۶۶m-o	۷۷/۳۷k-n	۸۴/۶۲n-p	۸۴/۱۸p-s	۸۷/۴o-r	۹۸/۲۹j-l	۱۰۲/۵n-p
S1×B2×F2	۶۳/۵۰w-y	۶۲/۹۴u-y	۷۴/۷۸u-w	۷۶/۸a-z	۷۸/۲۵w-y	۸۴/۸۸st	۹۲/۱u-w
S1×B3×F2	۶۰/۱۷yz	۶۱/۱x-z	۷۱/۷۲w-z	۷۲/۰۵b-e	۷۵/۲۴a-z	۸۲/۴۹t-w	۹۱/۳۶v-x
S1×B4×F2	۵۶/۰۴ab	۵۹/۳۹zy	/۹۳cd۶۵	۷۰/۱۴d-f	۷۳/۵۶a-c	۷۹/۰۵w-y	۸۹/۱۶w-z
S1×B1×F3	۷۵/۳n-p	۷۷/۹۴i-l	۸۳/۱o-r	۸۷/۱۴m-p	۹۰/۳۳m-p	۹۵/۸۵l-n	۱۰۴/۳۶l-o
S1×B2×F3	۵۸/۲۶a-z	۶۲/۳۴v-y	۶۹/۸a-z	۷۵/۰۷a-z	۸۰u-x	۸۰/۰۶v-y	۸۷/۴۷a-z
S1×B3×F3	۶۱/۷۵x-z	۶۶/۴۹s-v	۷۳/۱۷v-y	۷۳/۹۸a-c	۷۷/۱۶x-z	۸۳/۹۶tu	۹۵/۰۳s-u
S1×B4×F3	۵۵/۶۵ab	۵۹/۷۳	۶۵/۹۵cd	۶۹/۲۵ef	۷۲/۳۴bc	۷۷/۸۷xy	۸۶/۱۲a-z
S1×B1×F4	۶۹/۱r-v	۷۲/۶o-q	۸۱/۸۱p-r	۸۲/۳۷r-u	۸۵/۴۹q-s	۹۱/۱۸o-q	۱۰۱/۳o-q
S1×B2×F4	۵۸/۴a-z	۶۰/۱۱x-z	۶۹ a-z	۷۱/۴c-e	۷۴/۰۴a-z	۸۱/۳u-x	۸۶/۰۶a-z
S1×B3×F4	۵۵/۷۵ab	۶۱/۰۴x-z	۶۶/۸۵b-d	/۳ef۶۹	۷۲/۵bc	۷۷/۹xy	۸۸/۰۷x-z
S1×B4×F4	۵۳/۸۸b	۵۷/۱۸z	۶۴/۲۸d	۶۷/۲۵f	۷۱/۶۸c	۷۷/۰۵y	۸۴/۰۹a-z
S2×B1×F1	۸۸/۲۹d-g	۹۰/۲۱b-d	۹۶/۸۳b-d	۹۸/۹۲de	۱۰۲/۴۱b-d	۱۰۷/۴۷c-f	۱۱۵/۲۹de
S2×B2×F1	۸۲/۷۵h-j	۸۴/۴۳e-h	۹۱/۴h-k	۹۳/۳۳h-k	۹۹/۲۵d-f	۱۰۲/۷۱g-i	۱۰۸/۵h-k

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

S2×B3×F1	۸۱/۲i-l	۸۰/۴۴h-k	۸۷/۶k-n	۹۱/۳۷j-l	۹۴/۴۸i-k	۱۰۱/۱۴h-j	۱۰۶/۶j-m
S2×B4×F1	۶۸/۸۶s-v	۷۰/۱۴p-s	۷۹/۵۹r-t	۸۴/۱۶p-s	۸۷/۴۵o-r	۹۱/۱۶o-q	۹۶/۸۱r-t
S2×B1×F2	۴۸/۶۸f-i	۸۶/۰۳d-g	۹۵/۱۷c-g	۹۶/۲۱e-h	۹۶/۵۶f-i	۱۰۴/۶۴e-h	۱۱۲/۷e-g
S2×B2×F2	۷۹/۶۹j-m	۷۹/۱۵i-l	۸۳/۱۵o-r	۸۵/۹۳n-q	۸۹/۲۴m-p	۱۰۰i-k	۱۰۳/۶m-p
S2×B3×F2	۶۹/۷۹r-u	۷۶/۲l-o	۸۵/۸۴m-o	۸۱/۴۶s-v	۸۳/۳۷s-u	۹۲/۴n-p	۹۸/۲۷q-s
S2×B4×F2	۶۵/۲v-x	۶۴/۱۵t-x	۸۴/۸۱u-w	۸۰/۰۵t-x	۸۴/۲r-t	۸۵/۶r-t	۹۳/۵۸t-v
S2×B1×F3	۸۶/۶۶e-h	۸۷/۰۱c-f	۹۵/۵b-c	۹۸/۱۸d-f	۱۰۱/۳۳c-e	۱۰۶/۱۸d-g	۱۱۳/۲e-g
S2×B2×F3	۷۴/۹۵n-p	۷۱/۳۵p-r	۸۸/۸۵j-m	۸۹/۱۷l-n	۹۱/۷k-n	۹۶/۸۱k-m	۱۰۱/۲o-q
S2×B3×F3	۷۲/۷۳p-s	۷۳/۰۲n-p	۸۱q-s	۸۵/۴۷o-r	۸۸/۶۸n-q	۹۳/۹۵m-o	۱۰۴/۴l-o
S2×B4×F3	۶۱/۷۶x-z	۶۵/۹۷s-v	۷۱/۷۵w-z	۷۶/۳۹a-z	۷۹/۳۷v-x	۸۳/۹۷tu	۹۲/۰۷u-w
S2×B1×F4	۸۴/۴h-g	۸۲/۲۳g-j	۹۲f-j	۹۴/۵۶g-j	۹۷/۱۴f-h	۱۰۴/۲۲f-h	۱۱۱/۶۵f-g
S2×B2×F4	۷۳p-r	۶۸/۱۹q-s	۷۶/۸۵tu	۷۵/۰۴a-z	۸۱/۶۸t-v	۹۳/۹۸m-o	۱۰۰/۱۴p-r
S2×B3×F4	۶۶/۶۷u-w	۷۳/۰۵n-p	۷۰/۶۹a-z	۷۸/۱v-y	۷۸/۲۳xy	۸۸/۸۴qr	۹۶/۰۴st
S2×B4×F4	۶/۶yz	۶۲/۹۸u-y	۶۹/۰۶	۷۳/۵۲a-d	۷۶/۷۰a-z	۸۲/۶۱t-v	۸۹/۱۸w-z
S3×B1×F1	۹۶/۷۳a	۹۰/۴۱a	۱۰۰/۷a	۱۰۴/۳۶a	۱۰۷/۶۷a	۱۱۳/۹۷a	۱۲۳/۷۸a
S3×B2×F1	۹۴/۶ab	۹۰/۴b-d	۹۶/۳۵b-e	۱۰۲/۳۶a-c	۱۰۲/۴۵b-d	۱۱۲/۱۴ab	۱۱۷/۸b-d
S3×B3×F1	۹۲/۷b-d	۹۳/۲ab	۹۸/۶۲a-c	۹۸/۹۵c-e	/۳۲ab۱۰۵	۱۱۰/۱۷bc	۱۱۵/۸۰c-e
S3×B4×F1	۸۱/۹۳i-k	۸۱/۰۱h-k	۹۳/۹۳d-h	۹۲/۰۷i-l	۹۵/۱۵g-i	۱۰۲/۲۳hi	۱۱۰/۱۹g-i
S3×B1×F2	۹۳/۸۹ab	۹۰/۹۳bc	۹۷/۷۳a-c	۱۰۰/۸۰a-d	۱۰۴/۰۷bc	۱۱۲/۲ab	۱۱۹/۹b
S3×B2×F2	۸۹/۶۱c-e	۸۹/۲۵b-d	۹۸/۷۵ab	۹۷/۴۷d-g	۹۸e-g	۱۰۹/۳۸b-d	۱۱۵/۰۱d-f
S3×B3×F2	۸۲/۷۷h-j	۸۹/۲۷b-d	۹۲/۷۹e-i	۹۶/۱۸e-h	۹۹/۲۸d-f	۱۰۲/۷۷g-i	۱۱۳/۲e-g
S3×B4×F2	۷۴/۵۹o-q	۷۱/۸۷o-r	۹۱/۷۳g-j	۹۰/۳۶k-m	۹۳/۵۷i-l	۹۶/۹۸k-m	۱۰۷/۲۲i-l
S3×B1×F3	۹۲/۶۳bc	۹۳/۲۳ab	۹۷/۷a-d	۱۰۲/۳۸ab	۱۰۵/۳۵ab	۱۱۰/۷۸a-c	۱۱۹/۲۲bc
S3×B2×F3	۸۸/۵۹d-f	۸۷/۹c-e	۹۵/۱۸c-g	۹۵/۱۷f-i	۱۰۰/۷۵c-e	۱۰۷/۸۹c-e	۱۱۴/۷d-f
S3×B3×F3	۹۰/۸۴b-d	۸۲/۸f-i	۹۰/۱۶i-k	۹۳/۳h-k	۹۶/۵۶f-i	۱۰۹/۳۹b-d	۱۱۰/۲۱g-i
S3×B4×F3	۷/۷q-t	۷۶/۲۳l-o	۸۴/۲۲n-q	۸۲/۸۹q-t	۸۶/۰۸p-s	۹۲/۷۱n-p	۹۹/۶۹p-r
S3×B1×F4	۸۵/۹۸e-h	۸۵/۹۲d-g	۹۶/۹b-d	۱۰۰/۱۵b-d	۱۰۳/۶bc	۱۰۵/۸۴e-g	۱۱۷/۴b-d
S3×B2×F4	۷۷/۹۱l-o	۷۴/۳۷m-p	۸۸/۸۲j-m	۸۷/۸۰m-o	۹۳/۶i-l	۹۸/۶۹j-l	۱۰۹/۱۲h-j
S3×B3×F4	۷۳/۸۲pq	۷۷/۸۷j-m	۸۶/۹۵l-n	۹۰/۲۹k-m	۹۰/۳۵l-o	۹۵/۳l-n	۱۰۷/۲۵i-l
S3×B4×F4	۶۵/۷۳v-x	۶۷/۳۴r-u	۷۳/۶۸u-x	۷۸/۰۳w-z	۸۱/۶۶t-w	۸۷/۷۹q-s	۹۵/۳۶s-u
LSD	۳/۹۹	۴/۶۳	۳/۵۶	۳/۴۲	۳/۴۱	۳/۵۳	۳/۴۶

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

سطوح شوری شد (جدول ۸).

از آنجایی‌که تنش‌های محیطی نظیر شوری از طریق ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در داخل سلول و القای تنش اکسیداتیو، موجب کاهش پایداری غشاء و افزایش نشت مواد سیتوپلاسمی می‌شود، همین عوامل می‌تواند از دلایل اصلی افزایش هدایت الکتریکی باشد (Azari *et al.*, 2012)، ولی در چنین شرایطی مصرف کودهای زیستی و آلی (قارچ میکوریز آربوسکولار و ورمی‌کمپوست) با بهبود وضعیت غشایی و روزنه‌ای، مانع از خروج بیشتر مواد به بیرون از سلول گیاهی شده و موجب می‌شود هدایت الکتریکی کاهش یابد (نظری و همکاران، ۱۴۰۰). از طرفی کلسیم موجب کنترل ورود و خروج انتخابی یون‌ها می‌شود (Marschner, 1995) و مقادیر بالای کلسیم می‌تواند موجب کاهش نفوذ سدیم به غشاء پلاسمایی و کاهش تجمع سدیم توسط انتقال غیرفعال شده و در نهایت منجر به بهبود هدایت الکتریکی شود (Cramer *et al.*, 1986). از این‌رو به نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست با دارا بودن مقادیر بالایی از مواد معدنی به‌ویژه روی و کلسیم (جدول ۲) ضمن افزایش پایداری غشاهای زیستی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، موجب کاهش هدایت الکتریکی شده است (Beyk-Khormizi *et al.*, 2023). همچنین قارچ میکوریز با کمک به افزایش محتوای نسبی آب در گیاه (جدول ۱۲) ضمن کاهش اثرات ناشی از تنش و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن، می‌تواند موجب افزایش یکپارچگی غشاء و کاهش هدایت الکتریکی برگ شود (Benaffari *et al.*, 2022). صور آذر و سیدشریفی (۱۴۰۲) نیز اظهار داشتند کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط شوری به‌دلیل پایداری غشا و ممانعت از نشت یون‌ها به خارج از سلول، موجب کاهش هدایت الکتریکی در تریتیکاله شد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش هدایت الکتریکی با کاربرد نانواکسید روی توسط دیگر محققان گزارش شده است (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲). پوترسین به‌عنوان یکی از پلی‌آمین‌ها، با اتصال به غشای سلولی قادر به حذف رادیکال‌های آزاد و محافظت از گیاهان در برابر تنش‌هایی مانند شوری است. از این‌رو به نظر می‌رسد محلول‌پاشی پوترسین با تسریع در حذف گونه‌های فعال اکسیژن، ضمن کاهش اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو (Zhang *et al.*, 2014) و افزایش پایداری غشاء (Jalili *et al.*, 2023) موجب کاهش هدایت الکتریکی شده است.

هدایت روزنه‌ای برگ پرچم: تیمار توأم تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). هدایت روزنه‌ای برگ پرچم با گذشت زمان در تمامی سطوح شوری، از روند نزولی برخوردار بود ولی با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، روند تغییرات این شاخص، نوسان کمتری نشان داد (جدول ۱۰). در ۸۴ روز بعد از کاشت در شوری ۸۰ میلی‌مولار، بیشترین هدایت روزنه‌ای (۲۲/۱۵ $mmolH_2o.m^{-2}.sec$) در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش مشاهده شد که از افزایش ۷۷/۹ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از تنش شوری برخوردار بود (جدول ۱۰).

