

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول پاشی 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

به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی 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 به صورت 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 به عنوان شاهد و اعمال شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار)، با نمک کلرید سدیم و محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در هشت سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول پاشی یک گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین، محلول پاشی نانوسیلیکون و نانواکسید روی، محلول پاشی نانوسیلیکون و پوترسین، محلول پاشی نانواکسید روی و پوترسین، محلول پاشی همزمان نانواکسید روی و سیلیکون با پوترسین) بودند. نتایج نشان داد که محلول پاشی 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 محلول پاشی نانوذرات و پوترسین در بالاترین سطح شوری افزایش داد. ولی حداکثر میزان انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی (به ترتیب ۳۷/۸۰ و ۳۸/۱۵ درصد) و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه (به ترتیب ۸۹/۴۵ و ۹۰/۲۲ درصد) در شرایط عدم محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شوری ۱۲۰ میلی مولار بدست آمد. به نظر می رسد کاربرد نانوذرات و پوترسین با بهبود فتوسنتز جاری و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، می تواند عملکرد دانه گندم را تحت تنش شوری افزایش دهد.

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

مقدمه

القای خشکی فیزیولوژیک در گیاه، نابه سامانی در فتوسیستم II، کاهش فلورسانس کلروفیل، کاهش تدریجی در سرعت انتقال الکترون و میزان فتوسنتز می شود. همچنین مسدود شدن مسیر انتقال الکترون به وسیله یون کلر در غلظت های سمی این عنصر

شوری یکی از مهم ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک است (Ahmad et al., 2019) که با کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک، موجب

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

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 نانوآکسید 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 آنهیدراز است. به همین دلیل، حضور آن برای سنتز پروتئین، کربوهیدرات، لیپید و اسیدهای نوکلئیک و متابولیسم آنتی‌اکسیدان ضروری است (Sturikova et al., 2018). محلول‌پاشی نانوآکسید 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 نانوآکسید 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. خیری‌زاده آروق و همکاران (۱۳۹۷) نیز اظهار داشتند که محلول نانوآکسید 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 کارایی 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 نانو سیلیکون در شرایط تنش، از طریق بهبود شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی و عملکرد دانه تربیتی‌کاله 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.

امروزه پایین بودن مقدار بارش و دمای بالا در مناطق خشک و نیمه خشک و بهره برداری زیاد از منابع آب قابل دسترس، از علل عمده شور شدن آب و خاک ذکر شده (Mouk and Ishii, 2008). از این رو یکی از راه کارهای مناسب برای مقابله با این مشکل، افزایش مقاومت گیاهان به شوری است. در این راستا به دلیل اهمیت نانو ذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از تنش و بررسی های محدود انجام شده در خصوص برهم کنش همزمان این عوامل، موجب شد تا اثر محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر شاخص های فلورسانس کلروفیل، انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های 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 به عنوان شاهد و اعمال شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار از نمک کلرید سدیم)، و محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین در هشت سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول پاشی یک گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین، محلول پاشی نانوسیلیکون و نانواکسید روی، محلول پاشی نانوسیلیکون و پوترسین، محلول پاشی نانواکسید روی و پوترسین، محلول پاشی همزمان سیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین) بود. با استفاده از نمک NaCl و نرم افزار 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، نمک های احتمالی وارد شده 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 گلدان ها با قطر ۴۲ سانتی متر، تا ارتفاع ۴۰ سانتی متری از خاک پر شدند. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی 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 توصیه شده برای این رقم است استفاده شد (تاریخ کاشت ۱۳۹۰/۱۱/۱۲). این رقم پابلند، با تیپ رشد زمستانه و مقاوم به سرما و خوابیدگی و در گروه ارقام با کیفیت نانویی بسیار خوب قرار دارد. گلدان ها در شرایط گلخانه ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی 65 ± 7 درصد نگهداری شد. محلول پاشی با نانوذرات و پوترسین در دو مرحله رشدی (مراحل پنجه دهی و ساقه دهی به ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری های 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 اندام های رویشی به دانه، در هر گلدان بوته هایی مشابه و یکنواخت علامت گذاری شده و از یک هفته قبل از پر شدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، هر چهار روز یکبار برداشت نمونه انجام گرفت. بوته های برداشت شده به ساقه، برگ و دانه تفکیک و پس از خشک کردن در آون به اندام های 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. Ehdai و Wanies (۱۹۹۶) هم در بررسی های مربوط به تنوع ژنتیکی انتقال مجدد در گندم، چنین فرضی را به کار برده اند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

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

جدول ۲- مشخصات نانو اکسید روی و نانو سیلیکون

نوع نانوذرات	وزن (g)	خلوص (%)	میانگین اندازه ذرات (nm)	سطح ویژه ذرات	رنگ
نانو اکسید روی	۱۰۰	۹۹	<۳۰	>۳۰ m ² .g ⁻¹	پودری سفید
نانو سیلیکون	۰/۰۵	۹۹	۲۰-۳۰	>۳۰ m ² .g ⁻¹	پودری سفید

رابطه ۱

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

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 بر حسب 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.

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

$$DMT = DMA - DMM$$

که در آن DMT (Dry Matter Translocation) میزان انتقال ماده خشک کل بر حسب 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 بر حسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب 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 بر حسب 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

با نرم افزار 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 محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر فلورسانس حداقل، فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی دار 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)، محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب کاهش ۳۲/۲۳ درصدی فلورسانس حداقل برگ پرچم نسبت به عدم محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شوری ۱۲۰ میلی مولار شد (جدول ۵). فلورسانس حداقل (F_0) تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد که تغییرات ساختاری در مراکز واکنش اولیه فتوسیستم II به وجود 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 به دلیل کاهش ظرفیت کوئینون آ (QA) و اکسیداسیون ناقص آن به دلیل 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، محلول پاشی 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 محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین نسبت به شوری ۱۲۰ میلی مولار برخوردار بود (جدول ۶). فلورسانس متغیر (F_v) که از اختلاف فلورسانس حداکثر (F_m) با فلورسانس حداقل (F_0) به دست می‌آید، وضعیت جریان الکترون از بخش فتوسیستم به QA را نشان می‌دهد (Xia et

التهای دوره پرشدن دانه و رسیدگی فیزیولوژیک معادل با کد ۸۹ از مقیاس BBCH) ادامه یافت. نمونه برداری 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 نمونه برداری a ، b

و c ضرایب معادله هستند.

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) و F_v/F_m (عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده 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 توسعه یافته (در فاصله زمانی ساعت ۸-۱۰ صبح) انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص‌های F_0 ، F_m ، F_v و F_v/F_m 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

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 نمونه برداری فلورسانس حداقل (F_0) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه برداری فلورسانس متغیر (F_v) (روز پس از کاشت)				
		۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴
تکرار	۲	۶۵۸۴/۸ ^{ns}	۷۶۳۳/۳ ^{ns}	۱۰۳۵/۰۹ ^{ns}	۴۱۸۷/۵ ^{ns}	۴۲۹۰/۸ ^{ns}	۳۰۲۸۹/۶ ^{ns}	۱۸۴۶/۲ ^{ns}	۱۱۵۹۵/۰۹ ^{ns}	۳۲۷/۶ ^{ns}	۱۲۱۸/۷ ^{ns}
(S)	۳	۱۳۶۴۴/۷ ^{ns}	۱۲۶۵۴/۳ ^{ns}	۱۴۳۲۳/۶ ^{ns}	۷۳۵۲/۹ ^{ns}	۳۸۲۶/۴ ^{ns}	۱۰۳۹۴۳/۴ ^{ns}	۱۲۴۷۵۸/۲ ^{ns}	۹۰۰۴۶/۳۷ ^{ns}	۸۲۳۶۰/۷ ^{ns}	۵۹۸۵۹/۷ ^{ns}
(N)	۷	۴۱۰۵/۸ ^{ns}	۴۳۷۴/۹ ^{ns}	۴۳۹۵/۴ ^{ns}	۱۷۰۵/۵ ^{ns}	۱۲۲۳/۱ ^{ns}	۴۲۲۱۲/۷ ^{ns}	۴۶۱۹۰/۵ ^{ns}	۳۱۹۴۴/۱۸ ^{ns}	۲۲۸۸۹/۶ ^{ns}	۱۸۷۷۵/۲ ^{ns}
S×N	۲۱	۷۵۱/۶ ^{ns}	۴۷۵/۸ ^{ns}	۶۲۴/۳۷ ^{ns}	۴۰۴/۹ ^{ns}	۲۵۵/۴ ^{ns}	۶۴۶۲/۹ ^{ns}	۳۴۴۹/۵ ^{ns}	۳۷۳۸/۳۸ ^{ns}	۳۷۱۸/۱ ^{ns}	۳۶۴۱/۹ ^{ns}
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 ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه برداری فلورسانس حداکثر (F_m) (روز پس از کاشت)					مراحل نمونه برداری عملکرد کوانتومی (F_v/F_m) (روز پس از کاشت)				
		۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴	۷۴	۸۴	۹۴	۱۰۴	۱۱۴
تکرار	۲	۸۹۳۹/۷ ^{ns}	۱۴۶۴۴/۹ ^{ns}	۵۷۰۶/۳ ^{ns}	۴۳۰۴/۳ ^{ns}	۹۵۲/۴ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۰۰۱۴ ^{ns}	۰/۰۰۵۸ ^{ns}	۰/۰۰۵۶ ^{ns}	۰/۰۰۸۲ ^{ns}
(S)	۳	۴۲۳۸۸/۹ ^{ns}	۶۰۳۱۲/۰۶ ^{ns}	۳۴۴۵۵/۱ ^{ns}	۴۰۵۴۳/۷ ^{ns}	۳۳۵۶۴/۲ ^{ns}	۰/۰۳۱ ^{ns}	۰/۰۴۴ ^{ns}	۰/۰۵۲ ^{ns}	۰/۰۳۸ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}
(N)	۷	۲۰۴۴۱/۲ ^{ns}	۲۲۹۳۸/۳ ^{ns}	۱۲۸۶۰/۴ ^{ns}	۱۲۹۲۶/۹ ^{ns}	۱۰۸۰۱/۱ ^{ns}	۰/۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۱۶ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}
S×N	۲۱	۳۱۳۵/۱ ^{ns}	۱۷۱۰/۱ ^{ns}	۲۵۳۰/۷ ^{ns}	۲۵۱۰/۴ ^{ns}	۲۵۰۵/۱ ^{ns}	۰/۰۰۵۲ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳۳ ^{ns}	۰/۰۰۲۷ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
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 ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

