مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه گندم تحت تنش شوری

فاطمه آقایی، رئوف سیدشریفی* و حامد نریمانی

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

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه گندم تحت تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در چهار سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد و اعمال شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار)، با نمک کلرید سدیم و محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در هشت سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم درلیتر نانوسیلیکون، محلول-پاشی یک گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و نانواکسید روی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و پوترسین، محلول‌پاشی نانواکسید روی و پوترسین، محلول‌پاشی همزمان نانواکسید روی و سیلیکون با پوترسین) بودند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری، فلورسانس متغیر (۹۵/۸ درصد)، فلورسانس حداکثر (۳۵/۳۳ درصد)، عملکرد کوانتومی (۴۲/۲۴ درصد)، شاخص سطح برگ (۸۶/۱۹ درصد)، پروتئین برگ پرچم (۴۱/۸ درصد)، ماده خشک کل (۴۴/۰۹ درصد)، فتوسنتز جاری (۸۷/۱۵ درصد) و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (۳۶/۰۴ درصد) و عملکرد دانه (۳۷/۳۴ درصد) را نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین در بالاترین سطح شوری افزایش داد. ولی حداکثر میزان انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی (به‌ترتیب ۳۷/۸۰ و ۳۸/۱۵ درصد) و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه (به ترتیب ۸۹/۴۵ و ۹۰/۲۲ درصد) در شرایط عدم محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار بدست آمد. به‌نظر می‌رسد کاربرد نانوذرات و پوترسین با بهبود فتوسنتز جاری و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، می‌تواند عملکرد دانه گندم را تحت تنش شوری افزایش دهد.

کلمات کلیدی: پروتئین برگ، شاخص سطح برگ، عملکرد کوانتومی، فتوسنتز جاری، فلورسانس حداکثر

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Ahmad *et al.*, 2019) که با کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک، موجب القای خشکی فیزیولوژیک در گیاه، نابه‌سامانی در فتوسیستم II، کاهش فلورسانس کلروفیل، کاهش تدریجی در سرعت انتقال الکترون و میزان فتوسنتز می‌شود. همچنین مسدود شدن مسیر انتقال الکترون به‌وسیله یون کلر در غلظت‌های سمی این عنصر

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

و پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای تیلاکوئیدی می‌تواند موجب کاهش در فلورسانس کلروفیل برگ در غلظت‌های بالای نمک شود (محلوجی، ۱۳۹۵). گرچه شوری فرآیندهای فتوسنتزی را مختل می‌کند، ولی در برخی موارد افزایش انتقال مجدد ماده خشک از ساقه و اندام هوایی به دانه تحت تنش شوری (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷) و محلول‌پاشی نانواکسید روی و سیلیکون از جمله راه‌کارهای است که قادر است تا حدی ضمن تعدیل یا کاهش اثر سوء ناشی از تنش، با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و تعدیل اثرات مخرب تنش شوری به بهبود عملکرد دانه کمک کند (نریمانی و سیدشریفی، ۱۳۹۹).

روی (Zn) یک ریزمغذی ضروری است که در بسیاری از فرآیندهای بیولوژیک در گیاهان نقش دارد و کوفاکتور آنزیم‌های متعددی مانند RNA پلیمراز، سوپراکسید دیسموتاز، الکل دهیدروژناز و کربنیک انهیدراز است. به همین دلیل، حضور آن برای سنتز پروتئین، کربوهیدرات، لیپید و اسیدهای نوکلئیک و متابولیسم آنتی‌اکسیدان ضروری است (Sturikova *et al.*, 2018). محلول‌پاشی نانواکسید روی در شرایط شوری با کاهش جذب سدیم توسط ریشه، بهبود عملکرد کوانتومی و فرآیندهای فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی می‌شود (Torabian *et al.*, 2015). طبق گزارش نریمانی و سیدشریفی (۱۳۹۹) محلول‌پاشی نانواکسید روی در شرایط شوری با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر)، موجب افزایش درصد پروتئین و عملکرد دانه گندم شد. خیری‌زاده‌آروق و همکاران (۱۳۹۷) نیز اظهار داشتند که محلول نانواکسید روی با بهبود شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری، موجب افزایش عملکرد دانه گندم تحت تنش شوری شد.

کاربرد سیلیکون در گیاهان نیز معمولاً با نفوذ در ساقه و برگ، ضمن استحکام فیزیکی اندام‌ها و بهبود فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک، تبادلات گازی، موجب تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌شود که نتیجه آن افزایش کارآیی گیاه در مواجهه با انواع تنش‌های محیطی است (Etesami and Jeong, 2018). سیلیکون با بهبود تعادل آبی، تحریک سیستم آنزیمی و فعال نمودن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، افزایش سنتز ترکیب‌های فنلی، تعادل هورمونی، سنتز کلروفیل، کاهش جذب سدیم و یا افزایش وابسته به H^+-ATPase پتاسیم، افزایش فعالیت فتوسنتز و تولید زیست‌توده، موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری می‌شود (Ahmad *et al.*, 2019). نظری و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش، از طریق بهبود شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و عملکرد دانه تریتیکاله شد. Song و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که محلول‌پاشی سیلیکون از طریق افزایش عملکرد کوانتومی و سطح برگ، موجب افزایش تجمع ماده خشک شد.

کاربرد پلی‌آمین‌هایی همچون پوترسین یکی دیگر از راهکارهای نوین به‌منظور کاهش اثر مضر تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری است (Hasanuzzaman *et al.*, 2019). پلی‌آمین‌ها ترکیبات آلی نیتروژن‌دار و پلی‌کاتیون‌های با وزن مولکولی کوچک هستند که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاه، نقش حفاظتی در برابر آسیب غشا و پراکسیداسیون لیپیدی دارند و در تنظیم فرآیندهای مهم سلول از جمله همانندسازی DNA، تقسیم سلولی، فعالیت آنزیم‌ها، گلدهی، رسیدن میوه، رشد ریشه و تأخیر پیری نقش دارند (Hasanuzzaman *et al.*, 2019). پلی‌آمین‌ها از طریق تحریک سنتز ATP، انرژی سلول را تأمین کرده و ظرفیت فتوسنتزی را با افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II در شرایط تنش، بهبود می‌بخشند (Zhang *et al.*, 2009). عمادی و همکاران (۱۳۹۲) بیان کردند که محلول‌پاشی پوترسین از طریق افزایش دوام سطح برگ، موجب افزایش فتوسنتز و عملکرد دانه گندم شد. سیدشریفی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که محلول‌پاشی پوترسین ضمن بهبود عملکرد کوانتومی و محتوای پروتئین اندام هوایی، موجب افزایش وزن خشک ماشک گل‌خوشه‌ای شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

امروزه پایین‌بودن مقدار بارش و دمای بالا در مناطق خشک و نیمه‌خشک و بهره‌برداری زیاد از منابع آب قابل دسترس، از علل عمده شورشدن آب و خاک ذکر شده (Mouk and Ishii, 2008). از این‌رو یکی از راه‌کارهای مناسب برای مقابله با این مشکل، افزایش مقاومت گیاهان به شوری است. در این راستا به‌دلیل اهمیت نانو ذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از تنش و بررسی‌های محدود انجام‌شده در خصوص برهم‌کنش همزمان این عوامل، موجب شد تا اثر محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی و در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در چهار سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد و اعمال شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار از نمک کلرید سدیم)، و محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در هشت سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و نانواکسید روی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و پوترسین، محلول‌پاشی نانواکسید روی و پوترسین، محلول‌پاشی همزمان سیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین) بود. با استفاده از نمک NaCl و نرم‌افزار Salt Calc (با استناد به هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع خاک) مقدار نمک مورد نیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان در هر یک از سطوح شوری محاسبه و همراه آب آبیاری به خاک اضافه شد. 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، نمک‌های احتمالی واردشده به زیر گلدانی دوباره در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. پس از تهیه خاک یکدست، ۲۰ کیلوگرم خاک به هر گلدان اضافه شده و تمامی گلدان‌ها با قطر ۴۲ سانتی‌متر، تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از خاک پر شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است. در این آزمایش از گندم رقم "کاسکوژن" با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع (۵۵ عدد بذر در هر گلدان) که تراکم مطلوب و توصیه‌شده برای این رقم است استفاده شد (تاریخ کاشت ۱۴۰۰/۱۱/۱۲). این رقم پابلند، با تیپ رشد زمستانه و مقاوم به سرما و خوابیدگی و در گروه ارقام با کیفیت نانوایی بسیار خوب قرار دارد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی ۷±۶۵ درصد نگهداری شد. محلول‌پاشی با نانوذرات و پوترسین در دو مرحله رشدی (مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. مشخصات نانوذرات در جدول ۲ آورده شده است.

برای برآورد میزان انتقال مجدد مواد از اندام‌های رویشی به دانه، در هر گلدان بوته‌هایی مشابه و یکنواخت علامت‌گذاری شده و از یک هفته قبل از پرشدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یک‌بار برداشت نمونه انجام گرفت. بوته‌های برداشت‌شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک و پس از خشک‌کردن در آون به اندام‌های مختلف توزین، میزان انتقال ماده خشک و سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه از طریق روابط مربوطه محاسبه شد (Barnett and Pearce, 1983). در این روابط کاهش ناشی از تنفس در نظر گرفته نشده است و فرض شده است که تنفس برای شرایط محیطی مورد استفاده در این بررسی یکسان است. Ehdaei و Wanies (۱۹۹۶) هم در بررسی‌های مربوط به تنوع ژنتیکی انتقال مجدد در گندم، چنین فرضی را به‌کار برده‌اند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

ویژگی	اسیدیته	عصاره اشباع	شوری خاک	بافت	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	روی	فسفر	پتاسیم
		(درصد)	($ds.m^{-1}$)		(درصد)				(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			
میزان	۷/۸	۴۷	۱/۸	سیلت	۱۹/۵	۴۲	۳۸/۵	۰/۷۲	۰/۰۴	۱/۰۲	۲۷/۳	۲۵۵

جدول ۲- مشخصات نانواکسید روی و نانوسیلیکون

نوع نانوذرات	وزن (g)	خلوص (٪)	میانگین اندازه ذرات (nm)	سطح ویژه ذرات	رنگ
نانواکسید روی	۱۰۰	۹۹	<۳۰	>۳۰ $m^2.g^{-1}$	پودری سفید
نانوسیلیکون	۰/۰۵	۹۹	۲۰-۳۰	>۳۰ $m^2.g^{-1}$	پودری سفید

رابطه ۱

$$DMT = DMA - DMM$$

که در آن DMT (Dry Matter Translocation) میزان انتقال ماده خشک کل برحسب گرم در بوته، DMA (Dry Matter at Anthesis) حداکثر ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM (Dry Matter at Maturity) ماده خشک اندام هوایی (بجز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

رابطه ۲

$$CDMAG = \left(\frac{DMT}{GY}\right) \times 100$$

در این رابطه CDMAG (Contribution of Dry Matter Assimilates to Grain) سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه برحسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک برحسب گرم در بوته و GY (Grain Yield) عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته است.

رابطه ۳

$$SDMT = SDMM - SDMA$$

در این رابطه SDMT (Stem Dry Matter Translocation) میزان انتقال ماده خشک از ساقه برحسب گرم در بوته، SDMA (Stem Dry Matter at Anthesis) حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول، SDMM (Stem Dry Matter at Maturity) وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

رابطه ۴

$$CSAG = \left(\frac{SDMT}{GY}\right) \times 100$$

در این رابطه CSAG (Contribution of Stem Assimilates to Grain) سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه بر حسب درصد، SDMT میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته است.

رابطه ۵

$$CP = GY - DMT$$

در این رابطه CP (Current photosynthesis) میزان فتوسنتز جاری برحسب گرم در بوته، GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته و DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در بوته است.

رابطه ۶

$$SSPG = \left(\frac{CP}{GY}\right) \times 100$$

در این رابطه CCPG (Contribution Current Photosynthesis in Grain) سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه بر حسب درصد، CP میزان فتوسنتز جاری بر حسب گرم در بوته و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته است.

به‌منظور برآورد میزان بیوماس کل Total Dry Matter, (TDM) و شاخص سطح برگ (Leaf Area Index, LAI)، از ۴۴ روز بعد از کاشت (مرحله طویل‌شدن ساقه معادل با کد ۳۱ از مقیاس BBCH) شروع و تا ۱۳۴ روز پس از کاشت (تا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

انتهای دوره پرشدن دانه و رسیدگی فیزیولوژیک معادل با کد ۸۹ از مقیاس BBCH) ادامه یافت. نمونه‌برداری به روش تخریبی و از هر گلدان دو بوته برداشت شد. نمونه‌ها ابتدا در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیش‌تر قرار گرفته و سپس توزین شدند و با استفاده از روابط زیر برآورد شدند (Karimi and Siddique, 1991).

رابطه ۷

$$TDM = e^{(a+bt+ct^2+dt^3)}$$

رابطه ۸

$$LAI = e^{(a+bt+ct^2)}$$

در این روابط t فاصله زمانی بین مراحل نمونه‌برداری a، b و c ضرایب معادله هستند.

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگارشده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگارشده با تاریکی)، F_v (فلورساس متغیر از برگ سازگارشده با تاریکی) و F_v/F_m (عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگارشده با تاریکی)، روند تغییرات شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ پرچم از ۷۴ روز بعد از کاشت (مرحله ظهور کامل برگ پرچم معادل با کد ۳۹ از مقیاس BBCH) شروع و تا ۱۱۴ روز پس از کاشت (اواسط مرحله پرشدن دانه معادل با کد ۷۵ از مقیاس BBCH) ادامه یافت. توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (Chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 USA) از هر تیمار به‌طور تصادفی پنج برگ پرچم توسعه‌یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص‌های F_0، F_m، F_v/F_m و F_v اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016).

پروتئین برگ پرچم با استفاده از روش Bradford (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد تک بوته، در زمان رسیدگی (تاریخ برداشت ۱۴۰۱/۰۴/۰۴) تعداد شش بوته به ظاهر مشابه که به‌طور تصادفی در هر گلدان مشخص بود برداشت شده، و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش این صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کار گرفته شد. تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ پرچم: برهمکنش همزمان هر دو عامل محلول‌پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳ و ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ۱۱۴ روز پس از کاشت (اواسط مرحله پرشدن دانه معادل با کد ۷۵ از مقیاس BBCH)، محلول‌پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب کاهش ۳۲/۲۳ درصدی فلورسانس حداقل برگ پرچم نسبت به عدم محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد (جدول ۵). فلورسانس حداقل (F_0) تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد که تغییرات ساختاری در مراکز واکنش اولیه فتوسیستم II به‌وجود می‌آورند. در مطالعه حاضر، میزان F_0 با افزایش سطح شوری افزایش یافت (جدول ۵)، و افزایش فلورسانس حداقل حاکی از خسارت به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II به‌دلیل کاهش ظرفیت کوئینونآ (QA) و اکسیداسیون ناقص آن به‌دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع منجر به غیرفعال شدن فتوسیستم II است (Falqueto *et al.*, 2017).