بخشی از کاهش هدایت روزنه‌ای با افزایش تنش شوری می‌تواند ناشی از کاهش محتوای نسبی آب باشد (جدول ۱۲). ولی استفاده از تعدیل‌کننده‌های تنش به‌دلیل کمک به افزایش محتوای نسبی آب در تمامی مراحل نمونه‌برداری (جدول ۱۲) منجر به افزایش هدایت روزنه‌ای شد که با نتایج بررسی‌های صورآذر و سیدشریفی (۱۴۰۲) یکسان است. به‌نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست به دلیل برخورداری از مقادیر بالایی از کلسیم (جدول ۲) با ایجاد تخلل در بافت خاک و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲)، در نهایت منجر به بهبود هدایت روزنه‌ای (جدول ۱۰) می‌شود که با نتایج بررسی‌های فاروقی و همکاران (Farooqi *et al.*, 2024) مبنی بر اینکه کاربرد ورمی‌کمپوست با کمک به بهبود جذب آب و افزایش محتوای نسبی آب، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای گندم تحت شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۹- تجزیه واریانس تأثیرکودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
تکرار	۲	۲۵۶۹/۲**	۲۳۱۴/۵**	۲۰۷۷/۹**	۱۷۰۶/۸**	۱۵۵۸/۳**	۱۰۹۲/۲**	۶۷۶/۳**
تنش شوری (S)	۲	۷۲۴/۷**	۶۹۳/۳**	۴۹۰/۷**	۳۹۵/۳**	۴۲۷/۹**	۳۵۶/۶**	۳۸۲/۸**
کودهای زیستی (B)	۳	۲۷۰**	۵۲۲/۸**	۳۸۳/۳**	۴۴۳/۹**	۳۲۳/۶**	۲۹۵/۱**	۲۶۲/۶**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۱۲۳/۸**	۵۴/۳**	۳۸۳/۳۸**	۵۲/۱**	۳۹/۷۹**	۲۱/۱**	۳۵/۵**
S×B	۶	۱۶۹/۹**	۱۵/۵**	۴۲/۱**	۱۲/۹**	۵/۶*	۹/۶**	۲/۱۱ns
S×F	۶	۱۸/۹*	۱۱/۲**	۱۳/۲**	۴/۱۹ns	۳/۱۲ns	۴/۶ns	۳/۶ns
B×F	۹	۱۱/۶ns	۷/۵*	۷/۱**	۱۶/۶**	۱۱/۳**	۱۲/۷**	۵/۴**
S×B×F	۱۸	۲۵/۴**	۵/۹*	۹/۱**	۵/۴*	۹/۷*	۵/۴۳*	۸/۱*
خطا	۹۴	۶/۴	۳/۵	۲/۳	۳/۵	۲/۲	۳/۷	۱/۸۹
ضریب تغییرات		۶/۹	۵/۸	۴/۶	۵/۸	۴/۹	۷/۳	۷/۳

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

جدول ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم جو تحت تنش شوری

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری هدایت روزنه‌ای ($mmolH_2o.m^{-2}.sec$) (روز پس از کاشت)						
	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
S1×B1×F1	۳۴/۲۵s-u	۳۱/۸۶q-s	۳۰/۹r-u	۲۸/۱۴q-s	۲۵/۹۱q-s	۲۰/۹۵s-v	۱۶/۲۳t-w
S1×B2×F1	۳۸/۹۲j-m	۳۵/۸۶j-m	۳۵/۳۴g-i	۳۰l-p	۳۰/۲۲g-j	۲۵/۰۵j-l	۲۰/۹۴h-j
S1×B3×F1	۳۷/۳۶o-q	۳۸/۴۲g-i	۳۳/۷۸j-m	۳۱/۲۸j-m	۳۰/۹۹e-h	۲۶/۰۸h-j	۲۰/۰۴j-k
S1×B4×F1	۴۲/۵۶e-h	۴۰/۷۲cd	۳۸/۹۲a-c	۳۶/۲۵a-c	۳۳/۳۳bc	۲۸/۲۳c-e	۲۳/۳۴b-d
S1×B1×F2	۳۵/۹۴q-s	۳۴/۱۵n-p	۳۱/۱۲q-t	۲۹/۱۸o-q	۲۷/۰۴o-q	۲۲/۱۱q-s	۱۷/۳۶q-t
S1×B2×F2	۳۸/۳۴n-p	۳۷/۹۷e-g	۳۷/۲۵d-f	۳۲/۴۷ij	۳۱/۹۸de	۲۷/۱۲e-h	۲۱/۲۲h-g
S1×B3×F2	۳۹/۹۵j-n	۳۹/۶۹d-g	۳۴/۴۸i-k	۳۰/۴۸l-o	۳۳/۳bc	۲۶/۱۴h-j	۲۳/۰۱b-d
S1×B4×F2	۴۵/۲۳ab	۴۲/۴۲ab	۳۸/۲۵b-d	۳۶/۰۳a-d	۳۴/۴۵ab	۲۸/۹۹b-d	۲۵/۱۲a
S1×B1×F3	۳۵/۲۶rs	۳۲/۶۲p-r	۳۲/۱۲n-r	۲۹/۲۵o-q	۲۶/۵۶p-r	۲۱/۵۶-t	۱۶/۵۶s-v
S1×B2×F3	۴۰/۷۸i-k	۳۶/۵۸j-l	۳۶/۳۴e-g	۳۲/۹۱hi	۳۳/۵bc	۲۷/۴۵e-g	۲۲/۱۷e-g
S1×B3×F3	۴۱/۴۷g-j	۳۸/۶۴f-h	۳۶/۰۱fg	۳۳/۹f-h	۳۱/۲۸e-g	۲۸/۰۸ed	۲۱/۵۶f-i
S1×B4×F3	۴۵/۴۷ab	۴۱/۸۹a-c	۳۹/۵۶ab	۳۵/۶۷b-d	۳۳/۶۷a-c	۲۸/۷۸b-d	۲۳/۹۴bc
S1×B1×F4	۳۶/۱۵qr	۳۵/۳۸k-n	۳۲/۹۱l-p	۲۸/۷۷p-r	۲۷/۸۹m-o	۲۲/۹۷n-q	۱۷/۹۱o-r
S1×B2×F4	۴۴/۰۱b-e	۴۱/۹۷a-c	۳۹/۴۵ab	۳۴/۶۵d-g	۳۴/۳۶ab	۲۹/۳۶bc	۲۴/۴۵ab
S1×B3×F4	۴۴/۳۴b-d	۴۰/۶۹cd	۳۸/۲۳b-d	۳۴/۶۵ab	۳۴/۰۱a-c	۲۹/۴bc	۲۳/۶۷b-d
S1×B4×F4	۴۶/۴۵a	۴۲/۶۷a	۳۹/۶۷a	۳۷/۳۹a	۳۴/۸۹a	۲۹/۸۵b	۲۵/۵۶a
S2×B1×F1	۳۰/۶۶a-z	۲۸/۴۵w-y	۲۷/۲۵a-z	۲۵/۵۸u-w	۲۴/۶۲t-v	۲۰/۱۴u-x	۱۴/۲۵a-z
S2×B2×F1	۲۷/۲۳e	۳۲/۰۸q-s	۳۰/۴۵s-v	۲۷/۰۲st	۲۵/۳۶r-t	۲۱/۱۷s-u	۱۷/۰۲r-u

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

S2×B3×F1	۲۹/۳۶b-d	۳۱/۰۶-t	۲۹/۹۲t-w	۲۵/۰۱v-y	۲۶/۸۱o-q	۲۱/۹۳q-s	۱۷/۷۸o-r
S2×B4×F1	۳۱/۴۷w-z	۳۹/۴۱d-g	۳۶/۹۵d-f	۳۴/۰۳e-h	۳۱/۲۶e-g	۳۲/۱۲a	۲۱/۲۶h-g
S2×B1×F2	۳۹/۶۷k-n	۳۰/۰۶t-v	۲۹/۱۴v-x	۲۶/۱۸t-v	۲۳/۳۸vw	۱۹/۰۴a-z	۱۵/۳۶w-z
S2×B2×F2	۲۸/۰۳de	۳۵/۵۳k-n	۳۳/۱۲k-o	۲۸/۱۲q-s	۲۷/۴۹n-p	۲۴/۱۱l-n	۱۹/۱۶l-n
S2×B3×F2	۳۲/۵۶u-x	۳۶/۳j-l	۳۳/۹۱j-l	۲۷/۴۵r-s	۲۹/۰۴j-m	۲۲/۵۶o-r	۱۸/۲۳n-q
S2×B4×F2	۳۰/۰۳de	۴۰/۳۹c-e	۳۷/۶۷c-e	۳۴/۰۵e-g	۳۱/۸d-f	۲۶/۸۶f-h	۲۱/۹۵e-h
S2×B1×F3	۴۰/۵۴i-m	۲۹/۴۲u-w	۲۹/۵۶u-x	۲۴/۱۳	۲۳/۱۲wx	۱۹/۴۵w-z	۱۵/۰۵a-z
S2×B2×F3	۲۹/۵۶a-z	۳۴/۶۲m-o	۳۱/۴۵q-s	۳۰/۰۱l-p	۲۸/۳۸l-n	۲۳/۲۳m-p	۱۸/۵۸m-p
S2×B3×F3	۳۳/۰۵t-w	۳۶/۸۶i-k	۳۴/۵۶h-j	۲۸/۹pq	۲۸/۸k-m	۲۴/۸kl	۱۹/۵۶k-m
S2×B4×F3	۳۲/۰۲v-y	۴۰/۰۸d-f	۳۷/۹۱cd	۳۵/۳۹b-e	۳۱/۹۶de	۲۷/۹d-f	۲۲/۶۷d-f
S2×B1×F4	۴۱/۲۳h-k	۲۸/۸۴v-x	۲۸/۳۶x-z	۲۶/۸s-u	۲۴/۶۶s-u	۲۰/۰۳u-x	۱۵/۸۷u-w
S2×B2×F4	۲۸/۶۷a-z	۳۳/۱۷o-q	۳۲/۰۱o-r	۳۱/۳۶j-l	۳۰/۵۴f-i	۲۳/۸۹l-n	۲۰/۴۵i-k
S2×B3×F4	۳۶/۳۴qr	۳۸/۶۳f-h	۳۵/۹۲f-h	۲۹/۹m-p	۲۹/۹۱h-k	۲۵/۴۸i-k	۱۹/۸j-l
S2×B4×F4	۴۳/۱۲d-f	۴۰/۹b-d	۳۸/۷۸a-c	۳۵/۴۵b-d	۳۲/۹۲cd	۲۷/۲۲e-g	۲۲/۱۴e-g
S3×B1×F1	۲۷/۰۶e	۲۵/۱۱z	۲۵/۴۵d	۲۲/۳۴b	۲۱/۶۳y	۱۷/۳۴b-x	۱۲/۴۵d-z
S3×B2×F1	۳۱/۶۷v-z	۲۶/۹۴y	۲۷/۵۸a-z	۲۳/۳۹a-z	۲۲/۹۱wx	۱۹/۵۶w-y	۱۴/۰۱a-c
S3×B3×F1	۳۲/۴۵v-x	۲۸/۶۸v-x	۲۶/۵۶a-d	۲۴/۶۶w-y	۲۳/۱۴wx	۱۹/۸۵v-y	۱۴/۲۳a-z
S3×B4×F1	۴۲/۱۲f-i	۳۵/۰۶l-n	۳۲/۴۶m-q	۳۲/۹۲hi	۲۸/۵۸l-n	۲۳/۳۹m-o	۱۷/۴۵p-s
S3×B1×F2	۳۰/۴۵a-z	۲۷/۵۳yx	۲۶/۰۱b-d	۲۳/۰۳ab	۲۱/۹xy	۱۸/۱۶ab	۱۳/۳۶b-d
S3×B2×F2	۳۳/۳۶t-v	۲۹/۲۸u-w	۳۰/۰۷t-v	۲۵/۴۷u-x	۲/۹۲q-s	۲۰/۶t-w	۱۵/۱۲a-z
S3×B3×F2	۳۵/۴۷rs	۳۰/۸۶s-u	۲۸/۶۷w-y	۲۷/۰۱st	۲۳/۹۲u-w	۱۹/۰۱	۱۶/۱۷u-x
S3×B4×F2	۴۳/۴۷c-f	۳۵/۵۱k-n	۳۳/۴۵j-n	۳۲/۰۵i-k	۳۰/۱۹g-j	۲۴/۱۱l-n	۱۹/۲۵l-n
S3×B1×F3	۲۹/۹۱a-z	۲۶/۸۶y	۲۵/۶۷cd	۲۳/۹۹a-z	۲۱/۹۲	۱۸/۲۵w-z	۱۳/۱۴cd
S3×B2×F3	۳۴/۳۴st	۳۱/۱۶r-t	۲۹/۸t-w	۲۷/۹۱q-s	۲۵/۲۳st	۲۱/۱۶s-u	۱۵/۴۵v-y
S3×B3×F3	۳۷/۶۷o-q	۲۹/۶۲t-w	۲۹/۱۵v-x	۲۴/۱۴	۲۸/۳۲l-n	۲۳/۲۴m-p	۱۴/۴۵a-z
S3×B4×F3	۴۲/۲۳f-i	۳۷/۱۷h-j	۳۵/۴۵g-i	۳۳/۲۸i-k	۲۹/۰۱j-n	۲۵/۰۳j-l	۲۰/۰۱j-l
S3×B1×F4	۳۱/۲۵a-z	۲۸/۰۶w-y	۲۶/۹۱a-c	۲۳/۰۸ab	۲۲/۶۷w-y	۱۸/۷۸u-x	۱۳/۲۵cd
S3×B2×F4	۳۶/۹۱p-r	۳۳/۴۱o-q	۳۱/۱۳q-t	۲۹/۶۷n-p	۲۹/۳۹i-l	۲۲/۰۷p-s	۱۸/۱۸n-q
S3×B3×F4	۳۹/۱۲l-o	۳۲/۴۱q-s	۳۱/۶۷p-s	۳۰/۹۱k-n	۲۷/۰۱o-q	۲۴/۳۶k-m	۱۸/۸۹l-o
S3×B4×F4	۴۳/۰۱e-g	۳۹/۶۵d-g	۳۷/۱۴d-f	۳۴/۹۲c-f	۳۱/۷d-f	۲۶/۵۸g-i	۲۲/۱۵e-g
LSD	۱/۷۷	۱/۶	۱/۳۶	۱/۳۸	۱/۲۶	۱/۲	۱/۱۵

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱۱- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
تکرار	۲	۱۰۰۰۴/۸**	۸۱۸۸/۷**	۷۵۳۱/۳**	۶۳۲۹/۲**	۵۳۵۶/۲**	۴۷۰۷/۷**	۴۰۱۸/۳**
تنش شوری (S)	۲	۱۳۲۶/۴**	۱۸۲۲/۲**	۱۳۱۹/۱**	۱۰۹۶/۲**	۱۰۷۷/۶**	۹۰۰/۹**	۱۰۹۸**
کودهای زیستی (B)	۳	۱۵۲۷/۲**	۱۴۶۶/۲**	۱۰۲۱/۴**	۱۳۳۶/۸۴**	۸۱۰/۶۹**	۶۳۷/۷۸**	۶۶۸/۷۲**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۲۶۹/۴**	۲۳۵/۶**	۱۷۹/۳**	۱۸۷/۶**	۱۴۵/۸**	۲۲۲/۴**	۲۰۵/۱**
S×B	۶	۳۷/۵*	۲۳۵/۶**	۲۲/۸**	۴۳/۴**	۱۶/۹**	۳۴/۶**	۴۲/۳ns
S×F	۶	۱۵/۹ns	۲۳/۱**	۱۹/۹**	۵/۶ns	۵/۸ns	۳۳/۲**	۲۹/۷ns
B×F	۹	۵۳/۱**	۳۰/۳**	۱۶/۱**	۴۵/۳**	۱۸/۳**	۲۵/۶**	۳۰/۹ns
S×B×F	۱۸	۹۱/۶*	۳۶/۹*	۷۸/۷**	۳۹/۶*	۶۱/۵*	۵۱/۷*	۸۱/۴*
خطا	۹۴	۱۶/۳	۷/۱	۴/۹	۶/۶	۴/۳	۱۴/۴۱	۲۰/۹
ضریب تغییرات		۵/۸	۴/۷	۳/۵	۴/۷	۳/۹	۷/۶	۱۰

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

تنش شوری شد هماهنگ است. احتمالاً قارچ میکوریز آربوسکولار به‌دلیل تأثیر مثبت بر گسترش ریشه و دسترسی بهتر گیاه به منابع آبی، ضمن بهبود محتوای نسبی آب برگ‌ها در تمامی مراحل نمونه‌برداری (جدول ۱۲) و کاهش آبسیزیک اسید، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای برگ تحت شرایط تنش می‌شود (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳). محمدزاده و همکاران (۱۴۰۲) نیز بهبود هدایت روزنه‌ای برگ تریتیکاله در شرایط شوری با محلول‌پاشی برگی نانواکسید روی را به افزایش محتوای نسبی آب، نسبت دادند. Mohammadi-Cheraghabadi و همکاران (۲۰۲۲) نیز بیان کردند که کاربرد پوترسین با بهبود محتوای نسبی آب، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای شد.