می‌کند (صفاری و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب افزایش ۳۵/۳۳ درصدی فلورسانس حداکثر نسبت به ترکیب تیماری عدم محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین نسبت به شوری ۱۲۰ میلی مولار 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 تجزیه کننده آب و همچنین چرخه انتقال الکترون در درون یا اطراف فتوسیستم II مرتبط باشد (Chaves et al., 2009). آسیب به دستگاه

(al., 2004). نتایج نشان داد که تنش شوری، کاهش مقدار فلورسانس متغیر را به دنبال 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

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر فلورسانس حداقل (F_0) و برگ پرچم گندم

مراحل نمونه برداری فلورسانس حداقل (F_0) (روز پس از کاشت)					ترکیب تیماری
۱۱۴	۱۰۴	۹۴	۸۴	۷۴	
۲۱۹/۳۳ ^{g-l}	۲۰۹/۳۳ ^{g-l}	۱۷۶/۳۳ ^{h-l}	۱۶۳/۳۳ ^{k-m}	۱۴۸ ^{k-o}	$S_1 \times N_1$
۲۰۳ ^{m-p}	۱۸۳/۳۳ ^{o-r}	۱۳۶/۳۳ st	۱۵۲/۶۶ ^{l-n}	۱۲۱/۶۶ ^{qr-u}	$S_1 \times N_2$
۲۰۷/۳۳ ^{k-o}	۱۹۴ ^{l-q}	۱۶۶/۳۳ ^{l-n}	۱۳۴/۳۳ ^{p-s}	۱۳۱/۶۶ ^{o-s}	$S_1 \times N_3$
۲۲۳ ^{fg-k}	۲۰۱ ^{j-o}	۱۴۴/۶۶ ^{p-t}	۱۴۷ ^{n-p}	۱۱۰/۶۶ ^u	$S_1 \times N_4$
۲۱۱/۳۳ ^{h-n}	۱۷۸ ^{qr}	۱۵۶/۳۳ ^{m-q}	۱۲۹ ^{q-s}	۱۴۲/۶۶ ^{m-p}	$S_1 \times N_5$
۱۹۵/۳۳ ^{op}	۱۸۸/۶۶ ^{m-r}	۱۳۳/۳۳ st	۱۳۷ ^{o-r}	۱۱۲/۶۶ ^{tu}	$S_1 \times N_6$
۱۹۷/۶۶ ^{n-p}	۱۸۰ ^{p-r}	۱۴۱ ^{qr-t}	۱۲۶ ^{rs}	۱۱۶ ^{s-u}	$S_1 \times N_7$
۱۹۱/۳۳ ^p	۱۷۳/۳۳ ^r	۱۲۹ ^t	۱۲۲ ^s	۱۰۶/۳۳ ^u	$S_1 \times N_8$
۲۳۹/۶۶ ^{a-e}	۲۲۸/۶۶ ^{b-f}	۲۰۶/۳۳ ^{d-f}	۱۹۰/۳۳ ^{e-g}	۱۸۵ ^{c-g}	$S_2 \times N_1$
۲۲۴/۶۶ ^{e-j}	۲۰۵/۳۳ ^{h-m}	۱۶۹/۳۳ ^{k-n}	۱۷۸/۳۳ ^j	۱۵۵/۶۶ ^{j-n}	$S_2 \times N_2$
۲۳۲/۶۶ ^{b-g}	۲۱۸/۳۳ ^{e-j}	۱۹۶ ^{e-g}	۱۶۷ ^{i-l}	۱۵۷/۳۳ ⁱ⁻ⁿ	$S_2 \times N_3$
۲۳۷ ^{b-f}	۲۲۸/۳۳ ^{b-f}	۱۹۲/۶۶ ^{fg}	۱۶۹ ^{jk}	۱۷۴ ^{e-i}	$S_2 \times N_4$
۲۲۷ ^{d-h}	۲۲۲/۶۶ ^{e-h}	۱۵۹/۶۶ ^{m-p}	۱۸۴/۳۳ ^{f-i}	۱۵۹/۶۶ ^{h-m}	$S_2 \times N_5$
۲۳۷/۶۶ ^{a-f}	۲۳۱/۳۳ ^{b-e}	۱۹۴/۶۶ ^{fg}	۱۹۷/۳۳ ^{c-f}	۱۷۳/۳۳ ^{f-i}	$S_2 \times N_6$
۲۰۴/۶۶ ^{l-p}	۱۹۹ ^{k-o}	۱۴۸/۶۶ ^{o-s}	۱۴۳/۳۳ ^{n-q}	۱۳۷/۶۶ ^{o-q}	$S_2 \times N_7$
۲۰۱ ^{n-p}	۱۸۶/۳۳ ^{r-r}	۱۳۹/۳۳ ^t	۱۳۱ ^{q-s}	۱۱۸/۶۶ ^{t-u}	$S_2 \times N_8$
۲۴۵ ^{a-c}	۲۴۲/۶۶ ^{a-c}	۲۱۸/۳۳ ^{b-d}	۲۰۴ ^{b-e}	۱۹۸/۶۶ ^{a-d}	$S_3 \times N_1$
۲۴۱/۳۳ ^{a-d}	۲۲۶/۶۶ ^{c-g}	۲۱۱ ^{c-e}	۲۰۷/۳۳ ^{b-d}	۱۹۱/۳۳ ^{b-e}	$S_3 \times N_2$
۲۱۰/۳۳ ^{d-o}	۲۴۱ ^{a-d}	۱۸۴ ^{g-k}	۱۹۳/۶۶ ^{d-f}	۱۶۹/۶۶ ^{g-j}	$S_3 \times N_3$
۲۱۷/۳۳ ^{g-m}	۲۱۲/۶۶ ^{f-k}	۱۸۷/۶۶ ^{g-i}	۲۰۲ ^{c-e}	۱۷۷ ^{ef-h}	$S_3 \times N_4$
۲۳۸ ^{a-f}	۲۳۶/۳۳ ^{a-e}	۱۸۶/۳۳ ^j	۱۷۱/۶۶ ^{i-k}	۱۳۵ ^{o-r}	$S_3 \times N_5$
۲۱۹/۳۳ ^{g-l}	۲۰۷/۳۳ ^{h-l}	۱۹۶ ^{e-g}	۱۷۵/۳۳ ^{h-k}	۱۶۲ ^{h-l}	$S_3 \times N_6$
۲۲۲/۶۶ ^{f-k}	۲۳۱/۳۳ ^{b-e}	۱۶۳ ^{l-o}	۱۷۴/۶۶ ^{h-k}	۱۴۵/۶۶ ^{l-p}	$S_3 \times N_7$
۲۰۹/۳۳ ^{j-o}	۱۹۶/۳۳ ^{k-p}	۱۵۳/۶۶ ^{n-r}	۱۴۰ ^{n-r}	۱۲۸/۶۶ ^{p-t}	$S_3 \times N_8$
۲۵۳ ^a	۲۵۱ ^a	۲۳۷/۳۳ ^a	۲۲۳ ^a	۲۱۴/۶۶ ^a	$S_4 \times N_1$
۲۴۸ ^{ab}	۲۴۵ ^{ab}	۲۲۶/۶۶ ^{a-c}	۲۱۱/۳۳ ^{a-c}	۲۰۶/۳۳ ^{ab}	$S_4 \times N_2$
۲۲۵/۶۶ ^{d-i}	۲۲۳/۳۳ ^{d-h}	۲۲۳ ^{a-c}	۱۷۵ ^{h-k}	۱۴۶/۳۳ ^{l-o}	$S_4 \times N_3$
۲۴۳ ^{a-c}	۲۲۶ ^{c-g}	۲۳۰/۶۶ ^{ab}	۱۹۷ ^{c-f}	۲۰۲/۳۳ ^{a-c}	$S_4 \times N_4$
۲۳۰ ^{c-g}	۲۱۰ ^{g-l}	۱۹۹/۳۳ ^{e-g}	۲۱۸ ^{ab}	۱۸۸/۶۶ ^{c-f}	$S_4 \times N_5$
۲۳۰/۳۳ ^{c-g}	۲۲۰/۳۳ ^{e-i}	۱۷۱/۳۳ ^{j-m}	۱۸۷ ^{f-h}	۱۶۴ ^{h-k}	$S_4 \times N_6$
۲۳۶ ^{b-f}	۲۳۴/۳۳ ^{a-e}	۱۸۹/۳۳ ^{gh}	۱۶۵/۶۶ ^{j-l}	۱۸۱/۶۶ ^{e-h}	$S_4 \times N_7$
۲۲۵ ^{e-j}	۲۰۳/۳۳ ⁱ⁻ⁿ	۱۷۲/۳۳ ^{i-m}	۱۴۹/۶۶ ^{m-o}	۱۴۰/۶۶ ^{n-p}	$S_4 \times N_8$
۱۵/۷۸	۱۸/۱۰	۱۶/۲۰	۱۴/۶۱	۱۷/۶۱	LSD

S₁, S₂, S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسید روی، محلول پاشی 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 معنی داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