در ۱۱۴ روز پس از کاشت، محلول‌پاشی همزمان نانوذرات (نانوسیلیکون و روی) و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری ضمن دارا بودن بالاترین میزان فلورسانس متغیر (۵۲۸/۶۷)، از افزایش ۹۵/۸ درصدی نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین نسبت به شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۶). فلورسانس متغیر (F_v) که از اختلاف فلورسانس حداکثر (F_m) با فلورسانس حداقل (F_0) به‌دست می‌آید، وضعیت جریان الکترون از بخش فتوسیستم به QA را نشان می‌دهد (Xia *et*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس حداقل (F_0) و فلورسانس متغیر (F_v) برگ پرچم گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه‌برداری فلورسانس حداقل (F_0) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه‌برداری فلورسانس متغیر (F_v) (روز پس از کاشت)				
		۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴
تکرار	۲	۶۵۸۴/۸**	۷۶۳/۳**	۱۰۳۵/۰۹**	۴۱۸۷/۵**	۴۲۹۰/۸**	۳۰۲۸۹/۶**	۱۸۴۶/۲^{ns}	۱۱۵۹۵/۰۹**	۳۲۷/۶^{ns}	۱۲۱۸/۷^{ns}
(S)	۳	۱۳۶۴۴/۷**	۱۲۶۵۴/۳**	۱۴۳۲۳/۶**	۷۳۵۲/۹**	۳۸۲۶/۴**	۱۰۳۹۴۳/۴**	۱۲۴۷۵۸/۲**	۹۰۰۴۶/۳۷**	۸۲۳۶۰/۷**	۵۹۸۵۹/۷**
(N)	۷	۴۱۰۵/۸**	۴۳۷۴/۹**	۴۳۹۵/۴**	۱۷۰۵/۵**	۱۲۲۳/۱**	۴۲۲۱۲/۷**	۴۶۱۹۰/۵**	۳۱۹۴۴/۱۸**	۲۲۸۸۹/۶**	۱۸۷۷۵/۲**
S×N	۲۱	۷۵۱/۶**	۴۷۵/۸**	۶۲۴/۳۷**	۴۰۴/۹**	۲۵۵/۴**	۶۴۶۲/۹**	۳۴۴۹/۵**	۳۷۳۸/۳۸**	۳۷۱۸/۱**	۳۶۴۱/۹**
خطا	۶۲	۱۱۶/۴	۸۰/۱	۹۸/۵	۱۲۳/۰۵	۹۳/۵	۱۳۹۰/۹	۱۳۵۴/۷	۱۴۰۰/۵	۸۰۸/۷	۹۹۱/۹
CV	–	۶/۹	۵/۲	۵/۵۳	۵/۱۹	۴/۳۳	۶/۷۳	۷/۰۷	۷/۵۵	۶/۶۰	۷/۹

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

شوری (S)، محلول‌پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس حداکثر (Fm) و عملکرد کوانتومی (Fv/Fm) برگ پرچم گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه‌برداری فلورسانس حداکثر (Fm) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه‌برداری عملکرد کوانتومی (Fv/m) (روز پس از کاشت)				
		۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴
تکرار	۲	۸۹۳۹/۷**	۱۴۶۴/۹^{ns}	۵۷۰۶/۳**	۴۳۰۴/۳**	۹۵۲/۴^{ns}	۰/۰۱۹**	۰/۰۰۱۴^{ns}	۰/۰۰۵۸**	۰/۰۰۵۶**	۰/۰۰۸۲**
(S)	۳	۴۲۳۸۸/۹**	۶۰۳۱۲/۰۶**	۳۴۴۵۵/۱**	۴۰۵۴۳/۷**	۳۳۵۶۴/۲**	۰/۰۳۱**	۰/۰۴۴**	۰/۰۵۲**	۰/۰۳۸**	۰/۰۲۸**
(N)	۷	۲۰۴۴۱/۲**	۲۲۹۳۸/۳**	۱۲۸۶۰/۴**	۱۲۹۲۶/۹**	۱۰۸۰۱/۱**	۰/۰۱۷**	۰/۰۲**	۰/۰۱۶**	۰/۰۱۶**	۰/۰۱۳**
S×N	۲۱	۳۱۳۵/۱**	۱۷۱۰/۱*	۲۵۳۰/۷**	۲۵۱۰/۴**	۲۵۰۵/۱**	۰/۰۰۵۲**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۳۳**	۰/۰۰۲۷**	۰/۰۰۳**
خطا	۶۲	۹۰۳/۱	۹۶۸/۲	۱۱۳۰/۸	۶۸۶/۴	۶۷۶/۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۲
CV	–	۴/۲۳	۵/۴	۴/۹۸	۴/۰۶	۴/۱۸	۶/۲۸	۴/۵۴	۴/۴۹	۴/۹۶	۵/۴۵

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

شوری (S)، محلول‌پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

al., 2004). نتایج نشان داد که تنش شوری، کاهش مقدار فلورسانس متغیر را به‌دنبال داشت (جدول ۶). اصولاً مقدار فلورسانس کلروفیل هنگامی که اولین پذیرنده الکترون (QA) در حالت احیا باشد زیاد است و به این دلیل مقدار فلورسانس متغیر (F_v) نیز در این حالت زیاد می‌شود، اما زمانی که QA در حالت اکسیداسیون است، مقدار فلورسانس کلروفیل کم است و میزان فلورسانس متغیر (F_v) کاهش می‌یابد (صفاری و همکاران، ۱۳۹۴). از آنجایی که فلورسانس متغیر نشانگر احیای کامل پذیرنده الکترون (Q) است، بنابراین می‌توان استنباط نمود که تنش شوری در انتقال الکترون به فتوسیستم I اختلال ایجاد می‌کند (صفاری و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب افزایش ۳۵/۳۳ درصدی فلورسانس حداکثر نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین نسبت به شوری ۱۲۰ میلی‌مولار در ۱۱۴ روز پس از کاشت شد (جدول ۷). گزارش شده است که کاهش فلورسانس حداکثر (F_m) ممکن است با کاهش فعالیت کمپلکس آنزیم تجزیه‌کننده آب و همچنین چرخه انتقال الکترون در درون یا اطراف فتوسیستم II مرتبط باشد (Chaves *et al.*, 2009). آسیب به دستگاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس حداقل (F_o) و برگ پرچم گندم

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری فلورسانس حداقل (F_o) (روز پس از کاشت)				
	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴
$S_1 \times N_1$	۱۴۸$^{k-o}$	۱۶۳/۳۳$^{k-m}$	۱۷۶/۳۳$^{h-l}$	۲۰۹/۳۳$^{g-l}$	۲۱۹/۳۳$^{g-l}$
$S_1 \times N_2$	۱۲۱/۶۶$^{qr-u}$	۱۵۲/۶۶$^{l-n}$	۱۳۶/۳۳st	۱۸۳/۳۳$^{o-r}$	۲۰۳$^{m-p}$
$S_1 \times N_3$	۱۳۱/۶۶$^{o-s}$	۱۳۴/۳۳$^{p-s}$	۱۶۶/۳۳$^{l-n}$	۱۹۴$^{l-q}$	۲۰۷/۳۳$^{k-o}$
$S_1 \times N_4$	۱۱۰/۶۶^{u}	۱۴۷$^{n-p}$	۱۴۴/۶۶$^{p-t}$	۲۰۱$^{j-o}$	۲۲۳$^{fg-k}$
$S_1 \times N_5$	۱۴۲/۶۶$^{m-p}$	۱۲۹$^{q-s}$	۱۵۶/۳۳$^{m-q}$	۱۷۸^{qr}	۲۱۱/۳۳$^{h-n}$
$S_1 \times N_6$	۱۱۲/۶۶^{tu}	۱۳۷$^{o-r}$	۱۳۳/۳۳st	۱۸۸/۶۶$^{m-r}$	۱۹۵/۳۳^{op}
$S_1 \times N_7$	۱۱۶$^{s-u}$	۱۲۶^{rs}	۱۴۱$^{qr-t}$	۱۸۰$^{p-r}$	۱۹۷/۶۶$^{n-p}$
$S_1 \times N_8$	۱۰۶/۳۳^{u}	۱۲۲^{s}	۱۲۹^{t}	۱۷۳/۳۳^{r}	۱۹۱/۳۳^{p}
$S_2 \times N_1$	۱۸۵$^{c-g}$	۱۹۰/۳۳$^{e-g}$	۲۰۶/۳۳$^{d-f}$	۲۲۸/۶۶$^{b-f}$	۲۳۹/۶۶$^{a-e}$
$S_2 \times N_2$	۱۵۵/۶۶$^{j-n}$	۱۷۸/۳۳$^{g-j}$	۱۶۹/۳۳$^{k-n}$	۲۰۵/۳۳$^{h-m}$	۲۲۴/۶۶$^{e-j}$
$S_2 \times N_3$	۱۵۷/۳۳$^{i-n}$	۱۶۷$^{j-l}$	۱۹۶$^{e-g}$	۲۱۸/۳۳$^{e-j}$	۲۳۲/۶۶$^{b-g}$
$S_2 \times N_4$	۱۷۴$^{e-i}$	۱۶۹^{jk}	۱۹۲/۶۶^{fg}	۲۲۸/۳۳$^{b-f}$	۲۳۷$^{b-f}$
$S_2 \times N_5$	۱۵۹/۶۶$^{h-m}$	۱۸۴/۳۳$^{f-i}$	۱۵۹/۶۶$^{m-p}$	۲۲۲/۶۶$^{e-h}$	۲۲۷$^{d-h}$
$S_2 \times N_6$	۱۷۳/۳۳$^{f-i}$	۱۹۷/۳۳$^{c-f}$	۱۹۴/۶۶^{fg}	۲۳۱/۳۳$^{b-e}$	۲۳۷/۶۶$^{a-f}$
$S_2 \times N_7$	۱۳۷/۶۶$^{o-q}$	۱۴۳/۳۳$^{n-q}$	۱۴۸/۶۶$^{o-s}$	۱۹۹$^{k-o}$	۲۰۴/۶۶$^{l-p}$
$S_2 \times N_8$	۱۱۸/۶۶$^{r-u}$	۱۳۱$^{q-s}$	۱۳۹/۳۳$^{r-t}$	۱۸۶/۳۳$^{n-r}$	۲۰۱$^{n-p}$
$S_3 \times N_1$	۱۹۸/۶۶$^{a-d}$	۲۰۴$^{b-e}$	۲۱۸/۳۳$^{b-d}$	۲۴۲/۶۶$^{a-c}$	۲۴۵$^{a-c}$
$S_3 \times N_2$	۱۹۱/۳۳$^{b-e}$	۲۰۷/۳۳$^{b-d}$	۲۱۱$^{c-e}$	۲۲۶/۶۶$^{c-g}$	۲۴۱/۳۳$^{a-d}$
$S_3 \times N_3$	۱۶۹/۶۶$^{g-j}$	۱۹۳/۶۶$^{d-f}$	۱۸۴$^{g-k}$	۲۴۱$^{a-d}$	۲۱۰/۳۳$^{i-o}$
$S_3 \times N_4$	۱۷۷$^{ef-h}$	۲۰۲$^{c-e}$	۱۸۷/۶۶$^{g-i}$	۲۱۲/۶۶$^{f-k}$	۲۱۷/۳۳$^{g-m}$
$S_3 \times N_5$	۱۳۵$^{o-r}$	۱۷۱/۶۶$^{i-k}$	۱۸۶/۳۳$^{g-j}$	۲۳۶/۳۳$^{a-e}$	۲۳۸$^{a-f}$
$S_3 \times N_6$	۱۶۲$^{h-l}$	۱۷۵/۳۳$^{h-k}$	۱۹۶$^{e-g}$	۲۰۷/۳۳$^{h-l}$	۲۱۹/۳۳$^{g-l}$
$S_3 \times N_7$	۱۴۵/۶۶$^{l-p}$	۱۷۴/۶۶$^{h-k}$	۱۶۳$^{l-o}$	۲۳۱/۳۳$^{b-e}$	۲۲۲/۶۶$^{f-k}$
$S_3 \times N_8$	۱۲۸/۶۶$^{p-t}$	۱۴۰$^{n-r}$	۱۵۳/۶۶$^{n-r}$	۱۹۶/۳۳$^{k-p}$	۲۰۹/۳۳$^{j-o}$
$S_4 \times N_1$	۲۱۴/۶۶^{a}	۲۲۳^{a}	۲۳۷/۳۳^{a}	۲۵۱^{a}	۲۵۳^{a}
$S_4 \times N_2$	۲۰۶/۳۳^{ab}	۲۱۱/۳۳$^{a-c}$	۲۲۶/۶۶$^{a-c}$	۲۴۵^{ab}	۲۴۸^{ab}
$S_4 \times N_3$	۱۴۶/۳۳$^{l-o}$	۱۷۵$^{h-k}$	۲۲۳$^{a-c}$	۲۲۳/۳۳$^{d-h}$	۲۲۵/۶۶$^{d-i}$
$S_4 \times N_4$	۲۰۲/۳۳$^{a-c}$	۱۹۷$^{c-f}$	۲۳۰/۶۶^{ab}	۲۲۶$^{c-g}$	۲۴۳$^{a-c}$
$S_4 \times N_5$	۱۸۸/۶۶$^{c-f}$	۲۱۸^{ab}	۱۹۹/۳۳$^{e-g}$	۲۱۰$^{g-l}$	۲۳۰$^{c-g}$
$S_4 \times N_6$	۱۶۴$^{h-k}$	۱۸۷$^{f-h}$	۱۷۱/۳۳$^{j-m}$	۲۲۰/۳۳$^{e-i}$	۲۳۰/۳۳$^{c-g}$
$S_4 \times N_7$	۱۸۱/۶۶$^{e-h}$	۱۶۵/۶۶$^{j-l}$	۱۸۹/۳۳^{gh}	۲۳۴/۳۳$^{a-e}$	۲۳۶$^{b-f}$
$S_4 \times N_8$	۱۴۰/۶۶$^{n-p}$	۱۴۹/۶۶$^{m-o}$	۱۷۲/۳۳$^{i-m}$	۲۰۳/۳۳$^{i-n}$	۲۲۵$^{e-j}$
LSD	۱۷/۶۱	۱۴/۶۱	۱۶/۲۰	۱۸/۱۰	۱۵/۷۸

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار.

N_1، N_2، N_3، N_4، N_5، N_6، N_7 و N_8 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محلول‌پاشی نانواکسید روی، محلول‌پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

فتوسنتزی و افزایش فلورسانس حداقل و کاهش فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر در شرایط تنش شوری توسط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس متغیر (F_v) و برگ پرچم گندم