محتوای نسبی آب برگ پرچم: تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی) در سطوح مختلف شوری بر محتوای نسبی آب برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۱). با گذشت زمان در تمامی ترکیبات تیماری، محتوای نسبی آب کاهش یافت و شدت این کاهش با افزایش شوری، بیشتر بود (جدول ۱۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شوری ۸۰ میلی‌مولار در اولین مرحله از مراحل نمونه‌برداری (۶۰ روز بعد از کاشت مصادف با ظهور برگ پرچم)، بیشترین محتوای نسبی آب (۸۰/۵ درصد) در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، مشاهده شد که از افزایش ۴۵/۳ درصدی نسبت به عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از تنش شوری برخوردار بود (جدول ۱۲).

علت کاهش محتوای نسبی آب با افزایش شوری ناشی از کاهش جذب آب در محیط است که شوری موجب به‌هم خوردن تعادل آبی گیاه می‌شود. در چنین شرایطی علاوه بر تأثیر مخرب شوری بر گیاه، محدودیت در جذب آب موجب کاهش فشار آماس برگ و کاهش هدایت روزنه‌ای (جدول ۶) می‌شود که یکی از عوامل محدودکننده فتوسنتز است (Ahmedet *et al.*, 2019). وجود مقادیر بالایی از کلسیم و پتاسیم موجود در ورمی‌کمپوست (جدول ۲) با تعدیل بخشی از اثرات ناشی از شوری، از دیگر دلایل افزایش محتوای نسبی آب گیاه است. در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) اظهار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱۲- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ پرچم جو تحت تنش شوری

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری محتوای نسبی آب (روز پس از کاشت)						
	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
S1×B1×F1	۶۸/۸۸r-t	۶۰/۹۳qr	۵۹/۳۶pq	۵۳/۹۵q-s	۴۸/۶۷v-y	۴۵/۵۶r-u	۴۱/۷۸a-z
S1×B2×F1	۷۳/۰۳l-p	۶۷/۲۵j-n	۶۵/۹۳j-i	۵۸/۴۵mn	۵۵/۵۶k-m	۵۱/۵۶i-k	۴۸/۶۷j-m
S1×B3×F1	۷۵/۴۵j-l	۶۹/۰۱g-j	۶۴/۱۴j-m	۶۰/۵۱k-m	۵۶/۲۵i-k	۵۲/۳۴g-i	۴۷/۲۹l-o
S1×B4×F1	۸۲/۵۶bc	۷۵/۹۲bc	۷۱/۹۶a-c	۶۸/۰۱ab	۶۰/۳۱c-e	۵۵/۹۱cd	۵۲/۶۷b-e
S1×B1×F2	۷۱/۰۶p-r	۶۴/۶n-p	۵۹/۹۱op	۵۶/۰۵n-p	۴۹/۵۶u-w	۴۷/۰۱p-s	۴۲/۰۱u-x
S1×B2×F2	۷۴/۳k-n	۷۱/۲۲fg	۶۵/۰۴i-k	۶۲/۶۱i-k	۵۸/۴۵e-h	۵۳/۹۳fg	۴۹/۴۵h-k
S1×B3×F2	۷۶/۰۱jk	۷۳/۰۹ef	۶۹/۰۹d-g	۵۹/۰۹l-n	۶۰/۲۷c-e	۵۲/۰۱h-j	۵۱/۸۹c-g
S1×B4×F2	۸۳/۸۳ab	۷۷/۰۳b	۷۰/۹۹b-d	۶۷/۱۷b-d	۶۲/۲۵ab	۵۵/۹۸cd	۵۴/۰۱ab
S1×B1×F3	۷۰/۲۳q-s	۶۲/۶۶pq	۶۱/۶۷no	۵۶/۰۱pq	۵۰/۵۵s-v	۴۶/۶۶p-s	۴۲/۱۴w-z
S1×B2×F3	۷۸/۴۵g-i	۶۸/۲۵j-l	۶۸/۳۳e-g	۶۳/۲۸h-j	۵۹/۰۴e-g	۵۴/۶۹d-f	۵۱/۰۱e-h
S1×B3×F3	۷۷/۰۳h-j	۷۰/۷f-i	۶۷/۱۴g-i	۶۴/۰۱g-i	۵۷/۲۳g-j	۵۵/۶۷c-e	۵۰/۱۸g-j
S1×B4×F3	۸۳/۱۲bc	۷۸/۲۸ab	۷۳/۱۴ab	۶۸/۱۴ab	۶۲/۱۱a-c	۵۶/۱۵cd	۵۳/۰۱a-d
S1×B1×F4	۷۱/۶۷o-q	۶۵/۱۴m-p	۶۲/۸۱l-n	۵۴/۹۹pq	۵۱/۵۶r-t	۴۷/۹۱n-p	۴۴/۱۲t-v
S1×B2×F4	۸۰/۰۶e-g	۷۸/۲۵ab	۷۱/۵bc	۶۵/۹۲b-f	۶۱/۰۷b-d	۵۷/۰۳bc	۵۳/۵۸a-c
S1×B3×F4	۸۲/۴۴b-e	۷۵/۸۹b-d	۷۳/۰۳ab	۶۷/۳۱a-c	۶۱/۴۲a-c	۵۷/۰۵bc	۵۲/۱۲c-f
S1×B4×F4	۸۵/۶۳a	۸۰/۳۶a	۷۴/۱۴a	۶۹/۵۶a	۶۳/۲۸a	۵۹/۴۸a	۵۴/۵۸a
S2×B1×F1	۶۴/۰۱w-z	۵۵/۰۳v-y	۵۴/۳۶tu	۵۰/۱۲u-w	۴۶/۹۵a-z	۴۴/۶t-w	۳۹/۰۱de
S2×B2×F1	۶۷/۰۱t-v	۶۰/۷۸q-s	۵۸/۰۱p-r	۵۱/۰۱s-u	۴۸/۱۲w-z	۴۵/۹۲r-t	۴۲/۴۷v-y
S2×B3×F1	۶۶/۱۸vw	۵۹/۱۴r-t	۵۹/۴۴pq	۴۹/۱۲v-x	۴۹/۹۳t-w	۴۶/۹۱p-s	۴۳/۷۸t-w
S2×B4×F1	۷۹/۳۴f-g	۷۰/۹۹f-h	۶۸/۰۴f-h	۶۴/۹۱d-i	۵۷/۰۵h-k	۵۱/۸۱h-j	۴۹/۰۷h-k
S2×B1×F2	۶۴/۴۹w-y	۵۷/۲۶t-v	۵۶/۱۵r-t	۵۰/۶۹t-v	۴۶/۳۴a-z	۴۳/۳۴w-y	۴۰/۱۲a-e
S2×B2×F2	۶۸/۹۱r-t	۶۶/۲۵k-o	۶۳/۰۸k-n	۵۴/۵۲qr	۵۱/۲۶r-u	۴۹/۹۱k-m	۴۶/۳۶o-r
S2×B3×F2	۷۰/۱۹q-s	۶۷/۱۲j-n	۶۴/۶۷j-l	۵۲/۹۲r-t	۵۳/۶۷m-q	۴۷/۶۷o-q	۴۴/۶۷r-u
S2×B4×F2	۷۹/۴۴f-h	۷۴/۱۲c-e	۷۰/۰۳c-f	۶۴/۶۲e-i	۵۸/۰۱f-i	۵۳/۳۴f-h	۵۰/۷۸f-i
S2×B1×F3	۶۲/۵۶yz	۵۶/۱۲u-w	۵۷/۲۵q-s	۴۸/۳۶wx	۴۵/۳۶a-d	۴۳/۷۶v-y	۳۹/۸۲c-e
S2×B2×F3	۷۲/۹۲m-p	۶۴/۱۴op	۶۴/۱۴j-m	۵۸/۳۳m-o	۵۲/۰۱p-s	۴۸/۱۴n-p	۴۵/۱۲q-t
S2×B3×F3	۶۹/۱۳r-s	۶۸/۵۶h-l	۶۵/۰۴j-l	۵۵/۳۴pq	۵۲/۰۱p-s	۵۱/۰۲i-l	۴۶/۵۴n-q
S2×B4×F3	۸۱/۴۲c-f	۷۴/۴c-e	۷۰/۲۵c-e	۶۶/۵b-d	۵۸/۲۵f-h	۵۵/۰۱d-f	۵۱/۶۳d-g
S2×B1×F4	۶۵/۰۹v-x	۵۵/۹۷u-w	۵۵/۰۹s-u	۵۰/۸۱t-v	۴۷/۰۱a-z	۴۴/۵۸t-w	۴۰/۹۱a-z
S2×B2×F4	۷۲/۸۱n-p	۶۲/۹۹pq	۶۱/۹۱no	۶۰/۳۴k-m	۵۴/۱۷l-o	۴۹/۵۶l-n	۴۶/۹۱n-p
S2×B3×F4	۷۵/۲۷j-m	۶۹/۹۷g-i	۶۷/۰۳g-i	۵۶/۹۳n-p	۵۶/۰۷j-l	۵۱/۹۵h-j	۴۸/۱۲k-n
S2×B4×F4	۸۱/۳۴c-f	۷۷/۴۳b	۷۲/۰۴a-c	۶۶/۳۶b-f	۵۹/۴۷d-f	۵۴/۰۱e-g	۵۲/۰۷c-f
S3×B1×F1	۵۵/۴c	۵۱/۴۷z	۴۸/۹۳y	۴۵/۳۶y	۴۰/۴۷f	۳۶/۹۷b-z	۳۵/۱۲g

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

S3×B2×F1	۶۱/۶۷a-z	۵۳/۰۳yz	۵۲/۰۴v-x	۴۸/۰۳wx	۴۴/۱۶de	۴۲/۵۶a-y	۳۸/۴۷ef
S3×B3×F1	۶۵/۱۲v-x	۵۵/۱۴v-y	۵۴/۰۱t-v	۴۹/۳۴v-x	۴۵/۰۳b-d	۴۴u-x	۳۹/۵۶c-e
S3×B4×F1	۷۶/۳۴i-k	۶۵/۹۵l-o	۶۲/۶۱l-n	۶۳/۵۴hi	۵۲/۷۲o-q	۴۹/۲۳m-o	۴۴/۴۸s-u
S3×B1×F2	۵۹/۲۸b	۵۴/۶۳w-y	۵۱/۰۶xy	۴۷/۱۵xy	۴۲/۹۸e	۴۱/۳۲a-z	۳۸/۶۷ef
S3×B2×F2	۶۶/۳۴u-w	۵۶/۴u-w	۵۸/۱۲pq	۴۹/۹۵u-w	۴۸/۹۴v-x	۴۵/۳۶s-v	۴۰/۰۱b-e
S3×B3×F2	۶۸/۶۲s-u	۵۹/۴۵r-t	۵۵/۵۶st	۵۱/۶۷s-u	۴۶/۶۷a-z	۴۳/۱۲w-z	۴۱/۵۸a-z
S3×B4×F2	۷۷/۱۲h-j	۶۶/۱۲k-o	۶۳/۴۵k-n	۶۱/۰۱j-l	۵۵/۳۴k-n	۴۹/۹k-m	۴۶/۱۸o-s
S3×B1×F3	۶۱/۹۲a-z	۵۳/۴x-z	۵۱/۳۳wx	۴۸/۰۱wx	۴۳/۴۴de	۴۱/۴۵a-z	۳۷/۰۱f
S3×B2×F3	۶۷/۰۵t-v	۵۸/۱۸s-u	۵۵/۹۸r-t	۵۱/۹۹s-u	۴۷/۵۶x-z	۴۶/۰۱q-t	۴۰/۶۷a-z
S3×B3×F3	۶۲/۹۷x-z	۵۷/۵۴t-v	۵۷/۰۳rs	۴۸/۸۱v-x	۵۱/۹۱q-s	۴۸/۰۸n-p	۳۹/۱۳de
S3×B4×F3	۷۸/۴۶g-i	۶۹/۸۹g-i	۶۶/۰۱h-j	۶۴/۱۳f-i	۵۳/۵۴o-q	۵۱/۵۲i-k	۴۷/۲۹m-o
S3×B1×F4	۵۹/۹۷ab	۵۳/۹۵w-z	۵۳/۲۵u-w	۴۷/۵۶xy	۴۴/۴۵c-e	۴۲/۱۵a-z	۲۷/۲۳f
S3×B2×F4	۷۴/۰۴k-o	۶۳/۰۹pq	۶۲m-o	۵۷/۰۵n-p	۵۳/۹۲m-p	۴۷/۱p-r	۴۳/۲۳u-x
S3×B3×F4	۷۲/۵۶n-q	۶۲/۵۶pq	۵۹/۸۹op	۵۹/۱۹l-n	۵۰/۳۶s-v	۵۰/۳۶j-m	۴۵/۴۹p-t
S3×B4×F4	۸۰/۵۶d-g	۷۳/۳d-f	۶۹/۰۷d-g	۶۵/۴۵c-g	۵۷/۶۴f-j	۵۸/۰۱ab	۵۱/۳۴d-g
LSD	۲/۴۲	۲/۶	۲/۱۸	۲/۳	۱/۹۳	۱/۶۸	۱/۷۲

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

داشتند افزودن ورمی‌کمپوست به خاک می‌تواند به دلیل توانایی این ماده در حفظ رطوبت خاک و سهولت دسترسی به آب توسط گیاه، منجر به افزایش محتوای نسبی آب گیاه شود. بخشی از تأثیر ورمی‌کمپوست در افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان کلونیزه‌شده با قارچ میکوریز آربوسکولار در مقایسه با عدم کاربرد آن، می‌تواند ناشی از تأثیر قارچ میکوریز در بهبود تغذیه گیاه میزبان و بالانگهداشتن نسبت K^+/Na^+ در بافت گیاهی باشد (Pollastri *et al.*, 2018). کاربرد نانواکسید روی نیز به دلیل توانایی این ماده در تحریک تولید اکسین، ضمن رشد دیواره سلولی و کاهش خروج مواد و آب از غشا موجب می‌گردد محتوای نسبی آب افزایش یابد (زند و همکاران، ۱۳۸۹). احتمال داده می‌شود پلی‌آمین‌ها به دلیل افزایش نفوذپذیری غشاء به کلسیم، میزان آن را در گیاه افزایش می‌دهند و این افزایش کلسیم موجب غیرفعال کردن ورود یک سویه پتاسیم از غشاء شده و همین امر سبب تحریک بسته شدن روزنه‌ها و در پی آن کاهش از دست‌رفتن آب گیاه و افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Rubinowska *et al.*, 2012). برخی محققان نیز، افزایش پایداری غشاء سلولی و جلوگیری از هدررفت آب از گیاه را، به افزایش محتوای نسبی آب برگ در اثر محلول‌پاشی پوترسین نسبت دادند (Jalili *et al.*, 2023).