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

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

مراحل نمونه برداری فلورسانس متغیر (F_v) (روز پس از کاشت)					ترکیب تیماری
۱۱۴	۱۰۴	۹۴	۸۴	۷۴	
۴۱۷/۳۳ ^{f-k}	۴۴۴/۳۳ ^{g-k}	۵۰۲/۳۳ ^{e-i}	۵۴۸/۳۳ ^{f-h}	۵۶۶/۳۳ ^{g-k}	$S_1 \times N_1$
۴۳۰/۶۷ ^{d-i}	۵۳۲/۶۷ ^{a-d}	۵۸۹/۶۷ ^{b-d}	۵۷۸/۳۳ ^{e-g}	۶۶۱/۳۳ ^{b-e}	$S_1 \times N_2$
۴۵۷/۶۷ ^{b-f}	۴۹۷/۳۳ ^{c-f}	۵۲۹/۶۷ ^{d-g}	۶۴۰/۶۷ ^{a-d}	۶۲۳/۶۷ ^{c-g}	$S_1 \times N_3$
۴۶۹/۶۷ ^{b-e}	۴۷۶ ^{e-h}	۵۹۱ ^{bc}	۵۹۶ ^{cd-f}	۶۲۷ ^{c-g}	$S_1 \times N_4$
۴۴۴/۶۷ ^{d-h}	۵۴۹ ^{ab}	۵۹۱ ^{c-f}	۶۶۰/۶۷ ^{ab}	۵۸۴/۶۷ ^{f-i}	$S_1 \times N_5$
۵۰۷/۶۷ ^{ab}	۵۱۴/۳۳ ^{b-e}	۶۳۴/۶۷ ^{ab}	۶۲۹/۳۳ ^{b-e}	۶۹۲/۳۳ ^{ab}	$S_1 \times N_6$
۴۹۹/۶۷ ^{a-c}	۵۴۲/۶۷ ^{a-c}	۶۰۴ ^{a-c}	۶۷۰/۳۳ ^{ab}	۶۸۰/۳۳ ^{a-c}	$S_1 \times N_7$
۵۲۸/۶۷ ^a	۵۶۹/۶۷ ^a	۶۵۴/۶۷ ^a	۶۹۲/۶۷ ^a	۷۲۷ ^a	$S_1 \times N_8$
۳۳۱/۶۷ ^{o-q}	۳۸۲/۳۳ ^{m-q}	۴۱۷/۶۷ ^{k-n}	۴۴۹ ^{k-o}	۴۶۸/۶۷ ^{n-q}	$S_2 \times N_1$
۴۲۲ ^{e-j}	۴۶۰/۶۷ ^{f-j}	۴۶۴ ^{h-l}	۴۶۰ ^{j-n}	۵۴۶ ^{h-l}	$S_2 \times N_2$
۳۶۹ ^{k-p}	۴۱۷/۳۳ ^{j-n}	۴۴۸ ^{i-m}	۴۹۳/۳۳ ^{h-l}	۵۴۱/۶۷ ^{i-m}	$S_2 \times N_3$
۳۴۳ ^{n-q}	۴۲۲/۶۷ ^{i-m}	۴۵۳/۳۳ ^{h-l}	۴۶۲/۶۷ ^{j-n}	۵۰۱ ^{l-o}	$S_2 \times N_4$
۳۴۴ ^{n-q}	۴۰۵/۶۷ ^{k-o}	۵۰۱ ^{e-i}	۴۶۹/۶۷ ^{i-m}	۵۳۸/۳۳ ^{i-m}	$S_2 \times N_5$
۳۳۳/۳۳ ^{o-q}	۳۶۷/۶۷ ^{o-s}	۴۸۸/۳۳ ^{g-j}	۴۴۹ ^{k-o}	۵۱۶/۳۳ ^{j-n}	$S_2 \times N_6$
۴۶۸/۶۷ ^{b-f}	۳۹۷/۶۷ ^{l-p}	۴۹۵ ^{f-j}	۵۴۱/۳۳ ^{f-h}	۶۰۲ ^{e-h}	$S_2 \times N_7$
۴۸۱/۶۷ ^{a-d}	۵۲۴/۶۷ ^{a-d}	۶۱۰ ^{a-c}	۶۴۹/۶۷ ^{a-c}	۶۷۴ ^{a-d}	$S_2 \times N_8$
۳۱۱/۶۷ ^{q-r}	۳۲۱/۶۷ st	۳۸۹ ^{m-o}	۴۱۲/۳۳ ^{m-o}	۴۲۹ ^{p-r}	$S_3 \times N_1$
۳۲۳/۳۳ ^{p-q}	۳۹۵/۶۷ ^{l-p}	۴۰۷ ^{l-n}	۴۰۵ ^{n-p}	۴۴۹/۶۷ ^{o-q}	$S_3 \times N_2$
۳۸۷ ⁱ⁻ⁿ	۳۳۳/۳۳ ^{rs}	۴۷۸/۶۷ ^{g-k}	۴۳۹/۶۷ ^{l-o}	۵۱۱ ^{k-n}	$S_3 \times N_3$
۴۲۲/۶۷ ^{e-j}	۴۳۶/۳۳ ^{h-l}	۴۶۹/۶۷ ^{g-k}	۴۴۹/۳۳ ^{k-o}	۴۹۱ ^{l-o}	$S_3 \times N_4$
۳۴۲ ^{n-q}	۳۵۴/۳۳ ^{p-s}	۴۷۰ ^{g-k}	۵۱۱/۳۳ ^{h-j}	۶۱۲/۶۷ ^{d-g}	$S_3 \times N_5$
۴۳۷/۶۷ ^{d-i}	۴۵۲/۳۳ ^{f-j}	۴۴۵ ^{i-m}	۵۴۱/۶۷ ^{f-h}	۵۳۴/۶۷ ^{i-m}	$S_3 \times N_6$
۴۰۴/۳۳ ^{g-l}	۳۷۵ ^{n-r}	۵۷۸ ^{b-d}	۴۹۷/۳۳ ^{h-l}	۵۷۳/۶۷ ^{f-j}	$S_3 \times N_7$
۴۵۲/۶۷ ^{c-g}	۴۹۰/۶۷ ^{d-g}	۵۵۸/۶۷ ^{c-e}	۶۱۸ ^{b-e}	۶۳۳ ^{b-f}	$S_3 \times N_8$
۲۷۰ ^r	۲۸۵/۳۳ ^t	۳۳۲ ^o	۳۵۱ ^p	۳۸۲ ^r	$S_4 \times N_1$
۳۶۶ ^{k-p}	۴۰۰/۶۷ ^{k-p}	۴۵۳/۳۳ ^{h-l}	۳۹۵/۶۷ ^{op}	۴۰۸/۶۷ ^{q-r}	$S_4 \times N_2$
۳۷۵/۳۳ ^{j-o}	۴۰۰/۶۷ ^{k-p}	۴۳۴/۶۷ ^{j-m}	۵۰۶ ^{h-k}	۵۷۷ ^{f-j}	$S_4 \times N_3$
۳۱۸/۳۳ ^{p-r}	۳۹۰/۳۳ ^{l-q}	۳۵۷/۳۳ ^{no}	۴۳۱/۳۳ ^{m-o}	۴۱۹/۳۳ ^{p-r}	$S_4 \times N_4$
۳۶۴/۳۳ ^{l-p}	۳۴۵ ^{q-s}	۴۸۳/۳۳ ^{g-j}	۴۳۹ ^{l-o}	۴۵۷/۶۷ ^{n-q}	$S_4 \times N_5$
۳۷۵/۶۷ ^{j-o}	۴۵۹/۳۳ ^{f-j}	۴۸۱/۶۷ ^{g-j}	۵۲۳ ^{g-i}	۶۰۷/۳۳ ^{e-g}	$S_4 \times N_6$
۳۵۲/۳۳ ^{m-q}	۳۶۶ ^{o-s}	۴۶۳/۳۳ ^{h-l}	۵۴۱ ^{f-h}	۴۷۸/۳۳ ^{m-p}	$S_4 \times N_7$
۳۹۷/۳۳ ^{h-m}	۴۶۷/۳۳ ^{f-i}	۵۱۴ ^{e-h}	۵۸۷ ^{d-f}	۵۹۵ ^{f-i}	$S_4 \times N_8$
۵۱/۴	۴۶/۴۱	۶۱/۰۸	۶۰/۰۷	۶۰/۸۷	LSD

S_1, S_2, S_3 و S_4 به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

$N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7$ و N_8 به ترتیب عدم نانواکسید روی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسید روی، محلول پاشی 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.

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

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

S₁, S₂, S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری نسبت به هم بر اساس آزمون LSD ندارند.

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر شوری، نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین بر عملکرد کوانتومی (F_v/m) و برگ پرچم گندم

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

S₁, S₂, S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

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

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، محلول پاشی 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 محلول پاشی 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 محلول پاشی 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 فتوستتزی ناشی از شوری است (Jimenez-Suancha et al., 2015). به نظر می‌رسد محلول پاشی نانو اکسید روی در چنین شرایطی با بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی، موجب بهبود ساختار غشاء و فرآیندهای فتوستتزی 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 فتوستتزی به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن، موجب بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداکثر، فلورسانس متغیر و عملکرد کوانتومی) شد. نظری و همکاران (۱۴۰۰) نیز بیان کردند که محلول پاشی نانو سیلیکون با بهبود ساختار غشاء، فرآیندهای فتوستتزی و وضعیت آبی گیاه، موجب کاهش فلورسانس حداقل و افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ تربیتکاله 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 به دلیل 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، محلول پاشی 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 محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۱۱). به نظر می‌رسد تنش‌های محیطی با ایجاد اختلال در فتوستتزی جاری ضمن کاهش تولید و عرضه مواد فتوستتزی 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 فتوستتزی برای رشد و توسعه سلول‌های برگ و افزایش پیری برگ در شرایط تنش نسبت دادند. در چنین شرایطی محلول پاشی نانو اکسید روی با نقشی که در ساخته شدن آنزیم‌های مسئول فتوستتزی و سوخت-وساز دارد، ضمن افزایش فتوستتزی جاری، موجب بهبود شاخص سطح برگ در گیاه می‌شود (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). بخشی از افزایش شاخص سطح برگ به واسطه محلول پاشی نانو سیلیکون را می‌توان به بهبود فتوستتزی جاری (جدول ۱۴) نسبت داد، که در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) اظهار داشتند که محلول پاشی نانو سیلیکون در شرایط تنش با بهبود فتوستتزی جاری و افزایش تولید مواد فتوستتزی، موجب افزایش شاخص سطح برگ تربیتکاله شد. Epstein (۱۹۹۴) نیز افزایش شاخص سطح برگ به واسطه کاربرد سیلیکون در شرایط تنش را، به افزایش جذب عناصر و بهبود میزان فتوستتزی و همچنین افزایش انتقال مواد فتوستتزی