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری فلورسانس متغیر (F_v) (روز پس از کاشت)				
	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴
$S_1 \times N_1$	۵۶۶/۳۳$^{g-k}$	۵۴۸/۳۳$^{f-h}$	۵۰۲/۳۳$^{e-i}$	۴۴۴/۳۳$^{g-k}$	۴۱۷/۳۳$^{f-k}$
$S_1 \times N_2$	۶۶۱/۳۳$^{b-e}$	۵۷۸/۳۳$^{e-g}$	۵۸۹/۶۷$^{b-d}$	۵۳۲/۶۷$^{a-d}$	۴۳۰/۶۷$^{d-i}$
$S_1 \times N_3$	۶۲۳/۶۷$^{c-g}$	۶۴۰/۶۷$^{a-d}$	۵۲۹/۶۷$^{d-g}$	۴۹۷/۳۳$^{c-f}$	۴۵۷/۶۷$^{b-f}$
$S_1 \times N_4$	۶۲۷$^{c-g}$	۵۹۶$^{cd-f}$	۵۹۱^{bc}	۴۷۶$^{e-h}$	۴۶۹/۶۷$^{b-e}$
$S_1 \times N_5$	۵۸۴/۶۷$^{f-i}$	۶۶۰/۶۷^{ab}	۵۹۱$^{c-f}$	۵۴۹^{ab}	۴۴۴/۶۷$^{d-h}$
$S_1 \times N_6$	۶۹۲/۳۳^{ab}	۶۲۹/۳۳$^{b-e}$	۶۳۴/۶۷^{ab}	۵۱۴/۳۳$^{b-e}$	۵۰۷/۶۷^{ab}
$S_1 \times N_7$	۶۸۰/۳۳$^{a-c}$	۶۷۰/۳۳^{ab}	۶۰۴$^{a-c}$	۵۴۲/۶۷$^{a-c}$	۴۹۹/۶۷$^{a-c}$
$S_1 \times N_8$	۷۲۷^{a}	۶۹۲/۶۷^{a}	۶۵۴/۶۷^{a}	۵۶۹/۶۷^{a}	۵۲۸/۶۷^{a}
$S_2 \times N_1$	۴۶۸/۶۷$^{n-q}$	۴۴۹$^{k-o}$	۴۱۷/۶۷$^{k-n}$	۳۸۲/۳۳$^{m-q}$	۳۳۱/۶۷$^{o-q}$
$S_2 \times N_2$	۵۴۶$^{h-l}$	۴۶۰$^{j-n}$	۴۶۴$^{h-l}$	۴۶۰/۶۷$^{f-j}$	۴۲۲$^{e-j}$
$S_2 \times N_3$	۵۴۱/۶۷$^{i-m}$	۴۹۳/۳۳$^{h-l}$	۴۴۸$^{i-m}$	۴۱۷/۳۳$^{j-n}$	۳۶۹$^{k-p}$
$S_2 \times N_4$	۵۰۱$^{l-o}$	۴۶۲/۶۷$^{j-n}$	۴۵۳/۳۳$^{h-l}$	۴۲۲/۶۷$^{i-m}$	۳۴۳$^{n-q}$
$S_2 \times N_5$	۵۳۸/۳۳$^{i-m}$	۴۶۹/۶۷$^{i-m}$	۵۰۱$^{e-i}$	۴۰۵/۶۷$^{k-o}$	۳۴۴$^{n-q}$
$S_2 \times N_6$	۵۱۶/۳۳$^{j-n}$	۴۴۹$^{k-o}$	۴۸۸/۳۳$^{g-j}$	۳۶۷/۶۷$^{o-s}$	۳۳۳/۳۳$^{o-q}$
$S_2 \times N_7$	۶۰۲$^{e-h}$	۵۴۱/۳۳$^{f-h}$	۴۹۵$^{f-j}$	۳۹۷/۶۷$^{l-p}$	۴۶۸/۶۷$^{b-f}$
$S_2 \times N_8$	۶۷۲$^{a-d}$	۶۴۹/۶۷$^{a-c}$	۶۱۰$^{a-c}$	۵۲۴/۶۷$^{a-d}$	۴۸۱/۶۷$^{a-d}$
$S_3 \times N_1$	۴۲۹$^{p-r}$	۴۱۲/۳۳$^{m-o}$	۳۸۹$^{m-o}$	۳۲۱/۶۷st	۳۱۱/۶۷^{qr}
$S_3 \times N_2$	۴۴۹/۶۷$^{o-q}$	۴۰۵$^{n-p}$	۴۰۷$^{l-n}$	۳۹۵/۶۷$^{l-p}$	۳۲۳/۳۳^{pq}
$S_3 \times N_3$	۵۱۱$^{k-n}$	۴۳۹/۶۷$^{l-o}$	۴۷۸/۶۷$^{g-k}$	۳۳۳/۳۳^{rs}	۳۸۷$^{i-n}$
$S_3 \times N_4$	۴۹۱$^{l-o}$	۴۴۹/۳۳$^{k-o}$	۴۶۹/۶۷$^{g-k}$	۴۳۶/۳۳$^{h-l}$	۴۲۲/۶۷$^{e-j}$
$S_3 \times N_5$	۶۱۲/۶۷$^{d-g}$	۵۱۱/۳۳$^{h-j}$	۴۷۰$^{g-k}$	۳۵۴/۳۳$^{p-s}$	۳۴۲$^{n-q}$
$S_3 \times N_6$	۵۳۴/۶۷$^{i-m}$	۵۴۱/۶۷$^{f-h}$	۴۴۵$^{i-m}$	۴۵۲/۳۳$^{f-j}$	۴۳۷/۶۷$^{d-i}$
$S_3 \times N_7$	۵۷۳/۶۷$^{f-j}$	۴۹۷/۳۳$^{h-l}$	۵۷۸$^{b-d}$	۳۷۵$^{n-r}$	۴۰۴/۳۳$^{g-l}$
$S_3 \times N_8$	۶۳۳$^{b-f}$	۶۱۸$^{b-e}$	۵۵۸/۶۷$^{c-e}$	۴۹۰/۶۷$^{d-g}$	۴۵۲/۶۷$^{c-g}$
$S_4 \times N_1$	۳۸۲^{r}	۳۵۱^{p}	۳۳۲^{o}	۲۸۵/۳۳^{t}	۲۷۰^{r}
$S_4 \times N_2$	۴۰۸/۶۷^{qr}	۳۹۵/۶۷^{op}	۴۵۳/۳۳$^{h-l}$	۴۰۰/۶۷$^{k-p}$	۳۶۶$^{k-p}$
$S_4 \times N_3$	۵۷۷$^{f-j}$	۵۰۶$^{h-k}$	۴۳۴/۶۷$^{j-m}$	۴۰۰/۶۷$^{k-p}$	۳۷۵/۳۳$^{j-o}$
$S_4 \times N_4$	۴۱۹/۳۳$^{p-r}$	۴۳۱/۳۳$^{m-o}$	۳۵۷/۳۳^{no}	۳۹۰/۳۳$^{l-q}$	۳۱۸/۳۳$^{p-r}$
$S_4 \times N_5$	۴۵۷/۶۷$^{n-q}$	۴۳۹$^{l-o}$	۴۸۳/۳۳$^{g-j}$	۳۴۵$^{q-s}$	۳۶۴/۳۳$^{l-p}$
$S_4 \times N_6$	۶۰۷/۳۳$^{e-g}$	۵۲۳$^{g-i}$	۴۸۱/۶۷$^{g-j}$	۴۵۹/۳۳$^{f-j}$	۳۷۵/۶۷$^{j-o}$
$S_4 \times N_7$	۴۷۸/۳۳$^{m-p}$	۵۴۱$^{f-h}$	۴۶۳/۳۳$^{h-l}$	۳۶۶$^{o-s}$	۳۵۲/۳۳$^{m-q}$
$S_4 \times N_8$	۵۹۵$^{f-i}$	۵۸۷$^{d-f}$	۵۱۴$^{e-h}$	۴۶۷/۳۳$^{f-i}$	۳۹۷/۳۳$^{h-m}$
LSD	۶۰/۸۷	۶۰/۰۷	۶۱/۰۸	۴۶/۴۱	۵۱/۴

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار.

N_1، N_2، N_3، N_4، N_5، N_6، N_7 و N_8 به ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محلول‌پاشی نانواکسید روی، محلول‌پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس حداکثر (F_m) و برگ پرچم گندم

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری فلورسانس حداکثر (F_m) (روز پس از کاشت)				
	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴
$S_1 \times N_1$	۷۱۴/۳۳$^{f-l}$	۷۱۱/۶۷$^{f-i}$	۶۷۸/۶۷$^{f-j}$	۶۵۳/۶۷$^{f-l}$	۶۳۶/۶۷$^{e-k}$
$S_1 \times N_2$	۷۸۳$^{b-d}$	۷۳۱$^{d-h}$	۷۲۶$^{b-f}$	۷۱۶$^{a-c}$	۶۳۳/۶۷$^{e-k}$
$S_1 \times N_3$	۷۵۵/۳۳$^{c-f}$	۷۷۵$^{a-d}$	۶۹۶$^{c-h}$	۶۹۱/۳۳$^{b-f}$	۶۶۵$^{b-f}$
$S_1 \times N_4$	۷۳۷/۶۷$^{d-i}$	۷۴۳$^{c-g}$	۷۳۵/۶۷$^{a-e}$	۶۷۷$^{c-h}$	۶۹۲/۶۷$^{a-c}$
$S_1 \times N_5$	۷۲۷/۳۳$^{e-j}$	۷۸۹/۶۷$^{a-c}$	۷۱۲/۳۳$^{c-g}$	۷۲۷^{ab}	۶۵۶$^{c-h}$
$S_1 \times N_6$	۸۰۵^{ab}	۷۶۶/۳۳$^{a-e}$	۷۶۸^{ab}	۷۰۳$^{a-e}$	۷۰۳^{ab}
$S_1 \times N_7$	۷۹۶/۳۳$^{a-c}$	۷۹۶/۳۳^{ab}	۷۴۵$^{a-c}$	۷۲۲/۶۷^{ab}	۶۹۷/۳۳$^{a-c}$
$S_1 \times N_8$	۸۳۳/۳۳^{a}	۸۱۴/۶۷^{a}	۷۸۳/۶۷^{a}	۷۴۳^{a}	۷۲۰^{a}
$S_2 \times N_1$	۶۵۳/۶۷$^{m-q}$	۶۳۹/۳۳$^{l-q}$	۶۲۴$^{j-n}$	۶۱۱$^{l-p}$	۵۷۱/۳۳$^{n-p}$
$S_2 \times N_2$	۷۰۱/۶۷$^{g-m}$	۶۳۸/۳۳$^{l-q}$	۶۳۳/۳۳$^{i-m}$	۶۶۶$^{e-j}$	۶۴۶/۶۷$^{d-i}$
$S_2 \times N_3$	۶۹۹$^{g-m}$	۶۶۰/۳۳$^{j-p}$	۶۴۴$^{h-l}$	۶۳۵/۶۷$^{h-n}$	۶۰۱/۶۷$^{j-o}$
$S_2 \times N_4$	۶۷۵$^{k-o}$	۶۳۱/۶۷$^{n-q}$	۶۴۶$^{h-l}$	۶۵۱$^{f-l}$	۵۸۰$^{m-p}$
$S_2 \times N_5$	۶۹۸$^{h-m}$	۶۵۴$^{l-q}$	۶۶۰/۶۷$^{g-l}$	۶۲۸/۳۳$^{i-o}$	۵۷۱$^{n-p}$
$S_2 \times N_6$	۶۸۹/۶۷$^{i-n}$	۶۴۶/۳۳$^{l-q}$	۶۸۳$^{e-i}$	۵۹۹$^{n-q}$	۵۷۱$^{n-p}$
$S_2 \times N_7$	۷۳۹/۶۷$^{d-h}$	۶۸۴/۶۷$^{h-l}$	۶۴۳/۶۷$^{h-l}$	۵۹۶/۶۷$^{n-r}$	۶۷۳/۳۳$^{b-e}$
$S_2 \times N_8$	۷۹۰/۶۷$^{a-c}$	۷۸۰/۶۷$^{a-d}$	۷۴۹/۳۳$^{a-c}$	۷۱۱$^{a-d}$	۶۸۲/۶۷$^{a-d}$
$S_3 \times N_1$	۶۲۷/۶۷$^{o-r}$	۶۱۶/۳۳$^{p-r}$	۶۰۷/۳۳$^{l-n}$	۵۶۴/۳۳$^{q-s}$	۵۵۶/۶۷^{pq}
$S_3 \times N_2$	۶۴۱$^{n-r}$	۶۱۲/۳۳$^{p-r}$	۶۱۸$^{k-n}$	۶۲۲/۳۳$^{k-o}$	۵۶۴/۶۷$^{n-q}$
$S_3 \times N_3$	۶۸۰/۶۷$^{j-n}$	۶۳۳/۳۳$^{m-q}$	۶۶۲/۶۷$^{g-k}$	۵۷۴/۳۳$^{p-s}$	۵۹۷/۳۳$^{k-p}$
$S_3 \times N_4$	۶۶۸$^{l-p}$	۶۵۱/۳۳$^{l-q}$	۶۵۷/۳۳$^{h-l}$	۶۴۹$^{f-n}$	۶۴۰$^{e-j}$
$S_3 \times N_5$	۷۴۷/۶۷$^{c-g}$	۶۸۳$^{h-m}$	۶۵۶/۳۳$^{h-l}$	۵۹۰/۶۷$^{o-r}$	۵۸۰$^{m-p}$
$S_3 \times N_6$	۶۹۶/۶۷$^{h-m}$	۷۱۷$^{e-i}$	۶۴۱$^{i-m}$	۶۵۹/۶۷$^{f-k}$	۶۵۷$^{c-g}$
$S_3 \times N_7$	۷۱۹/۳۳$^{f-k}$	۶۷۲$^{i-o}$	۷۴۱$^{a-d}$	۶۰۶/۳۳$^{m-q}$	۶۲۷$^{f-l}$
$S_3 \times N_8$	۷۶۱/۶۷$^{b-f}$	۷۵۸$^{b-f}$	۷۱۲/۳۳$^{c-g}$	۶۸۷$^{b-g}$	۶۶۲$^{b-g}$
$S_4 \times N_1$	۵۹۶/۶۷^{r}	۵۷۴^{r}	۵۶۹/۳۳^{n}	۵۳۶/۳۳^{s}	۵۲۳^{q}
$S_4 \times N_2$	۶۱۵^{qr}	۶۰۷^{qr}	۶۸۰$^{f-i}$	۶۴۵/۶۷$^{h-m}$	۶۱۴$^{h-m}$
$S_4 \times N_3$	۷۲۳/۳۳$^{e-k}$	۶۸۱$^{h-n}$	۶۵۷/۶۷$^{g-l}$	۶۲۴$^{j-o}$	۶۰۱$^{j-o}$
$S_4 \times N_4$	۶۲۱/۶۷$^{p-r}$	۶۲۸/۳۳$^{o-q}$	۵۸۸^{mn}	۶۱۶/۳۳$^{l-p}$	۵۶۱/۳۳$^{o-q}$
$S_4 \times N_5$	۶۴۶/۳۳$^{n-q}$	۶۵۷$^{k-q}$	۶۸۲/۶۷$^{e-i}$	۵۵۵^{rs}	۵۹۴/۳۳$^{k-p}$
$S_4 \times N_6$	۷۷۱/۳۳$^{b-e}$	۷۱۰$^{f-j}$	۶۵۳$^{h-l}$	۶۷۹/۶۷$^{c-g}$	۶۰۶$^{i-n}$
$S_4 \times N_7$	۶۶۰$^{m-q}$	۷۰۶/۶۷$^{g-k}$	۶۵۲/۶۷$^{h-l}$	۶۰۰/۳۳$^{n-q}$	۵۸۸/۳۳$^{l-p}$
$S_4 \times N_8$	۷۳۵/۶۷$^{d-i}$	۷۳۶/۶۷$^{d-g}$	۶۸۶/۳۳$^{d-i}$	۶۷۰/۶۷$^{d-i}$	۶۲۲/۳۳$^{h-m}$
LSD	۴۹/۰۵	۵۰/۷۸	۵۴/۸۸	۴۲/۷۶	۴۲/۵۴

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار.

N_1، N_2، N_3، N_4، N_5، N_6، N_7 و N_8 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محلول‌پاشی نانواکسید روی، محلول‌پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم بر اساس آزمون LSD ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر عملکرد کوانتومی ($F_{v/m}$) و برگ پرچم گندم