عملکرد کوانتومی برگ پرچم: نتایج تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). بررسی روند تغییرات عملکرد کوانتومی در طول دوره رشدی نشان داد که این شاخص با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱۳- تجزیه واریانس تأثیرکودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
تکرار	۲	۰/۰۰۲۵^{ns}	۰/۰۰۱۲^{ns}	۰/۰۰۲۵^{ns}	۰/۰۰۰۴۶^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۱۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۹^{ns}
تنش شوری (S)	۲	۰/۰۱۵۲**	۰/۰۸۸**	۰/۱۰۲**	۰/۰۴۳۸**	۰/۰۷۹۳**	۰/۲۶۸**	۰/۲۹۳**
کودهای زیستی (B)	۳	۰/۰۴۵۲**	۰/۰۴۳۵**	۰/۰۴۳۷**	۰/۰۸۶۵**	۰/۱۷۹**	۰/۴۲۲**	۰/۴۲۱**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۰/۰۱۹۶**	۰/۰۱۹۷**	۰/۰۲۹۵**	۰/۰۴۵۵**	۰/۰۴۸**	۰/۰۸**	۰/۰۸۸**
S×B	۶	۰/۰۰۲۲^{ns}	۰/۰۰۳۸*	۰/۰۰۳۱^{ns}	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۵۶**	۰/۰۰۳۹^{ns}	۰/۰۱۷۷**
S×F	۶	۰/۰۰۱۲^{ns}	۰/۰۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۹۶**	۰/۰۰۷۹**	۰/۰۰۵۱**	۰/۰۰۹۱**	۰/۰۲۸۳**
B×F	۹	۰/۰۰۲۱^{ns}	۰/۰۰۱۲^{ns}	۰/۰۰۶۵*	۰/۰۰۸۱**	۰/۰۰۴**	۰/۰۱۲۹**	۰/۰۱۳۱**
S×B×F	۱۸	۰/۰۰۳۳*	۰/۰۰۳۷**	۰/۰۰۴۱*	۰/۰۰۳۶*	۰/۰۰۸۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۱۷**
خطا	۹۴	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات		۵/۲	۴/۶	۶/۹	۶/۴	۵/۷	۹/۹	۵/۸

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

جدول ۱۴- مقایسه میانگین تأثیرکودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری عملکرد کوانتومی (روز پس از کاشت)						
	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
S1×B1×F1	۰/۸۳۷rs	۰/۸۱۹pq	۰/۷۷۰m-o	۰/۷۵۹n-q	۰/۶۵۴t-u	۰/۶۶۵g-i	۰/۵۰۱j-l
S1×B2×F1	۰/۸۴۴qr	۰/۸۴۴j-n	۰/۷۹۸jk	۰/۷۴۳q-s	۰/۶۸۸p-r	۰/۶۰۴k-n	۰/۵۲۳i
S1×B3×F1	۰/۸۶۲no	۰/۸۳۴no	۰/۷۹۷jk	۰/۷۰۹uv	۰/۶۹۸n-q	۰/۶۰۰l-o	۰/۵۱۲ij
S1×B4×F1	۰/۸۸۱g-i	۰/۸۸۷ab	۰/۸۵۹a-c	۰/۸۳۴a-d	۰/۸۰۱ab	۰/۷۴۹ab	۰/۶۲۴d-f
S1×B1×F2	۰/۸۲۹st	۰/۷۷۲xy	۰/۷۷۶lm	۰/۷۷۷l-o	۰/۶۴۰v-x	۰/۶۰۹k-n	۰/۵۵۶h
S1×B2×F2	۰/۸۷۳i-l	۰/۸۳۵m-o	۰/۸۱۷f-i	۰/۸۱۳d-i	۰/۷۰۹l-o	۰/۶۳۳j-l	۰/۵۲۳i
S1×B3×F2	۰/۸۳۰st	۰/۸۵۲i-k	۰/۸۰۷ij	۰/۶۹۷v-x	۰/۷۳۹hi	۰/۶۹۵d-g	۰/۵۵۵h
S1×B4×F2	۰/۸۹۳b-f	۰/۸۶۹c-f	۰/۸۵۷a-c	۰/۸۱۸c-h	۰/۷۸۵b-e	۰/۷۰۹c-e	۰/۶۱۹d-f
S1×B1×F3	۰/۸۵۶p	۰/۸۶۵d-h	۰/۸۴۶b-d	۰/۷۲۱s-u	۰/۶۴۶u-w	۰/۵۰۵v-x	۰/۵۱۱ij
S1×B2×F3	۰/۸۶۴m-o	۰/۸۷۲cd	۰/۸۳۷de	۰/۷۵۵o-r	۰/۷۵۵gh	۰/۶۹۷d-f	۰/۵۱۴ij
S1×B3×F3	۰/۸۸۵e-f	۰/۸۴۸i-l	۰/۸۳۰d-g	۰/۸۰۶f-j	۰/۷۲۷i-k	۰/۶۹۰e-h	۰/۴۹۹i-k
S1×B4×F3	۰/۸۹۶b-d	۰/۸۸۰a-c	۰/۸۶۴ab	۰/۸۴۵ab	۰/۸۰۲ab	۰/۷۱۸b-d	۰/۶۲۴d-f
S1×B1×F4	۰/۸۷۸h-k	۰/۸۵۶f-j	۰/۷۷۵l-n	۰/۷۹۱j-m	۰/۶۶۰tu	۰/۵۴۸q-t	۰/۴۶۵lm
S1×B2×F4	۰/۸۸۶d-g	۰/۸۸۵ab	۰/۸۲۹	۰/۸۲۹e-h	۰/۷۹۷a-c	۰/۷۴۵b	۰/۶۶۹c
S1×B3×F4	۰/۸۹۵b-d	۰/۸۷۰c-e	۰/۸۴۳c-e	۰/۸۴۲ab	۰/۷۶۸e-g	۰/۷۰۷c-e	۰/۷۰۲b
S1×B4×F4	۰/۹۰۸a	۰/۸۲۹a	۰/۸۶۷a	۰/۸۵۴a	۰/۸۰۹a	۰/۷۷۹a	۰/۷۶۹a
S2×B1×F1	۰/۷۹۷w-z	۰/۷۹۳t-v	۰/۷۶۲m-q	۰/۷۳۸q-s	۰/۶۵۴t-v	۰/۵۴۷q-t	۰/۵۲۳i
S2×B2×F1	۰/۸۰۲v-x	۰/۷۵۳a-z	۰/۷۵۹n-q	۰/۷۱۴t-u	۰/۶۳۴w-y	۰/۵۸۸m-p	۰/۵۱۲ij

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

S2×B3×F1	۰/۸۴۳qr	۰/۸۰۴r-t	۰/۷۸۷kl	۰/۷۸۹j-m	۰/۶۰۶a-c	۰/۴۹۲a-z	۰/۴۸۳j-l
S2×B4×F1	۰/۸۷۶h-k	۰/۸۸۶d-f	۰/۸۳۱d-g	۰/۸۱۰e-j	۰/۶۲۱a-z	۰/۵۶۹o-r	۰/۴۲۷no
S2×B1×F2	۰/۷۹۸w-y	۰/۷۸۲v-x	۰/۷۴۵q-s	۰/۷۵۵o-r	۰/۶۷۱r-t	۰/۴۶۴b-z	۰/۵۶۸gh
S2×B2×F2	۰/۸۲۰tu	۰/۷۸۷u-w	۰/۷۷۰m-o	۰/۷۰۲u-w	۰/۷۷۲d-g	۰/۷۱۳c-e	۰/۶۳۲de
S2×B3×F2	۰/۸۶۷l-o	۰/۸۵۵g-j	۰/۸۱۳h-j	۰/۶۸۶w-y	۰/۷۰۴m-p	۰/۶۲۵kl	۰/۶۷۱bc
S2×B4×F2	۰/۸۸۳f-i	۰/۸۶۹c-f	۰/۸۰۳i-k	۰/۷۷۲m-o	۰/۷۸۰c-f	۰/۷۲۳b-d	۰/۴۱۹no
S2×B1×F3	۰/۷۹۲x-z	۰/۸۰۰r-t	۰/۷۵۰p-r	۰/۶۷۴yz	۰/۵۸۷de	۰/۷۳۸b	۰/۷۳۸a
S2×B2×F3	۰/۸۵۱pq	۰/۸۲۸op	۰/۷۹۹jk	۰/۷۹۶h-l	۰/۶۸۲q-s	۰/۵۸۴n-p	۰/۴۳۵m-o
S2×B3×F3	۰/۸۷۰j-n	۰/۸۵۸e-i	۰/۷۴۰rs	۰/۸۰۴g-j	۰/۷۳۳ij	۰/۶۷۷f-i	۰/۵۹۹fg
S2×B4×F3	۰/۸۹۷a-c	۰/۸۷۵b-d	۰/۸۰۸ij	۰/۸۲۸b-f	۰/۷۷۶d-f	۰/۷۱۸b-d	۰/۵۶۶h
S2×B1×F4	۰/۷۹۰a-z	۰/۷۹۷s-u	۰/۷۸۸kl	۰/۷۴۸p-r	۰/۵۸۹c-e	۰/۵۷۸n-q	۰/۴۲۷no
S2×B2×F4	۰/۸۶۳m-o	۰/۸۱۲qr	۰/۸۴۰de	۰/۷۰۳u-w	۰/۷۲۶i-l	۰/۶۸۹e-h	۰/۶۴۸cd
S2×B3×F4	۰/۸۹۱c-f	۰/۸۴۰k-o	۰/۸۱۶g-i	۰/۸۲۵b-f	۰/۷۳۲ij	۰/۶۶۱h-j	۰/۴۳۳m-o
S2×B4×F4	۰/۹۰۲ab	۰/۸۸۶ab	۰/۸۶۰ab	۰/۸۳۶a-c	۰/۷۸۹b-d	۰/۷۳۷bc	۰/۵۰۱j-l
S3×B1×F1	۰/۷۶۴c-g	۰/۶۹۵e	۰/۶۴۷b-z	۰/۵۹۲c	۰/۴۹۷i	۰/۴۶۵a-z	۰/۲۹۰q
S3×B2×F1	۰/۸۰۴vw	۰/۷۳۵bc	۰/۶۸۵x-z	۰/۶۶۵a-z	۰/۶۱۴a-z	۰/۴۷۲a-z	۰/۴۱۹no
S3×B3×F1	۰/۷۸۷a-z	۰/۷۶۰yz	۰/۷۰۵u-w	۰/۶۴۷ab	۰/۵۶۸fg	۰/۵۴۳r-u	۰/۳۸۴p
S3×B4×F1	۰/۸۳۸rs	۰/۷۴۲ab	۰/۷۶۴m-p	۰/۷۶۶n-p	۰/۶۹۴o-q	۰/۵۶۵p-s	۰/۵۶۴h
S3×B1×F2	۰/۷۸۱a-g	۰/۷۲۳cd	۰/۶۷۹a-z	۰/۶۳۶b	۰/۵۴۲h	۰/۵۱۳u-x	۰/۴۴۱m-o
S3×B2×F2	۰/۸۳۲s	۰/۸۱۲qr	۰/۷۳۱st	۰/۷۲۴s-u	۰/۶۶۶st	۰/۵۲۸t-w	۰/۴۸۳j-l
S3×B3×F2	۰/۷۸۸a-z	۰/۷۱۲d	۰/۶۶۷a-z	۰/۶۴۲b	۰/۵۵۰gh	۰/۴۹۹w-y	۰/۴۴۴mn
S3×B4×F2	۰/۸۶۸k-n	۰/۷۷۷wx	۰/۷۲۰tu	۰/۷۸۰k-n	۰/۷۴۳hi	۰/۶۱۶k-m	۰/۵۱۲ij
S3×B1×F3	۰/۷۹۶w-z	۰/۷۱۶d	۰/۶۹۷v-x	۰/۶۵۸a-z	۰/۵۳۵h	۰/۵۱۰v-x	۰/۴۴۷kl
S3×B2×F3	۰/۸۳۹rs	۰/۷۵۰a-z	۷۱۰uv	۰/۷۵۳k-l	۰/۶۲۷x-z	۰/۴۹۶x-z	۰/۴۲۳no
S3×B3×F3	۰/۸۲۲t	۰/۷۳۳bc	۰/۶۷۲a-z	۰/۶۷۵x-z	۰/۷۶۲fg	۰/۶۳۵i-k	۰/۴۹۵i-l
S3×B4×F3	۰/۸۱۰uv	۰/۸۳۷l-o	۰/۶۹۲w-y	۰/۸۰۲g-l	۰/۷۱۴k-n	۰/۵۸۸b-z	۰/۵۱۰ij
S3×B1×F4	۰/۷۷۶b-h	۰/۷۴۱ab	۰/۷۴۲rs	۰/۷۱۰uv	۰/۵۷۷ef	۰/۵۳۵s-v	۰/۴۹۹i-k
S3×B2×F4	۰/۸۶۰n-p	۰/۷۷۱xy	۰/۷۵۶p-r	۰/۸۰۰h-k	۰/۵۹۷b-d	۰/۵۶۳p-s	۰/۴۱۶no
S3×B3×F4	۰/۸۸۱g-i	۰/۸۰۸q-s	۰/۸۰۶ij	۰/۷۸۰k-m	۰/۷۱۹j-m	۰/۵۹۳m-p	۰/۴۱۲op
S3×B4×F4	۰/۸۸۹c-f	۰/۸۴۷i-m	۰/۸۳۳d-f	۰/۸۱۸c-h	۰/۸۰۲ab	۰/۶۶۷f-h	۰/۶۰۹ef
LSD	۰/۱۰۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۷	۰/۰۲۲۴	۰/۰۱۸۱	۰/۰۳۱۹	۰/۰۳۱۷

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

گذشت زمان از روند کاهشی برخوردار بود (جدول ۱۴)، به‌طوری‌که در ۸۴ روز پس از کاشت تحت شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار، از افزایش ۱۱۰ درصدی نسبت به عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در همین سطح از سطوح شوری برخوردار بود (جدول ۸).

به نظر می‌رسد سمیت حاصل از کلرید سدیم در شرایط شوری در بافت‌های گیاهی، به‌دلیل کاهش پتانسیل آبی سیستم ریشه و کاهش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲)، موجب کاهش عملکرد کوانتومی گیاه می‌شود (Neocleous and Vasilakakis, 2007). بخشی از کاهش عملکرد کوانتومی در شرایط شوری می‌تواند ناشی از کمبود عناصر ریزمغذی همچون آهن، روی و منیزیم باشد که با تأثیر بر ساختار کلروفیل بر توان فتوسنتزی و عملکرد کوانتومی تأثیر می‌گذارد، در این شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دلیل برخورداری از عناصر ریزمغذی مورد نیاز گیاه و مؤثر در ساختار کلروفیل (جدول ۲)، موجب بهبود عملکرد کوانتومی شد که با اظهارات نریمانی و همکاران (۱۴۰۳) مبنی بر اینکه ورمی‌کمپوست به‌دلیل توان نگهداری بالای آب و بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، منجر به افزایش محتوای نسبی آب و در نتیجه عملکرد کوانتومی می‌شود، هماهنگ است. بخشی از بهبود عملکرد کوانتومی می‌تواند با اثر نانواکسید روی در حفظ محتوای نسبی آب (جدول ۱۲) و بهبود وضعیت روزنه‌ای (جدول ۱۰) مرتبط باشد که شرایط مطلوب را برای عملکرد کوانتومی تحت شرایط تنش فراهم می‌کند که با یافته‌های Kheirizadeh Arough و همکاران (۲۰۱۶) هم‌خوانی دارد. کاربرد پوترسین تحت شرایط تنش نیز، به‌دلیل کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و بهبود شاخص‌های کلروفیل (جدول ۱۶ و ۱۸) موجب بهبود عملکرد کوانتومی شد. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Islam *et al*., 2022).