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	۰/۰۰۰۶	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 ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

در گیاه نسبت دادند. عمادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اظهار داشتند که پوترسین با جلوگیری از تخریب غشاء، تولید آنزیم های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ ها، 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 می کند (جدول ۱۱). به طوریکه در کلیه ترکیبات تیماری، این روند در ابتدا کند بوده ولی در ادامه فصل رشد با افزایش سطح برگ (جدول ۱۰) و فتوسنتز 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). به نظر می رسد این کاهش ناشی از افزایش سن گیاه، پیری برگ ها، کاهش کلروفیل و عدم توانایی آن ها در ساخت مواد فتوسنتزی و در نهایت ریزش برگ ها باشد (Kamari, 2014)، به طوریکه در ۱۱۴ روز پس از کاشت، محلول پاشی همزمان نانوذرات (۵۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون و یک گرم در لیتر نانواکسید روی) و یک میلی مولار پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیشترین بیوماس کل (۳/۱۸۳) برخوردار بود که موجب افزایش ۴۴/۰۹ درصد نسبت به شرایط عدم محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار شد (جدول ۱۱). Ebrahimian و

Bybordi (۲۰۱۱) اظهار داشتند که خسارت ناشی از شوری می تواند موجب تخریب کلروفیل و رنگ پریدگی و کلروزه شدن برگ ها 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 می شود. به نظر می رسد کاربرد نانوسیلیکون می تواند محتوای سیلیکون، لیگنین و سلولز را در ساقه ها افزایش داده و در نتیجه منجر به تولید ماده خشک بیشتر در واحد سطح شود (Gong et al., 2021). همچنین، نانوذرات سیلیکون جذب شده توسط گیاه، با فراهمی سطح بیشتری برای انجام واکنش های متابولیکی مختلف، لایه ای را در دیواره سلولی ایجاد می کند که موجب افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش های محیطی و در نتیجه منجر به بهبود رشد و ماده خشک کل در گیاهان تحت تنش می شود (Al-juthery et al., 2019). بخش دیگری از افزایش ماده خشک به واسطه محلول پاشی نانواکسید روی را می توان 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 محلول پاشی روی با افزایش سطح برگ و دوام آن و بهبود فتوسنتز جاری در زمان پرشدن دانه ها میزان فتواسیمیلات در اندام های رویشی را افزایش می دهد که به همراه تخلیه کمتر آن طی فرآیند انتقال مجدد، موجب افزایش ماده خشک گیاه می شود. به نظر می رسد