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری عملکرد کوانتومی ($F_{v/m}$) (روز پس از کاشت)				
	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴
$S_1 \times N_1$	۰/۷۹۲$^{g-l}$	۰/۷۷۰$^{e-g}$	۰/۷۳۹$^{e-h}$	۰/۶۷۹$^{g-k}$	۰/۶۵۵$^{d-h}$
$S_1 \times N_2$	۰/۸۴۴$^{a-e}$	۰/۷۹۱$^{d-f}$	۰/۸۱۱^{ab}	۰/۷۴۴$^{a-c}$	۰/۶۷۹$^{b-f}$
$S_1 \times N_3$	۰/۸۲۵$^{b-g}$	۰/۸۲۶$^{a-d}$	۰/۷۶۰^{de}	۰/۷۱۹$^{b-f}$	۰/۶۸۸$^{a-e}$
$S_1 \times N_4$	۰/۸۴۸$^{a-d}$	۰/۸۰۲$^{b-e}$	۰/۸۰۳$^{a-c}$	۰/۷۰۳$^{d-h}$	۰/۶۷۷$^{b-f}$
$S_1 \times N_5$	۰/۸۰۳$^{f-k}$	۰/۸۳۶^{ab}	۰/۷۸۰$^{b-d}$	۰/۷۵۵^{ab}	۰/۶۷۷$^{b-f}$
$S_1 \times N_6$	۰/۸۵۹^{ab}	۰/۸۲۱$^{a-d}$	۰/۸۲۶^{a}	۰/۷۳۱$^{a-e}$	۰/۷۲۲^{ab}
$S_1 \times N_7$	۰/۸۵۳$^{a-c}$	۰/۸۴۱^{a}	۰/۸۱۰^{ab}	۰/۷۵۱$^{a-c}$	۰/۷۱۶^{ab}
$S_1 \times N_8$	۰/۸۷۲^{a}	۰/۸۵۰^{a}	۰/۸۳۵^{a}	۰/۷۶۷^{a}	۰/۷۳۴^{a}
$S_2 \times N_1$	۰/۷۱۶$^{p-s}$	۰/۷۰۲$^{j-m}$	۰/۶۶۸$^{k-m}$	۰/۶۲۵$^{n-q}$	۰/۵۸۰$^{k-n}$
$S_2 \times N_2$	۰/۷۷۷$^{i-m}$	۰/۷۲۰$^{i-l}$	۰/۷۳۰$^{e-j}$	۰/۶۹۱$^{f-j}$	۰/۶۵۲$^{d-h}$
$S_2 \times N_3$	۰/۷۷۴$^{j-n}$	۰/۷۴۷$^{g-i}$	۰/۶۹۳$^{j-l}$	۰/۶۵۶$^{j-o}$	۰/۶۱۳$^{h-l}$
$S_2 \times N_4$	۰/۷۴۱$^{m-q}$	۰/۷۳۰$^{h-k}$	۰/۷۰۱$^{i-k}$	۰/۶۴۶$^{k-p}$	۰/۵۸۶$^{k-n}$
$S_2 \times N_5$	۰/۷۷۰$^{k-o}$	۰/۷۱۸$^{i-l}$	۰/۷۵۷$^{d-f}$	۰/۶۴۵$^{k-p}$	۰/۶۰۱$^{i-n}$
$S_2 \times N_6$	۰/۷۳۹$^{n-q}$	۰/۶۸۸$^{l-o}$	۰/۷۰۹$^{h-j}$	۰/۶۱۲$^{p-r}$	۰/۵۸۰$^{k-n}$
$S_2 \times N_7$	۰/۸۱۳$^{d-i}$	۰/۷۸۹$^{d-f}$	۰/۷۶۵$^{c-e}$	۰/۶۶۳$^{i-n}$	۰/۶۹۶$^{a-d}$
$S_2 \times N_8$	۰/۸۴۹$^{a-d}$	۰/۸۳۲$^{a-c}$	۰/۸۱۳^{ab}	۰/۷۳۸$^{a-d}$	۰/۷۰۵$^{a-c}$
$S_3 \times N_1$	۰/۶۸۳$^{s-u}$	۰/۶۶۹$^{m-o}$	۰/۶۴۰^{mn}	۰/۵۶۹st	۰/۵۵۹^{no}
$S_3 \times N_2$	۰/۷۰۱$^{r-t}$	۰/۶۶۱^{no}	۰/۶۵۸^{lm}	۰/۶۳۵$^{m-q}$	۰/۵۷۲$^{l-n}$
$S_3 \times N_3$	۰/۷۵۰$^{m-p}$	۰/۶۹۴$^{k-n}$	۰/۷۲۲$^{f-j}$	۰/۵۸۰^{rs}	۰/۶۴۸$^{e-h}$
$S_3 \times N_4$	۰/۷۳۴$^{o-r}$	۰/۶۸۹$^{l-o}$	۰/۷۱۴$^{g-j}$	۰/۶۷۲$^{h-m}$	۰/۶۶۰$^{c-g}$
$S_3 \times N_5$	۰/۸۱۸$^{c-h}$	۰/۷۴۸$^{g-i}$	۰/۷۱۵$^{g-j}$	۰/۵۹۹$^{q-s}$	۰/۵۸۹$^{k-n}$
$S_3 \times N_6$	۰/۷۶۶$^{l-o}$	۰/۷۵۵$^{f-i}$	۰/۶۹۳$^{j-l}$	۰/۶۸۵$^{f-j}$	۰/۶۶۴$^{c-g}$
$S_3 \times N_7$	۰/۷۹۶$^{f-l}$	۰/۷۴۰$^{g-i}$	۰/۷۸۰$^{b-d}$	۰/۶۱۸$^{o-r}$	۰/۶۴۴$^{e-i}$
$S_3 \times N_8$	۰/۸۳۰$^{b-f}$	۰/۸۱۵$^{a-d}$	۰/۷۸۴$^{b-d}$	۰/۷۱۴$^{c-g}$	۰/۶۸۳$^{b-f}$
$S_4 \times N_1$	۰/۶۴۰^{v}	۰/۶۱۱^{p}	۰/۵۸۲^{o}	۰/۵۳۱^{t}	۰/۵۱۶^{o}
$S_4 \times N_2$	۰/۶۶۴^{uv}	۰/۶۵۱^{o}	۰/۶۶۴$^{k-m}$	۰/۶۱۶$^{p-r}$	۰/۵۹۲$^{j-n}$
$S_4 \times N_3$	۰/۷۹۳$^{g-l}$	۰/۷۳۷$^{g-j}$	۰/۶۶۰^{lm}	۰/۶۴۰$^{l-p}$	۰/۶۲۰$^{g-k}$
$S_4 \times N_4$	۰/۶۷۴$^{t-v}$	۰/۶۸۶$^{l-o}$	۰/۶۰۷^{no}	۰/۶۳۳$^{n-q}$	۰/۵۶۷^{mn}
$S_4 \times N_5$	۰/۷۰۷$^{q-t}$	۰/۶۶۶$^{m-o}$	۰/۷۰۷$^{h-j}$	۰/۶۲۱$^{o-q}$	۰/۶۱۰$^{h-m}$
$S_4 \times N_6$	۰/۷۸۷$^{h-l}$	۰/۷۳۵$^{g-j}$	۰/۷۳۵$^{e-i}$	۰/۶۷۴$^{h-l}$	۰/۶۲۰$^{g-k}$
$S_4 \times N_7$	۰/۷۲۴$^{p-r}$	۰/۷۶۵$^{e-h}$	۰/۷۰۹$^{h-j}$	۰/۶۰۹$^{p-r}$	۰/۵۹۸$^{i-n}$
$S_4 \times N_8$	۰/۸۰۸$^{e-j}$	۰/۷۹۶$^{c-e}$	۰/۷۴۸$^{d-g}$	۰/۶۹۷$^{e-i}$	۰/۶۳۸$^{f-j}$
LSD	۰/۰۳۶	۰/۰۳۷	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۴۶

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار.

N_1، N_2، N_3، N_4، N_5، N_6، N_7 و N_8 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محلول‌پاشی نانواکسید روی، محلول‌پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

نریمانی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش شده است. همچنین این محققین اظهار داشتند که محلول‌پاشی نانواکسید روی از طریق

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

طریق کنترل کانال‌های عبور یون کلر و جلوگیری از جذب آن، با آسیب به غشای پلاسمایی، موجب کاهش فلورسانس حداقل و افزایش فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر برگ گندم می‌شود.

عملکرد کوانتومی برگ پرچم: نتایج نشان داد که تنش شوری، محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین و برهم‌کنش همزمان این عوامل بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). همچنین در ۱۱۴ روز پس از کاشت (اواسط مرحله پرشدن دانه معادل با کد ۷۵ از مقیاس BBCH)، ترکیب تیماری محلول‌پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین عملکرد کوانتومی برگ پرچم (۰/۷۳۴) و افزایش ۴۲/۲۴ درصدی این صفت نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین در بالاترین سطح شوری برخوردار بود (جدول ۸). کاهش مقادیر F_v/F_m در گیاهانی که در معرض تنش شوری قرار دارند، نشان‌دهنده کاهش کارایی فتوشیمیایی PSII و آسیب به دستگاه فتوسنتزی ناشی از شوری است (Jimenez-Suancha *et al.*, 2015). به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانواکسید روی در چنین شرایطی با بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی، موجب بهبود ساختار غشاء و فرآیندهای فتوسنتزی و در نهایت عملکرد کوانتومی می‌شود (Babaei *et al.*, 2017). همچنین، Islam و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند کاربرد خارجی پوترسین تحت شرایط محدودیت آبی، از طریق بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه و جلوگیری از کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌وسیله گونه‌های فعال اکسیژن، موجب بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و عملکرد کوانتومی) شد. نظری و همکاران (۱۴۰۰) نیز بیان کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون با بهبود ساختار غشاء، فرآیندهای فتوسنتزی و وضعیت آبی گیاه، موجب کاهش فلورسانس حداقل و افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ تریتیکاله شد.

شاخص سطح برگ: تغییرات شاخص سطح برگ در پاسخ به تنش شوری در طول فصل رشد برای تمامی تیمارها روند نسبتاً مشابهی داشت، به‌طوریکه در ابتدای فصل رشد میزان این شاخص با شیب کم و بعد از آن به سرعت افزایش یافت و سپس در انتهای فصل رشد به‌دلیل افزایش سن گیاه، زرد شدن و ریزش برگ‌ها، روند نزولی مشاهده شد. البته زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در سطوح بالای شوری، کم‌تر از شرایط عدم اعمال شوری بود (جدول ۹). به‌طوریکه در ۹۴ روز پس از کاشت، محلول‌پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین شاخص سطح برگ (۲/۰۳۷) و افزایش ۸۶/۱۹ درصدی این صفت نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۱۱). به‌نظر می‌رسد تنش‌های محیطی با ایجاد اختلال در فتوسنتز جاری ضمن کاهش تولید و عرضه مواد فتوسنتزی به اندام هوایی موجب می‌شود که گسترش برگ‌ها و در نهایت شاخص سطح برگ (جدول ۱۰) کاهش یابد. Betran و همکاران (۲۰۰۳) دلیل کاهش سطح برگ در حالت اعمال شوری نسبت به عدم اعمال آن را، به کاهش مواد فتوسنتزی برای رشد و توسعه سلول‌های برگ و افزایش پیری برگ در شرایط تنش نسبت دادند. در چنین شرایطی محلول‌پاشی نانواکسید روی با نقشی که در ساخته‌شدن آنزیم‌های مسئول فتوسنتز و سوخت-وساز دارد، ضمن افزایش فتوسنتز جاری، موجب بهبود شاخص سطح برگ در گیاه می‌شود (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). بخشی از افزایش شاخص سطح برگ به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) نسبت داد، که در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) اظهار داشتند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش با بهبود فتوسنتز جاری و افزایش تولید مواد فتوسنتزی، موجب افزایش شاخص سطح برگ تریتیکاله شد. Epstein (۱۹۹۴) نیز افزایش شاخص سطح برگ به‌واسطه کاربرد سیلیکون در شرایط تنش را، به افزایش جذب عناصر و بهبود میزان فتوسنتز و همچنین افزایش انتقال مواد فتوسنتزی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۹- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص سطح برگ گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		مراحل نمونه‌برداری (روز پس از کاشت)								
		۴۴	۵۴	۶۴	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴	۱۲۴	۱۳۴
تکرار	۲	۰/۳۶۰۵**	۰/۲۴۵**	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۵۱۰**	۰/۰۲۲^{ns}	۰/۰۲۸^{ns}	۰/۰۱۳۷^{ns}	۰/۳۰۶**	۰/۵۵۲**	۰/۵۹۸**
(S)	۳	۰/۰۶۰۵**	۰/۱۸۰**	۰/۴۳۴**	۱/۱۷۲**	۱/۵۳۲**	۰/۱۰۰۹**	۱/۴۷۰**	۰/۷۹۰**	۰/۷۴۶**	۰/۴۴۱**
(N)	۷	۰/۰۱۹۶**	۰/۰۵۰**	۰/۱۱۲**	۰/۲۴۳**	۰/۳۲۸**	۰/۳۳۹**	۰/۲۴۹**	۰/۲۸۶**	۰/۱۸۵**	۰/۰۹۰۶**
S×N	۲۱	۰/۰۰۳۸**	۰/۰۰۴۶*	۰/۰۱۳**	۰/۰۲۹*	۰/۰۷۱**	۰/۰۳۴۹**	۰/۰۳۷۸*	۰/۰۴۶**	۰/۰۲۵۳**	۰/۰۲۳۶**
خطا	۶۲	۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۴۰	۰/۰۱۵	۰/۰۳۵۳	۰/۰۱۰۸۸	۰/۰۲۱۶	۰/۰۱۱۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵۳
CV	-	۴/۳۸	۶/۵	۵/۲۸	۷/۵	۱۰/۴۴	۴/۸	۶/۹۶	۵/۶۷	۵/۳۳	۶/۳۱

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

شوری (S)، محلول‌پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

در گیاه نسبت دادند. عمادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اظهار داشتند که پوترسین با جلوگیری از تخریب غشاء، تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها، موجب افزایش سطح برگ گندم شد.

بیوماس کل: بررسی روند تغییرات ماده خشک نشان داد که بیوماس کل در ابتدای فصل رشد در تمامی تیمارهای مورد بررسی از الگوی نسبتاً یکسانی پیروی می‌کند (جدول ۱۱). به‌طوریکه در کلیه ترکیبات تیماری، این روند در ابتدا کند بوده ولی در ادامه فصل رشد با افزایش سطح برگ (جدول ۱۰) وفتوسنتز جاری (جدول ۱۴)، تولید مواد فتوسنتزی افزایش و تجمع ماده خشک شدت بیشتری به خود گرفت، سپس در انتهای دوره رشد از روند کاهشی برخوردار گردید (جدول ۱۱). به‌نظر می‌رسد این کاهش ناشی از افزایش سن گیاه، پیری برگ‌ها، کاهش کلروفیل و عدم توانایی آن‌ها در ساخت مواد فتوسنتزی و در نهایت ریزش برگ‌ها باشد (Kamari, 2014)، به‌طوریکه در ۱۱۴ روز پس از کاشت، محلول‌پاشی همزمان نانوذرات (۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و یک گرم در لیتر نانواکسید روی) و یک میلی‌مولار پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین بیوماس کل (۳/۱۸۳) برخوردار بود که موجب افزایش ۴۴/۰۹ درصد نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد (جدول ۱۱). Ebrahimian و Bybordi (۲۰۱۱) اظهار داشتند که خسارت ناشی از شوری می‌تواند موجب تخریب کلروفیل و رنگ‌پریدگی و کلروزه شدن برگ‌ها شود. این تغییرات به همراه کاهش سطح برگ و ریزش آن، موجب کاهش فتوسنتز گیاه در شرایط شور و در نتیجه کاهش رشد و تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود. به‌نظر می‌رسد کاربرد نانوسیلیکون می‌تواند محتوای سیلیکون، لیگنین و سلولز را در ساقه‌ها افزایش داده و در نتیجه منجر به تولید ماده خشک بیشتر در واحد سطح شود (Gong *et al.*, 2021). همچنین، نانوذرات سیلیکون جذب‌شده توسط گیاه، با فراهمی سطح بیشتری برای انجام واکنش‌های متابولیکی مختلف، لایه‌ای را در دیواره سلولی ایجاد می‌کند که موجب افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش‌های محیطی و در نتیجه منجر به بهبود رشد و ماده خشک کل در گیاهان تحت تنش می‌شود (Al-juthery *et al.*, 2019). بخش دیگری از افزایش ماده خشک به‌واسطه محلول‌پاشی نانواکسید روی را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۱۰) و بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) نسبت داد که در این راستا، عبدلی و اسفندیاری (۱۳۹۳) بیان کردند که محلول‌پاشی روی با افزایش سطح برگ و دوام آن و بهبود فتوسنتز جاری در زمان پرشدن دانه‌ها میزان فتوآسیمیلات در اندام‌های رویشی را افزایش می‌دهد که به همراه تخلیه کمتر آن طی فرآیند انتقال مجدد، موجب افزایش ماده خشک گیاه می‌شود. به‌نظر می‌رسد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص سطح برگ گندم