فلورسانس حداکثر برگ پرچم: نتایج تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر فلورسانس حداکثر برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۵). در ۸۴ روز پس از کاشت در بالاترین سطح شوری، بیش‌ترین فلورسانس حداکثر (۳۹۹) در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، به‌دست آمد که از افزایش ۴۱/۴ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از تنش شوری برخوردار بود (جدول ۱۶).

از آنجایی‌که فلورسانس منحصرا در فتوسیستم II اتفاق می‌افتد، با افزایش تنش پارامترهای Fm و کارایی فتوسیستم II برای تبدیل انرژی نوری جذب شده به انرژی شیمیایی، کاهش می‌یابد و همه مراکز واکنشی فتوسیستم II بسته می‌شود، بنابراین فلورسانس حداکثر در اثر تابش فوتون‌های نوری و احیای الکترون و بسته بودن (اشباع) همه مراکز واکنشی ایجاد می‌شود (Mehta *et al*., 2010). از این‌رو بسته‌بودن مراکز فتوسیستم II تحت شرایط تنش، کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی است و هر چه سیستم دیرتر بسته شود، یعنی قادر باشد تعداد الکترون‌های بیشتری را بپذیرد، فلورسانس حداکثر آن بالاتر یا سیستم کارآمدتر خواهد بود (Mehta *et al*., 2010). به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی و کاربرد ورمی‌کمپوست و میکوریز آربوسکولار با تعدیل اثرات ناشی از شوری، با افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲) و شاخص سبزینگی برگ (جدول ۴)، ضمن بهبود جریان الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I، موجب افزایش فلورسانس حداکثر شده است (Zlatev, 2010). این یافته با نتایج بررسی‌های نریمانی و همکاران (۱۴۰۳) هم‌خوانی دارد. محمدزاده و همکاران (۱۴۰۲) نیز افزایش فلورسانس حداکثر برگ تریتیکاله به‌واسطه محلول‌پاشی نانواکسید روی تحت شرایط شوری را، به بهبود محتوای نسبی آب نسبت دادند.

فلورسانس متغیر برگ پرچم: تیمار توأم تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر فلورسانس متغیر برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱۵- تجزیه واریانس تأثیرکودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس **حداکثر برگ پرچم جو تحت تنش شوری**

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
تکرار	۲	۷۳۳۴۸۵/۷**	۶۶۱۷۳/۸**	۵۵۰۷۸۴/۳**	۴۴۶۷۵۴/۸**	۳۶۲۸۸۰/۱**	۲۶۲۱۶۱/۹**	۲۵۵۹۴۶/۹**
تنش شوری (S)	۲	۱۰۶۱۷۴/۹**	۳۱۷۰۴۲/۴**	۲۱۸۴۴۳/۲**	۸۲۸۹۳/۱**	۷۸۶۰۴/۵**	۹۳۴۰۵/۸**	۸۳۰۷۹/۱**
کودهای زیستی (B)	۳	۷۵۴۲۰/۶**	۸۴۱۸۳/۳**	۵۲۷۴۱/۷**	۹۴۹۰۷/۳**	۹۰۰۸۸/۵**	۱۲۶۷۳۲/۲**	۱۲۱۹۴۵/۵**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۳۱۸۵۸/۷**	۲۶۳۳۲/۶**	۲۹۵۴۶/۴**	۴۸۸۵۳/۶**	۱۸۸۵۳/۷**	۲۵۶۸۲/۵**	۲۱۵۶۵/۲**
S×B	۶	۱۰۲۴۴/۸**	۷۱۹۷/۲**	۱۷۰۷/۲^{ns}	۵۶۶۴**	۱۷۲۰/۵^{ns}	۱۰۰۹/۵^{ns}	۲۲۶۸/۲**
S×F	۶	۳۸۴۰/۹^{ns}	۷۱۹۷/۸**	۱۱۰۶۹**	۵۵۲۹/۳**	۶۲۳۴**	۴۸۹۱/۵**	۴۱۱۴/۵**
B×F	۹	۸۶۳۹/۴*	۴۵۵۷/۲**	۵۴۵۰/۴**	۱۲۸۶۳/۲**	۸۳۷۳/۳**	۶۸۶۶/۶**	۲۸۴۰/۳**
S×B×F	۱۸	۱۸۶۳۹/۵**	۶۰۹۸/۲**	۲۹۰۰۳/۱**	۳۴۸۴/۵**	۴۰۵۵/۱**	۴۰۳۶/۹**	۳۶۲۹/۸**
خطا	۹۴	۲۰۲۳/۶	۱۴۹۳/۲	۱۰۲۹/۷	۹۲۱/۸	۶۹۰/۹	۱۱۱۴/۱	۴۰۹/۷
ضریب تغییرات		۷/۳	۶/۷	۶/۳	۶/۵	۶	۹/۶	۵/۵

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

جدول ۱۶- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس **حداکثر برگ پرچم جو تحت تنش شوری**

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری شاخص کلروفیل حداکثر (روز پس از کاشت)						
	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
S1×B1×F1	۵۹۲u-w	۵۶۱o-q	۵۰۸/۳۳l-q	۴۷۴p-w	۴۱۵t-x	۴۰۹i-l	۴۰۲bc
S1×B2×F1	۶۱۵r-t	۶۱۱j-m	۵۵۴g-m	۴۵۵t-z	۴۲۶r-u	۴۱۴h-k	۴۱۲bc
S1×B3×F1	۶۲۹o-s	۵۹۲l-n	۵۵۲/۶h-m	۴۱۹a-z	۴۳۴q-t	۴۳۳f-h	۴۰۲bc
S1×B4×F1	۶۸۷c-h	۷۰۲ab	۶۴۶a-c	۵۸۳a-e	۵۴۲a-c	۵۲۳a	۵۱۶a
S1×B1×F2	۵۶۰a-z	۴۸۵w-z	۵۱۴l-p	۴۹۷m-t	۳۸۹a-z	۳۷۷o-q	۳۱۷i-m
S1×B2×F2	۶۶۲k-m	۵۷۵n-p	۵۶۹/۶e-j	۵۵۱d-j	۴۴۳p-s	۳۸۰n-q	۳۷۶de
S1×B3×F2	۵۸۱v-y	۶۲۷h-k	۵۵۹g-l	۴۰۹a-g	۴۷۱j-n	۴۱۰i-l	۳۴۸fg
S1×B4×F2	۶۹۹b-e	۶۸۶a-d	۶۵۷ab	۵۵۹c-g	۵۲۱c-f	۴۶۱c-d	۴۱۳bc
S1×B1×F3	۶۳۴n-r	۶۸۶/۳e-h	۶۳۰a-d	۴۳۳a-z	۳۹۳a-z	۳۰۹yz	۲۹۷m-p
S1×B2×F3	۶۴۱m-q	۶۵۰a-d	۶۱۲b-f	۴۹۶m-t	۴۸۶h-k	۴۲۹f-i	۳۳۷f-i
S1×B3×F3	۶۷۶f-j	۶۴۶e-h	۶۰۰c-h	۵۴۱e-l	۴۵۸m-p	۳۹۴k-o	۳۵۸ef
S1×B4×F3	۷۱۵b	۶۹۷a-c	۶۶۰/۴a	۶۰۵ab	۵۴۶ab	۵۱۵ab	۵۰۴a
S1×B1×F4	۶۷۱g-j	۶۳۳g-j	۵۰۳m-r	۵۱۷i-o	۴۰۳w-z	۴۰۲j-k	۳۹۹c
S1×B2×F4	۶۸۴d-h	۶۹۵/۵a-c	۵۱۷/۲e-j	۵۷۸b-f	۵۳۶bc	۵۱۶ab	۴۰۱a
S1×B3×F4	۷۰۳b-d	۶۶۲d-g	۵۸۹/۶e-i	۶۰۱a-c	۵۰۰f-h	۵۰۱ab	۴۹۹a
S1×B4×F4	۷۴۴a	۷۱۱a	۶۶۷a	۶۲۲ab	۵۶۰a	۵۲۵a	۵۱۹a
S2×B1×F1	۵۴۰b-f	۵۲۶r-u	۵۴۲/۶i-n	۴۵۰a-z	۳۹۹a-z	۳۲۲w-z	۳۰۲v-z
S2×B2×F1	۵۵۶a-z	۴۷۴a-z	۵۰۸/۲l-q	۴۲۶a-z	۳۸۵a-z	۳۶۶p-s	۲۹۰op
S2×B3×F1	۶۱۱s-u	۵۴۱q-s	۵۵۷g-l	۵۱۱j-q	۳۶۸c-f	۳۰۳z	۳۰۸k-o

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

S2×B4×F1	۶۶۷h-k	۶۵۸d-g	۶۱۱/۸b-f	۵۴۶d-i	۳۷۷b-e	۳۴۱t-w	۳۲۱h-l
S2×B1×F2	۵۲۸e-g	۵۱۰t-w	۴۷۹p-u	۴۷۰q-w	۴۱۰u-y	۳۱۹x-z	۲۸۸op
S2×B2×F2	۵۷۳w-z	۵۱۶s-v	۵۰۹l-q	۴۵۶t-z	۵۰۴e-h	۴۴۶e-f	۳۵۶ef
S2×B3×F2	۶۴۵l-p	۶۲۳h-k	۵۷۲e-j	۴۰۱b-g	۴۳۹u-x	۳۷۳o-s	۳۲۴h-k
S2×B4×F2	۶۷۸e-i	۶۶۹c-f	۵۵۷g-l	۴۹۲n-u	۵۱۴d-f	۴۵۵c-e	۳۹۶cd
S2×B1×F3	۵۱۹f-i	۵۳۶q-t	۴۸۴o-u	۳۹۳c-h	۳۵۶e-g	۳۱۲a-z	۳۰۱l-p
S2×B2×F3	۶۲۵p-t	۵۸۳m-o	۵۵۲h-m	۵۲۴h-o	۴۲۲s-w	۳۵۱q-t	۳۳۱g-j
S2×B3×F3	۶۵۵j-n	۶۴۰f-i	۴۵۵r-w	۵۳۶f-m	۴۶۵k-o	۴۰۵j-m	۳۵۷ef
S2×B4×F3	۷۰۸bc	۶۷۳b-d	۵۸۱d-j	۵۷۴b-g	۵۰۹e-g	۴۵۰c-f	۴۱۰bc
S2×B1×F4	۵۳۳d-g	۵۳۲q-t	۵۳۲j-o	۴۶۰s-x	۳۴۱g-i	۳۱۸x-z	۳۰۲r-w
S2×B2×F4	۶۴۳m-q	۵۵۲p-r	۶۱۷a-d	۴۱۴a-z	۴۸۱i-k	۴۲۱g-j	۳۱۲j-n
S2×B3×F4	۶۹۶b-f	۶۰۶j-m	۵۷۶e-i	۵۷۰b-g	۴۶۰l-p	۴۰۱j-n	۳۵۷ef
S2×B4×F4	۷۱۳b	۶۹۴a-c	۶۶۰ab	۵۸۷a-d	۵۳۱b-d	۴۷۱c	۴۲۲b
S3×B1×F1	۵۰۰i	۴۱۶e-z	۳۹۹y	۳۵۲h	۳۱۲j-m	۳۰۱z	۲۸۲p
S3×B2×F1	۵۴۷a-d	۴۴۹	۴۲۲w-y	۳۸۵d-h	۳۷۳b-d	۳۰۵z	۳۰۱e-j
S3×B3×F1	۵۰۶hi	۴۸۰a-z	۴۴۰t-y	۲۷۴f-h	۳۴۵g-i	۳۴۴t-v	۳۱۸i-m
S3×B4×F1	۶۲۲q-t	۴۶۱a-z	۴۹۹n-r	۴۸۲o-v	۴۳۱q-u	۳۶۱q-t	۳۳۳g-j
S3×B1×F2	۵۱۵g-i	۴۳۴de	۴۱۷xy	۳۶۸gh	۳۳۴i	۳۲۹w-z	۲۹۲n-p
S3×B2×F2	۵۸۴v-x	۵۷۵n-p	۴۶۱q-w	۴۳۹a-z	۴۰۷v-y	۳۳۵u-x	۳۱۲j-n
S3×B3×F2	۵۲۴f-h	۴۴۰c-e	۴۱۱xy	۳۷۱	۳۳۸hi	۳۱۲yz	۲۸۸op
S3×B4×F2	۶۵۰k-o	۵۰۲u-x	۴۵۰t-y	۵۰۰k-p	۴۷۵j-m	۴۱۵g-k	۳۴۹h-j
S3×B1×F3	۵۳۵c-g	۴۳۳d-x	۴۳۳u-y	۳۷۹e-h	۳۳۱i-n	۳۲۷w-z	۲۹۹m-p
S3×B2×F3	۶۰۳t-v	۴۶۹a-z	۴۴۵t-y	۴۶۵s-x	۳۸۱a-d	۳۱۸x-z	۳۰۳o-t
S3×B3×F3	۵۶۶a-z	۴۴۵b-e	۴۱۵xy	۳۹۵c-h	۴۹۲g-j	۴۳۶g-k	۳۳۳g-j
S3×B4×F3	۵۵۴a-z	۶۰۱k-n	۴۲۸v-y	۵۵۷e-h	۴۴۷o-r	۳۸۴n-p	۳۱۲j-n
S3×B1×F4	۵۱۰hi	۴۵۵a-b	۴۷۲p-w	۴۰۵	۳۵۰f-i	۳۴۲t-w	۲۸۴p
S3×B2×F4	۶۳۷n-r	۴۹۴v-y	۴۹۱n-t	۵۳۱g-m	۳۶۲d-g	۳۵۵a-z	۲۸۸op
S3×B3×F4	۶۷۳g-j	۵۴۷p-r	۵۶۱f-k	۵۰۵k-o	۴۵۲n-q	۳۸۹l-o	۳۴۲f-h
S3×B4×F4	۶۹۳b-g	۶۱۵i-l	۶۰۵c-f	۵۶۵b-h	۵۲۵b-e	۴۶۶c-d	۳۹۹c
LSD	۲۲/۱۵	۲۹/۱۹	۵۲/۰۲	۴۳/۳۷	۲۱/۹۳	۲۱/۱۸	۲۱/۶۱

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۷). مقدار این شاخص در طی مراحل رشدی از روند نزولی برخوردار بود ولی میزان این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱۷- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس **متغیر برگ پرچم جو تحت تنش شوری**