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

ترکیب تیماری	مرحله نمونه برداری (روز پس از کاشت)	۱۳۴	۱۲۴	۱۱۴	۱۰۴	۹۴	۸۴	۷۴	۶۴	۵۴	۴۴
$S_1 \times N_1$	۰/۶۴۶ ^{g-j}	۰/۷۷۸ ^{e-j}	۰/۵۰۵ ^{e-i}	۰/۲۶۹ ^{f-j}	۰/۵۲۹ ^{b-l}	۰/۶۴۵ ^{f-j}	۰/۵۱۹ ^{f-k}	۰/۲۳۶ ^{e-h}	۰/۷۷۸ ^{e-j}	۰/۶۴۶ ^{g-j}	۰/۶۴۶ ^{g-j}
$S_1 \times N_2$	۰/۷۰۳ ^{a-d}	۰/۸۶۵ ^{b-d}	۰/۱۵۶ ^{b-d}	۰/۵۰۳ ^{a-d}	۰/۷۲۶ ^{a-d}	۰/۸۷۰ ^{a-e}	۰/۷۳۵ ^{a-f}	۰/۱۰۶ ^{h-l}	۰/۳۵۵ ^{b-d}	۰/۲۳۶ ^{e-h}	۰/۷۰۳ ^{a-d}
$S_1 \times N_3$	۰/۶۸۴ ^{c-g}	۰/۸۵۱ ^{b-e}	۰/۱۲۷ ^{c-f}	۰/۴۲۴ ^{d-h}	۰/۶۲۹ ^{a-h}	۰/۸۱۱ ^{b-f}	۰/۶۵۴ ^{b-h}	۰/۳۲۳ ^{d-g}	۰/۲۲۵ ^{e-g}	۰/۱۰۹ ^{a-e}	۰/۶۸۴ ^{c-g}
$S_1 \times N_4$	۰/۷۳۰ ^{ab}	۰/۹۰۵ ^{ab}	۰/۲۳۷ ^{ab}	۰/۶۲۵ ^{a-c}	۰/۸۰۲ ^{a-c}	۰/۹۷۹ ^{ab}	۰/۸۷۲ ^{ab}	۰/۵۸۲ ^{ab}	۰/۴۳۲ ^{a-c}	۰/۱۵۷ ^{ab}	۰/۷۳۰ ^{ab}
$S_1 \times N_5$	۰/۶۵۷ ^{e-i}	۰/۷۹۸ ^{c-h}	۰/۱۴۳ ^{b-e}	۰/۴۶۳ ^{b-f}	۰/۶۸۰ ^{a-f}	۰/۷۳۲ ^{e-h}	۰/۶۸۲ ^{a-h}	۰/۴۰۶ ^{b-e}	۰/۳۱۳ ^{c-e}	۰/۱۰۸ ^{c-g}	۰/۶۵۷ ^{e-i}
$S_1 \times N_6$	۰/۷۲۶ ^{a-c}	۰/۸۹۸ ^{ab}	۰/۲۳۲ ^{a-c}	۰/۶۳۹ ^{a-c}	۰/۸۲۴ ^{ab}	۰/۹۵۲ ^{a-c}	۰/۸۴۳ ^{a-c}	۰/۵۵۶ ^{a-c}	۰/۴۴۷ ^{ab}	۰/۱۳ ^{a-c}	۰/۷۲۶ ^{a-c}
$S_1 \times N_7$	۰/۷۱۸ ^{a-c}	۰/۸۷۵ ^{a-c}	۰/۲۳۰ ^{a-c}	۰/۵۹۶ ^{a-d}	۰/۷۵۷ ^{a-c}	۰/۸۹۹ ^{a-e}	۰/۸۱۶ ^{a-d}	۰/۴۷۰ ^{a-d}	۰/۳۷۹ ^{a-d}	۰/۱۰۶ ^{a-d}	۰/۷۱۸ ^{a-c}
$S_1 \times N_8$	۰/۷۴۳ ^a	۰/۹۵۴ ^a	۰/۲۶۸ ^a	۰/۶۷۹ ^a	۰/۸۵۹ ^a	۰/۳۰۳ ^a	۰/۹۱۲ ^a	۰/۶۲۶ ^a	۰/۴۸۵ ^a	۰/۱۸۶ ^a	۰/۷۴۳ ^a
$S_2 \times N_1$	۰/۵۶۸ ^{n-r}	۰/۶۴۴ ^{b-s}	۰/۹۳۱ ^{k-o}	۰/۲۴۸ ^{l-o}	۰/۳۱۹ ^{m-p}	۰/۶۱۸ ^{c-h}	۰/۱۰۷ ^{h-l}	۰/۹۶۶ ^{m-p}	۰/۹۶۶ ^{m-p}	۰/۷۹۴ ^{l-q}	۰/۵۶۸ ^{n-r}
$S_2 \times N_2$	۰/۶۰۶ ^{j-n}	۰/۷۵۸ ^{f-l}	۰/۲۵۶ ^k	۰/۶۵۶ ^{ab}	۰/۵۸۶ ^{a-j}	۰/۵۷۹ ^{h-k}	۰/۴۴۴ ^{h-m}	۰/۱۳۵ ^{h-k}	۰/۱۴۳ ^{f-j}	۰/۱۴۳ ^{f-j}	۰/۶۰۶ ^{j-n}
$S_2 \times N_3$	۰/۶۰۵ ^{j-n}	۰/۶۸۲ ^{l-q}	۰/۱۰۸۵ ^{d-h}	۰/۱۰۴ ^{i-p}	۰/۳۴۶ ^{h-n}	۰/۴۴۱ ^{k-m}	۰/۵۷۱ ^{e-j}	۰/۹۶۹ ^{k-o}	۰/۲۶۲ ^{j-m}	۰/۱۰۲ ^{j-m}	۰/۶۰۵ ^{j-n}
$S_2 \times N_4$	۰/۵۹۱ ^{k-p}	۰/۷۹۴ ^{d-h}	۰/۹۴۱ ^{j-n}	۰/۴۸۸ ^{a-e}	۰/۷۰۶ ^{a-e}	۰/۳۶۲ ^{l-o}	۰/۷۵۸ ^{a-f}	۰/۴۳۴ ^{b-d}	۰/۰۳ ^{k-o}	۰/۰۷ ^{a-f}	۰/۵۹۱ ^{k-p}
$S_2 \times N_5$	۰/۶۱۶ ^{i-m}	۰/۷۰۵ ^{l-o}	۰/۹۹۰ ^{h-m}	۰/۱۰۹ ^{i-m}	۰/۴۱۹ ^{e-n}	۰/۴۹۴ ^{j-l}	۰/۳۷۸ ⁱ⁻ⁿ	۰/۱۶۵ ^{g-j}	۰/۰۸۵ ^{h-m}	۰/۰۸ ^{o-s}	۰/۶۱۶ ^{i-m}
$S_2 \times N_6$	۰/۶۹۸ ^{b-e}	۰/۸۳۴ ^{b-f}	۰/۱۵۶ ^{b-d}	۰/۲۵۲ ^{g-k}	۰/۵۰۲ ^{c-m}	۰/۷۵۸ ^{c-g}	۰/۷۰۴ ^{a-g}	۰/۹۷۴ ^{h-l}	۰/۰۳۶ ^{j-m}	۰/۰۳ ^{m-r}	۰/۶۹۸ ^{b-e}
$S_2 \times N_7$	۰/۵۸۵ ^{l-p}	۰/۷۰۷ ^{i-o}	۰/۱۰۵ ^{d-g}	۰/۴۱۳ ^{d-h}	۰/۶۰۶ ^{a-i}	۰/۶۴۳ ^{f-j}	۰/۶۰۱ ^{d-i}	۰/۳۷۹ ^{c-f}	۰/۱۶۸ ^{f-i}	۰/۹۷۴ ^{e-h}	۰/۵۸۵ ^{l-p}
$S_2 \times N_8$	۰/۷۱۰ ^{a-c}	۰/۸۹۰ ^{ab}	۰/۲۲۸ ^{a-c}	۰/۶۰۸ ^{a-d}	۰/۷۷۷ ^{a-c}	۰/۹۲۴ ^{a-d}	۰/۷۸۵ ^{a-e}	۰/۴۰۹ ^{a-c}	۰/۴۰۹ ^{a-c}	۰/۰۵ ^{b-f}	۰/۷۱۰ ^{a-c}
$S_3 \times N_1$	۰/۵۳۳ ^{q-s}	۰/۶۱۹ ^{p-s}	۰/۷۷۲ ^{q-s}	۰/۹۸۱ ^{n-p}	۰/۱۴۵ ^{n-p}	۰/۲۲۶ ^{o-q}	۰/۹۲۲ ^{r-f}	۰/۸۹۰ ^{m-p}	۰/۸۳۱ ^q	۰/۶۵۵ ^{rs}	۰/۵۳۳ ^{q-s}
$S_3 \times N_2$	۰/۵۴۸ ^{p-s}	۰/۶۶۴ ^{m-r}	۰/۸۶۹ ^{n-q}	۰/۱۰۷ ^{q-j}	۰/۳۲۱ ⁱ⁻ⁿ	۰/۳۸۹ ^{l-o}	۰/۱۸۳ ^{m-r}	۰/۱۰۷ ^{j-n}	۰/۱۴۵ ^{f-j}	۰/۸۱۳ ^{k-p}	۰/۵۴۸ ^{p-s}
$S_3 \times N_3$	۰/۶۱۸ ^{i-m}	۰/۶۲۴ ^{p-s}	۰/۸۲۹ ^{o-r}	۰/۱۰۰ ^{m-p}	۰/۲۱۲ ^{m-o}	۰/۲۵۳ ^{n-q}	۰/۱۳۳ ^{o-r}	۰/۹۵۶ ^{l-o}	۰/۸۶۶ ^{p-q}	۰/۶۹۶ ^{p-s}	۰/۶۱۸ ^{i-m}
$S_3 \times N_4$	۰/۵۸۳ ^{l-p}	۰/۶۹۷ ^{k-p}	۰/۱۰۰ ^{g-l}	۰/۲۲۷ ^{h-l}	۰/۸۷۴ ^{p-q}	۰/۲۷۴ ^{m-p}	۰/۲۱۴ ^{m-r}	۰/۳۵۵ ^{d-f}	۰/۰۵۱ ^{i-m}	۰/۷۲۷ ^{n-r}	۰/۵۸۳ ^{l-p}
$S_3 \times N_5$	۰/۶۵۱ ^{h-k}	۰/۶۳۱ ^{o-s}	۰/۸۹۴ ^{m-p}	۰/۱۰۴ ^{l-p}	۰/۲۶۵ ^{k-o}	۰/۲۸۱ ^{m-p}	۰/۲۱۵ ^{m-r}	۰/۴۳۱ ^m	۰/۸۵۹ ^{p-q}	۰/۷۵۲ ^{m-r}	۰/۶۵۱ ^{h-k}
$S_3 \times N_6$	۰/۵۵۸ ^{o-r}	۰/۷۸۷ ^{d-i}	۰/۸۳۴ ^{o-r}	۰/۲۹۳ ^{e-i}	۰/۵۵۳ ^{a-k}	۰/۶۷۶ ^{f-i}	۰/۶۵۰ ^{b-h}	۰/۹۷۲ ^{k-o}	۰/۹۸۵ ^{l-p}	۰/۸۶ ^{h-m}	۰/۵۵۸ ^{o-r}
$S_3 \times N_7$	۰/۶۵۱ ^{f-i}	۰/۷۴۲ ^{g-m}	۰/۱۰۴۳ ^{e-j}	۰/۱۴۸ ⁱ⁻ⁿ	۰/۴۰۲ ^{f-n}	۰/۷۵۱ ^{e-g}	۰/۴۷۸ ^{g-l}	۰/۲۱۵ ^{f-i}	۰/۱۸۴ ^{f-h}	۰/۹۰۲ ^{g-l}	۰/۶۵۱ ^{f-i}
$S_3 \times N_8$	۰/۶۹۲ ^{b-f}	۰/۸۰۵ ^{c-g}	۰/۱۱۴ ^{d-f}	۰/۴۴۷ ^{c-g}	۰/۶۵۸ ^{a-g}	۰/۷۵۸ ^{d-g}	۰/۶۳۰ ^{c-h}	۰/۳۵۱ ^{d-f}	۰/۲۵۲ ^{d-f}	۰/۹۸۵ ^{e-g}	۰/۶۹۲ ^{b-f}
$S_4 \times N_1$	۰/۵۰۷ ^s	۰/۵۷۹ ^s	۰/۶۹۵ ^s	۰/۹۰۹ ^p	۰/۹۹۶ ^{o-q}	۰/۹۰۹ ^q	۰/۰۰۶ ^r	۰/۷۷۲ ^p	۰/۷۶۵ ^q	۰/۵۹۴ ^s	۰/۵۰۷ ^s
$S_4 \times N_2$	۰/۶۰۱ ^{j-o}	۰/۵۹۹ ^{rs}	۰/۷۹۰ ^{p-s}	۰/۹۶۱ ^{n-p}	۰/۳۸۲ ^{f-n}	۰/۳۵۱ ^{l-o}	۰/۳۰۶ ^{k-p}	۰/۰۷۹ ^{h-l}	۰/۸۸۵ ^{n-q}	۰/۶۷۹ ^{q-s}	۰/۶۰۱ ^{j-o}
$S_4 \times N_3$	۰/۶۲۶ ^{h-l}	۰/۷۶۵ ^{f-k}	۰/۸۷۲ ^{n-q}	۰/۹۳۳ ^{op}	۰/۷۴۸ ^q	۰/۱۷۱ ^{p-q}	۰/۰۷۹ ^{p-r}	۰/۸۲۷ ^{op}	۰/۸۰۱ ^q	۰/۸۰۱ ^{l-p}	۰/۶۲۶ ^{h-l}
$S_4 \times N_4$	۰/۵۲۷ ^{rs}	۰/۶۷۳ ^{m-r}	۰/۹۱۳ ^{l-o}	۰/۰۶۴ ^{k-p}	۰/۲۹۳ ^{j-o}	۰/۴۱۱ ^{k-n}	۰/۲۲۵ ^{f-l-q}	۰/۸۴۵ ^{n-p}	۰/۲۲۵ ^{e-g}	۰/۷۱۰ ^{o-s}	۰/۵۲۷ ^{rs}
$S_4 \times N_5$	۰/۵۵۵ ^{p-r}	۰/۶۰۴ ^{q-s}	۰/۷۳۰ ^{rs}	۰/۹۴۵ ^{op}	۰/۷۶۹ ^q	۰/۵۱۸ ^{i-l}	۰/۰۶۱ ^{qr}	۰/۸۰۶ ^{op}	۰/۸۱۳ ^q	۰/۹۲۳ ^{g-k}	۰/۵۵۵ ^{p-r}
$S_4 \times N_6$	۰/۶۵۲ ^{f-i}	۰/۷۲۰ ^{h-n}	۰/۱۰۶ ^{d-i}	۰/۱۲۶ ^{i-o}	۰/۳۷۱ ^{g-n}	۰/۵۲۱ ^{i-l}	۰/۱۵۷ ^{n-r}	۰/۲۱۳ ^{f-i}	۰/۰۰۸ ^{k-n}	۰/۷۷۵ ^{m-q}	۰/۶۵۲ ^{f-i}
$S_4 \times N_7$	۰/۵۷۷ ^{m-q}	۰/۶۵۲ ^{n-s}	۰/۹۶۹ ⁱ⁻ⁿ	۰/۹۹۸ ^{m-p}	۰/۱۷۲ ^{n-p}	۰/۳۵۸ ^{l-o}	۰/۳۴۳ ^{j-o}	۰/۱۱۷ ^{h-l}	۰/۸۷۸ ^{o-q}	۰/۸۲۶ ^{j-o}	۰/۵۷۷ ^{m-q}
$S_4 \times N_8$	۰/۶۶۴ ^{d-h}	۰/۷۷۰ ^{f-k}	۰/۱۰۶ ^{d-i}	۰/۲۰۹ ^{i-l}	۰/۴۴۸ ^{d-n}	۰/۶۱۵ ^{g-j}	۰/۵۴۵ ^{e-k}	۰/۲۴۹ ^{e-h}	۰/۱۰۱ ^{g-l}	۰/۹۳۸ ^{g-j}	۰/۶۶۴ ^{d-h}
LSD	۰/۰۴۵	۰/۰۷۹	۰/۱۰۴	۰/۲	۰/۳۰۷	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۱۷۸	۰/۱۲۷	۰/۱۱۹	۰/۰۴۵

S₁, S₂, S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانواکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانواکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانواکسید روی و پوترسین. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		مراحل نمونه برداری (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 ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

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

انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه: تأثیر محلول پاشی 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 معنی دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها، محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری موجب کاهش به ترتیب 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 محلول پاشی نانوذرات و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار شد (جدول ۱۴). به نظر می‌رسد افزایش انتقال ماده خشک در شرایط تنش شوری، به دلیل 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، محلول پاشی نانو اکسید 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 محلول پاشی نانو اکسید 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 تربیتکاله در شرایط تنش شوری شد. به نظر می‌رسد بخشی دیگری از کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی به واسطه محلول پاشی پوترسین را، می‌توان به جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها (به عنوان 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 محلول پاشی نانو سیلیکون در شرایط