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری (روز پس از کاشت)									
	۴۴	۵۴	۶۴	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴	۱۲۴	۱۳۴
$S_1 \times N_1$	۰/۶۴۶$^{g-j}$	۰/۷۷۸$^{e-j}$	۱/۰۵۰$^{e-i}$	۱/۲۶۹$^{f-j}$	۱/۵۲۹$^{b-l}$	۱/۶۴۵$^{f-j}$	۱/۵۱۹$^{f-k}$	۱/۲۳۶$^{e-h}$	۱/۱۲۳$^{g-k}$	۰/۹۲۵$^{g-k}$
$S_1 \times N_2$	۰/۷۰۳$^{a-d}$	۰/۸۶۵$^{b-d}$	۱/۱۵۶$^{b-d}$	۱/۵۰۳$^{a-d}$	۱/۷۲۶$^{a-d}$	۱/۸۷۰$^{a-e}$	۱/۷۳۵$^{a-f}$	۱/۱۰۶$^{h-l}$	۱/۳۵۵$^{b-d}$	۱/۰۰۲$^{d-g}$
$S_1 \times N_3$	۰/۶۸۴$^{c-g}$	۰/۸۵۱$^{b-e}$	۱/۱۲۷$^{c-f}$	۱/۴۲۴$^{d-h}$	۱/۶۲۹$^{a-h}$	۱/۸۱۱$^{b-f}$	۱/۶۵۴$^{b-h}$	۱/۳۲۳$^{d-g}$	۱/۲۲۵$^{e-g}$	۱/۰۹$^{a-e}$
$S_1 \times N_4$	۰/۷۳۰^{ab}	۰/۹۰۵^{ab}	۱/۲۳۷^{ab}	۱/۶۲۵$^{a-c}$	۱/۸۰۲$^{a-c}$	۱/۹۷۹^{ab}	۱/۸۷۲^{ab}	۱/۵۸۲^{ab}	۱/۴۳۲$^{a-c}$	۱/۱۵۷^{ab}
$S_1 \times N_5$	۰/۶۵۷$^{e-i}$	۰/۷۹۸$^{c-h}$	۱/۱۴۳$^{b-e}$	۱/۴۶۳$^{b-f}$	۱/۶۸۰$^{a-f}$	۱/۷۳۲$^{e-h}$	۱/۶۸۲$^{a-h}$	۱/۴۰۶$^{b-e}$	۰/۳۱۳$^{c-e}$	۱/۰۱۸$^{c-g}$
$S_1 \times N_6$	۰/۷۲۶$^{a-c}$	۰/۸۹۸^{ab}	۱/۲۳۲$^{a-c}$	۱/۶۳۹$^{a-c}$	۱/۸۲۴^{ab}	۱/۹۵۲$^{a-c}$	۱/۸۴۳$^{a-c}$	۱/۵۵۶$^{a-c}$	۱/۴۴۷^{ab}	۱/۱۳$^{a-c}$
$S_1 \times N_7$	۰/۷۱۸$^{a-c}$	۰/۸۷۵$^{a-c}$	۱/۲۳۰$^{a-c}$	۱/۵۹۶$^{a-d}$	۱/۷۵۷$^{a-c}$	۱/۸۹۹$^{a-e}$	۱/۸۱۶$^{a-d}$	۱/۴۷۰$^{a-d}$	۱/۳۷۹$^{a-d}$	۱/۱۰۶$^{a-d}$
$S_1 \times N_8$	۰/۷۴۳^{a}	۰/۹۵۴^{a}	۱/۲۶۸^{a}	۱/۶۷۹^{a}	۱/۸۵۹^{a}	۲/۰۳۷^{a}	۱/۹۱۲^{a}	۱/۶۲۶^{a}	۱/۴۸۵^{a}	۱/۱۸۶^{a}
$S_2 \times N_1$	۰/۵۶۸$^{n-r}$	۰/۶۴۴$^{n-s}$	۰/۹۳۱$^{k-o}$	۱/۰۲۸$^{l-p}$	۱/۲۴۳$^{l-o}$	۱/۳۱۹$^{m-p}$	۱/۶۱۸$^{c-h}$	۱/۰۷۷$^{h-l}$	۰/۹۶۶$^{m-p}$	۰/۷۹۴$^{l-q}$
$S_2 \times N_2$	۰/۶۰۶$^{j-n}$	۰/۷۵۸$^{f-l}$	۱/۰۲۵$^{f-k}$	۱/۶۵۶^{ab}	۱/۵۸۶$^{a-j}$	۱/۵۷۹$^{h-k}$	۱/۴۴۴$^{h-m}$	۱/۱۳۵$^{h-k}$	۱/۱۴۳$^{f-j}$	۰/۹۵۷$^{f-i}$
$S_2 \times N_3$	۰/۶۰۵$^{j-n}$	۰/۶۸۲$^{l-q}$	۱/۰۸۵$^{d-h}$	۱/۱۰۴$^{i-p}$	۱/۳۴۶$^{h-n}$	۱/۴۴۱$^{k-m}$	۱/۵۷۱$^{e-j}$	۰/۹۶۹$^{k-o}$	۱/۰۲۶$^{j-m}$	۰/۸۴۵$^{i-n}$
$S_2 \times N_4$	۰/۵۹۱$^{k-p}$	۰/۷۹۳$^{d-h}$	۰/۹۴۱$^{j-n}$	۱/۴۸۸$^{a-e}$	۱/۷۰۶$^{a-e}$	۱/۳۶۲$^{l-o}$	۱/۷۵۸$^{a-f}$	۱/۴۳۴$^{b-d}$	۱/۰۰۳$^{k-o}$	۱/۰۷۳$^{a-f}$
$S_2 \times N_5$	۰/۶۱۶$^{i-m}$	۰/۷۰۵$^{j-o}$	۰/۹۹۰$^{h-m}$	۱/۱۹۰$^{i-m}$	۱/۴۱۹$^{e-n}$	۱/۴۹۴$^{j-l}$	۱/۳۷۸$^{i-n}$	۱/۱۶۵$^{g-j}$	۱/۰۸۵$^{h-m}$	۰/۷۰۸$^{o-s}$
$S_2 \times N_6$	۰/۶۹۸$^{b-e}$	۰/۸۳۴$^{b-f}$	۱/۱۵۶$^{b-d}$	۱/۲۵۲$^{g-k}$	۱/۵۰۲$^{c-m}$	۱/۷۵۸$^{c-g}$	۱/۷۰۴$^{a-g}$	۱/۰۷۴$^{h-l}$	۱/۰۳۴$^{j-m}$	۰/۷۵۰$^{m-r}$
$S_2 \times N_7$	۰/۵۸۵$^{l-p}$	۰/۷۰۷$^{i-o}$	۱/۰۵۰$^{d-g}$	۱/۴۱۳$^{d-h}$	۱/۶۰۶$^{a-i}$	۱/۶۴۳$^{f-j}$	۱/۶۰۱$^{d-i}$	۱/۳۷۹$^{c-f}$	۱/۱۶۸$^{f-i}$	۰/۹۷۴$^{e-h}$
$S_2 \times N_8$	۰/۷۱۰$^{a-c}$	۰/۸۹۰^{ab}	۱/۲۲۸$^{a-c}$	۱/۶۰۸$^{a-d}$	۱/۷۷۷$^{a-c}$	۱/۹۲۴$^{a-d}$	۱/۷۸۵$^{a-e}$	۱/۴۹۶$^{a-d}$	۱/۴۰۷$^{a-c}$	۱/۰۵۷$^{b-f}$
$S_3 \times N_1$	۰/۵۳۳$^{q-s}$	۰/۶۱۹$^{p-s}$	۰/۷۷۲$^{q-s}$	۰/۹۸۱$^{n-p}$	۱/۱۴۵$^{n-p}$	۱/۲۲۶$^{o-q}$	۱/۰۹۲$^{p-r}$	۰/۸۹۰$^{m-p}$	۰/۸۳۱^{q}	۰/۶۵۵^{rs}
$S_3 \times N_2$	۰/۵۴۸$^{p-s}$	۰/۶۶۴$^{m-r}$	۰/۸۶۹$^{n-q}$	۱/۰۷۹$^{j-p}$	۱/۳۲۱$^{i-n}$	۱/۳۸۹$^{l-o}$	۱/۱۸۳$^{n-r}$	۱/۰۱۷$^{j-n}$	۱/۱۴۵$^{f-j}$	۰/۸۱۲$^{k-p}$
$S_3 \times N_3$	۰/۶۱۸$^{i-m}$	۰/۶۲۴$^{p-s}$	۰/۸۲۹$^{o-r}$	۱/۰۰۸$^{m-p}$	۱/۲۱۲$^{m-o}$	۱/۲۵۳$^{n-q}$	۱/۱۳۳$^{o-r}$	۰/۹۵۶$^{l-o}$	۰/۸۶۶^{pq}	۰/۶۹۶$^{p-s}$
$S_3 \times N_4$	۰/۵۸۳$^{l-p}$	۰/۶۹۷$^{k-p}$	۱/۰۰۶$^{g-l}$	۱/۲۲۷$^{h-l}$	۰/۸۷۹^{pq}	۱/۲۷۴$^{m-p}$	۱/۲۱۴$^{m-r}$	۱/۳۵۵$^{d-f}$	۱/۰۵۷$^{i-m}$	۰/۷۲۷$^{n-r}$
$S_3 \times N_5$	۰/۶۵۱$^{h-k}$	۰/۶۳۱$^{o-s}$	۰/۸۹۴$^{m-p}$	۱/۰۴۵$^{l-p}$	۱/۲۶۵$^{k-o}$	۱/۲۸۱$^{m-p}$	۱/۲۱۵$^{m-r}$	۱/۰۴۳$^{i-m}$	۰/۸۵۹^{pq}	۰/۷۵۲$^{m-r}$
$S_3 \times N_6$	۰/۵۵۸$^{o-r}$	۰/۷۸۷$^{d-i}$	۰/۸۳۴$^{o-r}$	۱/۲۹۳$^{e-i}$	۱/۵۵۳$^{a-k}$	۱/۶۷۶$^{f-i}$	۱/۶۵۰$^{b-h}$	۰/۹۷۲$^{k-o}$	۰/۹۸۵$^{l-p}$	۰/۸۶۱$^{h-m}$
$S_3 \times N_7$	۰/۶۵۱$^{f-i}$	۰/۷۴۲$^{g-m}$	۱/۰۴۳$^{e-j}$	۱/۱۴۸$^{i-n}$	۱/۴۰۲$^{f-n}$	۱/۷۵۱$^{e-g}$	۱/۴۷۸$^{g-l}$	۱/۲۱۵$^{f-i}$	۱/۱۸۴$^{f-h}$	۰/۹۰۲$^{g-l}$
$S_3 \times N_8$	۰/۶۹۲$^{b-f}$	۰/۸۰۵$^{c-g}$	۱/۱۱۴$^{d-f}$	۱/۴۴۷$^{c-g}$	۱/۶۵۸$^{a-g}$	۱/۷۵۸$^{d-g}$	۱/۶۳۰$^{c-h}$	۱/۳۵۱$^{d-f}$	۱/۲۵۲$^{d-f}$	۰/۹۸۵$^{e-g}$
$S_4 \times N_1$	۰/۵۰۷^{s}	۰/۵۷۹^{s}	۰/۶۹۵^{s}	۰/۹۰۹^{p}	۰/۹۹۶$^{o-q}$	۱/۰۹۴^{q}	۱/۰۰۶^{r}	۰/۷۷۲^{p}	۰/۷۶۵^{q}	۰/۵۹۴^{s}
$S_4 \times N_2$	۰/۶۰۱$^{j-o}$	۰/۵۹۹^{rs}	۰/۷۹۰$^{p-s}$	۰/۹۶۱$^{n-p}$	۱/۳۸۲$^{f-n}$	۱/۳۵۱$^{l-o}$	۱/۳۰۶$^{k-p}$	۱/۰۷۹$^{h-l}$	۰/۸۸۵$^{n-q}$	۰/۶۷۹$^{q-s}$
$S_4 \times N_3$	۰/۶۲۶$^{h-l}$	۰/۷۶۵$^{f-k}$	۰/۸۷۲$^{n-q}$	۰/۹۳۳^{op}	۰/۷۴۸^{q}	۱/۱۷۱^{pq}	۱/۰۷۹$^{p-r}$	۰/۸۲۷^{op}	۰/۸۰۱^{q}	۰/۸۰۱$^{l-p}$
$S_4 \times N_4$	۰/۵۲۷^{rs}	۰/۶۷۳$^{m-r}$	۰/۹۱۳$^{l-o}$	۱/۰۶۴$^{k-p}$	۱/۲۹۳$^{j-o}$	۱/۴۱۱$^{k-n}$	۱/۲۲۵۴$^{l-q}$	۰/۸۴۵$^{n-p}$	۱/۲۲۵$^{e-g}$	۰/۷۱۰$^{o-s}$
$S_4 \times N_5$	۰/۵۵۵$^{p-r}$	۰/۶۰۴$^{q-s}$	۰/۷۳۰^{rs}	۰/۹۴۵^{op}	۰/۷۶۹^{q}	۱/۵۱۸$^{i-l}$	۱/۰۶۱^{qr}	۰/۸۰۶^{op}	۰/۸۱۳^{q}	۰/۹۲۳$^{g-k}$
$S_4 \times N_6$	۰/۶۵۲$^{f-i}$	۰/۷۲۰$^{h-n}$	۱/۰۶۶$^{d-i}$	۱/۱۲۶$^{i-o}$	۱/۳۷۱$^{g-n}$	۱/۵۲۱$^{i-l}$	۱/۱۵۷$^{n-r}$	۱/۲۱۳$^{f-i}$	۱/۰۰۸$^{k-n}$	۰/۷۷۵$^{m-q}$
$S_4 \times N_7$	۰/۵۷۷$^{m-q}$	۰/۶۵۲$^{n-s}$	۰/۹۶۹$^{i-n}$	۰/۹۹۸$^{m-p}$	۱/۱۷۲$^{n-p}$	۱/۳۵۸$^{l-o}$	۱/۳۴۳$^{j-o}$	۱/۱۱۷$^{h-l}$	۰/۸۷۸$^{o-q}$	۰/۸۲۶$^{j-o}$
$S_4 \times N_8$	۰/۶۶۴$^{d-h}$	۰/۷۷۰$^{f-k}$	۱/۰۶۹$^{d-i}$	۱/۲۰۹$^{i-l}$	۱/۴۴۸$^{d-n}$	۱/۶۱۵$^{g-j}$	۱/۵۴۵$^{e-k}$	۱/۲۴۹$^{e-h}$	۱/۱۰۱$^{g-l}$	۰/۹۳۸$^{g-j}$
LSD	۰/۰۴۵	۰/۰۷۹	۰/۱۰۴	۰/۲	۰/۳۰۷	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۱۷۸	۰/۱۲۷	۰/۱۱۹

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار.

N_1، N_2، N_3، N_4، N_5، N_6، N_7 و N_8 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محلول‌پاشی نانواکسید روی، محلول‌پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۱۱- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر بیوماس کل گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه‌برداری (روز پس از کاشت)									
		۴۴	۵۴	۶۴	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴	۱۲۴	۱۳۴
تکرار	۲	۰/۱۱۷۲**	۰/۲۷۴۷**	۰/۸۱۵۹**	۰/۲۲۰۰**	۰/۰۸۵۱**	۰/۱۵۱۱**	۰/۳۹۹۸**	۰/۷۹۹۹**	۰/۷۱۶۷**	۰/۳۴۲۳**
(S)	۳	۰/۰۵۱۳**	۰/۱۱۸۶**	۰/۲۵۴۱**	۰/۵۲۵۲**	۰/۷۹۲۶**	۰/۹۴۵۳**	۱/۰۲۶۰**	۱/۲۵۸۲**	۱/۲۹۸۵**	۱/۱۹۵۴**
(N)	۷	۰/۰۱۵۲**	۰/۰۳۴۵**	۰/۰۵۱۹**	۰/۱۲۱۴**	۰/۲۳۲۵**	۰/۲۳۹۹**	۰/۳۲۳۵**	۰/۳۹۹۷**	۰/۳۶۵۲**	۰/۳۹۵۳**
S×N	۲۱	۰/۰۰۴۱**	۰/۰۰۱۷*	۰/۰۰۹۸**	۰/۰۱۷۶**	۰/۰۲۰۲*	۰/۰۵۲۸*	۰/۰۳۴۰**	۰/۰۴۸۰**	۰/۰۴۴۷**	۰/۰۶۱۱**
خطا	۶۲	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۷۲	۰/۰۱۱۱	۰/۰۲۸۹	۰/۰۱۵۸	۰/۰۱۵۹	۰/۰۱۵۶	۰/۰۱۵۸
CV	-	۴/۹۱	۴/۱۰	۴/۸۷	۵/۵۸	۵/۲۱	۷/۰۵	۴/۷۳	۴/۷۲	۴/۸۲	۵/۲۱

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

شوری (S)، محلول‌پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

محلول‌پاشی پوترسین از طریق بهبود عملکرد کوانتومی و محتوای پروتئینی گیاه (جدول ۸ و ۱۴) موجب افزایش بیوماس کل شده است، در این راستا سیدشریفی و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که محلول‌پاشی پوترسین از طریق بهبود عملکرد کوانتومی برگ و افزایش درصد پروتئین اندام هوایی موجب افزایش بیوماس کل ماشک گل‌خوشه‌ای شد.

انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه: تأثیر محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین و تنش شوری و برهم‌کنش همزمان این عوامل بر انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها، محلول‌پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب کاهش به‌ترتیب ۳۸/۱۵، ۳۷/۸۰، ۹۰/۲۲ و ۸۹/۴۵ درصدی انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه نسبت به عدم محلول‌پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد (جدول ۱۴). به‌نظر می‌رسد افزایش انتقال ماده خشک در شرایط تنش شوری، به‌دلیل افزایش تقاضای دانه‌های تشکیل شده به مواد فتوسنتزی و کاهش سهم فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) در برآورد این نیاز مخازن (دانه‌ها) باشد. در این راستا، محققین گزارش کردند که در شرایط تنش (به خصوص به هنگام وقوع تنش در مرحله ساقه‌روی تا گلدهی)، به دلیل تقاضای بالای دانه‌ها، انتقال ماده خشک نسبت به تیمار شاهد، افزایش می‌یابد تا مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه‌ها انتقال یابد (Liu *et al.*, 2020). ولی در چنین شرایطی، محلول‌پاشی نانواکسید روی از طریق افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۱۰)، فتوسنتز جاری (جدول ۱۴)، موجب بهبود فتوسنتز جاری و کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه (جدول ۱۴) شد. در این راستا برخی محققین اظهار داشتند که محلول‌پاشی نانواکسید روی از طریق افزایش شاخص سطح برگ و بهبود فتوسنتز جاری موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه تریتیکاله در شرایط تنش شوری شد. به نظر می‌رسد بخشی دیگری از کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی به‌واسطه محلول‌پاشی پوترسین را، می‌توان به جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها (به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری) و افزایش میزان فتوسنتز برگ نسبت داد. در چنین شرایطی میزان تثبیت کربن و به بیانی دیگر فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) بالا بوده و گیاه فرصت بیشتری برای انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را دارد (عمادی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین نظری و همکاران (۱۴۰۰) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۱۲- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر بیوماس کل گندم

ترکیب تیماری	مراحل نمونه‌برداری (روز پس از کاشت)									
	۴۴	۵۴	۶۴	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴	۱۲۴	۱۳۴
$S_1 \times N_1$	۰/۶۷۱$^{f-j}$	۰/۷۹۸$^{g-k}$	۱/۱۳۲$^{g-j}$	۱/۵۶۰$^{g-j}$	۲/۱۰۴$^{e-j}$	۲/۴۷۲$^{d-k}$	۲/۷۱۴$^{d-g}$	۲/۷۲۳$^{f-k}$	۲/۷۰۱$^{e-h}$	۲/۴۵۳$^{f-i}$
$S_1 \times N_2$	۰/۷۳۰$^{a-d}$	۰/۸۷۵$^{b-e}$	۱/۲۷۴$^{a-c}$	۱/۶۹۹$^{b-f}$	۱/۸۳۸$^{n-s}$	۲/۶۷۷$^{a-e}$	۲/۹۵۸^{ab}	۲/۹۰۵$^{c-f}$	۳^{ab}	۲/۷۵۵$^{a-d}$
$S_1 \times N_3$	۰/۶۸۸$^{c-g}$	۰/۸۵۴$^{d-f}$	۱/۲۰۷$^{c-h}$	۱/۶۴۶$^{d-g}$	۲/۲۳۳$^{b-f}$	۲/۵۶۶$^{b-i}$	۲/۹۱۵$^{a-d}$	۳/۰۴۵$^{a-c}$	۲/۷۶۰$^{d-g}$	۲/۶۳۵$^{c-f}$
$S_1 \times N_4$	۰/۷۵۰^{ab}	۰/۹۱۸^{ab}	۱/۳۰۲^{ab}	۱/۸۰۶^{ab}	۲/۳۰۲$^{a-c}$	۲/۷۶۷^{ab}	۳/۰۰۱^{ab}	۳/۱۵۹^{ab}	۳/۰۵۴^{a}	۲/۸۵۲^{ab}
$S_1 \times N_5$	۰/۶۴۱$^{h-l}$	۰/۸۲۴$^{e-i}$	۱/۲۱۷$^{b-g}$	۱/۶۶۲$^{c-g}$	۲/۱۹۲$^{b-g}$	۲/۶۱۴$^{a-f}$	۲/۵۶۱$^{f-j}$	۲/۶۴۴$^{h-n}$	۲/۵۶۶$^{g-k}$	۲/۳۴۶$^{h-l}$
$S_1 \times N_6$	۰/۷۴۵^{ab}	۰/۹۰۸^{bc}	۱/۲۹۱^{abc}	۱/۷۸۵$^{a-c}$	۲/۳۳۲^{ab}	۲/۷۹۳^{ab}	۳/۰۵۴^{ab}	۳/۱۲۹^{ab}	۳/۰۲۵^{ab}	۲/۸۸۷^{a}
$S_1 \times N_7$	۰/۷۲۴$^{a-e}$	۰/۸۸۷$^{b-d}$	۱/۲۴۲$^{a-e}$	۱/۷۶۵$^{a-d}$	۲/۳۶۲^{ab}	۲/۷۰۸$^{a-d}$	۳/۰۳۴^{ab}	۳/۰۷۳$^{a-c}$	۲/۹۳۹$^{a-d}$	۲/۷۸۸$^{a-c}$
$S_1 \times N_8$	۰/۷۶۱^{a}	۰/۹۶۵^{a}	۱/۳۲۵^{a}	۱/۸۴۲^{a}	۲/۴۰۷^{a}	۱/۸۵۱^{a}	۳/۱۰۲^{a}	۳/۱۸۳^{a}	۳/۱۲۴^{a}	۲/۹۲۹^{a}
$S_2 \times N_1$	۰/۵۸۸^{mn}	۰/۷۰۴$^{p-u}$	۱/۰۳۳$^{k-n}$	۱/۴۱۵$^{k-m}$	۱/۹۱۵$^{k-p}$	۲/۲۱۵$^{k-m}$	۲/۴۰۸$^{j-m}$	۲/۴۸۹$^{l-r}$	۲/۴۶۶$^{j-o}$	۲/۲۲۵$^{j-m}$
$S_2 \times N_2$	۰/۵۹۸$^{l-n}$	۰/۷۸۰$^{h-m}$	۱/۰۰۷$^{m-o}$	۱/۳۸۸$^{l-n}$	۲/۰۴۹$^{g-l}$	۲/۳۰۵$^{j-l}$	۲/۶۰۹$^{f-j}$	۲/۷۹۱$^{d-i}$	۲/۵۲۳$^{h-m}$	۲/۲۱۳$^{j-n}$
$S_2 \times N_3$	۰/۶۱۶$^{k-m}$	۰/۷۴۰$^{l-r}$	۱/۱۵۶$^{e-i}$	۱/۶۰۱$^{e-h}$	۱/۹۹۸$^{h-n}$	۲/۳۰۳$^{j-l}$	۲/۵۳۱$^{g-k}$	۲/۵۷۴$^{j-o}$	۲/۶۰۶$^{f-k}$	۲/۳۰۵$^{i-m}$
$S_2 \times N_4$	۰/۵۹۹$^{l-n}$	۰/۷۳۳$^{m-s}$	۱/۰۶۲$^{j-m}$	۱/۴۴۶$^{i-m}$	۲/۲۴۹$^{a-e}$	۲/۳۵۰$^{g-l}$	۲/۴۸۹$^{h-l}$	۲/۵۲۳$^{k-q}$	۲/۴۸۶$^{i-n}$	۲/۲۰۵$^{j-n}$
$S_2 \times N_5$	۰/۷۱۸$^{a-f}$	۰/۷۵۹$^{j-o}$	۱/۱۰۶$^{i-l}$	۱/۴۷۶$^{h-l}$	۲/۱۳۳$^{c-i}$	۲/۳۶۷$^{f-l}$	۲/۶۰۹$^{f-j}$	۲/۶۵۱$^{h-m}$	۲/۵۶۳$^{g-l}$	۲/۳۷۷$^{g-k}$
$S_2 \times N_6$	۰/۶۸۲$^{d-h}$	۰/۸۴۷$^{d-g}$	۱/۱۶۶$^{e-i}$	۱/۶۷۶$^{b-g}$	۲/۲۰۷$^{b-g}$	۲/۴۵۱$^{d-k}$	۲/۶۹۷$^{e-g}$	۲/۹۵۷$^{b-e}$	۲/۷۳۴$^{e-g}$	۲/۷۳۰$^{a-d}$
$S_2 \times N_7$	۰/۷۰۲$^{b-g}$	۰/۸۶۵$^{c-e}$	۱/۲۳۳$^{b-f}$	۱/۶۱۵$^{e-g}$	۲/۱۳۹$^{c-i}$	۲/۵۸۷$^{b-h}$	۲/۹۴۰$^{a-d}$	۲/۸۲۶$^{d-h}$	۲/۸۳۴$^{b-e}$	۲/۵۲۴$^{e-h}$
$S_2 \times N_8$	۰/۷۳۸$^{a-c}$	۰/۸۹۶$^{b-d}$	۱/۲۶۵$^{a-d}$	۱/۷۳۶$^{a-e}$	۲/۲۷۶$^{a-d}$	۲/۷۳۶$^{a-c}$	۲/۹۸۸^{ab}	۲/۹۸۵$^{a-d}$	۲/۹۷۰$^{a-c}$	۲/۸۱۸$^{a-c}$
$S_3 \times N_1$	۰/۵۷۷$^{m-o}$	۰/۶۸۲$^{t-s}$	۰/۹۵۲$^{n-p}$	۱/۲۶۳$^{n-p}$	۱/۷۳۷$^{q-t}$	۲/۱۴۸^{lm}	۲/۳۲۰$^{l-n}$	۲/۲۷۹$^{s-u}$	۲/۲۵۴$^{p-r}$	۲/۰۱۴$^{n-q}$
$S_3 \times N_2$	۰/۶۷۳$^{e-i}$	۰/۷۲۴$^{n-t}$	۱/۰۰۸$^{m-o}$	۱/۳۵۵$^{l-o}$	۱/۸۳۹$^{n-s}$	۲/۲۸۶$^{j-l}$	۲/۶۵۲$^{f-h}$	۲/۸۰۵$^{d-i}$	۲/۷۰۲$^{e-h}$	۲/۵۶۰$^{d-g}$
$S_3 \times N_3$	۰/۶۱۱^{lm}	۰/۶۹۰$^{r-u}$	۱/۰۳۵$^{k-n}$	۱/۴۳۶$^{j-m}$	۱/۷۹۶$^{o-s}$	۲/۴۰۵$^{f-l}$	۲/۶۷۰$^{f-h}$	۲/۳۲۸$^{q-u}$	۲/۳۰۰$^{n-r}$	۲/۳۶۲$^{g-l}$
$S_3 \times N_4$	۰/۵۹۷$^{l-n}$	۰/۷۳۵$^{k-p}$	۰/۹۹۷$^{m-o}$	۱/۳۴۸$^{l-o}$	۱/۹۴۱$^{j-p}$	۲/۲۲۹^{kl}	۲/۷۴۶$^{c-f}$	۲/۳۰۷$^{r-u}$	۲/۲۷۰$^{o-r}$	۲/۳۳۹$^{h-m}$
$S_3 \times N_5$	۰/۵۸۲$^{m-o}$	۰/۶۹۵$^{q-u}$	۰/۹۹۸$^{m-o}$	۱/۳۷۳$^{l-o}$	۱/۸۵۷$^{m-r}$	۲/۲۸۵$^{j-l}$	۲/۴۴۶$^{i-m}$	۲/۴۳۸$^{n-t}$	۲/۴۳۱$^{k-p}$	۲/۱۶۹$^{l-p}$
$S_3 \times N_6$	۰/۶۱۹$^{j-m}$	۰/۸۰۶$^{f-j}$	۱/۱۲۱$^{h-k}$	۱/۴۳۶$^{j-m}$	۲/۰۱۹$^{h-m}$	۲/۴۹۷$^{c-j}$	۲/۵۹۵$^{f-j}$	۲/۶۰۶$^{i-n}$	۲/۳۲۶$^{m-r}$	۲/۲۴۹$^{i-m}$
$S_3 \times N_7$	۰/۶۲۷$^{i-m}$	۰/۷۷۳$^{i-n}$	۱/۰۴۰$^{k-n}$	۱/۵۴۵$^{g-k}$	۱/۰۷۲$^{f-k}$	۲/۳۰۸$^{i-l}$	۲/۶۶۸$^{f-h}$	۲/۶۸۷$^{g-l}$	۲/۶۳۶$^{e-j}$	۲/۵۶۷$^{d-g}$
$S_3 \times N_8$	۰/۶۹۲$^{c-h}$	۰/۸۳۳$^{e-h}$	۱/۱۸۱$^{d-i}$	۱/۶۳۱$^{d-g}$	۲/۱۵۷$^{c-h}$	۲/۵۹۲$^{a-g}$	۲/۸۸۸$^{b-e}$	۲/۸۷۲$^{c-g}$	۲/۷۹۲$^{c-f}$	۲/۶۶۶$^{b-e}$
$S_4 \times N_1$	۰/۵۳۴^{o}	۰/۶۵۳^{u}	۰/۸۷۵^{p}	۱/۲۰۶^{p}	۱/۶۱۸^{t}	۱/۹۵۸^{mn}	۲/۱۴۲^{n}	۲/۲۰۹^{u}	۲/۱۲۳^{r}	۱/۹۱۲^{q}
$S_4 \times N_2$	۰/۶۲۲$^{i-m}$	۰/۷۴۷$^{k-q}$	۱/۱۵۰$^{f-i}$	۱/۵۶۳$^{f-j}$	۱/۷۷۰$^{p-t}$	۲/۴۲۳$^{e-k}$	۲/۵۹۵$^{f-j}$	۲/۸۰۲$^{d-i}$	۲/۶۷۶$^{e-i}$	۲/۴۴۵$^{f-i}$
$S_4 \times N_3$	۰/۶۲۸$^{i-m}$	۰/۶۷۸^{tu}	۱/۰۳۱$^{l-n}$	۱/۳۹۷$^{l-n}$	۱/۶۸۳st	۲/۲۳۵^{kl}	۲/۲۴۵^{mn}	۲/۳۴۹$^{p-u}$	۲/۲۰۰^{qr}	۱/۹۶۵^{pq}
$S_4 \times N_4$	۰/۶۴۱$^{h-l}$	۰/۷۳۱$^{m-s}$	۱/۰۵۶$^{j-m}$	۱/۳۹۹$^{l-n}$	۱/۸۸۳$^{l-q}$	۲/۲۲۹^{kl}	۲/۳۴۶$^{k-n}$	۲/۳۶۹$^{o-u}$	۲/۲۲۳^{qr}	۲/۱۹۱$^{k-o}$
$S_4 \times N_5$	۰/۵۵۵^{no}	۰/۶۷۲^{tu}	۰/۹۳۰^{op}	۱/۲۳۹^{op}	۱/۷۰۷$^{r-t}$	۱/۷۶۸^{n}	۲/۲۹۲$^{l-n}$	۲/۲۶۲^{tu}	۲/۱۹۲^{qr}	۱/۹۸۸$^{o-q}$
$S_4 \times N_6$	۰/۶۰۸^{lm}	۰/۷۶۶$^{j-n}$	۰/۹۸۵$^{m-o}$	۱/۳۳۱$^{m-p}$	۱/۸۱۴$^{o-s}$	۲/۳۳۱$^{h-l}$	۲/۵۶۸$^{f-j}$	۲/۴۷۳$^{m-s}$	۲/۳۶۱$^{l-q}$	۲/۲۷۲$^{i-m}$
$S_4 \times N_7$	۰/۶۲۷$^{i-m}$	۰/۷۱۳$^{o-t}$	۱/۰۱۹$^{l-n}$	۱/۴۵۳$^{i-m}$	۱/۹۶۷$^{i-o}$	۲/۱۵۱^{lm}	۲/۴۸۱$^{h-l}$	۲/۵۴۰$^{k-p}$	۲/۴۹۹$^{h-n}$	۲/۱۳۹$^{m-p}$
$S_4 \times N_8$	۰/۶۶۵$^{g-k}$	۰/۷۹۰$^{h-l}$	۱/۱۴۲$^{g-j}$	۱/۵۷۷$^{f-i}$	۲/۱۱۹$^{d-i}$	۲/۴۰۱$^{g-l}$	۲/۶۳۹$^{f-i}$	۲/۷۵۳$^{e-j}$	۲/۶۶۸$^{e-j}$	۲/۴۱۰$^{g-j}$
LSD	۰/۰۵۲	۰/۰۵۲	۰/۰۸۸	۰/۱۳۸	۰/۱۷۲	۰/۲۶۰	۰/۲۰۵	۰/۲۰۶	۰/۲۰۴	۰/۲۰۵

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار.