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
تکرار	۲	۵۲۹۸۱۱/۵**	۴۱۲۸۸۷/۱**	۳۴۱۶۷۱**	۲۶۱۹۰۶**	۱۷۹۷۶۸**	۹۷۷۳۰/۱**	۹۰۶۹۵/۸**
تنش شوری (S)	۲	۱۲۱۰۷۷/۷**	۳۹۳۰۳۱/۱۲**	۲۹۰۹۵۳**	۱۰۴۸۷۳**	۹۱۸۸۵**	۱۲۲۹۳۱/۶**	۱۱۳۵۷۹/۷**
کودهای زیستی (B)	۳	۱۲۱۹۵۲/۹**	۱۱۶۱۱۵/۱**	۷۳۵۳۲**	۱۲۸۸۴۹**	۱۴۶۵۷۹**	۱۷۷۳۸۰/۷۵**	۱۷۲۹۱۷/۵**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۴۴۳۹۲/۸**	۳۳۱۶۰/۶**	۳۶۸۰۲/۹**	۵۹۴۲۴/۹**	۳۲۳۹۴/۱**	۳۴۱۴۹/۷**	۲۷۵۹۳/۹**
S×B	۶	۱۱۳۶۹/۳**	۱۰۰۷۰/۵**	۲۱۳۵/۲^{ns}	۸۶۹۶/۸**	۳۰۶۷/۵**	۱۵۶۲/۶^{ns}	۳۱۳۶/۹۵**
S×F	۶	۳۰۵۴/۳**	۷۴۰۰/۳**	۱۷۱۲۸/۱**	۶۴۹۲/۲**	۶۱۹۸/۳**	۵۳۹۱/۳**	۳۰۴۳/۴**
B×F	۹	۶۲۱۳/۸**	۳۷۷۸/۸**	۶۳۵۱/۵**	۱۳۷۷۴/۵**	۷۷۳۲/۷**	۸۹۲۵/۹**	۴۸۲۱/۹**
S×B×F	۱۸	۳۳۶۸/۹۸**	۷۲۷۱/۵**	۳۲۷۲/۸**	۴۲۴۷/۸**	۵۶۴۳/۵**	۵۱۰۳/۲**	۴۸۲۱/۹**
خطا	۹۴	۵۳۳/۴	۹۲۷/۳	۱۱۰۶/۶	۸۱۷/۱	۳۱۲/۲	۱۱۷۰/۶	۳۵۹/۶
ضریب تغییرات		۴/۹	۶/۷	۷/۹	۷/۷	۵/۸	۱۵	۹/۵

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

جدول ۱۸- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس **متغیر برگ پرچم جو تحت تنش شوری**

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری شاخص کلروفیل متغیر (روز پس از کاشت)						
	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
S1×B1×F1	۴۹۶r-t	۴۶۰q-t	۳۹۱l-n	۳۶۰t-w	۲۷۳t-w	۲۷۲i-l	۲۰۱h-k
S1×B2×F1	۵۱۹p-r	۵۱۶j-n	۴۴۲i-l	۳۳۸t-z	۲۹۳o-s	۲۵۰l-o	۲۱۵f-i
S1×B3×F1	۵۴۳n-p	۴۹۴m-p	۴۴۱i-k	۲۹۷a-z	۳۰۳n-q	۲۶۰k-m	۲۰۶g-k
S1×B4×F1	۶۰۴d-h	۶۲۲ab	۵۵۵a-d	۴۸۶a-d	۴۳۴a-c	۳۹۲ab	۳۲۲c
S1×B1×F2	۴۶۵u-w	۳۷۵a-z	۴۰۰k-n	۳۸۶l-s	۲۴۹v-z	۲۳۰o-t	۱۷۶l-o
S1×B2×F2	۵۷۸h-k	۴۸۱o-r	۴۶۶f-j	۴۴۸ej	۳۱۴l-p	۲۴۰m-p	۱۹۷i-l
S1×B3×F2	۴۸۲s-u	۵۳۴j-l	۴۵۱g-k	۲۸۵b-h	۳۴۸i-k	۲۵۸h-j	۱۹۳j-m
S1×B4×F2	۶۲۴b-e	۵۹۶b-d	۵۶۴a-c	۴۵۷d-i	۴۰۹c-f	۳۲۷a-d	۲۵۶d
S1×B1×F3	۵۴۳n-p	۵۶۲e-h	۵۳۳a-e	۳۱۲a-z	۲۵۴v-y	۱۵۶p-v	۱۵۲p-t
S1×B2×F3	۵۵۴l-o	۵۹۴b-d	۵۱۲c-f	۳۷۷n-u	۳۶۷h-j	۲۹۹f-h	۱۷۳m-p
S1×B3×F3	۵۹۹e-h	۵۴۶g-j	۴۹۸e-h	۴۳۶f-k	۳۳۳k-m	۲۷۲i-l	۱۷۹l-o
S1×B4×F3	۶۴۰bc	۶۱۲a-d	۵۷۰ab	۵۱۱ab	۴۳۸ab	۳۷۰bc	۳۱۴c
S1×B1×F4	۵۸۹g-j	۵۴۲h-k	۳۹۰l-o	۴۰۹j-o	۲۶۶s-w	۲۲۰n-s	۱۸۵k-n
S1×B2×F4	۶۰۶d-g	۶۱۶a-c	۴۷۳f-i	۴۸۰b-f	۴۲۷a-c	۳۸۵ab	۳۳۵c
S1×B3×F4	۶۲۹b-d	۵۷۶e-g	۴۹۷e-h	۵۰۶a-c	۳۸۴f-g	۳۵۴c	۳۵۰b
S1×B4×F4	۶۷۵a	۶۳۴a	۵۷۸a	۵۳۱a	۴۵۳a	۴۰۹a	۳۹۹a
S2×B1×F1	۴۳۰x-z	۴۱۷u-x	۴۲۰i-m	۳۳۲a-z	۲۶۱t-w	۱۷۶w-y	۱۵۸p-u
S2×B2×F1	۴۴۶v-y	۳۵۷a-z	۳۸۶m-p	۳۰۴a-z	۲۴۴a-z	۲۱۵s-w	۱۴۸q-w
S2×B3×F1	۵۱۵qr	۴۳۵s-v	۴۴۱i-l	۴۰۳j-p	۲۲۳a-z	۱۴۹a-z	۱۴۹q-v

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

S2×B4×F1	۵۸۴i-l	۵۷۰e-g	۵۰۹d-f	۴۴۲e-j	۲۳۴a-z	۱۹۴t-v	۱۳۷u-z
S2×B1×F2	۴۲۱a-z	۳۹۹x-y	۳۵۷n-r	۳۵۵t-x	۲۷۵q-u	۱۴۸a-z	۱۶۳o-s
S2×B2×F2	۴۷۰t-v	۴۰۶v-y	۳۹۲l-n	۳۲۶a-z	۳۸۹f-g	۳۱۸ef	۲۲۵e-g
S2×B3×F2	۵۵۹j-n	۵۳۳j-l	۴۶۵f-j	۲۷۵d-i	۳۰۹m-p	۲۳۳i-l	۲۱۷f-i
S2×B4×F2	۵۹۹e-h	۵۸۱d-f	۴۴۷h-k	۳۸۰m-t	۴۰۱d-g	۳۲۹de	۱۶۶n-p
S2×B1×F3	۴۱۱a-z	۴۲۹t-w	۳۶۳n-q	۲۶۵e-i	۲۰۹b-d	۱۱۶b	۲۲۲e-h
S2×B2×F3	۵۳۲o-q	۴۸۳n-q	۴۴۱i-l	۴۱۷i-n	۲۸۸p-t	۲۰۵n-q	۱۴۴r-w
S2×B3×F3	۵۷۰j-m	۵۴۹f-j	۳۳۵p-u	۴۳۱h-l	۳۴۱j-l	۲۷۰i-l	۲۱۴f-j
S2×B4×F3	۶۳۵bc	۵۸۹c-e	۴۷۱f-j	۴۷۵b-g	۳۹۵e-h	۳۲۳b-e	۳۲۳ef
S2×B1×F4	۴۲۱a-z	۴۲۴u-w	۴۱۹j-m	۳۴۴t-y	۱۹۹e-f	۱۸۴u-w	۱۲۹v-z
S2×B2×F4	۵۵۵k-o	۴۴۸r-u	۵۱۸b-f	۲۹۱a-g	۳۵۱i-k	۲۹۰g-i	۲۰۲h-k
S2×B3×F4	۶۲۰b-e	۵۰۹k-o	۴۷۰f-j	۴۷۰b-h	۳۳۷k-m	۲۶۵j-l	۱۵۵p-u
S2×B4×F4	۶۴۳a	۶۱۵a-c	۵۶۸ab	۴۹۱a-d	۴۱۹b-d	۳۴۷cd	۲۱۱f-j
S3×B1×F1	۳۸۲c	۲۸۹f	۲۵۸w	۲۰۸j	۱۵۵g	۱۴۰b-z	۸۲a-z
S3×B2×F1	۴۴۰w-y	۳۳۰de	۲۸۹t-w	۲۵۶f-i	۲۲۹a-z	۱۴۴a-z	۱۲۶x-z
S3×B3×F1	۳۹۹bc	۳۶۵a-z	۳۱۰r-w	۲۴۲h-j	۱۹۶e-f	۱۸۷u-w	۱۲۲yz
S3×B4×F1	۵۲۰p-r	۳۴۲b-d	۳۸۱m-p	۳۶۹t-u	۲۹۹n-r	۲۰۴r-u	۱۸۸k-m
S3×B1×F2	۴۰۲a-c	۳۱۴ef	۲۸۳u-w	۲۳۴ij	۱۸۱e-g	۱۶۹w-y	۱۲۹v-z
S3×B2×F2	۴۸۶s-u	۴۶۶p-s	۳۳۷o-t	۳۱۸a-z	۲۷۱s-w	۱۷۷v-x	۱۵۱q-u
S3×B3×F2	۴۱۳a-z	۳۱۲ef	۲۷۴vw	۲۳۸ij	۱۸۶ef	۱۵۶a-z	۱۲۸x-z
S3×B4×F2	۵۶۴j-n	۳۹۰x-z	۳۲۴q-v	۳۹۰k-q	۳۵۳i-k	۲۵۶k-n	۱۷۹l-o
S3×B1×F3	۴۲۶a-z	۳۱۰ef	۳۰۲t-w	۲۴۹g-j	۱۷۷fg	۱۶۷w-z	۱۴۳s-y
S3×B2×F3	۵۰۶q-s	۳۵۲a-d	۳۱۶r-v	۳۴۴t-y	۲۳۹a-z	۱۵۸a-z	۱۲۸v-z
S3×B3×F3	۴۶۵u-w	۳۲۶de	۲۷۹vw	۲۶۷d-i	۳۷۵h-g	۲۷۷h-k	۱۶۵n-r
S3×B4×F3	۴۹۹v-x	۵۰۳l-o	۲۹۶t-w	۴۴۸e-j	۳۱۹l-o	۲۲۶i-m	۱۵۹p-t
S3×B1×F4	۳۹۶bc	۳۳۷c-e	۳۵۰n-s	۲۸۶a-h	۲۰۲c-f	۱۸۳u-w	۱۴۲t-y
S3×B2×F4	۵۴۸m-o	۳۸۱a-z	۳۷۱m-q	۴۲۵h-m	۲۱۶a-d	۲۰۰s-v	۱۲۰z
S3×B3×F4	۵۹۳f-i	۴۴۲s-u	۴۵۲g-k	۳۹۴k-q	۳۲۵k-n	۲۳۱j-o	۱۴۱t-z
S3×B4×F4	۶۱۶c-f	۵۲۱j-m	۵۰۴d-g	۴۶۲c-i	۴۲۳b-d	۳۱۱d-f	۲۴۳de
LSD	۲۶/۳۳	۳۳/۲۸	۵۳/۹۲	۴۶/۳۴	۲۸/۶۴	۲۴/۳۳	۲۱/۲۳

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

کاهش در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

مقایسه با عدم کاربرد این تعدیل‌کننده‌های تنش، کمتر بود (جدول ۱۸). به‌طوری‌که در ۸۴ روز پس از کاشت در شوری ۸۰ میلی‌مولار، بیشترین (۲۴۳) و کم‌ترین (۸۲) فلورسانس متغیر برگ پرچم به‌ترتیب در کاربرد همزمان تعدیل کننده‌های تنش و عدم کاربرد آن‌ها مشاهده شد، که این مقادیر نشان‌دهنده افزایش ۱/۹ برابری فلورسانس متغیر در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از تنش شوری است (جدول ۱۸).

تنش با تأثیر منفی که بر آسیمیلاسیون کربن می‌گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، در نتیجه الکترون سیستم به سرعت به فلورسانس حداکثر می‌رسد که نتیجه آن، کاهش فلورسانس متغیر خواهد بود (Zhao *et al.*, 2007). فلورسانس متغیر نشانگر احیای کامل پذیرنده‌های الکترون (QA) است. بدین صورت که وقتی پذیرنده‌های الکترون در حالت احیای کامل باشند، فلورسانس زیاد است، بنابراین فلورسانس متغیر نیز زیاد است، اما وقتی پذیرنده‌های الکترون در حالت اکسید هستند، مقدار فلورسانس، حداقل بوده و فلورسانس متغیر نیز کاهش می‌یابد، به بیانی دیگر در شرایط تنش QA در حالت اکسیدشدن است (Mehta *et al.*, 2010). در پژوهش حاضر میزان فلورسانس متغیر در تمامی سطوح تنش کاهش یافت که این کاهش می‌تواند به‌دلیل مهار الکترون و جلوگیری از انتقال آن از سمت دهنده فتوسیستم II به محل پذیرش الکترون توسط مولکول‌های کوئینون (QA و QC) و ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II باشد (Mehta *et al.*, 2010). نریمانی و همکاران (۱۴۰۲) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و همچنین محلول‌پاشی پوترسین در شرایط تنش، موجب بهبود وضعیت فلورسانس متغیر در گیاه تریتیکاله شد. در بررسی رئیسی ساداتی و همکاران (۱۳۹۹) نیز، با محلول‌پاشی برگی نانواکسید روی در گندم، فلورسانس متغیر افزایش یافت.

فلورسانس حداقل برگ پرچم: تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر فلورسانس حداقل برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۹). بررسی روند تغییرات فلورسانس حداقل در طول دوره رشدی نشان داد که این شاخص با گذشت زمان از روند افزایشی برخوردار بود (جدول ۲۰). به‌طوری‌که در ۸۴ روز پس از کاشت در بالاترین سطح شوری، کمترین میزان فلورسانس حداقل (۱۱۶)، در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی) به‌دست آمد که از کاهش ۲۸/۲ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از شوری برخوردار بود (جدول ۲۰).

به‌نظر می‌رسد تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش، با تعدیل اثرات ناشی از تنش و سهولت دسترسی گیاه به آب و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲) و کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۷)، موجب می‌شود تا شرایط فتوسنتزی بهتری ایجاد شده و مانع از افزایش بیش از حد فلورسانس حداقل شود که با یافته‌های نریمانی و همکاران (۱۴۰۳) مبنی بر اینکه کاربرد ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریز آربوسکولار با تعدیل اثرات ناشی از تنش، منجر به کاهش فلورسانس حداقل می‌شود هم‌خوانی دارد. محلوجی (۱۴۰۱) اظهار داشتند مصرف نانواکسید روی در تنش شوری با تحریک سیستم فتوسنتزی، موجب افزایش فلورسانس حداکثر و کاهش فلورسانس حداقل شد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر بهبود فلورسانس حداکثر و متغیر و کاهش فلورسانس حداقل در شرایط تنش با کاربرد پوترسین توسط دیگر محققان گزارش شده است (Islam *et al.*, 2022).