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

ترکیب تیماری	مراحل نمونه برداری (روز پس از کاشت)							
	۱۳۴	۱۲۴	۱۱۴	۱۰۴	۹۴	۸۴	۷۴	۶۴
$S_1 \times N_1$	۲/۴۵۳ ^{f-i}	۲/۷۰۱ ^{e-h}	۲/۷۲۳ ^{f-k}	۲/۷۱۴ ^{d-g}	۲/۴۷۲ ^{d-k}	۲/۱۰۴ ^{e-j}	۱/۵۶۰ ^{g-j}	۱/۱۳۲ ^{g-j}
$S_1 \times N_2$	۲/۷۵۵ ^{a-d}	۳ ^{ab}	۲/۹۰۵ ^{c-f}	۲/۹۵۸ ^{ab}	۲/۶۷۷ ^{a-e}	۱/۸۳۸ ^{n-s}	۱/۶۹۹ ^{b-f}	۱/۲۷۴ ^{a-c}
$S_1 \times N_3$	۲/۶۳۵ ^{c-f}	۲/۷۶۰ ^{d-g}	۳/۰۴۵ ^{a-c}	۲/۹۱۵ ^{a-d}	۲/۵۶۶ ^{b-i}	۲/۲۳۳ ^{b-f}	۱/۶۴۹ ^{d-g}	۱/۲۰۷ ^{c-h}
$S_1 \times N_4$	۲/۸۵۲ ^{ab}	۳/۰۵۴ ^a	۳/۱۵۹ ^{ab}	۳/۰۰۱ ^{ab}	۲/۷۶۷ ^{ab}	۲/۳۰۲ ^{a-c}	۱/۸۰۶ ^{ab}	۱/۳۰۲ ^{ab}
$S_1 \times N_5$	۲/۳۴۵ ^{h-l}	۲/۵۶۶ ^{g-k}	۲/۶۴۴ ^{h-n}	۲/۵۶۱ ^{f-j}	۲/۶۱۴ ^{a-f}	۲/۱۹۲ ^{b-g}	۱/۶۶۲ ^{c-g}	۱/۲۱۷ ^{b-g}
$S_1 \times N_6$	۲/۸۸۷ ^a	۳/۰۲۵ ^{ab}	۳/۱۲۹ ^{ab}	۳/۰۵۴ ^{ab}	۲/۷۹۳ ^{ab}	۲/۳۳۲ ^{ab}	۱/۷۸۵ ^{a-c}	۱/۲۹۱ ^{abc}
$S_1 \times N_7$	۲/۸۸۸ ^{a-c}	۲/۹۳۹ ^{a-d}	۳/۰۷۳ ^{a-c}	۳/۰۳۴ ^{ab}	۲/۷۰۸ ^{a-d}	۲/۳۶۲ ^{ab}	۱/۷۶۵ ^{a-d}	۱/۲۴۲ ^{a-e}
$S_1 \times N_8$	۲/۹۲۹ ^a	۳/۱۲۴ ^a	۳/۱۸۳ ^a	۳/۱۰۲ ^a	۱/۸۵۱ ^a	۲/۴۰۷ ^a	۱/۸۴۲ ^a	۱/۳۲۵ ^a
$S_2 \times N_1$	۲/۲۲۵ ^{j-m}	۲/۴۶۶ ^{j-o}	۲/۴۸۹ ^{l-r}	۲/۴۰۸ ^{j-m}	۲/۲۱۵ ^{k-m}	۱/۹۱۵ ^{k-p}	۱/۴۱۵ ^{k-m}	۱/۰۳۳ ^{k-n}
$S_2 \times N_2$	۲/۲۱۲ ^{j-n}	۲/۵۲۳ ^{h-m}	۲/۷۹۱ ^{d-i}	۲/۶۰۹ ^{f-j}	۲/۳۰۵ ^{j-l}	۲/۰۴۹ ^{g-l}	۱/۳۸۸ ^{l-n}	۱/۰۰۷ ^{m-o}
$S_2 \times N_3$	۲/۳۰۵ ^{j-m}	۲/۶۰۶ ^{f-k}	۲/۵۷۴ ^{j-o}	۲/۵۳۱ ^{g-k}	۲/۳۰۳ ^{j-l}	۱/۹۹۸ ^{h-n}	۱/۶۰۱ ^{e-h}	۱/۱۵۶ ^{e-i}
$S_2 \times N_4$	۲/۲۰۵ ^{j-n}	۲/۴۸۶ ⁱ⁻ⁿ	۲/۵۲۳ ^{k-q}	۲/۴۸۹ ^{h-l}	۲/۳۵۰ ^{g-l}	۲/۲۴۹ ^{a-e}	۱/۴۴۶ ^{i-m}	۱/۰۶۲ ^{j-m}
$S_2 \times N_5$	۲/۳۷۷ ^{g-k}	۲/۵۶۳ ^{g-l}	۲/۶۵۱ ^{h-m}	۲/۶۰۹ ^{f-j}	۲/۳۶۷ ^{f-l}	۲/۱۳۳ ^{c-i}	۱/۴۷۶ ^{h-l}	۱/۰۶۱ ^{i-l}
$S_2 \times N_6$	۲/۷۳۰ ^{a-d}	۲/۷۳۴ ^{e-g}	۲/۹۵۷ ^{b-e}	۲/۶۹۷ ^{e-g}	۲/۴۵۱ ^{d-k}	۲/۲۰۷ ^{b-g}	۱/۶۷۶ ^{b-g}	۱/۱۶۶ ^{e-i}
$S_2 \times N_7$	۲/۵۲۴ ^{e-h}	۲/۸۳۴ ^{b-e}	۲/۸۲۶ ^{d-h}	۲/۹۴۰ ^{a-d}	۲/۵۸۷ ^{b-h}	۲/۱۳۹ ^{c-i}	۱/۶۱۵ ^{e-g}	۱/۲۳۳ ^{b-f}
$S_2 \times N_8$	۲/۸۱۸ ^{a-c}	۲/۹۷۰ ^{a-c}	۲/۹۸۵ ^{a-d}	۲/۹۸۸ ^{ab}	۲/۷۳۶ ^{a-c}	۲/۲۷۶ ^{a-d}	۱/۷۳۶ ^{a-e}	۱/۲۶۵ ^{a-d}
$S_3 \times N_1$	۲/۰۱۴ ^{n-q}	۲/۲۵۴ ^{p-r}	۲/۲۷۹ ^{s-u}	۲/۳۲۰ ^{l-n}	۲/۱۴۸ ^{lm}	۱/۷۳۷ ^{q-t}	۱/۲۶۳ ^{n-p}	۰/۹۵۲ ^{n-p}
$S_3 \times N_2$	۲/۵۶۰ ^{d-g}	۲/۷۰۴ ^{e-h}	۲/۸۰۵ ^{d-i}	۲/۶۵۲ ^{f-h}	۲/۲۸۶ ^{j-l}	۱/۸۳۹ ^{n-s}	۱/۳۵۵ ^{l-o}	۱/۰۰۸ ^{m-o}
$S_3 \times N_3$	۲/۳۶۲ ^{g-l}	۲/۳۰۰ ^{n-r}	۲/۳۲۸ ^{q-u}	۲/۶۷۰ ^{f-h}	۲/۴۰۵ ^{f-l}	۱/۷۹۶ ^{o-s}	۱/۴۳۶ ^{j-m}	۱/۰۳۵ ^{k-n}
$S_3 \times N_4$	۲/۳۳۹ ^{h-m}	۲/۲۷۰ ^{o-r}	۲/۳۰۷ ^{t-u}	۲/۷۴۶ ^{c-f}	۲/۲۲۹ ^{kl}	۱/۹۴۱ ^{j-p}	۱/۳۴۸ ^{l-o}	۰/۹۹۷ ^{m-o}
$S_3 \times N_5$	۲/۱۹۶ ^{l-p}	۲/۴۳۱ ^{k-p}	۲/۴۳۸ ^{n-t}	۲/۴۴۶ ^{i-m}	۲/۲۸۵ ^{j-l}	۱/۸۵۷ ^{m-r}	۱/۳۷۳ ^{l-o}	۰/۹۹۸ ^{m-o}
$S_3 \times N_6$	۲/۲۴۹ ^{i-m}	۲/۳۲۶ ^{m-r}	۲/۶۰۶ ⁱ⁻ⁿ	۲/۵۹۵ ^{f-j}	۲/۴۹۷ ^{c-j}	۲/۰۱۹ ^{h-m}	۱/۴۳۶ ^{j-m}	۱/۱۲۱ ^{h-k}
$S_3 \times N_7$	۲/۵۶۷ ^{d-g}	۲/۶۳۶ ^{e-j}	۲/۶۸۷ ^{g-l}	۲/۶۶۸ ^{f-h}	۲/۳۰۸ ^{i-l}	۱/۰۷۲ ^{f-k}	۱/۵۴۵ ^{g-k}	۱/۰۴۰ ^{k-n}
$S_3 \times N_8$	۲/۶۶۶ ^{b-e}	۲/۷۹۲ ^{c-f}	۲/۸۷۲ ^{c-g}	۲/۸۸۸ ^{b-e}	۲/۵۹۲ ^{a-g}	۲/۱۵۷ ^{c-h}	۱/۶۳۱ ^{d-g}	۱/۱۸۱ ^{d-i}
$S_4 \times N_1$	۱/۹۱۲ ^q	۲/۱۲۳ ^r	۲/۲۰۹ ^u	۲/۱۴۲ ⁿ	۱/۹۵۸ ^{mn}	۱/۶۱۸ ^t	۱/۲۰۶ ^p	۰/۸۷۵ ^p
$S_4 \times N_2$	۲/۴۴۵ ^{f-i}	۲/۶۷۶ ^{e-i}	۲/۸۰۲ ^{d-i}	۲/۵۹۵ ^{f-j}	۲/۴۲۳ ^{e-k}	۱/۷۷۰ ^{p-t}	۱/۵۶۳ ^{f-j}	۱/۱۵۰ ^{f-i}
$S_4 \times N_3$	۱/۹۶۵ ^{pq}	۲/۲۰۰ ^{qr}	۲/۳۴۹ ^{p-u}	۲/۲۴۵ ^{mn}	۲/۲۳۵ ^{kl}	۱/۶۸۳ st	۱/۳۹۷ ^{l-n}	۱/۰۳۱ ^{l-n}
$S_4 \times N_4$	۲/۱۹۱ ^{k-o}	۲/۲۲۳ ^{qr}	۲/۳۶۹ ^{q-u}	۲/۳۴۶ ^{k-n}	۲/۲۲۹ ^{kl}	۱/۸۸۳ ^{l-q}	۱/۳۹۹ ^{l-n}	۱/۰۵۶ ^{j-m}
$S_4 \times N_5$	۱/۹۸۸ ^{o-q}	۲/۱۹۲ ^{qr}	۲/۲۶۲ ^{tu}	۲/۲۹۲ ^{l-n}	۱/۷۶۸ ⁿ	۱/۷۰۷ ^{r-t}	۱/۲۳۹ ^{op}	۰/۹۳۰ ^{op}
$S_4 \times N_6$	۲/۲۷۲ ^{i-m}	۲/۳۶۱ ^{l-q}	۲/۴۷۳ ^{m-s}	۲/۵۶۸ ^{f-j}	۲/۳۳۱ ^{h-l}	۱/۸۱۴ ^{o-s}	۱/۳۳۱ ^{m-p}	۰/۹۸۵ ^{m-o}
$S_4 \times N_7$	۲/۱۳۹ ^{m-p}	۲/۴۹۹ ^{h-n}	۲/۵۴۰ ^{k-p}	۲/۴۸۱ ^{h-l}	۲/۱۵۱ ^{lm}	۱/۹۶۷ ^{i-o}	۱/۴۵۳ ^{i-m}	۱/۰۱۹ ^{l-n}
$S_4 \times N_8$	۲/۴۰۱ ^{g-j}	۲/۶۶۸ ^{e-j}	۲/۷۵۳ ^{e-j}	۲/۶۳۹ ^{f-i}	۲/۴۰۱ ^{g-l}	۲/۱۱۹ ^{d-i}	۱/۵۷۷ ^{f-i}	۱/۱۴۲ ^{g-j}
LSD	۰/۲۰۵	۰/۲۰۴	۰/۲۰۶	۰/۲۰۵	۰/۲۶۰	۰/۱۷۲	۰/۱۳۸	۰/۰۸۸