N_1، N_2، N_3، N_4، N_5، N_6، N_7 و N_8 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محلول‌پاشی نانواکسید روی، محلول‌پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۱۳- تجزیه واریانس تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر انتقال ماده خشک و عملکرد دانه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		انتقال ماده خشک از اندام هوایی	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه	انتقال ماده خشک از ساقه	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه	فتوسنتز جاری	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه	درصد پروتئین برگ پرچم	عملکرد دانه
تکرار	۲	۰/۱۱۶۲۲**	۳۹/۷۲۰**	۰/۰۱۴۸۷**	۷/۲۵۷^{ns}	۰/۲۵۳۴۳**	۳۹/۷۲۰**	۱۵/۳۹۰**	۰/۶۵۸**
(S)	۳	۰/۰۳۳۲۵**	۳۸۷/۴۵۵**	۰/۰۱۲۵۷**	۱۵۱/۵۲۱**	۰/۷۴۴۷۷**	۳۸۷/۴۵۵**	۱۳/۶۳۳**	۰/۴۶۷**
(N)	۷	۰/۰۰۹۸۵**	۱۱۳/۵۷۹**	۰/۰۰۳۶۹**	۴۲/۸۶۶**	۰/۱۹۳۸۳**	۱۱۳/۵۷۹**	۳/۵۵۰**	۰/۱۲۴**
S×N	۲۱	۰/۰۰۳۰۶**	۱۶/۱۱۸**	۰/۰۰۱۳۸**	۶/۳۶۳**	۰/۰۲۱۱۱**	۱۶/۱۱۸**	۰/۶۹۴**	۰/۰۱۶**
خطا	۶۲	۰/۰۰۱۰۷	۶/۱۸۳	۰/۰۰۰۵۱	۲/۸۰۷	۰/۰۰۹۶۴	۶/۱۸۳	۰/۲۶۵	۰/۰۰۶
CV		۵/۲۶	۷/۷۹	۵/۷۱	۸/۲۷	۷/۲۳	۳/۶۵	۵/۲	۴/۱۲

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

شوری (S)، محلول‌پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

تنش از طریق گسترش بیشتر سطح برگ و بهبود فتوسنتز جاری، موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه تریتیکاله شد. در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوسیلیکون با بهبود شاخص سطح برگ (جدول ۱۰)، فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (جدول ۱۴) موجب کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه گندم (جدول ۱۴) شد.

فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه: برهم‌کنش همزمان محلول‌پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین، ترکیب تیماری محلول‌پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (۱/۷۶۳، ۷۷/۲۹) برخوردار بود، به‌طوریکه موجب افزایش به‌ترتیب ۸۷/۱۵ و ۳۶/۰۴ درصدی این صفات نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد (جدول ۱۴). از آنجایی که در شرایط شوری به‌واسطه پیری زودرس و ریزش برگ‌ها طی دوره پرشدن دانه، سهم فتوسنتز جاری کاهش می‌یابد، ولی تقاضای دانه‌ها برای مواد فتوسنتزی وجود دارد (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷)، از این‌رو به‌نظر می‌رسد که در شرایط شوری به‌دلیل کاهش فتوسنتز جاری به‌واسطه کاهش سطح برگ، بخش بیش‌تری از پرشدن دانه به‌واسطه انتقال بیش‌تر ماده خشک به سمت دانه تأمین می‌شود (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). ولی در چنین شرایطی محلول‌پاشی نانواکسید روی با تعدیل اثر ناشی از تنش شوری و نقشی که در ساخته‌شدن آنزیم‌های مسئول فتوسنتز و سوخت‌وساز دارد، ضمن افزایش شاخص سطح برگ، موجب بهبود فتوسنتز جاری و کاهش سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه می‌شود (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). Baniabbass و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش فتوسنتز به‌واسطه کاربرد روی را، به نقش اساسی این عنصر در ساختمان فسفواینول پیروات کربوکسیلاز و همچنین افزایش سنتز هورمون‌های رشدی از جمله اکسین نسبت دادند. بخش دیگر بهبود فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

جدول ۱۴- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر انتقال ماده خشک و عملکرد دانه گندم

ترکیب تیماری	انتقال ماده خشک از اندام هوایی (گرم در بوته)	سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی در عملکرد دانه (درصد)	انتقال ماده خشک از ساقه (گرم در بوته)	سهم انتقال ماده خشک از ساقه در عملکرد دانه (درصد)	فتوسنتز جاری (گرم در بوته)	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه (درصد)	پروتئین برگ پرچم (درصد)	عملکرد دانه (گرم در بوته)
$S_1 \times N_1$	۰/۶۱۰$^{f-l}$	۲۹/۶۶$^{i-m}$	۰/۳۸۰$^{g-n}$	۱۸/۵۴$^{h-m}$	۱/۴۴۶$^{e-h}$	۷۰/۳۳$^{e-i}$	۱۰/۱۱$^{e-j}$	۲/۰۵$^{d-i}$
$S_1 \times N_2$	۰/۵۳۷^{no}	۲۴/۵۳^{pq}	۰/۳۵۷$^{m-p}$	۱۶/۳۷$^{m-o}$	۱/۶۴۸$^{a-c}$	۷۵/۴۶^{ab}	۱۱/۳۱$^{a-c}$	۲/۱۸$^{a-d}$
$S_1 \times N_3$	۰/۶۲۵$^{e-k}$	۲۸/۰۹$^{l-p}$	۰/۳۹۹$^{e-l}$	۱۷/۹۹$^{j-n}$	۱/۵۹۹$^{b-e}$	۷۱/۹۰$^{b-f}$	۱۰/۵۹$^{b-g}$	۲/۲۲$^{a-c}$
$S_1 \times N_4$	۰/۵۹۴$^{i-m}$	۲۸/۶۸$^{k-o}$	۰/۳۷۶$^{i-n}$	۱۸/۱۶$^{i-n}$	۱/۴۷۸$^{d-g}$	۷۱/۳۲$^{c-g}$	۱۰/۳۴$^{d-h}$	۲/۰۷$^{d-h}$
$S_1 \times N_5$	۰/۵۳۳^{no}	۲۴/۸۵$^{o-q}$	۰/۳۳۹^{op}	۱۵/۸۲$^{m-o}$	۱/۶۱۱$^{a-d}$	۷۵/۱۴$^{a-c}$	۱۱/۴۰^{ab}	۲/۱۴$^{b-f}$
$S_1 \times N_6$	۰/۵۵۹$^{l-o}$	۲۴/۸۱$^{o-q}$	۰/۳۴۹$^{n-p}$	۱۵/۵۱^{no}	۱/۶۹۱^{ab}	۷۵/۱۸$^{a-c}$	۱۰/۹۸$^{a-d}$	۲/۲۵^{ab}
$S_1 \times N_7$	۰/۵۹۴$^{j-m}$	۲۶/۸۷$^{m-p}$	۰/۳۷۸$^{h-n}$	۱۷/۱۲$^{l-o}$	۱/۶۱۶$^{a-d}$	۷۳/۱۳$^{b-e}$	۱۱/۲۲$^{a-c}$	۲/۲۱$^{a-c}$
$S_1 \times N_8$	۰/۵۱۹^{o}	۲۲/۷۰^{q}	۰/۳۲۸^{p}	۱۴/۴۱^{o}	۱/۷۶۳^{a}	۷۷/۲۹^{a}	۱۱/۶۰^{a}	۲/۲۸^{a}
$S_2 \times N_1$	۰/۶۵۹$^{b-f}$	۳۵/۳۰$^{d-g}$	۰/۴۱۶$^{a-g}$	۲۲/۳۳$^{c-f}$	۱/۲۰۵$^{k-m}$	۶۴/۶۹$^{k-n}$	۹/۲۷$^{j-o}$	۱/۸۶$^{k-o}$
$S_2 \times N_2$	۰/۶۲۱$^{e-k}$	۳۰/۳۶$^{h-m}$	۰/۳۹۹$^{e-l}$	۱۹/۵۴$^{g-l}$	۱/۴۲۴$^{f-i}$	۶۹/۶۳$^{e-j}$	۱۰/۵۴$^{c-g}$	۲/۰۴$^{e-i}$
$S_2 \times N_3$	۰/۶۷۳$^{a-e}$	۳۳/۶۱$^{d-i}$	۰/۴۲۰$^{a-f}$	۲۱/۰۳$^{e-h}$	۱/۳۳۳$^{g-k}$	۶۶/۳۸$^{i-n}$	۹/۴۸$^{i-m}$	۲$^{g-j}$
$S_2 \times N_4$	۰/۶۶۶$^{a-e}$	۳۵/۷۸$^{d-f}$	۰/۴۲۱$^{a-f}$	۲۲/۶۷$^{c-f}$	۱/۲۱۷$^{k-m}$	۶۴/۲۱$^{l-n}$	۹/۳۲$^{i-o}$	۱/۸۸$^{j-o}$
$S_2 \times N_5$	۰/۶۴۱$^{d-j}$	۳۲/۷۵$^{e-j}$	۰/۴۰۴$^{e-k}$	۲۰/۶۶$^{e-j}$	۱/۳۳۷$^{g-k}$	۶۷/۲۴$^{h-m}$	۹/۲۹$^{i-o}$	۱/۹۷$^{g-k}$
$S_2 \times N_6$	۰/۶۳۰$^{d-k}$	۳۲/۲۹$^{e-k}$	۰/۴۰۵$^{d-k}$	۲۰/۸۱$^{e-i}$	۱/۳۲۲$^{g-l}$	۶۷/۷۰$^{g-m}$	۱۰/۰۹$^{e-j}$	۱/۹۵$^{h-l}$
$S_2 \times N_7$	۰/۶۰۴$^{g-m}$	۳۳/۰۵$^{e-j}$	۰/۳۸۰$^{g-n}$	۲۰/۸۴$^{e-i}$	۱/۲۵۳$^{j-m}$	۶۶/۹۵$^{h-m}$	۱۰/۶۴$^{b-f}$	۱/۸۵$^{k-p}$
$S_2 \times N_8$	۰/۵۵۵$^{m-o}$	۲۵/۶۰$^{n-q}$	۰/۳۵۵$^{m-p}$	۱۶/۳۹$^{m-o}$	۱/۶۱۲$^{a-d}$	۷۴/۳۹$^{a-d}$	۱۰/۹۳$^{a-e}$	۲/۱۶$^{a-e}$
$S_3 \times N_1$	۰/۶۹۵$^{a-c}$	۴۰/۱۹$^{a-c}$	۰/۴۴۲$^{a-c}$	۲۵/۶۰^{ab}	۱/۰۳۳$^{n-p}$	۵۹/۸۰$^{o-q}$	۸/۸۲$^{m-p}$	۱/۷۲$^{p-r}$
$S_3 \times N_2$	۰/۵۹۸$^{h-m}$	۳۳/۸۰$^{d-h}$	۰/۳۷۴$^{j-o}$	۲۱/۱۶$^{e-h}$	۱/۱۶۶$^{l-n}$	۶۶/۱۹$^{j-n}$	۹/۵۷$^{h-m}$	۱/۷۶$^{n-r}$
$S_3 \times N_3$	۰/۵۷۷$^{k-n}$	۲۸/۶۰$^{k-o}$	۰/۳۶۳$^{l-p}$	۱۸/۰۴$^{j-n}$	۱/۴۳۷$^{f-h}$	۷۱/۴۰$^{c-g}$	۸/۵۵^{op}	۲/۰۱$^{f-j}$
$S_3 \times N_4$	۰/۶۴۸$^{c-i}$	۳۴/۲۱$^{d-h}$	۰/۴۱۱$^{b-i}$	۲۱/۷۴$^{d-g}$	۱/۲۴۴$^{k-m}$	۶۵/۷۸$^{j-n}$	۹/۶۹$^{h-l}$	۱/۸۹$^{j-n}$
$S_3 \times N_5$	۰/۶۸۲$^{a-d}$	۳۷/۵۶$^{b-d}$	۰/۴۳۷$^{a-d}$	۲۴/۰۹$^{b-d}$	۱/۱۳۱$^{m-o}$	۶۲/۴۳$^{m-p}$	۸/۸۹$^{l-p}$	۱/۸۱$^{m-q}$
$S_3 \times N_6$	۰/۵۹۹$^{h-m}$	۲۹/۰۹$^{j-n}$	۰/۳۷۵$^{i-o}$	۱۸/۲۷$^{i-m}$	۱/۴۵۶$^{d-h}$	۷۰/۹۰$^{d-h}$	۱۰/۰۴$^{f-j}$	۲/۰۵$^{d-i}$
$S_3 \times N_7$	۰/۶۵۵$^{b-g}$	۳۳/۹۶$^{d-h}$	۰/۴۲۱$^{a-f}$	۲۱/۸۵$^{d-g}$	۱/۲۷۳$^{i-m}$	۶۶/۰۳$^{j-n}$	۸/۹۰$^{l-p}$	۱/۹۲$^{i-m}$
$S_3 \times N_8$	۰/۵۹۰$^{j-m}$	۲۸/۱۸$^{l-p}$	۰/۳۷۳$^{k-o}$	۱۷/۸۴$^{k-n}$	۱/۵۰۴$^{c-f}$	۷۱/۸۱$^{b-f}$	۱۰/۸۹$^{a-e}$	۲/۰۹$^{c-g}$
$S_4 \times N_1$	۰/۷۱۷^{a}	۴۳/۱۸^{a}	۰/۴۵۲^{a}	۲۷/۳۰^{a}	۰/۹۴۲^{p}	۵۶/۸۱^{q}	۸/۱۸^{p}	۱/۶۶^{r}
$S_4 \times N_2$	۰/۶۵۷$^{b-g}$	۳۳/۶۶$^{d-i}$	۰/۴۱۰$^{c-j}$	۲۱/۰۸$^{e-h}$	۱/۳۱۲$^{h-l}$	۶۶/۳۳$^{i-n}$	۸/۵۷$^{n-p}$	۱/۹۶$^{g-k}$
$S_4 \times N_3$	۰/۶۶۶$^{a-e}$	۳۴/۶۲$^{d-g}$	۰/۴۴۷^{ab}	۲۳/۳۰$^{b-e}$	۱/۲۶۰$^{j-m}$	۶۵/۳۷$^{k-n}$	۹/۰۶$^{k-o}$	۱/۹۲$^{i-m}$
$S_4 \times N_4$	۰/۶۳۶$^{d-j}$	۳۶/۱۸$^{c-e}$	۰/۴۰۷$^{c-k}$	۲۳/۲۲$^{b-e}$	۱/۱۱۷$^{m-o}$	۶۳/۸۱$^{m-o}$	۹/۰۵$^{k-o}$	۱/۷۵$^{o-r}$
$S_4 \times N_5$	۰/۷۰۵^{ab}	۴۱/۵۳^{ab}	۰/۴۲۴$^{a-e}$	۲۵/۰۳$^{a-c}$	۰/۹۹۰^{op}	۵۸/۴۶^{pq}	۱۰/۱۱$^{e-j}$	۱/۶۹^{qr}
$S_4 \times N_6$	۰/۶۵۰$^{c-h}$	۳۱/۶۰$^{g-l}$	۰/۴۱۳$^{b-h}$	۲۰/۱۰$^{f-k}$	۱/۴۰۶$^{f-j}$	۶۸/۳۹$^{f-k}$	۹/۷۶$^{g-k}$	۲/۰۵$^{d-i}$
$S_4 \times N_7$	۰/۶۱۲$^{f-k}$	۳۳/۲۵$^{e-i}$	۰/۳۸۶$^{f-m}$	۲۱/۰۱$^{e-h}$	۱/۲۲۳$^{k-m}$	۶۶/۷۴$^{i-m}$	۹/۴۰$^{i-n}$	۱/۸۳$^{l-p}$
$S_4 \times N_8$	۰/۶۳۶$^{d-j}$	۳۲/۰۴$^{f-l}$	۰/۴۰۳$^{d-k}$	۲۰/۳۴$^{f-k}$	۱/۳۴۹$^{f-k}$	۶۷/۹۵$^{f-l}$	۱۰/۱۳$^{e-i}$	۱/۹۸$^{g-k}$
LSD	۰/۰۵۳	۴/۰۵	۰/۰۳۶	۲/۷۳	۰/۱۶۰	۴/۰۵	۰/۸۴	۰/۱۳

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی‌مولار.

N_1، N_2، N_3، N_4، N_5، N_6، N_7 و N_8 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانوسیلیکون، محلول‌پاشی نانواکسید روی، محلول‌پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

شاخص سطح برگ (جدول ۱۱) نسبت داد. در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش با افزایش شاخص سطح برگ، موجب بهبود فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه تریتیکاله شد. عمادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اظهار داشتند که پوترسین با جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها (به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری)، موجب افزایش میزان فتوسنتز برگ و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شد.