عملکرد دانه: کاربرد همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز، پوترسین و نانواکسید روی) در سطوح مختلف شوری بر عملکرد دانه جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۹). در بالاترین سطح شوری، بیشترین عملکرد دانه (۱/۷۶ گرم در بوته) در تیمار همزمان ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی مشاهده شد که از افزایش ۳۴/۲ درصدی نسبت به عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

جدول ۱۹- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس حداقل برگ پرچم و عملکرد جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴	عملکرد دانه
تکرار	۲	۱۶۰۸۴/۶**	۲۱۸۹۲/۸**	۲۴۷۸۴/۹**	۲۴۳۷۹/۷**	۳۱۵۷۳/۹**	۳۹۷۹۰/۶**	۴۲۱۵۱/۸**	۰/۴۸۸**
تنش شوری (S)	۲	۳۳۴۵/۹**	۶۹۳۸/۲**	۶۴۷۰/۹**	۱۸۹۵/۳**	۲۰۳۴/۴**	۲۰۷۲/۷**	۲۴۷۳/۸**	۱/۲۳**
کودهای زیستی (B)	۳	۳۳۳۲/۵**	۲۰۸۲/۸**	۱۹۰۲/۷**	۲۷۷۵/۷**	۵۲۶۴/۳**	۵۷۸۷/۰۷**	۵۵۱۶/۵ns	۰/۱۸۱**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۱۴۹۸/۷**	۷۷۲/۳**	۱۵۳۲/۹**	۱۵۷۶/۸**	۱۵۹۳/۴**	۱۸۰۹/۳**	۱۳۶۹/۹**	۰/۱۷**
S×B	۶	۳۱۳/۷**	۲۲۶/۲**	۷۹/۱۴ns	۱۹۷/۹۴**	۲۱۷/۷**	۲۳۰/۷ns	۳۳۶/۵ns	۰/۰۱۳*
S×F	۶	۶۳/۲*	۹۱/۵**	۲۳۷/۷**	۲۴۲/۴**	۱۵۰/۸ns	۱۳۴/۷ns	۱۹۸/۲ns	۰/۰۲۳**
B×F	۹	۱۷۲/۶**	۴۴/۸ns	۲۰۱/۹**	۲۱۲/۹**	۱۴۹/۷**	۵۶/۴ns	۲۳۱/۵ns	۰/۰۰۲ns
S×B×F	۱۸	۹۰/۶**	۱۲۶/۹**	۸۰/۸**	۱۲۰/۴**	۲۶۹/۹**	۶۶۹/۳*	۹۹۱/۸*	۰/۰۲**
خطا	۹۴	۲۳/۵	۳۱/۷	۳۶/۵	۵۴/۶	۵۴/۷	۱۷۰/۴	۱۲۷/۸	۰/۰۰۷
ضریب تغییرات		۵/۵	۵/۳	۵/۸	۶/۵	۵/۶	۹/۶	۷/۹	۵/۲

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

جدول ۲۰- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس حداقل برگ پرچم و عملکرد جو تحت شوری

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری بر فلورسانس حداقل (روز پس از کاشت)							
	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴	عملکرد دانه
S1×B1×F1	۹۶i-l	۱۰۰k-q	۱۱۷l-o	۱۱۴p-r	۱۴۱e-m	۱۳۷mn	۱۵۱d-h	۱/۷۱۷g-o
S1×B2×F1	۹۵i-m	۹۵p-u	۱۱۲o-t	۱۱۷j-o	۱۳۳m-t	۱۴۴h-k	۱۴۶ij	۱/۷۹۵c-j
S1×B3×F1	۸۵/۸q-t	۹۸n-s	۱۱۲o-s	۱۲۲f-j	۱۳۱o-v	۱۴۳c	۱۴۸h-j	۱/۸۲۶a-h
S1×B4×F1	۸۳q-v	۷۹a-z	۹۱f	۹۷b-e	۱۰۸e-g	۱۳۱o-q	۱۲۷g-i	۱/۸۹۹a-e
S1×B1×F2	۹۴i-m	۱۰۹/۹g-l	۱۱۵l-q	۱۱۱p-u	۱۴۰f-n	۱۴۷jk	۱۴۹h-j	۱/۷۵۶e-l
S1×B2×F2	۸۴p-u	۹۳/۹r-w	۱۰۴x-z	۱۰۳a-z	۱۲۹p-w	۱۴۰lm	۱۳۷lm	۱/۹a-d
S1×B3×F2	۹۹g-j	۹۳q-w	۱۰۸s-w	۱۲۴d-i	۱۲۳a-z	۱۲۵r-t	۱۴۱kl	۱/۹۵۴ab
S1×B4×F2	۷۵x-z	۹۰s-x	۹۴c-f	۱۰۲a-z	۱۱۲c-f	۱۳۴n-p	۱۳۱f-h	۱/۹۵۱ab
S1×B1×F3	۹۱n-p	۸۷a-z	۹۷b-e	۱۲۱h-l	۱۳۹g-n	۱۵۳hi	۱۵۲c-g	۱/۵۹۳n-s
S1×B2×F3	۸۷n-r	۸۸u-y	۱۰۲a-z	۱۱۹i-m	۱۱۹a-z	۱۳۰p-r	۱۴۳v-y	۱/۹۱۵a-c
S1×B3×F3	۷۷u-y	۹۹n-s	۱۰۲a-z	۱۰۵t-z	۱۲۵s-x	۱۲۲t	۱۳۵lm	۱/۸۷۵a-f
S1×B4×F3	۷۵x-y	۸۵a-z	۹۰f	۹۴de	۱۰۸e-g	۱۴۵kl	۱۲۶mn	۱/۹۲۱a-c
S1×B1×F4	۸۳q-w	۹۱r-w	۱۱۴m-r	۱۰۸r-x	۱۳۷k-q	۱۴۲b	۱۴۷h-k	۱/۸۸۸a-e
S1×B2×F4	۷۸t-w	۸۰a-z	۹۸a-d	۹۸a-d	۱۰۹d-g	۱۳۱o-q	۱۳۲lm	۱/۹۴۱ab
S1×B3×F4	۷۴x-z	۸۶a-z	۹۳e-f	۹۵de	۱۱۶a-z	۱۴۷jk	۱۳۲lm	۱/۹۶۴a
S1×B4×F4	۶۹z	۷۷b	۸۹f	۹۱e	۱۰۷fg	۱۱۶u	۱۱۶n	۱/۹۶۵a
S2×B1×F1	۱۰۹/۵۳b-d	۱۰۹g-l	۱۲۳h-j	۱۱۸i-m	۱۳۹k-p	۱۴۶jk	۱۵۲i-k	۱/۵۱۸r-w

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

S2×B2×F1	۱۱۰/۴۶a-d	۱۱۷d-h	۱۲۲g-j	۱۲۲f-j	۱۴۱e-m	۱۵۱ji	۱۶۲c	۱/۵۷۲p-v
S2×B3×F1	۹۶i-k	۱۰۶i-o	۱۱۶k-p	۱۰۸r-x	۱۴۵e-h	۱۵۳h-g	۱۴۹h-l	۱/۵۹۹n-u
S2×B4×F1	۸۳q-u	۸۸a-z	۱۰۳a-z	۱۰۴a-z	۱۴۳e-k	۱۴۷jk	۱۳۶a-z	۱/۶۶۴j-q
S2×B1×F2	۱۰۷/۳۳b-f	۱۱۱d-i	۱۲۲g-j	۱۱۵l-q	۱۳۵k-s	۱۵۱c	۱۵۷c-g	۱/۵۵۱p-w
S2×B2×F2	۱۰۲/۶۶d-i	۱۱۰e-k	۱۱۷k-o	۱۳۰b-d	۱۱۵a-z	۱۲۸q-s	۱۶۲c	۱/۵۹۳o-u
S2×B3×F2	۸۶o-s	۸۹/۸t-u	۱۰۷t-x	۱۲۶c-h	۱۳۰o-v	۱۴۰lm	۱۶۴e-i	۱/۶۸۹h-p
S2×B4×F2	۷۹s-w	۸۸u-z	۱۱۰p-t	۱۱۲n-t	۱۱۳c-f	۱۲۶q-t	۱۳۴c-f	۱/۸۴۷a-g
S2×B1×F3	۱۰۸b-f	۱۰۷i-n	۱۲۱g-k	۱۲۸b-g	۱۴۷b-g	۱۶۰a	۱۶۷bc	۱/۶۰۹l-u
S2×B2×F3	۹۳j-o	۱۰۰l-r	۱۱۱p-u	۱۰۷r-x	۱۳۴m-q	۱۴۶lm	۱۴۴i-k	۱/۶۷۶j-q
S2×B3×F3	۸۵q-t	۹۱r-x	۱۱۹h-m	۱۰۵t-z	۱۲۴s-y	۱۳۵m-p	۱۳۸a-z	۱/۵۸o-v
S2×B4×F3	۷۳x-z	۸۴a-z	۱۱۰p-t	۹۹a-z	۱۱۴b-f	۱۲۷q-t	۱۳۱f-h	۱/۷۲۹j-n
S2×B1×F4	۱۱۲a-c	۱۰۸h-m	۱۱۳n-r	۱۱۶k-p	۱۴۲e-k	۱۳۴n-p	۱۴۶h-k	۱/۶۵۳k-s
S2×B2×F4	۸۸m-q	۱۰۴k-o	۹۹a-z	۱۲۳e-j	۱۲۹p-w	۱۳۱o-q	۱۶۳bc	۱/۸۱۶c-i
S2×B3×F4	۷۶x-z	۹۷n-s	۱۰۶u-y	۱۰۰a-z	۱۲۳a-z	۱۳۶m-o	۱۳۹k-m	۱/۷۲۹g-n
S2×B4×F4	۶۹z	۷۹ab	۹۲ef	۹۶c-e	۱۱۲c-f	۱۲۴st	۱۲۹g-i	۱/۹۰۶a-d
S3×B1×F1	۱۱۸a	۱۲۷ab	۱۴۱a	۱۴۳a	۱۵۷a	۱۶۱a	۲۰۰a	۱/۳۱۵x
S3×B2×F1	۱۰۷b-f	۱۱۹a-f	۱۳۳b-d	۱۲۹b-d	۱۴۴e-j	۱۶۱a	۱۷۵b-d	۱/۴۱۶wx
S3×B3×F1	۱۰۶/۶b-g	۱۱۵c-i	۱۳۰de	۱۳۲bc	۱۴۹a–e	۱۵۷e-h	۱۹۶ab	۱/۴۳۹v-x
S3×B4×F1	۱۰۲/۴e-i	۱۱۹a-d	۱۱۸k-n	۱۱۳m-s	۱۳۲m-t	۱۵۷e-h	۱۴۵h-k	۱/۴۹۶u-w
S3×B1×F2	۱۱۳ab	۱۲۰a-d	۱۳۴b-d	۱۳۴b	۱۵۳a–c	۱۷۰d-f	۱۶۳b-e	۱/۵۳۹q-w
S3×B2×F2	۹۸h-k	۱۰۹g-k	۱۲۴f-h	۱۲۱h-l	۱۳۶k-q	۱۵۸e-h	۱۶۱c	۱/۶۵۷j-r
S3×B3×F2	۱۱۱a-c	۱۲۷a	۱۳۷ab	۱۳۳b	۱۵۲a–d	۱۵۶e-i	۱۶۰ab	۱/۵۰۳s-w
S3×B4×F2	۸۶o-s	۱۱۲d-h	۱۲۶e-g	۱۱۰p-u	۱۲۲a-z	۱۵۹d-g	۱۷۰w-z	۱/۵۷۲p-v
S3×B1×F3	۱۰۹b-d	۱۲۳a-c	۱۳۱c-e	۱۲۹b-d	۱۵۴ab	۱۶۰d-f	۱۵۶c-g	۱/۶۸۴i-p
S3×B2×F3	۹۷i-k	۱۱۷c-h	۱۲۹d-f	۱۲۱g-l	۱۴۲e-k	۱۶۰b-d	۱۷۵b-d	۱/۴۹t-w
S3×B3×F3	۱۰۱f-i	۱۱۸/۹a-f	۱۳۶a-c	۱۲۸b-f	۱۱۷a-z	۱۵۹d-g	۱۶۸a-c	۱/۶۴۱k-s
S3×B4×F3	۱۰۵c-h	۹۸n-s	۱۳۲b-d	۱۱۰p-u	۱۲۸p-w	۱۵۸e-h	۱۵۳c-f	۱/۶۵۱k-r
S3×B1×F4	۱۱۴ab	۱۱۸b-g	۱۲۲g-j	۱۱۸i-m	۱۴۹a–f	۱۵۹d-g	۱۶۹de	۱/۴۴۶v-x
S3×B2×F4	۸۹l-q	۱۱۳d-j	۱۲۰h-k	۱۰۶t-y	۱۴۶b-g	۱۵۵f-i	۱۶۸de	۱/۵۸۸o-u
S3×B3×F4	۸۰-x	۱۰۵j-o	۱۰۹r-v	۱۱۱p-u	۱۲۸s-x	۱۵۸e-h	۱۹۹a	۱/۶۲l-t
S3×B4×F4	۷۷u-y	۹۴q-u	۱۰۱a-z	۱۰۳a-z	۱۰۲g	۱۵۵f-i	۱۵۶d-f	۱/۷۶۵e-k
LSD	۱/۸۷	۹/۱۳	۵/۸	۶/۵۱	۸/۷۴	۵/۵	۹/۶۱	۰/۱۴

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F_1، F_2، F_3 و F_4 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

سطح از سطوح شوری برخوردار بود (جدول ۲۰). بخشی از افزایش عملکرد دانه با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش می‌تواند ناشی از تأثیر این عوامل بر افزایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای (جدول ۱۲ و ۹)، شاخص سبزینگی برگ و عملکرد کوانتومی (جدول ۴ و ۱۴) باشد. در این راستا نریمانی و همکاران (۱۴۰۳) نیز افزایش عملکرد دانه در شرایط شوری با مصرف همزمان قارچ میکوریز آربوسکولار و ورمی‌کمپوست را، به افزایش محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی، شاخص سبزینگی برگ و کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم بوته‌های تریتیکاله نسبت دادند. محلوجی (۱۴۰۱) نیز افزایش عملکرد دانه جو در شرایط شوری با کاربرد عنصر روی را به نقش این ماده در بهبود عملکرد کوانتومی و اجزای فلورسانس کلروفیل نسبت دادند. رئیسی ساداتی و همکاران (۱۳۹۹) نیز اظهار داشتند کاربرد نانواکسید روی به‌دلیل نقش مؤثر در عملکرد کوانتومی، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد. بخشی از بهبود عملکرد دانه در کاربرد پوترسین در شرایط شوری را می‌توان به اثر این ماده در کاهش اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو نسبت داد که با کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۸) و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲) همراه بود. از طرفی افزایش محتوای نسبی آب در چنین شرایطی با ایجاد شرایط بهینه برای گیاه، ضمن افزایش هدایت روزنه‌ای (جدول ۱۰) منجر به افزایش عملکرد کوانتومی (جدول ۱۴) و فرایند فتوسنتزی شده و مجموع این عوامل می‌تواند از دلایل اصلی افزایش عملکرد دانه تحت چنین شرایطی باشد. در این راستا Elhakem (۲۰۲۰) بیان کردند که شوری با کاهش شاخص سبزینگی برگ، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب، به کاهش سرعت فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت منجر به کاهش عملکرد گندم شد. در این زمینه برخی پژوهشگران اظهار داشتند که در شرایط شوری کاربرد کودهای زیستی مانند قارچ میکوریز آربوسکولار و ورمی‌کمپوست (نظری و همکاران، ۱۴۰۰) و پوترسین (محسنی محمدجانلو و همکاران، ۱۴۰۲) با تعدیل اثرات ناشی از شوری، به دلیل افزایش قابلیت دسترسی به مواد غذایی و بهبود برخی شاخص‌های فیزیولوژیک، منجر به افزایش عملکرد دانه شد.