S₁, S₂, S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانواکسید روی، محلول پاشی 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.

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

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

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

شوری (S)، محلول پاشی (N)، ضریب تغییرات (CV)

تنش از طریق گسترش بیشتر سطح برگ و بهبود فتوستتز جاری، موجب افزایش تولید مواد فتوستتزی و کاهش انتقال ماده خشک از اندام هوایی و ساقه و سهم این فرایندها در عملکرد دانه تریتیکاله شد. در این بررسی نیز به نظر می‌رسد محلول پاشی نانوسیلیکون با بهبود شاخص سطح برگ (جدول ۱۰)، فتوستتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (جدول ۱۴) موجب کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرایندها در عملکرد دانه گندم (جدول ۱۴) شد.

فتوستتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه:

برهم‌کنش همزمان محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر فتوستتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین، ترکیب تیماری محلول پاشی همزمان نانوذرات و پوترسین در شرایط عدم اعمال شوری از بیش‌ترین فتوستتز 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 محلول پاشی 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 فتوستتز جاری کاهش می‌یابد، ولی تقاضای دانه‌ها برای مواد فتوستتزی وجود دارد (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷)، از این‌رو به‌نظر می‌رسد که در شرایط شوری به‌دلیل کاهش فتوستتز 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 محلول پاشی نانواکسید روی با تعدیل اثر ناشی از تنش شوری و نقشی که در ساخته‌شدن آنزیم‌های مسئول فتوستتز و سوخت‌وساز دارد، ضمن افزایش شاخص سطح برگ، موجب بهبود فتوستتز جاری و کاهش سهم انتقال ماده خشک در عملکرد دانه می‌شود (خیری‌زاده آروق و همکاران، ۱۳۹۷). Baniabbass و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش فتوستتز به‌واسطه کاربرد روی را، به نقش اساسی این عنصر در ساختمان فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز و همچنین افزایش سنتز هورمون‌های رشدی از جمله اکسین نسبت دادند. بخش دیگر بهبود فتوستتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه به‌واسطه محلول پاشی نانوسیلیکون را می‌توان به افزایش