درصد پروتئین برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری و برهم‌کنش همزمان این عوامل بر درصد پروتئین برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین، ترکیب تیماری محلول‌پاشی همزمان نانوذرات (۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و یک گرم در لیتر نانواکسید روی) و یک میلی‌مولار پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین پروتئین برگ پرچم (۱۱/۶۰) برخوردار بود که موجب افزایش ۴۰/۸۰ درصدی این صفت نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد (جدول ۱۴). به‌نظر می‌رسد وقوع تنش شوری از طریق هیدرولیز و یا کاهش سنتز پروتئین‌های محلول موجب کاهش محتوای پروتئین برگ گندم می‌شود (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹)، که گزارش شده است در چنین شرایطی کاربرد نانوذرات موجب افزایش محتوای پروتئین برگ گندم شد (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹). روی به عنوان یک عنصر ساختمانی در RNA پلیمراز در سنتز پروتئین‌ها نقش دارد و کاهش میزان پروتئین در گیاهان دارای کمبود روی نتیجه افزایش تجزیه RNA است (Marschner, 2011). بخش دیگر افزایش درصد پروتئین برگ به‌واسطه محلول‌پاشی با نانواکسید روی را می‌توان به بهبود فلورسانس کلروفیل (جدول ۵، ۶، ۷ و ۸) نسبت داد که در این راستا برخی محققین بیان کردند که محلول‌پاشی نانواکسید روی در شرایط تنش شوری با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش تولیدات فتوسنتزی و درصد پروتئین برگ گندم شد (نریمانی و سیدشریفی، ۱۳۹۹). بخشی از افزایش درصد پروتئین برگ پرچم به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۱۱) و فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) نسبت داد که در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) اظهار داشتند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون از طریق افزایش شاخص سطح برگ موجب بهبود فتوسنتز جاری شد که با تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، محتوای پروتئین برگ تریتیکاله تحت شرایط تنش را افزایش داد. بخشی دیگر افزایش محتوای پروتئین محلول در کاربرد سیلیکون به‌نظر می‌رسد ناشی از سنتز پروتئین‌های جدید و یا افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با سازگاری و تطابق گیاه با تنش خشکی باشد (Tale Ahmad *et al*., 2011). همچنین، Amraee Tabar و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند که محلول‌پاشی پوترسین با نابودی رادیکال‌های فعال اکسیژن از تخریب پروتئین‌ها به‌وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده و موجب افزایش سنتز پروتئین‌ها در گیاه می‌شود. بخش دیگری از افزایش درصد پروتئین برگ به‌واسطه محلول‌پاشی با پوترسین را می‌توان به بهبود عملکرد کوانتومی نسبت داد، که در این راستا سیدشریفی و همکاران (۱۳۹۹) نیز افزایش درصد پروتئین برگ به‌واسطه محلول‌پاشی با پوترسین را به بهبود عملکرد کوانتومی برگ نسبت دادند.

عملکرد دانه: برهم‌کنش همزمان محلول‌پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین، محلول‌پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین عملکرد دانه (۲/۲۸) و از افزایش ۳۷/۳۴ درصدی این صفت نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۱۴). در شرایط تنش شوری به‌دلیل کاهش طول دوره رشد، تسریع پیری و ریزش برگ‌های پایینی، چون فتوسنتز جاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

به‌واسطه کاهش سطح برگ (جدول ۱۱) کاهش می‌یابد، در نتیجه عملکرد دانه کاهش می‌یابد (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). بخشی از افزایش عملکرد دانه به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به بهبود شاخص سطح برگ (جدول ۱۱) و فتوسنتز جاری (جدول ۱۴) نسبت داد، در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون از طریق بهبود شاخص سطح برگ و فتوسنز جاری، علیرغم کاهش سهم انتقال ماده خشک از اندام هوایی، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد. همچنین، به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانواکسید روی نیز با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی) و افزایش محتوای پروتئینی (جدول ۱۴) موجب افزایش عملکرد دانه شد که با بررسی نریمانی و سیدشریفی (۱۳۹۹) همخوانی داشت، این محققین بیان کردند که محلول‌پاشی نانواکسید روی در شرایط تنش شوری با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش تولیدات فتوسنتزی، محتوای پروتئین و عملکرد دانه گندم شد. همچنین، Baniabbass و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که روی در ساختمان فسفواینول پیروات کربوکسیلاز نیز نقش اساسی دارد و موجب افزایش سنتز هورمون‌های رشدی از جمله اکسین می‌شود که با بهبود توان فتوسنتزی و در نتیجه افزایش تولید میزان کربوهیدرات در گیاه، موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود. عمادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اظهار داشتند که پوترسین با جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها (به‌عنوان یک منبع با ثبات برای فتوسنتز جاری) موجب افزایش میزان فتوسنتز برگ و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و در نهایت افزایش عملکرد دانه گندم شد.

نتیجه‌گیری

عدم کاربرد نانوذرات (سیلیکون و روی) و پوترسین در شرایط سطوح بالاتر تنش شوری از بیش‌ترین میزان انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه برخوردار بود. محلول‌پاشی همزمان نانوذرات (سیلیکون و روی) و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری با بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر) و عملکرد کوانتومی موجب افزایش فتوسنتز جاری و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه شد. همچنین نتایج نشان داد که این ترکیب تیماری با افزایش شاخص سطح برگ و درصد پروتئین موجب افزایش ماده خشک کل و عملکرد دانه گندم نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار خاک شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد نانوذرات (سیلیکون و روی) و پوترسین در شرایط تنش شوری می‌تواند با بهبود فتوسنتز جاری و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، عملکرد دانه گندم را افزایش دهد.

منابع

خیری‌زاده آروق، یونس، سیدشریفی، رئوف، و خلیل‌زاده، راضیه (۱۳۹۷). بررسی کاربرد کود بیولوژیک و نانواکسید روی بر انتقال مجدد و شاخص سطح برگ گیاه تریتیکاله (*Triticosecale* Witt.) در شرایط شوری خاک. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۴(۱۱)، ۱۰۰۴-۹۹۳. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1015.1201

رستمی، مجید، جوادی، احمد، و حسینی‌زاده، سیدمجید. (۱۳۹۹). القای مقاومت به تنش شوری در بذرهای بدست آمده از بوته‌های گندم محلول‌پاشی شده با نانواکسید روی و آهن. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳(۳۳)، ۵۶۵-۵۵۳. https://doi:20.1001.1.23832592.1399.33.3.5.9

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

سیدشریفی، رئوف، سیدشریفی، رضا، و نریمانی، حامد (۱۳۹۹). تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر بیوماس، گره‌زایی و برخی صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی ماشک گل‌خوشه‌ای تحت شرایط دیم. *به‌زراعی کشاورزی*، ۴(۲۲)، ۵۱۳-۵۲۹. https://doi.org/10.22059/jci.2020.294125.2316

صفاری، محبوبه، اویسی، میثم، و ضرغامی، رضا (۱۳۹۴). بررسی تأثیر پلی‌آمین پوترسین بر برخی صفات گیاه دارویی آویشن در شرایط کمبود آب. *پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر*، ۴ (۲۲)، ۲۷۹-۲۸۹.

عبدلی، مجید، و اسفندیاری، عزت االه. (۱۳۹۳). تأثیر محلول‌پاشی روی بر عملکرد کمی و کیفی و خصوصیات رشدی گیاهچه گندم نان (رقم کوهدشت). *نشریه زراعت دیم ایران*، ۱(۳)، ۷۷-۹۰. https://doi.org/10.22092/idaj.2014.100557

عمادی، مریم السادات.، حسیبی، پیمان، و عظیمی، عبدالرضا. (۱۳۹۲). اثر محلول‌پاشی پوترسین و عناصر غذایی بر عملکرد دانه و کیفیت دو رقم گندم نان. *مجله علوم زراعی ایران*، ۳(۱۵)،۲۶۱-۲۴۷. https://doi 20.1001.1.15625540.1392.15.3.5.7

محلوجی، مهرداد (۱۳۹۵) تأثیر شوری آب آبیاری و محلول‌پاشی با نانواکسید روی برخصوصیات مورفوفیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های جو. پایان‌نامه دکترا، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

نریمانی، حامد، و سیدشریفی، رئوف (۱۳۹۹). تأثیر مصرف خاکی و محلول‌پاشی روی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، فلورسانس کلروفیل و عملکرد گندم در شرایط شوری خاک. *مجله الکترونیک مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۰(۲)، ۱۰۵-۸۹. https://doi.org/10.22069/ejsms.2020.16140.1861

نظری، ژیلا، سیدشریفی، رئوف، و نریمانی، حامد (۱۴۰۰). اثر کودهای زیستی، نانوسیلیکون و محدودیت آبی بر فتوسنتز جاری، انتقال ماده خشک تریتیکاله. *مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۳(۵۱): ۵-۲۴.

Ahmad, P., Ahanger, M. A., Alam, P., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ali, S. (2019). Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean (*Vigna radiata* L.) through the modifications of physio-biochemica attributes and key antioxidant enzymes. *Journal of Plant Growth Regulation*, *38*(4), 70-82. https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-018-9810-2.

Al-juthery, H. W. A., Al-taee, R. A. H. G., Al-Obaidi, Z. H. H., Ali, E. A. H. M., & NAl-Shami, Q. M. (2019). Influence of foliar application of some nano-fertilizers in growth and yield of potato under drip irrigation. *Journal of Physics Conference Series*, *9*,092024. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1294/9/092024.

Amraee Tabar, S., Ershadi, A., & Robati, T. (2016). The effect of putrescine and spermine on drought tolerance of Almond and Peach. *Journal of Crops Improvement*, *18*, 203-218. https://doi.org/10.22059/jci.2016.56558.

Babaeia, Kh., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A. R., & Khalilzadeha, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, *12*(1): 381-389. https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1371798.

Baniabbass, Z., Zamani, G., & Sayyari, M. (2012). Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental Biology*, *6*(2), 518-525. https://doi.org/10.22077/escs.2012.108.

Barnett, K. H., & Pearce, P. B. (1983). Source-Sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. *Crop Science*, *23*, 101-109.

Betran, F. J., Beck, D., Banziger, M., & Edmeades, G. O. (2003). Secondary traits in parental inbreeds and hybrids under stress and nonstress environments in tropical maize. *Field Crops Research*, *83*, 51-65. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00061-3.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999.

Chaves, M., Flaxes, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress regulation mechanism from whole plant to cell. *Annals of Botany*, *103*, 551-556. https://doi.org/10.1093%2Faob%2Fmcn125.

Ebrahimian, E., & Bybordi, A. (2011). Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *9*, 422-427.

Ehdaei, B., & Wanies, G. (1996). Genetic variation for contribution of pre anthesis assimilates to grain yield in spring wheat. *Journal of Genetics and Breeding*, *50*,47-56.

Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Science, 91*, 11-17. https://doi.org/10.1073%2Fpnas.91.1.11.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

Etesami, H., & Jeong, B. R. (2018). Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *147*, 881-896. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063.

Falqueto, A. R., Da Silva, R. A., Gaudio Gomes, M. T., Rodrigues Martins, J. P., Moura Silva, D., & Partelli, F. L. (2017). Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. *Jouranl of Scientia Horticulturae*, *224*, 228-243. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.019.

Gong, D., Zhang, X., Yao, J., Dai, G., Yu, G., Zhu, Q., Gao, Q., & Zheng, W. (2021). Synergistic effects of bast fiber seedling film and nano-silicon fertilizer to increase the lodging resistance and yield of rice. *Scientific Reports, 11*, 1-8. https://www.nature.com/articles/s41598-021-92342-5.

Hasanuzzaman, M., Alhaithloul, H. A. S., Parvin, K., Bhuyan, M. B., Tanveer, M., Mohsin, S. M., Nahar, K., Soliman, M. H., Mahmud, J. A., & Fujita, M. (2019). Polyamine action under metal/metalloid stress: Regulation of biosynthesis, metabolism, and molecular interactions. *International Journal of Molecular Sciences, 20*, 3215. https://doi.org/10.3390%2Fijms20133215.

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.

Jimenez-Suancha, S. C., Alvarado, S. O. H., & Balaguera-Lopez, H. E. (2015). Fluorescencia como indicador de estres en *Helianthus annuus* L. Una revision. *Revista Colombiana de Ciencias Hortic, 9*, 149-160.

Kamari, H. (2014). Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria and nano-zinc oxide on yield, grain filling period and some morphophysiological traits of Triticale. MSc thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

Karimi, M. M., & Siddique, H. M. (1991). Crop growth and relative growth rates of old modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research, 42*, 13-20. https://doi.org/10.1071/AR9910013.

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*, 116-124. https://doi.org/10.15835/nbha44110224.

Liu, Y., Zhang, P., Li, M., Chang, L., Cheng, H., Chai, S., & Yang, D. (2020). Dynamic responses of accumulation and remobilization of water soluble carbohydrates in wheat stem to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *155*, 262-270. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.024.

Marschner, H. (2011). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3th Ed. Academic press.

Mouk, B. O., & Ishii, T. (2008). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth and nutrient uptake of Sclerocary abirrea under water stress, salt stress and flooding. *Journal of the Japanese Society of Horticultural Science*, *75*, 26-31.

Song, J., Yang, J., & Jeong, B. R. (2022). Silicon mitigates ammonium toxicity in Cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. pekinensis) 'Ssamchu'. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 6*, 1-15. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.922666.

Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., & Adam, V. (2018). Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of Hazardous Materials*, *349*, 101-110. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.040.

Tale Ahmad, S., & Haddad, R. (2011). Study of silicon effects on antioxidant enzyme activitie and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech Journal of Genetics and Plant Breed*, *47*(1), 17-27. http://dx.doi.org/10.17221/92/2010-CJGPB.

Torabian, S., Zahedi, M., & Khoshdoftar, A. H. (2015). Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, *39*, 172-180. http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2015.1009107.

Xia, A., Li, Y., & Zou, D. (2004). Effects of salinity stress on PSII in *Ulva lactuca* as probed by chlorophyll fluorescence measurements. *Aquatic Botany, 8*, 129-137. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2004.07.006.

Zhang, R. H., Li, J., Guo, S. R., & Tezuka, T. (2009). Effects of exogenous putrescine on gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of NaCl-stressed cucumber seedlings. *Photosynthesis Research*, *100*, 155-162. https://doi.org/10.1007/s11120-009-9441-3.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]

Effects of foliar application of nanoparticles (zinc and silicon) and putrescine on chlorophyll fluorescence indices, dry matter remobilization and the contribution of this process in grain yield of wheat under salinity stress

Fatemeh Aghaei, Raouf Seyed Sharifi*, Hamed Narimani

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

(Received: 28/12/2022, Accepted: 07/02/2023)

Abstract

In order to study the effects of foliar application of nanoparticles (zinc and silicon) and putrescine on chlorophyll fluorescence indices, dry matter remobilization and the contribution of this process in grain yield of wheat under salinity stress, an experimental as factorial based on a randomized complete block design with three replications will be conducted in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2021. Factors experimentally included salinity at four levels (no salinity as control, salinity 40, 80 and 120 mM by NaCl), and foliar application of nanoparticles (Zn and Si) and putrescine at eight levels (foliar application with water as control, foliar application 50 mg.L-1 nano silicon, foliar application, 1 g.L-1 nano znic oxide, foliar application of putrescine, foliar application of nano Si-Zn oxide, foliar application of nano silicon and putrescine, foliar application of nano Zn oxide and putrescine, foliar application of nano Si-Zn oxide and putrescine). The results showed that foliar application of nanoparticles (Zn and Si) and putrescine under no salinity increased variable fluorescence (95.8%), maximum fluorescence (35.33%), quantum yield (42.24%), leaf area index (45.27%), flag leaf protein (41.8%), total dry matter (44.09%), current photosynthesis (87.15%) and the contribution of current photosynthesis in grain yield (36.04%) and grain yield (37.34 %) compared to no foliar application of nanoparticles and putrescine under the highest salinity level. But the maximum dry matter remobilization from stem and shoot (37.8 and 38.15%, respectively) and the contribution of these processes to grain yield (89.45 and 90.22%, respectively) were obtained in no foliar application of nanoparticles and the putrescine under salinity 120 mM. It seems that nanoparticles and putrescine application can increase grain yield of wheat under salinity stress due to improving current photosynthesis and chlorophyll fluorescence indices.

Keywords: Current photosynthesis, Leaf protein, Leaf area index, Maximum fluorescence, Quantum yield

Corresponding author, Email: Raouf_ssharifi@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-03-01]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.17.1]