نتیجه‌گیری

تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، روی و پوترسین) در سطوح مختلف شوری با بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ در طول دوره رشد، عملکرد دانه جو را در شرایط تنش شوری افزایش داد،به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه (۱/۷۶ گرم در بوته) در شوری ۸۰ میلی‌مولار، با تیمار همزمان ورمی‌کمپوست، میکوریز و محلول‌پاشی نانواکسید روی و پوترسین مشاهده شد که از افزایش ۳۴/۲ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌ها در همین سطح از سطوح شوری برخوردار بود. بر اساس نتایج این بررسی می‌توان اظهار داشت که کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش قادر بودند با بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک، از کاهش بیشتر عملکرد دانه جو تحت شرایط شوری جلوگیری کنند.

تشکر و قدردانی

مقاله مستخرج از بخشی از رساله دکتری نویسنده اول است. نویسندگان مراتب سپاس و قدرشناسی خود را از یکایک همکاران ارجمند در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی که همکاری‌های ارزشمندی را در تمامی مراحل اجرای طرح معطوف داشته‌اند اعلام می‌دارند.

منابع

آقایی، احمد، شهابی‌وند، صالح، اطهای، معصومه، و نصیری، یوسف (۱۴۰۱). تأثیر محلول‌پاشی روی و نانوذره روی بر رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و ترکیبات اسانس ریحان سبز. *پژوهش‌های گیاهی*، ۳۵(۲)، ۲۱۸-۲۳۱.
https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1401.35.2.14.0

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

حسینی چالشتری، اسما، و قدرتی، لیلا (۱۳۹۵). نقش قارچ میکوریزا آربوسکولار در کنترل بیولوژیک بیماری‌های گیاهی. دومین همایش بین‌المللی و پنجمین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار. https://civilica.com/doc/958892

رئیسی ساداتی، یلدا، جهانبخش گده کهریز، سودابه، عبادی، علی، و صدقی، محمد (۱۳۹۹). اثر محلول‌پاشی نانواکسید روی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گندم تحت تنش خشکی. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۲(۴۶)، ۶۴-۴۵. http://dorl.net/dor/20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5

زند، بهنام، سروش‌زاده، علی، قناتی، فائزه، و مرادی، فواد (۱۳۸۹). اثر محلول‌پاشی روی (Zn) و اکسین (IBA) بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ذرت دانه‌ای. *زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۳، ۴۸-۳۵. https://dorl net/dor/20.1001.1.20088264.1389.2.3.5.6

شرفی‌زاده، مهران، جزائری، محمدرضا، نیکخواه حمیدرضا، و روستایی، مظفر (۱۳۹۹). خصوصیات زراعی و مورفولوژیکی ارقام جو. *وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده ثبت و گواهی بذر*، ۹۱-۹۸.

صورآذر، خدیجه، و سیدشریفی، رئوف (۱۴۰۲). تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی تریتیکاله تحت تأثیر تنش شوری. *زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۱۴(۴)،۷۰-۳۹. https://doi.org/10.22108/ijpb.2023.138576.1332

محسنی محمدجانلو، علیرضا، سیدشریفی، رئوف، و علی‌پور، سعید (۱۴۰۲). تأثیر پوترسین و کودهای زیستی بر محتوای سدیم و پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی، هدایت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ و عملکرد گندم تحت تنش شوری. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۲، ۲۴۱-۲۲۱. https://doi.org /10.22067/jcesc.2022.79107.1202

محلوجی، مهرداد (۱۴۰۱). تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی روی بر پر شدن دانه و برخی صفات فیزیولوژیک سه رقم جو. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۱(۴۸)، ۲۷۷-۲۱۱. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.48.14.5

محمدزاده، زهرا، سیدشریفی، رئوف، فرزانه، سلیم، و نریمانی، حامد (۱۴۰۲). تأثیر نانو ذرات (روی و سیلیکون) و آزوسپریلیوم بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژکی تریتیکاله (*Triticosecale wittmak* L.) تحت تنش شوری. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۶(۲)، ۱۰۴-۲۲۷. https://doi.org/ 10.22069 /ejcp. 2023. 20673.2539

محمودسلطانی، شهرام، اله‌قلی‌پور، مهرزاد، شکوری کتیگری، مریم، پیکان، مریم، شعبان‌زاده، حمید، عطار، افشین، طبالوندی، علی اصغر، و کشتکار، فاطمه (۱۳۹۹). بررسی تأثیر کاربرد همزمان مصرف خاکی و محلول‌پاشی کود فسفات روی بر عملکرد، مقدار پروتئین دانه و محتوای روی در اندام‌های گیاه برنج در مراحل مختلف رشد. *پژوهش‌های خاک*، ۳۴(۳)، ۳۰۹-۳۲۸. https://doi.org/10.22092/ijsr.2020.342790.529

معینی‌راد، اکرم، زینلی، ابراهیم، گالشی، سراله، سلطانی، افشین، و یگانه‌پور، فرهود (۱۴۰۰). بررسی حساسیت فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزینگی، میزان کلروفیل (a، b)، غلظت نیتروژن و شاخص تغذیه نیتروژن گیاه تحت تغذیه نیتروژنی و فسفری در گندم. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۴(۱)، ۱۸-۱. https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.12259.1947

نریمانی، حامد، سیدشریفی، رئوف، و صدقی، محمد (۱۴۰۳). تأثیر میکوریزا، ورمی‌کمپوست و پوترسین بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی تریتیکاله (*Triticosecale wittmack*) تحت تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳(۵۹)، ۹۳-۶۱. http://dx.doi.org/DOI:%2010.22034/13.59.61

نظری، ژیلا، سیدشریفی، رئوف، و نریمانی، حامد (۱۴۰۰). اثر مایکوریزا، ورمی کمپوست و نانوسیلیکون بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی تریتیکاله تحت شدت‌های مختلف تنش خشکی. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۴(۴)،۴۵-۲۱. https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18925.2413

نوروزنیا، فاطمه، انصاری، محمدحسین، امین‌پناه، هاشم، و فیروزی، سعید (۱۳۹۹). تأثیر میکوریزا و سودوموناس بر صفات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

فیزیولوژیکی و عملکرد برنج در شرایط تنش شوری خاک. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۴(۵۴)،۸۱-۶۳. https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18925.2413

Ahmed, S., Ahmed, S., Roy, K., Woo, S. H., Sonawane, K. D., & Shohael, A. M. (2019). Effect of salinity on the morphological, physiological and biochemical properties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Bangladesh. *Journal of Open Agriculture*, *4*(1), 361-373. http://dx.doi.org/10.1515/opag-2019-0033

Alloway, B. J. (2008). Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd Ed. IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France.

Azari, A., Modares Sanavi, S. A. M., Askari, H., Ghanati, F., Naji, A. M., & Alizade, B. (2012). Effect of salinity stress on morphological and physiological of canola and turnip (*Brassica napus* and B. rapa). *Journal of Crop Science*, *14*, 2. 121-135. https://doi 10.1007/s13762-017-1508-7

Benaffari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, Y., Ben Ahmed, H., Mitsui, T., Baslam, M., & Meddich, A. (2022). The native Arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost-based organic amendments enhance soil fertility, growth performance, and the drought stress tolerance of quinoa. *Plants, 11*(3), 393. https://doi.org/10.3390/plants11030393

Beyk-Khormizi, A., Sarafraz-Ardakani, M. R., Hosseini Sarghein, S., Moshtaghion, S. M., Mousavi-Kouhi, S. M., & Taghavizadeh Yazdi, S. E. (2023). Effect of organic fertilizer on the growth and physiological parameters of a traditional medicinal plant under salinity stress conditions. *Horticulture, 9*(6), 701-721, https://doi.org/10.3390/horticulturae9060701

Cramer, G. R., Lauchli, A., & Epstein, E. (1986). Effects of NaCl and $CaCl_2$ on ion activities in complex nutrient solutions and root growth in cotton. *Plant Physiology, 81*, 792-797.

Elhakem, A. H. (2020). Growth, water relations, and photosynthetic activity are associated with evaluating salinity stress tolerance of wheat cultivars. *Hindawi, International*. *Journal of Agronomy*, *2020*, 1-9. https://doi.org/10.1155/2020/8882486

Farooqi, Z. U. R., Qadir, A. A., Khalid, S., Murtaza, G., Ashraf, M. N., Rahman, S. U., Javed, W., Waqas, M. A., & Xu, M. (2024). Greenhouse gas emissions, carbon stocks and wheat productivity following biochar, compost and vermicompost amendments: Comparison of non-saline and salt-afected soils. *Scientific Repots, 14*, 7752. https://doi.org/10.1038%2Fs41598-024-56381-y

Hosseini Farahi, M, & Aboutalebi Jahroomi, A. (2018). Effect of pre-harvest foliar application of polyamines and calcium sulfate on vegetative characteristics and mineral nutrient uptake in *Rosa hybrida*. *Journal of Ornamental Plants*, *8*(4), 241-253.

Islam, M. J., Uddin, M. J., Hossain, M. A., Henry, R., Begum, M. K., Sohel, M. A. T., Mou, M. A., Ahn, J., Cheong, E.J., & Lim, Y. S. (2022). Exogenous putrescine attenuates the negative impact of drought stress by modulating physiobiochemical traits and gene expression in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *PLoS ONE*, *17*, 0262099. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262099

Jalili, I., Ebadi, A., Askari, M. A., Kalatejari, S., & Aazami, M. A. (2023). Foliar application of putrescine, salicylic acid, and ascorbic acid mitigates frost stress damage in *Vitis vinifera* cv. Giziluzum. *Journal of BMC Plant Biology*, *23*(135), 1-15. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04126-w

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *44*(1), 116-124.

Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., & Basile, N. (2010). Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Journal of Plant and Soil*, *330*(1-2), 65-71. https://doi. org/10. 1007/sl1104-009-0176-x

Kusano, T, & Suzuki, H. (2015). Polyamines. Springer.

Liu, M., Wang, C., Wang, F., & Xie, Y. (2019). Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. *Journal of Applied Soil Ecology*, *14*(62), 142-154. http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.024

Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.

Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S., & Bharti, S. (2010). Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(1), 16-20. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.10.006

Mohammadi, M., Nezamdoost, D., Khosravi Far, F., Zulfiga, F., Eghlima, G., & Aghamir, F. (2024). Exogenous putrescine application imparts salt stress-induced oxidative stress tolerance via regulating antioxidant activity, potassium uptake, and abscisic acid to gibberellin ratio in Zinnia flowers. *Journal of BMC Plant Biology*, *24*, 865, https://doi.org/10.1186/s12870-024-05560-0

Mohammadi-Cheraghabadi, M., Modarres-Sanavy, A. A. M., Sefidkon, F., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Hazrati, S. (2022). Effects of water-deficit stress and putrescine on performances, photosynthetic gas exchange, and chlorophyll

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

fluorescence parameters of Salvia officinalis in two cutting times. *Journal of Crop Food Science and Nutrition*, *10*(5), 1431-1441. https:// doi: 10.1002/fsn3.2741

Neocleous, D, & Vasilakakis, M. (2007). Effects of NaCl stress on redraspberry (*Rubus idaeus* L."AutumnBliss"). *Journal of Horticulture*, *112*, 282-289. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.025

Pollastri, S., Savvides, A., Pesando, M., Lumini, E., Volpe, M. G., Ozudogru, E. A., Faccio, A., De Cunzo, F., Michelozzi, M., Lambardi, M., & Fotopoulos, V. (2018). Impact of two arbuscular mycorrhizal fungi on *Arundo donax* L. response to salt stress. *Journal of Planta*, *247*(3), 573-585. https://doi.org/10.1007/s00425-017-2808-3

Rezvanypour, S., Hatamzadeh, A., Elahinia, S. A., & Asghari, H. R. (2015). Polyamines and calcium sulfate on vegetative characteristics and mineral nutrient uptake in Rosa polyamines improve mycorrhizal development and growth and flowering of Freesia hybrida. *Journal of Reseach Horticultural Science*, *23*(2), 17-25. http://dx.doi.org/10.2478/johr-2015-0013

Rubinowska, K., Pogroszewska, E., & Michalek, W. (2012). The effect of polyamines on physiological parameters of post- harvest quality of cut stems of Rosa 'Red Berlin'. *Journal of Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 11*, 81-93.

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. *Journal of Agronomy*, *98*, 655-665.

Wu, Q. S., Zou, Y. N., Liu, M., & Cheng, K. (2012). Effects of exogenous putrescine on mycorrhiza, root system architecture, and physiological traits of *Glomus mosseae* -colonized Trifoliate orange seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj –Napoca*, *40*, 80-85.

Zhang, G. W., Xu, S. C., Hu, Q. Z., Mao, W. H., & Gong, Y. M. (2014). Putrescine plays a positive role in salt-tolerance mechanisms by reducing oxidative damage in roots of vegetable soybean. *Journal of Integrative Agriculture*, *13*(2), 349-357. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60405-0

Zhao, G., Ma, B., & Ren, C. (2007). Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Journal of Crop Scienc*, 47(1), 123-131. https://doi.org/ 10.2135/ cropsci2006. 06. 371

Zlatev, Z. (2010). Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. *Journal of Biotechnology and Biotechnological Equipment*, *23*(4), 438-441. https://doi.org/ 10.1080/1310 2818.2009. 10818458

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]

Effects of bio fertilizers and foliar application with nano zinc oxide and putrescine on chlorophyll fluorescence components and some physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress

Sara Mohammadi Kale Sarlou[1], Raouf Seyed Sharifi[2*], Mohammad Sedghi[2]

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

(Received: 2024/07/22, Accepted: 2024/11/03)

Abstract

In order to evaluate the effects of stress modulators (vermicompost, arbuscular mycorrhiza fungi and foliar application of putresin and nano zinc oxide) on fluorescence chlorophyll components and some physiological traits of barley under salinity stress conditions, an experimental as factorial was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research greenhouse, faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabil in 2022. The experimental treatments were included salinity in three levels (no salinity as control, salinity of 40 and 80 mM) by NaCl, bio fertilizers in four levels (no application as control, application of vermicompost 50 g/kg of soil, arbuscular mycorrhiza fungi 20 g/m^2 of soil, both application of vermicompost and mycorrhiza), foliar application of putrescine and nano zinc oxide in four levels (foliar application with water as control, foliar application 0.4 $g.L^{-1}$ nano zinc oxide, 0.8 mM putrescine, foliar application of nano zinc oxide and putrescine). The results showed that in stages of flag leaf emergence and heading under the highest salinity level, simultaneous treatment of stress modulators (vermicompost, arbuscular mycorrhizal fungi, putrescine and zinc oxide) increased chlorophyll index (34.8 and 29.5% respectively), nitrogen index (28 and 21.6% respectively), stomatal conductivity (58.94 and 77.9% respectively), relative water content (45.4 and 46.1% respectively), quantum yield (16.3 and 110% respectively), maximum fluorescence (38.6 and 41.48% respectively), variable fluorescence (61.2 and 196.3% respectively) in comparison with no application of stress modulators at the same level from salinity levels. Also, at the highest salinity level, simultaneous treatment of stress modulators increased 34.2% grain yield in comparison with no application of stress modulators at the same level from salinity levels. Based on the results of this study, simultaneous treatment of stress modifiers (vermicompost, arbuscular mycorrhizal fungi, and foliar spraying of putresin and nanooxydroi) was able to compensate a part of the reduction of barley yield under salinity conditions due to improving fluorescence chlorophyll components and some physiological traits such as chlorophyll indices, quantum yield and stomatal conductivity.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Chlorophyll index, Relative water content, Stomatal conductivity, Vermicompost

Corresponding author, Email: raouf_ssharifi@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-05-09]