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)	فستوز جاری (گرم در بوته)	سهم فستوز جاری در عملکرد دانه (درصد)	پروتئین برگ (درصد)	عملکرد دانه (گرم در بوته)
$S_1 \times N_1$	۰/۶۱ ^{f-l}	۲۹/۶۶ ^{i-m}	۰/۳۸ ^{g-n}	۱۸/۵۴ ^{h-m}	۱/۴۴۶ ^{e-h}	۷۰/۳۳ ^{e-i}	۱۰/۱۱ ^{e-j}	۲/۰۵ ^{d-i}
$S_1 \times N_2$	۰/۵۳ ^{no}	۲۴/۵۳ ^{pq}	۰/۳۵ ^{m-p}	۱۶/۳۷ ^{m-o}	۱/۶۴۸ ^{a-c}	۷۵/۴۶ ^{ab}	۱۱/۳۱ ^{a-c}	۲/۱۸ ^{a-d}
$S_1 \times N_3$	۰/۶۲ ^{o-k}	۲۸/۰۹ ^{l-p}	۰/۳۹ ^{e-l}	۱۷/۹۹ ^{j-n}	۱/۵۹۹ ^{b-e}	۷۱/۹۰ ^{b-f}	۱۰/۵۵ ^{b-g}	۲/۲۲ ^{a-c}
$S_1 \times N_4$	۰/۵۹ ^{q-i-m}	۲۸/۶۸ ^{k-o}	۰/۳۷ ^{g-n}	۱۸/۱۶ ⁱ⁻ⁿ	۱/۴۷۸ ^{d-g}	۷۱/۳۲ ^{c-g}	۱۰/۳۴ ^{d-h}	۲/۰۷ ^{d-h}
$S_1 \times N_5$	۰/۵۳ ^{no}	۲۴/۸۵ ^{o-q}	۰/۳۳ ^{q-op}	۱۵/۸۲ ^{m-o}	۱/۶۱۱ ^{a-d}	۷۵/۱۴ ^{a-c}	۱۱/۴۰ ^{ab}	۲/۱۴ ^{b-f}
$S_1 \times N_6$	۰/۵۵ ^{l-o}	۲۴/۸۱ ^{o-q}	۰/۳۴ ^{q-n-p}	۱۵/۵۱ ^{no}	۱/۶۹۱ ^{ab}	۷۵/۱۸ ^{a-c}	۱۰/۹۸ ^{a-d}	۲/۲۵ ^{ab}
$S_1 \times N_7$	۰/۵۹ ^{f-j-m}	۲۶/۸۷ ^{m-p}	۰/۳۷ ^{h-n}	۱۷/۱۲ ^{l-o}	۱/۶۱۶ ^{a-d}	۷۳/۱۳ ^{b-e}	۱۱/۲۲ ^{a-c}	۲/۲۱ ^{a-c}
$S_1 \times N_8$	۰/۵۱ ^{q-o}	۲۲/۷۰ ^q	۰/۳۲ ^{h-p}	۱۴/۴۱ ^o	۱/۷۶۳ ^a	۷۷/۲۹ ^a	۱۱/۶۰ ^a	۲/۲۸ ^a
$S_2 \times N_1$	۰/۶۵ ^{q-b-f}	۳۵/۳۰ ^{d-g}	۰/۴۱ ^{g-a-g}	۲۲/۳۳ ^{c-f}	۱/۲۰۵ ^{k-m}	۶۴/۶۹ ^{k-n}	۹/۲۷ ^{j-o}	۱/۸۶ ^{k-o}
$S_2 \times N_2$	۰/۶۲ ^{l-e-k}	۳۰/۳۶ ^{h-m}	۰/۳۹ ^{e-l}	۱۹/۵۴ ^{g-l}	۱/۴۲۴ ^{f-i}	۶۹/۶۳ ^{e-j}	۱۰/۵۴ ^{c-g}	۲/۰۴ ^{e-i}
$S_2 \times N_3$	۰/۶۷ ^{q-a-e}	۳۳/۶۱ ^{d-i}	۰/۴۲ ^{o-a-f}	۲۱/۰۳ ^{e-h}	۱/۳۳۳ ^{g-k}	۶۶/۳۸ ⁱ⁻ⁿ	۹/۴۸ ^{i-m}	۲ ^{g-j}
$S_2 \times N_4$	۰/۶۶ ^{q-a-e}	۳۵/۷۸ ^{d-f}	۰/۴۲ ^{l-a-f}	۲۲/۶۷ ^{c-f}	۱/۲۱۷ ^{k-m}	۶۴/۲۱ ^{l-n}	۹/۳۲ ^{i-o}	۱/۸۸ ^{j-o}
$S_2 \times N_5$	۰/۶۴ ^{l-d-j}	۳۲/۷۵ ^{e-j}	۰/۴۰ ^{q-e-k}	۲۰/۶۶ ^{e-j}	۱/۳۳۷ ^{g-k}	۶۷/۲۴ ^{h-m}	۹/۲۹ ^{i-o}	۱/۹۷ ^{g-k}
$S_2 \times N_6$	۰/۶۳ ^{o-d-k}	۳۲/۲۹ ^{e-k}	۰/۴۰ ^{q-d-k}	۲۰/۸۱ ^{e-i}	۱/۳۲۲ ^{g-l}	۶۷/۷۰ ^{g-m}	۱۰/۰۹ ^{e-j}	۱/۹۵ ^{h-l}
$S_2 \times N_7$	۰/۶۰ ^{q-g-m}	۳۳/۰۵ ^{e-j}	۰/۳۸ ^{g-n}	۲۰/۸۴ ^{e-i}	۱/۲۵۳ ^{j-m}	۶۶/۹۵ ^{h-m}	۱۰/۶۴ ^{b-f}	۱/۸۵ ^{k-p}
$S_2 \times N_8$	۰/۵۵ ^{m-o}	۲۵/۶۰ ^{n-q}	۰/۳۵ ^{m-p}	۱۶/۳۹ ^{m-o}	۱/۶۱۲ ^{a-d}	۷۴/۳۹ ^{a-d}	۱۰/۹۲ ^{a-e}	۲/۱۶ ^{a-e}
$S_3 \times N_1$	۰/۶۹ ^{q-a-c}	۴۰/۱۹ ^{a-c}	۰/۴۴ ^{q-a-c}	۲۵/۶۰ ^{ab}	۱/۰۳۳ ^{n-p}	۵۹/۸۰ ^{o-q}	۸/۸۲ ^{m-p}	۱/۷۲ ^{p-r}
$S_3 \times N_2$	۰/۵۹ ^{h-m}	۳۳/۸۰ ^{d-h}	۰/۳۷ ^{q-j-o}	۲۱/۱۶ ^{e-h}	۱/۱۶۶ ^{l-n}	۶۶/۱۹ ^{j-n}	۹/۵۷ ^{h-m}	۱/۷۶ ^{n-r}
$S_3 \times N_3$	۰/۵۷ ^{q-k-n}	۲۸/۶۰ ^{k-o}	۰/۳۶ ^{q-l-p}	۱۸/۰۴ ^{j-n}	۱/۴۳۷ ^{f-h}	۷۱/۴۰ ^{c-g}	۸/۵۵ ^{op}	۲/۰۱ ^{f-j}
$S_3 \times N_4$	۰/۶۴ ^{q-c-i}	۳۴/۲۱ ^{d-h}	۰/۴۱ ^{l-b-i}	۲۱/۷۴ ^{d-g}	۱/۲۴۴ ^{k-m}	۶۵/۷۸ ^{j-n}	۹/۶۹ ^{h-l}	۱/۸۹ ^{j-n}
$S_3 \times N_5$	۰/۶۸ ^{q-a-d}	۳۷/۵۶ ^{b-d}	۰/۴۳ ^{q-a-d}	۲۴/۰۹ ^{b-d}	۱/۱۳۱ ^{m-o}	۶۲/۴۳ ^{n-p}	۸/۸۹ ^{l-p}	۱/۸۱ ^{m-q}
$S_3 \times N_6$	۰/۵۹ ^{q-h-m}	۲۹/۰۹ ^{j-n}	۰/۳۷ ^{q-i-o}	۱۸/۲۷ ^{i-m}	۱/۴۵۶ ^{d-h}	۷۰/۹۰ ^{d-h}	۱۰/۰۴ ^{f-j}	۲/۰۵ ^{d-i}
$S_3 \times N_7$	۰/۶۵ ^{q-b-g}	۳۳/۹۶ ^{d-h}	۰/۴۲ ^{l-a-f}	۲۱/۸۵ ^{d-g}	۱/۲۷۳ ^{i-m}	۶۶/۰۳ ^{j-n}	۸/۹۰ ^{l-p}	۱/۹۲ ^{i-m}
$S_3 \times N_8$	۰/۵۹ ^{q-j-m}	۲۸/۱۸ ^{l-p}	۰/۳۷ ^{q-k-o}	۱۷/۸۴ ^{k-n}	۱/۵۰ ^{q-c-f}	۷۱/۸۱ ^{b-f}	۱۰/۸۹ ^{a-e}	۲/۰۹ ^{c-g}
$S_4 \times N_1$	۰/۷۱ ^{q-a}	۴۳/۱۸ ^a	۰/۴۵ ^{q-a}	۲۷/۳۰ ^a	۰/۹۴۲ ^p	۵۶/۸۱ ^q	۸/۱۸ ^p	۱/۶۶ ^r
$S_4 \times N_2$	۰/۶۵ ^{q-b-g}	۳۳/۶۶ ^{d-i}	۰/۴۱ ^{o-c-j}	۲۱/۰۸ ^{e-h}	۱/۳۱۲ ^{h-l}	۶۶/۳۳ ⁱ⁻ⁿ	۸/۵۷ ^{n-p}	۱/۹۶ ^{g-k}
$S_4 \times N_3$	۰/۶۶ ^{q-a-e}	۳۴/۶۲ ^{d-g}	۰/۴۴ ^{q-ab}	۲۳/۳۰ ^{b-e}	۱/۲۶۰ ^{j-m}	۶۵/۳۷ ^{k-n}	۹/۰۶ ^{k-o}	۱/۹۲ ^{i-m}
$S_4 \times N_4$	۰/۶۳ ^{q-d-j}	۳۶/۱۸ ^{c-e}	۰/۴۰ ^{q-c-k}	۲۳/۲۲ ^{b-e}	۱/۱۱۷ ^{m-o}	۶۳/۸۱ ^{m-o}	۹/۰۵ ^{k-o}	۱/۷۵ ^{o-r}
$S_4 \times N_5$	۰/۷۰ ^{q-ab}	۴۱/۵۳ ^{ab}	۰/۴۲ ^{q-a-e}	۲۵/۰۳ ^{a-c}	۰/۹۹۰ ^{op}	۵۸/۴۶ ^{pq}	۱۰/۱۱ ^{e-j}	۱/۶۹ ^{qr}
$S_4 \times N_6$	۰/۶۵ ^{q-c-h}	۳۱/۶۰ ^{g-l}	۰/۴۱ ^{q-b-h}	۲۰/۱۰ ^{f-k}	۱/۴۰ ^{q-f-j}	۶۸/۳۹ ^{f-k}	۹/۷۶ ^{g-k}	۲/۰۵ ^{d-i}
$S_4 \times N_7$	۰/۶۱ ^{q-f}	۳۳/۲۵ ^{e-i}	۰/۳۸ ^{q-f-m}	۲۱/۰۱ ^{e-h}	۱/۲۲۳ ^{k-m}	۶۶/۷۴ ^{i-m}	۹/۴۰ ⁱ⁻ⁿ	۱/۸۳ ^{l-p}
$S_4 \times N_8$	۰/۶۳ ^{q-d-j}	۳۲/۰۴ ^{f-l}	۰/۴۰ ^{q-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

S₁, S₂, S₃ و S₄ به ترتیب عدم شوری، شوری ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ میلی مولار.

N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, N₇ و N₈ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانوسیلیکون، محلول پاشی نانوآکسید روی، محلول پاشی پوترسین، کاربرد نانوسیلیکون و نانوآکسید روی، کاربرد نانوسیلیکون و پوترسین، کاربرد نانوآکسید روی و پوترسین، کاربرد همزمان نانوسیلیکون و نانوآکسید روی و پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به هم براساس آزمون LSD ندارند.

شاخص سطح برگ (جدول ۱۱) نسبت داد. در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند که محلول پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش با افزایش شاخص سطح برگ، موجب بهبود فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه تربیتکاله شد. عمادی و همکاران (۱۳۹۲) نیز اظهار داشتند که پوترسین با جلوگیری از تولید آنزیم‌های لازم برای سنتز اتیلن و تأخیر در پیری برگ‌ها (به عنوان 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 محلول پاشی (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 محلول پاشی همزمان نانوذرات (۵۰ میلی گرم در لیتر نانوسیلیکون و یک گرم در لیتر نانوآکسید روی) و یک میلی مولار 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 محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار شد (جدول ۱۴). به نظر 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 به واسطه محلول پاشی با نانوآکسید روی را می‌توان به بهبود فلورسانس کلروفیل (جدول ۵، ۶، ۷ و ۸) نسبت داد که در این راستا برخی محققین بیان کردند که محلول پاشی نانوآکسید 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 به واسطه محلول پاشی 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 محلول پاشی نانوسیلیکون از طریق افزایش شاخص سطح برگ موجب بهبود فتوسنتز جاری شد که با تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، محتوای پروتئین برگ تربیتکاله تحت شرایط تنش را افزایش داد. بخشی دیگر افزایش محتوای پروتئین محلول در کاربرد سیلیکون به نظر 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 محلول پاشی پوترسین با نابودی رادیکال‌های فعال اکسیژن از تخریب پروتئین‌ها به وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده و موجب افزایش سنتز پروتئین‌ها در گیاه می‌شود. بخش دیگری از افزایش درصد پروتئین برگ به واسطه محلول پاشی با پوترسین را می‌توان به بهبود عملکرد کوانتومی نسبت داد، که در این راستا سیدشریفی و همکاران (۱۳۹۹) نیز افزایش درصد پروتئین برگ به واسطه محلول پاشی با پوترسین را به بهبود عملکرد کوانتومی برگ نسبت دادند.

عملکرد دانه: برهم‌کنش همزمان محلول پاشی (نانوذرات و پوترسین) و تنش شوری بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). براساس نتایج جدول مقایسه میانگین، محلول پاشی 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 محلول پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و پوترسین تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی مولار برخوردار بود (جدول ۱۴). در شرایط تنش شوری به دلیل کاهش طول دوره رشد، تسریع پیری و ریزش برگ‌های پایینی، چون فتوسنتز جاری

- 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، عزت‌الله (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، مریم‌السادات، حبیبی، 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.org/10.15625540.1392.15.3.5.7>
- محلوجی، مهرداد (۱۳۹۵). تأثیر شوری آب آبیاری و محلول‌پاشی با نانواکسید روی بر خصوصیات 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)، ۸۹-۱۰۵. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2020.16140.1861>
- نظری، ژیلما، 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-biochemical 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-taei, 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 inbreds 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](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>.

- 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. *Journal 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 *Sclerocarya abierrea* 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 activities 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>.

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 zinc 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